



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

ALOÍSIO DA SILVA PIRES

**CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DO
COMPLEXO LAGOA DO ALEGRE (BA) COM BASE EM ESTUDOS
GEOLÓGICOS, PETROLÓGICOS E ISOTÓPICOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO N°367

Brasília
2016

ALOÍSIO DA SILVA PIRES

**CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DO
COMPLEXO LAGOA DO ALEGRE (BA) COM BASE EM ESTUDOS
GEOLÓGICOS, PETROLÓGICOS E ISOTÓPICOS**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós Graduação em Geologia, da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Geologia. Área de Concentração: Geologia Econômica e Prospecção.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Márcia Abrahao Moura

Brasília
2016

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária/Documentalista
Isabel Ângela dos Santos Matos – CRB-5/995:

P667 Pires, Aloísio da Silva.
Caracterização e gênese das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre (BA) com base em estudos geológicos, petrológicos e isotópicos. / Aloísio da Silva Pires. -- Brasília, 2016.
183 f. II.

Orientadora Márcia Abrahao Moura.
Dissertação (mestrado) Universidade de Brasília, Instituto de Geociências.

1. Geologia Econômica - Bahia. 2. Formação Ferrífera - Bahia. III. Lagoa do Alegre - Bahia. I. Moura, Márcia Abrahao. II. Universidade de Brasília, Instituto de Geociências. III. Título.

CDD: 553.098142
CDU: 553(81)

ALOÍSIO DA SILVA PIRES

**CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DO COMPLEXO
LAGOA DO ALEGRE (BA) COM BASE EM ESTUDOS GEOLÓGICOS,
PETROLÓGICOS E ISOTÓPICOS**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós Graduação em Geologia, da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Geologia.

Aprovada em 08 de julho de 2016

Márcia Abrahão Moura – Orientadora
Doutora em Geologia pela Universidade de Brasília, Brasil
Universidade de Brasília

Bernhard Manfred Buhn
Doutor em Geociências pelo Universität Würzburg, Alemanha
Universidade de Brasília

José Haroldo da Silva Sá
Doutor em Geociências (Recursos Minerais e Hidrogeologia)
Universidade Federal da Bahia

A minha Mãe Terezinha da Silva.

Ao meu Pai Aloisio Matos Pires, *in memoriam*.

AGRADECIMENTOS

À minha Mãe, Terezinha da Silva, pelo alicerce e sustentação;

Ao meu Pai, Aloísio Matos Pires, *in memoriam*, por referência de honestidade e dedicação à família;

À imensa família formada por 11 irmãos e minha linda sobrinha/afilhada Júlia Pires;

À Orientadora professora Márcia Abrahão, pela orientação, que, apesar de todos os obstáculos impostos por diversas variáveis não controláveis, topou e encarou contruir esse trabalho;

À professora Catharina Toledo, pelas contribuições e revisão deste trabalho;

À minha queridíssima Josenusa Brilhante (CPRM) – o sobrenome já diz tudo. Obrigado pela ajuda, suporte e apoio neste trabalho;

À amiga Caroline Couto, pelas discussões geológicas e não geológicas;

Ao amigo Arivaldo Sacramento – Ari, por revisar o texto;

Aos demais “amigos geológicos” conhecidos como amigos de rocha (Aline Atta; Tiago Gordo; Thanany – Truculenta; Juazeiro – Juá; Nilo – Nerd; Tchelo; Dani – Seca; Carol – Gaúcha; e Aninha) e aos “amigos não-geológicos” (Eduardo César, Carla Santana, Walderedo Jr. e Thirza) e muitos que não citados, mas foram/são fundamentais na minha vida;

À UnB, como Instituição de Ensino, Pesquisa e Extensão, através do curso de pós-graduação em geologia;

À CPRM – Serviço Geológico do Brasil pelo incentivo e apoio na realização deste trabalho;

A tod@s que, direta ou indiretamente, contribuíram para construção deste trabalho.

ABSTRACT

The iron formation located in the northeast of Bahia, in Lagoa do Alegre map (SC-24-V-CV-I), occur in the form of lenses or thick packages that vary from 10 to 200m and can achieve greater thicknesses. Are magnetic rocks, reddish gray to brownish red, consisting of magnetite, hematite and cummingtonite-grunerite, massive to fractured, with millimeter to decimeters bands marked by oxide/iron amphibole, silica and are subdivided into 5 petrographic types, and none of facies have carbonate or sulphide. These rocks were metamorphosed in the greenschist facies high and medium amphibolite. Chemically, were separated into two groups based on the presence of grunerite-cummingtonite, content of iron, silica, and magnesium: groups Mg<01% and Mg>01%. The SiO₂ average value in the group Mg<1% is 54.76%; Fe₂O₃ average of 42.52% while the Mg>1% group, the SiO₂ value average of 52.42%; Fe₂O₃ value average of 42.69%. The elements Al, Mg, Ca, In, Ti and P, and the two groups are very similar and, in particular, demonstrate there is no or little contribution terrigenous sedimentation. REE normalized by Chondrite and PAAS show that groups Mg<1% and Mg >% 1 are distinct, both of which exhibit enrichment in LREE relative to HREE, and group Mg <1% more enriched REE the group Mg>1%. For the Mg <1% group has low concentrations of REE and positive values of Eu * indicating that deposition may have occurred close to sources of high temperature hydrothermal. Furthermore, Mg>1% group for high concentration of ETR to negative anomaly of Eu *, being associated with the BIF wherein iron and silica were deposited on areas far from sources of high spice fluid with possible mixing fluids. In both groups have cited anomaly Ce/Ce * positive to slightly negative, indicating transition conditions, sometimes oxidizer moment anoxic. The evolution of εNd (2.5) show the values: Mg<1% group ranged between -9.97 and 2.76 and Mg>1% the groupbetween -9.78 and 1.58. Despite the dispersion of the data sample, there is a set with TDM ~ 2.5 Ga, suggesting a maximum age 2.5 Ga sedimentation over a basin aged substrate SHRIMP 2979±14Ma and 2853±23Ma.

Keywords: Iron formartion. Geochemistry of iron formation. Sedimentary volcanic sequence Lagoa of Alegre.

RESUMO

As formações ferríferas identificadas no extremo norte da Bahia, na Folha Lagoa do Alegre (SC-24-V-CV-I), ocorrem em forma de lentes e espessura que podem variar de 10 a 200m, podendo alcançar espessura maiores. São cinza avermelhadas a vermelha amarronzadas, tendo a magnetita como óxido principal, além quartzo, hematita e *cummingtonita-grunerita*. São rochas maciças a fraturadas, com bandamento milimétrico a decimétricos marcado por óxido/anfibólio de ferro, sílica e estão subdivididas em 5 tipos petrográficos, e em nenhuma das fácies ocorrem a presença de carbonato, ou sulfeto. Sofreram metamorfismo nas fácies xisto verde alto a anfibolito médio, com *cummingtonita-grunerita* como mineral índice, tendo hornblenda e tremolita como acessório corroborando com o posicionamento metamórfico. Quimicamente, as amostras foram separadas em dois grupos baseada na presença *cummingtonita-grunerita*, teor de ferro, sílica e magnésio: grupos Mg<1% e Mg>1%. Os valores de SiO₂ no grupo Mg<1% varia entre 43,77 e 77,58% com média de 54,76%; Fe₂O₃ varia entre 19,55 e 52,94% e média de 42,52%, enquanto que grupo Mg>1%, o valor de SiO₂ varia entre 49,85 e 56,25% com média de 52,42%; Fe₂O₃ varia entre 40,25 e 45,03% e média de 42,69%. Os elementos Al, Mg, Ca, Na, Ti e P, em ambos os grupos são muito semelhantes e, sobretudo, demonstram haver ausência ou pouca contribuição de sedimentação terrígena. Os ETR, normalizados por Condrito e PAAS mostram que grupos Mg<1% e Mg>1% são distintos, sendo que ambos os exibem enriquecimento em ETRL em relação ao ETRP, com o grupo Mg>1% mais enriquecidos do ETR que o grupo Mg<1%. Para o grupo Mg<1% apresenta baixas concentrações de ETR e valores positivos de Eu* indicando que a deposição pode ter ocorrido próximo a fontes de hidrotermal de alta temperatura. Por outro lado, o grupo Mg>1% há elevada concentração de ETR com anomalia negativa de Eu*, sendo associado as formações ferríferas em que o ferro e a sílica foram depositados em zonas distantes das fontes de fluido de alta temperatura, com possível mistura de fluidos. Em ambos os grupos citados apresentam anomalia Ce/Ce* positiva a fracamente negativa, indicando condições de transição, ora oxidante ora anóxica. A evolução do εNd (2.5) mostram os valores: grupo Mg<1% entre -9,97 e 2,76 e para o grupo Mg>1% entre -9,78 e 1,58 e apresenta conjunto com T_{DM} de ~2,5Ga, sugestivo de uma idade máxima de sedimentação de 2,5Ga sobre uma bacia com substrato de idade SHRIMP 2979±14 Ma e 2853±23Ma.

Palavras-chaves: Formação ferrífera. Geoquímica de formação ferrífera. Complexo Lagoa do Alegre.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Seção esquemática com as fácies presente nas formações ferríferas (óxido, silicato, carbonato e sulfetada) definida por James (1954) e Groves et al., 1987. 38
- Figura 2** – Classificação e ocorrência das formações ferríferas baseado em ambiente tectônico definido por Gross (1965). 38
- Figura 3** – Os Maiores depósitos de formação ferrífera do mundo, incluindo BIF, GIF e tipo rapitan Rapitan. Depósitos de ferro são distinguidos com base no tamanho e idade. 1= Formação Maly Khinghan, 2 = Formação Yerbil, 3 = Grupo Jacadigo, 4 = Grupo Bisokpabe, 5 = Holowilena Ironstone, 6 Formação Braemar Ferro, 7 = Formação Yamata, 8 = Formação Lake Khanka 9 = Formação Rapitan, 10 = Formação Chuos, 11 = Grupo Alto Tindir, 12 = Formação Fulu, 13 = Formação Kingston Peak, 14 Formação Numees, 15 = Formação Mugur, 16 = Formação Aok, 17 = Formações Corcoran e McMinn, 18 = Formação Mullera, 19 = Formação Chuanlinggou, 20 = Formação de Pike Peak, 21 = Formação Frere, 22 = Grupo Alwar, 23 = Grupo Hutchison, 24 = Região do Lago Superior (inclui cinco grandes Formações ferríferas), 25 Formação Sokoman, 26 = Formação Shoshong, 27 = Formação Rochford, 28 = Grupo Liaohe, 29 = Formação Estes, 30 = Formação Pääkkö, 31 = Formação Glen Township, 32 = Grupo Lomagundi, 33 = Grupo Ijil, 34 = Formação Hotazel, 35 = Formação Timeball Hill, 36 = Supergrupo Kursk, 37 = Supergrupo Krivoy Rog, 38 = Transvaal, 39 = Província Hamersley (inclui seis grandes Formações ferríferas), 40 = Formação Cauê, 41 = Formação Ferrífera Penge, 42 = Formação Ferrífera de Referência, 43 Formação Ferrífera Nemo , 44 = Formação Mulaingiri, 45 = Itabirito de Nimba, 46 Formação Ferrífera Atlantic City, 47 = Anshan, 48 = Caldeirão Belt, 49 = Formação ferrífera Manjeri, 50 = Grupo Bababudan, 51 = Terreno Gimola, 52 = Grupo Central Slave Cover, 53 = Formação Carajás, 54 = Formação Olenegorsk, 55 = Grupo Steep rock, 56 = Grupo Rand West, 57 = Supergrupo Pongola, 58 = Formação Cleaverville, 59 = Suíte Metamórfica Indian Creek, 60 = Grupo Moodies. 40
- Figura 4** – Diagrama esquemático mostrando a abundância relativa de BIFs precambrianas versus tempo, com diversas das grandes BIFs (Formações ferríferas). Abundâncias estimadas são em relação ao volume da BIF do Grupo Hamersley tomado como um máximo (adaptado de Gole e Klein, 1981a; também embasado em tabulação de períodos de BIFs em Walker et al. , 1983, sua tabela 11.1). As avaliações mais recentes de idade para a Bacia Hamersley (2,8 a 2,2 Ga) estão disponíveis em Trendall et al. (2004); para as BIFs da Fossa Labrador (1,88 Ga), em Findlay et al. (1995), e para as BIFs na Formação Frere, oeste da Austrália (1,9 a 1,8 Ga), em Williams et al. (2004). 41
- Figura 5** – Estabilidades relativas de minerais em formações ferríferas metamorfisadas como uma função de zonas metamórficas (Klein, 2005) 44
- Figuras 6a-6g** – Comparação de padrões ETR's utilizando NASC como normalizador nas formações ferríferas precambrianas de várias idades. As Formações ferríferas específicas e suas idades são dadas ao longo dos perfis de ETRs; a) A ilustração da BIF de Isua mostra também uma curva de mistura de água do mar com fluido hidrotermal de 100:1, onde um fator de multiplicação de 106 foi usado para os valores de ETR's originais de água do mar); g) Os perfis de ETRs da IF Rapitan são acompanhados por uma curva de ETRs para moderna água do mar em 100 m, multiplicados por 106 (Klein e Beukes, 1993b). Outras referências: b) e c) Klein e Ladeira, 2000; d) Klein e Beukes, 1989; e) Beukes e Klein, 1990; f) Klein e Ladeira, 2004 48

- Figura 7** – Diagrama Eh-Ph e as relações de estabilidade para os óxidos de ferro, carbonatos e sulfuretos em água a 25°C. (Garrels e Christ, 1965). 49
- Figura 8** – Modelo simplificado dos tipos de oxidação sofridas pelo Fe^{+2} para a geração das formações ferríferas. (A) Oxigênio (O_2) em ambiente de águas rasas, acima do redoxclínio, produto de atividade fotossintetizante. (B) Oxidação do Fe diretamente pela ação de bactérias – oxidação anóxica. (C) Oxidação fotoquímica e presença de fluidos hidrotermais oxidantes próximos às fumarolas (Bekker et al., 2010). 52
- Figura 9** - Modelo de deposição das formações ferríferas em um oceano estratificado, em um regime de regressivo (a) e transgressivo (b) (Klein e Beukes, 1989)..... 54
- Figura 10** – Área de estudo sobre o contexto do Cráton do São Francisco e a faixa de dobramento neoproterozoica Riacho do Pontal (Almeida, 1977; Alckmin et al., 2006). ... 56
- Figura 11** – Mapa geológico simplificado da área de estudo com as ocorrências de formações ferríferas associadas ao Complexo Lagoa do Alegre, com os pontos de amostragens para análise química (♦) e localização da seção esquemática (★) - Folha Lagoa do Alegre, Bahia..... 57
- Figura 12** – Unidade Complexo Remanso Sobradinho (A23gs). (A1) - Fotografia em planta mostrando feições de migmatização. Afloramento localizado na faz. Cacimba. (A2) - Fotografia em planta mostrando bandamento gnáissico ($Sn//Sn_{n+1}$ N060/15SE), centimétrico a decimétrico, dobrado e com zona de transcorrência sinistral NW/SE. (A3) - Fotografia em planta mostrando foliação $Sn//S_{n+1}$ (N035/55SE) e bandas/níveis máfico boudinados, interpretados como diques máficos. Afloramento localizado na fazenda Cachoeira. (A4) - Fotografia em planta mostrando figuras elípticas e $Sn//S_{n+1}$ N345/40NE. Folha Lagoa do Alegre. Remanso-Ba. 58
- Figura 13** – Complexo Colomi. (B1) – Visão geral das formações ferríferas associadas à unidade Serra da Capivara (Sca). (B2) – Detalhe mostrando mesobandas definidas por magnetita/hematita – quartzo, localizado na Serra do Colomi. Folha Lagoa do Alegre. .. 59
- Figura 14** – Augen-ortogneisse milonítico (A4γml). (C1) – Fotografia mostrando visão geral do afloramento. (C2) - Detalhe mostrando porfiroclasto de K-feldspato de 5cm de comprimento, Sn N080/19SE e Lx 11° p/ N190. (C3) - Fotografia em seção do augen-ortogneisse milonito com portólito de granito porfirítico, com foliação de baixo ângulo ($Sn+2$) e lineação de estiramento ($Lx+2$) de alto rake. Afloramento no leito do rio na localidade de Lajedo. (C4) - Fotografia em planta mostrando detalhe da foto (C3) com lineação de estiramento ($Lx+2$) no plano XY, localizando no leito do rio, na localidade de Lajedo. (C5) - Sugestões de critérios cinemáticos (foliações S/C) com indicação de topo para Norte, observada no plano XZ. (C6) – Visão geral do afloramento. (C7) - Afloramento associado à zona de transposição mostrando foliação milonítica orientada na direção N/S com mergulho subvertical (N010/70SE). (C8) Detalhe da foto (C7) mostrando porfiroclasto de K-feldspato paralelo ao eixo de dobra (Lx/Lb 15 p/ N020). Folha Lagoa do Alegre, Casa Nova-Ba..... 60
- Figura 15** – Suite Forte – Metassienogranito a Metamonzogranito (PP2γmsf). (D1 e D2) – Visal geral do afloramento de metassienogranito. (D3) – Fotografia em planta de metassienogranito mostrando injeção de pegmatito de composição alcalina. (D4) - Fotografia em planta de metassienogranito mostrando foliação Sn N020/32SE, com porfiroclasto de K-feldspato. Localidade do Sítio Favela. (D5) - Fotografia em planta de metamonzogranito com a foliação (Sn N025/46SE) sendo cortada por pegmatito de composição sienítica. (D6) - Fotografia em planta de metamonzogranito com xenólito máfico paralelo a foliação. (D7) – Fotografia em planta de metamonzogranito mostrando

- aspecto isotrópico, sendo cortado por pegmatito de composição científica. Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba. 61
- Figura 16** – Faixa Brasileira Riacho do Pontal – Grupo Casa Nova. (E1) - Fotografia em corte (NW-SE) de afloramento de muscovita quartzito branco-rosado, domínio intercalado com grãos mais fino e foliação desenvolvida Sn N355/42NE. Formação Barra Bonita (NP1cb1q). (E2) - Fotografia em planta de afloramento de micaxisto marcado pela xistosidade crenulada, Formação Barra Bonita (NP1cbx). (E3 e E4) – Fotografia em planta mostrando quartzito branco, granulação fina a média, foliação anastomosada (Sn N340/45NE). Folha Lagoa do Alegre..... 62
- Figura 17** – Complexo Lagoa do Alegre – Unidade Macambira. (F1) – Fotografia em planta de paragnaisse e formação ferrífera intercalados, Unidade Indivisa. (F2) – Fotografia em planta de paragnaisse com dobramento em laço, evidenciado superposição de eventos deformacionais, Unidade Indivisa. (F3) – Fotografia em planta de gnaisse com dobramento em M. (F4) – Fotografia em planta e detalhe, mostrando bandamento gnáissico crenulado, Unidade Indivisa (A4lmi). Aforamento localizado no sangradouro da barra de Lagoa do Alegre, folha homônima. Casa Nova-Ba. 66
- Figura 18** – Complexo Lagoa do Alegre – Unidade Macambira. (G1) - Fotografia em planta mostrando xenólito de metabásito (Xisto – Xis), Unidade Indivisa (A4lmi) e ortognaisse milonítico. (G2) - Fotografia em planta mostrando xenólito de metabásito (Xisto – Xis). Unidade Indivisa, em ortognaisse milonítico mostrando cinemática sinistral. (G3) – Fotografia em planta do *augen*-ortognaisse (A4γml) e formação ferrífera intercalados e dobrados, Unidade Indivisa (A4lmi). (G4) - Fotografia em planta do *augen*-ortognaisse (A4γml), actinolítico e biotita xisto, intercalados e dobrados, Unidade Indivisa (A4lmi). Aforamento localizado no sangradouro da barra de Lagoa do Alegre, folha homônima. Casa Nova-Ba. 67
- Figura 19** – Complexo Lagoa do Alegre – Unidade Macambira. (G5) - Fotografia em planta de *augen*-ortognaisse (A4γml) e grafita-xisto intercalados e dobrados, Unidade Indivisa (A4lmi). (G6) – Fotografia em planta de actinolítico com fenocristais de clino-anfibólio, hábito acicular, Unidade Indivisa (A4lmi). (G7) – Fotografia em planta com visão geral mostrando actinolítico, associado à Unidade Máfica-ultramáfica (A4lmuu). (G8) - Fotografia em detalhe da G7, mostrando actinolítico verde, granulação fina a média, associado à Unidade Máfica-ultramáfica (A4lmuu), localizado na faz. João Soares, Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba 68
- Figura 20** – Complexo Lagoa do Alegre – Unidade Macambira. (H1 e H2) - Fotografias em seção NW-SE, mostrando talco-xisto com metaultramáfica e formação ferrífera sobrepostos, associado à Unidade Máfica-ultramáfica (A4lmuu). (H3) - Detalhe da ocorrência de rocha metaultramáfica, associada à unidade máfica-ultramáfica (A4lmuu). (H4) – Detalhe da fotografia H1 mostrando talco xisto, verde-esbranquiçado e aspecto sedoso, associado à unidade máfica-ultramáfica (A4lmuu), faz. Limoeiro, Folha 69
- Figura 21** – Complexo Lagoa do Alegre – Unidade Minadorzinho. (I1) – Fotografia mostrando visão geral da ocorrência de quartzito branco (A4lnqt). (I2) – Fotografia em planta mostrando quartzito branco acinzentado, milonítico, localizado em zona de transposição, com Lx//Lb (10 p/ N200), (A4lnqt), localizado na faz. Limoeiro, Br-235. (I3) - Fotografia em planta com visão geral do afloramento de Silimanita biotita-xisto/paragnaisse/biotita-gnaisse com foliação ondulada (Sn N205/64NW e Lb 50° p/ N300), localizado próximo à faz. Vitória. (I4) - Detalhe da fotografia I34 mostrando Silimanita biotita xisto/paragnaisse/biotita gnaisse com lente de quartzito (Alnxpg), localizado próximo à faz. Vitória. (I5) - Fotografia em seção (W-E) de afloramento de xisto cinza com

- xistosidade SN N005/56SE e Lb+1 56° p/ N140, localizado próximo à faz. Barra Ponto. (I6) - Detalhe da foto I5 mostrando Biotita xisto cinza, com pegmatito intercalado no plano da xistosidade e dobrado, (Alnxpg). Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba. 72
- Figura 22** – Complexo Lagoa do Alegre – Unidade Minadorzinho. (I7) - Fotografia em planta de afloramento de biotita gnaisse cinza rosado mostrando bandamento composicional, marcado por níveis enriquecido por K-feldspato, (Alnxpg). (I8) - Fotografia em planta de afloramento de Biotita gnaisse, cinza rosado com dobras assimétricas (Lb 19° p/ N340) e bainha (Alnxpg), localizando na faz. João Alves, Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba. (I9) – Fotografia de afloramento mostrando visão geral paragnaisse cinza, (Alnxpg). (I10) – Detalhe da Fotografia I9, mostrando paragnaisse cinza marcado pelo bandamento centimétrico e com porfíblasto de K-feldspato em uma matriz de composição granítica fina a média, S1/S0 N110/24SW), (Alnxpg), localizado próximo à faz. Barra, Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba..... 73
- Figura 23** – Fotomicrografia 1. Biotita xisto: A - Mosaico exibindo a textura granolepdoblástica com a xistosidade fortemente dobrada, marcado pelos cristais de biotita (Bt) (Luz transmitida e Pol X). B – Detalhe do quartzo (Qtz) com atenção para o quadrante nordeste da foto, formando subgrão por recristalização dinâmica, associado ao dobramento da xistosidade (Luz transmitida e Pol X). C – Cristais de biotita (Bt) com porções transformadas em sericita (Ser), marcando um subdomínio lepdoblástica (Luz transmitida e Pol X). Abreviações conforme Kretz (1983). 78
- Figura 24** – Plagioclásio-biotita xisto: A - Mosaico exibindo a textura granolepdoblástica com a xistosidade fortemente dobrada (S₁) com geração de foliação plano-axial (S₂) (Luz transmitida e Pol X). B – Detalhe do quartzo (Qtz) com lamelas de deformação e subgrão tipo tabuleiro de xadrez. (Luz transmitida e Pol X). C – Cristais de plagioclásio (Pl) exibindo germinação albita (Luz transmitida e Pol X). D – Cristal de quartzo com lamelas de deformação e geração de subgrãos por rotação (Luz transmitida e Pol X). Cristal de microclínio (Mc) com inclusões de biotita (Bt) com borda alterando para sericita (Ser) (Luz transmitida e Pol X). Abreviações conforme Kretz (1983). 79
- Figura 25** – Microclínio-biotita gnaisse: A - Mosaico exibindo a textura granoblástica (Luz transmitida e Pol X). B – Detalhe da microclínio (Mc) com extinção ondulante e inclusão de quartzo (Qtz) (Luz transmitida e Pol X). C – Detalhe do cristal microclínio (Mc) em processo de seritização (Luz transmitida e Pol X). Abreviações conforme Kretz (1983). 80
- Figura 26** – Paragnaisse: A e B - Aspecto geral da rocha com textura granoblástica (Luz transmitida e Pol // e X). C e D – Aspecto geral da rocha mostrando leve orientação da biotita (Bt) (Luz transmitida e Pol // e X). E e F – Detalhe cristal de granada (Grt) poiquilítica com inclusão de quartzo (Qtz), sendo bordejado por biotita em processo de seritização leve (Luz transmitida e Pol // e X). Abreviações conforme Kretz (1983). 81
- Figura 27** – Quartzito: A - Aspecto geral da rocha com texturas granoblástica e milonítica subordinada, com diminuição de grãos de quartzo (Qtz) (Luz transmitida e Pol X) . B – Detalhe mostrando biotita lamelar associada a cristais de quartzo (Qtz) com migração de borda (Luz transmitida e Pol X). Abreviações conforme Kretz (1983). 82
- Figura 28** – Biotita-grafita xisto: A e B – Aspecto geral da rocha mostrando forte dobramento da xistosidade marcada por grafita (Gr) e biotita (Bt) (Luz transmitida e Pol // e X). C e D. Cristais de quartzo (Qtz), biotita (Bt) e muscovita (Ms) produto de alteração de biotita fortemente orientados (Luz transmitida e Pol // e X). Abreviações conforme Kretz (1983). 82
- Figura 29** – Classificação dos piroxênios (Leike et al., 1997) presentes em piroxenito do Complexo Lagoa do Alegre..... 83

- Figura 30** – Classificação dos piroxênios (Leike et al., 1997) presentes em metaultramáfica hidrotermalizada do Complexo Lagoa do Alegre. 84
- Figura 31** – Classificação de clinofibólio (Leike et al., 1997) presente em metaultramáfica hidrotermalizada do Complexo Lagoa do Alegre. 85
- Figura 32** – Classificação de clinofibólio (Leike et al., 1997) presentes em Magnetita anfíbolito do Complexo Lagoa do Alegre. 87
- Figura 33** – Classificação de ortofibólio (Leike et al., 1997) presentes em Magnetita anfíbolito do Complexo Lagoa do Alegre. 87
- Figura 34** – Metapiroxenito: A e B – Aspecto geral da rocha mostrando textura decussada marcada por cristais de clinopiroxênio e clinofibólio (Luz transmitida e Pol // e X). C – Destaque para seção de basal de clinofibólio (Cam) com bordas alteradas para goethita (Gt) (Luz transmitida e Pol //). D – Detalhe dos cristais de clinopiroxênio (Cpx) (Luz transmitida e Pol //). Magnetita (Mag) xenoblástica e parcialmente martitzada (Luz refletida). Abreviações conforme Kretz (1983). 88
- Figura 35** – Metaultramáfica hidrotermalizada: A e B – Aspecto geral da rocha mostrando textura cumulática com cristais de clinopiroxênio (Cam) (Luz transmitida e Pol // e X). C e D – Cristal de clinopiroxênio (Cam) poiquilítica com inclusão de eseno (Luz transmitida e Pol //). E e F – Detalhe da textura cumulática com olivina substituída por sílica criptocrystalina (quartzo – Qtz) e bordada por óxido de ferro na fase hidratada (Luz transmitida e Pol //). Abreviações conforme Kretz (1983). 89
- Figura 36** – Plagioclásio-actinolita Fels: A e B – Aspectos gerais da rocha (Luz transmitida e Pol // e X). C e D – Destaque para os cristais de clinofibólio (Cam) (Luz transmitida e Pol // e X). Abreviações conforme Kretz (1983). 90
- Figura 37** – Magnetita actinolito: A e B – Aspectos gerais da rocha mostrando clinofibólio (Cam) com leve orientação (Luz transmitida e Pol // e X). C e D – Destaque para clinopiroxênio (Cpx) e clinofibólio (Cam) com óxido de ferro na fase hidratada – goethita (Gt) e D – Destaque para os cristais de clinofibólio (Cam) (Luz transmitida e Pol // e X). Abreviações conforme Kretz (1983). 91
- Figura 38** – Diagrama $TiO_2-FeO+MnO-MgO$ (Nachit, 1986) para biotita em tonalito/granodiorito em Complexo Gnáissico Migmatítico Remanso Sobradinho. 95
- Figura 39** – Diagrama $MgO-FeO-Al_2O_3$ mostra característica cálcio-alcálica e peraluminosa para biotita em tonalito/granodiorito em Complexo Gnáissico Migmatítico Remanso Sobradinho. 95
- Figura 40** – Diagrama $Al(t) \times Mg$ de Abdel-Rahman (1994), mostrando característica subalcalinas com leve tendência cálcico-alcálicas de biotita em tonalito/granodiorito em Complexo Gnáissico Migmatítico Remanso Sobradinho. 96
- Figura 41** – TTG – fácies granodiorítica: A – Aspecto geral da rocha com presença de cristais de allanita (Al) (Luz transmitida e Pol // e X). B – Cristal de microclínio (Mc) com mirmequita no contato com o plagioclásio (Pl) (Luz transmitida e Pol // e X). D – Cristais de biotita (Bt) forma de paletas orientadas no plano da foliação (Luz transmitida e Pol //). E – Aspecto da rocha com textura milonítica com paletas de biotita (Bt) orientada (Luz transmitida e Pol //). Destaque da foto E mostrando textura milonítica, porfiroclástica e núcleo-manto, com agregados poligonais contornando o porfiroblasto de plagioclásio (Pl) Luz transmitida e Pol // e X). Abreviações conforme Kretz (1983). 99
- Figura 42** – TTG – fácies tonalítica: A e B – Aspecto geral da rocha (Al) (Luz transmitida e Pol // e X). B – Cristal de plagioclásio (Pl) com quartzo incluído (Qtz) (Luz transmitida e Pol // e X). D – Cristal de microclínio (Mc) com extinção ondulante (Luz transmitida e Pol //). E – Cristais de quartzo (Qtz) exibindo contato poligonal (Luz transmitida e Pol // e X). F – Cristal

- de quartzo (Qtz) mostrando migração de borda (Luz transmitida e Pol X). Abreviações conforme Kretz (1983)..... 100
- Figura 43** – *Augen*-ortognaisse sienítico: A – Aspecto geral da rocha mostrando textura granoblástica com pórfiro de microclínio (Mc) (Luz transmitida e Pol X). B – Porfiro de microclínio (Mc) e biotita (Bt) com alteração para muscovita (Luz transmitida e Pol X). C – Destaque para textura granoblástica suturada a poligonal com novos grãos de microclínio (Mc) e cristal de quartzo (Qtz) com lamelas de deformação e geração de subgrãos por recristalização dinâmica (Luz transmitida e Pol X) Abreviações conforme Kretz (1983)..... 101
- Figura 44** – Metamonzogranito: A e B – Aspecto geral da rocha mostrando textura granoblástica (Luz transmitida e Pol // e X). C – Detalhe da textura granoblástica suturada a poligonal com novos grãos de microclínio (Mc) e com presença de biotita (Bt) tabular (Luz transmitida e Pol X). D– Cristal de plagioclásio (Pl) com biotita (Bt) inclusa (Luz transmitida e Pol X). E – Cristais de plagioclásio (Pl) com contato suturado. (Luz transmitida e Pol X). Abreviações conforme Kretz (1983). 102
- Figura 45** – Metassienogranito: A – Aspecto geral da rocha (Luz transmitida e Pol X). B – Cristal de microclínio (Mc) (Luz transmitida e Pol X). C – Cristal de microclínio (Mc) mostrando crescimento peritítico (Luz transmitida e Pol X). Abreviações conforme Kretz (1983). 103

LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO

- Figura 1** – Área de estudo sobre o contexto do Cráton do São Francisco e a faixa de dobramento neoproterozoica Riacho do Pontal (ALMEIDA, 1977; ALCKMIN et al., 2006). 110
- Figura 2** – Mapa geológico simplificado da área de estudo com as ocorrências de formações ferríferas associadas ao Complexo Lagoa do Alegre, com os pontos de amostragens para análise química (♦) e localização da seção esquemática (★) - Folha Lagoa do Alegre, Bahia. 111
- Figura 3** (A, B e C) – Imagens do MEV dos cristais de zircão com pontos analisados das amostras AS-58A, AS-58B e AS-04, respectivamente. 114
- Figura 4** (A, B e C) – Diagramas concórdia das amostras AS-58A, AS-58B e AS-04, respectivamente. 116
- Figura 5** – Formação ferrífera (A1) – Fotografia mostrando visão geral das cristas alongadas na direção NNE/SSW, (A4Imff), próximo ao Sítio Barra Bonita, Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba. (A2 e A3) – Fotografia mostrando visão geral das cristas alongadas no sangradouro da barragem de Lagoa do Alegre (A4Imff). (B1) – Fotografia em planta de formação ferrífera, nível enriquecido em minerais máficos. (B2) – Fotografia de amostra de formação ferrífera com clinoanfíbólio (*cummingtonita-grunerita*), hábito acicular e orientado segundo o bandamento composicional. 119
- Figura 6** – Formação ferrífera (D1 e D2) – Fotografias em seção de afloramento com visão geral mostrando mesobandas, marcadas por níveis de magnetita+hematita±*cummingtonita-grunerita* e quartzo. (D3 a D6) – Fotografia de detalhe mostrando laminações, marcado por bandamento centimétrico e milimétrico de magnetita+hematita±*cummingtonita-grunerita* e quartzo, por vezes, crenulado. Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba. 120
- Figura 7** – Formação Ferrífera (C1) – Fotografia em seção de afloramento mostrando visão geral de formação ferrífera brechada, associada a zona de cisalhamento na direção NNE/SSW. (C2, C3 e C4) – Fotografias mostrando em corte formação ferrífera associada à zona de cisalhamento, com desenvolvimento de brechas e cimentação formada por óxi-hidróxidos de ferro e sílica. Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba. 121
- Figura 8** – Formação ferrífera (E1 e E2) – Fotografias em planta de afloramento com cristais eudrais de magnetita, pós-deformacionais, associados a eventos hidrotermais. Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba. (F1) Fotografia em seção de afloramento de formação ferríferas marcado pelo bandamento composicional (óxidos de ferro e sílica) dobrado em M. (F2) Fotografia em planta de afloramento de formação ferrífera com bandamento composicional crenulado. Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba. 122
- Figura 9** – Formação Ferrífera - (G1, G3 e G4) – Fotografias de afloramento com visão geral de formação ferrífera caracterizada por enriquecimento supergênico. (G2) – Fotografia de afloramento de formação ferrífera com enriquecimento supergênico, mostrando detalhe com aspecto botoidal. Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba. 123
- Figura 10** – Análises em microsonda em magnetita (A) e na sua fase hidratada (B) dos 5 tipos petrográficos das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre. 129
- Figura 11** – Gráfico de FeO x SiO₂ das análises feitas em borda-núcleo-borda (BNB) em magnetita dos 5 tipos petrográficos das formações ferríferas o Complexo Lagoa do Alegre. 130
- Figura 12** – Gráfico de FeO x SiO₂ das análises em perfil (seccionando) da magnetita das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre. 130
- Figura 13** – Classificação dos anfíbólios da série *cummingtonita-grunerita* (LEAKE et al., 1997) presentes no tipo petrográficos (cf. seção 8.7.1.2) das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre. 131
- Figura 14** – Classificação dos clinoanfíbólios (LEAKE et al., 1997) presentes nos tipos petrográficos (cf. seção 8.7.1.2 e 8.7.1.5) das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre. 132

- Figura 15** – Fotomicrografia - formações ferríferas . A – Mosaico exibindo a textura geral da rocha (Luz refletida). B – Cristal de magnetita (Mag) parcialmente martitizada, com núcleo magnetítico preservado e bordas transformados em hematita (Hem) (Luz refletida). C – Cristais de opacos alterados em uma fase hidratada de ferro (MgOH) (Luz transmitida). D – Cristal de magnetita exibindo feições de dissoluções. (Luz refletida). E – Cristal de quartzo com lamelas de deformação e biotita inclusa (Bt) (Luz transmitida). Abreviações conforme Kretz (1983)..... 135
- Figura 16** – Fotomicrografia - formação Ferrífera - (A e B): Visão geral com bandamento dobrado. C – Cristais de quartzo (Qtz) exibindo trama poligonal (Luz transmitida e Pol X). D – Cristais de clinofibólio (*cumingtonita-grunerita*) exibindo maclas polissintéticas (Luz transmitida e Po X) E - Cristais de magnetita parcialmente martitizada (luz refletida). F - Cristais de opacos alterados em uma fase hidratada de ferro (MgOH) (Luz transmitida e Pol //). G – Cristais de clinofibólio (Cam) (*cumingtonita-grunerita*) exibindo feições de microdeformação (milonitização e dobras do tipo *kink band*) (Luz transmitida e Pol //). H – Cristal de magnetita (Mag) idioblástica com piritita (Py) inclusa (Luz transmitida). G – Cristais de clinofibólio (Cam) pertencentes a sério tremolita-actinolita (Luz transmitida). I – Cristais de quartzo com paletas de biotita associadas (Luz transmitida e Pol X) (Bt). H – Fratura cortando o bandamento e preenchida por magnetita (Mag) parcialmente martitizada (Luz refletida). Abreviações conforme Kretz (1983). 136
- Figura 17** – Fotomicrografia – formação Ferrífera (A e B) – Aspectos gerais da rocha. C – Cristais de quartzo (Qtz) mostrando contato com junção tríplice (Luz transmitida e Pol. X). D – Mesma feição observada em B – Cristais de quartzo (Qtz) em cinza mostrando contato com junção tríplice com destaque para os cristais de magnetita (Mag) martitizada (Luz refletida). E – Cristais de magnetita parcialmente martitizada (luz refletida). Abreviações conforme Kretz (1983). 137
- Figura 18. Fotomicrografia – formação Ferrífera (A) – Aspecto geral da rocha exibindo textura bechada (Luz transmitida e Pol //). B e C – Cristal de quartzo (Qtz) preservado com cristais de opacos alterados em uma fase hidratada de ferro (MgOH), associado a fragmentos de formação ferrífera (Luz transmitida e Pol // e Pol X). D e E – Aspecto da formação ferrífera cortada por veio de quartzo (Qtz) (Luz transmitida). F – Detalhe de D e E mostrando cristal de magnetita (Mag) fraturada e preenchida por quartzo (Qtz) (Luz transmitida e Pol //). G – Cristais de magnetita (Mag) parcialmente martitizada e brechada (Luz refletida). Abreviações conforme Kretz (1983)..... 138
- Figura 19** – Fotomicrografia – formação ferrífera (A) – Aspecto da rocha com esqueletos de cristais de clinofibólio (Cam) alterados em uma fase hidratada de ferro (MgOH) (Luz transmitida e Pol //). B – Cristais de magnetita (Mag) parcialmente martitizada. C – Aspecto geral da rocha associada a magnetita primária alterada para fase hidratada de ferro (MgOH) (Luz transmitida e Pol X). D – Detalhe da foto anterior para destaque para os cristais de óxidos na fase hidrata de ferro (MgOH), magnetita primária (Mag) com sílica criptocristalina (Luz refletida) formando textura esferulítica. E – Detalhe da fase hidratada do óxido de ferro com porção de magnetita (Mag) associada (Luz transmitida e Pol // e X). F – Quartzo com borda de sílica hidratada (Opala) e ferro na fase hidratada (Luz transmitida), mostrando textura esferulítica. Abreviações conforme Kretz (1983). 139
- Figura 20** – Classificação dos piroxênios (LEAKE et al., 1997) presentes em metaultramáfica hidrotermalizada do Complexo Lagoa do Alegre..... 141
- Figura 21** – Classificação de clinofibólio (LEAKE et al., 1997) presente em metaultramáfica hidrotermalizada do Complexo Lagoa do Alegre..... 141
- Figura 22** – Fotomicrografia - Metaultramáfica hidrotermalizada: A e B – Aspecto geral da rocha, mostrando textura cumulática com cristais de clinopiroxênio (Cam) (Luz transmitida e Pol // e X). C e D – Cristal de clinopiroxênio (Cam) poiquilítica com inclusão de esfeno (Luz transmitida e Pol //). E e F – Detalhe da textura cumulática com olivina substituída por sílica criptocristalina (quartzo – Qtz) e bordeada por óxido de ferro na fase hidratada (Luz transmitida e Pol //). Abreviações conforme Kretz (1983). 144
- Figura 23** - Subdivisão das amostras baseada presença de *cumingtonita-grunerita*, teor de MgO%. 145

- Figuras 24** – (A) Correlação entre $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_2(\%)$, mostrando correlação negativa para ambos os grupos.(B) Correlação entre $\text{MgO} \times \text{MnO}(\%)$, mostrando correlação positiva para as amostras e subdivisão dos grupos, refletindo o enriquecimento de Mg e Mn no grupo $\text{Mg} > 1\%$, devido a presença dos clinoanfíbios (C) Correlação entre $\text{MnO} \times \text{Fe}_2\text{O}_3 (\%)$, mostrando a definição de dois grupos, similar ao comportamento do $\text{MgO} \times \text{Fe}_2\text{O}_3 (\%)$. (D) Correlação entre $\text{P}_2\text{O}_5 \times \text{Fe}_2\text{O}_3 (\%)$, mostrando baixa concentração de fósforo, apenas destaque para a amostra AS-005C que tem enriquecimento por efeito de hidrotermalismo..... 149
- Figuras 25** – Continuação (A e B) Correlação entre $\text{CaO} \times \text{Fe}_2\text{O}_3 (\%)$ e $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Fe}_2\text{O}_3 (\%)$, mostrando baixa concentração de cálcio e alumínio, apenas destaque para a amostra AS-005C que tem enriquecimento por efeito de hidrotermalismo. (C) Comparação com a médias dos elementos maiores em forma de óxidos das principais formações ferríferas mundialmente conhecidas, em que mostra o comportamento semelhantes das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre com as demais ocorrências que ocorrem no mundo. 150
- Figura 26** – Gráfico com os principais elementos traços normalizados ao PAAS (TAYLOR; McCLENNAN,1985), onde se observa que ambos os grupos de formação ferrífera são enriquecidas em Zn e Mo quando comparada aos demais elementos traços. 151
- Figura 27** – Gráfico do comportamento de ETR normalizado ao Condrito (ANDERS; GREVESSE,1989), em se observa forte enriquecimento em ETRL em relação ao ETRP para ambos os grupos, anomalia negativa de Ce, anomalia de Eu variando de negativa a fracamente positiva e a anomalia positiva de Y para ambos os grupos..... 154
- Figura 28** – Gráfico de com o comportamento de ETR normalizado ao PAAS (TAYLOR; McCLENNAN, 1985), observa-se comportamento similar ao normalizado por Condrito (ANDERS; GREVESSE,1989), com forte enriquecimento em ETRL em relação ao ETRP para ambos os grupos, anomalia negativa Ce, anomalia de Eu variando de negativa a fracamente positiva e a anomalia positiva de Y para ambos os grupos..... 155
- Figuras 29** - (A) - Gráfico de ETR normalizado por Condrito (Anders e Grevesse,1989), com a média dos valores dos grupos ($\text{Mg} < 1\%$ e $\text{Mg} > 1\%$) das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre, de Isua 3.8Ga (DAUPHAS, 2007); de Kuruman 2.5Ga (PICKARD, 2003) e das Água do oceano pacífico (ALIBO E NOKSAKI, 1998). Observa-se que os variogramas dos grupos $\text{Mg} < 1\%$ e $\text{Mg} > 1\%$ das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre apresentam comportamento semelhante de Isua, com enriquecimento de ETRL em relação ao ETRP, mas observa-se que as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre apresentam leve anomalia negativa de Eu, enquanto que Isua, essa anomalia é positiva..... 157
- Figura 30** – O gráfico de evolução do $\epsilon\text{Nd} (T)$ ao longo do tempo T mostra há uma dispersão dos dados das amostras, mas há um conjunto com T_{DM} de $\sim 2,5\text{Ga}$, sendo interpretado com a idade máxima da sedimentação.. 159
- Figura 31** – Seção esquemática de afloramento de formação ferrífera na direção NNW/SSE associada a zona transpressional sinistral-reversa, com transporte tectônico de sul para norte, geração de brechamento e intrusão granítica. Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba 160
- Figura 32** – Correlação entre $\text{Pr}/\text{Pr}^*_{(\text{SN})}$ X $\text{Ce}/\text{Ce}^*_{(\text{SN})}$, evidencia que as anomalias de cério são verdadeiramente negativas, típica deposição em águas de ambiente oxidante, o Complexo Lagoa do Alegre experimentou momentos de condições oxidante..... 162
- Figura 33 A e B** – (A) Gráfico $\text{Ce}/\text{Ce}^*_{(\text{SN})}$ vs. Al_2O_3 demonstra que os valores de alumínio não influenciaram no padrão da anomalia de Ce, corroborando com a pouca ou ausência de contribuição detritica na bacia. (B) Gráfico $\text{Ce}/\text{Ce}^*_{(\text{SN})}$ vs. Y/Ho corrobora e mostra que para ambos os grupos as amostras não interceptam o campo de contaminação pelas argilas (PECOITS, 2010), mostrando a ausência de contaminação clásticas para as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre. 163
- Figura 34** – Gráfico de $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{(\text{SN})}$ vs ΣREE , em que mostra que parte de ambos os grupos, apresenta anomalias positivas de $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{(\text{SN})}$, correlacionando-se com as formações ferríferas paleoarqueanas – Isua (3.8 Ga) (BOLHAR *et. al.*, 2004), que sofreram grande contribuição de

- fluidos de alta temperatura ($T > 300\text{C}$). Em contra partida, parte de ambos os grupos apresenta características similar a Kuruman (2.5Ga) (MOREY, 1983; TRENDALL; BLOCKLEY, 2004)... 165
- Figura 35** – Gráfico de Y (ppm) vs. (Y/Ho), em que é possível observar que ambos os grupos pertencentes às formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre não sofreram influência de águas continentais no período da deposição e assimilaram parte da assinatura das águas oceânicas. Destaca-se a amostra AS-005C que está associada à zona de redobramento e metassomatismo. 166
- Figura 36** – Gráfico de correlação entre Y(ppm) vs. ΣREE mostra que a deposição das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre, para ambos os grupos ($\text{Mg} < 1\%$ e $\text{Mg} > 1\%$) ocorreram em uma bacia com profundidade superior a 500m, com contribuição de soluções de alta temperatura e correlacionáveis às formações ferríferas de Isua de 3.8 Ga (BOLHAR et al., 2004). 166
- Figuras 37** – (A) Gráfico Sm/Yb ($_{\text{SN}}$) vs. $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{(\text{SN})}$ as formações ferríferas, grupos $\text{Mg} < 1\%$ e $\text{Mg} > 1\%$, apresentam afinidades com as formações ferríferas de Isua (3.8Ga), com os depósitos ferromagnesíferos da região do pacífico norte e com a água do mar (BAU; DULSKI, 1996a, 1996b). (B) Para correlação entre razões Y/Ho vs. Eu/Sm , ambos os grupos das formações ferríferas apresentam comportamento similar a correlação Sm/Yb ($_{\text{SN}}$) vs. $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{(\text{SN})}$, embora parte das amostras das formações ferríferas de ambos os grupos apresentam influência das águas oceânicas e afinidades com as formações ferríferas de Kuruman (2.5 Ga.) e de Isua (3.8 Ga). (C) No gráfico Y/Ho vs. Sm/Yb mostra-se que as formações ferríferas apresentam contribuição de fluidos hidrotermais de alta temperatura ($T > 350\text{C}$), destacando-se a amostra do AS-005C, pertencente ao grupo $\text{Mg} < 1\%$ que está associada à zona de redobramento e intenso hidrotermalismo. 168
- Figuras 38** – (A) Gráfico $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{(\text{SN})}$ vs. T_{DM} mostra que há predominância de anomalias negativas de $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{(\text{SN})}$ e que duas amostras do grupo $\text{Mg} < 1\%$ e uma amostra do grupo $\text{Mg} > 1\%$ apresentam anomalias positivas de $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{(\text{SN})}$. (B) Na correlação entre Y/Ho vs. T_{DM} , mostra que a contribuição continental é pouco expressiva para ambos os grupos e há um predomínio das razões Y/Ho > 30 , sendo interpretadas como depositadas em zonas intermediárias, com contribuição de soluções hidrotermais de alta temperatura. (C) A correlação $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{(\text{SN})}$ vs. $\text{Ce}/\text{Ce}^*_{(\text{SN})}$ corrobora com o gráfico (B) e mostra que parte de amostras de ambos os grupos ($\text{Mg} < 1\%$ e $\text{Mg} > 1\%$) apresentam anomalia positiva de Eu (zona de alta temperatura). Quando se afasta da fonte hidrotermal, essas anomalias tendem a ficar negativas, associada à solução de baixa temperatura, que pode ser sugestiva de mistura de soluções hidrotermais de alta temperatura com a água do mar em uma ambiente oxidante. 178
- Figuras 39** (A, B e C) – Gráficos mostram o comportamento ao longo do tempo das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre (grupos $\text{Mg} < 1\%$ e $\text{Mg} > 1\%$) comparadas aos dados de Isua (3.8Ga; BOLHAR et al., 2004) e Kuruman (2.5Ga.; BAU; DULSKI, 1996a, 1996b), utilizando as anomalias de $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{(\text{SN})}$, $\text{Ce}/\text{Ce}^*_{(\text{SN})}$, $\text{Pr}/\text{Yb}_{(\text{SN})}$ e Y/Ho (respectivamente). (A) Mostra que as anomalias positivas de $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{(\text{SN})}$ são o registro das formações ferríferas arqueanas e essas tendem a ficar de fraca a negativa no paleoproterozóico (ALEXANDER et al., 2008), conforme pode ser analisado para as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre e de Kuruman (2.5G; BAU; DULSKI, 1996a). B, C e D apontam que o estado redox ao longo do tempo na bacia de deposição das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre apresentava estado predominantemente oxidante, dada a elevada razão de ETRL sobre os ETRP e elevadas razões de Y/Ho, semelhante às formações ferríferas arqueanas e paleoproterozóicas. 179
- Figura 40** – Comparação com a médias dos elementos maiores em forma de óxidos das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre, Carajás (LINDENMAYER et al., 2001) e Quadrilátero Ferríferos (SPIER, 2005). 181
- Figura 41** - Comparação com a médias dos elementos maiores em forma de óxidos das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre, Carajás (LINDENMAYER et al., 2001) e Quadrilátero Ferríferos (SPIER, 2005). 181

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Dados de análise em microsonda eletrônica em cristais de biotita na fácies tonalito-gnaiss em ortognaiss do Complex Remanso-Sobradinho.	94
--	----

LISTA DE TABELA DO ARTIGO

Tabela 1 – Características dos 5 tipos petrográficos das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre	127
Tabela 2 – Dados de análise em microsonda eletrônica em óxidos de ferro e da fase hidratada dos 5 tipos petrográficos pertencentes às formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre....	128
Tabela 3 – Percentual da predominância do clinoanfíbólio da série <i>cummingtonita-grunerita</i> nas amostras analisadas dos tipos petrográficos I, II, III e V das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre	130
Tabela 4 – Dados de análise em microsonda eletrônica em anfíbólio do grupo da <i>cummingtonita-grunerita</i> presentes nos tipos petrográficos (cf. seções 8.7.1.1, 8.7.1.2, 8.7.1.3 e 8.7.1.5), pertencentes às formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre.	132
Tabela 5 – Dados de análise em microsonda eletrônica em clinoanfíbólio presentes nos tipos petrográficos (cf. seção 8.7.1.2), pertencente às formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre.....	133
Tabela 7 – Dados de análise em microsonda eletrônica em cristais de piroxênio em rocha metaltramáfica, associada às formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre	141
Tabela 8 - Dados de análise em microsonda eletrônica em cristais de anfíbólio em rocha metaltramáfica, associada às formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre	142
Tabela 8 – Subdivisão das amostras baseadas na presença dos anfibólios da série <i>grunerita-cummingtonita</i> , teor de ferro (Fe_2O_3) sílica (SiO_2) e magnésio (MgO)	144
Tabela 9 – Análises químicas das amostras de formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre	145
Tabela 10 – Análises químicas dos Elementos Terras Raras das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre	152
Tabela 11 – Dados de Isótopos de Sm-Nd das nove amostras analisadas das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre	157

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	32
2	OBJETIVOS	34
3	METODOLOGIA	34
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	37
4.1	CLASSIFICAÇÃO CONFORME A LITERATURA.....	37
4.1.1	Espacial.....	39
4.1.2	Temporal	39
4.2	CARACTERÍSTICAS DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DA AUSTRÁLIA, ÁFRICA DO SUL, GROELÂNDIA, CANADÁ, EUA E BRASIL.....	41
4.3	METAMORFISMO	43
4.4	QUÍMICA DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS.....	45
4.4.1	Média dos elementos maiores das Formações Ferríferas	45
4.4.2	Elementos traços nas formações ferríferas.....	46
4.4.3	Elementos Terras Raras nas Formações Ferríferas	47
4.5	OS COMPORTAMENTOS DE Fe ⁺² E Fe ⁺³ , SÍLICA EM SOLUÇÃO E O AMBIENTE DEPOSICIONAL	48
4.5.1	Fe²⁺ e Fe³⁺ em Solução	49
4.5.2	Sílica em Solução	50
4.6.3.	Ambiente Depositional das Formações Ferríferas	50
4.6	A ORIGEM DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS PRÉ-CAMBRIANAS	51
4.6.1	Fonte da Sílica e do Ferro	51
5	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	55
6	COMPLEXO LAGOA DO ALEGRE	63
6.1	UNIDADE METAVULCANOSSEDIMENTAR QUÍMICO-EXALATIVA: MACAMBIRA (A4Im).....	63
6.1.1	Unidade Associação Indivisa (A4Imi).....	63
6.1.2	Quartzito (A4Imqt).....	65
6.1.3	Metabásicas/Metaultrabásicas (A4Immu)	65
6.2	UNIDADE METASSEDIMENTAR: MINADORZINHO (A4In).....	70

6.2.1 Quartzito (A4Inqt)	70
6.2.2 Biotita xisto/Paragnaisse/Biotita gnaïsse (A4Inxpg).....	70
6.2.3 Micaxisto (A4Inx).....	71
7 PETROGRAFIA DAS ROCHAS DO COMPLEXO LAGOA DO ALEGRE, GRANITOS ASSOCIADOS E DO EMBASAMENTO CRISTALINO (TTG).	74
7.1 PETROGRAFIA DAS ROCHAS DO COMPLEXO LAGOA DO ALEGRE.....	74
7.1.1 Biotita xisto	74
7.1.2 Plagioclásio-microclínio xisto	74
7.1.3 Microclínio-biotita gnaïsse	75
7.1.4 Paragnaisse	76
7.1.5 Quartzito.....	76
7.1.6 Grafita Xisto	77
7.1.7 Metapiroxenito.....	83
7.1.8 Metaultramáfica hidrotermalizada	84
7.1.9 Plagioclásio actinolitita fels	85
7.1.10 Magnetita anfíbolito	86
7.2.1 Complexo Gnáïssico Migmatítico Remanso Sobradinho (TTG)	92
a) Granodiorito porfirítico	92
b) Tonalito/Granodiorito Gnaïsse.....	93
7.2.2 Augen ortognaisse sienítico	96
7.2.3 Metassienogranito.....	97
7.2.4 Metamonzogranito	98
8. ARTIGO: CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DO COMPLEXO LAGOA DO ALEGRE (BA) COM BASE EM ESTUDOS GEOLÓGICOS, PETROLÓGICOS E ISOTÓPICOS	104
9 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	176
10 REFERÊNCIAS	179
APÊNDICE	184
1. Tabela de dados das análises de química mineral	185
2. Laudos Analíticos dos resultados das análises em rocha total em amostras de formação ferrífera.....	186

3. Laudos Analíticos dos resultados das análises de isótopos Sm/Nd em amostras de formação ferrífera e U-Pb <i>SHRIMP</i> em zircão em otorgnaisses	187
---	-----

1 INTRODUÇÃO

As formações ferríferas são precipitados químicos caracterizados pela presença de camadas alternantes ricas em ferro e sílica amorfa (JAMES, 1954; KLIEN, 2005). Esse acamadamento composicional é expresso em diversas escalas, de finas lâminas submilimétricas a bandas métricas. Mesmo numa escala microscópica, o limite entre as camadas ferruginosas e silicosas é claramente abrupto.

A compreensão da origem de formações fornece um entendimento sobre quais as condições existentes na litosfera, hidrosfera e atmosfera primitivas, além de fornecer informações referentes aos ambientes deposicionais, velocidade de acumulação e fonte de ferro/sílica.

Diversos estudos têm sido realizados utilizando a geoquímica de elementos maiores, traços, ETR e isótopos de Sm/Nd no sentido de compreender as condições paleambientais, as quais foram depositadas o ferro e a sílica (KLIEN, 2005; ALEXANDER et al., 2008; FREI et al., 2008).

A mais antiga ocorrência de formações ferríferas pré-cambriano tem seu registro em 3.8 Ga, porém foi no Neoarqueano e Paleoproterozóico que se testemunharam os maiores registros geológicos (JAMES, 1983; TRENDALL, 2002). Em 1.85 Ga, esses depósitos foram interrompidos devido a uma grande mudança na química do oceano e na atmosfera (HOLANDA, 1984). O reaparecimento repentino ocorre após um hiato 1 Ga no registro sedimentar e tem sido considerada como uma característica geológica única do Neoproterozóico (HOLANDA, 2005; BEKKER et al., 2010). Grandes depósitos de formações ferríferas estão ausentes durante o intervalo de idade 1,85-1,0 Ga, mas várias pequenas formações e unidades litológicas ricas em ferro em sucessões de rochas sedimentares são conhecidas. Alguns dos exemplos de depósitos anômalos e pequenas incluem a formação Sherwin e o Membro Munyi da Formação Corcoran no norte da Austrália (ABBOTT; SWEET, 2000), e algumas das formações ferríferas relacionados com depósitos de Vulcano-máfico-sedimentar (VMS) pertencentes ao Mesoproterozóico (BEKKER et al., 2010).

No entanto, as formações ferríferas meso-neoproterozóico são muito diferentes das arqueanas-paleoproterozóicas. Por exemplo, a composição consiste em camadas de hematita e jaspe, por vezes, pouco desenvolvida ou totalmente ausente alguns bandamentos. As formações ferríferas neoproterozóicas ocorrem como laminado ferruginoso ou como matriz em

diamictito. As formações ferríferas arqueanas e paleoproterozóicas normalmente apresentam diferentes graus de metamorfismo e são dominadas por magnetita. Em contraste, essas rochas no meso-neoproterozóico não são metamorfozadas, ou foram submetidas, geralmente, a baixo grau de metamorfismo, com hematita como o mineral dominante. Além disso, não há uma compreensão sobre a fonte do ferro e o processo de oxidação de Fe^{+2} para Fe^{+3} nas ocorrências Meso-Neoproterozóico (BEKKER et al., 2010).

As formações ferríferas não são apenas importantes fontes de minério de ferro para a indústria, mas também têm sido fundamentais para os estudos de investigação relacionadas com a evolução da vida, oceanos e da atmosfera no Arqueano e Proterozóico (BEKKER et al., 2010).

Nesse contexto, no qual se estabelece o objeto de estudo deste trabalho, ocorrem as formações ferríferas associadas às rochas vulcanossedimentares do Complexo Lagoa do Alegre, que estão localizadas no extremo norte da Bahia; e do ponto de vista geológico, em uma área cratônica e com forte influência da tectônica brasileira.

Não há, na área, estudos específicos para compreensão dessas formações ferríferas e os únicos registros na bibliografia são trabalhos de mapeamento realizado pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil que não tiveram o objetivo de caracterizar e compreender a sua gênese (SOUZA et al., 1979). Nesse sentido, o desenvolvimento deste trabalho, que também está em formato de artigo a ser submetido em uma revista científica relacionada ao tema: *Caracterização e gênese das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre (BA) com base em estudos geológicos, petrológicos e isotópicos*, vem no sentido de contribuir para o entendimento e compressão das ocorrências dessas rochas no Complexo Vulcanossedimentar do Complexo Lagoa do Alegre, de maneira a contribuir para a compreensão desse depósito e para a prospecção de ferro.

2 OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivo principal a caracterização geológica das ocorrências de ferro na região de Lagoa do Alegre, extremo norte da Bahia. Como objetivos específicos, destacam-se:

- a) delimitação de ocorrências de ferro previamente selecionadas por meio de mapeamento;
- b) caracterização geológica, petrológica e isotópica das formações ferríferas;
- c) caracterização geológica, petrográfica e petrológica das encaixantes e rochas associadas às formações ferríferas;
- d) estudo isotópico Sm-Nd das formações ferríferas e obtenção de idade U-Pb em zircão de rochas encaixantes das formações ferríferas; e
- e) integração dos dados obtidos com os dados já existentes na literatura para a compreensão da origem do ferro das formações ferríferas.

3 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos, os seguintes métodos de pesquisa foram utilizados:

- a) Revisão bibliográfica sobre a geologia regional e local, além de levantamento do estado da arte sobre conceitos e classificações das formações ferríferas. Esse estudo visou à fundamentação teórica através da compreensão e análise crítica dos trabalhos realizados na região em foco, tendo como destaque, os trabalhos realizados pelo Serviço Geológico do Brasil em 1970. Associado ao levantamento dos trabalhos realizados na região de estudo, fez-se necessário o estudo dos principais depósitos e ocorrência de ferro, vinculados às formações ferríferas mundialmente conhecidas, para compreender e comparar com as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre;
- b) Elaboração de mapa preliminar com dados anteriores geológicos, aerogeofísicos e imagens de satélite. Nesta etapa foram usados os principais sensores remotos, tais como: fotografia aérea na escala 1:50.000, imagens de satélite e radar, além de aerogofísica com espaçamento de 500m. A partir da utilização das multitécnicas do sensoriamento remoto que forneceram subsídios para a confecção do mapa preliminar utilizado no campo;

- c) Mapeamento geológico sistemático das ocorrências das formações ferríferas e suas encaixantes, para delimitação das ocorrências e realização de seções regionais e de detalhe nas áreas pré-selecionadas. Essa etapa correspondeu ao estudo de campo e delimitação das formações ferríferas, sua relação com as demais rochas do Complexo Lagoa do Alegre e com o embasamento da bacia de deposição das formações ferríferas, constituídas por ortognaisses do tipo TTG e augen-ortognaisses de idade mesoarqueano, além de granitos associados à granitogênese paleoproterozóica. Nesta fase, foram coletas amostras para etapa que está descrita abaixo;
- d) Estudo petrográfico das formações ferríferas, rochas encaixantes e consistiu na confecção de 78 lâminas polidas. O estudo foi realizado em microscópio petrográfico acoplado com câmara fotográfica digital no Laboratório de Mineralogia da CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Essa etapa permitiu definir e compreender os aspectos texturais, paragêneses e alterações minerais. Com base no estudo petrográfico, foram selecionadas 23 lâminas polidas das formações ferríferas e uma lâmina polida de totalito-gnaiss do Complexo Remanso-Sobradinho para o estudo da química mineral;
- e) Para o estudo da química mineral, foram separadas 24 lâminas polidas e as mesmas foram previamente preparadas, metalizadas em seguida. As análises foram realizadas em microsonda eletrônica JEOL modelo JXA 8900RL, no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, sob as seguintes condições de operação: tensão 15 Kv, corrente 20 nA e diâmetro do feixe 1-10 μm . Os dados foram tratados no software *Excel 2010* e os arquivos oriundos do tratamento, obtidos das análises, estão dispostos em apêndice no final da seção da dissertação;
- f) Das 78 amostras que foram selecionadas para o estudo petrográfico, 16 amostras de formações ferríferas foram pulverizadas no laboratório de preparação de amostras da CPRM-Serviço Geológico do Brasil e condicionadas em frascos de polietileno. Posteriormente, foram encaminhadas para o Laboratório Acme (Canadá), onde a abundância total dos óxidos de elementos maiores e de elementos traços é determinada a partir da fusão de 0,2g de amostra com metaborato/tetraborato de lítio, digestão com ácido nítrico diluído e análise por ICP-OES. A perda ao fogo é dada pela diferença de peso após fusão a 1000°C. Metais preciosos e metais básicos foram determinados após digestão de 0,5g de amostra com Água Régia e posterior análise em ICP-MS. Foram realizadas determinações de elementos maiores, traços e terras raras em dezesseis amostras de

formações ferríferas e os dados foram tratados utilizando os *softwares StatisticaV10, Excel 2010 e GCDkit 2.3*;

- g) Com as 16 amostras de formação ferrífera que foram usadas para análise de química total, nove (09) amostras foram analisadas para Isótopos de Sm/Nd. As análises isotópicas de Sm e Nd foram realizadas no Laboratório de Geocronologia da Universidade de Brasília (UnB) e a metodologia empregada segue os procedimentos definidos em Gioia e Pimentel (2000). Além disso, 3 amostras de ortognaisses que compõem o substrato da bacia de deposição foram selecionadas para o estudo geocronológico utilizando cristais de zircão em SHRIMP, no Centro de Pesquisa Geocronológica (Cpgeo) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- h) Tratamento e interpretação dos dados;
- i) Redação e submissão de artigo científico e conclusão da dissertação.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O termo formação ferrífera foi atribuído por James (1954) e adaptado por Trendall (2002) e Klein (2005) como: sedimento químico, acamadado, fina ou laminada, cuja característica principal é um teor alto de Fe (>15%), contendo comumente, camadas de *chert*. São depósitos sedimentares de camadas alternadas de minerais ricos em ferro (~20-40% de Fe) e silicosos (~40-50% de SiO₂) que precipitaram entre o Paleoaqueano (3,6Ga) e o Paleoproterozoico (2,5-1,8 Ga), ressurgindo no Neoproterozoico (~0,8 Ga). Além das formações ferríferas, ocorrem as GIF's que são formações ferríferas granulares, resultantes do retrabalhamento destes depósitos.

Várias são as denominações das formações ferríferas e a depender de onde ocorrem, são chamadas por: Itabirito no Quadrilátero Ferrífero – Brasil; Banded Hematite quartzite (BHQ) – Índia; Taconito – Região do Lago Superior - Canadá e EUA; Ironstone - África e Jaspilito – Austrália.

4.1 CLASSIFICAÇÃO CONFORME A LITERATURA

As formações ferríferas têm sido classificadas com base na composição mineralógica (JAMES, 1954, 1966), ambiente tectônico proposto (GROSS, 1965) e ambiente deposicional (SIMONSON, 1985). O conceito original de fácies de James (1954) incluía formação ferrífera das fácies óxido, silicato e carbonato, correspondendo a diferentes profundidades de água; mas os estudos de Groves et al. (1987) apontaram uma quarta fase (sulfeto), associada ao ambiente fortemente redutor, contendo pirita [FeS₂] e/ou pirrotita [Fe_{1-x}S] (cf. Figura 1). Assim, podem ser descritos quatro tipos, a saber:

a) formação ferrífera rica em óxidos consiste tipicamente em bandas alternantes de magnetita com [Fe²⁺Fe₂³⁺O₄], hematita [Fe₂³⁺O₃], onde o óxido de ferro dominante é magnetita, podendo estar presente também siderita [Fe²⁺CO₃] e silicato de ferro (James, 1966);

b) formação ferrífera rica em silicato é dominada pelos minerais greenalita [(Fe²⁺, Mg)₆Si₄O₁₀(OH)₈], minnesotaíta [(Fe²⁺, Mg)₃Si₄O₁₀(OH)₂] e estilpnomelano (flossilicato complexo). A mineralogia primária variada desses silicatos de ferro hidratados, carbonatos e cherts em formações ferríferas da fácies silicato são especialmente tendentes à recristalização metamórfica;

c) formação ferrífera rica em carbonatos é usualmente dominada pelos minerais ankerita $[\text{CaFe}^{2+}(\text{CO}_3)_2]$ e siderita.

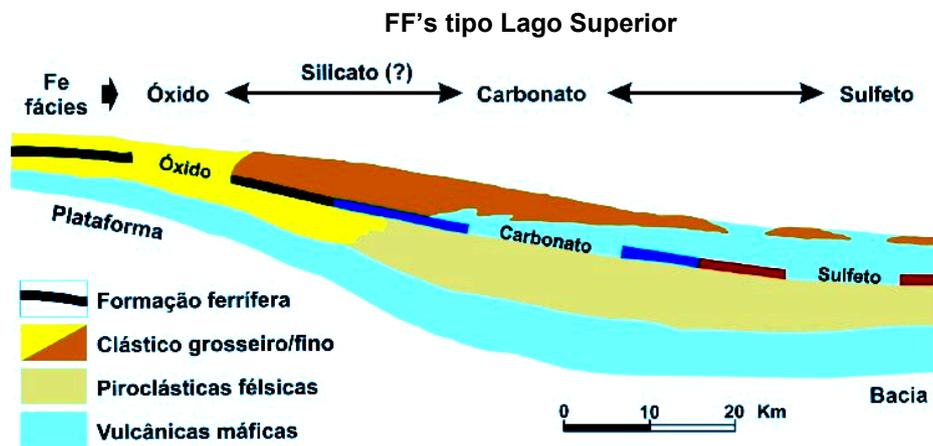


Figura 1 – Seção esquemática com as fácies presente nas formações ferríferas (óxido, silicato, carbonato e sulfetada) definida por James (1954) e Groves et al., 1987.

Gross (1965) infere um ambiente tectônico com base no tamanho e associações litológicas (Figura 2) das formações ferríferas.

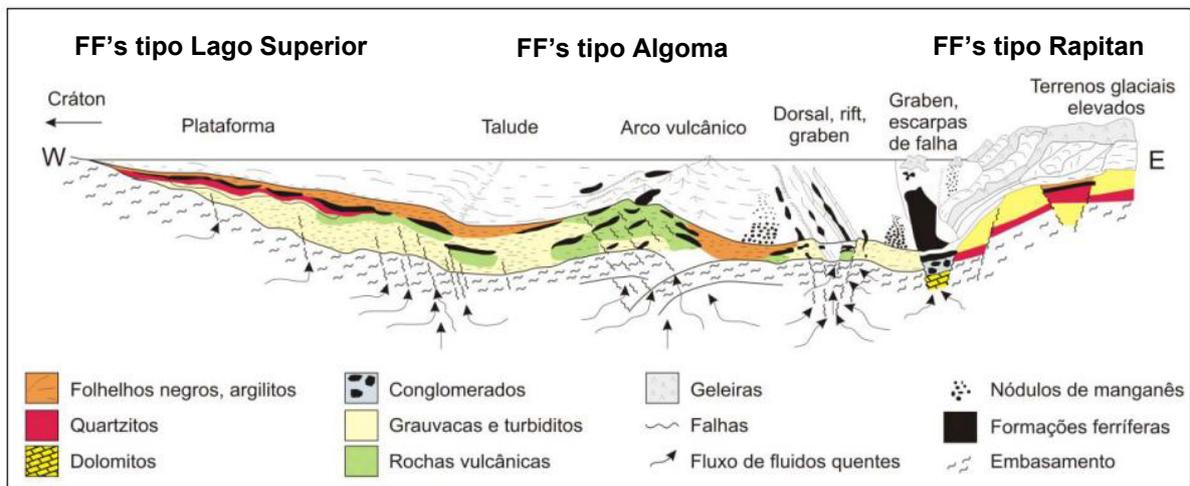


Figura 2 – Classificação e ocorrência das formações ferríferas baseado em ambiente tectônico definido por Gross (1965).

d) formações ferríferas do tipo Algoma são relativamente pequenas e associadas a rochas vulcanogênicas e o conteúdo total de ferro primário raramente excede 10^{10} t (JAMES; TRENDALL, 1982). Extensões laterais típicas são <10 km, com espessuras entre 10 e 100 m, e ambientes deposicionais favorecidos para esse tipo de Formações ferríferas incluem bacias de

arco de ilhas/retroarco e zonas de rifte intracratônico (Gross, 1983). Por outro lado, as formações ferríferas do tipo Superior são maiores e associadas com outras unidades sedimentares (Figura 2), com o conteúdo total de Fe primário excedendo 10^{13} t (JAMES; TRENDALL, 1982). A deposição ocorreu em condições marinhas relativamente rasas sob mares em transgressão (SIMONSON; HASSLER, 1996), e sobre as plataformas continentais de margens tectônicas passivas (GROSS, 1965);

e) formações ferríferas do tipo *Rapitan* são caracterizadas por depósitos associados à sedimentação em ambiente glaciogênico (GROSS, 1983).

4.1.1 Espacial

Além das formações ferríferas paleoarqueanas de Isua, grandes depósitos mesoarqueanos ocorrem no Escudo da Guiana na Venezuela e na Guiana, e no Escudo da Libéria na Sierra Leoa, Guiné, Libéria, e Costa do Marfim. A cratonização no neoarqueano está relacionada com a criação de cinturões complexos, denominados *greenstone belts* e os mais antigos (3,4 Ga) são identificados no Cráton Kaapvaal. Sequências tipo Algoma são comuns em *greenstone belts* em todo o mundo, onde são associadas com vulcânicas (ultra) máficas. Exemplos incluem o distrito Vermilion do norte de Minnesota e o distrito Michipicoten no centro-norte de Ontário. Além disso, outras formações ferríferas neoarqueanas são encontradas no Bloco Yilgarn no oeste da Austrália e no cráton de Zimbábue (Figura 3).

As sequências tipo Superior incluem o Grupo Hamersley, o Supergrupo Transvaal, o Supergrupo Minas e depósitos na Fossa Labrador-Bacia Animikie incluindo as formações ferríferas Sokoman, Gunflint e Biwabik. Além disso, as províncias do Quadrilátero Ferrífero e Carajás no Brasil ocorrem formações ferríferas associadas a sequências vulcano-sedimentares, *greenstone belt's* de idade meso-neoarqueana.

4.1.2 Temporal

A curva esquemática de abundância relativa para Formações ferríferas pré-cambrianas como uma função da idade é mostrada na Figura 4. A curva é adaptada daquela de Gole e Klein (1981a) e representa uma estimativa do volume total de formação ferrífera (não de minério de Fe) tabuladas por James (1983) em relação a um máximo representado pelo volume

total de formação ferrífera da Cadeia Hamersley, oeste da Austrália. Gole e Klein (1981a) inferem que o tamanho e extensão de Formações ferríferas arqueanas têm sido subestimados devidos às deformações e desmembradas tectônicas, sendo exposto apenas parcialmente, o que leva a uma subestimação de seu tamanho e volume original. No entanto, há concordância geral que as formações ferríferas maiores são aquelas da Cadeia Hamersley, oeste da Austrália (com idade variando de ~2,6 a 2,45 Ga) (TRENDALL et al. , 2004; TRENDALL et al., 1970), e o Supergrupo Transvaal, África do Sul, com ~2,5 a 2,3 Ga (KLEIN, 2005; KLEIN; BEUKES, 1989). Além disso, observa-se, conforme Figura 4, que há um declínio formações ferríferas no registro pré-cambriano em ~1,8 Ga, e o retorno de diversas Formações ferríferas no registro entre 0,8 e 0,6 Ga (Grupo Rapitan, Yukon e N.W.T., Canadá; na região de Urucum, Brasil; e no Supergrupo Damara, Namíbia).

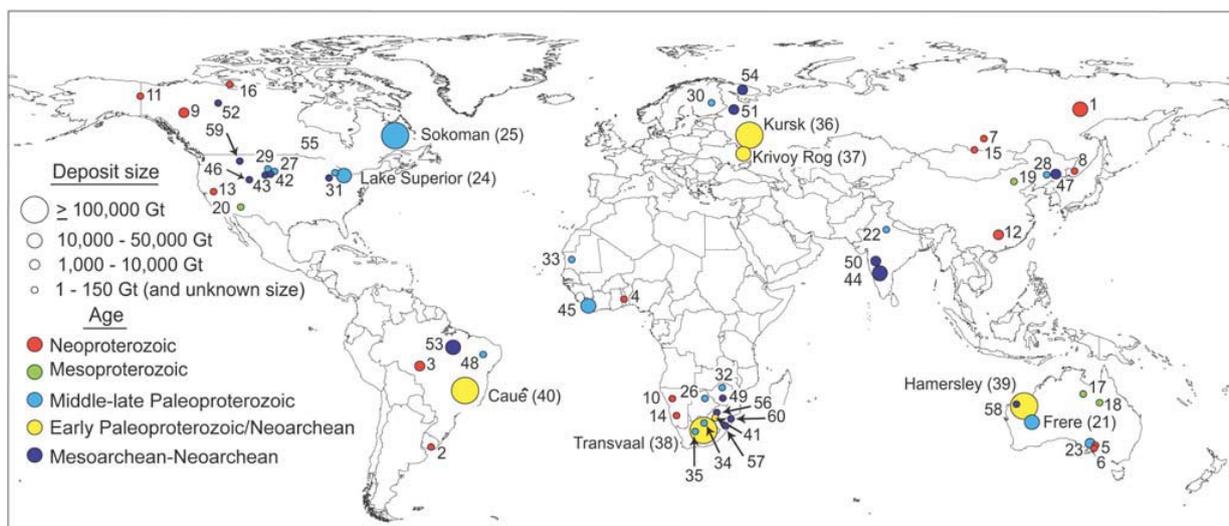


Figura 3. Os Maiores depósitos de formação ferrífera do mundo, incluindo BIF, GIF e tipo rapitan Rapitan. Depósitos de ferro são distinguidos com base no tamanho e idade. 1= Formação Maly Khinghan, 2 = Formação Yerbel, 3 = Grupo Jacadigo, 4 = Grupo Bisokpabe, 5 = Holowilena Ironstone, 6 Formação Braemar Ferro, 7 = Formação Yamata, 8 = Formação Lake Khanka 9 = Formação Rapitan, 10 = Formação Chuos, 11 = Grupo Alto Tindir, 12 = Formação Fulu, 13 = Formação Kingston Peak, 14 Formação Numees, 15 = Formação Mugur, 16 = Formação Aok, 17 = Formações Corcoran e McMinn, 18 = Formação Mullera, 19 = Formação Chuanlinggou, 20 = Formação de Pike Peak, 21 = Formação Frere, 22 = Grupo Alwar, 23 = Grupo Hutchison, 24 = Região do Lago Superior (inclui cinco grandes Formações ferríferas), 25 Formação Sokoman, 26 = Formação Shoshong, 27 = Formação Rochford, 28 = Grupo Liaohe, 29 = Formação Estes, 30 = Formação Pääkkö, 31 = Formação Glen Township, 32 = Grupo Lomagundi, 33 = Grupo Ijil, 34 = Formação Hotazel, 35 = Formação Timeball Hill, 36 = Supergrupo Kursk, 37 = Supergrupo Krivoy Rog, 38 = Transvaal, 39 = Província Hamersley (inclui seis grandes Formações ferríferas), 40 = Formação Cauê, 41 = Formação Ferrífera Penge, 42 = Formação Ferrífera de Referência, 43 Formação Ferrífera Nemo , 44 = Formação Mulaingiri, 45 = Itabirito de Nimba, 46 Formação Ferrífera Atlantic City, 47 = Anshan, 48 = Caldeirão Belt, 49 = Formação ferrífera Manjeri, 50 = Grupo Bababudan, 51 = Terreno Gimola, 52 = Grupo Central

Slave Cover, 53 = Formação Carajás, 54 = Formação Olenegorsk, 55 = Grupo Steep rock, 56 = Grupo Rand West, 57 = Supergrupo Pongola, 58 = Formação Cleaverville, 59 = Suíte Metamórfica Indian Creek, 60 = Grupo Moodies.

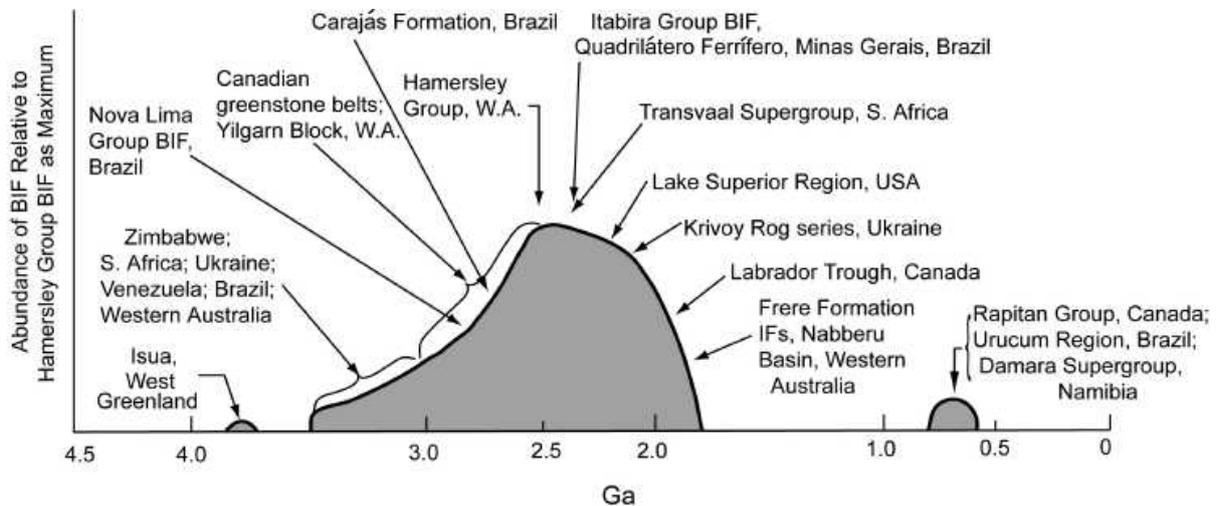


Figura 4. Diagrama esquemático mostrando a abundância relativa de BIFs precambrianas versus tempo, com diversas das grandes BIFs (Formações ferríferas). Abundâncias estimadas são em relação ao volume da BIF do Grupo Hamersley tomado como um máximo (adaptado de Gole e Klein, 1981a; também embasado em tabulação de períodos de BIFs em Walker et al. , 1983, sua tabela 11.1). As avaliações mais recentes de idade para a Bacia Hamersley (2,8 a 2,2 Ga) estão disponíveis em Trendall et al. (2004); para as BIFs da Fossa Labrador (1,88 Ga), em Findlay et al. (1995), e para as BIFs na Formação Frere, oeste da Austrália (1,9 a 1,8 Ga), em Williams et al. (2004).

4.2 CARACTERÍSTICAS DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DA AUSTRÁLIA, ÁFRICA DO SUL, GROELÂNDIA, CANADÁ, EUA E BRASIL

Ainda em debate sobre modelo que se adequa a formação do acamamento ferro/sílica, muitas descrições de formações ferríferas na literatura e a feição mais complexa é a presença de camadas alternantes ricas em ferro e ricas em sílica amorfa. Esse acamamento composicional é usualmente expresso em diversas escalas em qualquer dado afloramento, de finas lâminas submilimétricas a bandas métricas. Magnetita e hematita predominam nas camadas ricas em ferro, frequentemente com outros óxidos e sulfetos metálicos como pirita, calcopirita e ilmenita. Quantidades variadas de fases minerais carbonáticas, como calcita e siderita, podem estar presentes ou não em camadas ricas em ferro e em *chert*.

A extensão em espessura lateral das formações ferríferas varia e, onde associadas com sucessões vulcânicas, como no Cinturão Supracrustal Isua, SW da Groelândia, e no

Greenstone Belt Kraaipan na Província Norte, África do Sul, a espessura de formações ferríferas é da ordem de dezenas de metros. Muitas vezes, devido à deformação dúctil, frequentemente, torna-se impossível uma avaliação acurada da espessura estratigráfica de formações ferríferas. A Figura 3 apresenta as principais ocorrências dos depósitos de ferro do mundo (BEKKER, 2010).

Vários grandes depósitos de minério de ferro ocorrem em regiões deformadas da Província Hamersley, Austrália Ocidental, onde a formação ferrífera é caracterizada pelo processo de martitização e hematita microtabular. A gênese deste minério de hematita de alto teor permanece controverso, em parte porque nenhum estudo documentou sistematicamente variações químicas e mineralógicas (TRENDALL, 1980; 2002).

No *Greenstone Belt* de Abitibi, Quebec, Canadá, ocorrem formações ferríferas do tipo Algoma e são compostas por milimétricas a espessas camadas alternadas de grão fino, cinza escuro a preto, acamadados, ricas em magnetita/hematita e rochas metassedimentares ricas em quartzo-feldspato. Esta formação ferrífera estratigraficamente estende por mais de 36km e largura de 120m para 600m. A origem da formação ferrífera está ligada a atividade hidrotermal submarina e associada com a colocação de rochas vulcânicas e subvulcânicas em um *greenstone belt* arqueano (TANER; CHEMAN, 2015).

A região do Distrito de Lago Superior está situada na margem sudoeste de uma vasta área de rochas pré-cambrianas, denominada de escudo canadense, que cobre grande parte do leste do Canadá (POVEROMO, 1999). O distrito inclui vários centros de mineração separados, alguns dos quais se encontram dentro dos Estados Unidos. Depósitos de minério de ferro na região do Lago Superior estão relacionados com formações ferríferas do Arqueano e Proterozóico, associados aos grupos Animikee nos Estados Unidos e Keewatin, no Canadá. As formações ferríferas são constituídas por *cherts* ferruginosos, carbonatos ferruginosos, *cherts* carbonatos, jaspers, ardósias ferruginosas e taconitos. Mineralogicamente, as formações ferríferas consistem de magnetita, hematita, goethita e carbonato de ferro, greenalite, minnesotaite, stilpnomelane, grunerite, faialite, anfibólios ferro e piroxênios. Os taconitos magnetita em Minnesota e os Jaspers em Michigan são exemplos de formações ferríferas metamorfizadas que são importantes como fontes de minério de ferro (POVEROMO, 1999). O taconite magnetita é termo aplicado à formação ferrífera, em que o principal mineral de ferro é magnetita associados com diferentes, mas poucas quantidades de carbonato de ferro e silicato

de ferro. O termo jasper é aplicado à formação ferrífera em Michigan, onde o principal mineral de ferro é hematita microtabular, associada ao quartzo finamente granular.

No Brasil, as províncias do Quadrilátero Ferrífero e Carajás se destacam no cenário mundial em relação às ocorrências das formações ferríferas e por representarem maiores depósitos de minério de ferro de escala mundial.

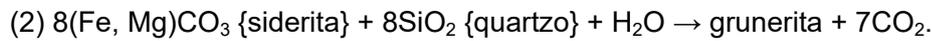
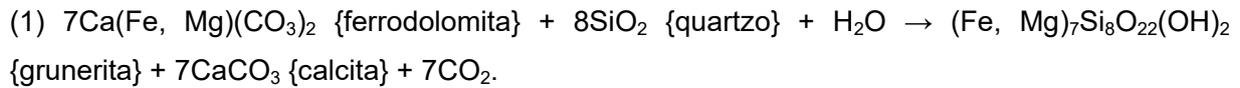
No Quadrilátero Ferrífero, os depósitos estão hospedados em Itabiritos, dolomitos ferruginosos e filitos hematíticos que compõem um conjunto de formações ferríferas metamórficas do Grupo Itabira. O metamorfismo e a deformação modificaram diversas características primárias dos sedimentos originais e deram a esse conjunto de rochas um aspecto único quando comparados com outras regiões ferríferas. Em virtude da influência dos processos secundários (metamorfismo, alteração hidrotermal, deformação etc.), é difícil avaliar a real distribuição de sedimentos na bacia (ROSIÈRE; CHEMALE JR., 2000).

No norte do Brasil, encontra-se a maior reserva de ferro do mundo, que apresenta característica ímpar, denominada de Província Mineral Carajás. O depósito está hospedado nas rochas da Formação Carajás e compreendem jaspilitos (SILVA, 2009), que se distribuem em quatro conjuntos principais concentrados na Serra Norte, Serra Sul e Serra Leste, denominações locais da Serra dos Carajás, e São Félix do Xingu, situado a oeste. A espessura dessas formações ferríferas é estimada em 200-250m na Serra Norte e superior a 300m na Serra Sul, e o minério de Fe, produto da alteração hidrotermal, intempérica e lixiviação da sílica dos jaspilitos apresentam até 240m de espessura (LINDENMAYER et al., 2001).

4.3 METAMORFISMO

Muitas sequências de formações ferríferas são produtos de reações metamórficas. Minerais como greenalita e estilpnomelano cedem lugar para minnesotaíta, e em graus metamórficos crescentes, anfibólios, piroxênios, e fayalita se tornam produtos de reação. A Figura 5 apresenta um diagrama esquemático, mostrando estabilidades minerais relativas em formação ferrífera, com graus metamórficos variando de muito baixo a mais alto (KLEIN, 2005).

Os anfibólios ricos em Fe da série cummingtonita-grunerita representa o grupo mais notável de mineral em formação ferrífera metamorfizada em grau médio, como resultado da reação entre quartzo e carbonatos ricos em Fe, e como um produto de reação de minnesotaíta. Tais reações são:



A primeira reação mostra um aumento progressivo em conteúdo de grunerita e diminuição de carbonato. Porém, formações ferríferas de óxido de Fe e quartzo (ou *chert*), desprovidas de carbonatos e/ou silicatos, não desenvolverão quaisquer silicatos progradados, e persistirão com a mesma assembleia por todos os graus metamórficos e não mostram feições de reação em metamorfismo da zona estaurolita-cianita. Magnetita e hematita ocorrem como grãos bem cristalizados, de granulação média a grossa, na maioria das assembleias de formações ferríferas metamórficas. Estas são o resultado de recristalização de grãos precursores primários, de granulação mais fina, de composição magnetítica e hematítica, respectivamente. Há pouca a nenhuma evidência de uma possível reação de siderita e quartzo para produzir magnetita, durante condições metamórficas progradacionais (KLEIN, 1983, 1973, 2005).

GRADE OF METAMORPHISM				
LOW		MEDIUM		HIGH
DIAGENETIC	BIOTITE ZONE	GARNET ZONE	STAUROLITE-KYANITE AND KYANITE ZONE	SILLIMANITE ZONE
Early	Late			
chert → quartz				
$\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{magnetite}$				
$\text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{hematite}$				
greenalite				
stipnomelane				
ferri-annite				
talc - minnesotaite				
Fe - chlorite (ripidolite)				
dolomite - ankerite				
calcite				
siderite - magnesite				
riebeckite				
cummingtonite - grunerite (anthophyllite)				
tremolite - ferroactinolite (hornblende)				
almandine				
orthopyroxene				
clinopyroxene				
fayalite				

Figura 5 – Estabilidades relativas de minerais em formações ferríferas metamorfasadas como uma função de zonas metamórficas (KLEIN, 2005)

Os clinoanfíbólios de Fe-Mg estão comumente intercrescidos com Ca-clinoanfíbólios como actinolita e hornblenda. Tais coexistências são o resultado da reação: 14 ferrodolomita + 16 quartzo + 2 H₂O → tremolita + grunerita + 14 calcita + 14CO₂ (DYMEK; KLEIN, 1988).

Embora anfíbólios ricos em Fe sejam os silicatos mais comuns em formação ferrífera metamorfozada no grau médio, alguma granada pode estar presente e (de composição da almandina) é geralmente rara devido ao baixo teor de Al₂O₃ da química total de formação ferrífera.

Os carbonatos que estavam presentes em assembleias tardi-diagenéticas a metamórficas em grau muito baixo tendem a persistir por meio de condições metamórficas de grau médio, embora carbonatos sejam consumidos na produção de anfíbólios metamórficos, bem como de piroxênios.

Formações ferríferas que passaram pelo grau metamórfico mais alto são caracterizadas por assembleias anídricas, nas quais predominam quantidades variáveis de orto-clinopiroxênio. Fayalita pode estar presente, bem como carbonatos e granada, com quantidades menores de anfíbólios e são os resultados de condições metamórficas que transpõem a isógrada da sillimanita de rochas pelíticas, ou que variam das fácies anfibolito superior a granulito. Piroxênios são resultados dos seguintes tipos de reações de descarbonatação:

Ankerita + quartzo → clinopiroxênio + 2CO₂, e siderita + quartzo → ortopiroxênio.

Reações de decomposição de anfíbólio também resultam na formação de piroxênio, por ex.: grunerita → ortopiroxênio + SiO₂ + H₂O

Carbonatos podem ainda estar presentes nas assembleias de grau metamórfico mais alto. Membros da série dolomita-ankerita e calcita podem ser espécies razoavelmente abundantes por toda a variação metamórfica completa, mas siderita torna-se menos abundante nos graus mais altos (KLEIN, 1983). Isso pode indicar que o componente FeCO₃ esteja mais envolvido na produção de silicatos metamórficos.

4.4 QUÍMICA DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS

4.4.1 Média dos elementos maiores das Formações Ferríferas

Formações ferríferas são sedimentos químicos com altos teores de Fe total (variando de 20 a 40% em peso) e SiO₂ (variando de 34 a 56% em peso) e quantidades muito menores

de CaO, MgO, MnO, Al₂O₃, Na₂O, K₂O, e P₂O₅. Os teores de CaO, MgO, e MnO refletem a presença de carbonatos em formação ferrífera, e Al₂O₃, Na₂O, e K₂O estão alojados principalmente em silicatos. Os valores de CaO e MgO variam, respectivamente, de 1,75 a 9,0 e 1,2 a 6,7% em peso. O teor de MnO é, geralmente, muito pequeno, variando de 0,1 a 1,15% em peso. Al₂O₃ varia de 0,09 a 1,8% em peso. Os conteúdos de Na₂O (0 a 0,8% em peso) e K₂O (0 a 1,15% em peso) são baixos. Essas variações estão embasadas numa grande base de dados analíticos, relatada em Klein e Beukes (1992). Há uma similaridade para todas as médias químicas, exceto para as Formações ferríferas de Rapitan e Urucum (KLEIN; LADEIRA, 2002).

As rochas sedimentares ricas em Fe podem ser associadas com depósitos de metais comuns hospedados em rochas vulcânicas e que podem conter consideráveis componentes detríticos clásticos (PETER, 2003). A química total dessas rochas mostra grandes quantidades de Al₂O₃ (cerca de 6-7% em peso), com máximos de até 20,8, 16,7 e 20,4% em peso para diferentes litologias ricas em Fe; e níveis de elementos traço altamente elevados para metais como Co, Cr, Cu, Pb, Zn, e S. Todos esses elementos traços têm teores extremamente baixos nas formações ferríferas discutidas (KLEIN; BEUKES, 1992). Segundo Peter (2003), a mineralogia total dessas rochas ricas em sulfetos e em Fe é muito diferente e descreve essas rochas ricas em Fe como exalitos que foram precipitadas em proximidade muito estreita com aberturas hidrotermais submarinhas.

4.4.2 Elementos traços nas formações ferríferas

O comportamento de alguns elementos traços varia em função condições de diagênese em função do Ph e Eh durante o soterramento. Metais sensitivos a condições de mudanças devido à oxidação, tais como U, V e Mo, são insolúveis e concentrados, preferencialmente, em sedimentos sob condições anóxicas, ou por processos de re-oxidação (TRIBOVILLARD et al., 2006). A concentração e proporção de elementos traços é um fator importante para investigar as condições redox do ambiente de sedimentação, a exemplo da utilização das relações que se destacam: Urânio autigênico [(U autigênico) = (total U) – (Th/3)], U/Th e Ni/Co (Jones & Manning, 1994).

4.4.3 Elementos Terras Raras nas Formações Ferríferas

A possibilidade e questionamento de formação de depósitos de Fe como um resultado da derivação de Fe a partir de intemperismo e transporte por rios para uma bacia sedimentar (HOLLAND,1973) e estudos desmonstram que fonte de Fe e sílica como inserção hidrotermal para o oceano profundo (FRYER,1983). Em tais estudos de elementos terras raras (ETRs) de formações ferríferas, concluiu-se que águas hidrotermais contendo Fe e SiO₂ abundantes são liberadas para o mar profundo num oceano estratificado por densidade (KLEIN; BEUKES,1989). Essa assinatura hidrotermal foi transmitida para água oceânica mais rasa por ascensão.

Perfis de ETRs determinados por Análise de Ativação Neutrônica Instrumental (INAA) normalizados com os valores do Folhelho Norte Americano (NASC; GROMET et al., 1984) para formações ferríferas, de idades variadas, mostra uma anomalia positiva de Eu claramente definida num perfil de ETRs com uma inclinação de fundo total que reflete depleção de ETRs leves e enriquecimento em ETR's pesados (Figura 6a – 6e). As aparentes anomalias negativas de Ce que aparecem em muitos dos padrões não são interpretadas como anomalias negativas verdadeiras, devido à grande variação em acurácia analítica em determinações de Ce por INAA em amostras ricas em Fe (Bau e Moller, 1993). Yamaguchi et al. (2000) relatam que as falsas anomalias negativas de Ce podem ser o resultado de anomalias positivas de La como obtidas para ETR por Espectroscopia de Massa de Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS).

Anomalias negativas reais de Ce são interpretadas como refletindo um ambiente oxidante. O perfil de ETRs de Isua pode ser reproduzido ao se misturar a assinatura de ETRs de soluções hidrotermais modernas de alta temperatura com água do mar do Atlântico Norte Dymek e Klein (1988), usando uma proporção água do mar: hidrotermal de 100:1. Esses autores demonstram isso e a curva tracejada de mistura 100:1 é mostrada na Figura 6a. Baseado nisto, levou-se à conclusão de que o padrão de ETRs das formações ferríferas de Isua é o resultado de precipitação química de soluções que representam misturas de água do mar e fluido hidrotermal. Os oceanos arqueanos apresentavam suas características de ETRs dominada por inserção hidrotermal (FRYER et al., 1979). Além disso, há uma diminuição do tamanho da anomalia positiva de Eu com idade decrescente das formações ferríferas (BAU; MOLLER,1993) e esse decréscimo é o resultado da diminuição da temperatura das soluções hidrotermais, como reflexo de temperatura decrescente no manto superior (Figura 6a – 6e).

Os perfis de ETRs nas formações ferríferas neoproterozoicas de Urucum e Rapitan são distintamente diferentes das formações ferríferas paleoproterozoica e arqueana. As amostras estão depletadas em ETRs leves, e carecem de uma anomalia positiva clara de Eu (Figura 6f e 6g). As plotagens são similares aos padrões de ETRs para folhelhos e ao perfil de ETRs de água oceânica moderna (Figura 6g). A partir disso, é concluído que a fonte Fe seja de origem hidrotermal profunda, como foi em sequências de Formações ferríferas mais antigas. No entanto, a componente hidrotermal parece ter sido diluída do que nas sequências de formações ferríferas paleoproterozóica e arqueanas.

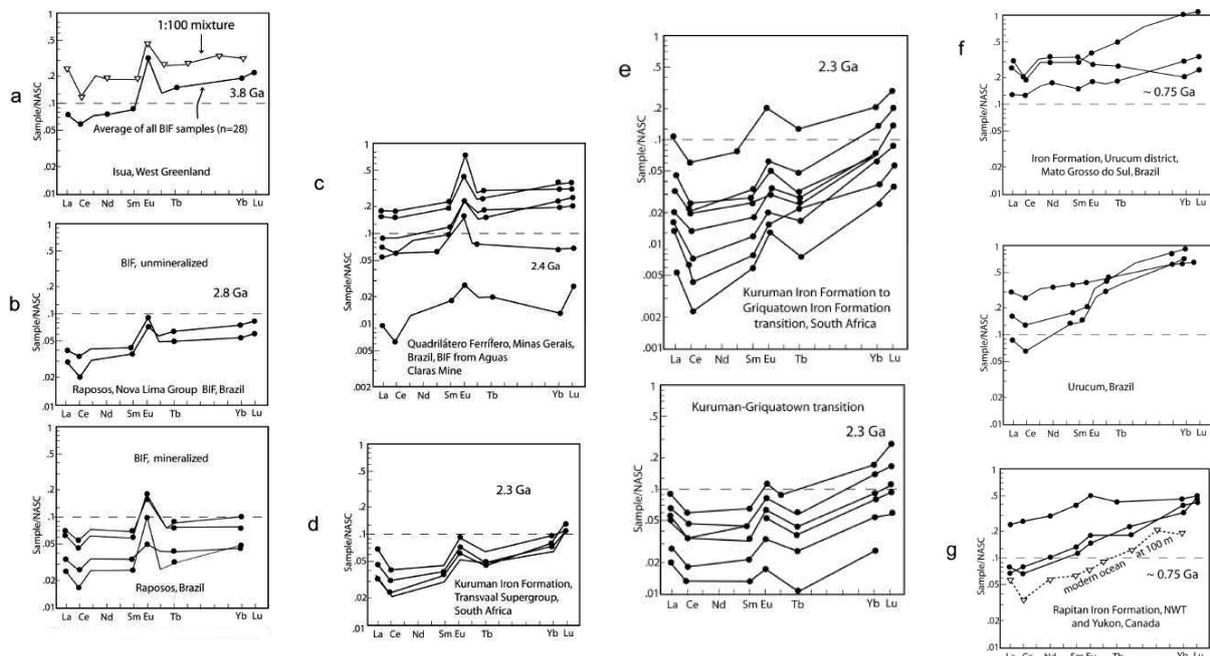


Figura 6a - 6g. Comparação de padrões ETR's utilizando NASC como normalizador nas formações ferríferas precambrianas de várias idades. As Formações ferríferas específicas e suas idades são dadas ao longo dos perfis de ETRs; a) A ilustração da BIF de Isua mostra também uma curva de mistura de água do mar com fluido hidrotermal de 100:1, onde um fator de multiplicação de 106 foi usado para os valores de ETR's originais de água do mar); g) Os perfis de ETRs da IF Rapitan são acompanhados por uma curva de ETRs para moderna água do mar em 100 m, multiplicados por 106 (Klein e Beukes, 1993b; citados por Klein, 2005). Outras referências: b) e c) Klein e Ladeira, 2000; d) Klein e Beukes, 1989; e) Beukes e Klein, 1990; f) Klein e Ladeira, 2004

4.5 OS COMPORTAMENTOS DE Fe^{+2} E Fe^{+3} , SÍLICA EM SOLUÇÃO E O AMBIENTE DEPOSICIONAL

O enigma de formações ferríferas relaciona-se também com a gênese bandas alternantes ricas em ferro e ricas em sílica. Dado o ambiente deposicional marinho profundo

interpretado para a maioria dos depósitos de formações ferríferas, algum mecanismo de transporte de ferro em sua forma solúvel e de subsequente precipitação.

4.5.1 Fe^{2+} e Fe^{3+} em Solução

Ferro ferroso (Fe^{2+}) e férrico (Fe^{3+}) são as formas iônicas prevaletentes para migração de ferro. Grandes quantidades de Fe^{3+} são estáveis apenas sob condições muito ácidas ($\text{pH} = 0-2$) (Figura 7). Um aumento em pH causa hidrólise e precipitação do hidróxido $\text{Fe}(\text{OH})_3$ insolúvel. A ocorrência de tais soluções ácidas fortes em qualquer período durante o pré-cambriano – por exemplo, devido ao intemperismo duma crosta exótica – não pode ser explicada por processos físico-químicos, mesmo com uma atmosfera extremamente rica em CO_2 (BELEVTSSEV et al., 1982).

A aptidão de ferro para migrar aumenta enormemente na ausência de oxigênio livre. Quantidades apreciáveis de ferro podem ser dissolvidas em soluções levemente ácidas a neutras. Sob tais condições, mudanças em parâmetros como pCO_2 , pressão (= profundidade de água), pH e Eh (potencial de redox) determinam se ferro é precipitado como um carbonato, óxido, silicato, ou outro sal.

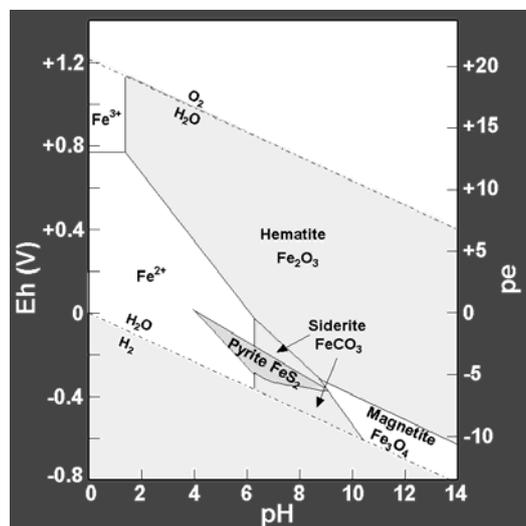


Figura 7 – Diagrama Eh-PH e as relações de estabilidade para os óxidos de ferro, carbonatos e sulfuretos em água a 25°C. (Garrels e Christ, 1965).

4.5.2 Sílica em Solução

Em solução, sílica existe como o monômero iônico Si(OH)_4 . Em contraste com espécies ferruginosas, a solubilidade da sílica é notavelmente independente da acidez, variando entre 80-100 mg/l numa variação de pH de 2-10. Em sua forma coloidal, ela se torna muito mais solúvel, especialmente em $\text{pH} < 4-5$; águas termais de regiões vulcânicas atuais contêm 200-300 mg/l de SiO_2 dissolvida, até 900 mg/l (ZELENOV, 1960).

4.6.3. Ambiente Depositional das Formações Ferríferas

As quatro diferentes fácies de formações ferríferas (óxido, silicato, carbonato e sulfetada – ver Figura 1) representam distintas condições *redox* existentes em diferentes profundidades de água num oceano estratificado (HOLLAND, 1984). Formação ferrífera da fácies óxido precipitou-se sob as condições mais oxidantes, enquanto formação ferrífera da fácies sulfeto precipitou-se sob as condições mais redutoras. As das fácies silicato e carbonato se depositaram sob condições *redox* intermediárias.

As sucessões sedimentares de *greenstone belts* comumente hospedando formações ferríferas tipo Algoma se parecem com distribuições espaciais de fácies na vizinhança de centro de expansão oceânica e arcos de ilhas. Ambientes deposicionais favorecidos para esse tipo de formação ferrífera incluem bacias de arco de ilhas/retroarco (VEIZER, 1983) e zonas rifteadas intracratônicas (GROSS, 1983).

Assembleias plataformais maduras, incluindo carbonato bem desenvolvido, são encontradas em associação com Formações ferríferas tipo Superior. A deposição ocorreu em condições marinhas relativamente rasas sob mares em transgressão (SIMONSON; HASSLER, 1996), e a mesma ocorreu também sobre as plataformas continentais de margens tectônicas passivas (GROSS, 1965).

Em resumo, a maioria das Formações ferríferas tipo Algoma foi depositada como partes de sucessões vulcano-sedimentares em *greenstone belts*, enquanto que do tipo Superior, em um ambiente deposicional consistindo numa plataforma parcialmente isolada, submersa, sobre as plataformas continentais em cráton arqueano/paleoproterozoico é atualmente favorecido pela maioria dos autores.

4.6 A ORIGEM DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS PRÉ-CAMBRIANAS

Apesar de quase um século de estudos sobre a origem de formações ferríferas, permanece enigmático um mecanismo deposicional que explique adequadamente a sua extensão, fontes prováveis de ferro e sílica, como possíveis mecanismos de precipitação de ferro, além do fenômeno de bandamento ferro/sílica.

4.6.1 Fonte da Sílica e do Ferro

Para alguns autores, a fonte de ferro para a origem das formações ferríferas está associada a ambientes continentais (ALIBERT; MCCULLOCH, 1993), enquanto uma linha tem proposto a fonte hidrotermal para o Fe (DYMEK; KLEIN, 1988).

Com base em padrões de ETR deplecionados e assinaturas isotópicas de Nd (Jacobsen e Pimental-Klose, 1988), ambientes tectônicos de estilo dorsal meso-oceânica ou ponto quente (*hotspot*) atuam como uma fonte distal de ferro. A produção de ferro é em pulsos e suplementada por escoamento continental normal (CANFIELD, 1998), com correntes ascensionais (KLEIN; BEUKES, 1989) ou plumas (ISLEY, 1995) que trazem águas hidrotermais para a plataforma continental externa.

Um amplo desenvolvimento de reservatório de ferro dissolvido nas águas oceânicas foi possível devido a uma atmosfera redutora, ou com baixo potencial *redox*, baixa concentração marinha de sulfatos e sulfetos e alto fluxo de ferro hidrotermal. Esses fatores persistiram até o final do paleoproterozoico (1.8 Ga) (BEKKER et al., 2010; PLANAVSKY et al., 2010).

A fonte de Si, Fe e Mn parecem ter sido por contribuição hidrotermal submarina durante o arqueano e paleoproterozoico, e a diminuição de Fe nos oceano no intervalo entre 1.8 e 0.8 Ga é atribuída a diminuição de atividade hidrotermal, acarretando na falta de formações ferríferas (KLIEN, 2005).

A oxidação do Fe^{+2} pode ocorrer por três processos (Figura 8): oxidação provocada por ação de cianobactérias, oxidações anóxica e fotoquímica (BEKKER et al., 2010).

A deposição do ferro ocorre na interface entre águas rasas oxidantes e águas reduzidas rica em Fe proveniente de fumarolas, sendo estas águas oxigenadas rasas oriundas de comunidades prolíficas de fotossintetizantes oxidantes (Figura 8a). No Arqueano e Paleoproterozoico, as águas rasas seriam redutoras com relação ao ferro (PLANAVSKY et al.,

2010). Dessa forma, a oxidação do ferro ocorreria por bactérias quimioautótroficas por ação metabólica direta sem a presença de oxigênio (Figura 8b). Além disso, O Fe pode ter sido foto-oxidado pelo alto fluxo de fótons ultravioleta que teriam chegado à superfície da terra antes do desenvolvimento do O₂ livre na atmosfera (BRATERMAN et al., 1983).

As formações ferríferas do tipo Algoma depositadas em associação com depósitos do tipo vulcano-máfico-sedimentar (VMS) formaram por oxidação durante a separação em vapor e salmoura, com hidrogênio e HCl removidos em fase vapor, tornando as condições oxidantes e alcalinas na salmoura (Figura 8c) (FOUSTOUKOS; BEKKER, 2008).

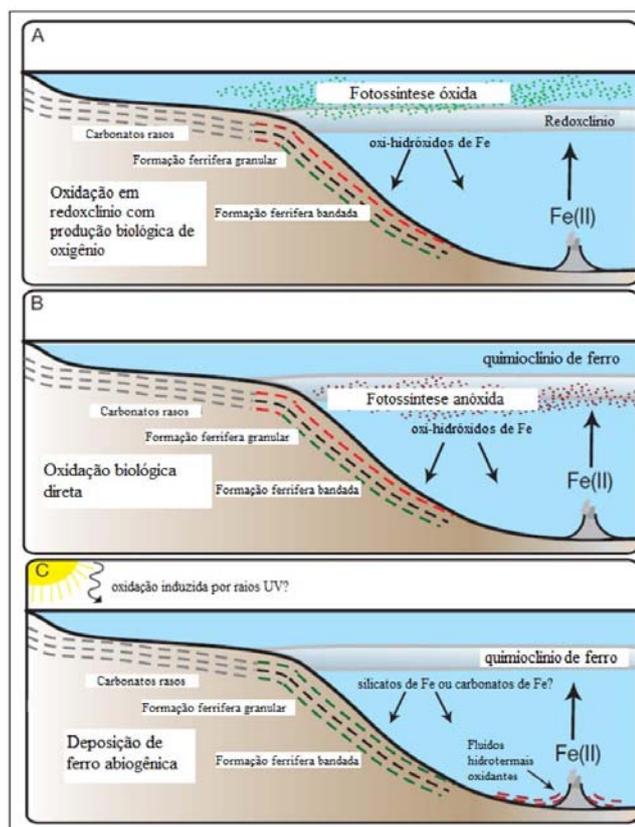


Figura 8 – Modelo simplificado dos tipos de oxidação sofridas pelo Fe⁺² para a geração das formações ferríferas. (A) Oxigênio (O₂) em ambiente de águas rasas, acima do redoxclínio, produto de atividade fotossintetizante. (B) Oxidação do Fe diretamente pela ação de bactérias – oxidação anóxica. (C) Oxidação fotoquímica e presença de fluidos hidrotermais oxidantes próximos às fumarolas (BEKKER et al., 2010).

As formações ferríferas anteriores a 2.3Ga resultam de precipitação em oceano profundo e anóxico, enquanto que as formações ferríferas granulares (GIF's) de 2.2 e 1.8 Ga

foram resultados do transporte de Fe^{+2} dissolvido em condições anóxicas em um ambiente de águas superficiais de alta energia, refletindo a textura granular e oolítica (KLIEN, 2005).

A ausência de organismos secretores de sílica em oceanos pré-cambrianos, provavelmente, originou condições para o ponto de saturação de sílica e a precipitação de sílica pôde então ser obtida por meio de supersaturação evaporativa (SIEVER, 1992).

A precipitação uniforme de minerais em escala regional na bacia deposicional originou as mesobandas contínuas horizontalmente extensas (EWERS; MORRIS, 1981). A gênese das sequências silicosas era atribuída ao insucesso temporário de fluidos hidrotermais alcançarem o sítio deposicional, devido a mudanças em circulação oceânica (KONHAUSER et al., 2002), ou a períodos de quietude hidrotermal relativa (MORRIS, 1993). Dessa forma, a magnitude e periodicidade de atividade e influxo hidrotermal controlariam as espessuras relativas das camadas de ferro e de *chert*.

Um modelo com uma coluna de água estratificada, na qual águas superficiais durante o estágio regressivo na deposição da bacia, foram locais de grandes produtividades de matéria orgânica e precipitação de calcários com microalgas (KLEIN; BEUKES, 1989). As águas profundas, durante o estágio transgressivo na bacia, foram consideradas como local para deposição das formações ferríferas. Essas águas profundas são carentes em carbono orgânico e enriquecido em FeO dissolvido, de uma fonte hidrotermal profunda, conforme pode ser observado na Figura 9. A ideia de oceano estratificado consiste no fato de Fe^{+2} presente em águas anóxicas profundas seria levado a um ambiente de águas mais rasas e oxigenadas, decorrendo dessa situação, o processo de oxidação do Fe^{+2} e precipitação como óxidos e carbonatos.

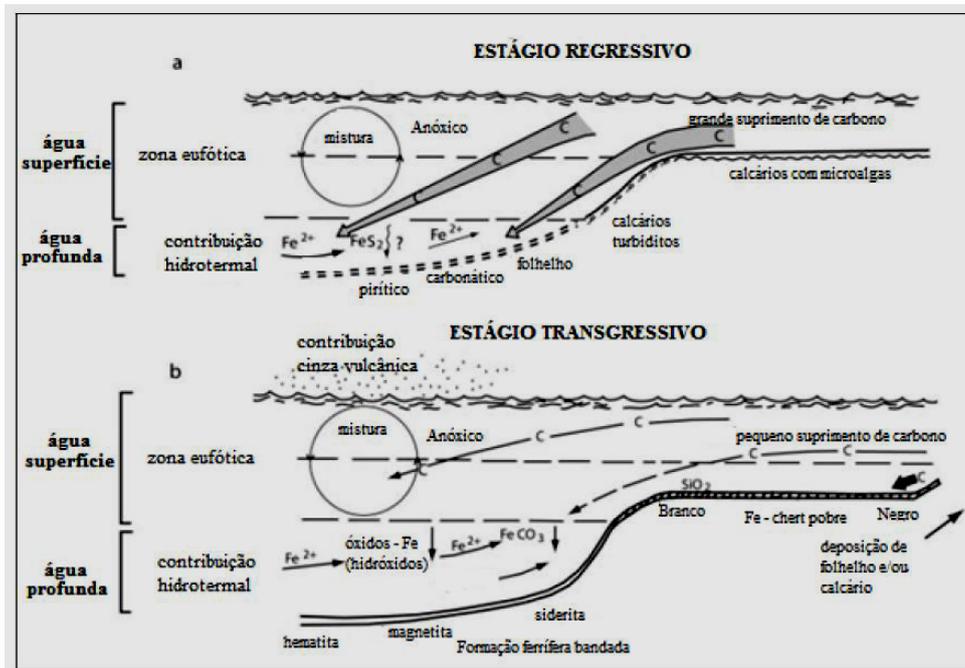


Figura 9 – Modelo de deposição das formações ferríferas em um oceano estratificado, em um regime de regressivo (a) e transgressivo (b) (KLEIN; BEUKES, 1989)

5 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A área de estudo está localizada na zona de transição do cráton do São Francisco (Figura 10), unidade geotectônica poliderfomada, que teve seu reequilíbrio termodinâmico no final do paleoproterozoico, e a Faixa de Dobramento Riacho do Pontal, unidade pertencente à província Borborema, de idade neoproterozoica (ALMEIDA, 1977; ALCKMIN et al., 2006). No contexto do cráton do São Francisco, ocorrem ortognaisses e migmatitos do Complexo Sobradinho-Remanso, seqüências metassedimentares do Complexo Colomi, rochas vulcano-sedimentares do Complexo Lagoa do Alegre. Além disso, associado às granitogêneses arqueana e paleoproterozóica, ocorrem duas suítes magmáticas: Lagoa do Alegre-Juazeiro e Fazenda Forte (Figura 11).

Os ortognaisses e migmatitos têm composição tonalítica a granodiorítica, com enclaves de rochas máficas e o bandamento gnáissico deles expõem de forma ora descontínua, ora contínua, com espessuras centimétricas a decimétricas. De outro lado, as poções migmatíticas exibem níveis mesossomáticos de natureza híbrida (tonalítica/granodiorítica), granulação fina a média, além de níveis leucossomáticos, paralelos e/ou truncando os primeiros, de composição granítica a quartzo-feldspática, com granulação média a grossa. Associam-se também bandas anfibolíticas boudinados, que são interpretadas a possíveis diques máficos (Figura 12).

Na porção extremo sudoeste, ocorre o Complexo Colomi (SOUZA et al., 1979), constituído pelas unidades Serra do Choro (SCh); Castela (Ca); Serra da Capivara (Sca) e Serra da Bicuda (SB). SCh é formada por quartzitos com intercalação de formação ferrífera, metachert, enquanto que Ca é formada por metadolomitos, Sca por formações ferríferas fácies óxidos e SB por metarenito com lentes de metaconglomerado (Figura 13).

O Complexo Lagoa do Alegre é constituído por duas seqüências: uma metavulcanossedimentar químico-exalativa (Unidade Macambira) e a segunda representa uma seqüência metassedimentar (Unidade Minadorzinho), que serão descritas em tópico especial.

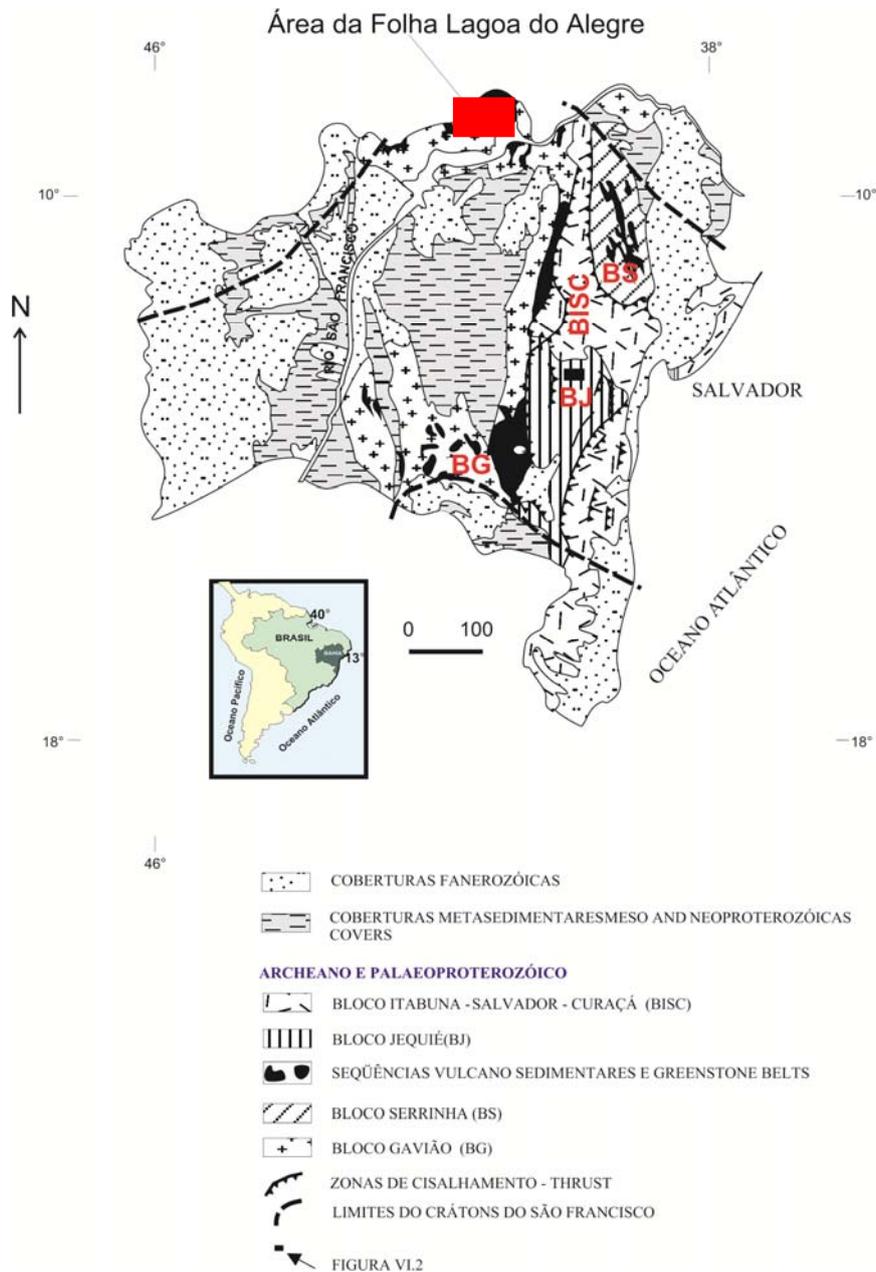


Figura 10 – Área de estudo sobre o contexto do Cráton do São Francisco e a faixa de dobramento neoproterozoica Riacho do Pontal (ALMEIDA, 1977; ALCKMIN et al., 2006).

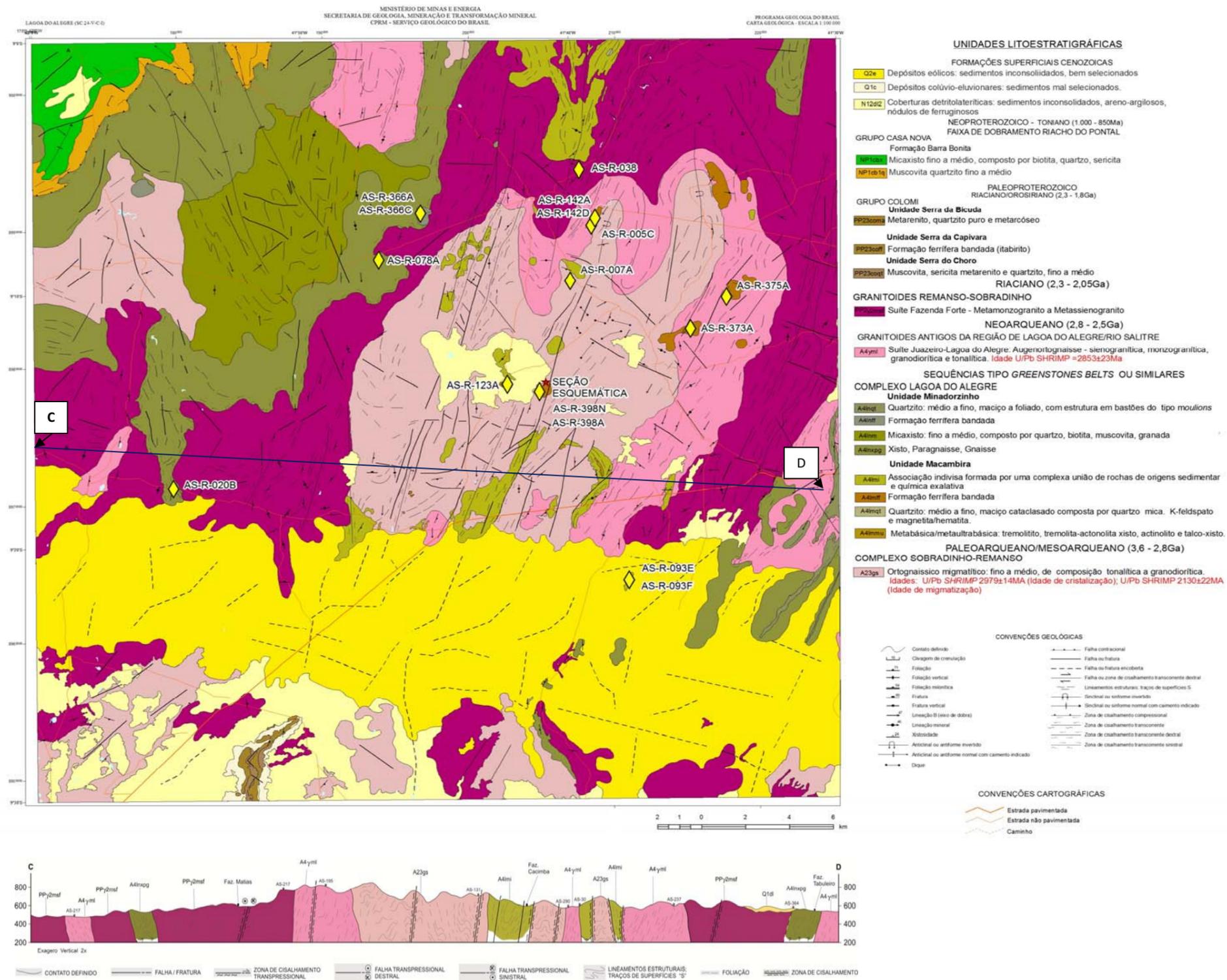


Figura 11 – Mapa e perfil geológicos simplificados da área de estudo com as ocorrências de formações ferríferas associadas ao Complexo Lagoa do Alegre, com os pontos de amostragens para análise química (♦) e localização da seção esquemática (★) - Folha Lagoa do Alegre, Bahia.

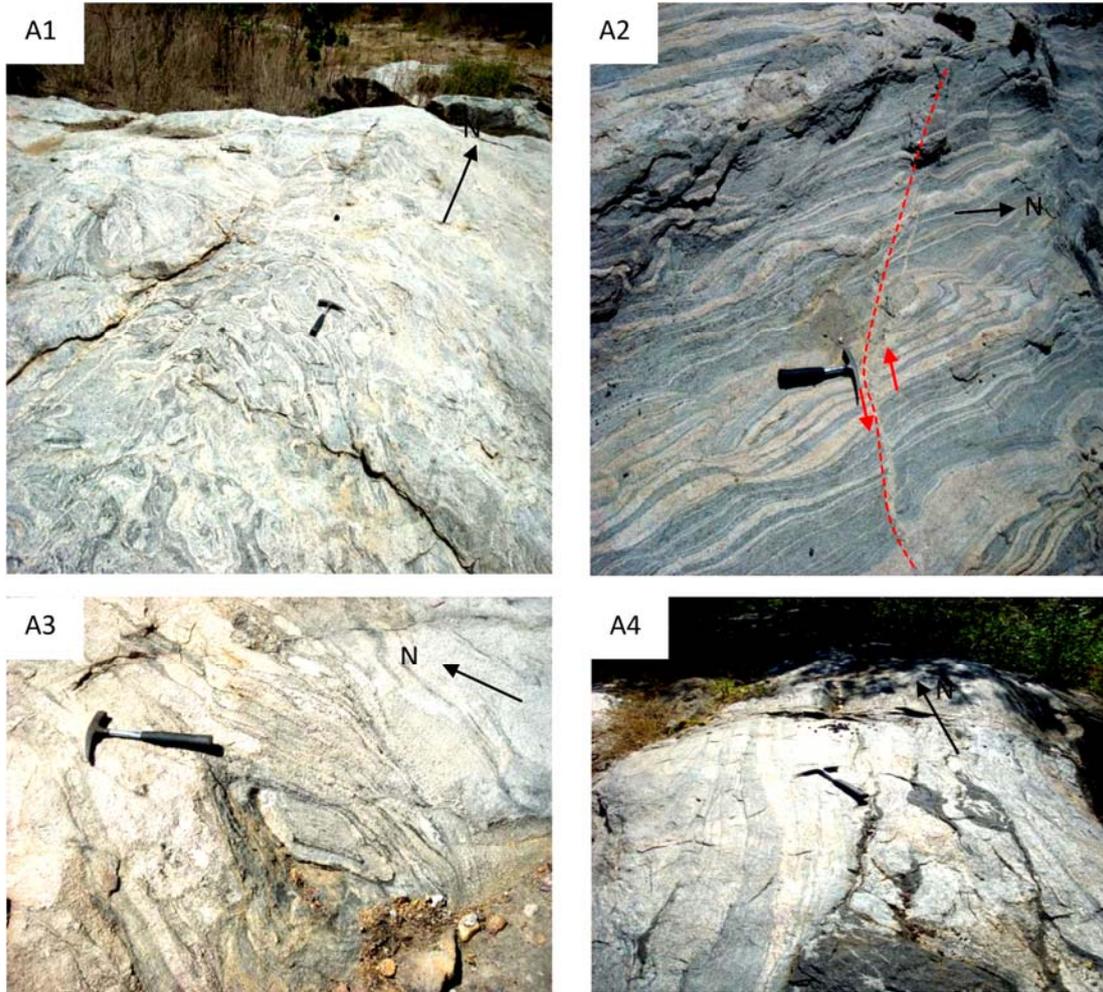


Figura 12 – Unidade Complexo Remanso Sobradinho (A23gs). (A1) - Fotografia em planta mostrando feições de migmatização. Afloramento localizado na faz. Cacimba. (A2) - Fotografia em planta mostrando bandamento gnáissico (S_n/S_{n+1} N060/15SE), centimétrico a decimétrico, dobrado e com zona de transcorrência sinistral NW/SE. (A3) - Fotografia em planta mostrando foliação S_n/S_{n+1} (N035/55SE) e bandas/níveis máfico boudinados, interpretados como diques máficos. Afloramento localizado na fazenda Cachoeira. (A4) - Fotografia em planta mostrando figuras elípticas e S_n/S_{n+1} N345/40NE. Folha Lagoa do Alegre. Remanso-Ba.

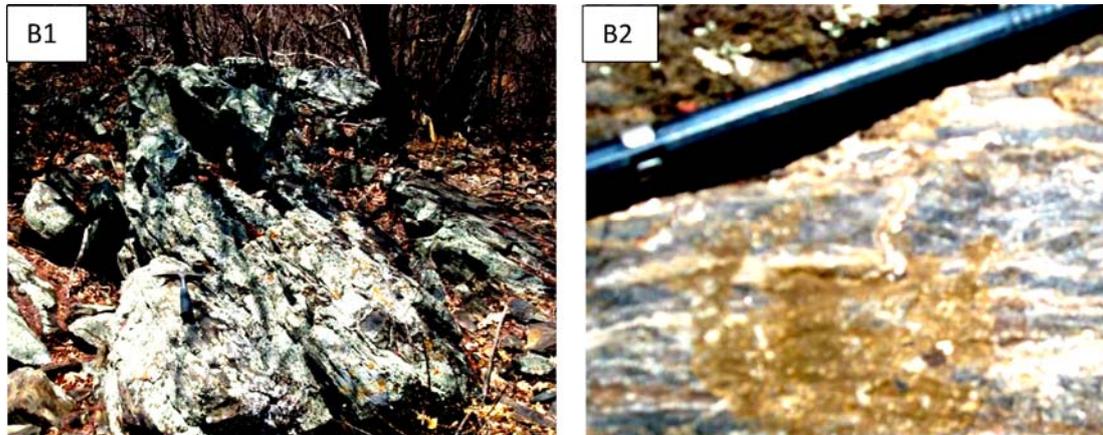


Figura 13 – Complexo Colomi. (B1) – Visão geral das formações ferríferas associadas à unidade Serra da Capivara (Sca). (B2) – Detalhe mostrando mesobandas definidas por magnetita/hematita – quartzo, localizado na Serra do Colomi. Folha Lagoa do Alegre.

Na área de estudo, ocorrem as suítes magmáticas Juazeiro-Lagoa do Alegre e Fazenda Forte. A primeira é constituída *augen*-ortognaisse, composição sienogranítica, granulação fina a grossa, contendo porfiroclatos de microclínio (Figura 14). Enquanto que o segundo são plútons de dimensões batolíticas, alongado na direção NNE-SSW associada à tectônica transcorrente NNE/SSW e cortam as rochas dos Complexos Sobradinho Remanso e o Lagoa do Alegre (A4Im). São metamonzogranito a Metassienogranito de coloração cinza-esbranquiçadas a rosadas, constituídos por quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita, podendo conter muscovita e magnetita como acessório, com granulação fina a média, por vezes com porfiroclástica/porfiroblástica de K-feldspato, apresentando foliação incipiente, outrora caracterizada por uma foliação penetrativa e com lineação de baixo *rake*, acompanhando o *trend* regional NNE/SSW (Figura 15).

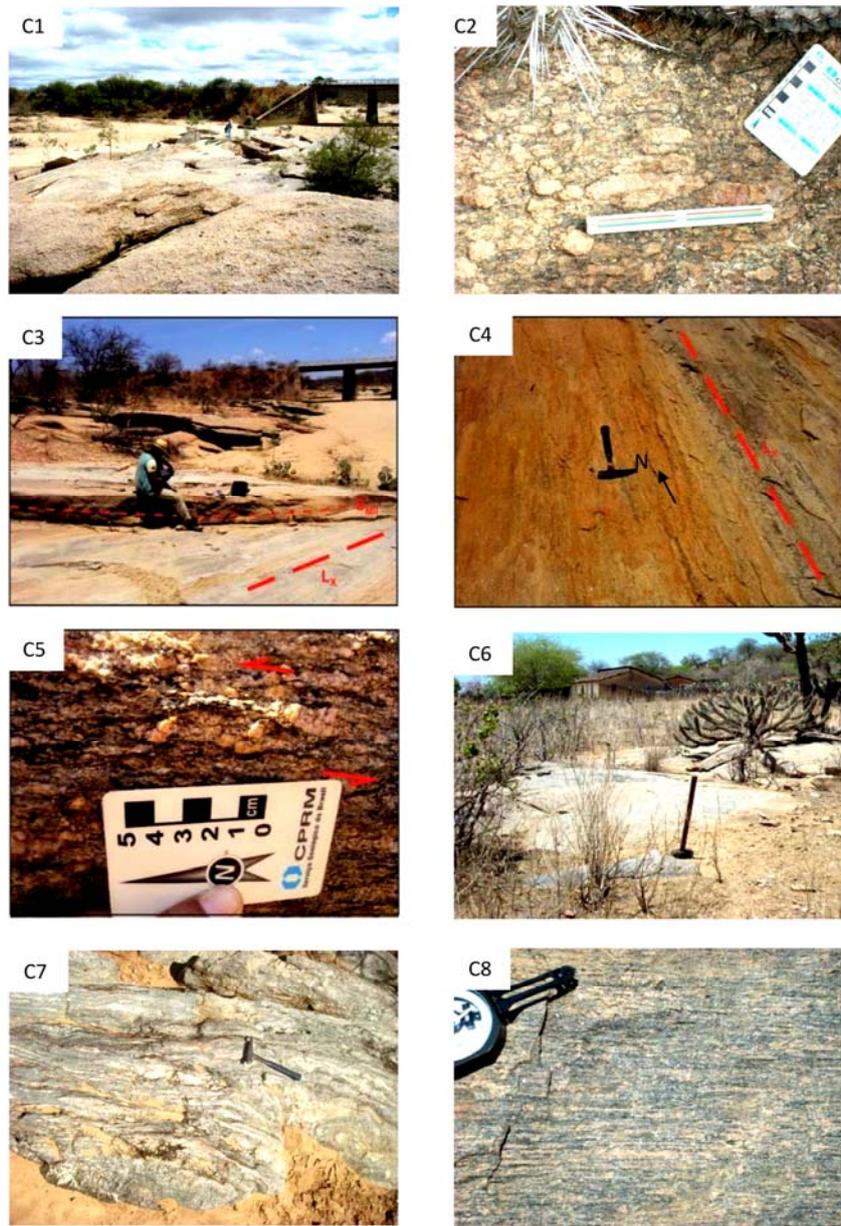


Figura 14 – Augen-ortognaisse milonítico (A4γml). (C1) – Fotografia mostrando visão geral do afloramento. (C2) - Detalhe mostrando porfiroclasto de K-feldspato de 5cm de comprimento, Sn N080/19SE e Lx 11° p/ N190. (C3) - Fotografia em seção do augen-ortognaisse milonito com porfiroclasto de granito porfirítico, com foliação de baixo ângulo (Sn+2) e lineação de estiramento (Lx+2) de alto rake. Afloramento no leito do rio na localidade de Lajedo. (C4) - Fotografia em planta mostrando detalhe da foto (C3) com lineação de estiramento (Lx+2) no plano XY, localizando no leito do rio, na localidade de Lajedo. (C5) - Sugestões de critérios cinemáticos (foliações S/C) com indicação de topo para Norte, observada no plano XZ. (C6) – Visão geral do afloramento. (C7) - Afloramento associado à zona de transposição mostrando foliação milonítica orientada na direção N/S com mergulho subvertical (N010/70SE). (C8) Detalhe da foto (C7) mostrando porfiroclasto de K-feldspato paralelo ao eixo de dobra (Lx/Lb 15 p/ N020). Folha Lagoa do Alegre, Casa Nova-Ba



Figura 15 – Suite Forte – Metassienogranito a Metamonzogranito (PP2γmsf). (D1 e D2) – Visal geral do afloramento de metassienogranito. (D3) – Fotografia em planta de metassienogranito mostrando injeção de pegmatito de composição alcalina. (D4) - Fotografia em planta de metassienogranito mostrando foliação Sn N020/32SE, com porfiroclasto de K-feldspato. Localidade do Sítio Favela. (D5) - Fotografia em planta de metamonzogranito com a foliação (Sn N025/46SE) sendo cortada por pegmatito de composição sienítica. (D6) - Fotografia em planta de metamonzogranito com xenólito máfico paralelo a foliação. (D7) – Fotografia em planta de metamonzogranito mostrando aspecto isotrópico, sendo cortado por pegmatito de composição sienítica. Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba.

De idade neoproterozoica associada à deformação brasileira, ocorre a Faixa Riacho do Pontal. É representada por litotipos de ambiente plataformar marinho da Formação Barra Bonita e litotipos de ambiente marinho profundo associado à Formação Mandacaru, com geometria irregular reentrante demarcando o seu limite sul (Figura 16).

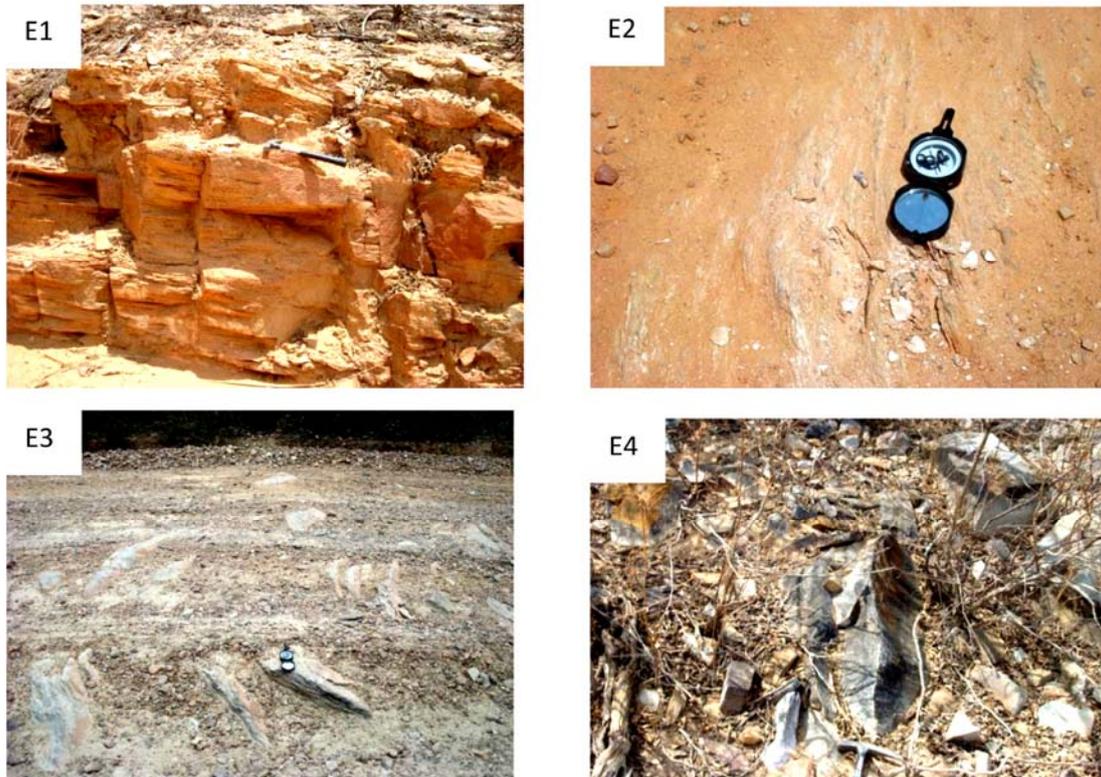


Figura 16 – Faixa Brasileira Riacho do Pontal – Grupo Casa Nova. (E1) - Fotografia em corte (NW-SE) de afloramento de muscovita quartzito branco-rosado, domínio intercalado com grãos mais fino e foliação desenvolvida Sn N355/42NE. Formação Barra Bonita (NP1cb1q). (E2) - Fotografia em planta de afloramento de micaxisto marcado pela xistosidade crenulada, Formação Barra Bonita (NP1cbx). (E3 e E4) – Fotografia em planta mostrando quartzito branco, granulação fina a média, foliação anastomosada (Sn N340/45NE). Folha Lagoa do Alegre.

6 COMPLEXO LAGOA DO ALEGRE

O Complexo Lagoa do Alegre foi cartografado como com alguns dos seus litotipos pertencentes ao Complexo Metamórfico – Migmatítico e outros ao Complexo Colomi Indiferenciado (SOUZA et. al., 1979).

Neste trabalho, o Complexo Lagoa do Alegre é definido por duas unidades (ANGELIM,1997): uma Metavucano-Sedimentar químico-exalativa (Unidade Macambira) e outra metassedimentar (Unidade Minadorzinho). Possuem contatos discordantes com o Complexo Ortognáissico Migmatítico Sobradinho-Remanso (A23gs), embora apresente uma concordância estrutural entre as unidades. O mesmo ocorre com o contato superior com as unidades do Complexo Casa Nova, pela adaptação à tectônica tangencial superposta da faixa de dobramento brasileira Riacho do Pontal (Figura 10).

6.1 UNIDADE METAVULCANOSSEDIMENTAR QUÍMICO-EXALATIVA: MACAMBIRA (A4Im)

A Unidade Macambira (A4Im) representa uma sequência metavulcanossedimentar e ocorre sob a forma de associação indivisa de metabásica e metaultrabásica, grafita-xisto, formação ferrífera bandada, metacarbonato, paragnaisse, sheets de leucogranito e calcissilicática (A4Imi) e também em litotipos individualizados: formação ferrífera bandada (A4Imff), quartzito (A4Imqt) e metamáfica/ metaultramáfica (A4Immu) (Figura 17).

A Unidade Macambira (A4Im) ocorre sob a forma de xenólitos, enclaves e corpos de centimétricos a quilométricos no Complexo Ortognáissico Migmatítico Sobradinho-Remanso (A23gs), no augen-ortognaisse (A4γml) e no Metassienogranito a Metamonzogranito (PP2γ2msf) (Figura 11).

6.1.1 Unidade Associação Indivisa (A4Imi)

As rochas metabásicas/metaultrabásicas constituem numerosos níveis, lentes e ocorrem associadas com paragnaisse e xisto do Complexo Lagoa do Alegre, em corpos dispersos no Complexo Ortognáissico Migmatítico Sobradinho-Remanso (A23gs) e como

xenólitos estirados em augen-ortognaisse (A4γml). São classificados como hornblenda anfíbolito, tremolíticos, tremolita-actinolita xisto e actinolítico.

Em zonas de cisalhamento, quando afetados por uma intensa deformação, os litotipos básicos/ultrabásico são xistificados a biotitizados, sendo estas feições também observadas em xenólitos dessas rochas presentes no augen-ortognaisse (A4γml).

O grafita xisto é azul a cinza-azulado, constituído por grafita, quartzo e muscovita. Ocorre sobre a forma de enclaves no ortognaisse (A4γml) e intercalados com as rochas metabásicas/metaultrabásicas em zona de redobramento.

O metacarbonato ocorre associado ao litotipo metabásico/metaultrabásico e são rochas cinza a cinza-esverdeado, com níveis esbranquiçados e ricos em actinolita. Quando submetido a tensões, desenvolve um sistema de fraturas e, por processo de dissolução e recristalização, com a formação de calcita ocupando esses espaços.

O paragnaisse apresenta a coloração cinza-claro a amarronzado, granulação fina a média, constituído por quartzo, K-feldspato, plagioclásio, biotita, granada e muscovita. Ocorre sob a forma de lentes intercaladas nas BIF's, metabásicas/metaultrabásicas e metacarbonato.

O *sheet* de leucogranito ocorre em faixas e níveis centimétricos a métricos, intrudindo os litotipos supracitados na localidade da fazenda Cacimba. Apresenta coloração cinza-esbranquiçada a rósea, granulação fina a média, fraturado a protomilonítico.

A rocha calcissilicática ocorre como enclaves e em corpos dispersos no Complexo Ortognáissico Migmatítico Sobradinho-Remanso (A23gs) e em Metamonzogranito – Metassienogranito (PP2γ2msf). Corresponde a corpos cinza-esbranquiçados, esverdeados, granulação fina a média, maciços, às vezes foliados. São constituídos por diopsídio, epidoto, tremolita-actinolita, plagioclásio, quartzo e hornblenda. Em zona de migmatização, a rocha calcissilicática é intrudida por mobilizados quartzo-feldspáticos, graníticos e pegmatíticos. Para Souza et al. (1979), a rocha calcissilicática pode ser classificada como piroxenito, com teores de 70% de diopsídio.

Na fazenda Forquilha, no sangradouro da barragem do povoado de Lagoa do Alegre, ocorrem melhores exposições de litotipos polideformados da Sequência Macambira sobre a forma indivisa (A4lmi) associadas em ortognaisse. Nesse local, 7 (sete) litologias distintas ocorrem intercaladas: (a) tremolítico verde-escuro, fino a grossa, minerais aciculares e com intrusões de pegmatito de composição sienítica; (b) Anfíbolito de cor verde, granulação fina a média, constituída por clinoanfíbolio e plagioclásio, ocorrendo intercalada com BIF; (c)

paragnaisse com granulação fina média, constituído por quartzo, feldspato, granada e biotita; (d) formação ferrífera bandada de coloração cinza-escuro, constituída por magnetita, quartzo, cummingtonita-grunerita, hornblenda e hematita; (e) xisto cinza-escuro a negro constituído por biotita e quartzo; (f) grafita-xisto, rocha azul a azul-cinzenta constituída por grafita, quartzo, biotita e muscovita; e (g) gnaiss amarelo-esbranquiçado, composição granítica, granulação variando de fina a pegmatóide. Esse conjunto de litotipos está intercalado próximo à charneira, em zona de encurtamento do antiforme invertido, podendo estar associado a então zona de redobramento com encurtamento orientado na direção E-W, onde se verifica, mais a leste, o contato entre o Complexo Ortognáissico Migmatítico Sobradinho-Remanso (A23gs) e Augen-ortognaisse (A4yml) com redobramento em M e encurtamento na direção supracitada.

6.1.2 Quartzito (A4lmqt)

Está localizado em diversas regiões da área e destaca-se pelas cristas e serrotes alinhados concordantemente ao *trend* regional NNE/SSW. Ocorre como litotipo branco a branco-acinzentado, creme-esbranquiçado, granulação média a fina, maciço a cataclasado, constituído por quartzo, mica, K-feldspato e hematita/magnetita. Localmente, apresenta faixa intercalada com a formação ferrífera bandada e com os metachert.

Segundo Souza et al., (1979), o quartzito acompanha, com frequência, com as ocorrências da rocha calcissilicática e, nesses casos, carrega consigo como minerais acessórios, como clinopiroxênio (diopsídio) e tremolita-actinolita, verificando-se assim uma transição entre estas rochas. Este fato ocasiona o aparecimento de tipos petrográficos que pode ser classificado como quartzito e rocha calcissilicática.

6.1.3 Metabásicas/Metaultrabásicas (A4lmmu)

As rochas metabásicas/metaultrabásicas ocorrem como tremolititos, tremolita-actinolita-xisto, actinolitito e talco-xisto. São verde-escuras a negras, fina a médias, compactas, lineadas ou foliadas, até bandadas e sedosas.

O talco-xisto, tipo menos comum, está localizado na fazenda Limoeiro a sul da localidade de Barragem. É uma rocha xistosa, sedosa, de cor verde-esbranquiçada, raramente

maciça, constituída essencialmente por talco, contendo ainda clorita, muscovita e, por vezes, cristais de turmalina.

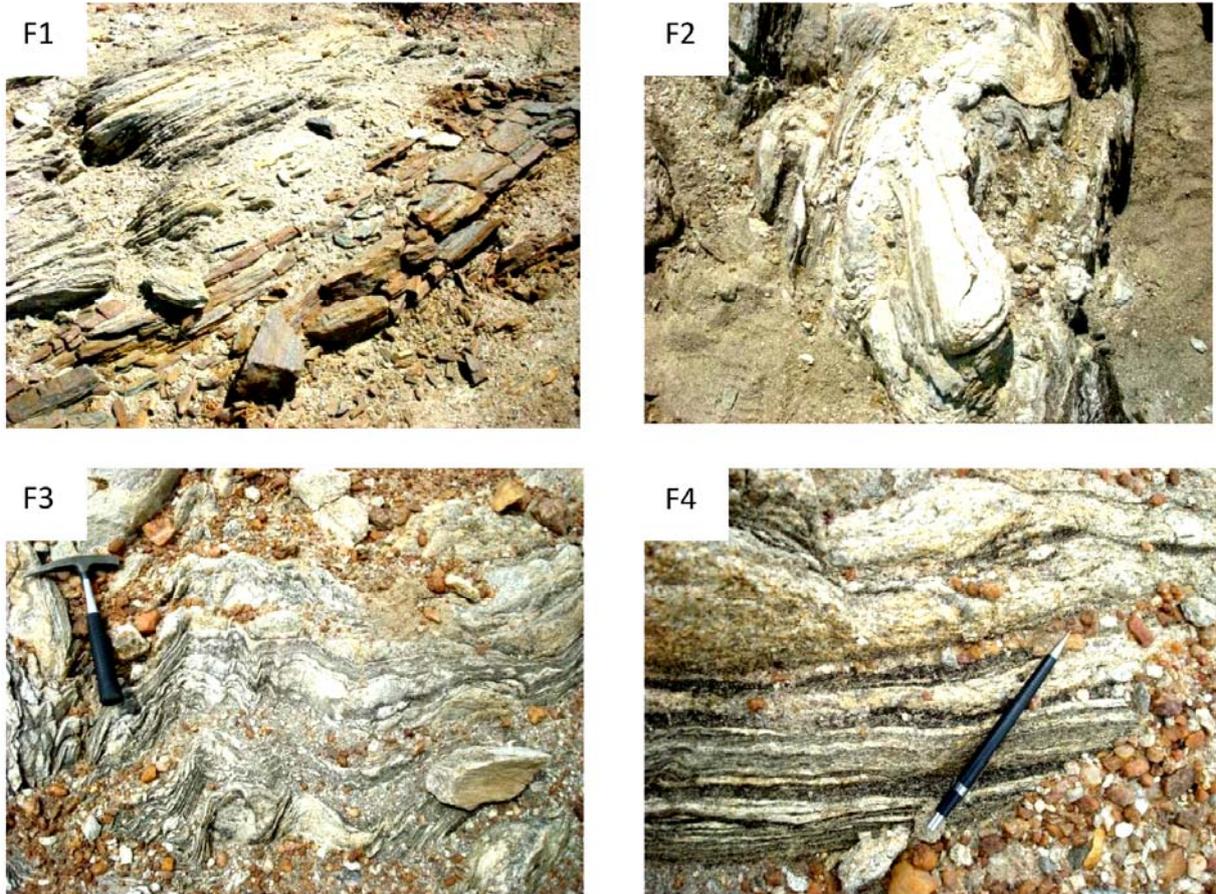


Figura 17 – Complexo Lagoa do Alegre – Unidade Macambira. (F1) – Fotografia em planta de paragnaisse e formação ferrífera intercalados, Unidade Indivisa. (F2) – Fotografia em planta de paragnaisse com dobramento em laço, evidenciado superposição de eventos deformacionais, Unidade Indivisa. (F3) – Fotografia em planta de gnaisse com dobramento em M. (F4) – Fotografia em planta e detalhe, mostrando bandamento gnáissico crenulado, Unidade Indivisa (A4Imi). Aforamento localizado no sangradouro da barra de Lagoa do Alegre, folha homônima. Casa Nova-Ba.



Figura 18 – Complexo Lagoa do Alegre – Unidade Macambira. (G1) - Fotografia em planta mostrando xenólito de metabásito (Xisto – Xis), Unidade Indivisa (A4lmi) e ortognaisse milonítico. (G2) - Fotografia em planta mostrando xenólito de metabásito (Xisto – Xis). Unidade Indivisa, em ortognaisse milonítico mostrando cinemática sinistral. (G3) – Fotografia em planta do *augen*-ortognaisse (A4γml) e formação ferrífera intercalados e dobrados, Unidade Indivisa (A4lmi). (G4) - Fotografia em planta do *augen*-ortognaisse (A4γml), actinolítico e biotita xisto, intercalados e dobrados, Unidade Indivisa (A4lmi). Aforamento localizado no sangradouro da barra de Lagoa do Alegre, folha homônima. Casa Nova-Ba.

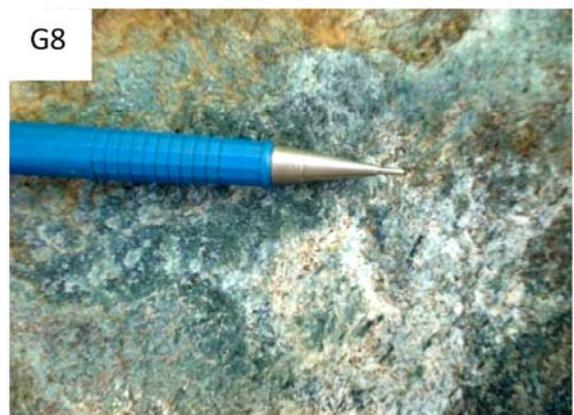


Figura 19 – Complexo Lagoa do Alegre – Unidade Macambira. (G5) - Fotografia em planta de augen-ortognaisse (A4γml) e grafita-xisto intercalados e dobrados, Unidade Indivisa (A4lmi). (G6) – Fotografia em planta de actinolitito com fenocristais de clino-anfibólio, hábito acicular, Unidade Indivisa (A4lmi). (G7) – Fotografia em planta com visão geral mostrando actinolitito, associado à Unidade Máfica-ultramáfica (A4lmuu). (G8) - Fotografia em detalhe da G7, mostrando actinolitito verde, granulação fina a média, associado à Unidade Máfica-ultramáfica (A4lmuu), localizado na faz. João Soares, Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba.



Figura 20 – Complexo Lagoa do Alegre – Unidade Macambira. (H1 e H2) - Fotografias em seção NW-SE, mostrando talco-xisto com metaultramáfica e formação ferrífera sobrepostos, associado à Unidade Máfica-ultramáfica (A4Imuu). (H3) – Detalhe da ocorrência de rocha metaultramáfica, associada à unidade máfica-ultramáfica (A4Imuu). (H4) – Detalhe da fotografia H1 mostrando talco xisto, verde-esbranquiçado e aspecto sedoso, associado à unidade máfica-ultramáfica (A4Imuu), faz. Limoeiro, Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba.

6.2 UNIDADE METASSEDIMENTAR: MINADORZINHO (A4In)

A Unidade Minadorzinho está localizada a oeste, leste da Folha Lagoa do Alegre e é composta por quartzito (**A4Inqt**); formação ferrífera bandada (**A4Inff**), biotita xisto paragnaisse/biotita gnaisse (**A4Inxpg**) e micaxisto com granada ±cianita ±estauroлита-biotita (**A4Inx**). Apresenta relevo acidentado com cristas alongadas nas sequências de quartzito/gnaisse/paragnaisse (Figura 11) (Figura 21).

6.2.1 Quartzito (A4Inqt)

Está localizando no extremo leste da Folha Lagoa do Alegre e apresentam litotipos branco-acinzentadas, creme esbranquiçado, médio a fino, maciço, constituído por quartzo e mica. Em zona de cisalhamento transcorrente de alto *strain*, recristalizam-se e tornam-se maciços com estruturas em bastões do tipo *mullions*. As melhores exposições estão localizadas em corte da BR 235, cerca de 10km a leste da estrada de acesso ao povoado de Lagoa do Alegre. O quartzito (A4Inqt) é constituído por grãos fino a médio de quartzo, mica e feldspato. A associação quartzo+feldspato e mica, quando submetida às altas tensões nas zonas de cisalhamento transcorrente, reorienta toda a trama e dá aspecto gnáissico à rocha, com segregação do quartzo+feldspato e mica. Em alguns locais, associado ao quartzito, no topo dos morros, ocorre rocha metabásica, verde-escura, constituída por anfibólio, plagioclásio e quartzo, caracterizada por um bandamento centimétrico marcado por minerais máficos/félsicos. No geral, toda esta trama, está orientada segundo zona de transcorrência com foliação milonítica S_{n+2} (N185/44W).

6.2.2 Biotita xisto/Paragnaisse/Biotita gnaisse (A4Inxpg)

O biotita xisto/paragnaisse/biotita gnaisse ocorre no quadrante noroeste e porção leste da Folha Lagoa do Alegre e são compostos por uma sucessão de rochas cinza-escuras a claras, creme-esbranquiçadas a rosadas, granulação fina a média, com níveis marcados por porfiroblasto de K-feldspato e micáceos.

O biotita xisto é constituído por biotita, feldspato e quartzo com plano de xistosidade S_n 005/56SE, onde se desenvolveu uma crenulação. Geralmente, é intrudido por pegmatito de composição sienítica, podendo também ocorrer em paralelo à xistosidade.

O paragnaisse é constituído por quartzo, K-feldspato, plagioclásio, biotita e exhibe bandamento contínuo e dobrado localmente, marcado níveis félsico e máfico, de espessura milimétrica a decimétrica. Os porfiroblastos de K-feldspato possuem tamanho variando entre 1cm a 2cm e são restritos aos paragnaisse e biotita – gnaisse. O bandamento dobrado é marcado pela segregação centimétrica de minerais félsicos e máficos. A norte da região de Lagoa do Alegre, há a presença de silimanita como acessórios e vários pegmatitos similares aqueles descritos no biotita-xisto que ocorrem em paralelo e também truncando o bandamento composicional (PRADO; VASCONCELO ,1991).

O biotita gnaisse apresenta a coloração cinza-rosada, granulação fina a grossa, composição similar ao paragnaisse descrito anteriormente e ocorre associado principalmente com lentes de xisto cinza. Está deformado, nucleado por dobras assimétricas com caimento para sul, dobras isoclinais e recumbentes, às vezes, com veio de quartzo boudinado associado. Apresenta bandas de cisalhamento transcorrente com cinemática sinistral, marcada pelo arrasto do bandamento gnáissico. As estruturas rúpteis são caracterizadas por fraturas conjugada na direção NE/SW e NW/SE, às vezes, preenchida por veio de quartzo ou pegmatito de composição sienítica.

6.2.3 Micaxisto (A4Inx)

É constituído por quartzo, biotita, muscovita, granada, estauroлита, cianita, sericita e clorita, de cor cinza-escuro a esbranquiçada, exhibe paletas de mica orientadas e grãos ou massa de quartzo aleitado, ou alinhado nucleando uma xistosidade. Apresenta intercalação subordinada centimétrica a métrica de biotita-gnaisse, além de lentes de quartzito e, por vezes, com rocha calcissilicática e tremolitito. O micaxisto é intrudido por corpos graníticos e foi afetado por processo de migmatização de intensidade variável. Esta migmatização ocorre por meio de injeções quartzo-feldspáticas, graníticas e pegmatíticas, formando veios e lentes concordantes com a xistosidade ou truncando a mesma.

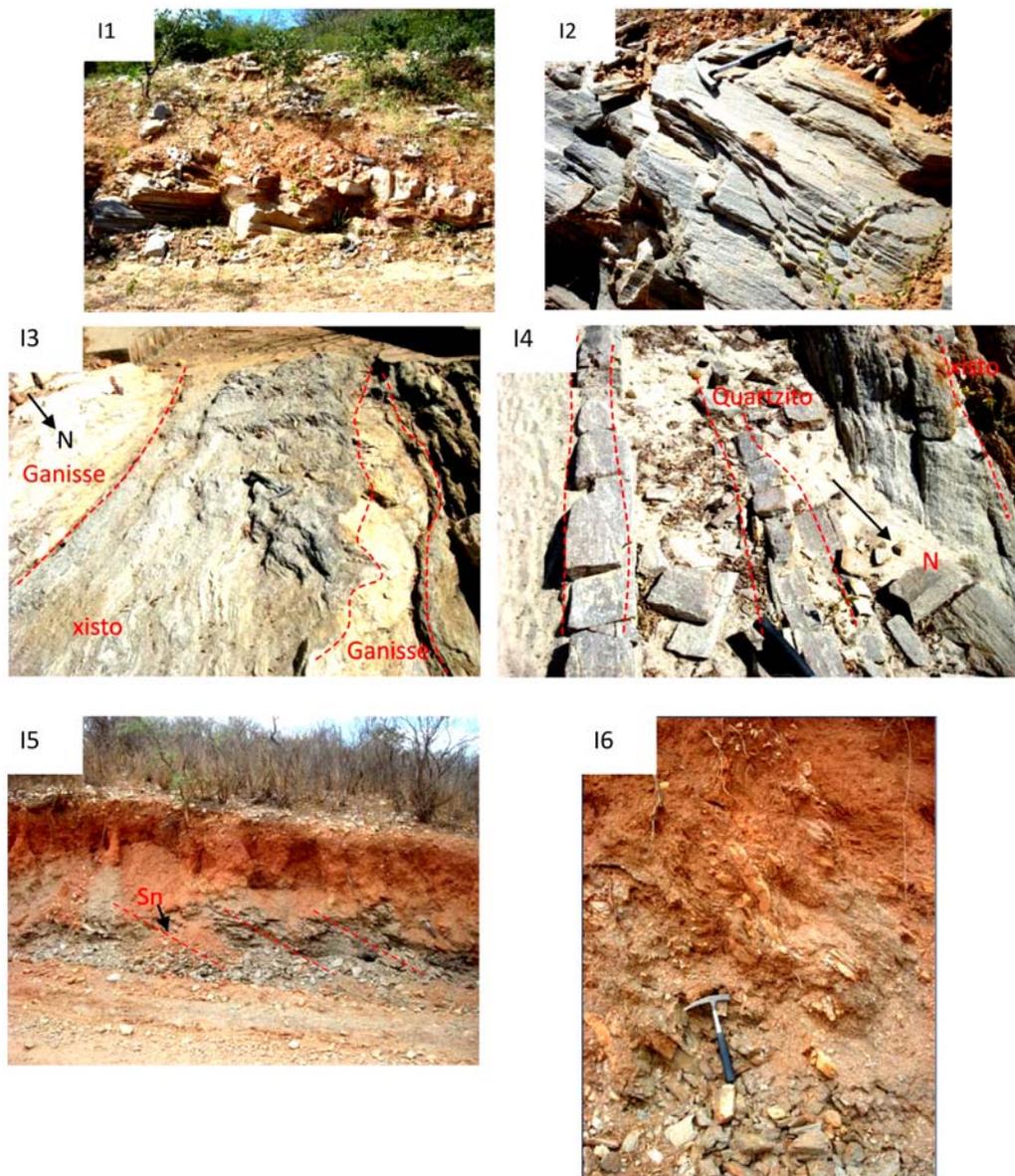


Figura 21 – Complexo Lagoa do Alegre – Unidade Minadorzinho. (I1) – Fotografia mostrando visão geral da ocorrência de quartzito branco (A4Inqt). (I2) – Fotografia em planta mostrando quartzito branco acinzentado, milonítico, localizado em zona de transposição, com Lx//Lb (10 p/ N200), (A4Inqt), localizado na faz. Limoeiro, Br-235. (I3) - Fotografia em planta com visão geral do afloramento de Silimanita biotita xisto/paragnaisse/biotita-gnaiss com foliação ondulada (Sn N205/64NW e Lb 50° p/ N300), localizado próximo à Faz. Vitória. (I4) – Detalhe da fotografia I34 mostrando Silimanita-biotita xisto/paragnaisse/biotita gnaiss com lente de quartzito (Alnxpg), localizado próximo à faz. Vitória. (I5) - Fotografia em seção (W-E) de afloramento de xisto cinza com xistosidade SN N005/56SE e Lb+1 56° p/ N140, localizado próximo à faz. Barra Ponto. (I6) - Detalhe da foto I5 mostrando Biotia xisto cinza, com pegmatito intercalado no plano da xistosidade e dobrado, (Alnxpg). Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba.

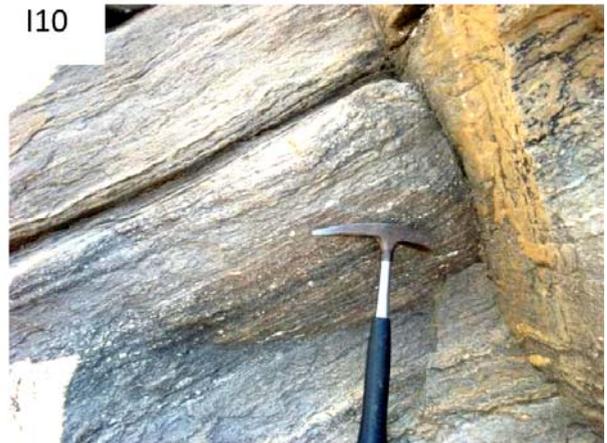
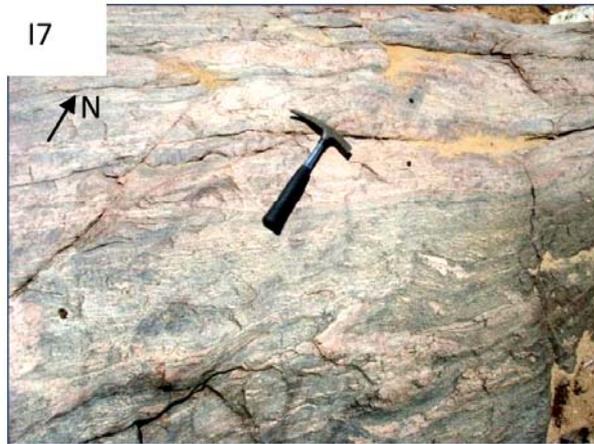


Figura 22 – Complexo Lagoa do Alegre – Unidade Minadorzinho. (17) - Fotografia em planta de afloramento de biotita gnaíse cinza rosado mostrando bandamento composicional, marcado por níveis enriquecido por K-feldspato, (Alnxpg). (18) - Fotografia em planta de afloramento de Biotita gnaíse, cinza rosado com dobras assimétricas (Lb 19° p/ N340) e bainha (Alnxpg), localizando na Faz. João Alves, Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba. (19) – Fotografia de afloramento mostrando visão geral paragneíse cinza, (Alnxpg). (110) – Detalhe da Fotografia I9, mostrando paragneíse cinza marcado pelo bandamento centimétrico e com porfíblasto de K-feldspato em uma matriz de composição granítica fina a média, S₁/S₀ N110/24SW), (Alnxpg), localizado próximo à faz. Barra, Folha Lago do Alegre. Casa Nova-Ba.

7 PETROGRAFIA DAS ROCHAS DO COMPLEXO LAGOA DO ALEGRE, GRANITOS ASSOCIADOS E DO EMBASAMENTO CRISTALINO (TTG).

7.1 PETROGRAFIA DAS ROCHAS DO COMPLEXO LAGOA DO ALEGRE

7.1.1 Biotita xisto

Esse litotipo ocorre intercalado com Plagioclásio-microclínio xisto e Microclínio-biotita-xisto e em escala mesoscópica apresenta cor marrom acastanhado, granulação fina média com cristais orientandos, formando geometria em dobra. Microscopicamente, essa rocha apresenta textura lepdoblástica com forte orientação dos cristais de biotita e com porções marcadas por textura granoblástica formada por cristais de quartzo e feldspato. São observadas dobras assimétrica com processo de crenulação superposto, marcado pela concentração de biotita no plano de xistosidade. A composição modal é dada: biotita (~ 39%), quartzo (~30%), microclínio (~12%), plagioclásio (~5%), muscovita (~10%), sericita (~03%) e zircão (01%) (Figura 23).

Biotita apresenta tonalidade marrom a marrom acastanhada, forma tabular granulação fina a média, forte orientação preferencial ao longo de microdobras. O **Quartzo** ocorre com a granulação fina a média, forma xenoblástica, contatos o interlobados, exibe deformação intracristalina, com leve extinção ondulante e ausência de orientação de forma. **Microclínio** ocorre com a granulação fina a média, forma hipidioblástica, por vezes, com extinção ondulante e com contatos curvos e interlobado com biotita. **Plagioclásio** ocorre com granulação fina, hipidioblástico, ausência de maclas polissitéticas e com extinção ondulante. **Muscovita** ocorre com a granulação fina a média, forma tabular, possivelmente produto da transformação da biotita. **Sericita** ocorre com granulação fina como produto de alteração da biotita. **Zircão** ocorre com granulação muito fina, disperso na seção, ou incluso na biotita e plagioclásio.

7.1.2 Plagioclásio-microclínio xisto

O Plagioclásio-microclínio xisto ocorre intercalado com Biotita-xisto e Microclínio-biotita xisto e em escala mesoscópica apresenta cor marrom acastanhado, granulação fina a média e com plano de orientação. Microscopicamente, essa rocha apresenta textura granolepidoblástica com orientação dos cristais de quartzo, plagioclásio, K-feldspato e micas. Ocorre bandamento marcado por quartzo+plagioclásio+microclínio definindo domínio granoblástico e bandas dominadas por bitiotia e muscovita, formando um domínio lepdoblástico e com crenulação associada. A composição modal é dada: microclínio (~39%), plagioclásio

(~20%), quartzo (~19%), biotita (~14%), muscovita (~6%), zircão (<1%) e magnetita (<1%) (Figura 24).

Microclínio ocorre com a granulação fina a média, forma hipidioblástica, por vezes, com extinção ondulante em contato curvo com a biotita. **Plagioclásio** ocorre com granulação fina, hipidioblástico, com geminação albita-*Carlsbad* e extinção ondulante. **Quartzo** ocorre com a granulação fina a média, forma xenoblástica, contatos interlobados, exibe deformação intracristalina, com leve extinção ondulante e ausência de orientação de forma. **Biotita** apresenta tonalidade marrom a marrom acastanhada, forma tabular granulação fina a média, forte orientação preferencial. **Muscovita** ocorre com a granulação fina a média, forma tabular, possível que seja produto da transformação da biotita. **Zircão** ocorre com granulação muito fina, disperso na seção, ou incluso na biotita e plagioclásio. **Magnetita** ocorre com granulação fina e dispersa na seção.

7.1.3 Microclínio-biotita gnaiss

Esse litotipo ocorre intercalado com Plagioclásio-microclínio xisto e Microclínio-biotita xisto e, em escala mesoscópica, apresenta cor marrom acastanhado, granulação fina a média e com plano de orientação. Microscopicamente, essa rocha apresenta textura granoblástica, com bandamento marcado pela orientação microclínio, quartzo e plagioclásio, e outro domínio marcado pela orientação da biotita. A composição modal é dada: microclínio (~40%), quartzo (~19%), plagioclásio (~15%), biotita (~15%), muscovita (~9%), zircão (1%) e magnetita (1%) (Figura 25).

Microclínio ocorre com a granulação fina a média, forma hipidioblástica, por vezes, maclas em xadrez, com extinção ondulante em contato curvo com a biotita e raramente com crescimento pertítico. **Quartzo** ocorre com a granulação fina a média, forma xenoblástica, contatos o interlobados, exibe deformação intracristalina, com leve extinção. **Plagioclásio** ocorre com granulação fina, hipidioblástico, com geminação albita-*Carlsbad* e extinção ondulante e no contato com microclínio ocorre mimerquita. **Biotita** apresenta tonalidade marrom a marrom acastanhada, forma tabular granulação fina a média, forte orientação preferencial. **Muscovita** ocorre com a granulação fina a média, forma tabular, possivelmente produto da transformação da biotita. **Zircão** ocorre com granulação muito fina, disperso na

seção, ou incluso na biotita e plagioclásio. **Magnetita** ocorre com granulação fina e dispersa na seção

7.1.4 Paragnaisse

Apresenta a textura granoblástica marcada por cristais de quartzo e feldspato e subordinadamente, textura lipidoblástica assinada pelas paletas orientadas de biotita. A composição modal é dada: plagioclásio (~39%), quartzo (~28%), microclínio (~10%), biotita (~13%), granada (~08%), zircão (1%) e magnetita (1%) (Figura 26).

Plagioclásio ocorre com granulação fina a média, idioblástico a subidioblástico, contato interlobado a poligonal, rara presença de geminação *albita-Carlsbad* e exibe extinção ondulante. **Quartzo** ocorre com a granulação fina a média, forma xenoblástica, contatos o interlobados, exibe deformação intracristalina, com leve extinção ondulante. **Microclínio** ocorre com a granulação fina a média contatos retilíneos a interlobado, forma idioblástica a hipidioblástica, por vezes, maclas em xadrez e com extinção ondulante. **Biotita** apresenta tonalidade marrom a marrom acastanhada, forma tabular granulação fina a média, forte orientação preferencial. **Granada** ocorre com a granulação fina a média, forma idioblástica, relevo alto e com inclusão de quartzo. **Zircão** ocorre com granulação muito fina, disperso na seção, ou incluso na biotita e plagioclásio. **Magnetita** ocorre com granulação fina e dispersa na seção.

7.1.5 Quartzito

Apresenta a textura granoblástica constituída por cristais de quartzo recristalizado. A sua composição modal é representada por quartzo (~74%), magnetita (~11%), biotita (~05%), muscovita (~09%), e zircão (<1%) (Figura 27).

Quartzo ocorre com a granulação fina a média, forma xenoblástica, grão alongados a poligonais, contatos o interlobados a retilíneos, deformação intracristalina com extinção ondulante e subgrãos gerados por processo de recristalização dinâmica, migração de borda, orientação de forma e preferencial. **Muscovita** ocorre com a granulação fina a média e forma tabular. **Magnetita** ocorre com granulação fina, forma subidioblástica, ocorrendo disperso na seção. **Zircão** ocorre com granulação fina e dispersa na seção.

7.1.6 Grafita Xisto

Apresenta a textura granolepidoblástica marcada pela orientação dos cristais de quartzo, grafita e micas. A composição modal é dada: grafita (~45%), quartzo (~18%), muscovita (~27%), biotita (~09%), apatita (1%) (Figura 28).

Grafita ocorre granulação fina a média, forma de finas paletas orientadas no plano de foliação. **Quartzo** ocorre com a granulação fina, forma xenoblástica, contatos o interlobados e retílineo, exibe deformação intracristalina, com leve extinção ondulante. **Biotita** apresenta tonalidade marrom a marrom acastanhada, forma tabular, granulação fina, forte orientação preferencial. **Muscovita** ocorre com a granulação fina, incolor, forma tabular, forte orientação preferencial e está associada a alteração da biotita. **Apatita** ocorre com granulação fina e dispersa na seção.

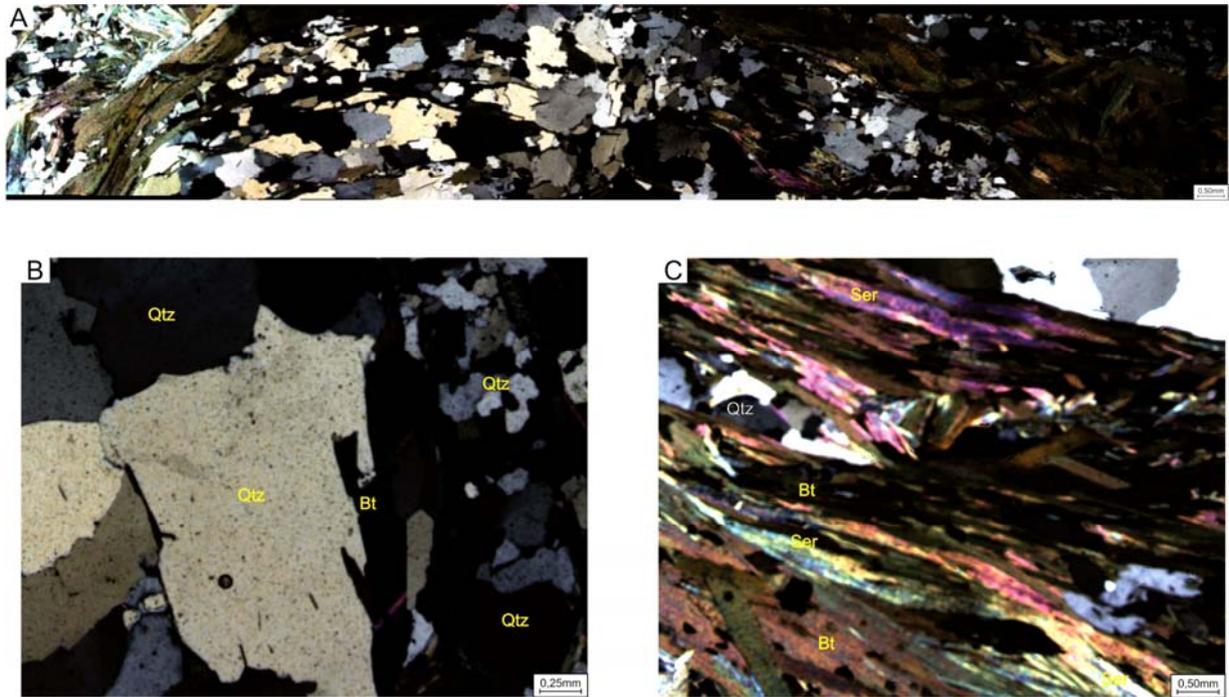


Figura 23 – Fotomicrografia 1. Biotita xisto: A - Mosaico exibindo a textura granolepdoblástica com a xistosidade fortemente dobrada, marcado pelos cristais de biotita (Bt) (Luz transmitida e Pol X). B – Detalhe do quartzo (Qtz) com atenção para o quadrante nordeste da foto, formando subgrão por recristaliação dinâmica, associado ao dobramento da xistosidade (Luz transmitida e Pol X). C – Cristais de biotita (Bt) com porções transformadas em sericita (Ser), marcando um subdomínio lepdoblástica (Luz transmitida e Pol X). Abreviações conforme Kretz (1983).

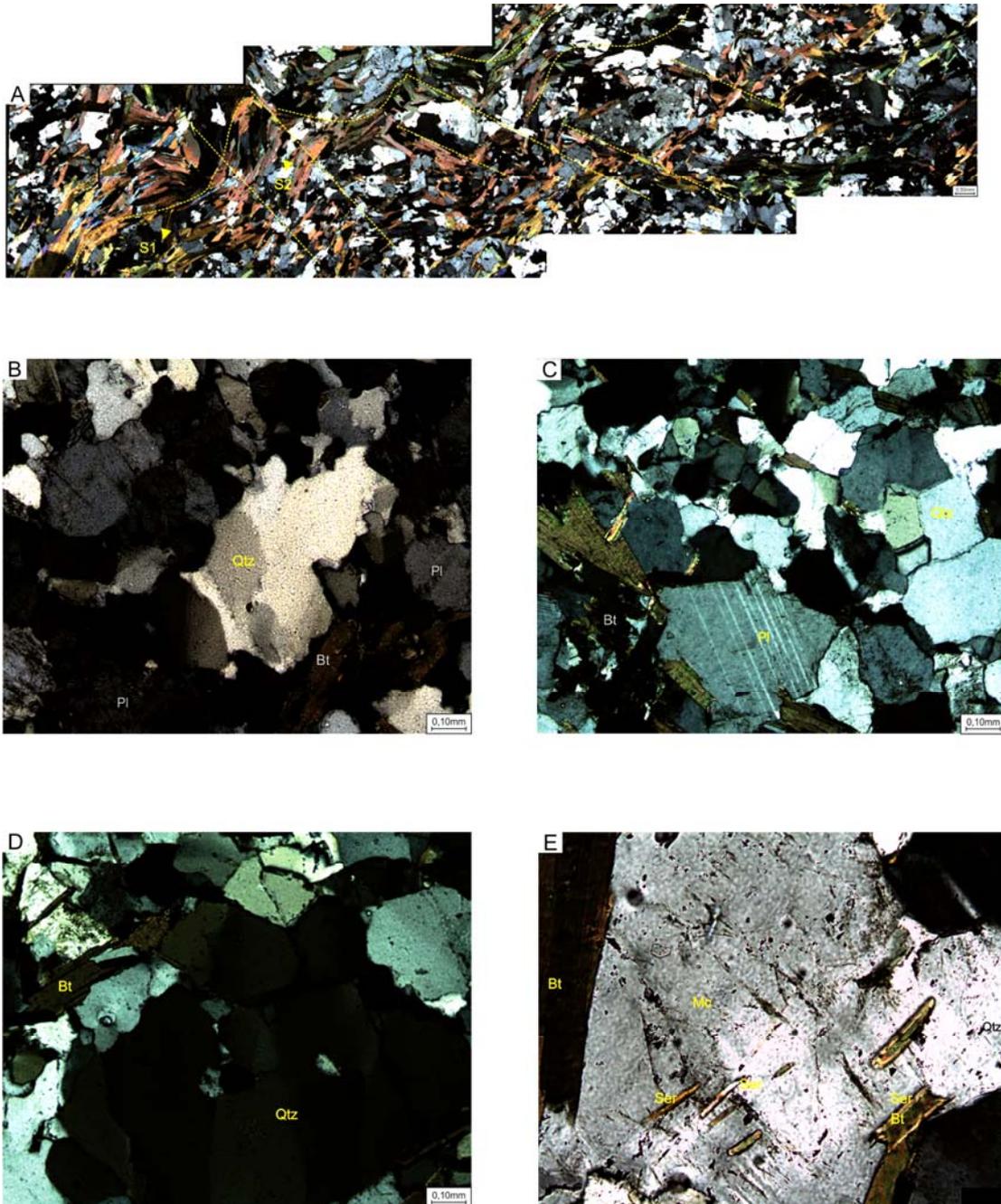


Figura 24 – Plagioclásio-biotita xisto: A - Mosaico exibindo a textura granoleptoblástica com a xistosidade fortemente dobrada (S_1) com geração de foliação plano-axial (S_2) (Luz transmitida e Pol X). B – Detalhe do quartzo (Qtz) com lamelas de deformação e subgrão tipo tabuleiro de xadrez. (Luz transmitida e Pol X). C – Cristais de plagioclásio (Pl) exibindo germinação albita (Luz transmitida e Pol X). D – Cristal de quartzo com lamelas de deformação e geração de subgrãos por rotação (Luz transmitida e Pol X). Cristal de microclínio (Mc) com inclusões de biotita (Bt) com borda alterando para sericita (Ser) (Luz transmitida e Pol X). Abreviações conforme Kretz (1983).

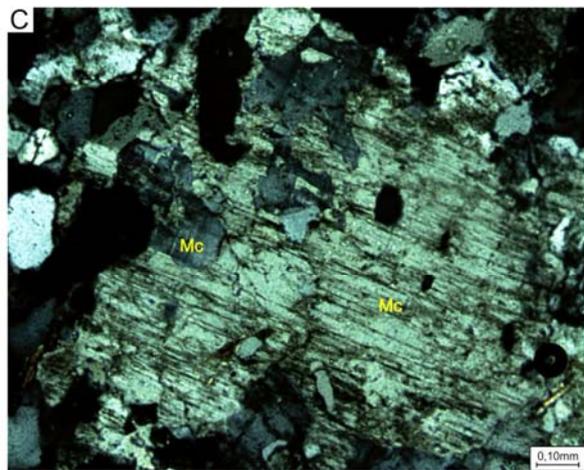
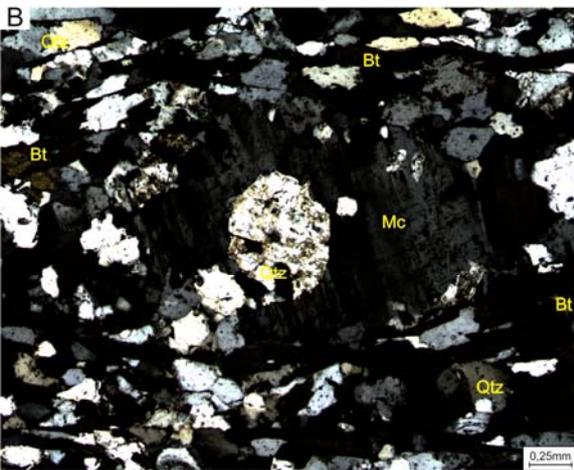
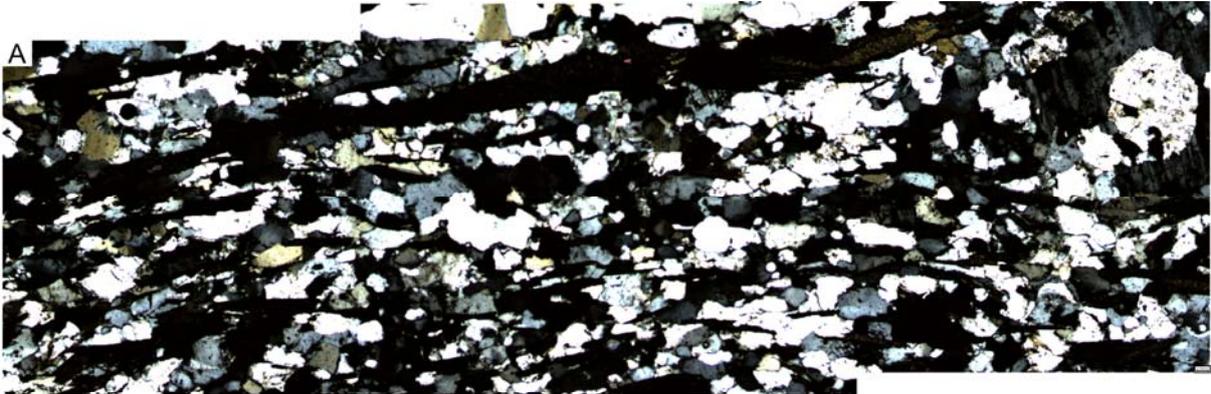


Figura 25 – Microclínio-biotita gnaiss: A - Mosaico exibindo a textura granoblástica (Luz transmitida e Pol X). B – Detalhe da microclínio (Mc) com extinção ondulante e inclusão de quartzo (Qtz) (Luz transmitida e Pol X). C – Detalhe do cristal microclínio (Mc) em processo de seritização (Luz transmitida e Pol X). Abreviações conforme Kretz (1983).

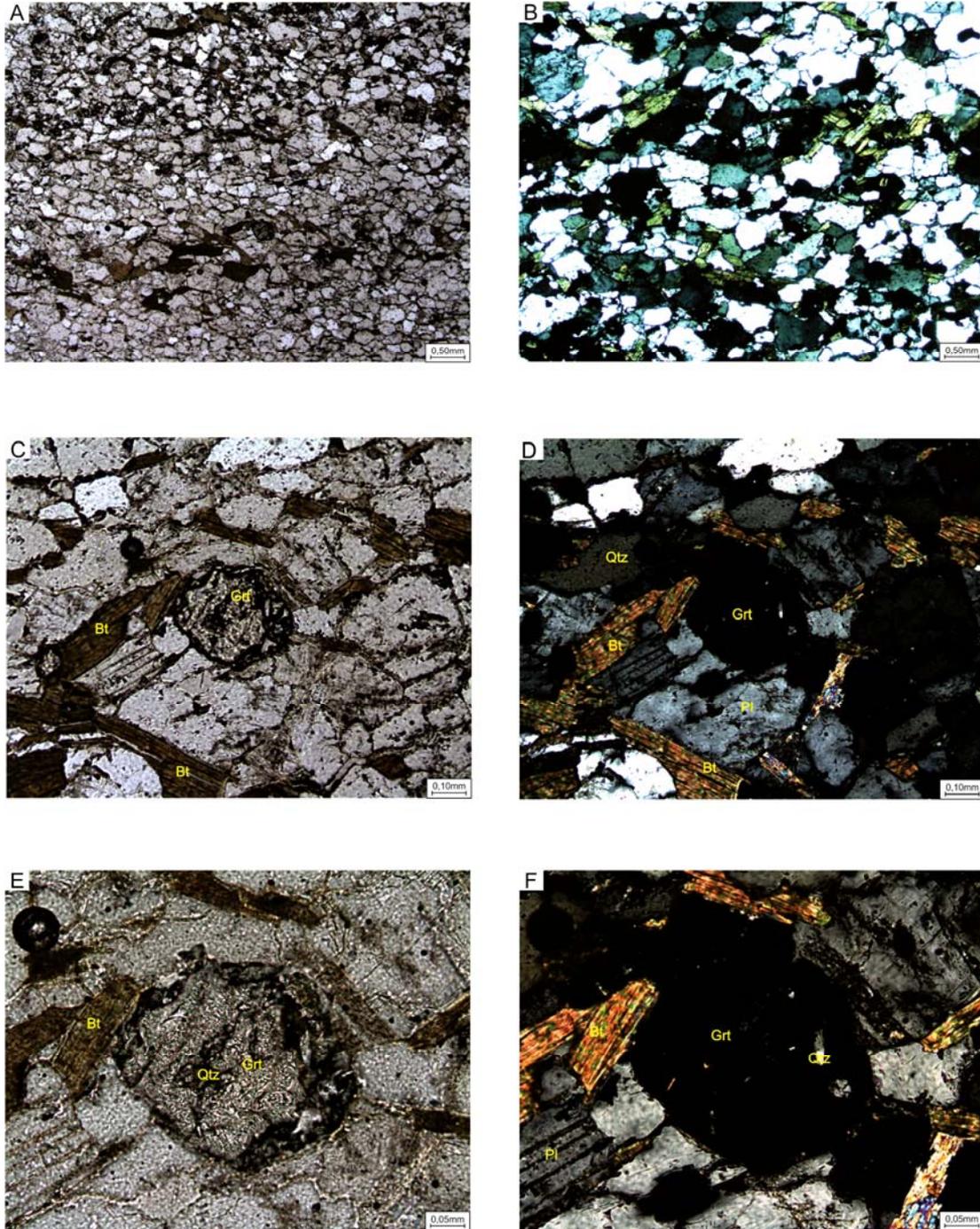


Figura 26. Paragneisse: A e B - Aspecto geral da rocha com textura granoblástica (Luz transmitida e Pol // e X). C e D – Aspecto geral da rocha mostrando leve orientação da biotita (Bt) (Luz transmitida e Pol // e X). E e F – Detalhe cristal de granada (Grt) poiquilítica com inclusão de quartzo (Qtz), sendo bordado por biotita em processo de seritização leve (Luz transmitida e Pol // e X). Abreviações conforme Kretz (1983).

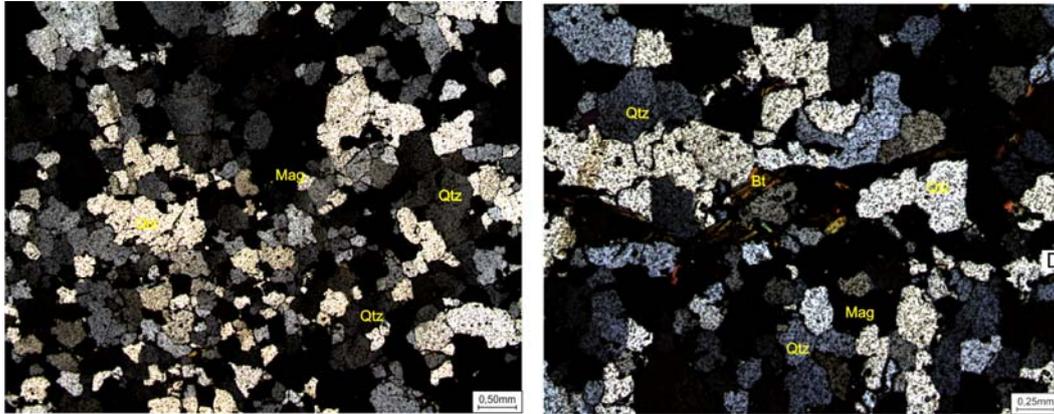


Figura 27 – Quartzito: A - Aspecto geral da rocha com texturas granoblástica e milonítica subordinada, com diminuição de grãos de quartzo (Qtz) (Luz transmitida e Pol X). B – Detalhe mostrando biotita lamelar associada a cristais de quartzo (Qtz) com migração de borda (Luz transmitida e Pol X). Abreviações conforme Kretz (1983).

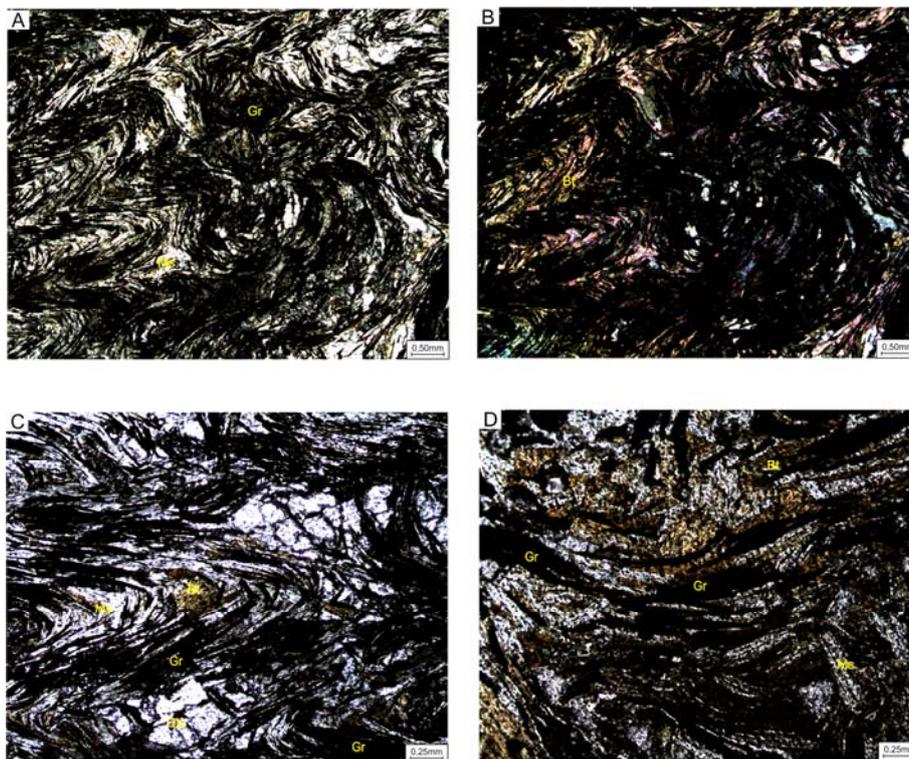


Figura 28. Biotita-grafita xisto: A e B – Aspecto geral da rocha mostrando forte dobramento da xistosidade marcada por grafita (Gr) e biotita (Bt) (Luz transmitida e Pol // e X). C e D – Cristais de quartzo (Qtz), biotita (Bt) e muscovita (Ms) produto de alteração de biotita fortemente orientados (Luz transmitida e Pol // e X). Abreviações conforme Kretz (1983).

7.1.7 Metapiroxenito

Apresenta granulação fina a média, inequegranular, com textura decussada nucleada por cristais de clinopiroxênio e clinofibólio. A composição modal é dada por: clinopiroxênio (~69%), clinofibólio (~24%), óxi-hidróxido de ferro (~05%) e magnetita (~02%) (Figura 34).

Clinopiroxênio ocorre com granulação fina a grossa, prismático, pleocroísmo incolor a castanho pálido, idioblástico a subidioblástico, contatos retilíneos e reentrantes, extinção oblíqua (~37°) e birrefringência alta. **Clinofibólio** ocorre com granulação fina a média, subédrico, com tonalidade verde pálido e com bordas e planos de descontinuidades alterados para óxi-hidróxidos de ferro. **Magnetita** ocorre com granulação fina e dispersa na seção. **Óxi-hidróxido de ferro** ocorre com tonalidade avermelhada, associado às bordas e planos de descontinuidades do clinofibólio.

Os resultados de análises representativas de clinopiroxênio no Piroxenito do Complexo Lagoa do Alegre foram realizadas em borda-núcleo-borda (BNB) do cristal e em pontos aleatórios. Segundo o diagrama de Q-J, as amostras pertencem ao grupo dos piroxênios Ca-Mg-Fe e de acordo Leake et al., (1997) são classificado como diopsídio (Figura 29).

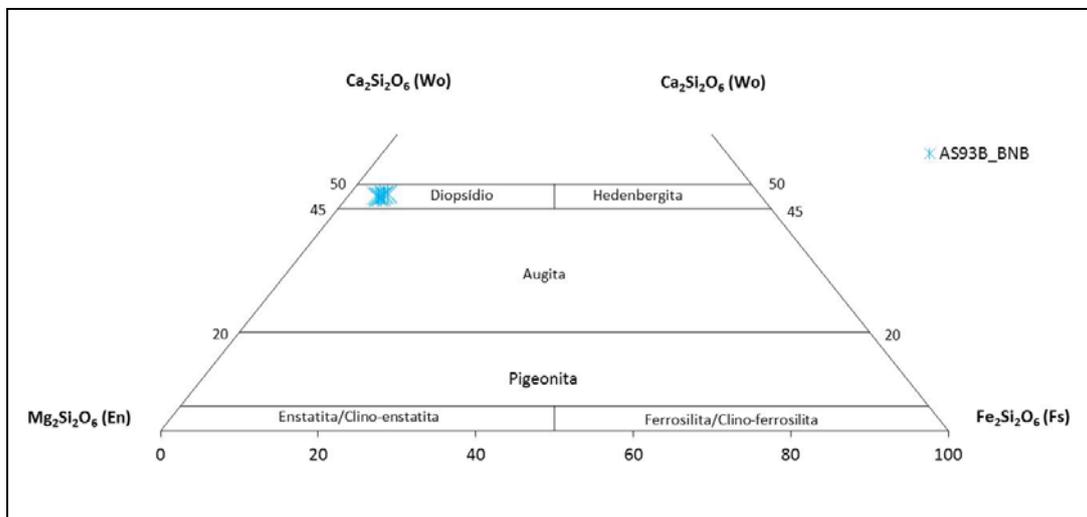


Figura 29 – Classificação dos piroxênios (LEAKE et al., 1997) presentes em piroxenito do Complexo Lagoa do Alegre.

7.1.8 Metaultramáfica hidrotermalizada

Rocha com granulação fina a grossa, apresentando textura cumulática, em que ocorre a substituição do mineral prismático (hábito preservado) por sílica criptocristalina, por processo hidrotermal, e, subordinadamente, ocorre a textura decussada associada aos cristais de clinofibólio e clinopiroxênio. A composição modal é dada por sílica criptocristalina (~75%), clinopiroxênio (~20%) e clinofibólio (~05%) (Figura 35).

Sílica criptocristalina ocorre por substituição nos minerais primásticos (olivina?), com nicóis cruzados aparecem com a forma radial e bordas formadas por óxi-hidróxido de ferro. **Clinopiroxênio** ocorre com granulação fina a grossa, prismático, pleocroísmo incolor a castanho pálido, forma idioblástica, contatos retilíneos e birrefringência alta. **Clinofibólio** ocorre com granulação fina a grossa, pleocroísmo verde pálido a castanho, extinção oblíqua.

Aas análises em microsonda eletrônica nos aglomerados de cristais que apresentam aspecto mosaico, típico de olivina, com textura cumulática em rocha metaultramáfica realizadas em pontos aleatórios e na borda-núcleo-boda, mostram que houve substituição total por sílica criptocristalina (calcedônia).

A tabela com os resultados de análise em microsonda dos cristais representativos do clinopiroxênio na metaultramáfica hidrotermalizada estão anexadas no apêndice. As análises foram realizadas seccionando o cristal e com base nos dados e segundo a classificação de Leake et al. (1997), são classificados como augita (Figura 30).

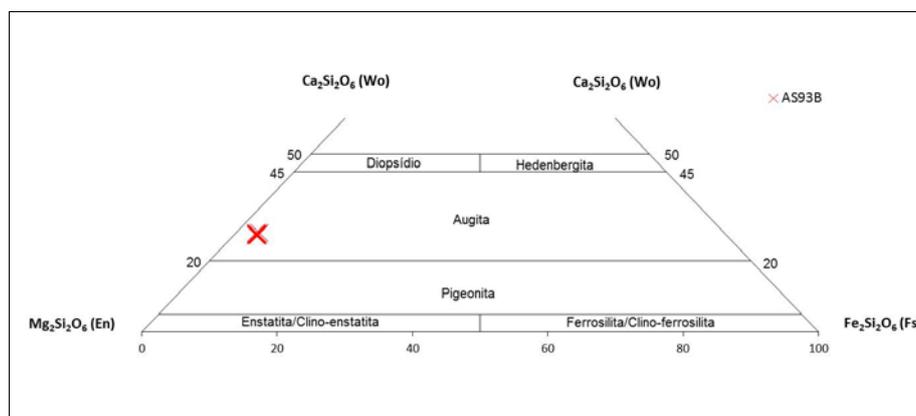


Figura 30 – Classificação dos piroxênios (LEAKE et al., 1997) presentes em metaultramáfica hidrotermalizada do Complexo Lagoa do Alegre.

Para o anfibólio, os resultados de análises em microsonda dos cristais representativos de clinofanfíbólios presentes na rocha metaultramáfica hidrotermalizada estão dispostos nos apêndices. As análises foram realizadas em pontos aleatórios e, de acordo com a classificação de Leake et al. (1997), pertencem ao grupo de anfíbólios monoclinicos em que $Ca + Na B \geq 1,34$ e $NaB < 0,67$ e classificadas são como tremolita (Figura 31).

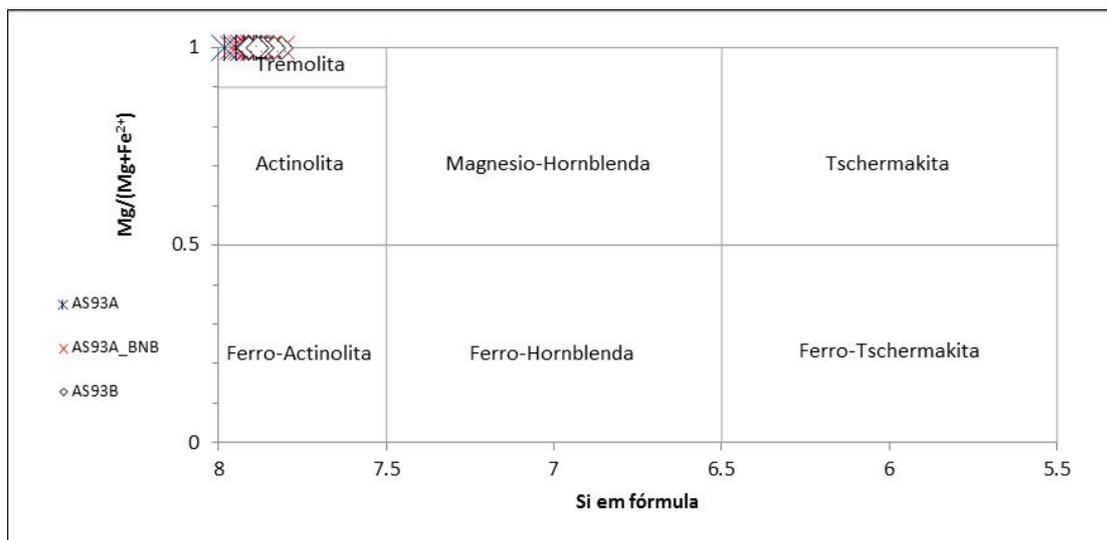


Figura 31 – Classificação de clinofanfíbólio (LEAKE et al., 1997) presente em metaultramáfica hidrotermalizada do Complexo Lagoa do Alegre.

7.1.9 Plagioclásio actinolitita fels

Apresenta granulação fina a grossa, com textura decussada marcada por cristais de clinofanfíbólio. A composição modal é dada: clinofanfíbólio (~80%), plagioclásio (~14%), biotita (~04%), Antofilita (~03%), magnetita (~03%) e calcopirita (<01%) (Figura 36).

Clinofanfíbólio ocorre com granulação fina a grossa, formas tabulares, pleocroismo em tons de verdes a acastanhado, birrefringência média a alta, fraturado e não ocorre orientação preferencial de forma. **Plagioclásio** ocorre com granulação fina a média, forma idioblástico a subidioblástica, contato interlobado, exhibe extinção ondulante e rara presença de geminação segundo a lei albita. **Biotita** apresenta tonalidade marrom a marrom acastanhada, forma tabular, granulação fina a média, e ocorre associada a actinolita, em que é possível observar o núcleo preservado. **Antofilita** apresenta a granulação média, forma tabular, incolor, birrefringência moderada em tons de amarelo, sem orientação preferencial e ocorre associada

a actinolita. **Magnetita** ocorre com granulação fina a média, forma subidioblástica a xenoblástica, apresenta processo de martitização nas bordas e planos de descontinuidades e ocupa os interstícios entre os anfibólios. **Calcopirita** apresenta a tonalidade amarelada, granulação muito fina e ocorre disperso na seção.

7.1.10 Magnetita anfibolito

Apresenta granulação fina a média, com textura nematoblástica marcada por cristais de clinoanfibólio orientados no plano de foliação. A composição modal é dada: clinoanfibólio (~74%), magnetita (~16%), ortoanfibólio (~08%) e óxi-hidróxido de ferro (~02%) (Figura 37).

Clinoanfibólio ocorre com granulação fina a grossa, forma tabular, pleocroísmo em tons de verdes a acastanhado, birrefringência mediana a alta, com orientação preferencial de forma. **Magnetita** ocorre com granulação fina a média, forma subidioblástica a xenoblástica, apresenta processo de martitização nas bordas e planos de descontinuidades. **Ortoanfibólio** ocorre com granulação grossa, formas tabulares, incolores, com birrefringência moderada, em tons de amarelo. Ocorre associado aos demais anfibólios e sem orientação preferencial de forma. **Oxi-hidróxido de ferro** ocorre com tonalidade avermelhada associada às bordas e planos de descontinuidades do clinoanfibólio e alteração da magnetita.

Os resultados de análises em microsonda dos cristais representativo em Magnetita anfibolito do Complexo Lagoa do Alegre estão dispostos em apêndice, e as análises foram realizadas em pontos aleatórios do cristal. De acordo com a classificação proposta por Leake et. al. (1997), são anfibólios cálcicos, pertencentes ao grupo de anfibólios monoclinicos em que $Ca + Na B \geq 1,34$ e $NaB < 0,67$ são classificados como Mg-hornblenda e tremolita (Figura 32). Enquanto que na amostra e análise 05B_C1_An 3 B e 05B_C1_An 3 N, verifica-se que parte do cristal está transformado em antofilita, com $Ca + Na B = 0,184$ e $0,134$, $NaB = 0,009$ e $0,017$, $Si = 7,752$ e $7,555$ e $Mg/(Mg+Fe_2) = 1,00$ e $1,00$ (Figura 33).

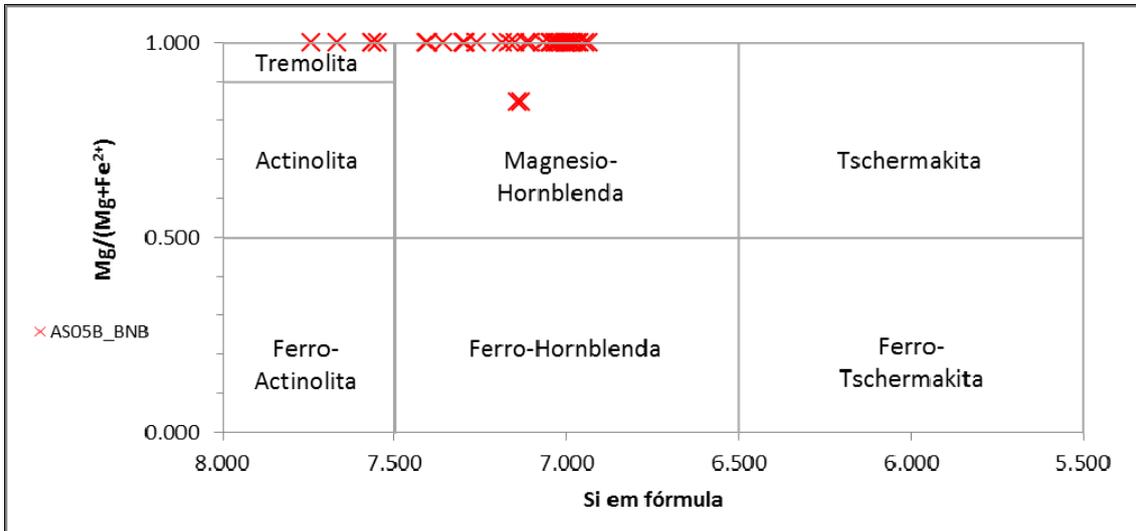


Figura 32 – Classificação de clinoanfíbólio (LEAKE et al., 1997) presentes em Magnetita anfibolito do Complexo Lagoa do Alegre.

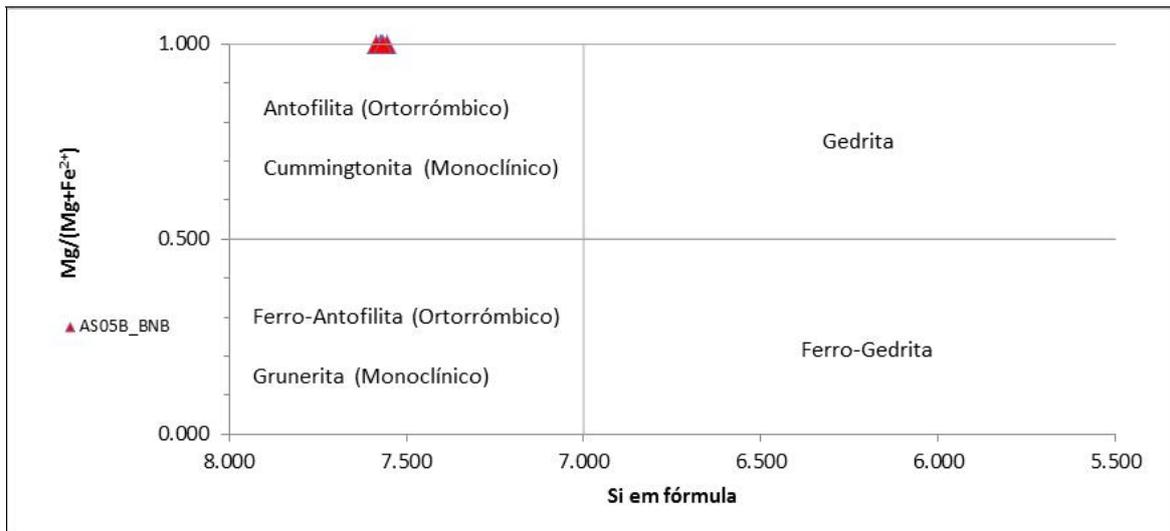


Figura 33 – Classificação de ortoanfíbólio (LEAKE et al., 1997) presentes em Magnetita anfibolito do Complexo Lagoa do Alegre

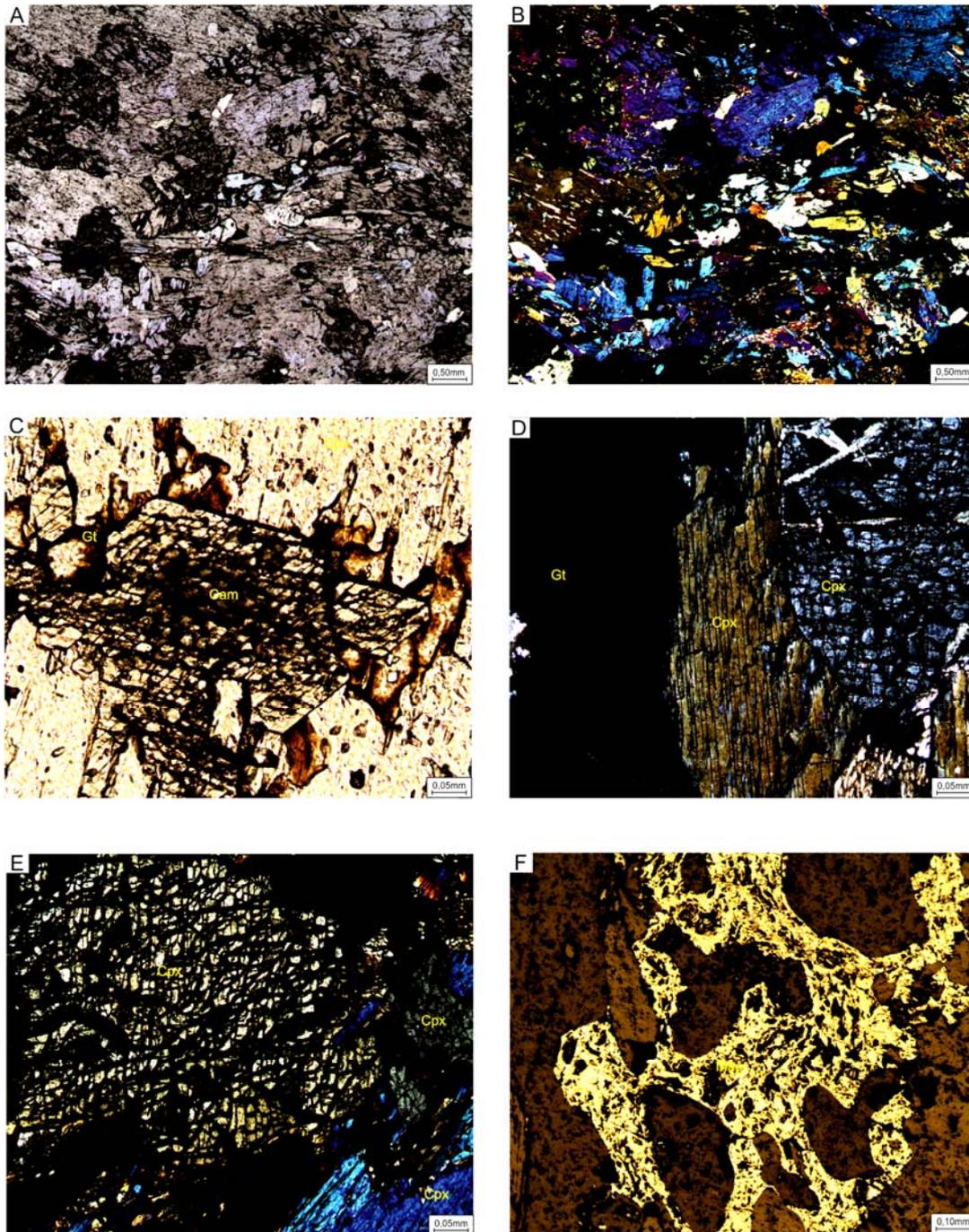


Figura 34 – Metapiroxenito: A e B – Aspecto geral da rocha mostrando textura decussada marcada por cristais de clinopiroxênio e clinoanfólio (Luz transmitida e Pol // e X). C – Destaque para seção de basal de clinoanfólio (Cam) com bordas alteradas para goethita (Gt) (Luz transmitida e Pol //). D – Detalhe dos cristais de clinopiroxênio (Cpx) (Luz transmitida e Pol //). Magnetita (Mag) xenoblástica e parcialmente martitizada (Luz refletida). Abreviações conforme Kretz (1983).

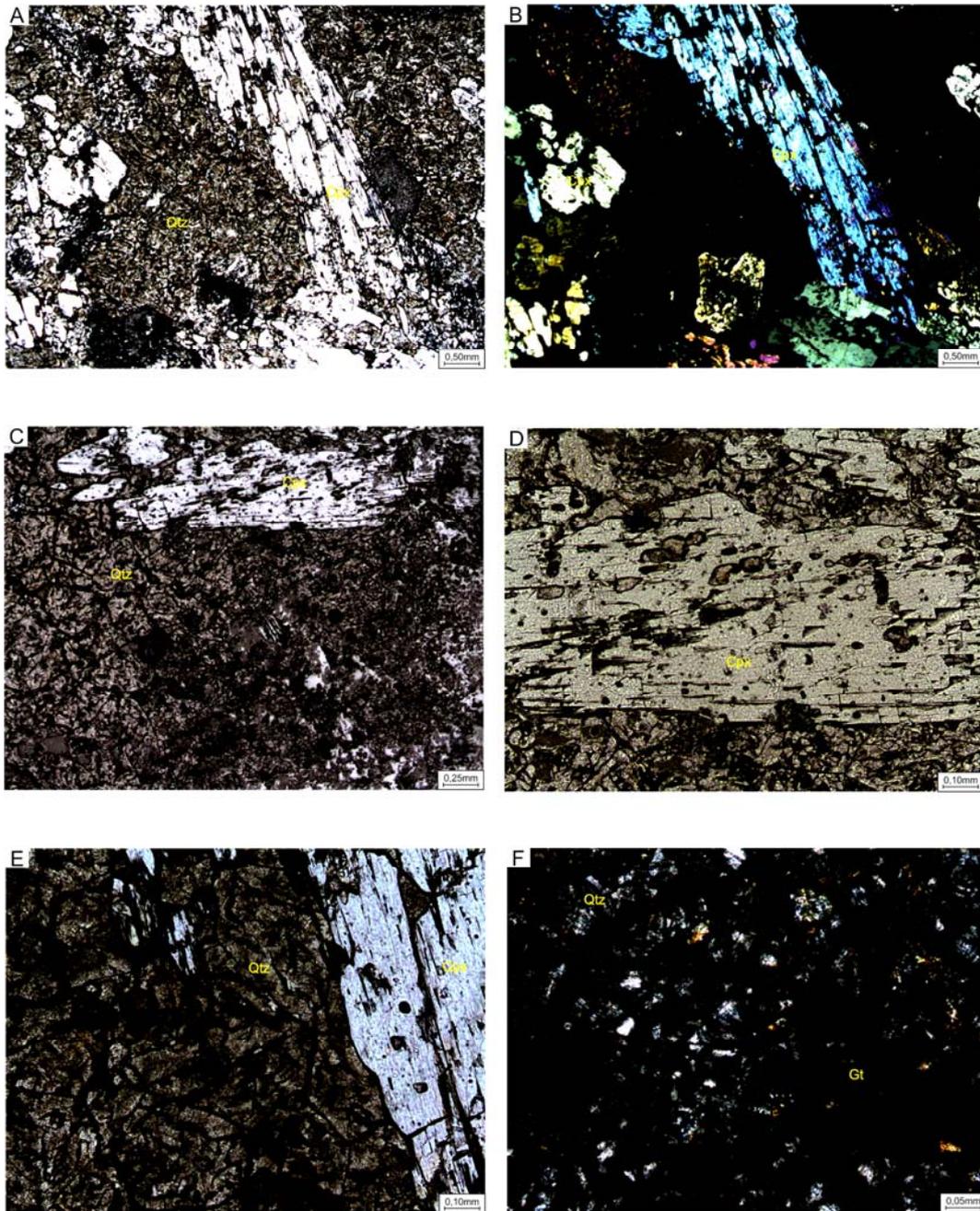


Figura 35 – Metaltramáfica hidrotermalizada: A e B – Aspecto geral da rocha mostrando textura cumulática com cristais de clinopiroxênio (Cam) (Luz transmitida e Pol // e X). C e D – Cristal de clinopiroxênio (Cam) poiquilítica com inclusão de esfero (Luz transmitida e Pol //). E e F – Detalhe da textura cumulática com olivina substituída por sílica criptocristalina (quartzo – Qtz) e bordada por óxido de ferro na fase hidratada (Luz transmitida e Pol //). Abreviações conforme Kretz (1983).

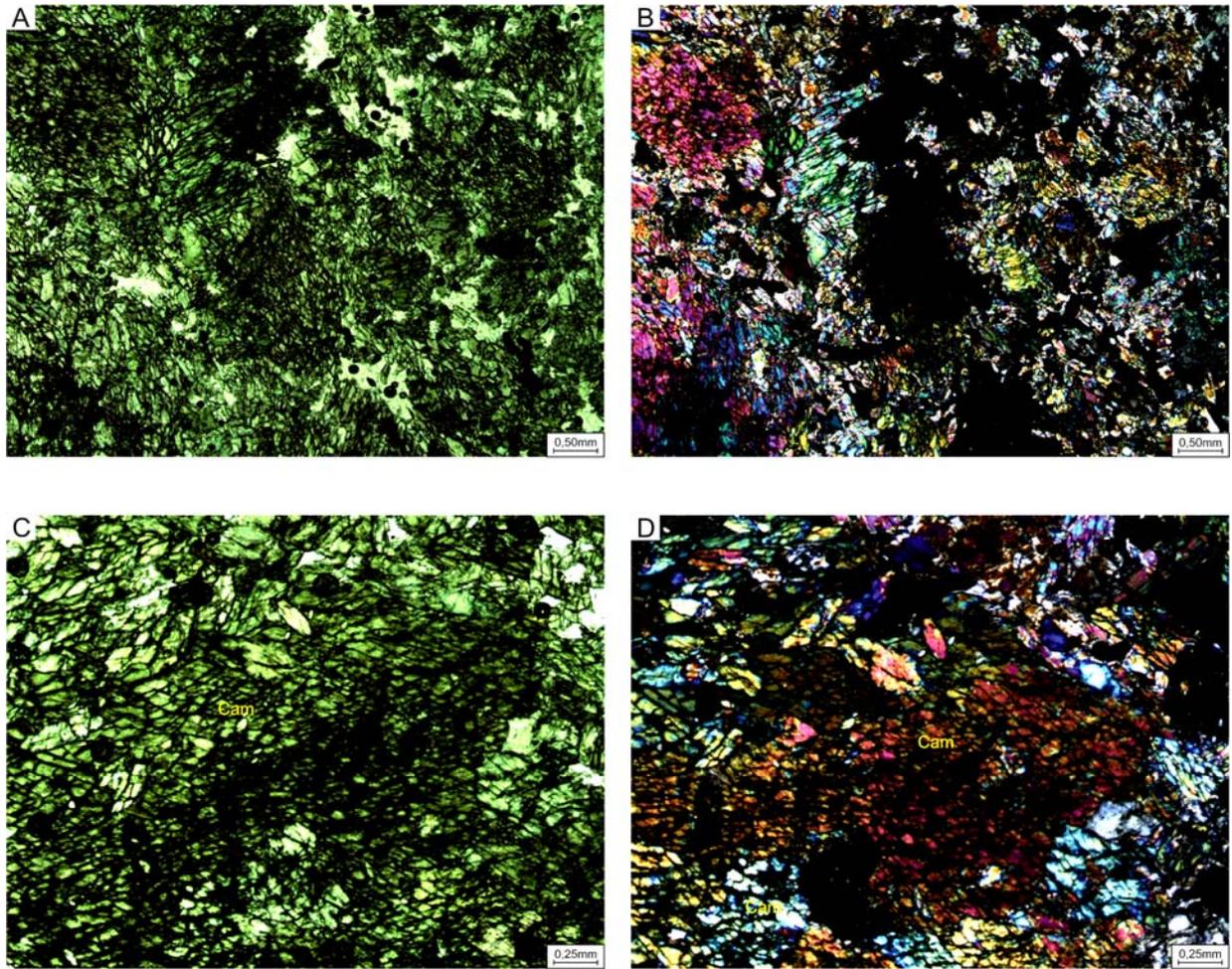


Figura 36 – Plagioclásio-actinolita Fels: A e B – Aspectos gerais da rocha (Luz transmitida e Pol // e X). C e D – Destaque para os cristais de clinofibólio (Cam) (Luz transmitida e Pol // e X). Abreviações conforme Kretz (1983).

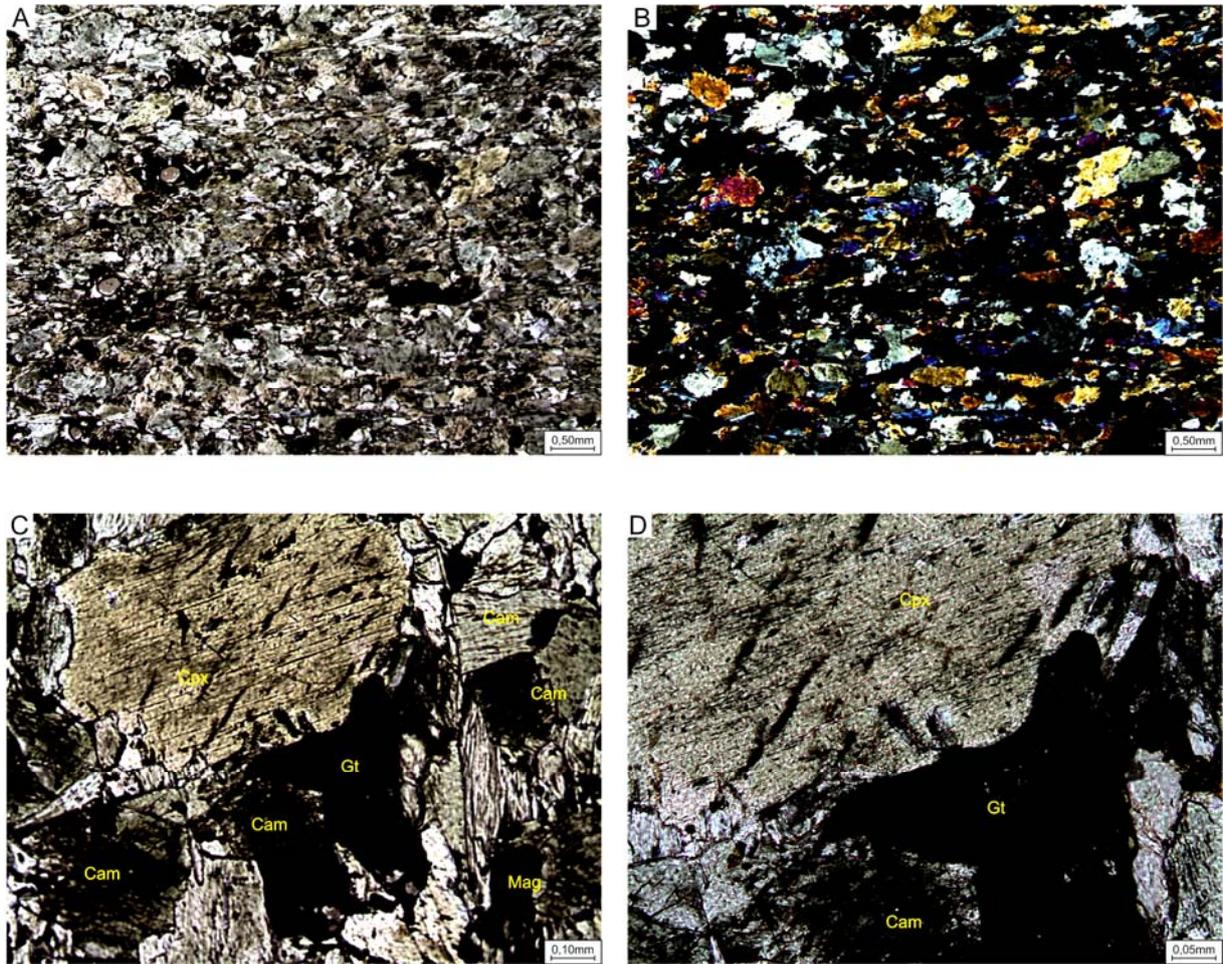


Figura 37 – Magnetita actinolito: A e B – Aspectos gerais da rocha mostrando clinofibólio (Cam) com leve orientação (Luz transmitida e Pol // e X). C e D – Destaque para clinopiroxênio (Cpx) e clinofibólio (Cam) com óxido de ferro na fase hidratada – goethita (Gt) e D – Destaque para os cristais de clinofibólio (Cam) (Luz transmitida e Pol // e X). Abreviações conforme Kretz (1983).

7.2 PETROGRAFIA DO EMBASAMENTO CRISTALINO (TTG) E DOS GRANITOS ASSOCIADOS

Além do estudo petrográfico das rochas associadas ao Complexo Lagoa do Alegre, que ocorrem intercaladas às formações ferríferas, foram realizadas também a caracterização embasamento cristalino, constituído por rochas tonalítica, trondhjemitóica e granodiorítica (TTG) e dos corpos de granitos que intrudem essas formações ferríferas.

7.2.1 Complexo Gnáissico Migmatítico Remanso Sobradinho (TTG)

a) Granodiorito porfirítico

Apresenta textura granoblástica constituída por granulação fina a média, foliada, de composição sienítica e com presença de porfiroblasto de microclínio e micas orientadas. A composição modal é: quartzo (~32%), plagioclásio (~25%), microclínio (~16%) biotita (~18%), muscovita (~2%), epidoto (<1%) zircão (<1%), magnetita (~2%), titanita (<1%), apatita (<1%) e alanita (~1%). A paragênese mineral plagioclásio+ quartzo+microclínio+biotita é comum e estável em fácies anfíbolito (Figura 41).

Quartzo ocorre com a granulação fina a média, forma xenoblástica, contatos o interlobados, exibe deformação intracristalina, com leve extinção ondulante e formação de subgrão. **Plagioclásio** ocorre com granulação fina a média, hipidioblástico, com geminação segunda a lei albita, extinção ondulante, contatos retilíneos a interlobado. Presença de mimerquita em contato com microclínio, além de processo de seritização. **Microclínio** ocorre com a granulação média com alguns porfiroblasto, forma hipidioblástico, maclas em xadrez, muitas vezes difusa, com crescimento pertítico por vezes, com extinção ondulante, apresenta contato retilíneo a interlobado. **Biotita** apresenta tonalidade marrom a castanhada esverdeada, forma tabular granulação fina a média, forte orientação segundo plano de foliação, com processo de cloritização associada e ocorre zircão incluso. **Muscovita** ocorre sob a forma de paletas finas como produto da alteração do plagioclásio. **Zircão** ocorre com granulação muito fina, disperso na seção, ou incluso na biotita. **Magnetita** ocorre com granulação fina, subidioblástica e dispersa na seção. **Apatita** ocorre com granulação muito fina, disperso na seção. **Alanita** ocorre com granulação fina, alterada, forma prismática e dispersa na rocha.

Clorita ocorre com granulação fina, cinza pálida, produto da alteração da biotita. **Apatita** ocorre com granulação muito fina e dispersa.

Em zona de cisalhamento, essa unidade é marcada por textura milonítica, porfiroclástica e núcleo-manto, pela presença de agregados poligonais contornando o porfiroblasto de plagioclásio, com assimetria e movimento sinistral. De forma subordinada, ocorre a textura lepidoblástica assinada pela orientação das paletas de biotita.

b) Tonalito/Granodiorito Gnaiss

Apresenta textura granoblástica constituída por granulação fina a média, com plano de bandamento definido por plagioclásio+quartzo+microclínio e outra associada a horizonte rico em biotita orientada. Apresenta a composição em transição tonalítica a granodiorítica, com nível rico biotita orientada em microdobra assimétrica. A composição modal é: plagioclásio (~32%), quartzo (~30%), microclínio (~27%), biotita (~11%), magnetita (~03%), muscovita (~02%), zircão (<1%), apatita (<1%) e epidoto (<1%) (Figura 42).

Plagioclásio ocorre com granulação fina a grossa, hipidioblástico, com geminação segunda a lei albita, extinção ondulante, com contatos retilíneos a interlobado, presença de mimerquita em contato com microclínio e de processo de seritização. **Quartzo** ocorre com a granulação fina a grossa, forma xenoblástica e poligonais, contatos o interlobados, exibe deformação intracristalina, com leve extinção ondulante e formação de subgrão. **Microclínio** ocorre com a granulação média a grossa, forma hipidioblástico, extinção ondulante em contato retilíneo a interlobado, maclas em xadrez, presença de grão poligonais e crescimento pertítico, por vezes, com presença de inclusão de quartzo. **Biotita** apresenta tonalidade marrom a marrom acastanhada, forma tabular, granulação fina a média, com orientação preferencial. **Magnetita** ocorre com granulação fina, subidioblástica e dispersa na seção. **Muscovita** ocorre com a granulação fina a média, forma tabular, possível que seja produto da transformação do plagioclásio. **Zircão** ocorre com granulação muito fina, disperso na seção, ou incluso na biotita. **Apatita** ocorre com granulação muito fina, disperso na seção. **Allanita** ocorre com granulação fina, alterada, hábito prismático e dispersa na rocha.

Os principais dados em biotita das análises em microsonda em amostras representativas Tonalito/Granodiorito Gnaiss encontram-se na Tabela 1. A biotita oriunda de rochas plutônicas geralmente sofre reequilíbrio pós-magmático (Speer 1984). No diagrama $TiO_2-FeO+MnO-MgO$ (Nachit, 1986), a biotita presente no Tonalito/Granodiorito Gnaiss

Tabela 1 - Dados de análise em microsonda eletrônica em cristais de biotita na fácies tonalito-gnaiss em ortognaiss do Complex Remanso-Sobradinho.

	58B_C1_ Bt 1 B	58B_C1_B t 1 N	58B_C1_ Bt 1 B	58B_C1_ Bt 2 B	58B_C1_B t 2 N	58B_C1_ Bt 2 B	58B_C1_ Bt 3 B	58B_C1_B t 3 N	58B_C1_ Bt 3 B	58B_C1_ Bt 4 B	58B_C1_B t 4 N	58B_C1_ Bt 4 B	58B_C2_ Bt 5 B	58B_C2_B t 5 N
SiO2	35.874	35.971	35.583	36.124	36.004	36.056	35.932	35.78	35.936	35.986	35.681	35.621	36.12	35.492
TiO2	2.451	2.257	2.895	2.491	2.402	2.747	2.153	3.128	2.311	2.591	2.485	2.844	2.747	2.67
Al2O3	16.372	16.219	16.603	16.236	16.413	16.208	16.567	16.221	16.311	16.124	16.21	16.015	16.369	16.194
FeO	23.566	23.166	22.929	23.689	23.352	22.93	23.277	23.679	23.586	23.51	23.447	23.534	23.52	23.187
MnO	0.231	0.362	0.334	0.256	0.221	0.308	0.369	0.342	0.212	0.311	0.176	0.326	0.346	0.401
MgO	8.241	8.196	8.101	8.108	8.337	8.258	8.072	8.082	8.05	8.304	8.072	8.095	8.03	8.111
CaO	0.026	0.005	0.009	0.019	0	0	0.024	0.031	0.022	0.01	0.004	0.044	0	0.002
Na2O	0.052	0.083	0.076	0.062	0.062	0.041	0.089	0.086	0.086	0.035	0.112	0.082	0.046	0.085
K2O	9.207	9.367	9.409	9.306	9.525	9.239	9.212	9.28	9.28	9.415	9.359	9.333	9.147	9.197
F	0.553	0.551	0.525	0.533	0.551	0.538	0.545	0.513	0.523	0.574	0.524	0.483	0.597	0.529
Cl	0.076	0.052	0.079	0.066	0.037	0.054	0.061	0.066	0.102	0.063	0.04	0.054	0.08	0.057
NiO	0.043	0.057	0.031	0.047	0.08	0	0.016	0	0.027	0.037	0.059	0.002	0.084	0.043
Li2O*	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
H2O*	3.60	3.60	3.62	3.62	3.63	3.62	3.60	3.64	3.60	3.60	3.60	3.63	3.60	3.59
Subtotal	100.30	99.88	100.19	100.56	100.61	100.00	99.92	100.85	100.05	100.56	99.77	100.06	100.69	99.56
O=F,Cl	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23	0.24	0.26	0.23	0.22	0.27	0.24
Total	100.05	99.64	99.95	100.32	100.37	99.76	99.68	100.62	99.80	100.31	99.54	99.84	100.42	99.32
Si	5.536	5.572	5.493	5.563	5.540	5.563	5.559	5.500	5.562	5.546	5.541	5.521	5.549	5.521
Al iv	2.464	2.428	2.507	2.437	2.460	2.437	2.441	2.500	2.438	2.454	2.459	2.479	2.451	2.479
Soma de T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al vi	0.514	0.534	0.514	0.510	0.516	0.511	0.580	0.439	0.538	0.474	0.507	0.447	0.514	0.490
Ti	0.284	0.263	0.336	0.288	0.278	0.319	0.250	0.362	0.269	0.300	0.290	0.332	0.317	0.312
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	3.042	3.001	2.960	3.051	3.005	2.959	3.012	3.044	3.053	3.030	3.045	3.051	3.022	3.016
Mn	0.030	0.048	0.044	0.033	0.029	0.040	0.048	0.045	0.028	0.041	0.023	0.043	0.045	0.053
Mg	1.896	1.893	1.864	1.861	1.912	1.899	1.862	1.852	1.857	1.908	1.868	1.870	1.839	1.881
Li*	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.004	0.001	0.001	0.003	0.000	0.000	0.004	0.005	0.004	0.002	0.001	0.007	0.000	0.000
Na	0.016	0.025	0.023	0.019	0.018	0.012	0.027	0.026	0.026	0.010	0.034	0.025	0.014	0.026
K	1.812	1.851	1.853	1.828	1.869	1.818	1.818	1.820	1.832	1.851	1.854	1.845	1.793	1.825
OH*	3.710	3.716	3.723	3.723	3.722	3.723	3.717	3.733	3.717	3.704	3.732	3.749	3.689	3.725
F	0.270	0.270	0.256	0.260	0.268	0.263	0.267	0.249	0.256	0.280	0.257	0.237	0.290	0.260
Cl	0.020	0.014	0.021	0.017	0.010	0.014	0.016	0.017	0.027	0.016	0.011	0.014	0.021	0.015
TOTAL	27.604	27.622	27.598	27.599	27.638	27.559	27.602	27.591	27.610	27.620	27.630	27.619	27.554	27.608

forma um trend vertical que vai do campo de biotitas primárias para o de biotitas reequilibradas (Figura 38).

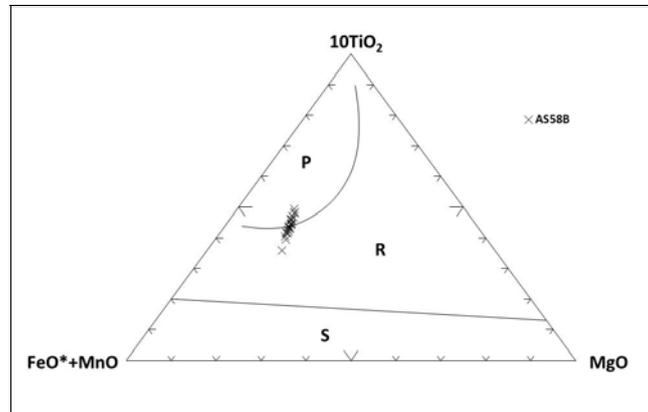


Figura 38 – Diagrama TiO₂-FeO+MnO-MgO (NACHIT, 1986) para biotita em tonalito/granodiorito em Complexo Gnáissico Migmatítico Remanso Sobradinho.

No diagrama MgO-FeO-Al₂O₃ (Figura 39), a biotita presente no Tonalito/Granodiorito Gnaissé plotam igualmente no campo de cálcio-alcálinos e peraluminoso. Vários estudos relacionam a composição química das biotitas com a natureza do magma a partir do qual elas cristalizaram. Nachit et al. (1985) definiram campos representativos utilizando os conteúdos de Al₂O₃ e Mg em biotitas para diferentes granitos e utilizando diagramas Al₂O₃ x Mg de Abdel-Rahman (1994), a biotita estudada distribui-se nos campos de rochas subalcalinas com leve tendência cálcico-alcálinas (Figura 40).

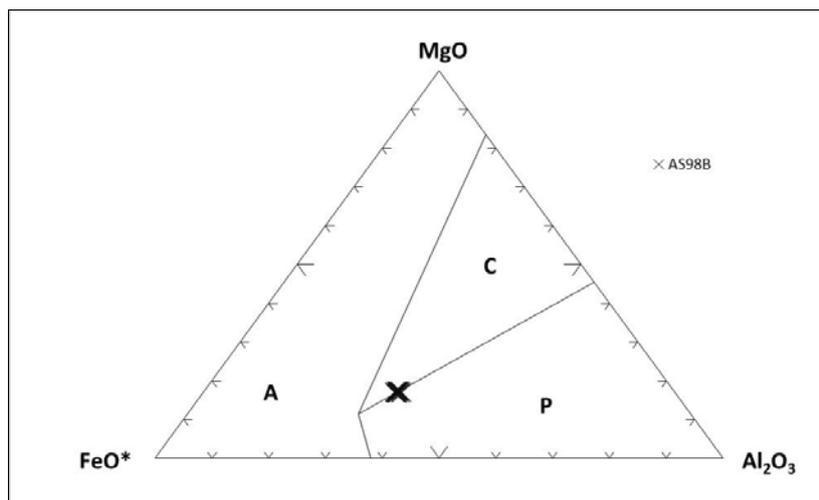


Figura 39 – Diagrama MgO-FeO-Al₂O₃ mostra característica cálcio-alcálica e peraluminosa para biotita em tonalito/granodiorito em Complexo Gnáissico Migmatítico Remanso Sobradinho.

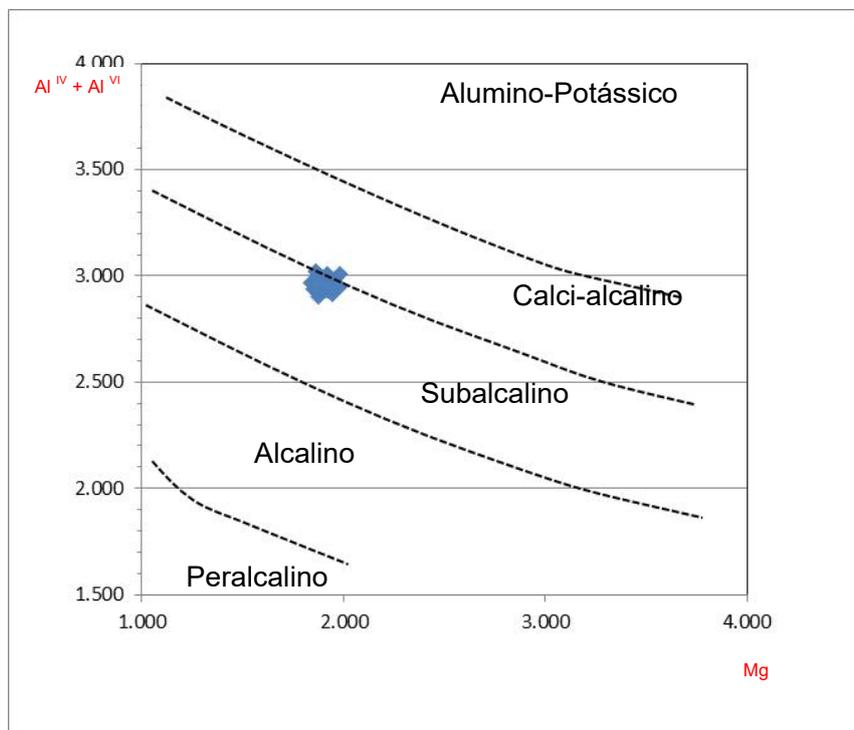


Figura 40 – Diagrama Al(t) x Mg de Abdel-Rahman (1994), mostrando característica subcalcinas com leve tendência cálcico-alcálicas de biotita em tonalito/granodiorito em Complexo Gnáissico Migmatítico Remanso Sobradinho.

7.2.2 Augen ortognaisse sienítico

Apresenta textura granoblástica constituída por granulação fina a média, foliada, de composição sienítica e com presença de porfiroblasto de microclínio e micas fortemente orientadas. A composição modal é: microclínio (~32%), quartzo (~29%), plagioclásio (~19%), biotita (~10%), muscovita (~6%), zircão (<1%), magnetita (<1%), apatita (<1%) e epidoto (<1%) (Figura 43).

Microclínio ocorre com a granulação média com alguns porfiroblasto, forma hipidioblástico, maclas em xadrez, muitas vezes difusa, com crescimento perifítico por vezes, com extinção ondulante em contato retilíneo a interlobado, presença de inclusão de biotita e quartzo. **Quartzo** ocorre com a granulação fina a grossa, forma xenoblástica, contatos o interlobados, exibe deformação intracristalina, com leve extinção ondulante e formação de subgrão. **Plagioclásio** ocorre com granulação fina a média, hipidioblástico, com geminação

segunda a lei albíta e albíta-Carlsbad, extinção ondulante, com contatos retilíneos. Presença de mimerquita em contato com microclínio, além de processo de seritização. **Biotita** apresenta tonalidade marrom a marrom acastanhada, forma tabular granulação fina a média, forte orientação preferencial. **Muscovita** ocorre com a granulação fina a média, forma tabular, possível que seja produto da transformação do plagioclásio. **Zircão** ocorre com granulação muito fina, disperso na seção, ou incluso na biotita. **Magnetita** ocorre com granulação fina, subidioblástica e dispersa na seção. **Apatita** ocorre com granulação muito fina, disperso na seção. **Epidoto** ocorre com granulação fina, produto da alteração do plagioclásio.

7.2.3 Metassienogranito

Apresenta textura granoblástica constituída por granulação fina a média, foliada, de composição sienítica e com presença de porfiroblasto de microclínio e micas fortemente orientadas. A composição modal é dada: microclínio (~32%), quartzo (~29%), plagioclásio (~19%), biotita (~10%), muscovita (~6%), zircão (<1%), magnetita (<1%), apatita (<1%) e epidoto (<1%). (Figura 44).

Microclínio ocorre com a granulação média com alguns porfiroblasto, forma hipidioblástico, maclas em xadrez, muitas vezes difusa, com crescimento perifítico por vezes, com extinção ondulante em contato retilíneo a interlobado, presença de inclusão de biotita e quartzo. **Quartzo** ocorre com a granulação fina a grossa, forma xenoblástica, contatos o interlobados, exhibe deformação intracristalina, com leve extinção ondulante e formação de subgrão. **Plagioclásio** ocorre com granulação fina a média, hipidioblástico, com geminação segundo a lei albíta e albíta-Carlsbad, extinção ondulante, com contatos retilíneos. Presença de mimerquita em contato com microclínio, além de processo de seritização. **Biotita** apresenta tonalidade marrom a marrom acastanhada, forma tabular granulação fina a média, forte orientação preferencial. **Muscovita** ocorre com a granulação fina a média, forma tabular, possível que seja produto da transformação do plagioclásio. **Zircão** ocorre com granulação muito fina, disperso na seção, ou incluso na biotita. **Magnetita** ocorre com granulação fina, subidioblástica e dispersa na seção. **Apatita** ocorre com granulação muito fina, disperso na seção. **Epidoto** ocorre com granulação fina, produto da alteração do plagioclásio.

7.2.4 Metamonzogranito

Apresenta textura granoblástica constituída por granulação fina a média, foliação penetrativa, de composição monzogranítica. A composição modal é dada: plagioclásio (~32%), quartzo (~30%), microclínio (~27%), biotita (~11%), magnetita (~3%), muscovita (~2%), zircão (<1%), apatita (<1%) e epidoto (<1%). (Figura 45)

Plagioclásio ocorre com granulação fina a grossa, hipidioblástico, com geminação segunda a lei albita, extinção ondulante, com contatos retilíneos a interlobado. Observa-se a presença de agregados exibindo formas poligonais, com contatos retilíneos e livres de deformação interna gerada por processo de recristalização dinâmica. Presença de mimerquita em contato com microclínio, além de processo de seritização. **Quartzo** ocorre com a granulação fina a grossa, forma xenoblástica e poligonais, contatos o interlobados, exibe deformação intracristalina, com leve extinção ondulante e formação de subgrão. **Microclínio** ocorre com a granulação média a grossa, forma hipidioblástico, maclas em xadrez, muitas vezes difusa, com crescimento peritítico por vezes, com extinção ondulante em contato retilíneo a interlobado presença de inclusão de quartzo. **Biotita** apresenta tonalidade marrom a marrom acastanhada, forma tabular granulação fina a média, ausência de orientação preferencial. **Magnetita** ocorre com granulação fina, subidioblástica e dispersa na seção. **Muscovita** ocorre com a granulação fina a média, forma tabular, possível que seja produto da transformação do plagioclásio. **Zircão** ocorre com granulação muito fina, disperso na seção, ou incluso na biotita. **Apatita** ocorre com granulação muito fina, disperso na seção.

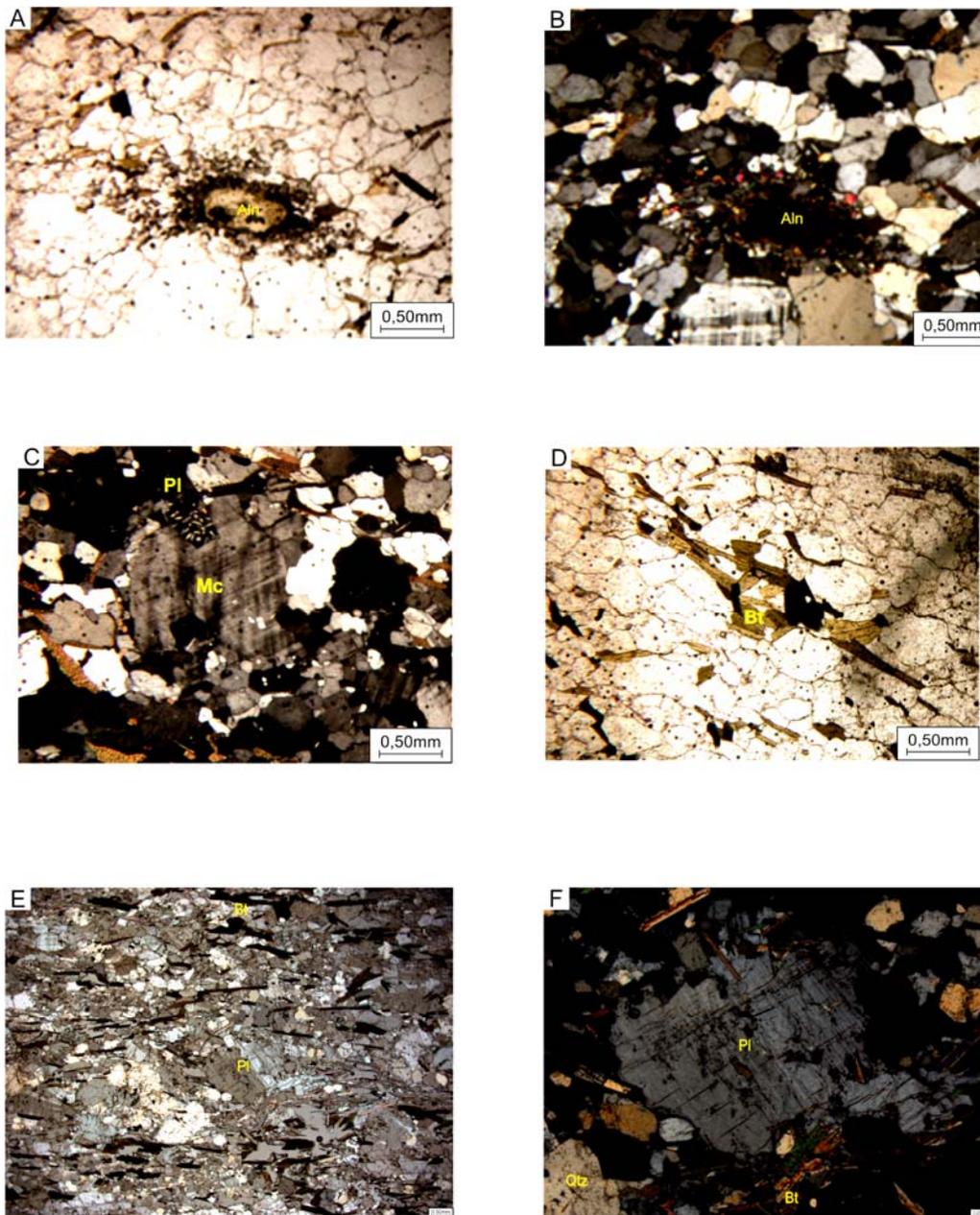


Figura 41 – TTG – fácies granodiorítica: A – Aspecto geral da rocha com presença de cristais de allanita (Al) (Luz transmitida e Pol // e X). B – Cristal de microclínio (Mc) com mirmequita no contato com o plagioclásio (Pl) (Luz transmitida e Pol X). D – Cristais de biotita (Bt) forma de paletas orientadas no plano da foliação (Luz transmitida e Pol //). E – Aspecto da rocha com textura milonítica com paletas de biotita (Bt) orientada (Luz transmitida e Pol //). Destaque da foto E mostrando textura milonítica, porfiroclástica e núcleo-manto, com agregados poligonais contornando o porfiroblasto de plagioclásio (Pl) Luz transmitida e Pol X). Abreviações conforme Kretz (1983).

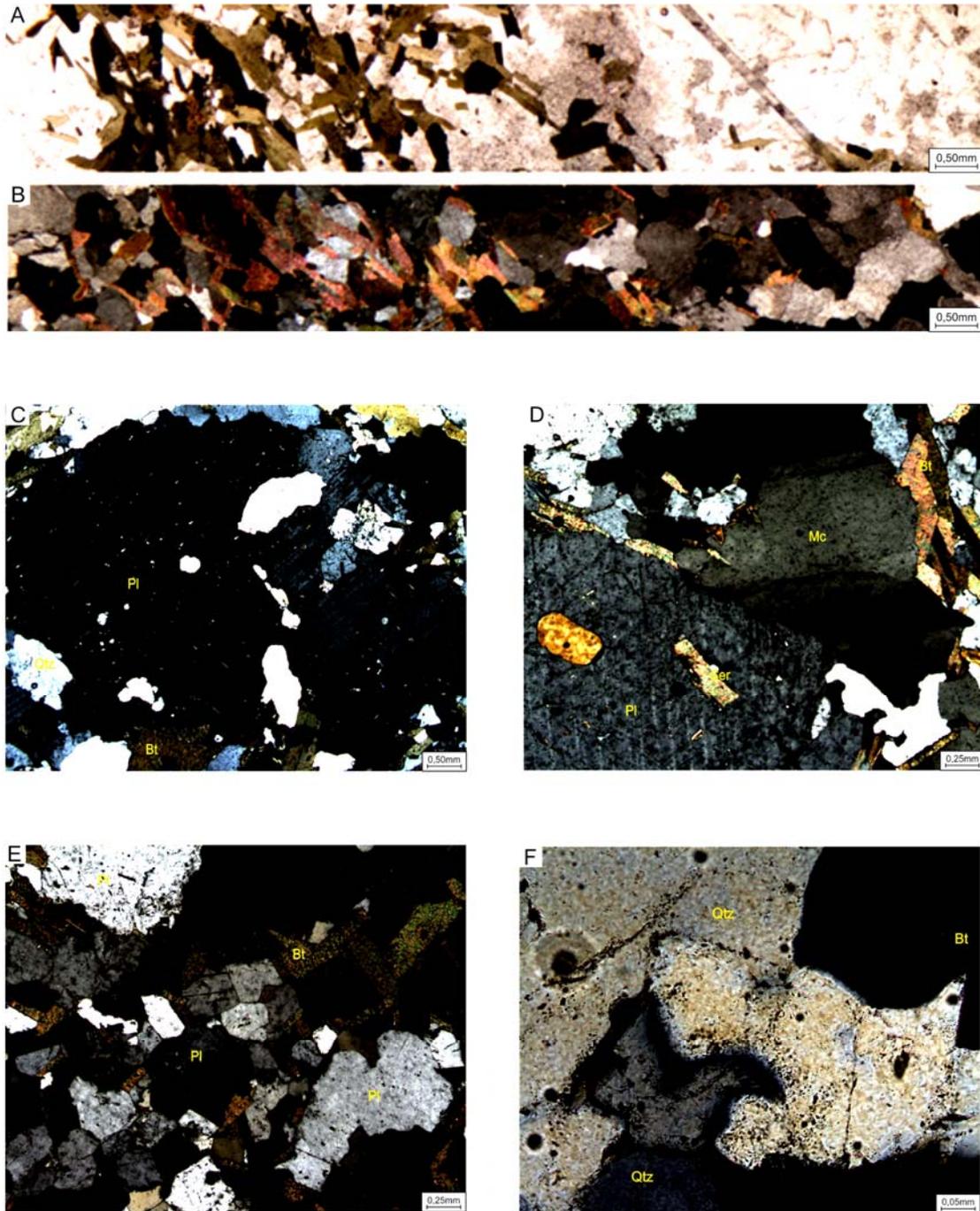


Figura 42 – TTG – fácies tonalítica: A e B – Aspecto geral da rocha (Al) (Luz transmitida e Pol // e X). B – Cristal de plagioclásio (Pl) com quartzo incluído (Qtz) (Luz transmitida e Pol X). D – Cristal de microclínio (Mc) com extinção ondulante (Luz transmitida e Pol //). E - Cristais de quartzo (Qtz) exibindo contato poligonal (Luz transmitida e Pol X). F – Cristal de quartzo (Qtz) mostrando migração de borda (Luz transmitida e Pol X). Abreviações conforme Kretz (1983).

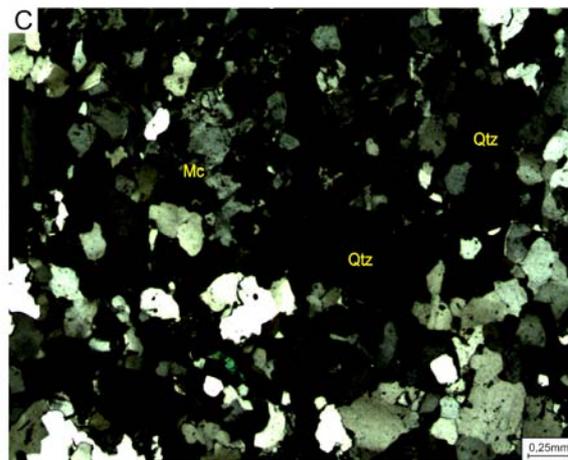
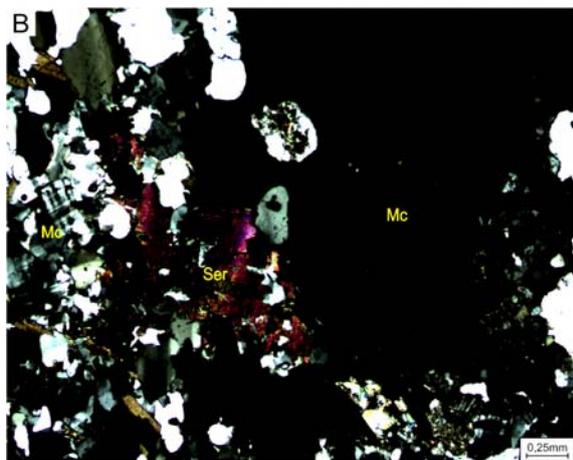
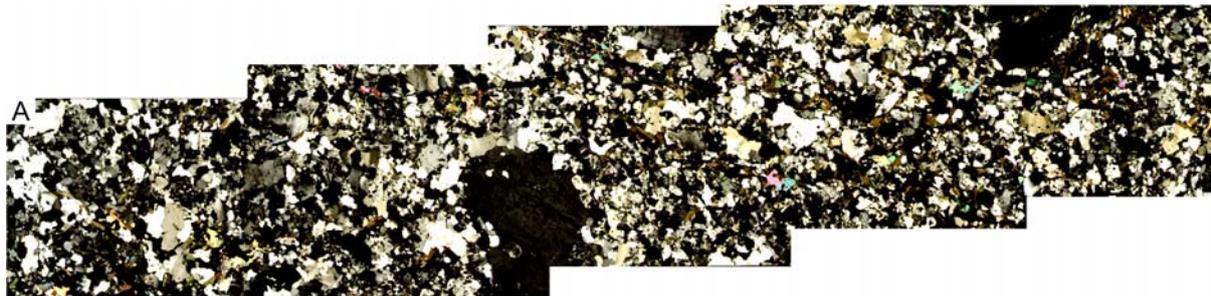


Figura 43 – *Augen-ortogne* sienítico: A – Aspecto geral da rocha mostrando textura granoblástica com pórfiro de microclínio (Mc) (Luz transmitida e Pol X). B – Porfiro de microclínio (Mc) e biotita (Bt) com alteração para muscovita (Luz transmitida e Pol X). C – Destaque para textura granoblástica suturada a poligonal com novos grãos de microclínio (Mc) e cristal de quartzo (Qtz) com lamelas de deformação e geração de subgrãos por recristalização dinâmica (Luz transmitida e Pol X) Abreviações conforme Kretz (1983).

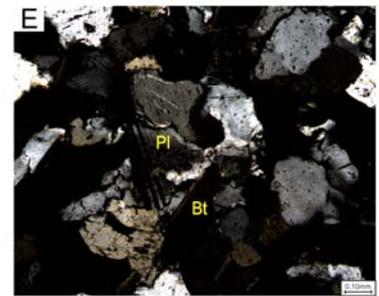
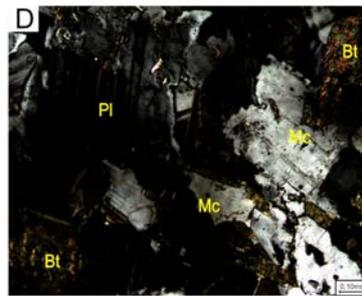
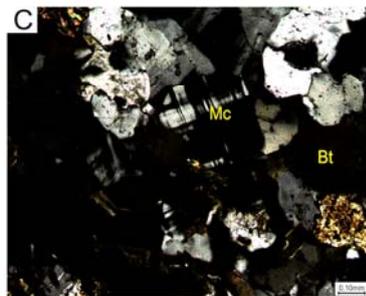
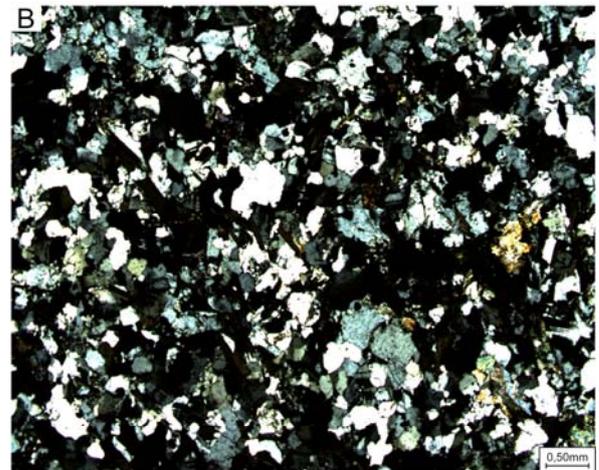


Figura 44 – Metamonzogranito: A e B – Aspecto geral da rocha mostrando textura granoblástica (Luz transmitida e Pol // e X). C – Detalhe da textura granoblástica suturada a poligonal com novos grãos de microclínio (Mc) e com presença de biotita (Bt) tabular (Luz transmitida e Pol X). D– Cristal de plagioclásio (Pl) com biotita (Bt) inclusa (Luz transmitida e Pol //). E – Cristais de plagioclásio (Pl) com contato suturado. (Luz transmitida e Pol X). Abreviações conforme Kretz (1983).

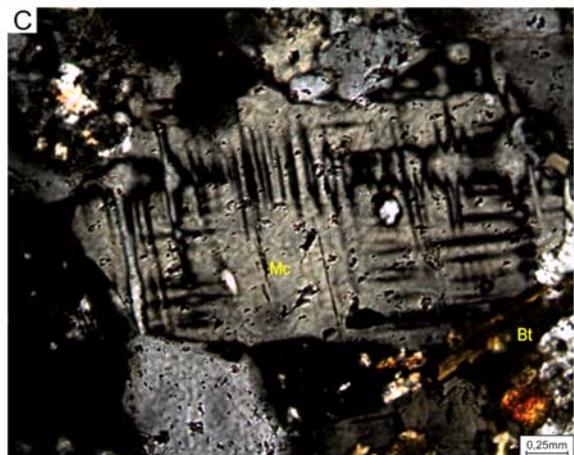
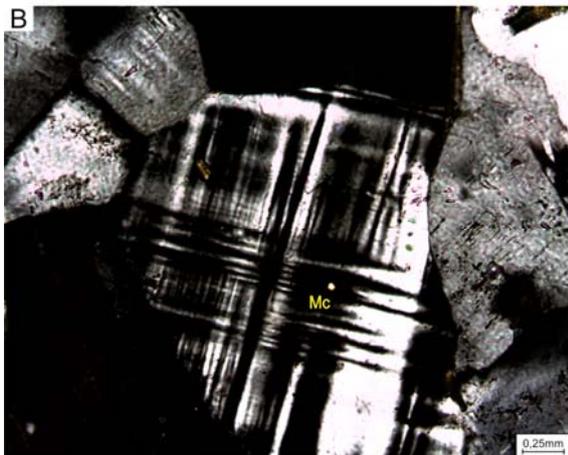


Figura 45 – Metassienogranito: A – Aspecto geral da rocha (Luz transmitida e Pol X). B – Cristal de microclínio (Mc) (Luz transmitida e Pol X). C – Cristal de microclínio (Mc) mostrando crescimento perítico (Luz transmitida e Pol X). Abreviações conforme Kretz (1983).

8 ARTIGO: CARACTERIZAÇÃO E GÊNESE DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DO COMPLEXO LAGOA DO ALEGRE (BA) COM BASE EM ESTUDOS GEOLÓGICOS, PETROLÓGICOS E ISOTÓPICOS

PIRES, A. P.¹; MOURA. M. A.²; TOLEDO, C. L. B.²

8.1 ABSTRACT

The iron formation located in the northeast of Bahia, in Lagoa do Alegre map (SC-24-V-CV-I), occur in the form of lenses or thick packages that vary from 10 to 200m and can achieve greater thicknesses. Are magnetic rocks, reddish gray to brownish red, consisting of magnetite, hematite and cummingtonite-grunerite, massive to fractured, with millimeter to decimeters bands marked by oxide/iron amphibole, silica and are subdivided into 5 petrographic types, and none of facies have carbonate or sulphide. These rocks were metamorphosed in the greenschist facies high and medium amphibolite. Chemically, were separated into two groups based on the presence of grunerite-cummingtonite, content of iron, silica, and magnesium: groups Mg<01% and Mg>01%. The SiO₂ average value in the group Mg<1% is 54.76%; Fe₂O₃ average of 42.52% while the Mg>1% group, the SiO₂ value average of 52.42%; Fe₂O₃ value average of 42.69%. The elements Al, Mg, Ca, In, Ti and P, and the two groups are very similar and, in particular, demonstrate there is no or little contribution terrigenous sedimentation. REE normalized by Chondrite and PAAS show that groups Mg<1% and Mg >% 1 are distinct, both of which exhibit enrichment in LREE relative to HREE, and group Mg <1% more enriched REE the group Mg>1%. For the Mg <1% group has low concentrations of REE and positive values of Eu * indicating that deposition may have occurred close to sources of high temperature hydrothermal. Furthermore, Mg>1% group for high concentration of ETR to negative anomaly of Eu *, being associated with the BIF wherein iron and silica were deposited on areas far from sources of high spice fluid with possible mixing fluids. In both groups have cited anomaly Ce/Ce* positive to slightly negative, indicating transition conditions, sometimes oxidizer moment anoxic. The evolution of εNd (2.5) show the values: Mg<1% group ranged between -9.97 and 2.76 and Mg>1% the group between -9.78 and 1.58. Despite the dispersion of the data sample, there is a set with TDM ~ 2.5 Ga, suggesting a maximum age 2.5 Ga sedimentation over a basin aged substrate SHRIMP 2979±14Ma and 2853±23Ma.

Keywords: Iron formartion. Geochemistry of iron formation. Sedimentary volcanic sequence Lagoa of Alegre.

8.2 RESUMO

As formações ferríferas identificadas no extremo norte da Bahia, na Folha Lagoa do Alegre (SC-24-V-CV-I), ocorrem em forma de lentes e espessura que podem variar de 10 a 200m, podendo alcançar espessura maiores. São cinza avermelhadas a vermelha amarronzadas, tendo a magnetita como óxido principal, além quartzo, hematita e *cummingtonita-grunerita*. São rochas maciças a fraturadas, com bandamento milimétrico a decimétricos marcado por óxido/anfibólio de ferro, sílica e estão subdivididas em 5 tipos petrográficos, e em nenhuma das fácies ocorrem a presença de carbonato, ou sulfeto. Sofreram metamorfismo nas fácies xisto verde alto a anfibolito médio, com *cummingtonita-grunerita* como mineral índice, tendo hornblenda e tremolita como acessório corroborando com o posicionamento metamórfico. Quimicamente, as amostras foram separadas em dois grupos baseada na presença *cummingtonita-grunerita*, teor de ferro, sílica e magnésio: grupos Mg<1% e Mg>1%. Os valores de SiO₂ no grupo Mg<1% varia entre 43,77 e 77,58% com média de 54,76%; Fe₂O₃ varia entre 19,55 e 52,94% e média de 42,52%, enquanto que grupo Mg>1%, o valor de SiO₂ varia entre 49,85 e 56,25% com média de 52,42%; Fe₂O₃ varia entre 40,25 e 45,03% e média de 42,69%. Os elementos Al, Mg, Ca, Na, Ti e P, em ambos os grupos são muito semelhantes e, sobretudo, demonstram haver ausência ou pouca contribuição de sedimentação terrígena. Os ETR, normalizados por Condrito e PAAS mostram que grupos Mg<1% e Mg>1% são distintos, sendo que ambos os exibem enriquecimento em ETRL em relação ao ETRP, com o grupo Mg>1% mais enriquecidos do ETR que o grupo Mg<1%. Para o grupo Mg<1% apresenta baixas concentrações de ETR e valores positivos de Eu* indicando que a deposição pode ter ocorrido próximo a fontes de hidrotermal de alta temperatura. Por outro lado, o grupo Mg>1% há elevada concentração de ETR com anomalia negativa de Eu*, sendo associado as formações ferríferas em que o ferro e a sílica foram depositados em zonas distantes das fontes de fluido de alta temperatura, com possível mistura de fluidos. Em ambos os grupos citados apresentam anomalia Ce/Ce* positiva a fracamente negativa, indicando condições de transição, ora oxidante ora anóxica. A evolução do εNd (2.5) mostram os valores: grupo Mg<1% entre -9,97 e 2,76 e para o grupo Mg>1% entre -9,78 e 1,58 e apresenta conjunto com T_{DM} de ~2,5Ga, sugestivo de uma idade máxima de sedimentação de 2,5Ga sobre uma bacia com substrato de idade SHRIMP 2979±14 Ma e 2853±23Ma.

Palavras-chaves: Formação ferrífera. Geoquímica de formação ferrífera. Complexo Lagoa do Alegre.

8.3 INTRODUÇÃO

As formações ferríferas são precipitados químicos caracterizados pela presença de camadas alternantes ricas em ferro e sílica amorfa (JAMES, 1954; KLEIN, 2005). Esse acamamento composicional é expresso em diversas escalas, de finas lâminas submilimétricas a bandas métricas. Mesmo em escala microscópica, o limite entre as camadas ferruginosas e silicosas é claramente abrupto.

O estudo de formações ferríferas fornece importantes subsídios para o entendimento das condições existentes na litosfera, hidrosfera e atmosfera primitivas, além de contribuir para a compreensão dos ambientes deposicionais, velocidade de acumulação e fonte de ferro/sílica.

Diversos estudos têm sido realizados utilizando a geoquímica de elementos maiores, traços, ETR e isótopos de Sm/Nd para compreender as condições paleoambientais em que foram depositados o ferro e a sílica nas formações ferríferas (KLEIN, 2005; ALEXANDER et al., 2008; FREI et al., 2008).

A mais antiga ocorrência de formações ferríferas pré-cambriana tem seu registro em 3,8Ga., porém os maiores registros geológicos foram no Neoarqueano e Paleoproterozoico (JAMES, 1983; TRENDALL, 2002). Em 1,85Ga., esses depósitos foram interrompidos devido a uma grande mudança na química do oceano e na atmosfera (BEKKER et al., 2010; HOLANDA, 1984). O reaparecimento repentino ocorre após um hiato 1 Ga no registro sedimentar e tem sido considerado como característica geológica única do neoproterozóico (HOLANDA, 2005; BEKKER et al., 2010). Grandes depósitos de formações ferríferas estão ausentes durante o intervalo de idade 1,85-1,0 Ga., mas várias pequenas formações ferríferas e unidades litológicas ricas em ferro, em sucessões de rochas sedimentares são conhecidas. Alguns dos exemplos de depósitos anômalos e pequenos incluem a formação Sherwin e o Membro Munyi da Formação Corcoran, no norte da Austrália (ABBOTT; SWEET, 2000), e alguns relacionados com depósitos de sulfeto maciço vulcanogênicos (VMS) pertencentes ao Mesoproterozoico (BEKKER et al., 2010). As formações ferríferas arqueanas e paleoproterozoicas foram classificadas, respectivamente, como do tipo Algoma e Superior (Gross, 1965). As formações ferríferas neoproterozoicas são classificadas como do tipo Rapitan (JAMES, 1992).

Formações ferríferas do tipo Algoma são relativamente pequenas e associadas a rochas vulcanogênicas e o conteúdo total de ferro primário raramente excede 10^{10} t (JAMES; TRENDALL, 1982). Extensões laterais típicas são <10 km, com espessuras entre 10 e 100m, e ambientes deposicionais favorecidos para esse tipo de formações ferríferas incluem bacias de arco de ilhas/retroarco e zonas de rifte intracratônico (GROSS, 1983).

Por outro lado, as formações ferríferas do tipo Superior são maiores e associadas com outras unidades sedimentares, com o conteúdo total de Fe primário excedendo 10^{13} t (JAMES; TRENDALL, 1982). A deposição ocorreu em condições marinhas relativamente rasas sob mares em transgressão (SIMONSON; HASSLER, 1996), e sobre as plataformas continentais de margens tectônicas passivas (Gross, 1965). Enquanto que as formações ferríferas do tipo *Rapitan* são caracterizadas por depósitos associados à sedimentação em ambiente glaciogênico (GROSS, 1983).

As formações ferríferas meso a neoproterozóicas são muito diferentes das arqueanas a paleoproterozoicas. Por exemplo, as meso a neoproterozóicas consistem em camadas de hematita e jaspe, por vezes, pouco desenvolvida ou totalmente ausente o bandamento. Enquanto os depósitos arqueanos-paleoproterozoicos, normalmente, apresentam diferentes graus de metamorfismo, e são dominados por magnetita. Em contraste, essas rochas no Meso-Neoproterozóico não são metamorfizadas, ou foram submetidas a baixo grau de metamorfismo, com hematita como o mineral dominante. Além disso, não há uma compreensão sobre a fonte do ferro e o processo de oxidação de Fe^{2+} a Fe^{3+} nas ocorrências Meso-Neoproterozóico (BEKKER et al., 2010).

As formações ferríferas não são apenas importantes fontes de minério de ferro para a indústria, mas também têm sido fundamentais para os estudos de investigação relacionadas com a evolução da vida, oceanos e da atmosfera no Arqueano e Proterozóico (BEKKER et al., 2010).

As formações ferríferas associadas às rochas vulcanossedimentares do Complexo Lagoa do Alegre, objeto de estudo deste trabalho, estão localizadas no extremo norte da Bahia, em uma região cratônica com forte influência da tectônica brasileira.

Não há na área estudos específicos para a compreensão da origem e ambiente de formação dessas formações ferríferas. Os únicos registros na bibliografia são trabalhos de mapeamento realizados pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil, que não tiveram o objetivo de caracterizá-las e compreender a sua gênese (SOUZA et al., 1979). Nesse sentido, este trabalho pretende contribuir para o entendimento do contexto geológico em que se formou essa sequência no extremo norte da Bahia, sua implicação metalogenética e para a prospecção de ferro.

8.4 MÉTODOS

As amostras foram coletadas em diferentes etapas de campo (Figura 1) que tiveram como objetivo o mapeamento das formações ferríferas, suas encaixantes e amostragens

para petrografia, química mineral, análises de geoquímica de rocha total (elementos maiores e traços), isotópica de Sm/Nd e U-Pb.

Foram confeccionadas 78 lâminas polidas e o estudo foi realizado em microscópio petrográfico acoplado com câmara fotográfica digital no Laboratório de Mineralogia da CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

Para o estudo da química mineral, foram separadas 24 lâminas polidas e as mesmas foram previamente preparadas, metalizadas em seguida. As análises foram realizadas em microsonda eletrônica JEOL modelo JXA 8900RL, no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, sob as seguintes condições de operação: tensão 15 Kv, corrente 20 nA e diâmetro do feixe 1-10 µm. Os dados foram tratados no software *Excel 2010* e os arquivos oriundos do tratamento, obtidos das análises, estão dispostos em apêndice no final da seção da dissertação.

Das 78 amostras que foram selecionadas para o estudo petrográfico, 16 amostras foram pulverizadas no laboratório de preparação de amostras da CPRM-Serviço Geológico do Brasil e condicionadas em frascos de polietileno. Posteriormente, foram encaminhadas para o Laboratório Acme (Canadá), onde a abundância total dos óxidos de elementos maiores e de elementos traços é determinada a partir da fusão de 0,2g de amostra com metaborato/tetraborato de lítio, digestão com ácido nítrico diluído e análise por ICP-OES. A perda ao fogo é dada pela diferença de peso após fusão a 1000°C. Metais preciosos e metais básicos foram determinados após digestão de 0,5g de amostra com Água Régia e posterior análise em ICP-MS. Foram realizadas determinações de elementos maiores, traços e terras raras em dezesseis amostras de formações ferríferas e os dados foram tratados utilizando os *softwares Statistica V10, Excel 2010 e GCDkit 2.3.*

Com as 16 amostras que foram usadas para análise de química total, nove (09) amostras foram analisadas para Isótopos de Sm/Nd. As análises isotópicas de Sm e Nd foram realizadas no Laboratório de Geocronologia da Universidade de Brasília (UnB) e a metodologia empregada segue os procedimentos definidos em Gioia e Pimentel (2000). Além disso, 3 amostras de ortognaisses que compõem o substrato da bacia de deposição foram selecionadas para o estudo geocronológico utilizando cristais de zircão em *Shrimp*, no Centro de Pesquisa Geocronológica (Cpgeo) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

8.5 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A área de estudo está localizada na zona de transição do cráton do São Francisco (Figura 1), unidade geotectônica poliderfomada, que teve seu reequilíbrio termodinâmico no

final do Paleoproterozoico, e a Faixa de Dobramento Riacho do Pontal, unidade pertencente à província Borborema, de idade neoproterozoica (ALMEIDA, 1977; ALCKMIN et al., 2006) (Figura 1). No contexto do cráton do São Francisco, ocorrem ortognaisses a migmatitos do Complexo Sobradinho-Remanso, seqüências metassedimentares do Complexo Colomi, rochas vulcanossedimentares do Complexo Lagoa do Alegre e duas suítes magmáticas: Lagoa do Alegre-Juazeiro e Fazenda Forte (Figura 2).

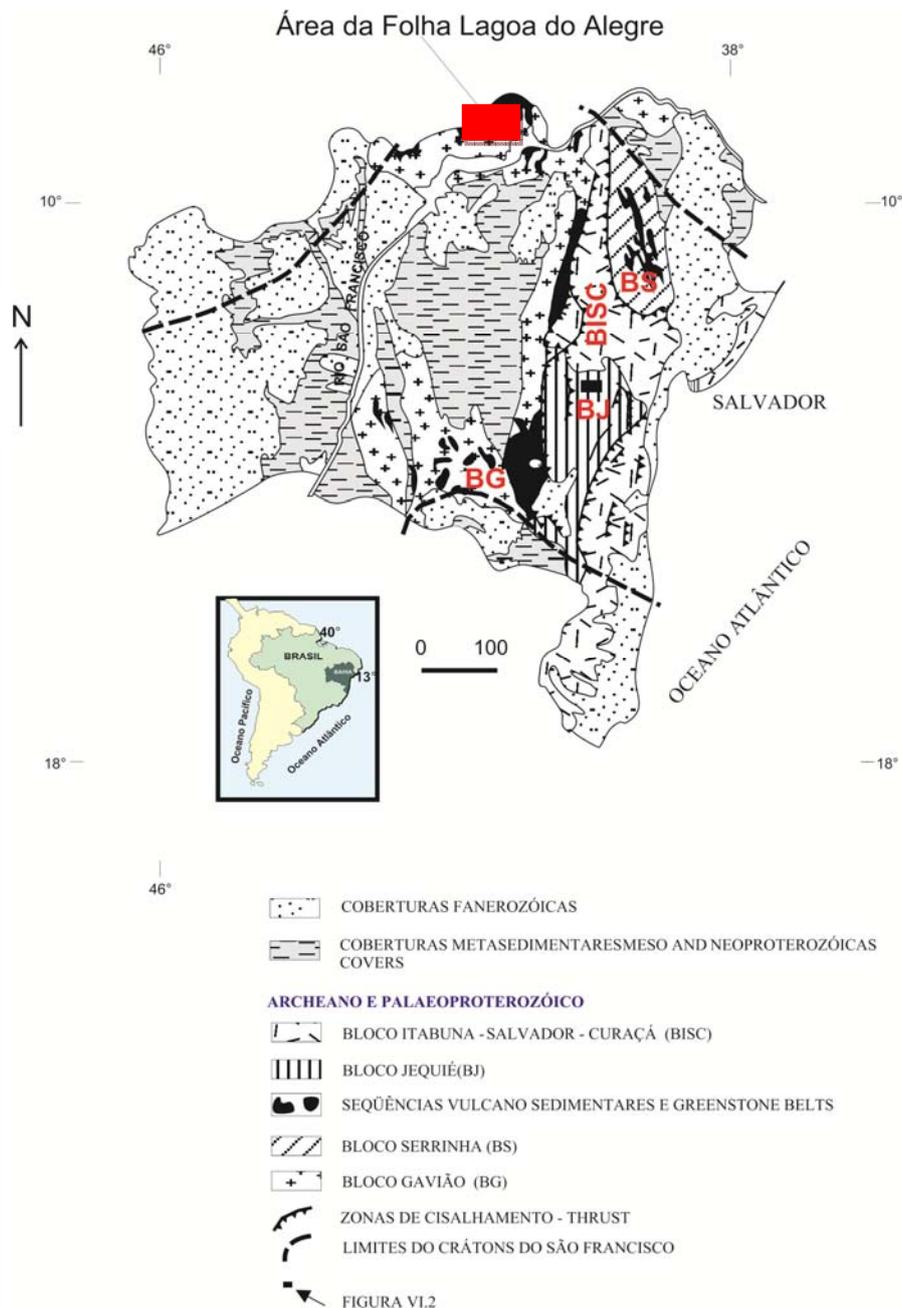


Figura 1 – Área de estudo sobre o contexto do Cráton do São Francisco e a faixa de dobramento neoproterozoica Riacho do Pontal (ALMEIDA, 1977; ALCKMIN et al., 2006).

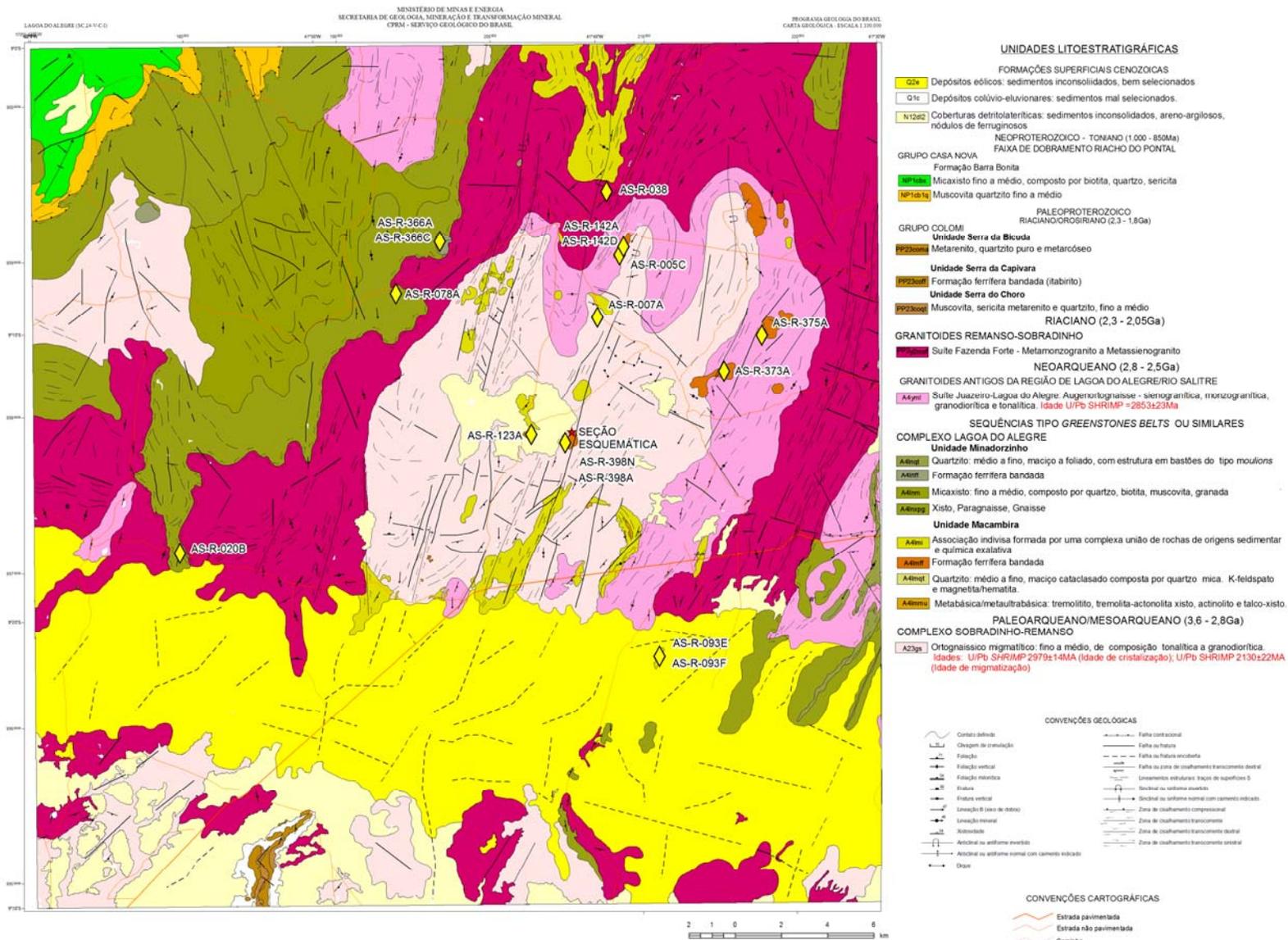


Figura 2 – Mapa geológico simplificado da área de estudo com as ocorrências de formações ferríferas associadas ao Complexo Lagoa do Alegre, com os pontos de amostragens para análise química (♦) e localização da seção esquemática (★) - Folha Lagoa do Alegre, Bahia.

Os ortognaisses e migmatitos têm composição tonalítica a granodiorítica, com enclaves de rochas máficas, e o bandamento gnáissico expõe de forma ora descontínua, ora contínua, com espessuras centimétricas a decimétricas. Enquanto que as porções migmatíticas exibem níveis mesossomáticos de natureza híbrida (tonalítica/granodiorítica), granulação fina a média, além de níveis leucossomáticos, paralelos e/ou truncando os primeiros, de composição granítica a quartzo-feldspática, com granulação média a grossa. Associam-se, também, bandas anfibolíticas boudinados, que são interpretadas a possíveis diques máficos.

Na porção extremo sudoeste, ocorre o Complexo Colomi (SOUZA et al., 1979) constituído pelas unidades Serra do Choro (SCh); Castela (Ca); Serra da Capivara (SCa) e Serra da Bicuda (SB). SCh é formada por quartzitos com intercalação de formação ferrífera, metachert, enquanto que Ca é formada por metadolomitos, Sca por formações ferríferas fácies óxidos e SB por metarenito com lentes de metaconglomerado.

O Complexo Lagoa do Alegre é constituído por duas sequências: uma metavulcano-sedimentar químico-exalativa (Unidade Macambira) e a segunda representa uma sequência metassedimentar (Unidade Minadorzinho). A Unidade Macambira (A4Im) ocorre em forma de associação indivisa de metabásica e metaultrabásica, grafita-xisto, formação ferrífera bandada, metacarbonato, paragnaisse, *sheets* de leucogranito e calcissilicática (A4Imi) e também em litótipos individualizados: formação ferrífera bandada (A4Imff), quartzito (A4Imqt) e metamáfica/metaultramáfica (A4Immu). A Unidade Minadorzinho (A4In) é composta por quartzito (A4Inqt); formação ferrífera bandada (A4Inqff), biotita xisto paragnaisse/biotita gnaisse (A4Inxpg) e micaxisto com granada ±cianita ±estauroлита biotita (A4Inx). Apresenta relevo acidentado com cristas alongadas nas sequências de quartzito/gnaisse/paragnaisse.

Associado ao magmatismo arqueno-paleoproterozóico, ocorrem as suítes magmáticas Juazeiro-Lagoa do Alegre e Fazenda Forte. A primeira é constituída *augen*-ortognaisse, composição sienogranítica, granulação fina a grossa, contendo porfiroclatos de microclina. Enquanto que o segundo são plútons de dimensões batolíticas, alongado na direção NNE-SSW associada à tectônica transcorrente NNE/SSW e cortam as rochas dos Complexos Sobradinho Remanso e o Lagoa do Alegre (A4Im). São metamonzogranitos a Metassienogranitos de coloração cinza-esbranquiçadas a rosadas, constituídos por quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita, podendo conter muscovita e magnetita como acessório, com granulação fina a média, por vezes com porfiroclástica/porfiroblástica de K-feldspato, apresentando foliação incipiente, outrora caracterizada por uma foliação penetrativa e com lineação de baixo *rake*, acompanhando o *trend* regional NNE/SSW.

8.5.1 Isótopos de U-Pb *SHRIMP* em TTG e em augen-ortognaisse – Base da bacia de deposição das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre

Foram analisados zircões provenientes de 3 amostras de rochas ortoderivadas da região de Lagoa do Alegre para datação utilizando U-Pb *SHRIMP* (*Sensitive High Resolution Ion Microprobe*). A amostra AS-58A corresponde ao granodiorito, a amostra AS58B pertencente ao gnaíse tonalito, ambos pertencentes ao Complexo Remanso Sobradinho (coordenada UTM AS58-A/B 212534/8982175 Zona 24) e a amostra AS-04 relacionada ao augen-ortognaisse sienítico, correspondente a Suíte Juazeiro-Lagoa do Alegre (coordenadas UTM AS-04 194786/899945 Zona 24). Os estudos prévios à datação utilizaram imagens de catodoluminescência e MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura). As análises isotópicas foram realizadas em cristais de zircão pelo método *SHRIMP* no Instituto de Geociências do Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo) da Universidade de São Paulo – USP e o sumário de dados geocronológicos estão presentes em apêndice.

Os objetivos desse estudo visam compreender a idade dos substratos que compõem a base da bacia de deposição das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre.

8.5.1.1 Estudo prévio dos cristais de zircão

Os grãos de zircão da amostra AS-58A (TTG – fácies granodiorito) são cinzas, automorfos, sendo alguns fraturados, quebrados com cristais de dimensões entre 100 e 200µm, mostrando feições morfológicas bipiramidais e alongadas. Mostram baixo teores de urânio (85 a 487ppm) e alto grau de metamitização por efeito de hidrotermalismo. Alguns cristais apresentam zonação magmática com núcleos bem desenvolvidos, sobrecrecimento e inclusões de outros minerais (Figura 3A).

Os grãos de zircão da amostra AS-58B (TTG – fácies tonalito-gnaíse) são marrons, automorfos, sendo alguns fraturados e quebrados. São cristais de dimensões entre 50 e 200µm, com feições morfológicas bipiramidais e alongadas. Apresentam teores de urânio entre 78 a 924ppm e alto grau de metamitização com porosidade típica de grãos afetados por alteração hidrotermal. Alguns cristais apresentam zonação magmática com núcleos bem desenvolvidos, sobrecrecimento e inclusões de outros minerais (Figura 3B).

Os cristais de zircão do augen-ortognaisse sienogranítico (amostra AS-04) são transparentes a translúcidos de cores cinza claro e fumê, automorfos a xenomorfos, muitas vezes, fraturados e quebrados. Mostram baixos teores de urânio (244 a 523ppm) e baixo

grau de metamitização. Os cristais apresentam dimensões entre 50 e 250 μ m, automorfos, zonados, com sobrecrecimento e inclusões de outros minerais (Figura 3C).

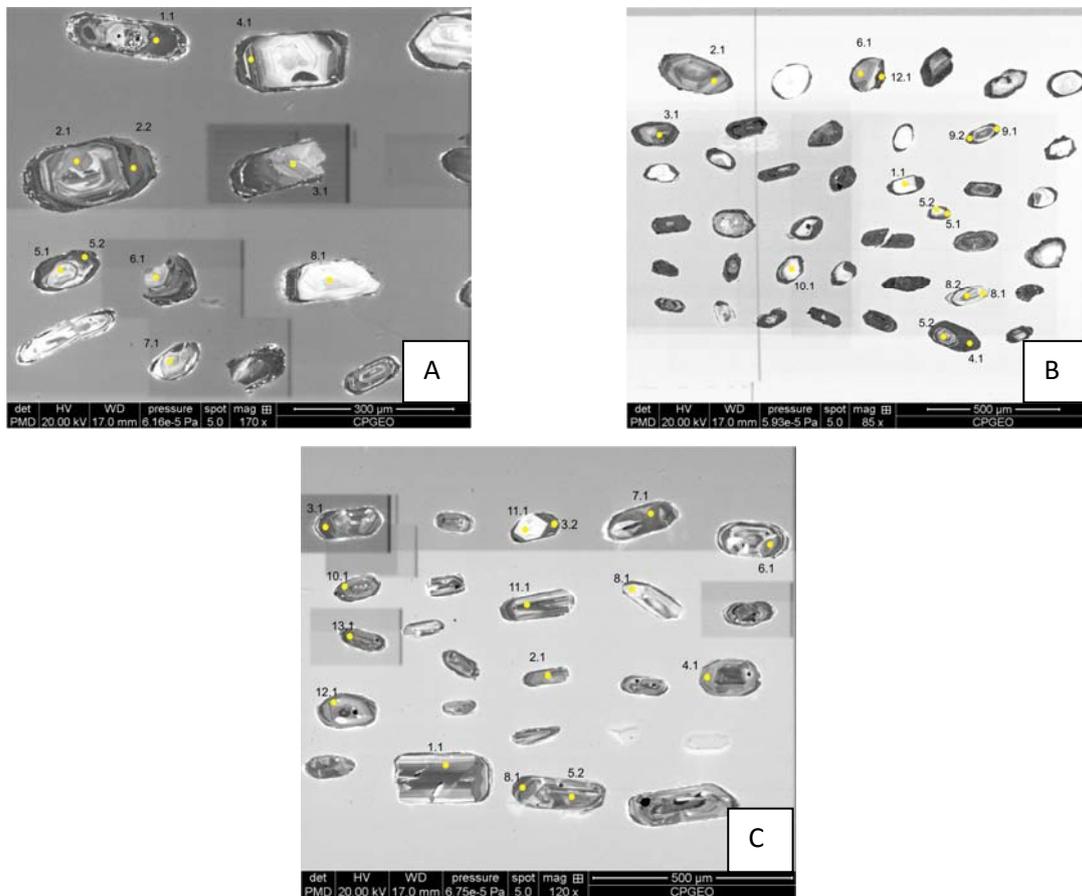


Figura 3 (A, B e C) – Imagens do MEV dos cristais de zircão com pontos analisados das amostras AS-58A, AS-58B e AS-04, respectivamente.

8.5.1.2 Resultados

Os diagramas concórdias U-Pb das amostras AS-58A (Figura 4A) e AS58-B (Figura 4B) mostram idades concordantes U-PB de $2.979\pm 14\text{Ma}$ e de $2.130\pm 22\text{Ma}$, respectivamente, que são, aqui, consideradas como a idade de cristalização magmática na fácies granodiorítica, seguido do evento de migmatização e metamorfismo. O diagrama concórdia U-Pb da amostra As-04 (Figura 4C) mostra uma idade $2.853\pm 23\text{Ma}$ é considerada como a idade cristalização magmática desta litounidade.

Próximo à área de estudo, região de Campo Alegre de Lourdes e Peixe, esses litotipos ocorrem e estão subdivididos em ortognaisses de composição granítica a duas

micas, gnaisses migmatíticos com assinatura do tipo de TTG e granitos leucocráticos deformados (BARBOSA, 2012; LEITE et al, 1997).

Os dados isotópicos desses litotipos, localizados entre as regiões de Remanso e Campo Alegre de Lourdes, registram idade pelo método Rb-Sr de 3189 ± 24 Ma, com razão inicial alta de Sr (i)=0,7127 (cf. LEITE et al., 1997). De outro lado, na região de Petrolina-Juazeiro, dados isotópicos em zircão e Sm/Nd desses litotipos demonstram duas populações de zircão: a) idade concordante de 3.537 ± 8 Ma; e b) idade 2.564 ± 11 Ma (DANTAS et al., 2010). Segundo esse autores, os grãos de zircão mostram altos conteúdos de U-Pb, sugerindo a influência de fluidos devido à história polideformacional dessas rochas, com registro de idade discordante com valor de 603 ± 130 Ma. Por outro lado, os dados isotópicos de Sm/Nd (idades modelo) variam de 3.7 a 3.0 Ga, indicando fonte arqueana e com valores de ϵ Nd negativo, resultado de uma crosta juvenil retrabalhada para o Complexo Remanso-Sobradinho – Bloco gavião, seguimento norte. (DANTAS et al., 2010).

Os dados isotópicos obtidos nas amostras para a região de Lagoa do Alegre corroboram com as características polideformacionais e complexa dessas rochas. As idades geocronológicas demonstram que a idade concordante U-Pb em zircão pelo método *SHRIMP* de 2.979 ± 14 Ma pode estar associada a uma crosta juvenil e mais diferenciada, de composição félsica. Essas crosta pode evidenciar o evento de cratonização da província sanfranciscana, com a migmatização/metamorfismo registrada pela idade concordante U-Pb em zircão pelo método *SHRIMP* de 2.130 ± 22 Ma em tonalito-gnaisse. Além disso, a idade concordante U-Pb em zircão (*SHRIMP*) de 2.853 ± 23 Ma para o *augen*-ortognaisse é sugestiva para magmatismo oriundo da fusão desta crosta juvenil, formada por rochas com assinatura típica de TTG de afinidade calci-alcalina.

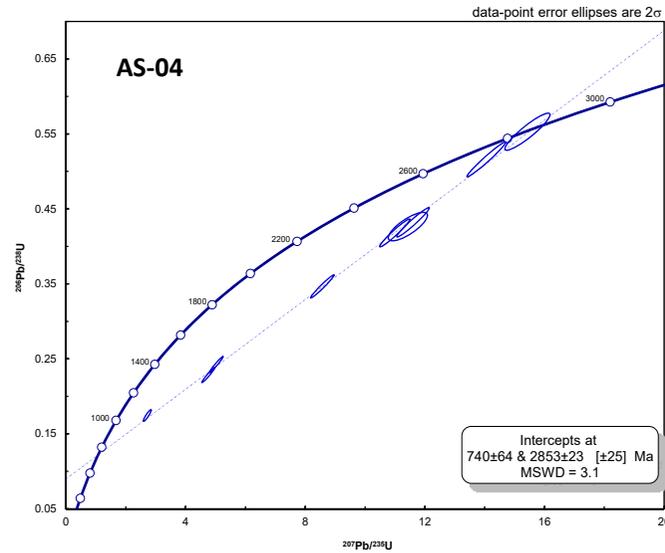
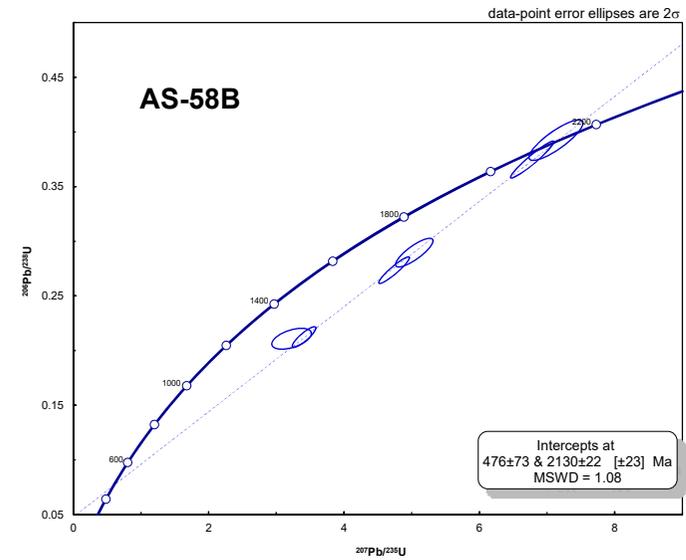
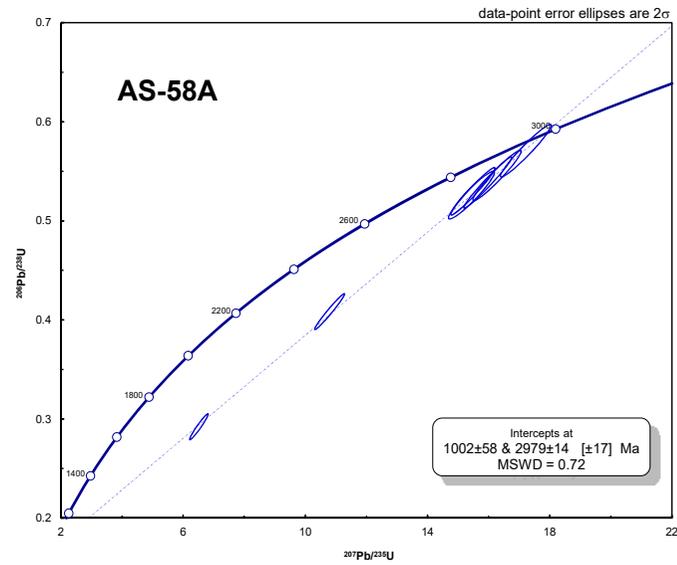


Figura 4 (A, B e C) – Diagramas concórdia das amostras AS-58A, AS-58B e AS-04, respectivamente.

8.6 GEOLOGIA DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS

As formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre estão associadas às sequências Macambira e Minadorzinho do Complexo Lagoa do Alegre e ocorrem sob a forma de camadas espessas (acima de 100m), ou lentes intercaladas em suas encaixantes. Estão localizadas em diversas regiões da área estudada e estão topograficamente ressaltadas devido às cristas alongadas conforme a orientação do *trend* regional NNE/SSW (Figura 5)

As formações ferríferas estão encaixadas nos ortognaisses migmatíticos do tipo TTG de e *augen*-ortognaisses Mesoarqueno, em metassienogranito e metamonzogranitos relacionados a granitogênese paleoproterozoica, associadas ainda a rochas metamáficas/ultramáficas, quartzitos e intercaladas com paragnaisses do Complexo Lagoa do Alegre (Figura 5).

As formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre são monótonas mineralogicamente, tendo os óxidos de ferro, magnetita e hematita, como principais constituintes, além de quartzo e do silicato de ferro. Distinguem-se das formações ferríferas ao redor do mundo, como em Animikie, na região de Lago Superior-USA, Hamersley (Austrália) e em Transvall na África do Sul (MOREY, 1983; TRENDALL, 1983; TRENDALL; BLOCKLEY, 1970, 2004), onde apresentam grau metamórfico predominantemente baixo, com variação mineralógica e com a presença de sílica, carbonatos e silicatos de ferro.

Na área de estudo, essas formações são rochas magnéticas, cinza-avermelhadas a vermelho-amarronzadas, granulação fina a média, constituídas por magnetita, hematita e *grunerita-cummingtonita*, podendo haver também outros clinoanfibólios como acessórios. São rochas bandadas, maciças, fraturadas a brechadas, com o desenvolvimento de intensa cimentação, formada por uma mistura microcristalina de sílica e oxi-hidróxidos de ferro de coloração avermelhada. Apesar do estado de deformação e metamorfismo que estas rochas foram submetidas, elas ainda preservam o acamadamento primário (S_0), marcado pelo bandamento composicional, com as alternâncias de quartzo, óxidos de ferro e clinoanfibólios ricos em ferro (Figura 5).

Do ponto de vista mesoscópico, as formações ferríferas são laminadas e apresentam macro a mesobandamento, além de microbandamento. O bandamento é marcado por espessura que varia de 1mm a 10cm, podendo alcançar espessuras maiores (Figura 6). O contato entre essas bandas é caracterizado por uma superfície linear com mudanças abruptas, demarcado por alternância composicional de quartzo, hematita, magnetita e clinoanfibólios. São rochas compactas a semcompactas, com fraturas que são

preenchidas por veio de quartzo e, por vezes, com o desenvolvimento de cristais de magnetita euedrais pós-deformacionais, associado a eventos hidrotermais (Figura 7).

Em zona de cisalhamento, ou quando submetidas a tensões e *stress*, observam-se dobras apertadas, em M, com eixo de dobra vertical e o bandamento envolvido na deformação desenvolve microdobramento marcado por uma crenulação que está paralelo ao S_0 (Figura 8).

Além disso, ocorrem processos de enriquecimento supergênico caracterizado pela coloração alaranjada com a formação de porosidade secundária e alteração dos óxidos e dos clinoanfíbólio em fase hidratada de ferro (Figura 9).

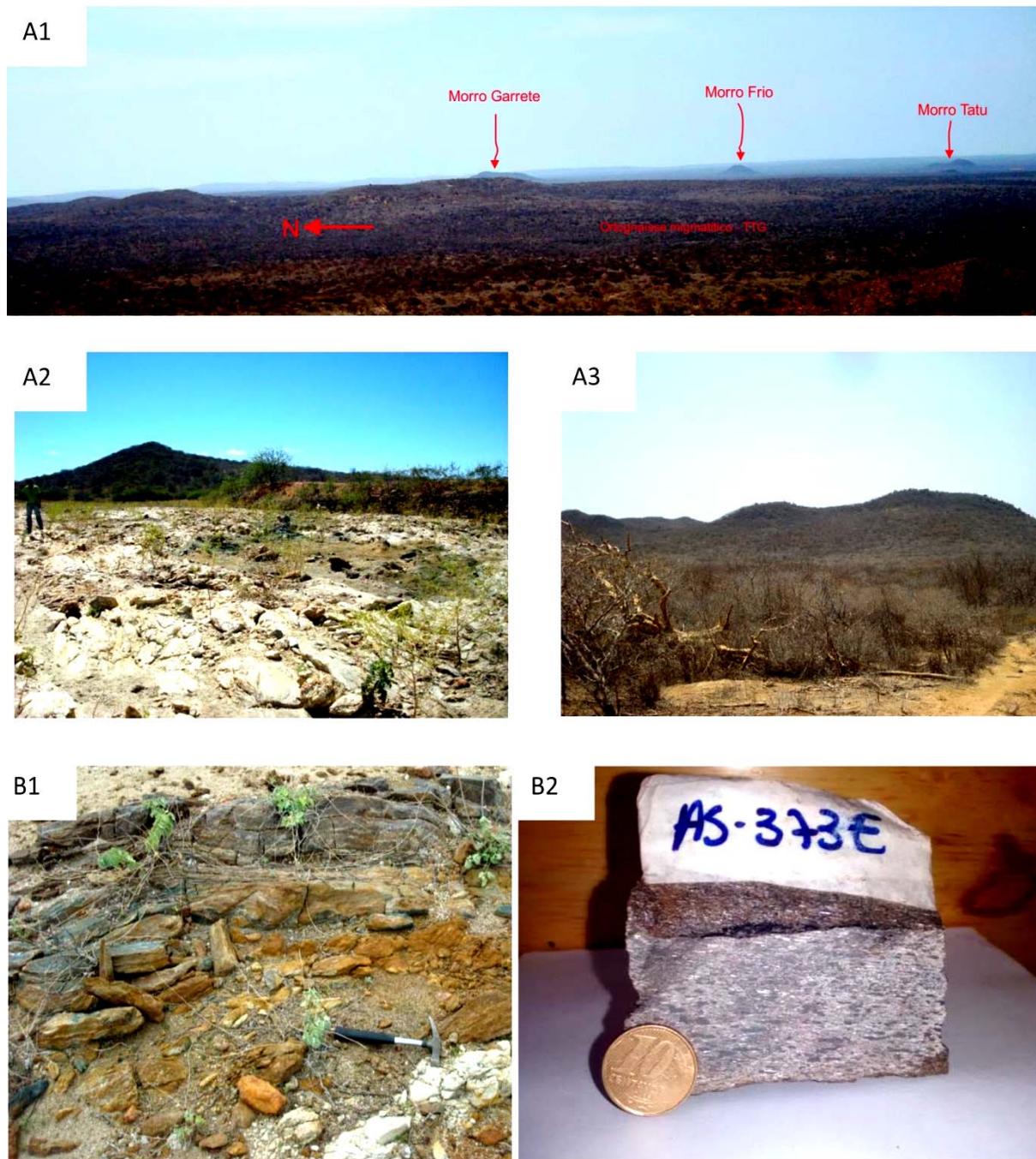


Figura 5 – Formação ferrífera (A1) – Fotografia mostrando visão geral das cristas alongadas na direção NNE/SSW, (A4Imff), próximo ao Sítio Barra Bonita, Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba. (A2 e A3) – Fotografia mostrando visão geral das cristas alongadas no sangradouro da barragem de Lagoa do Alegre (A4Imff). (B1) – Fotografia em planta de formação ferrífera, nível enriquecido em minerais máficos. (B2) – Fotografia de amostra de formação ferrífera com clinóanfíbólio (*cummingtonita-grunerita*), hábito acicular e orientado segundo o bandamento composicional.

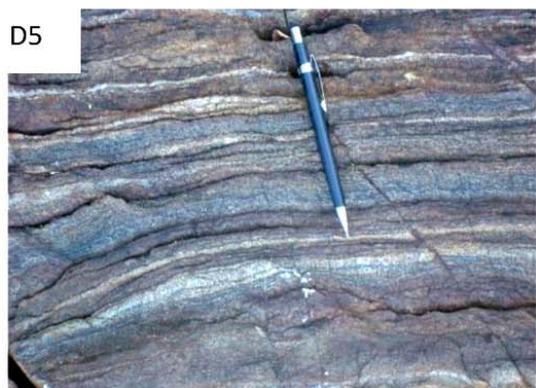
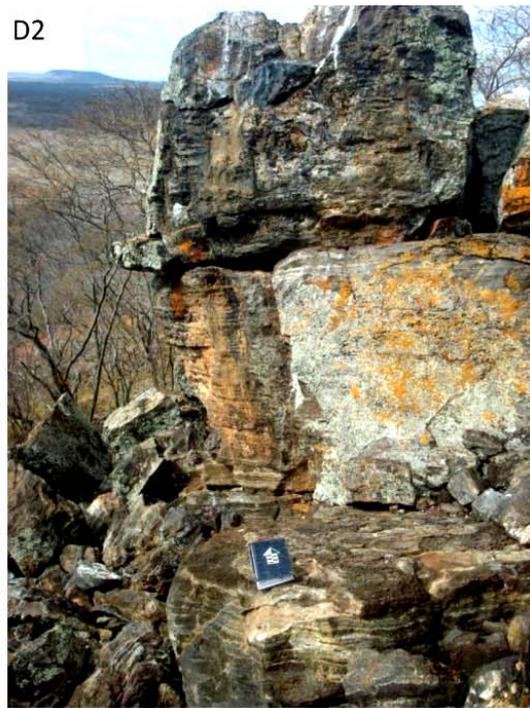
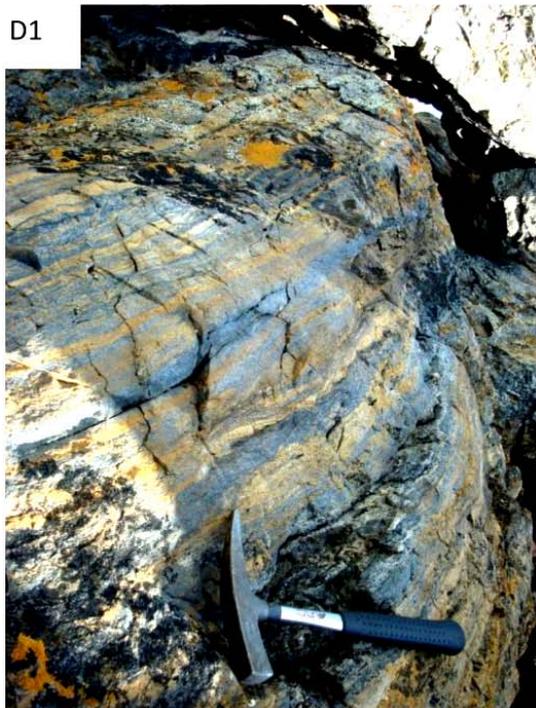


Figura 6 – Formação ferrífera (D1 e D2) – Fotografias em seção de afloramento com visão geral mostrando mesobandas, marcadas por níveis de magnetita+hematita±*cummingtonita-grunerita* e quartzo. (D3 a D6) – Fotografia de detalhe mostrando laminações, marcado por bandamento centimétrico e milimétrico de magnetita+hematita±*cummingtonita-grunerita* e quartzo, por vezes, crenulado. Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba.

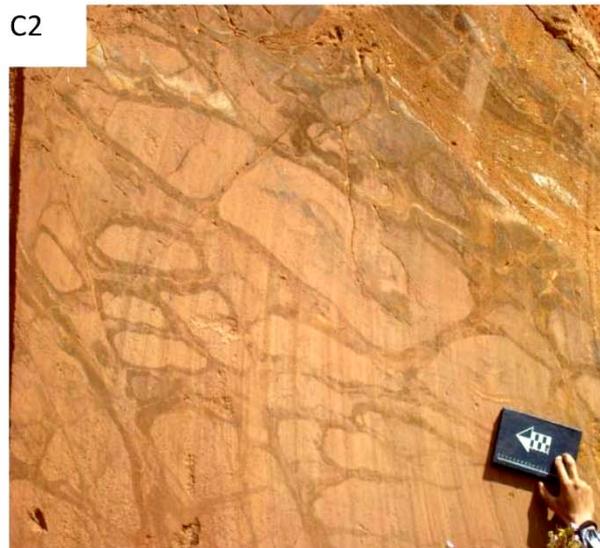


Figura 7 – Formação Ferrífera (C1) – Fotografia em seção de afloramento mostrando visão geral de formação ferrífera brechada, associada a zona de cisalhamento na direção NNE/SSW. (C2, C3 e C4) – Fotografias mostrando em corte formação ferrífera associada à zona de cisalhamento, com desenvolvimento de brechas e cimentação formada por óxi-hidróxidos de ferro e sílica. Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba.



Figura 8 – Formação ferrífera (E1 e E2) – Fotografias em planta de afloramento com cristais eudrais de magnetita, pós-deformacionais, associados a eventos hidrotermais. Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba. (F1) Fotografia em seção de afloramento de formação ferríferas marcado pelo bandamento composicional (óxidos de ferro e sílica) dobrado em M. (F2) Fotografia em planta de afloramento de formação ferrífera com bandamento composicional crenulado. Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba.

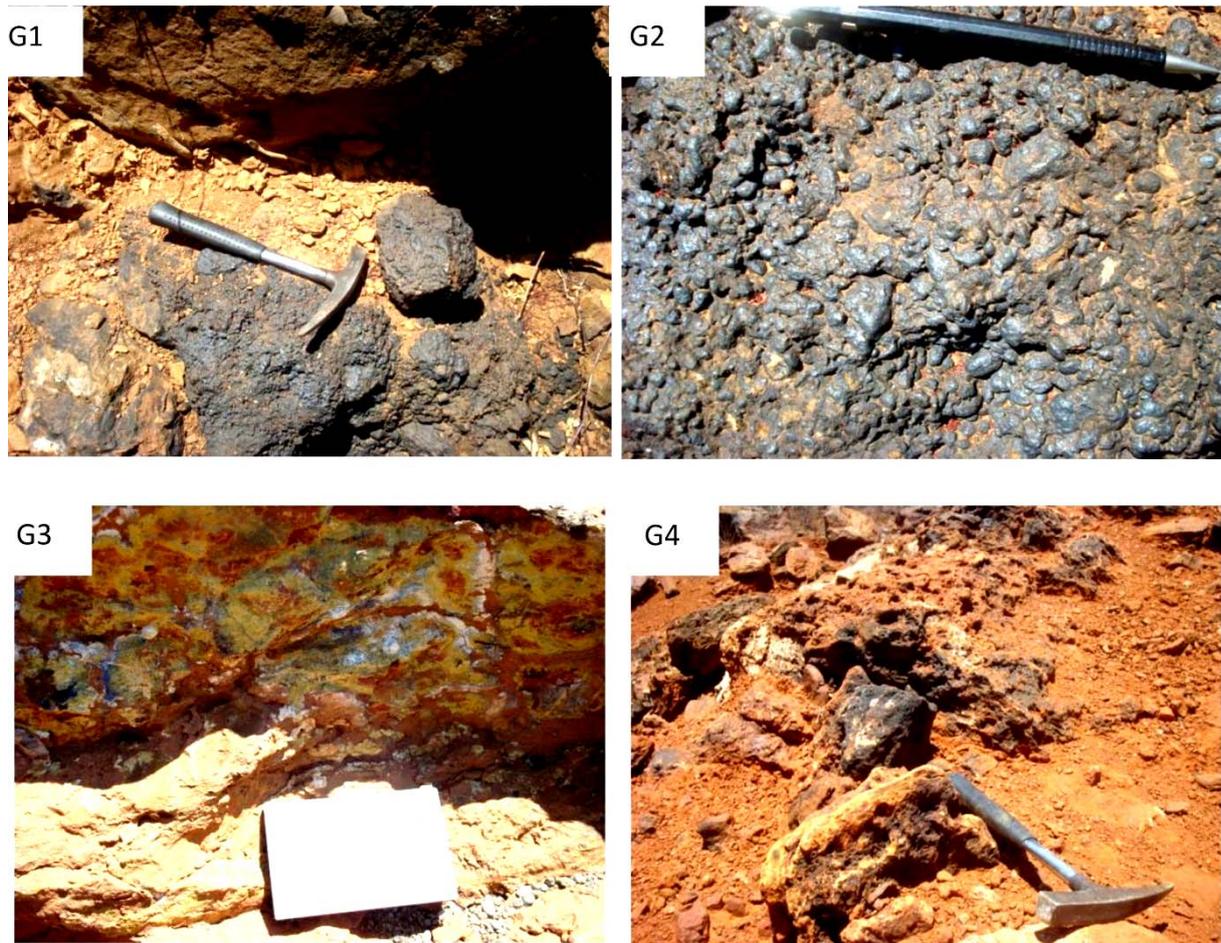


Figura 9 – Formação Ferrífera - (G1, G3 e G4) – Fotografias de afloramento com visão geral de formação ferrífera caracterizada por enriquecimento supergênico. (G2) – Fotografia de afloramento de formação ferrífera com enriquecimento supergênico, mostrando detalhe com aspecto botoidal. Folha Lagoa do Alegre. Casa Nova-Ba.

8.7 PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS E ULTRAMÁFICA ASSOCIADA DO COMPLEXO LAGOA DO ALEGRE

8.7.1 Petrografia das formações ferríferas

De acordo com as características petrográficas assinaladas pelos aspectos texturais, geometria e contatos dos cristais, paragênese mineral, planos de orientação e alterações associadas, foram definidos 5 (cinco) tipos petrográficos de ocorrências das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre. Além disso, as ocorrências associadas à Unidade Macambira não se diferenciam petrograficamente das formações ferríferas associadas Unidade Minadorzinho.

8.7.1.1 Formação ferrífera bandada sem/pobre em *cummingtonita-grunerita*

É constituída por formações ferríferas com micro a macrobandas/laminadas (S_0), predominando os termos mesobandados (TRENDALL, 2002; TRENDALL; BLOCKLEY, 2004), apresentando textura granoblástica, granulação fina a média, em que se destacam os níveis ricos em quartzo, intercalados com bandas ricas em óxidos de ferro. Sua composição modal é constituída quartzo (60-35%), magnetita (50-10%), hematita (25-05%), *cummingtonita-grunerita* (04-00%), zircão (01-00%) e com porções de alteração supergênica com a formação de oxi-hidróxido de ferro (20-03%) (Figura 15).

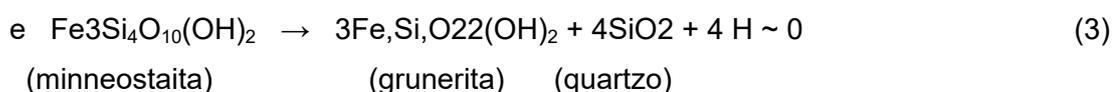
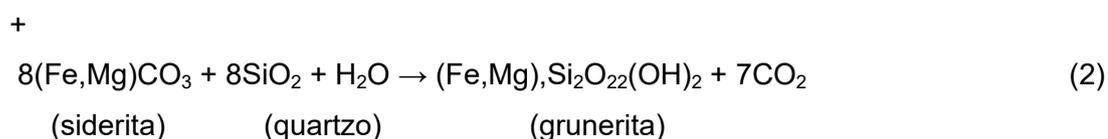
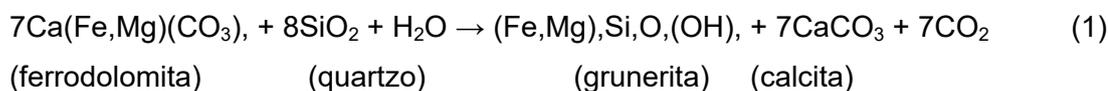
Quartzo ocorre sob a forma xenoblástica, granulação fina a média, poligonais, formando grãos com contatos retos a interlobados, com forte extinção ondulante, leve orientação preferencial e subgrãos gerados por processo de rotação e recristalização dinâmica. **Magnetita** ocorre sob a forma granular, grãos fraturados, fino a média, formas idioblástica a subidioblástica. Presença de feições de dissolução no núcleo dos cristais. Os contatos apresentam-se, em geral, retilíneos a interlobados. O padrão de transformação de fase entre a magnetita e hematita ocorre por oxidação ao longo dos planos octaédricos e das bordas dos cristais. A magnetita reage com o oxigênio, adsorvendo moléculas de oxigênio, o que provoca modificações no seu retículo cristalino. Nesse caso, tem-se a formação de goethita ou de alguma fase intermediária. A oxidação da magnetita para hematita pode ocorrer ainda durante deformação e metamorfismo, na presença de fluido rico em água. Nesse caso, a transformação é direta, com ausência de fases intermediária e goethita. O processo de oxidação é controlado pelo nível de oxigênio presente na fase fluida, nas bordas dos grãos e na difusão dos íons no retículo da magnetita, sob condições de fácies Xisto Verde. **Hematita** ocorre sob a forma granular, idioblástica a subidioblástica,

granulação fina a média e ocorre por processo de martitização da magnetita, além poder apresentar bordas alteração para óxido-hidróxido de ferro. Ela pode ocorrer alongada e posicionando-se, concordantemente, com a foliação da rocha. **Cummingtonita-grunerita** ocorre sob a forma granular e prismática, granulação fina e com alteração da borda para oxi-hidróxido de ferro. **Oxi-hidróxido de ferro** é de coloração vermelho amarelado a azulado, ocorre nos planos de fraturas e bordas dos cristais de magnetita, hematita e clinoanfíbólio, por vezes ocorrendo a substituição total.

8.7.1.2 Formação ferrífera bandada e rica *cummingtonita-grunerita*

Essa fácies possui uma característica monótona, textura granonematoblástica com orientação de forma do quartzo e *cummingtonita-grunerita*. As rochas apresentam bandamento (S₀) preservado com níveis ricos em quartzo, associado a bandas ricas em magnetita+hematita+clinoanfíbólio. Apresenta como minerais principais: quartzo (51-20%), *cummingtonita-grunerita* (43-06%), magnetita (38-10%), hematita (20-03%), clinoanfíbólio (07-00%), biotita (02-00%), pirita (01-00%) e oxi-hidróxido de ferro (20-01%) (Figura 16).

Quartzo ocorre com a granulação fina a média, forma xenoblástico, formando grãos alongados e/ou poligonais, com contatos retilíneos a interlobados e leve extinção ondulante. Apresenta lamelas de formação, presença de orientação de forma, leve orientação cristalográfica, migração de borda e formação de subgrãos por recristalização dinâmica. **Cummingtonita-grunerita** ocorre como fenoblasto e com granulação fina a média, prismática, forma idioblástica a hipidioblástica, birrefringência alta, extinção oblíqua, contatos retilíneos, presença de maclas polissintética, orientação de forma e com alteração da borda para oxi-hidróxido de ferro. A grunerita é diagnóstica de fácies silicato das formações ferríferas metamorfizadas e está em equilíbrio termoquímico na fácies xisto verde a anfibolito, entre a isógrada da biotita a da estauroлита/cianita (KLEIN, 1964, 1973, 1983). As reações típicas para a formação da grunerita são:



Magnetita ocorre sob a forma granular, grãos fraturados, fino a médio, formas idioblástica a subidioblástica. Os cristais sofrem processo intenso de martitização nas bordas e planos de descontinuidades (plano de fraturas e clivagens), gerando pseudomorfos de hematita, por vezes, ocorrendo a alteração total, ou com núcleo, ou porções preservados. **Hematita** ocorre sob a forma granular, xenoblástica a subidioblástica, granulação fina a média, ocorrendo por processo de martitização e com bordas de alteração de óxido-hidróxido de ferro. Ela pode ocorrer alongada e posicionando-se concordantemente com a foliação da rocha. **Clinóanfibólio** apresenta granulação fina a média, forma xenoblástica a subidioblástica, pleocroísmo verde oliva, verde claro a castanho e ocorre associada à *cumingtonita-grunerita*. **Pirita** ocorre com a granulação fina a muito e inclusa na magnetita. **Biotita** marrom ocorre sob a forma de paletas, granulação fina e dispersa. **Oxi-hidróxido de ferro** é coloração vermelho amarelado a azulado, ocorre nos planos de fraturas e bordas dos cristais de magnetita, hematita e clinóanfibólios, por vezes ocorrendo a substituição total.

8.7.1.3 Formação ferrífera sem bandamento composicional característico

É representada por formações ferríferas sem bandamento característicos definido por Trendall (2002) e Trendall & Blockley (2004), em que a magnetita e a hematita estão disseminadas na seção. Apresenta a textura granoblástica constituída por cristais de quartzo e magnetita. O contato dos grãos dá-se por uma película formada por oxi-hidróxido de ferro de cor marrom a vermelho amarelado. A sua composição modal é representada por quartzo (51-30%), magnetita (34-25%), hematita (10-05%), *cumingtonita-grunerita* (30-02%), apatita (01-00%) e com porções de alteração supergênica com a formação de oxi-hidróxido de ferro (07-03%) (Figura 17).

Quartzo ocorre com a granulação fina a média, forma xenoblástica, presença de grãos poligonais, contatos interlobados a retilíneos, com leve extinção ondulante, ausência de orientação de forma e leve orientação preferencial. **Magnetita** ocorre sob a forma granular, granulação fina a média, formas idioblástica a hiperidioblástica, com cristais sofrendo processo intenso de martitização nas bordas e planos de descontinuidades, gerando pseudomorfos de hematita. Hematita ocorre sob a forma granular, xenoblástica subidioblástica, granulação fina e ocorre por processo de martitização da magnetita apresentam bordas de alteração de óxido-hidróxido de ferro. **Cumingtonita-grunerita** ocorre sob a forma granular e prismática, granulação fina e dispersa na seção. **Oxi-hidróxido de ferro** é coloração de vermelho amarelado e ocorre, nos planos de fraturas e

bordas dos cristais de magnetita, hematita e *cummingtonita-grunerita*. Apatita ocorre com granulação fina e dispersa na seção.

8.7.1.4 Formação ferrífera brechada

Estão localizadas em zona de cisalhamento e são formadas por **fragmentos de formação ferrífera** imersa em uma matriz formada por oxi-hidróxido de ferro e sílica criptocristalina, indicando percolação hidrotermal. A sua composição inclui grãos de **Magnetita** e de **Quartzo** com granulação fina a média, sem orientação preferencial, forma xenoblástica, disperso na seção, ou ao longo de plano de fraturas. **Oxi-hidróxido de ferro** tem coloração vermelho amarelado e ocorre disseminada, ou formando grandes bolsões por toda seção. Sílica criptocristalina ocorre com crescimento radial, ou aleatório, por vezes, formando um mistura amorfa com oxi-hidróxido de ferro (Figura 18).

8.7.1.5 Formação Ferrífera com magnetita primária e com enriquecimento supergênico

Essa fácies é resultado da alteração das supergênica dos 4 tipos ocorrências das formações ferríferas. Apresenta bandamento definido por **óxi-hidróxidos de ferro, magnetitas primária e secundária**, e bandas ricas em sílica criptocristalina. Magnetita primária e quartzo formando textura esferulítica, incorporado numa matriz de goethita, além de esqueleto de *cummingtonita-grunerita* sem orientação, e com forma xenoblástica (Figura 19).

Apesar desta subdivisão (Tabela 1), essas rochas foram submetidas a condições entre as fácies xisto verde e anfibolito médio, tendo como mineral índice o clinoanfibólio *cummingtonita-grunerita*, localizado entre a zona da isógrada da biotita e esturolita/cianita, e corroborado com a presença da hornblenda. Alguns dos termos separados no estudo petrográfico não apresentaram, na sua paragênese mineral, o clinoanfibólio como marcador da fácies metamórfica, mas baseado no contexto geológico, esses litotipos foram separados na petrografia como pertencentes ao mesmo domínio metamórfico.

Tabela 1 – Características dos 5 tipos petrográficos das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre

Tipo Petrográfico	Mineralogia principal	Tipo de Anfibólio	Acessório	Estrutura/Textura
Formação Ferrífera Bandada sem/pobre em <i>cummingtonita-grunerita</i>	Quartzo, magnetita e hematita		apatita, <i>cummingtonita-grunerita</i>	Textura granoblástica, formada por mesobandas e microbandas, granulação fina a média, em se destaca os níveis rico em quartzo, intercalado com bandas ricas em óxidos de ferro (magnetita e hematita).
Formação Ferrífera Bandada com <i>cummingtonita-grunerita</i>	Quartzo, magnetita, hematita e <i>cummingtonita-grunerita</i>	Actinolita, tremolita e hornblenda	apatita, biotite	Textura granonematoblástica com orientação de forma do quartzo e grunerita, constituída por meso/microbandada. Apresentam bandamento (S ₀) preservado com níveis ricos em quartzo, associado a bandas ricas em magnetita+hematita+grunerita.
Formação Ferrífera sem bandamento	Quartzo, magnetita, hematita e <i>cummingtonita-grunerita</i>	-	-	Apresenta a textura granoblástica constituída por cristais de quartzo e magnetita
Formação Ferrífera brechada	Fragmentos de formação ferrífera e grãos de quartzo e magnetita	-	-	Textura brechada formada por fragmentos de formação ferrífera imersa em uma matriz formada por oxi-hidróxido de ferro e sílica criptocristalina, indicando percolação hidrotermal
Formação Ferrífera com magnetita primária e enriquecimento supergênico	óxi-hidróxidos de ferro associada à bandas rica em sílica criptocristalina e magnetita primária	<i>cummingtonita-grunerita</i>		Apresenta bandamento definido por óxi-hidróxidos de ferro associada à bandas rica em sílica criptocristalina, marcado por textura esferulítica. Ocorre ainda quartzo, magnetita e <i>cummingtonita-grunerita</i> sem orientação, e com forma xenoblástica

8.7.2 Química mineral das formações ferríferas

As análises em microsonda nos óxidos ferro (magnetita e hematita) e na sua fase hidratada, presentes nos 5 tipos petrográficos das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre, foram obtidas a partir de análises realizadas na borda-núcleo-borda (BNB) e seccionando os cristais (ex.: Mg1.1...1.4) (Tabela 2 e Figura 10) .

Tabela 2 – Dados de análise em microsonda eletrônica em óxidos de ferro e da fase hidratada dos 5 tipos petrográficos pertencentes às formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre.

Análises*/Elementos	SiO ₂	FeO	MgO	TiO ₂	NiO	MnO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	(OH)
366A_C4_He 23.1	0.03	96.63	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0,0
366A_C4_He 23.1	0.03	96.63	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0,0
366A_C4_He 23.2	0.03	96.63	0.02	0.00	0.00	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0,0
366A_C4_He 23.2	0.03	96.63	0.02	0.00	0.00	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0,0
366A_C4_He 23.3	0.06	96.25	0.00	0.00	0.01	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0,0
366A_C4_He 23.3	0.06	96.25	0.00	0.00	0.01	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0,0
366B_C2_He 7.1	0.20	95.25	0.02	0.02	0.01	0.10	0.08	0.02	0.01	0.01	0,0
366B_C2_Mg 7.2	0.02	96.74	0.00	0.02	0.00	0.13	0.02	0.02	0.00	0.00	0,0
78C_C1_Mg 1 B	0.06	96.62	0.05	0.05	0.00	0.00	0.04	0.07	0.00	0.00	0,0
78C_C1_Mg 1 B	0.15	96.02	0.01	0.06	0.01	0.02	0.03	0.00	0.02	0.03	0,0
78C_C1_Mg 1 N	0.04	96.80	0.00	0.08	0.03	0.11	0.05	0.02	0.00	0.02	0,0
93E_C3_MgOH 3 B	3.00	93.24	0.02	0.00	0.01	0.03	0.22	0.03	0.00	0.01	3.18
93E_C3_MgOH 3 B	5.49	90.84	0.00	0.14	0.00	0.00	0.22	0.00	0.01	0.00	3.01
93E_C3_MgOH 3 N	0.03	96.63	0.02	0.05	0.00	0.13	0.17	0.00	0.00	0.00	2.70
142B_C1_MgOH 4	2.40	83.95	0.10	0.06	0.00	0.06	0.43	0.03	0.04	0.03	12.31
142B_C2_MgOH 9	2.46	86.05	0.58	0.00	0.15	0.58	0.26	0.04	0.02	0.12	9.05
78C_C4_MgOH 11	2.58	83.35	0.42	0.04	0.00	0.05	0.22	0.15	0.03	0.06	12.57

*Siglas na microsonda eletrônica: Mg = magnetita; He = hematita(Martita) e; MgOH = presença de óxidos de ferro na fase hidratada

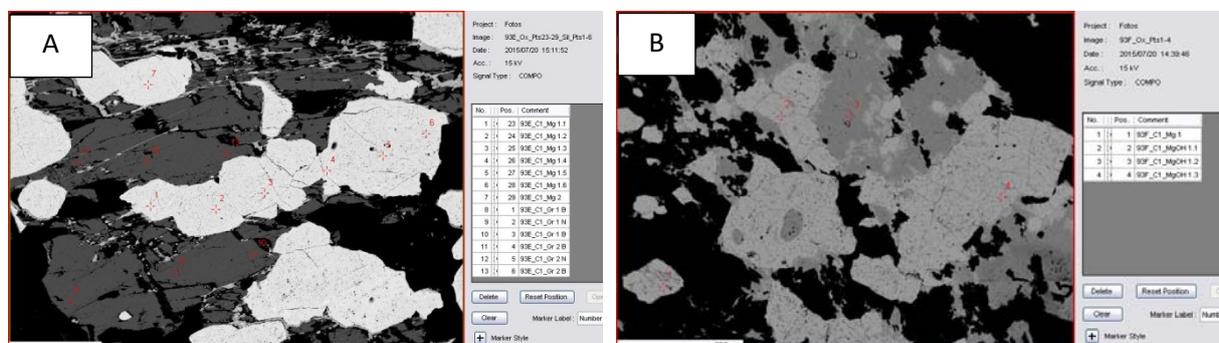


Figura 10 – Análises em microsonda em magnetita (A) e na sua fase hidratada (B) dos 5 tipos petrográficos das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre.

De acordo com os gráficos $\text{FeO}_{(t)} \times \text{SiO}_2$ (Figura 11), observam-se dois grupos distintas de magnetitas presentes nos 5 tipos petrográficos: Grupo 1, constituído por magnetita enriquecida em ferro; e Grupo 2, constituído por magnetita alterada para fase hidratada. Os demais elementos (Mg, Ti, Ni e Mn - Tabela 2) são traços e não apresentam importância na classificação na magnetita. A fase hidratada apresenta valores de sílica

(SiO₂) e ferro total (FeO_(t)) variando 0,04% e 52,87 e 37,06% a 97,55%, respectivamente, e podem ser classificados como goethita, lepidrocrocita a limonita. Observa-se, na análise da amostra 93F_C1_MgOH (1.1;1.2 e 1.3), que as bordas ainda estão preservadas e a hidratação ocorre no núcleo do cristal (Figura 10B).

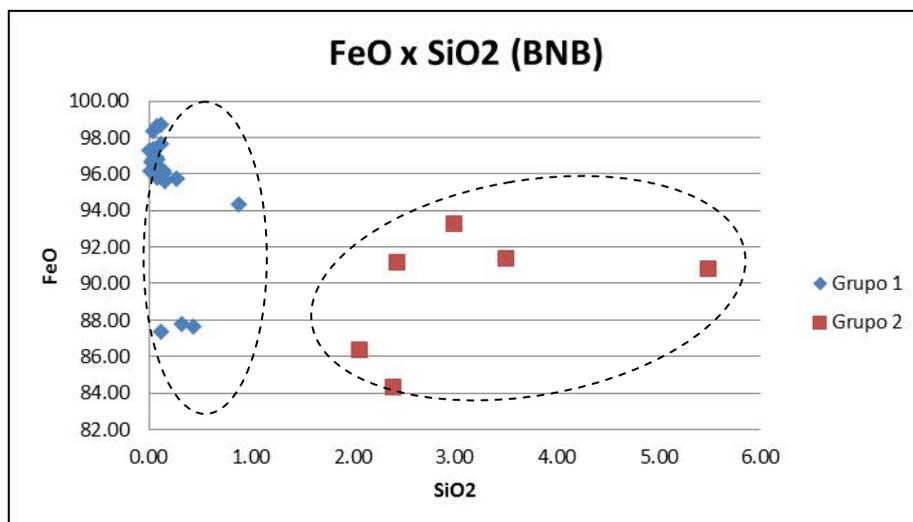


Figura 11 – Gráfico de FeO x SiO₂ das análises feitas em borda-núcleo-borda (BNB) em magnetita dos 5 tipos petrográficos das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre

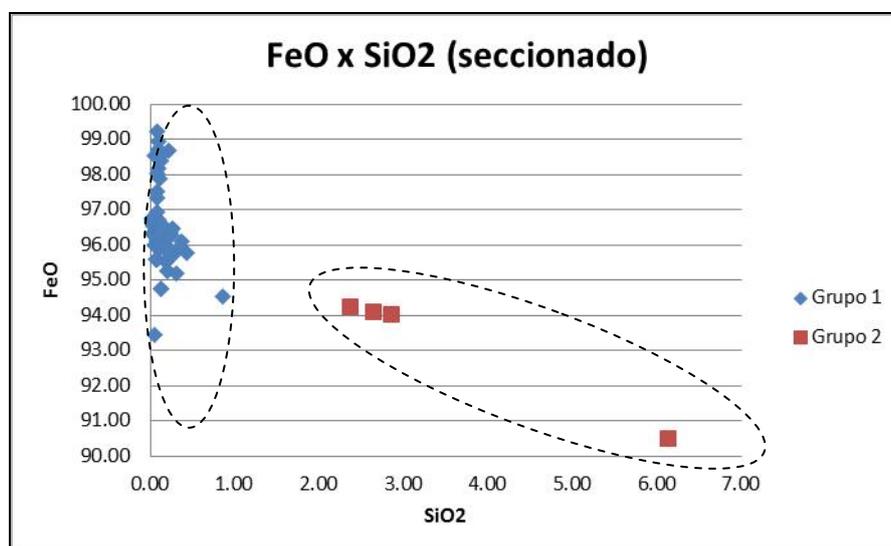


Figura 12 – Gráfico de FeO x SiO₂ das análises em perfil (seccionando) da magnetita das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre.

Foram realizadas 49 análises em clinofibólio da série *cummingtonita-grunerita* dos 5 tipos petrográficos, para determinar o termo predominante deste grupo de anfibólio. As análises foram realizadas nas bordas e núcleos dos cristais (B_N_B), em pontos aleatórios (ex.: Gr1) e seccionando (ex: Gr2.1...2.4). A Tabela 4 apresenta os dados da composição química, bem como a fórmula estrutural baseada em número de íons com 23 átomos de

oxigênio. Segundo LEAKE et al., (1997), as amostras analisadas são anfibólios do tipo Fe-Mg-Mn com Ca+Na B<1,34. A Figura 13 apresenta classificação proposta por esses mesmos autores e a Tabela 3 apresenta o percentual da predominância da série nas amostras analisadas. Nas amostras que foram analisados borda-núcleo-borda, 100% representam o termo mais rico em ferro da solução sólida, sendo classificadas como grunerita, já os pontos seccionados representam 66,7% do termo rico em ferro, enquanto que nas amostras com análises em pontos aleatórios, cerca 66,7% representa o termo mais rico em magnésio e sendo classificado como cummingtonita.

Tabela 3 – Percentual da predominância do clinoanfíbólio da série *cummingtonita-grunerita* nas amostras analisadas dos tipos petrográficos I, II, III e V das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre

	Número de análises	% Cummingtonita	%Grunerita	Total %
Análise B_N_B	12	0.0	100.0	100
Pontos aleatórios (Gr)	28	57.1	42.9	100
Sec (perfil)	9	33.3	66.7	100

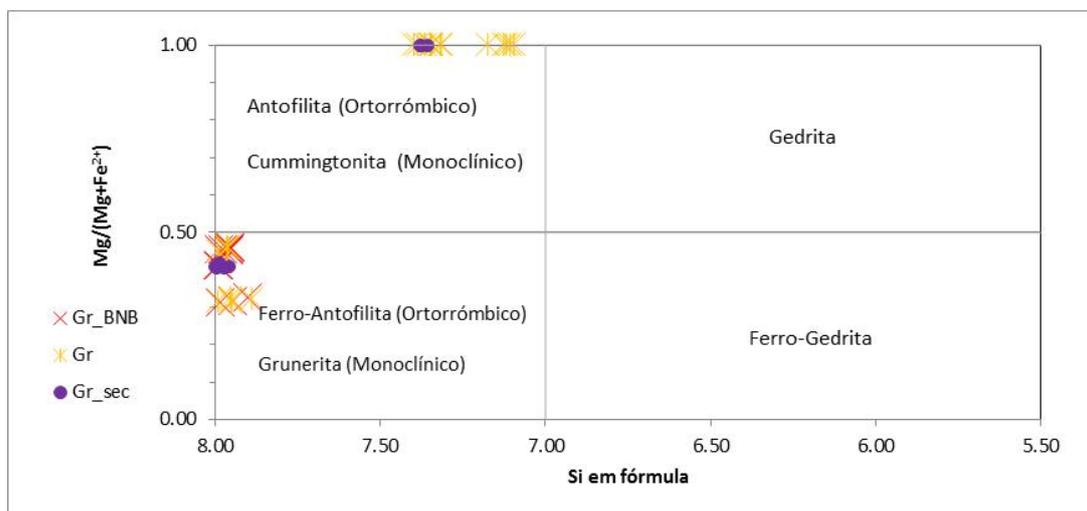


Figura 13 – Classificação dos anfibólios da série *cummingtonita-grunerita* (LEAKE et al., 1997) presentes nos tipos petrográficos (cf. seção 8.7.1.2) das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre.

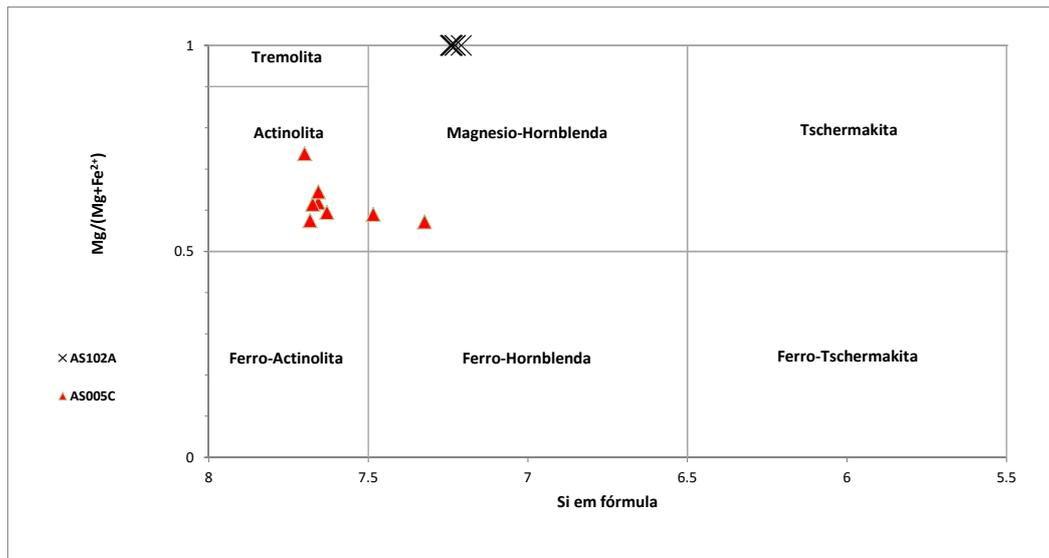


Figura 14 – Classificação dos clinoanfíbólios (LEAKE et al., 1997) presentes nos tipos petrográficos (cf. seção 8.7.1.2 e 8.7.1.5) das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre.

Os dados referentes às análises em microsonda eletrônica realizadas em outros dois tipos de clinoanfíbólios presentes nas formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre estão dispostos na Tabela 5.

As análises foram realizadas em pontos aleatórios dos cristais mais representativos e os dados foram tratados, e representados na fórmula estrutural que é baseada no número de íons com 23 átomos de oxigênio. Os anfíbólios são cálcicos (LEAKE et al., 1997), sendo classificados como actinolita, hornblenda actinolítica e hornblenda rica em magnésio (Figura 14).

Tabela 4 – Dados de análise em microsonda eletrônica em anfibólio do grupo da *cumingtonita-grunerita* presentes nos tipos petrográficos (cf. seções 8.7.1.1, 8.7.1.2, 8.7.1.3 e 8.7.1.5), pertencentes às formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre.

Elementos/Amostras	93E C1 Gr 1 B	93E C1 Gr 1 N	93E C1 Gr 1 B	373E C3 Gr 6	373E C4 Gr 7	373E C4 Gr 8	373E C4 Gr 9
SiO2	53.400	53.648	53.353	52.442	52.823	52.603	52.833
TiO2	0.093	0.000	0.000	0.063	0.086	0.123	0.000
Al2O3	0.162	0.089	0.024	0.082	0.037	0.089	0.111
FeO	28.810	29.761	29.719	31.851	31.400	31.781	31.648
MnO	0.866	0.803	0.931	0.888	0.829	0.879	0.673
MgO	13.790	13.871	13.843	12.170	12.509	12.157	11.821
CaO	1.518	0.604	0.555	0.800	0.720	0.912	0.688
Na2O	0.041	0.030	0.001	0.065	0.035	0.054	0.000
K2O	0.000	0.024	0.005	0.000	0.002	0.015	0.006
BaO	-	-	-	-	-	-	-
SrO	-	-	-	-	-	-	-
PbO	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	-	-	-	-	-	-	-
F	0.283	0.249	0.202	0.114	0.122	0.227	0.196
Cl	0.009	0.000	0.001	0.022	0.000	0.003	0.009
Cr2O3	-	-	-	-	-	-	-
NiO	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
No. of oxygens	23	23	23	23	23	23	23
Structural formulae							
Si	7.957	7.992	7.983	7.315	7.346	7.318	7.387
Al iv	0.028	0.008	0.004	0.013	0.006	0.015	0.018
Al vi	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.010	0.000	0.000	0.007	0.009	0.013	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3+	0.026	0.000	0.029	3.715	3.652	3.698	3.701
Fe2+	3.564	3.708	3.689	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.109	0.101	0.118	0.105	0.098	0.104	0.080
Mg	3.063	3.080	3.088	2.531	2.593	2.521	2.464
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Amphibole group	Fe-Mg-Mn	Fe-Mg-Mn	Fe-Mg-Mn	Fe-Mg-Mn	Fe-Mg-Mn	Fe-Mg-Mn	Fe-Mg-Mn
(Ca+Na) (B)	0.243	0.103	0.089	0.137	0.117	0.151	0.103
Na (B)	0.001	0.006	0.000	0.018	0.009	0.015	0.000
(Na+K) (A)	0.011	0.007	0.001	0.000	0.000	0.003	0.001
Mg/(Mg+Fe2)	0.462	0.454	0.456	1.000	1.000	1.000	1.000
Fe3/(Fe3+Alvi)	1.000	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Sum of S2	14.758	14.897	14.911	13.686	13.704	13.668	13.650
Nome	Grunerita	Grunerita	Grunerita	Cumingtonita	Cumingtonita	Cumingtonita	Cumingtonita

*Sigla na microsonda eletrônica: Gr = anfibólio do grupo *cumingtonita-grunerita*

Tabela 5 – Dados de análise em microsonda eletrônica em clinóanfíbólio presentes nos tipo petrográficos (cf. seção 8.7.1.2), pertencente às formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre.

Amostras/ Elementos	102A_C1_Gr 5	102A_C1_An 5	102A_C1_An 6	102A_C1_An 7	05C_C1_An 1	05C_C1_An 2
SiO ₂	50.058	51.256	50.964	50.615	52.927	52.761
TiO ₂	0.030	0.054	0.000	0.000	0.330	0.000
Al ₂ O ₃	1.559	1.588	1.589	1.429	1.956	1.901
FeO	26.872	27.518	27.145	27.290	19.549	19.040
MnO	0.213	0.119	0.105	0.257	0.242	0.361
MgO	6.878	7.099	6.950	7.231	11.758	12.307
CaO	10.974	11.085	11.556	11.245	11.695	11.592
Na ₂ O	0.176	0.234	0.230		0.265	0.253
K ₂ O	0.160	0.107	0.092	0.069	0.143	0.095
BaO	-	-	-	-	-	-
SrO	-	-	-	-	-	-
PbO	-	-	-	-	-	-
ZnO	-	-	-	-	-	-
F	0.240	0.167	0.138	0.222	0.174	0.148
Cl	0.069	0.060	0.041	0.015	0.007	0.000
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-
NiO	0.000	0.000	0.014	0.006	0.000	0.000
No. de oxigênio	23	23	23	23	23	23
Fórmula estrutural						
Si	7.237	7.242	7.240	7.227	7.682	7.657
Al ^{iv}	0.266	0.264	0.266	0.240	0.318	0.325
Al ^{vi}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000
Ti	0.003	0.006	0.000	0.000	0.036	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ³⁺	3.249	3.252	3.225	3.259	0.490	0.667
Fe ²⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	1.883	1.644
Mn	0.026	0.014	0.013	0.031	0.030	0.044
Mg	1.482	1.495	1.472	1.539	2.544	2.663
Ni	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Grupo do Anfíbólio	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
(Ca+Na) (B)	1.749	1.742	1.822	1.720	1.893	1.874
Na (B)	0.049	0.064	0.063	0.000	0.075	0.071
(Na+K) (A)	0.030	0.019	0.017	0.013	0.026	0.018
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	1.000	1.000	1.000	1.000	0.575	0.618
Fe ³ /(Fe ³ +Al ^{vi})	1.000	1.000	1.000	1.000	0.967	1.000
Sum of S ₂	12.263	12.274	12.216	12.297	13.000	13.000
Nome	Mg-hornblenda	Mg-hornblenda	Mg-hornblenda	Mg-hornblenda	actinolita	actinolita

*Sigla na microsonda eletrônica: An = anfíbólio

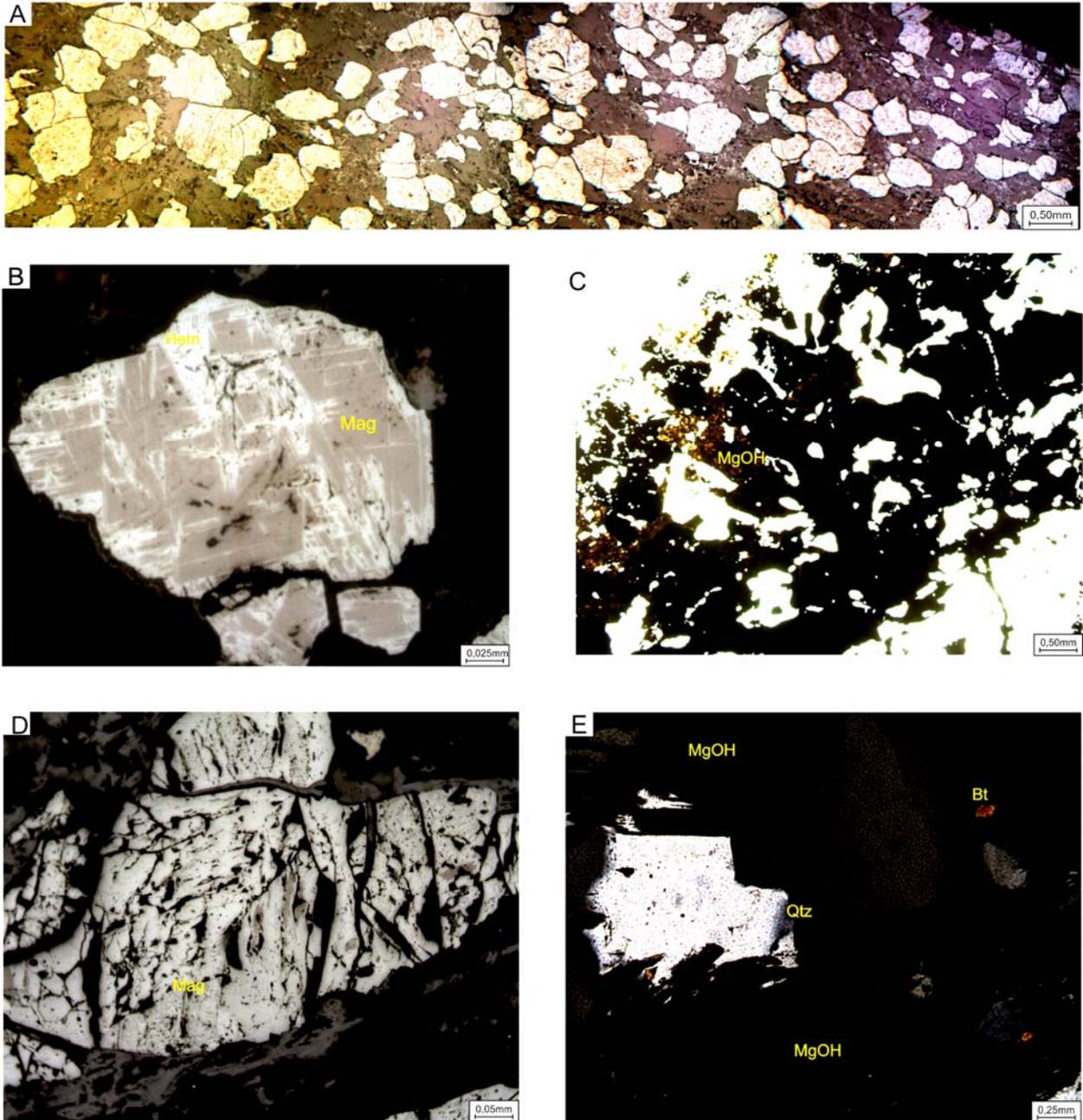


Figura 15 – Fotomicrografia - formações ferríferas . A – Mosaico exibindo a textura geral da rocha (Luz refletida). B – Cristal de magnetita (Mag) parcialmente martitizada, com núcleo magnético preservado e bordas transformados em hematita (Hem) (Luz refletida). C – Cristais de opacos alterados em uma fase hidratada de ferro (MgOH) (Luz transmitida). D – Cristal de magnetita exibindo feições de dissoluções. (Luz refletida). E – Cristal de quartzo com lamelas de deformação e biotita incluída (Bt) (Luz transmitida). Abreviações conforme Kretz (1983).

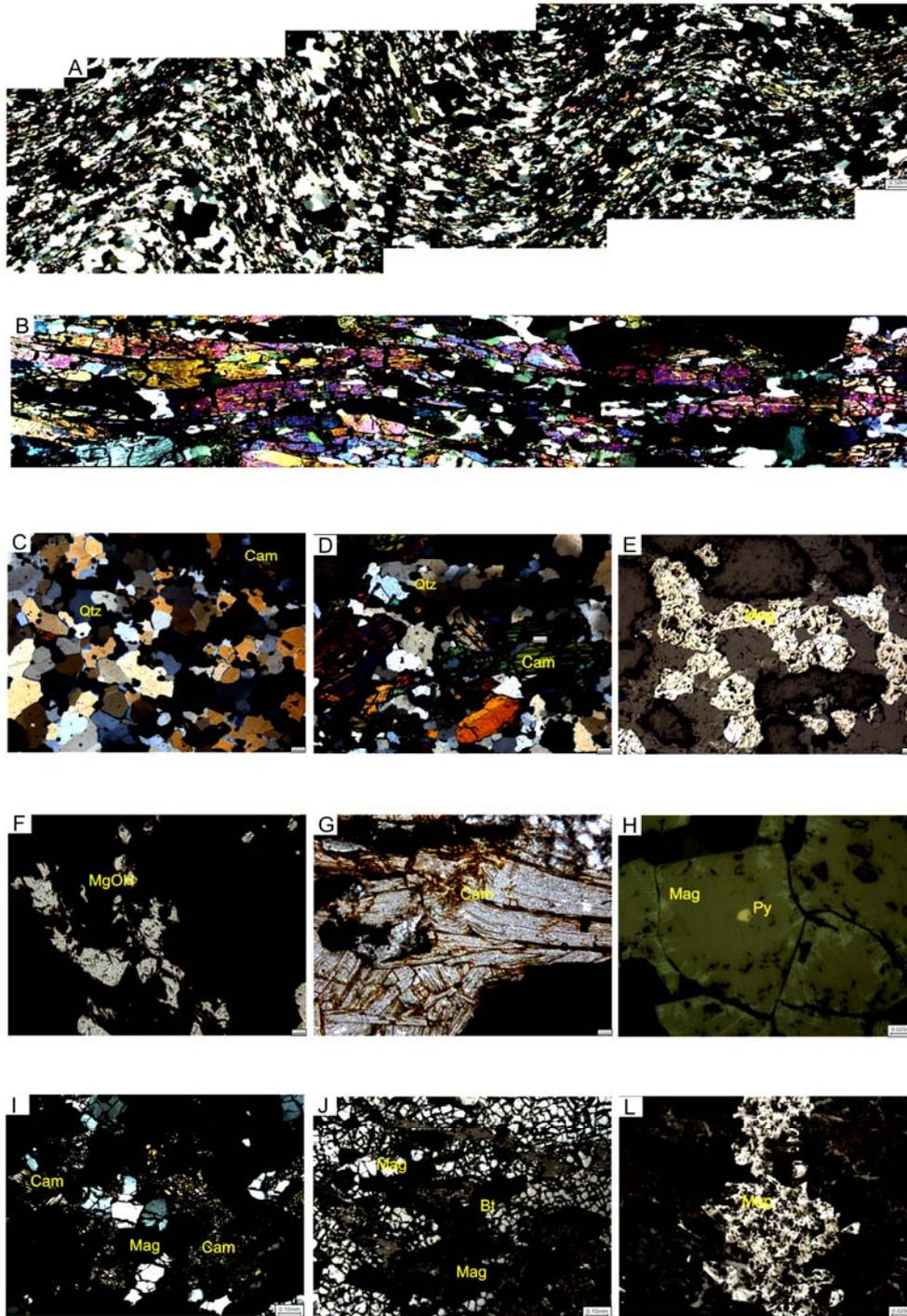


Figura 16 – Fotomicrografia - formação Ferrífera - (A e B): Visão geral com bandamento dobrado. C – Cristais de quartzo (Qtz) exibindo trama poligonal (Luz transmitida e Pol X). D – Cristais de clinoanfíbólio (*cummingtonita-grunerita*) exibindo maclas polissintéticas (Luz transmitida e Po X) E - Cristais de magnetita parcialmente martitzada (luz refletida). F - Cristais de opacos alterados em uma fase hidratada de ferro (MgOH) (Luz transmitida e Pol //). G – Cristais de clinoanfíbólio (Cam) (*cummingtonita-grunerita*) exibindo feições de microdeformação (milonitização e dobras do tipo *kink band*) (Luz transmitida e Pol //). H – Cristal de magnetita (Mag) idioblástica com pirita (Py) inclusa (Luz transmitida). G – Cristais de clinoanfíbólio (Cam) pertencentes a sério tremolita-actinolita (Luz transmitida). I – Cristais de quartzo com paletas de biotita associadas (Luz transmitida e Pol X) (Bt). H – Fratura cortando o bandamento e preenchida por magnetita (Mag) parcialmente martitzada (Luz refletida). Abreviações conforme Kretz (1983).

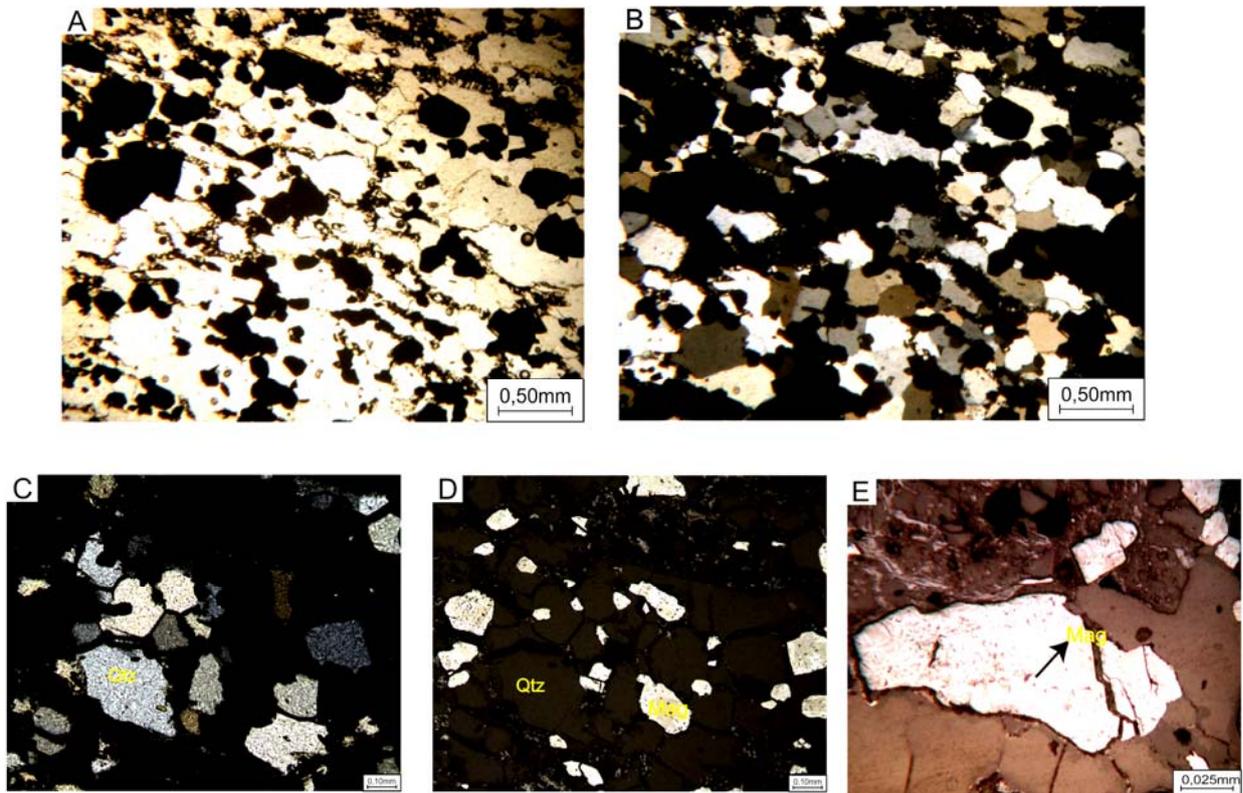


Figura 17 – Fotomicrografia – formação Ferrífera (A e B) – Aspectos gerais da rocha. C – Cristais de quartzo (Qtz) mostrando contato com junção tríplice (Luz transmitida e Pol. X). D – Mesma feição observada em B – Cristais de quartzo (Qtz) em cinza mostrando contato com junção tríplice com destaque para os cristais de magnetita (Mag) martitzada (Luz refletida). E – Cristais de magnetita parcialmente martitzada (luz refletida). Abreviações conforme Kretz (1983).

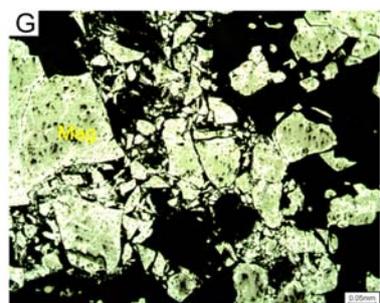
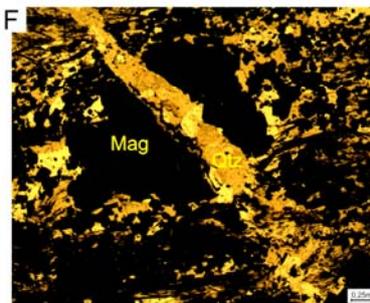
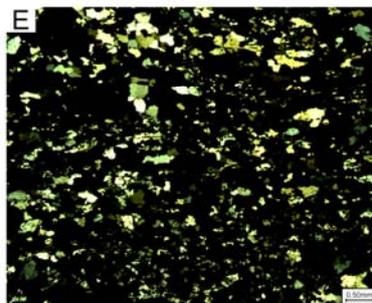
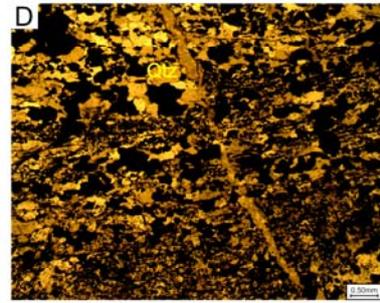
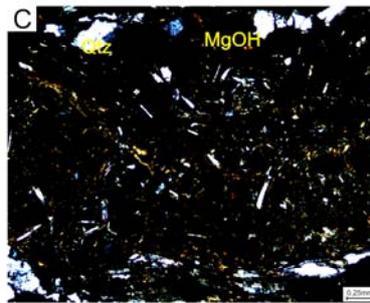
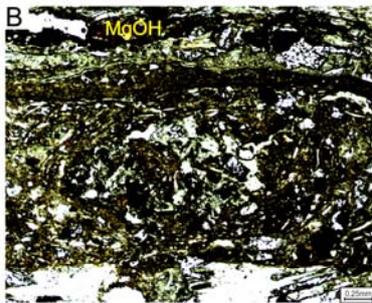
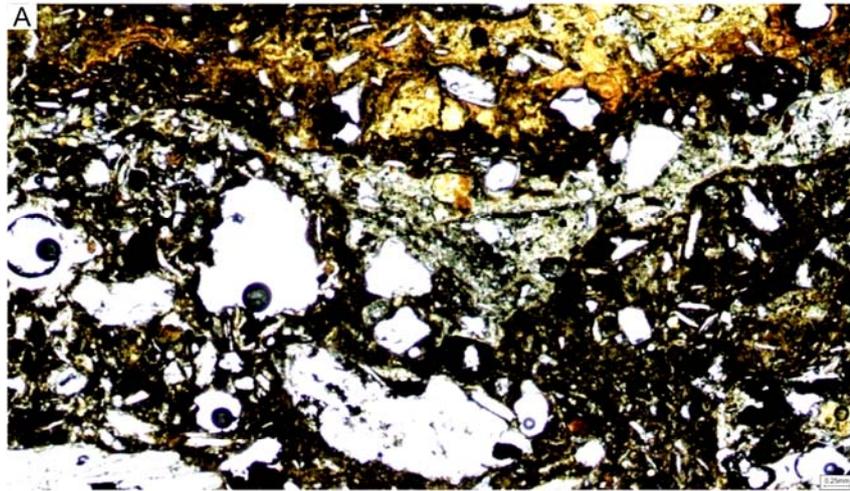


Figura 18. Fotomicrografia – formação Ferrífera (A) – Aspecto geral da rocha exibindo textura bechada (Luz transmitida e Pol //). B e C – Cristal de quartzo (Qtz) preservado com cristais de opacos alterados em uma fase hidratada de ferro (MgOH), associado a fragmentos de formação ferrífera (Luz transmitida e Pol // e Pol X). D e E – Aspecto da formação ferrífera cortada por veio de quartzo (Qtz) (Luz transmitida). F – Detalhe de D e E mostrando cristal de magnetita (Mag) fraturada e preenchida por quartzo (Qtz) (Luz transmitida e Pol //). G – Cristais de magnetita (Mag) parcialmente martitizada e brechada (Luz refletida). Abreviações conforme Kretz (1983).

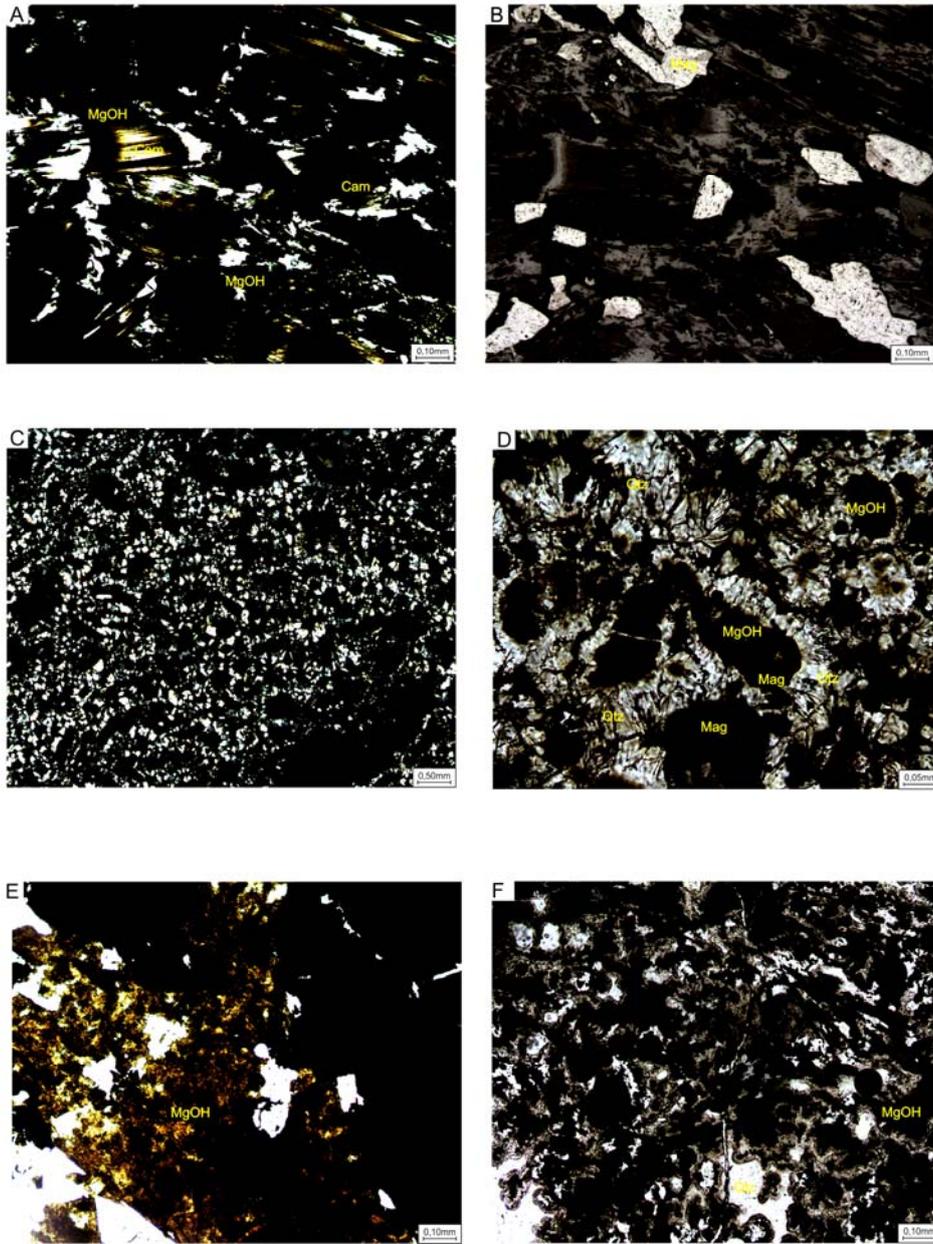


Figura 19 – Fotomicrografia – formação ferrífera (A) – Aspecto da rocha com esqueletos de cristais de clinoanfíbólio (Cam) alterados em uma fase hidratada de ferro (MgOH) (Luz transmitida e Pol //). B – Cristais de magnetita (Mag) parcialmente martitizada. C – Aspecto geral da rocha associada a magnetita primária alterada para fase hidratada de ferro (MgOH) (Luz transmitida e Pol X). D – Detalhe da foto anterior para destaque para os cristais de óxidos na fase hidrata de ferro (MgOH), magnetita primária (Mag) com sílica criptocristalina (Luz refletida) formando textura esferulítica. E – Detalhe da fase hidratada do óxido de ferro com porção de magnetita (Mag) associada (Luz transmitida e Pol // e X). F – Quartzo com borda de sílica hidratada (Opala) e ferro na fase hidratada (Luz transmitida), mostrando textura esferulítica. Abreviações conforme Kretz (1983).

8.7.3 Petrografia e química mineral de rocha ultramáfica associada às formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre

Foi realizado o estudo petrográfico de rocha metaultramáfica hidrotermalizada associada às formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre. Como características, essa rocha apresenta textura cumulática preservada, com a substituição do mineral prismático (hábito preservado) por sílica criptocristalina, associado ao processo hidrotermal, e, subordinadamente, ocorre à textura decussada associada aos cristais de clinofibólio e clinopiroxênio. A composição modal é dada por sílica criptocristalina (~75%), clinopiroxênio (~20%) e clinofibólio (~05%) (Figura 22).

Sílica criptocristalina ocorre por substituição nos minerais primários (olivina?), com os nicóis cruzados aparecem com a forma radial e bordas formadas por oxi-hidróxido de ferro. **Clinopiroxênio** ocorre com granulação fina a grossa, prismático, pleocroísmo incolor a castanho pálido, forma idioblástica, contatos retilíneos e birrefringência alta. **Clinofibólio** ocorre com granulação fina a grossa, pleocroísmo verde pálido a castanho, extinção oblíqua.

As principais análises em microsonda eletrônica nos aglomerados de cristais que apresentam aspecto mosaico, típico de olivina, com textura cumulática em rocha metaultramáfica foram realizadas em pontos aleatórios e na borda-núcleo-borda, mostraram que houve substituição total por sílica criptocristalina (calcedônia).

As análises em microsonda eletrônica dos cristais representativos do clinopiroxênio em rocha metaultramáfica hidrotermalizada estão dispostas na Tabela 6. As análises foram realizadas em pontos aleatórios (ex.: 93B_C1_Cpx 3; 4...6) e seccionando (ex.: 3B_C1_Cpx 2.1...2.4.). Segundo a classificação de proposta por Leake et al., (1997), são classificados como augita (Figura 20).

Para o fibólio, os principais resultados de análises em microsonda dos cristais representativos de clinofibólios presentes na rocha metaultramáfica hidrotermalizada estão dispostos na Tabela 7. As análises foram realizadas em pontos aleatórios e de acordo com a classificação de Leake et al. (1997), pertencem ao grupo de fibólios monoclinicos em que $Ca + Na B \geq 1,34$ e $NaB < 0,67$ e classificadas são como tremolita (Figura 21).

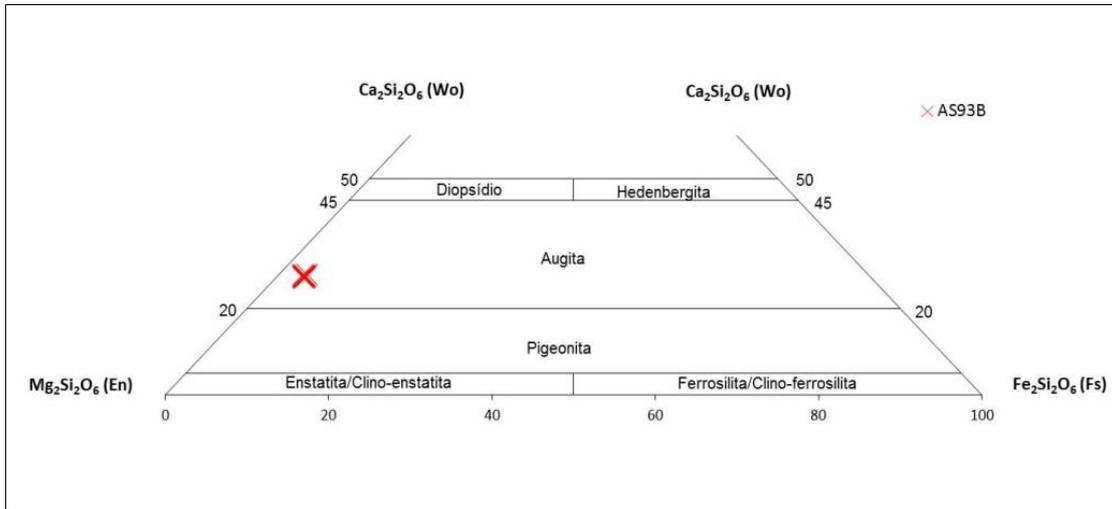


Figura 20 – Classificação dos piroxênios (LEAKE et al., 1997) presentes em metaultramáfica hidrotermalizada do Complexo Lagoa do Alegre.

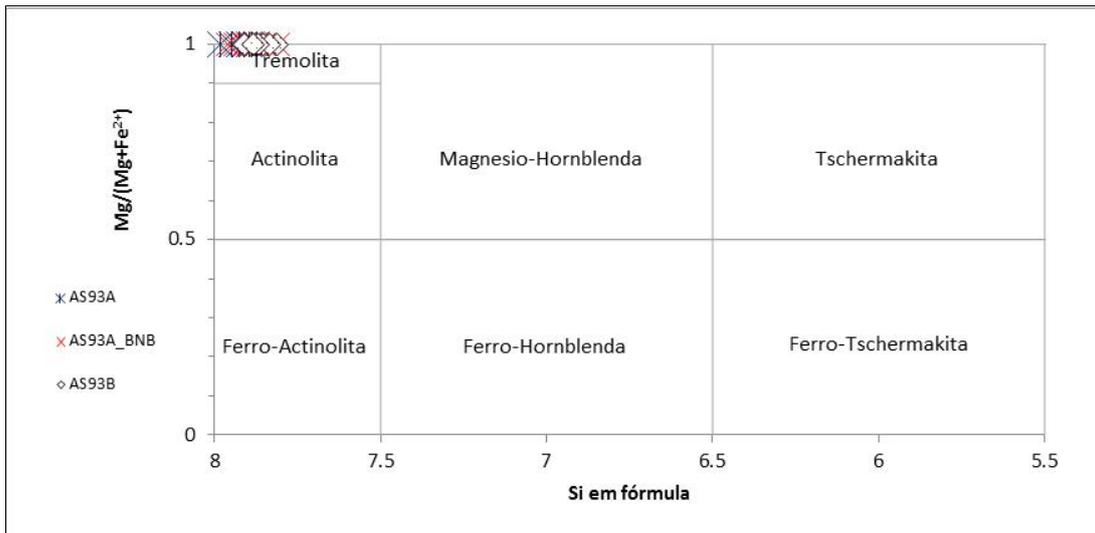


Figura 21 – Classificação de clinofibólio (LEAKE et al., 1997) presente em metaultramáfica hidrotermalizada do Complexo Lagoa do Alegre.

Tabela 6 – Dados de análise em microsonda eletrônica em cristais de piroxênio em rocha metaltramáfica, associada às formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre

Elementos/Amostras	93B_C1_Cpx 1.1	93B_C1_Cpx 1.2	93B_C1_Cpx 1.3	93B_C1_Cpx 2.1	93B_C1_Cpx 2.2	93B_C2_Cpx 3.1
SiO ₂	58.179	57.947	57.750	58.189	58.468	58.483
TiO ₂	0.000	0.104	0.093	0.025	0.000	0.190
Al ₂ O ₃	0.797	0.972	1.015	0.840	0.888	0.981
FeO	2.004	2.008	2.210	1.896	2.063	2.157
MnO	0.142	0.135	0.117	0.172	0.079	0.233
MgO	23.947	23.685	24.017	23.905	23.901	23.353
CaO	13.129	12.892	13.156	13.247	13.211	13.157
Na ₂ O	0.111	0.173	0.163	0.090	0.132	0.167
FeO	2.004	2.008	2.210	1.896	2.063	2.157
NiO	0.000	0.023	0.000	0.000	0.023	0.000
Total	98.309	97.950	98.521	98.400	98.787	98.721
Fórmula com Fe ³⁺						
Si	2.099	2.099	2.078	2.098	2.100	2.107
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΣT	2.099	2.099	2.078	2.098	2.100	2.107
M1						
Al	0.034	0.041	0.043	0.036	0.038	0.042
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.000	0.003	0.003	0.001	0.000	0.005
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000
Mg	0.966	0.955	0.954	0.963	0.961	0.953
Fe ²⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΣM1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
M2						
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.322	0.324	0.334	0.322	0.318	0.301
Fe ²⁺	0.060	0.061	0.066	0.057	0.062	0.065
Mn	0.004	0.004	0.004	0.005	0.002	0.007
Ca	0.507	0.500	0.507	0.512	0.508	0.508
Na	0.008	0.012	0.011	0.006	0.009	0.012
ΣM2	0.901	0.901	0.922	0.902	0.900	0.893
%Wo	27.342	27.188	27.237	27.602	27.476	27.794
%En	69.400	69.507	69.192	69.314	69.174	68.649
%Fs	3.258	3.306	3.572	3.084	3.349	3.557
Soma	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Nome	Augita	Augita	Augita	Augita	Augita	Augita

*Sigla na microsonda eletrônica: Cpx = Clinopiroxênio

Tabela 7 - Dados de análise em microsonda eletrônica em cristais de anfibólio em rocha metaltramáfica, associada às formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre

Elementos/ Amostras	93A_C1_An 1	93A_C2_An 7 N	93A_C2_An 7 B	93A_C2_An 8 B	93A_C2_An 9 B	93A_C3_An 10 B	93A_C3_An 10 N	93A_C3_An 10 B	93B_C3_An 1	93B_C3_An 2
SiO ₂	58.829	58.738	58.049	58.004	59.390	58.833	62.753	58.179	57.938	58.128
TiO ₂	0.092	0.086	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.061	0.016	0.000
Al ₂ O ₃	0.688	0.656	0.864	0.380	0.509	0.378	0.635	0.420	1.293	1.138
FeO	2.283	1.824	1.892	2.122	1.943	1.829	1.447	1.653	2.085	1.982
MnO	0.170	0.159	0.115	0.070	0.172	0.222	0.206	0.230	0.095	0.136
MgO	24.083	24.273	24.466	23.826	24.218	23.711	20.835	24.623	23.601	23.471
CaO	12.805	13.066	13.151	12.741	12.658	12.790	11.319	13.138	13.290	13.193
Na ₂ O	0.155	0.155	0.205	0.129	0.171	0.123	0.153	0.148	0.238	0.205
K ₂ O	0.076	0.026	0.087	0.037	0.052	0.016	0.051	0.063	0.037	0.052
F	0.356	0.303	0.396	0.315	0.330	0.362	0.237	0.235	0.312	0.339
Cl	0.000	0.012	0.003	0.024	0.003	0.016	0.013	0.016	0.000	0.011
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NiO	0.000	0.053	0.084	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008
No. of oxygens	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Structural formulae										
Si	7.874	7.874	7.809	7.907	7.936	7.960	8.392	7.852	7.813	7.854
Al iv	0.109	0.104	0.137	0.061	0.064	0.040	0.000	0.067	0.187	0.146
Al vi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.020	0.100	0.000	0.018	0.035
Ti	0.009	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.002	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ³⁺	0.256	0.204	0.213	0.242	0.217	0.207	0.162	0.187	0.235	0.224
Fe ²⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.019	0.018	0.013	0.008	0.019	0.025	0.023	0.026	0.011	0.016
Mg	4.805	4.851	4.906	4.842	4.824	4.782	4.154	4.954	4.745	4.727
Ni	0.000	0.006	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Grupo do Anfibólio	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
(Ca+Na) (B)	1.877	1.917	1.913	1.895	1.856	1.886	1.661	1.909	1.982	1.963
Na (B)	0.040	0.040	0.018	0.034	0.044	0.032	0.040	0.009	0.062	0.054
(Na+K) (A)	0.013	0.004	0.051	0.006	0.009	0.003	0.009	0.040	0.006	0.009
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Fe ³⁺ /(Fe ³⁺ +Alvi)	1.000	1.000	1.000	1.000	0.931	0.911	0.618	1.000	0.927	0.865
Sum of S ₂	13.072	13.065	13.087	13.060	13.077	13.035	12.831	13.091	13.011	13.003
Nome	Tremolita	Tremolita	Tremolita	Tremolita	Tremolita	Tremolita	Tremolita	Tremolita	Tremolita	Tremolita

*Sigla na microsonda eletrônica: An= Anfibólio

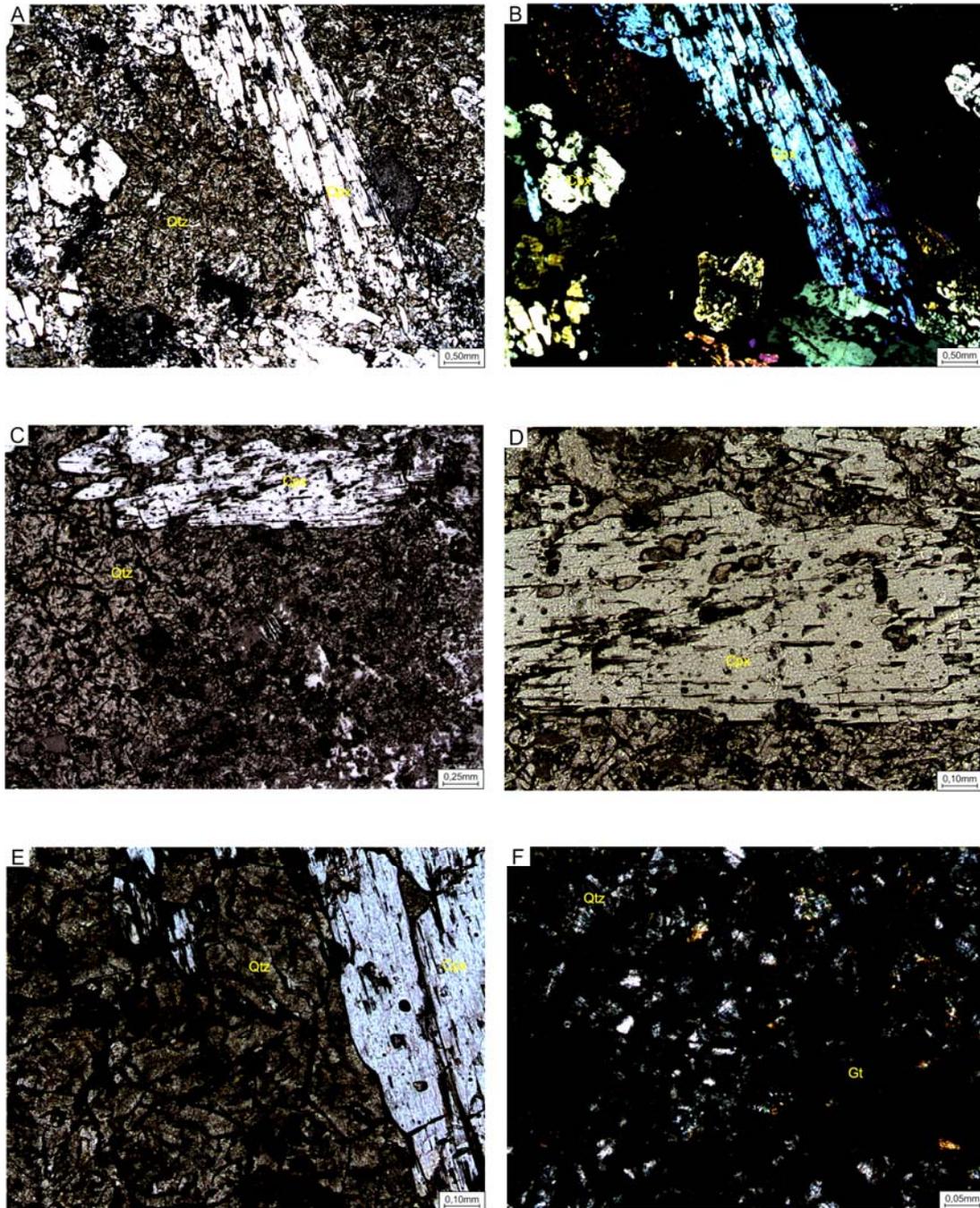


Figura 22 – Fotomicrografia - Metaultramáfica hidrotermalizada: A e B – Aspecto geral da rocha, mostrando textura cumulática com cristais de clinopiroxênio (Cam) (Luz transmitida e Pol // e X). C e D – Cristal de clinopiroxênio (Cam) poiquilítica com inclusão de esfero (Luz transmitida e Pol //). E e F – Detalhe da textura cumulática com olivina substituída por sílica criptocristalina (quartzo – Qtz) e bordada por óxido de ferro na fase hidratada (Luz transmitida e Pol //). Abreviações conforme Kretz (1983).

8.8 GEOQUÍMICA DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DO COMPLEXO LAGOA DO ALEGRE

A Figura 2 representa a localização das amostras analisadas e a Tabela 9 mostra os resultados das análises químicas realizadas por ICP-ES no laboratório da ACME Analytical Laboratories LTDA. para os elementos maiores e traços de dezesseis (16) amostras de formações ferríferas pertencentes ao Complexo Lagoa do Alegre, Bahia. Observa-se que SiO_2 e Fe_2O_3 representam mais de 93% da composição química total das formações ferríferas, enquanto os demais elementos perfazem menos de 8% da composição química dessas rochas.

Com base nos dados, as amostras foram separadas em dois grupos utilizando os seguintes critérios: composição mineralógica com a presença dos anfibólios da série *cummingtonita-grunerita*, teor de ferro (Fe_2O_3), sílica (SiO_2) e magnésio (MgO). O grupo 1 corresponde às amostras sem a presença, ou em concentração modal menor, ou igual 5% de anfibólio e valores de $\text{Mg} < 1\%$, enquanto que o grupo 2 representa as amostras com concentração modal maior que 5% de anfibólio e valores de $\text{Mg} > 1\%$, conforme pode ser observado na Tabela 8 e na Figura 23. Nesta etapa, o critério das análises em microsondas não foi determinante para delimitar os grupos baseado nas características dos óxidos presentes.

Tabela 8 – Subdivisão das amostras baseadas na presença dos anfibólios da série *grunerita-cummingtonita*, teor de ferro (Fe_2O_3) sílica (SiO_2) e magnésio (MgO)

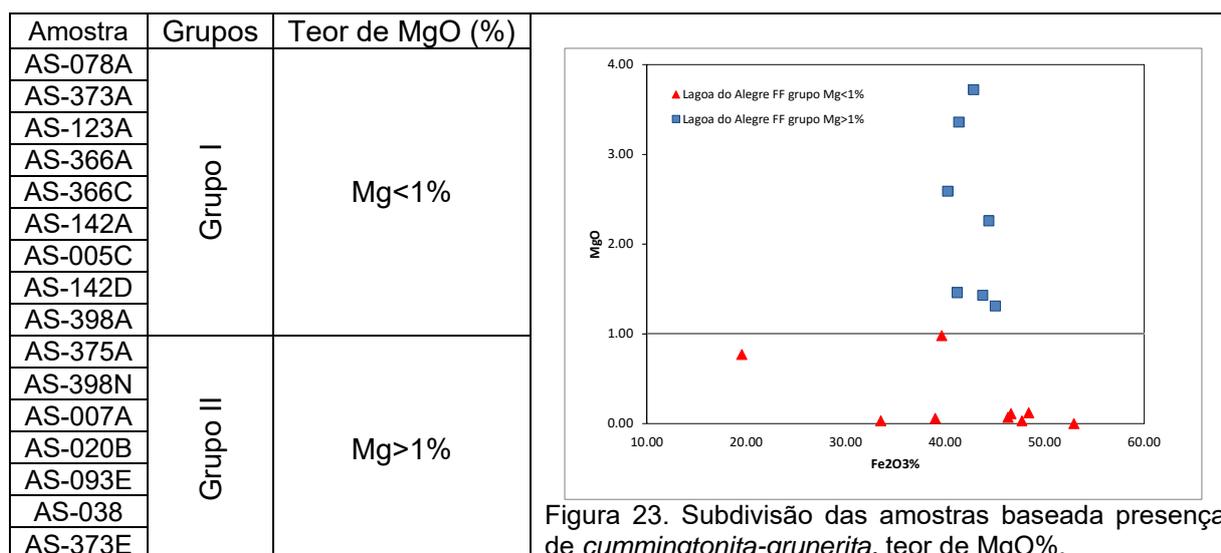


Tabela 9 – Análises químicas das amostras de formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre

Wt% (peso)	Grupo 1									Grupo 2						
	AS-078A	AS-373A	AS-123A	AS-366A	AS-366C	AS-142A	AS-005C	AS-142D	AS-398A	AS-375A	AS-398N	AS-007A	AS-020B	AS-093E	AS-038	AS-373E
SiO ₂	63.15	48.29	59.77	50.25	49.98	45.69	77.58	54.4	43.77	50.86	50.21	56.25	49.85	54.6	53.85	51.32
Fe ₂ O ₃	33.52	47.71	39	46.31	46.61	48.39	19.55	39.64	52.94	45.03	43.77	41.21	44.38	40.25	41.36	42.86
TiO ₂	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0.02	<0,01	<0,01	<0,01
Al ₂ O ₃	0.09	0.01	0.13	0.03	0.05	0.24	0.31	1.59	0.28	0.19	0.02	0.04	1.02	0.22	0.02	0.09
MnO	0.02	0.03	0.01	0.11	0.1	0.06	0.04	0.08	0.02	0.11	0.19	0.12	0.1	0.19	0.27	0.31
MgO	0.03	0.03	0.06	0.07	0.11	0.12	0.77	0.98	<0,01	1.31	1.43	1.46	2.26	2.59	3.36	3.72
CaO	<0,01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.06	0.68	0.16	<0,01	0.13	0.19	0.2	0.84	0.21	0.34	0.36
Na ₂ O	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0.01	0.02	<0,01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	<0,01	<0,01	0.01
K ₂ O	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0.03	0.05	0.03	<0,01	0.01	<0,01	<0,01	0.05	0.03	<0,01	<0,01
P ₂ O ₅	0.12	0.03	0.02	0.04	0.03	0.12	0.02	0.04	0.84	0.04	0.05	<0,01	0.02	0.02	0.03	0.15
Cr ₂ O ₃	<0,002	<0,002	<0,002	0	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0	<0,002	<0,002	0
Sum-orig	99.74	99.73	99.75	99.83	99.77	99.75	99.56	99.77	99.9	99.84	99.85	99.73	99.79	99.7	99.84	99.79
(ppm)																
Ni	<20	<20	<20	<20	<20	24.00	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
V	<8	<8	<8	<8	<8	<8	36.00	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8
Cu	1.20	3.10	1.40	2.10	0.50	4.30	10.50	8.10	8.50	3.60	3.60	2.20	16.80	17.50	0.70	11.10
Pb	1.10	0.50	0.10	0.30	2.60	0.70	0.60	2.40	<0,1	3.10	0.30	0.30	9.70	0.20	0.10	0.80
Zn	4.00	5.00	3.00	3.00	3.00	51.00	6.00	30.00	7.00	9.00	4.00	4.00	11.00	9.00	3.00	9.00
Rb	0.60	0.40	0.40	0.50	0.40	2.00	4.00	5.50	0.30	1.80	0.80	0.60	7.50	5.40	0.40	1.10
Cs	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0.20	0.20	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1.50	0.10	<0,1	<0,1
Ba	3.00	3.00	4.00	15.00	4.00	553.00	80.00	117.00	3.00	44.00	8.00	18.00	14.00	108.00	6.00	62.00
Ga	1.30	0.60	1.60	0.70	0.80	2.60	3.20	2.80	3.30	0.80	0.80	0.90	2.50	1.90	0.90	1.60
Sr	0.70	0.80	0.80	0.70	1.90	5.30	6.30	7.20	0.60	4.40	1.20	2.10	2.90	4.00	1.10	2.10
Ta	0.20	0.10	<0,1	<0,1	0.10	0.10	0.10	0.10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0.20	<0,1	0.10
Nb	0.40	0.20	0.40	0.20	0.10	0.80	0.60	0.90	0.20	0.20	0.10	0.20	0.50	0.40	0.20	0.80
Hf	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0.10	<0,1	<0,1	<0,1
Y	1.30	2.80	1.50	2.20	1.30	4.10	13.40	4.00	0.60	3.10	2.10	0.90	4.90	1.20	1.80	2.20
Zr	0.80	0.80	0.40	0.40	0.80	0.60	1.20	1.20	0.50	1.40	0.50	0.50	2.80	0.60	0.40	0.60
Th	0.20	<0,2	<0,2	<0,2	0.70	<0,2	0.30	0.90	<0,2	1.50	0.20	<0,2	1.10	0.20	<0,2	<0,2
U	0.50	<0,1	3.10	0.80	0.60	4.90	0.90	2.10	0.70	0.30	1.30	0.30	3.50	1.70	0.50	0.60
Mo	0.90	0.80	1.00	0.30	0.50	1.00	0.60	5.30	0.60	1.30	1.00	0.60	0.20	0.90	0.70	0.70
Sn	2.00	3.00	3.00	<1	1.00	1.00	<1	1.00	<1	4.00	<1	<1	<1	1.00	1.00	<1
Ag	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Hg	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08	0.01	0.03	*	0.03	0.02	0.01	0.04	0.05	0.03	0.03	*
As	<0,5	0.50	<0,5	<0,5	0.70	<0,5	<0,5	<0,5	0.60	0.70	<0,5	0.50	<0,5	0.60	<0,5	0.50
Sb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Bi	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cd	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0.10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Be	<1	<1	2.00	<1	<1	<1	<1	4.00	<1	4.00	4.00	3.00	2.00	<1	<1	<1
Se	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Au (ppb)	0.50	<0,5	0.80	0.90	<0,5	<0,5	0.90	<0,5	0.90	<0,5	1.10	<0,5	0.90	1.10	<0,5	0.50

8.8.1 Elementos Maiores

Os valores de SiO_2 no grupo $\text{Mg}<1\%$ varia entre 43,77 e 77,58% com média de 54,76%; Fe_2O_3 varia entre 19,55 e 52,94% e média de 42,52%; dentro da média, conforme definição para as formações ferríferas (KLIEN, 2005). Dentro deste cenário, destaca-se a amostra As-005C com o valor abaixo de 20% de Fe_2O_3 . Essa amostra está associada à zona de intensa deformação, com redobramento e intenso hidrotermalismo em uma área de grande variedade litológica. A correlação entre $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_2$ é fortemente negativa (Figuras 24A) e observa-se que a correlação entre $\text{MgO} \times \text{MnO}$ é positiva (Figuras 24B). Quando os valores de manganês são plotados juntamente com o ferro (Fe_2O_3), evidencia-se a separação dos dois grupos de formação ferrífera, refletindo a afinidade química do magnésio e manganês (Figuras 24C). Os valores de Al_2O_3 , P_2O_5 variam entre 0,01 e 1,59 e 0,02 e 0,94 respectivamente. Em algumas amostras, verifica-se o enriquecimento de MgO , P_2O_5 , CaO e Al_2O_3 (Figuras 24 D e Figuras 25 A e B). Esse enriquecimento está associado à presença de anfibólio, biotita e efeito de hidrotermalismo.

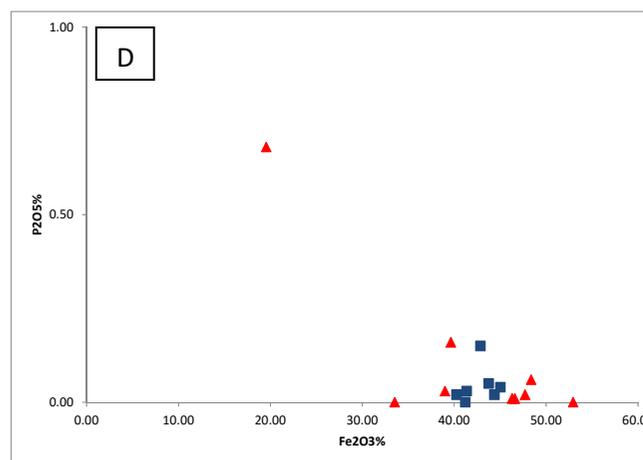
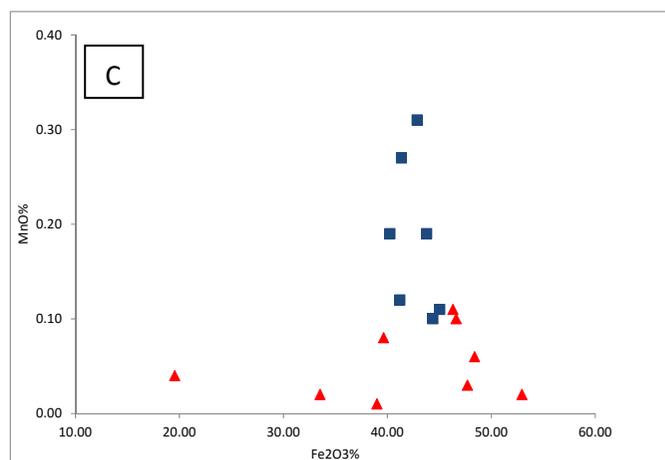
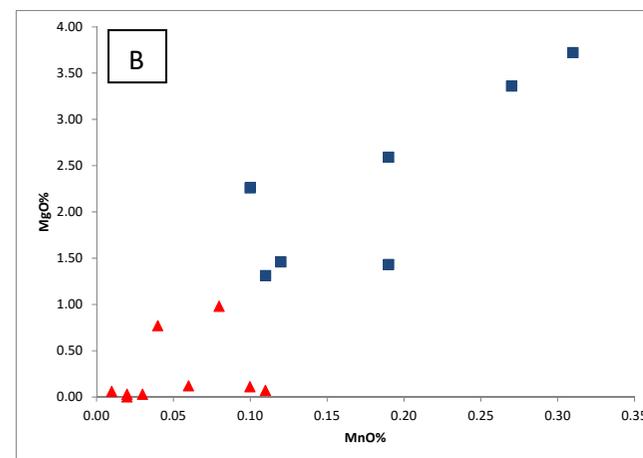
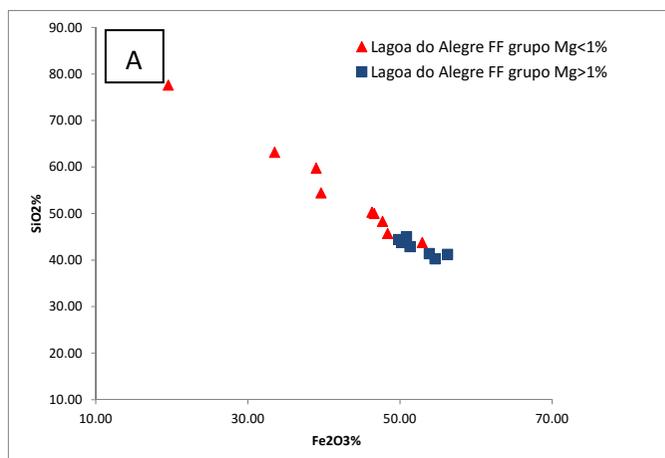
Quando o conteúdo médio de ferro e sílica (Fe_2O_3) (42,52% e 54,76%) são comparados com as principais ocorrências de formação ferrífera ao redor do mundo (Figuras 25C), as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre apresentam Fe_2O_3 superior às formações ferríferas de Isua, tipo Algoma – Groelândia (Fe_2O_3 : 31,15%), enquanto que os valores médio de sílica são inferiores aos valores médios desta ocorrência e apresentam valores superiores aos valores médio desses elementos em relação as formações ferríferas do Tipo Superior, na África do Sul ($\text{Fe}_2\text{O}_3 = 22,72\%$ e $\text{SiO}_2 = 46,47\%$).

Para o grupo $\text{Mg}>1\%$, o valor de SiO_2 varia entre 49,85 e 56,25% com média de 52,42%, enquanto Fe_2O_3 varia entre 40,25 e 45,03% e média de 42,69%, dentro dos limites conforme a definição Klien (2005). Os valores de Al_2O_3 , P_2O_5 variam entre 0,02 e 1,02 e 0,02 e 0,15 respectivamente. Os valores de Al e P e os demais elementos são semelhantes ao grupo $\text{Mg}<1\%$, com a exceção do magnésio que apresentam variação entre de 1,31 e 3,72. Os valores elevados de MgO podem estar refletindo a presença deste elemento na estrutura do *cummingtonita* e/ou assimilação, oriundo de fluidos metassomáticos que percolaram as rochas máficas e ultramáficas durante o metamorfismo. A correlação entre $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_2$ é negativa (Figuras 24A) e algumas amostras deste grupo mostra enriquecimento em Al_2O_3 e CaO (Figuras 25A e B), que estão associadas à presença de anfibólio e biotita. O conteúdo médio de ferro (Fe_2O_3) (42,52%) é superior às formações ferríferas de Isua, tipo Algoma – Groelândia (Fe_2O_3 : 31,15%), das formações ferríferas do tipo Superior - África do Sul ($\text{Fe}_2\text{O}_3 = 22,72\%$) (Figuras 25C).

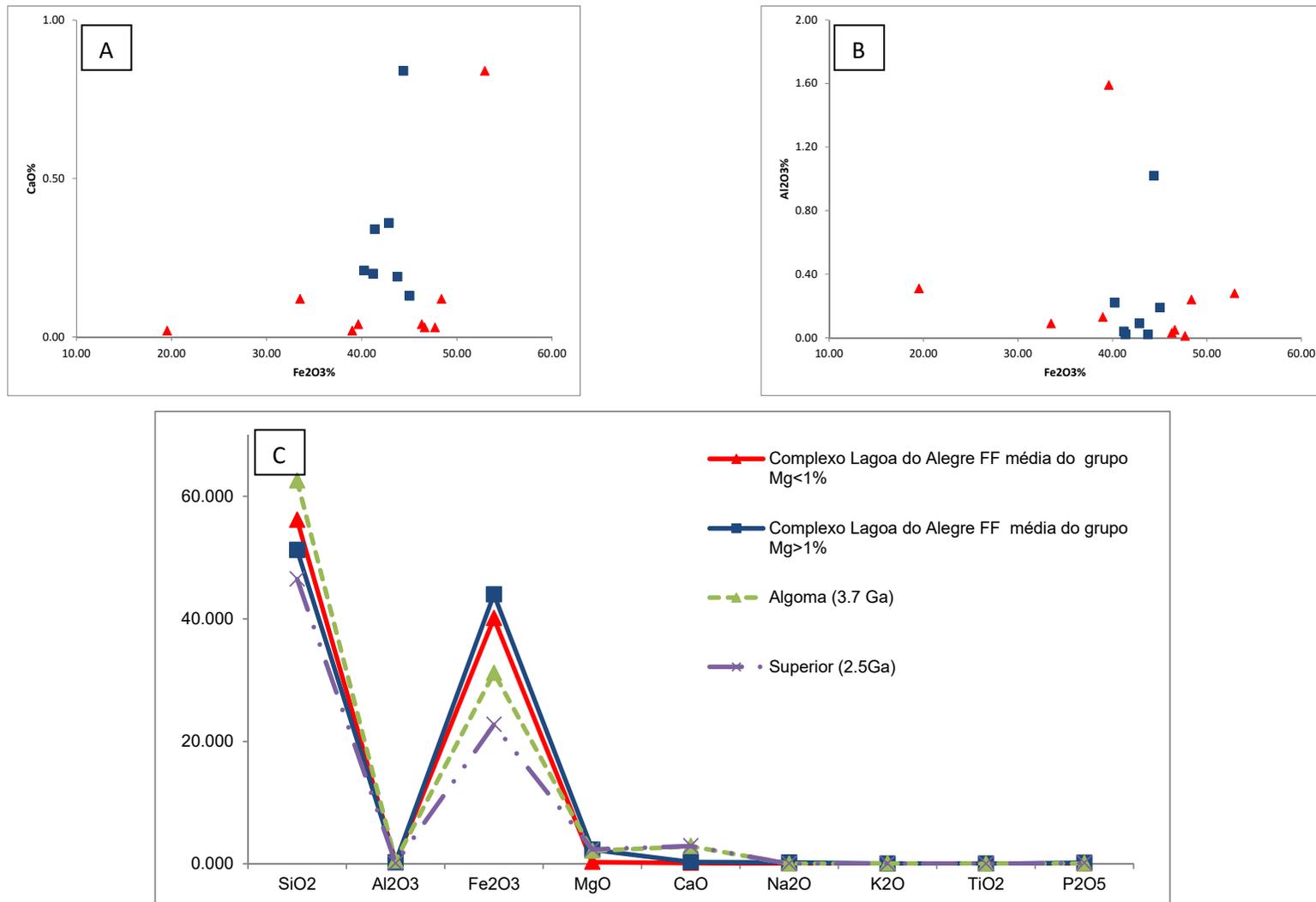
Os elementos Al, Mg, Ca, Na, Ti e P, em ambos os grupos, quando comparadas com as formações ferríferas supracitadas, são muito semelhantes e, sobretudo, mostram que as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre tem ausência ou pouco contribuição de sedimentação terrígena (Klien, 2005)

8.8.2 Elementos Traços

Os elementos traços nas formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre são extremamente baixos para os grupos Mg<1% e Mg>1%. Há baixa concentração de Th (<0,2 – 1,5 ppm), Sc (<1,0 – 4,0 ppm), Hf (<1.0 ppm), TiO₂ (<0,01 – 0,02ppm) (Tabela 9). Esses valores refletem a mineralogia das amostras, que são simples e compostas essencialmente por magnetita, hematita quartzo e clinoanfíbólio de ferro (*cummingtonita-grunerita*). Os principais elementos traços das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre estão plotados no gráfico (Figura 26) e normalizados ao PAAS (TAYLOR; McLENNAN,1985). Observa-se que ambos os grupos de formação ferrífera são empobrecida em Rb, Ba e Pb, e enriquecidos em Zn e Mo, quando comparada aos demais elementos traços.



Figuras 24 – (A) Correlação entre Fe_2O_3 x $SiO_2(\%)$, mostrando correlação negativa para ambos os grupos. (B) Correlação entre MgO x $MnO(\%)$, mostrando correlação positiva para as amostras e subdivisão dos grupos, refletindo o enriquecimento de Mg e Mn no grupo $Mg > 1\%$, devido a presença dos clinoanfíbólios (C) Correlação entre MnO x $Fe_2O_3(\%)$, mostrando a definição de dois grupos, similar ao comportamento do MgO x $Fe_2O_3(\%)$. (D) Correlação entre P_2O_5 x $Fe_2O_3(\%)$, mostrando baixa concentração de fósforo, apenas destaque para a amostra AS-005C que tem enriquecimento por efeito de hidrotermalismo.



Figuras 25 – Continuação (A e B) Correlação entre $\text{CaO} \times \text{Fe}_2\text{O}_3$ (%) e $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{Fe}_2\text{O}_3$ (%), mostrando baixa concentração de cálcio e alumínio, apenas destaque para a amostra AS-005C que tem enriquecimento por efeito de hidrotermalismo. (C) Comparação com a médias dos elementos maiores em forma de óxidos das principais formações ferríferas mundialmente conhecidas, em que mostra o comportamento semelhantes das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre com as demais ocorrências que ocorrem no mundo.

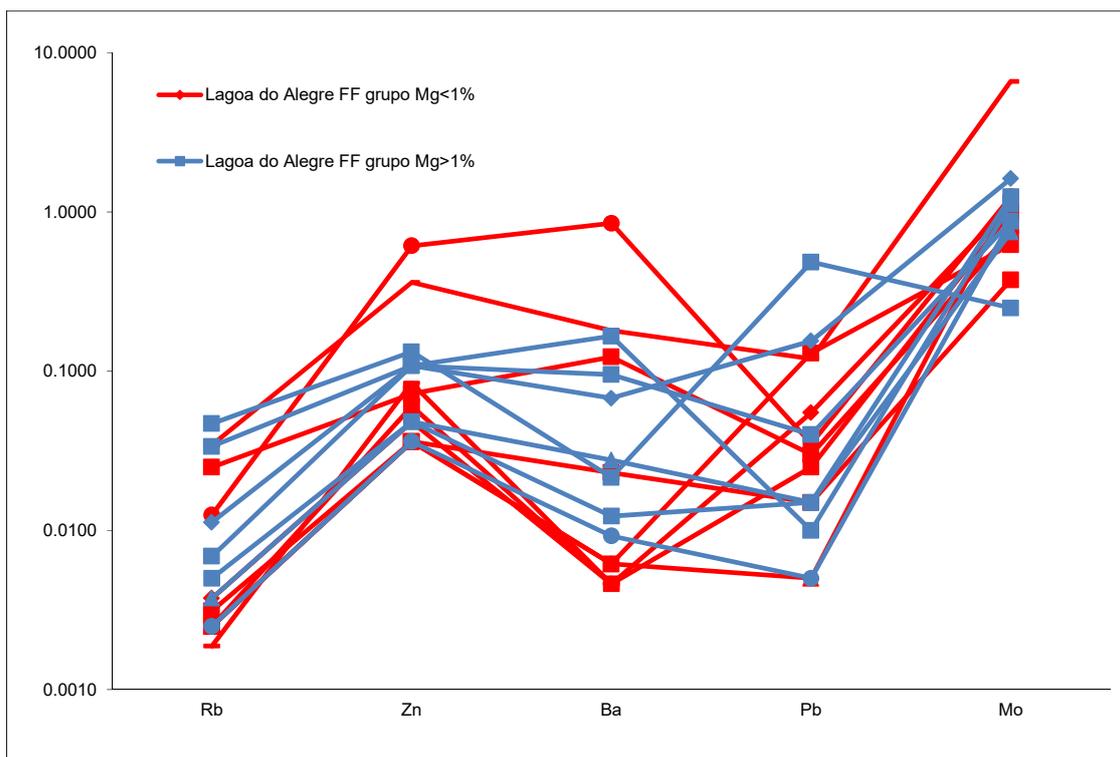


Figura 26 – Gráfico com os principais elementos traços normalizados ao PAAS (TAYLOR; McCLENNAN, 1985), onde se observa que ambos os grupos de formação ferrífera são enriquecidas em Zn e Mo quando comparada aos demais elementos traços.

8.8.3 Elementos Terras Raras

Os dados de elementos terras raras (Tabela 10) são normalizados aos padrões condrito e sedimentar (PAAS). Essa escolha se faz devido à ampla utilização de ambos os padrões de normalização, podendo possibilitar interpretações e comparações com as principais formações ferríferas da literatura. Quando normalizado por Condrito – as anomalias estão subscritas CN, (ANDERS; GREVESSE, 1989), enquanto que PAAS – subscritas como SN (TAYLOR; McCLENNAN, 1985). Os ETR normalizados e anomalias são quantificadas pelas metodologias em Bau e Dulski (1996a/b) e BOLHAR et. al., (2004), e estão definidas como: $La/La^* = La/(3Pr - 2Nd)$, $Ce/Ce^* = Ce/(2Pr - Nd)$; $Eu/Eu^* = Eu/(0.67Sm + 0.33Tb)$, e $Gd/Gd^* = Gd/(0.33Sm + 0.67Tb)$.

O grau de fracionamento de um padrão ETR pode ser expresso pela concentração de um ETR leve (La ou Ce) dividida pela concentração de um ETR pesado (Yb ou Y). Usando o Condrito como normalizador (ANDERS; GREVESSE, 1989), o grupo Mg < 1% exibe enriquecimento em ETRL em relação ao ETRP [(razão (La / Yb) (CN) = 2,74-13,85; média de 5,85], conforme pode ser observada na Figura 27A e B. A anomalia de Eu/Eu^* é fracamente negativa a positiva, variando entre 0,52 e 1,65 (média = 1,11) e o $Ce/Ce^*_{(CN)}$

possui anomalia negativa a fortemente positiva, variando entre 0,58-2,25, com média de 1,07. O grupo Mg>1% de amostras apresenta mais enriquecidas em ETR que as amostras do grupo Mg<1%, quando usado o condrito como normalizador (Anders e Grevesse, 1989). Apresenta forte enriquecimento de ETRL em relação ao ETRP e a razão $(La/Yb)_{(CN)} = 2,42-53,11$; média de 16,40 (Figura 27A e C). A anomalia de $Eu/Eu^*_{(CN)}$ é fracamente negativa e variando entre 0,45 e 1,12, com média de 0,77. A anomalia de $Ce/Ce^*_{(CN)}$ levemente negativa a positiva, variando entre 0,18 e 1,33, com média de 0,76.

Quando normalizado ao PAAS (TAYLOR; McCLENNAN, 1985), o grupo Mg<1% exhibe enriquecimento em ETRL em relação ao ETRP [(A razão $(La/Yb)_{(SN)} = 2,67-13,51$; média de 5,98, conforme pode ser observada na Figura 28 A e B. A anomalia de $Eu/Eu^*_{(SN)}$ varia entre levemente negativa a positiva (0,53-1,68) com média de 1,13. O $Ce/Ce^*_{(SN)}$ possui uma anomalia levemente negativa (0,56-2,04), com média de 0,56. Para o grupo Mg>1%, utilizando o mesmo normalizador, o variograma (Figura 28 A e C) mostra maior fracionamento e enriquecimento quando comparado ao grupo Mg<1. Apresenta a razão $(La/Yb)_{(SN)} = 2,37-51,84$, com média de 16,01, mostrando elevado enriquecimento em ETRL em relação ao ETRP. A anomalia de $Eu/Eu^*_{(SN)}$ varia entre levemente negativa a fracamente positiva (0,46-1,14), com média de 0,72. A anomalia $Ce/Ce^*_{(SN)}$ é similar ao grupo Mg<1%, com anomalia fracamente negativa (média = 0,73). Anomalia de $La/La^*_{(SN)}$ para o grupo Mg<1% é positiva, com média de 6,58 e para o grupo com Mg>1%, a anomalia de La é positiva, com média de 2,48. A anomalia de $Ga/Ga^*_{(SN)}$ do grupo Mg<1% é fracamente positiva e negativa com média de 1,08, similar ao grupo 2 com média de 1,13. A anomalia de $Y^*_{(SN)}$ é positiva para ambos os grupos (Mg<1% e Mg>1%, respectivamente), variando entre 2,48 e 4,38 e com valores médios bastante similares (3,61 e 3,38, respectivamente). A razão Y/Ho para o grupo Mg<1% varia entre 30,00 e 43,33, com média de 35,18; enquanto que para o grupo Mg>1%, essa razão varia entre 24,00 e 52,5; com média de 35,15.

Tabela 10 – Análises químicas dos Elementos Terras Raras das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre

Unidade	Amostra	GRUPO 1							GRUPO 1							
		AS-078A	AS-373A	AS-123A	AS-366A	AS-366C	AS-142A	AS-005C	AS-142D	AS-398A	AS-375A	AS-398N	AS-007A	AS-020B	AS-093E	AS-038
Y	1.30	2.80	1.50	2.20	1.30	4.10	13.40	4.00	0.60	3.10	2.10	0.90	4.90	1.20	1.80	2.20
La	1.10	1.50	0.50	1.50	1.80	1.70	53.70	3.30	0.30	8.70	0.80	1.30	19.40	1.60	0.80	0.70
Ce	1.00	1.60	0.50	2.70	2.00	3.20	16.80	5.10	0.40	17.90	1.10	1.10	10.60	1.70	1.30	1.30
Pr	0.24	0.23	0.09	0.49	0.24	0.43	10.46	0.76	0.04	1.57	0.13	0.22	3.79	0.28	0.20	0.18
Nd	1.2	1.0	0.6	1.5	0.7	3.3	38.1	3.3	>0.3	5.1	0.7	0.6	12.9	1.0	0.9	0.7
Sm	0.15	0.19	0.12	0.26	0.13	0.50	6.51	0.77	0.06	0.91	0.10	0.11	2.41	0.16	0.15	0.18
Eu	0.06	0.09	0.04	0.11	0.08	0.09	1.11	0.12	<0.02	0.17	0.04	0.04	0.40	0.04	0.06	0.03
Gd	0.17	0.22	0.19	0.31	0.17	0.59	4.97	0.77	0.08	0.72	0.19	0.21	1.37	0.20	0.21	0.25
Tb	0.03	0.04	0.03	0.05	0.03	0.09	0.62	0.12	0.01	0.09	0.03	0.03	0.20	0.03	0.03	0.04
Dy	0.12	0.29	0.18	0.27	0.13	0.52	3.04	0.79	0.07	0.52	0.22	0.15	0.94	0.19	0.16	0.22
Ho	0.03	0.08	0.05	0.07	0.03	0.13	0.44	0.11	<0,02	0.09	0.04	<0,02	0.18	0.05	0.05	0.06
Er	0.10	0.21	0.13	0.19	0.06	0.46	1.08	0.40	0.07	0.27	0.14	0.11	0.48	0.14	0.14	0.18
Tm	0.02	0.02	0.01	0.04	0.02	0.06	0.13	0.06	<0,01	0.03	0.02	0.01	0.06	0.03	0.02	0.03
Yb	0.11	0.20	0.12	0.20	0.09	0.43	0.70	0.33	0.05	0.23	0.14	0.08	0.39	0.19	0.16	0.20
Lu	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02	0.06	0.10	0.06	<0,01	0.04	0.02	0.01	0.07	0.03	0.02	0.03
PAAS																
Sm/Yb	1.364	0.950	1.000	1.300	1.444	1.163	9.300	2.333	1.200	3.957	0.714	1.375	6.179	0.842	0.938	0.900
(Sm/Yb) _{SN}	1.464	1.020	1.074	1.396	1.551	1.248	9.984	2.505	1.288	4.248	0.767	1.476	6.634	0.904	1.006	0.966
Eu/Sm	0.400	0.474	0.333	0.423	0.615	0.180	0.171	0.156	-	0.187	0.400	0.364	0.166	0.250	0.400	0.167
Eu/Eu*	1.139	1.329	0.886	1.217	1.679	0.527	0.569	0.473	-	0.620	0.998	0.939	0.566	0.724	1.139	0.460
Y/Ho	43.333	35.000	30.000	31.429	43.333	31.538	30.455	36.364	-	34.444	52.500		27.222	24.000	36.000	36.667
La/La*	0.726	0.914	1.611	0.402	0.986	0.646	0.644	0.637	2.609	0.701	0.850	0.833	0.648	0.871	0.571	1.128
Ce/Ce*	0.355	0.543	0.695	0.411	0.621	0.649	0.116	0.542	1.381	0.826	0.654	0.392	0.203	0.504	0.515	0.904
Gd/Gd*	0.991	0.980	1.199	1.067	1.044	1.099	0.987	1.012	1.299	1.006	1.269	1.362	0.778	1.136	1.224	1.136
Condrito																
(Sm/Yb) _{CN}	1.506	1.049	1.105	1.436	1.596	1.285	10.274	2.578	1.326	4.371	0.789	1.519	6.826	0.930	1.036	0.994
Eu/Eu*	1.121	1.308	0.872	1.199	1.652	0.519	0.562	0.466	-	0.612	0.981	0.923	0.558	0.713	1.121	0.453
Y/Ho	43.333	35.000	30.000	31.429	43.333	31.538	30.455	36.364	-	34.444	52.500		27.222	24.000	36.000	36.667
La/La*	0.742	0.932	1.688	0.409	1.004	0.662	0.655	0.651	2.763	0.713	0.866	0.849	0.659	0.890	0.583	1.182
Ce/Ce*	0.368	0.562	0.730	0.424	0.642	0.673	0.119	0.561	1.455	0.853	0.676	0.406	0.209	0.522	0.533	0.949
Gd/Gd*	0.971	0.961	1.174	1.047	1.023	1.078	0.971	0.993	1.275	0.989	1.242	1.334	0.766	1.115	1.200	1.113

Condrito - subscrito CN, (Anders and Grevesse, 1989). PAAS – subscrito SN (Taylor e McClennan, 1985), ETR normalizados e anomalias quantificadas pelas metodologias em Bau and Dulski (1996a/b) e BOLHAR *et. al.*, (2004), e estão definidas como: $La/La^* = La/(3Pr - 2Nd)$, $Ce/Ce^* = Ce/(2Pr - Nd)$; $Eu/Eu^* = Eu/(0.67Sm + 0.33Tb)$, e $Gd/Gd^* = Gd/(0.33Sm + 0.67Tb)$.

Obs.: Amostras AS-005C e AS-142D apesar de pertencerem ao grupo Mg<1%, baseado na critério do valor de MgO% e concentração modal de *cunningtonita-grunerita* ≥5%, os mesmos foram interpretados como pertencentes ao grupo Mg>1% devido a assinatura ETR.

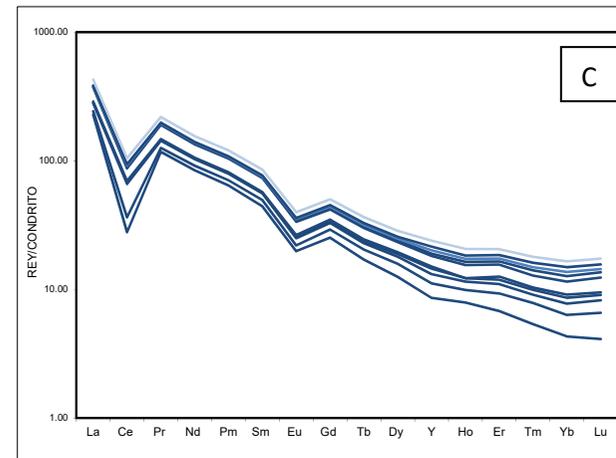
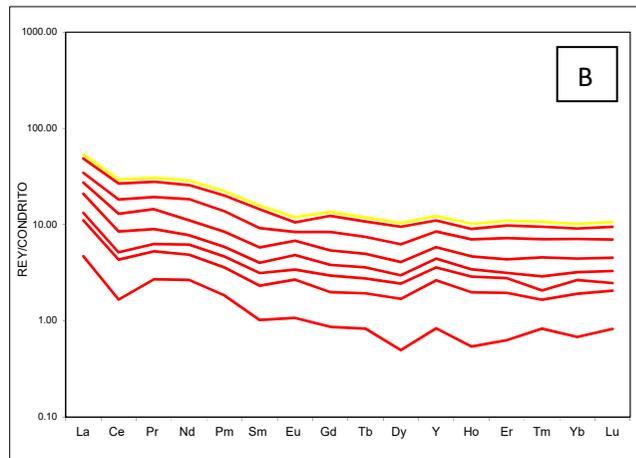
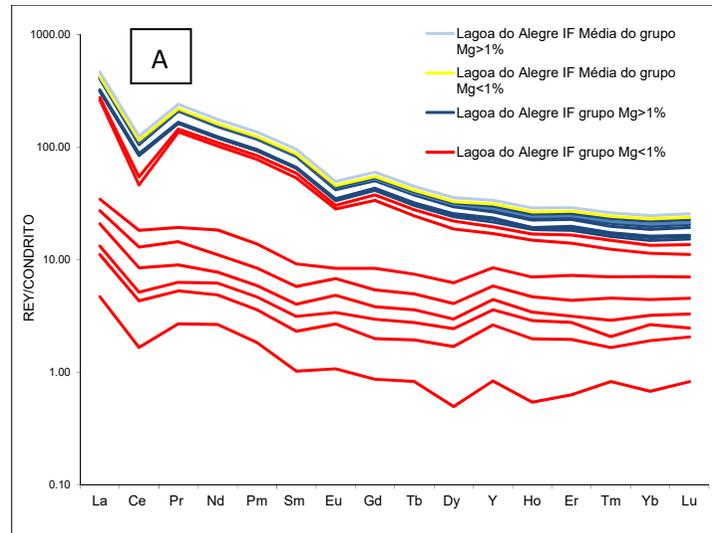


Figura 27 – Gráfico do comportamento de ETR normalizado ao Condrito (ANDERS; GREVESSE, 1989), em se observa leve fracionamento para o grupo Mg<1%, com padrão côncavo, anomalia de Eu* levemente positiva, e fraca anomalia negativa de Ce*, enquanto que o grupo Mg>1% mostra forte enriquecimento em ETRL em relação ao ETRP, anomalias negativas de Eu* e Ce*.

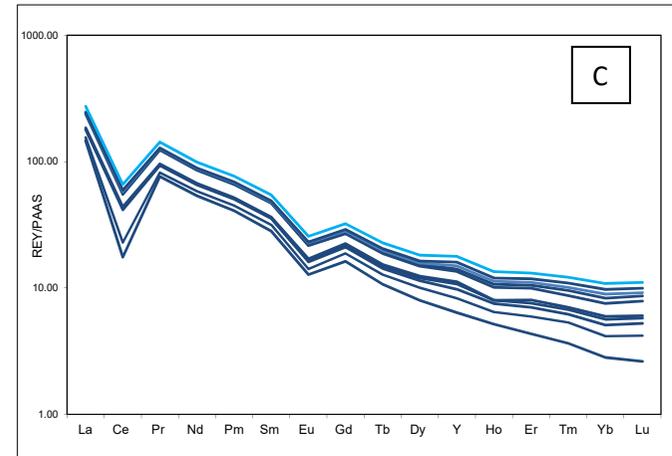
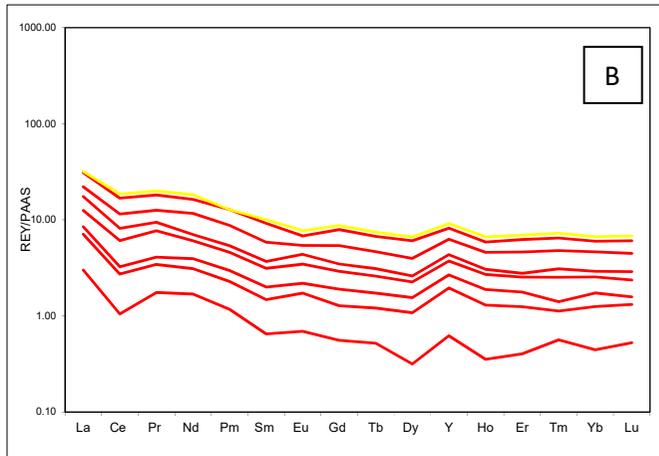
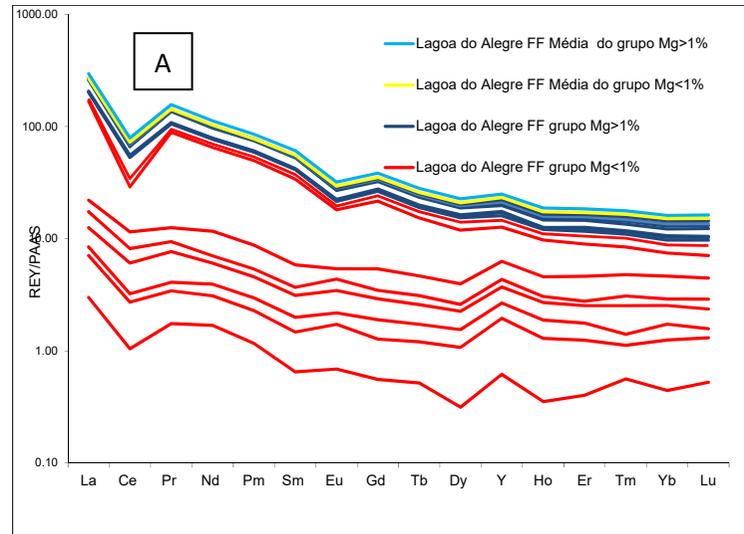
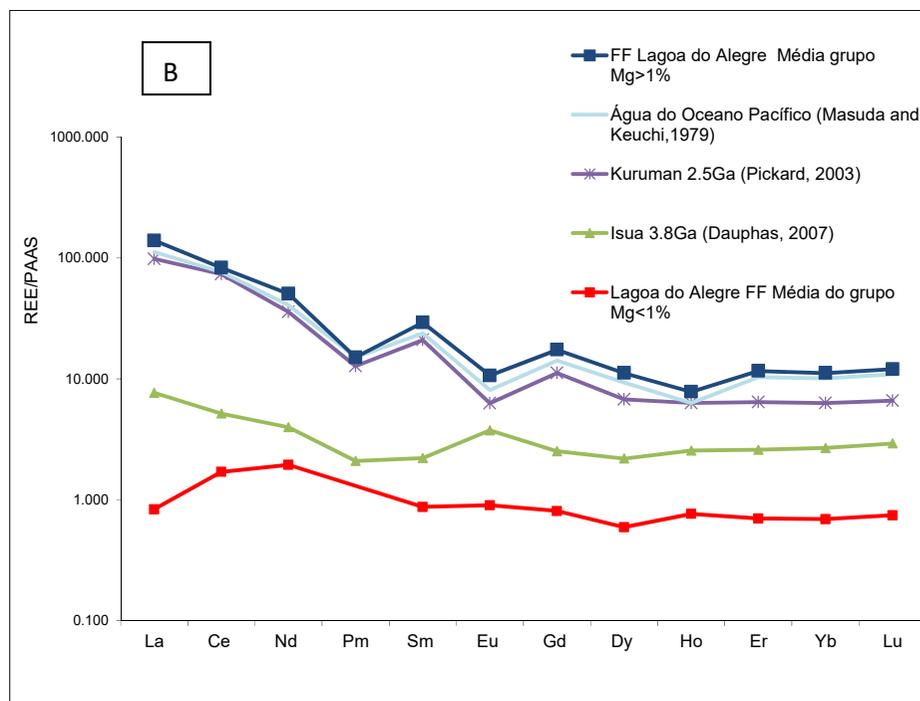
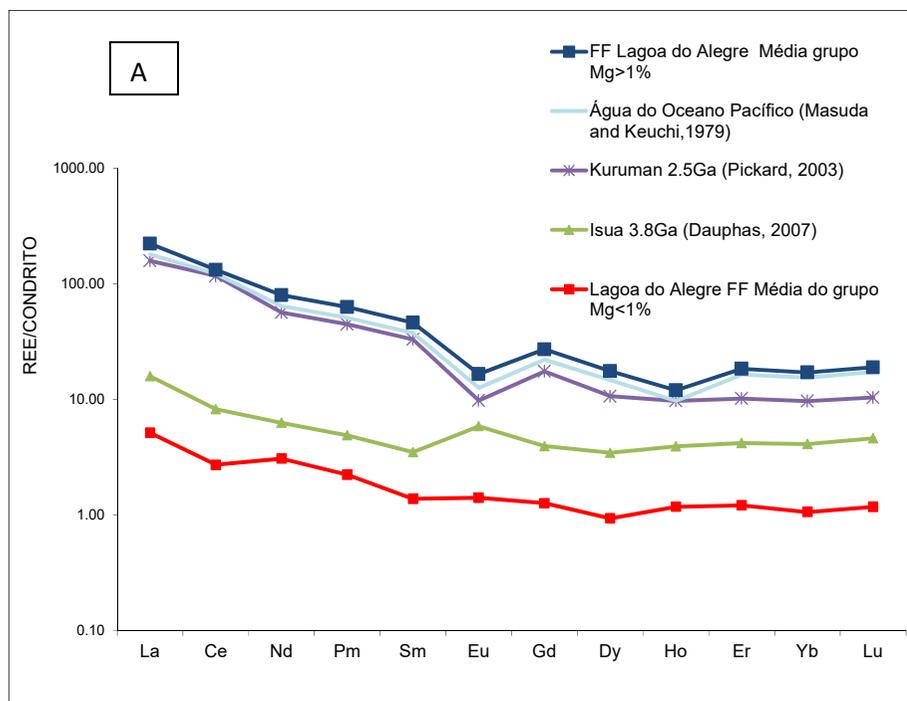


Figura 28 – Gráfico de com o comportamento de ETR normalizado ao PAAS (TAYLOR; McCLENNAN, 1985), observa-se comportamento similar ao normalizado por Condrito (ANDERS; GREVESSE, 1989), leve fracionamento para o grupo Mg<1%, com padrão côncava, anomalia de Eu* levemente positiva, e fraca anomalia negativa de Ce*, enquanto que o grupo Mg>1% mostra forte enriquecimento em ETRL em relação ao ETRP, anomalias negativas de Eu* e Ce*.

As Figuras 29 A e B apresentam as médias dos padrões de ETR dos dois grupos das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre (Mg<1% e Mg>1%), em comparação com médias dos ETR das principais formações ferríferas mundialmente conhecidas e com a média dos ETR da assinatura geoquímica da água do oceano pacífico. A média dos dados dos grupos Mg<1% e Mg>1% são plotados juntamente com as médias dos dados de ETR: Isua 3.8Ga (DAUPHAS, 2007); Kuruman 2.5Ga (PICKARD, 2003) e com Água do oceano pacífico (MASUDA; KEUCHI, 1979). Conforme se observa, quando os dados médios de ETR são normalizados por (ANDERS; GREVESSE, 1989) (Figuras 29A), a média do grupo Mg<1% das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre apresenta comportamento semelhante ao padrão das formações ferríferas de Isua, com fraco enriquecimento de ETRL em relação ao ETRP, leve anomalia positiva de Eu*. Por outro lado, o grupo Mg>1% das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre apresentam anomalia negativa Eu*, forte enriquecimento de ETRL sobre ETRP, semelhante às formações ferríferas de Kuruman de 2.5Ga e com a assinatura da água do oceano Pacífico

Quando normalizado por PAAS, o comportamento é similar ao Condrito, mostrando a diferença entre esses dos grupos de formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre. O somatório ($\sum\text{REE} = 223,43$) de terras raras do grupo Mg<1% é próximo dos valores de Kuruman ($\sum\text{REE} = 141,33$) de idade paleoproterozoica, enquanto que o somatório do grupo Mg>1% ($\sum\text{REE} = 127,31$) é semelhante às formações ferríferas de tipo Algoma (e.g. Isua $\sum\text{REE} = 108,03$) (BOLHAR et al., 2004).



Figuras 29 - (A) - Gráfico de ETR normalizado por Condrito (Anders e Grevesse,1989), com a média dos valores dos grupos (Mg<1% e Mg>1%) das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre, de Isua 3.8Ga (DAUPHAS, 2007); de Kuruman 2.5Ga (PICKARD, 2003) e das águas do oceano Pacífico (MASUDA; KEUCHI,1979). Conforme se observa ao normalizar por Condrito, a média do grupo Mg<1% das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre apresenta comportamento semelhante ao padrão das formações ferríferas de Isua, com fraco enriquecimento de ETRL em relação ao ETRP, leve anomalia positiva de Eu*. A média de ETR para o grupo Mg>1% das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre apresentam anomalia negativa Eu*, forte enriquecimento de ETRL sobre ETRP, semelhante às formações ferríferas de Kuruman de 2.5Ga e com a assinatura da água do oceano Pacífico. Quando normalizado por PAAS, o comportamento é similar ao Condrito, mostrando a diferença entre esses dos grupos de formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre.

8.8.4 Isótopos de Sm/Nd em Formação Ferrífera do Complexo Lagoa do Alegre

Novas amostras de formação ferrífera foram analisadas para isótopos de Nd e Sm e os resultados são apresentados Tabela 11. Os resultados estão organizados de acordo com a subdivisão petrográfica (presença do anfibólio da série *cummingtonia-grunerita*) e geoquímica realizada anteriormente. Duas amostras de ambos os grupos (Mg<1% e Mg>1%) exibem valores da razão $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ entre o intervalo de 0,1164 e 0,1486, valores comum para xistos e formações ferríferas arqueanas e paleoproterozoicas (e.g. BAU et al., 1997). Das demais amostras, o grupo Mg<1% apresenta uma amostra com razões $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} < 0,10$ e pode se observar uma amostra do grupo Mg>1% apresenta razão $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} > 0,15$.

Tabela 11 – Dados de Isótopos de Sm-Nd das nove amostras analisadas das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre

Amostra	Grupo	MgO%	Sm(ppm)	Nd(ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	T_{DM}	$\epsilon_{\text{Nd}}(2,5)$
						$\pm 2\text{SE}$		(Ga)	
AS05C	Grupo 1	<1%	6.802	40.125	0.1025	0.511185+/-2	-28.35	2.54	1.96
AS366C		<1%	0.169	1.029	0.0991	0.511237+/-9	-27.34	2.39	2.76
AS78A		<1%	0.219	0.964	0.1373	0.511307+/-79	-25.97	3.52	-6.91
AS142D		<1%	0.812	3.348	0.1467	0.51139+/-12	-24.34	3.86	-8.32
AS20B	Grupo 2	>1%	2.359	13.347	0.1069	0.511238+/-2	-27.31	2.57	1.58
AS07A		>1%	0.157	0.755	0.1258	0.511242+/-8	-27.24	3.14	-4.46
AS93E		>1%	0.196	0.992	0.1191	0.511085+/-31	-30.29	3.17	-5.38
AS373E		<1%	0.187	0.744	0.1515	0.511385+/-9	-24.44	4.22	-9.97
AS38		>1%	0.122	0.496	0.1492	0.511357+/-21	-25.00	4.12	-9.78

Os dados (Tabela 11) mostram que há dois conjuntos de T_{DM} , sendo que predomina no grupo Mg>1% a idade modelo >3.0Ga, enquanto que o grupo Mg<1% há uma prevalência de idade entre 2.57 e 2.39Ga. As idades modelos para o grupo Mg>1% sugerem que essas rochas podem ser mais antiga e de origem crustal, tendo $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ negativo, enquanto que o grupo Mg<1% apresenta $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ positivo, sugerindo uma fonte juvenil associada a fonte mantélica para o Fe e Si.

O comportamento isotópica de Nd é expresso usando $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ (DEPAOLO; WASSERBURG, 1976), o que reflete a diferença relativa entre $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ da amostra e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ dentro de um reservatório uniforme condrito (CHUR), em determinado tempo t. O gráfico de evolução do $\epsilon_{\text{Nd}}(2,5)$ ao longo do tempo T é apresentado na Figura 30. Os valores $\epsilon_{\text{Nd}}(2,5)$ para os grupo Mg<1% variou entre -9,97 e 2,76 e para o grupo Mg>1%

variou entre -9,78 e 1,58 (Tabela 11). Conforme se pode observar (Figura 30), há uma dispersão dos dados das amostras, mas há um conjunto com T_{DM} de $\sim 2,5$ Ga, o mesmo é sugestivo de uma idade máxima de sedimentação de 2,5Ga. Essa idade é corroborada com os registros de deposições de formações ferríferas associadas à Sequência Vulcano-Sedimentar Serra Caiada, com idade de 3.7, 2.7 e 2.4Ga. (SILVA FILHO, 2012).

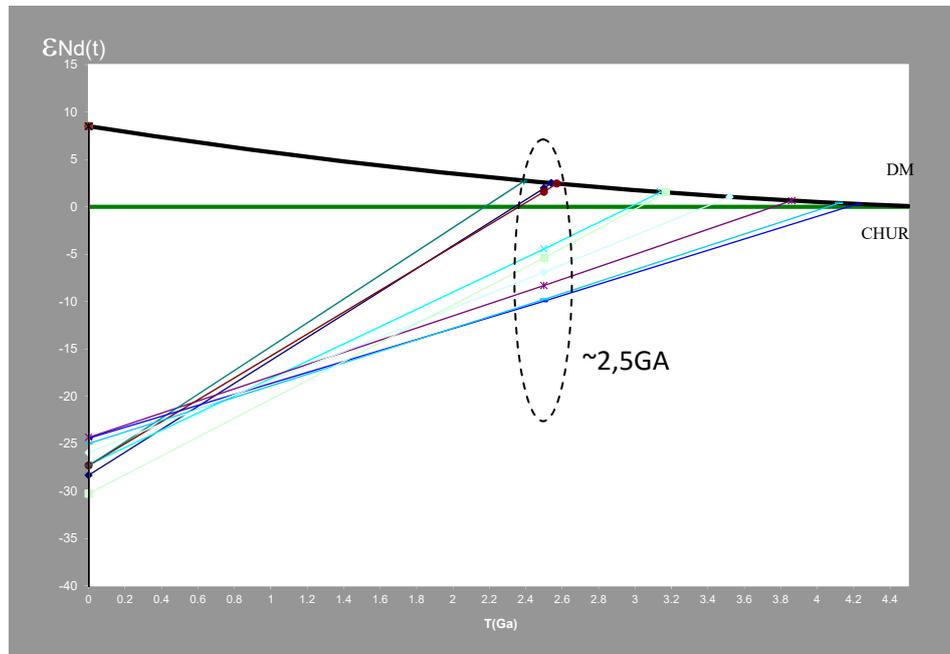
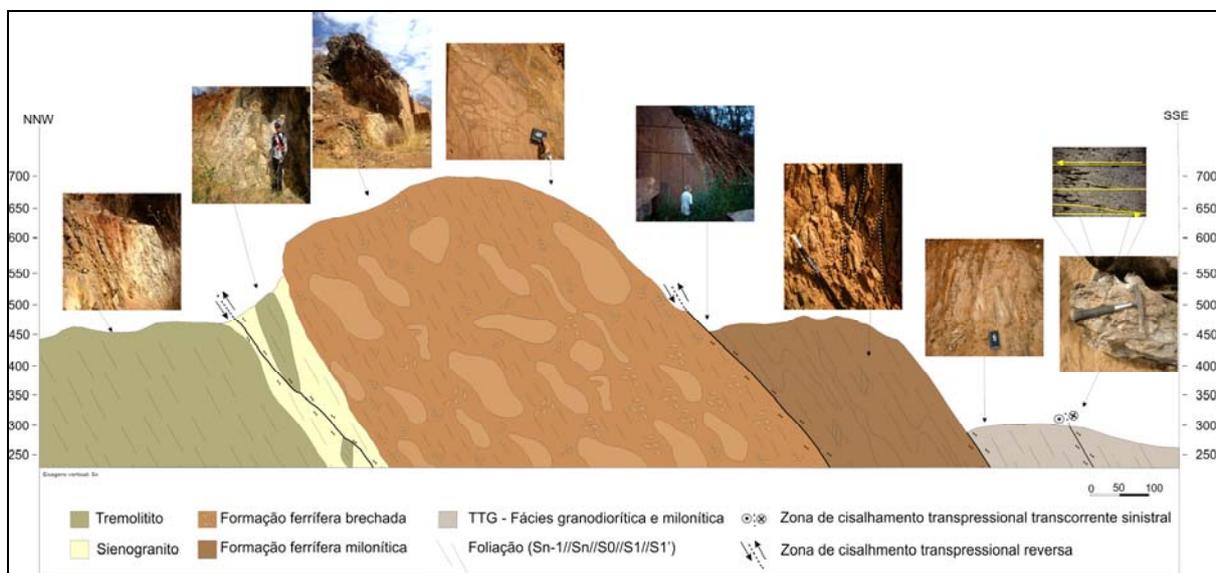


Figura 30 – O gráfico de evolução do $\epsilon Nd(T)$ ao longo do tempo T mostra há uma dispersão dos dados das amostras, mas há um conjunto com T_{DM} de $\sim 2,5$ Ga, sendo interpretado com a idade máxima da sedimentação.

8.9 DISCUSSÕES

As formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre constituem inúmeras ocorrências no extremo norte da Bahia. São monótonas mineralogicamente e têm a magnetita e hematita como principais constituintes, além de quartzo e silicato de ferro. São bandadas a brechadas e ocorrem, por vezes, associadas às rochas máficas do Complexo Lagoa do Alegre, que são intrudido por granitóides paleoproterozóicos (Figura 31). Essas formações estão metamorizadas na fácies xisto-verde superior a anfibolito médio, tendo os clinoanfíbólio da série da *cumingtonita-grunerita* como mineral índice, localizando entre a zona da biotita e da estauroilita, além de hornblenda como mineral acessório, corroborando.



As formações ferríferas estão subdivididas em 5 tipos petrográficos (Tabela 1) e em nenhum das fácies ocorre a presença de carbonato ou sulfeto. Essas características as tornam singulares e se diferenciam dos grandes registros das principais formações ferríferas mundiais, como em Animikie, na região de Lago Superior-USA, Hamersley (Australia), Transvall na África do Sul (MOREY, 1983; TRENDALL; BLOCKLEY, 2004) e Isua (BOLHAR et al., 2004).

Não há registros de estudos específicos com objetivo de compreender o comportamento dos óxidos de ferro e da sua fase hidratada presentes nas formações ferríferas utilizando a química mineral. Em estudos realizados com as amostras do Complexo Lagoa do Alegre, a ferramenta mostra-se capaz de definir condições redox,

assinado, provavelmente, pela transformação da magnetita em hematita, com o enriquecimento do ferro total (FeO_t) possivelmente através de martitização e hidrotermalismo. O comportamento é evidenciado em gráfico binário (Figura 11 e 12), onde se observam dois grupos distintos: (a) formando *trend* positivo em relação ao conteúdo de FeO_t , que está associado ao efeito de martitização e o (b) caracterizado por empobrecimento em FeO_t e enriquecimento em SiO_2 , devido a entrada de fluidos, provavelmente por atividade hidrotermal e/ou alteração supergênica

8.9.1 CONDIÇÕES PALEOAMBIENTAIS DURANTE A DEPOSIÇÃO E DIAGÊNESE DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DO COMPLEXO LAGOA DO ALEGRE

Os estudos dos elementos terras raras nas formações ferríferas se concentraram na fonte de ferro e a contribuição relativa de fluidos hidrotermais e água do mar (BEKKER et al., 2010). Os elementos terras raras, as suas relações e as correlações entre as concentrações desses elementos são consistentes e fornecem informações sobre fontes hidrotermais e modificadas por mistura com água do mar (e.g. GROSS, 1993).

Os principais elementos traços presentes nas formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre de forma geral são muito baixos e estão, geralmente, abaixo do limite de detecção pelo método analisado. As concentrações são similares e muito próximas das principais formações ferríferas mundialmente conhecidas (BOLHAR et al., 2004; ROSIÈRE; CHEMALE JR., 2000).

Quando as relações $\text{Pr}/\text{Pr}^*_{(\text{SN})}$ são relacionadas com o $\text{Ce}/\text{Ce}^*_{(\text{SN})}$, evidencia-se que as anomalias de Cério são verdadeiramente negativas, típicas de deposição em águas de ambiente oxidante (Figura 32). No entanto, apesar das condições oxidantes, demonstradas pela estabilização do Ce^{+IV} , o Complexo Lagoa do Alegre experimentou momentos de condições anóxicas, que, no período, na deposição de Fe e Si na bacia foram favoráveis para transportar Fe^{+2} e Ce^{VI} . Além disso, observa-se que as amostras das formações ferríferas apresentam grande afinidade com o campo, onde predominam as formações ferríferas do tipo Algoma – Isua de 3.8 Ga (BOLHAR et al., 2004).

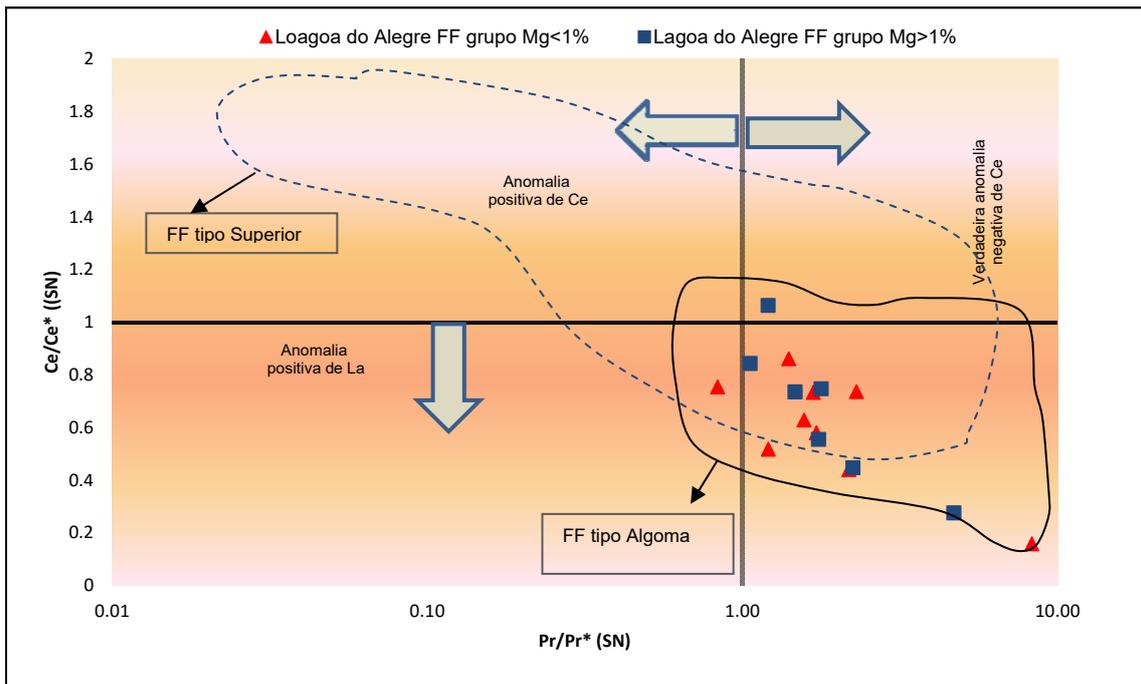
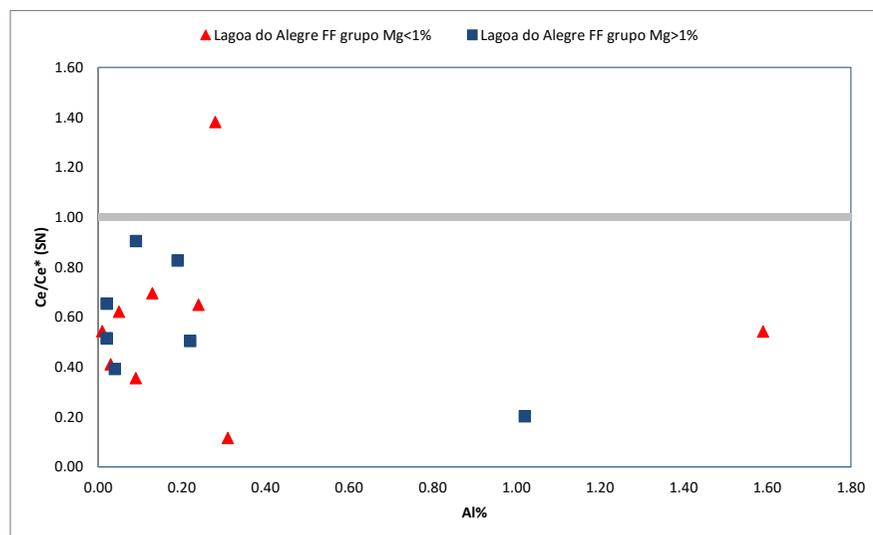
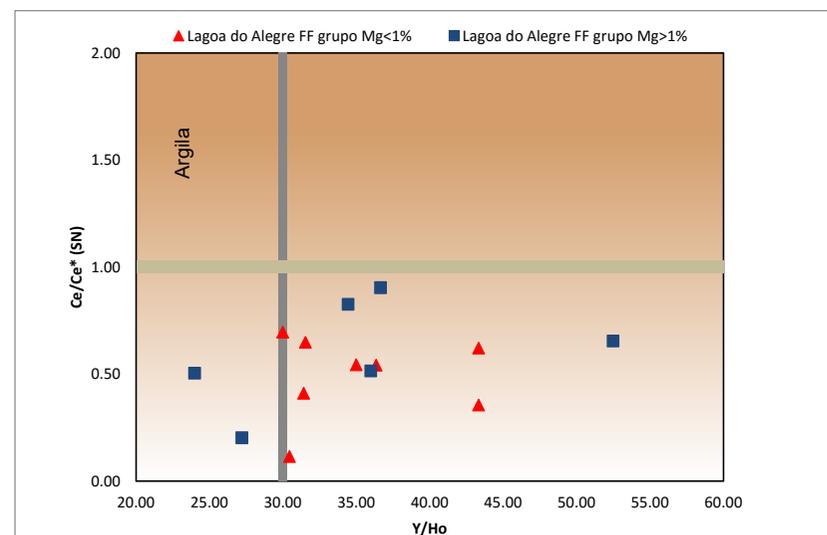


Figura 32 – Correlação entre $Pr/Pr^*_{(SN)}$ X $Ce/Ce^*_{(SN)}$, evidencia que as anomalias de cério são verdadeiramente negativas, típica deposição em águas de ambiente oxidante, o Complexo Lagoa do Alegre experimentou momentos de condições oxidante.

A Figura 33A mostra a relação das anomalias de $Ce/Ce^*_{(SN)}$ vs. Al_2O_3 das amostras, onde se verifica, predominantemente, que os valores de alumínio não influenciam no padrão de anomalia de Cério para ambos os grupos, demonstrando haver pouca contribuição detrítica na bacia de deposição. Apenas as amostras AS-142A e AS-020B (grupos Mg<1% e Mg>1%, respectivamente) são destoantes das demais, mas que são valores baixos e que podem refletir efeito do metassomatismo, ou a presença do anfibólio de ferro, ainda que em percentual modal abaixo de 5%. O gráfico $Ce/Ce^*_{(SN)}$ vs. Y/Ho (PECOITS, 2010) (Figura 33B) corrobora e mostra que, para ambos os grupos, predominantemente, as amostras não interceptam o campo de contaminação pelas argilas, mostrando a ausência de contaminação clástica para as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre.



A área sombreada delimita o campo em relação ao anomalia de Ce: $Ce/Ce^*(Sn) < 1$: anomalia negativa (ambiente oxidante) e; $Ce/Ce^*(Sn) > 1$ - nomalia positiva (ambiente redutor)



A área sombreada delimita o campo de contribuição de fluidos origem continental e $Ce/Ce^*(Sn) < 1$: anomalia negativa (ambiente oxidante) e; $Ce/Ce^*(Sn) > 1$ - nomalia positiva (ambiente redutor) continenal: $Y/Ho < 30$: forte contribuição de agua continental e; $Y/Ho > 30$ baixa ou ausência de contribuição de fluidos de origem continental.

Figura 33A e B – (A) Gráfico $Ce/Ce^*_{(SN)}$ vs. Al_2O_3 demonstra que os valores de alumínio não influenciaram no padrão da anomalia de Ce, corroborando com a pouca ou ausência de contribuição dentrítica na bacia. (B) Gráfico $Ce/Ce^*_{(SN)}$ vs. Y/Ho corrobora e mostra que para ambos os grupos as amostras não interceptam o campo de contaminação pelas argilas (PECOITS, 2010), mostrando a ausência de contaminação clásticas para as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre.

8.9.2 ALTERAÇÕES HIDROTERMAIS E MISTURA DE FLUIDOS ASSIMILADOS PELAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DO COMPLEXO LAGOA DO ALEGRE

Elementos terras raras (ETR) são uma das ferramentas mais utilizadas na geoquímica para compreender a origem e deposição das formações de ferro (e.g. BAU; DULSKI, 1996a; FREI et al., 2008). No centro de estudos de ETR, nas formações ferríferas, há o pressuposto de que ocorre fracionamento mínimo de ETR durante a precipitação dos óxidos de ferro e oxi-hidróxidos.

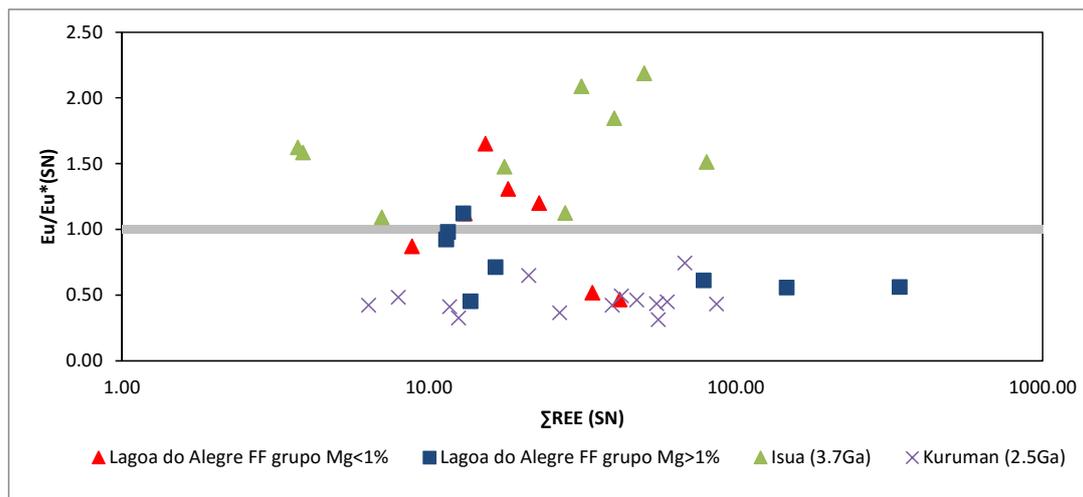
As formações ferríferas são susceptíveis de preservar o seu padrão de ETR primário durante o processo de diagênese e soerguimento/exposição. No entanto, para as formações ferríferas que tenham sido submetidos a graus relativamente elevados de metamorfismo, na fácies anfíbolito e acima, ou que tenham sido afetados pela alta temperatura dos fluidos, durante metamorfismo/deformação, padrões de ETR deve ser usados com cautela para inferência de estados primários de redox e deposicionais (BAU, 1993; SLACK et al., 2009).

As baixas concentrações de ETR nas formações ferríferas, associadas com as anomalias positivas de Eu, indicam que esses elementos, juntamente com Fe e Si, foram depositados com contribuição de soluções hidrotermais (MANIKYAMBA et al., 1993). A anomalia de Eu/Eu^* tem uma relação direta e esta depende da interação com as soluções hidrotermais. A intensidade da anomalia de Eu/Eu^* variou com o tempo geológico e no arqueano é marcado por fortes anomalias positivas, enquanto que, no paleoproterozóico, essas anomalias tendem a ficar mais fracas até negativas. Essa intensidade varia com a temperatura dos fluidos hidrotermais, sendo temperaturas $>250^{\circ}C$ produziram $(Eu/Eu^*) >1$ e temperaturas mais baixas ($T < 250^{\circ}C$) dariam origem a $(Eu/Eu^*) \leq 1$ (BAU; DULSKI, 1996a e 1996b).

Os padrões de ETR ligeiramente côncavos e portadores de anomalias positivas de Eu (Figura 27 e 28), representado pelo grupo $Mg < 1\%$, indicam deposição do ferro e sílica, para este grupo de amostras, podem estar relacionado as proximidades das fumarolas, com contribuição dos fluidos hidrotermais de alta temperatura. De outro modo, o grupo $Mg > 1\%$ apresenta elevado enriquecimento ETR (Figura 27 e 28), com padrões contendo anomalias negativa de Eu^* , pode indicar que este grupo de amostras das formações ferríferas foram depositados em zonas distais da bacia, sob a baixa influência de soluções hidrotermais de baixa temperaturas de baixa a e/ou regiões mais afastadas das fumarolas (MANIKYAMBA et al., 1993; BAU E DULSKI, 1996a/b; SILVA, 2009; LINDENMAYER et al., 2001)

A Figura 34 mostra o comportamento do $Eu/Eu^*_{(SN)}$ vs. $\sum REE$ das amostras estudadas, onde é possível observar a correlação negativa para os grupos $Mg < 1\%$ e

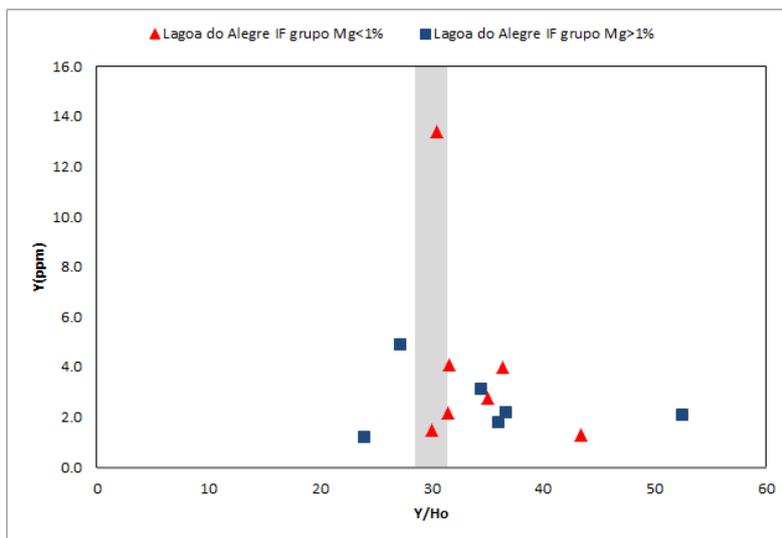
Mg>1%. Parte de ambos os grupos apresenta anomalias positivas de Eu/Eu*, se correlacionando com as formações ferríferas paleoarqueanas - Isua (3.8 Ga) (BOLHAR et al., 2004), que sofreram grande contribuição de fluidos de alta temperatura (T> 300C) nas zonas proximais de fumarolas. Outra parte das amostras de ambos os grupos tende a ter anomalia fraca a negativa e enriquecidas em ETR, relacionada à baixa influência de soluções hidrotermais de alta temperatura, associados a zonas distais das fontes hidrotermais, dentro do campo onde predominam as formações ferríferas do tipo Superior (Kamuran), de idade paleoproterozoica (MOREY, 1983; TRENDALL; BLOCKLEY, 2004).



A área sombreada delimita o campo em relação ao anomalia de Eu: $Eu/Eu^*_{(SN)} < 1$: anomalia negativa e; $Eu/Eu^*_{(SN)} > 1$ - anomalia positiva

Figura 34 – Gráfico de $Eu/Eu^*_{(SN)}$ vs $\Sigma REE_{(SN)}$, em que mostra que parte de ambos os grupos, apresenta anomalias positivas de $Eu/Eu^*_{(SN)}$, correlacionando-se com as formações ferríferas paleoarqueanas – Isua (3.8 Ga) (BOLHAR et al., 2004), que sofreram grande contribuição de fluidos de alta temperatura (T> 300C). Em contra partida, parte de ambos os grupos apresenta características similar a Kuruman (2.5Ga) (MOREY, 1983; TRENDALL; BLOCKLEY, 2004).

O Ítrio é um indicador e traçador de fluidos, sendo que a sua relação com hólmio fornece informação sobre a possível mistura de fluidos no período da deposição do ferro e da sílica (BAU; DULSKI 1996). As médias para razão Y/Ho para os grupos Mg<1% e Mg>1% são 35,18 e 35,15, respectivamente; ficando acima das razões encontradas para água continental (Y/Ho<30), mas observa-se que esses valores expressam que as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre podem ter sofrido diminuta contribuição de fluidos de origem continental. A média da razão Y/Ho para as formações ferríferas arqueanas e paleoproterozoicas é em torno de 46,39 (e.g. BOLHAR et al., 2004; BAU; DULSKI, 1996a, 1996b) e, conforme se pode observar na Figura 35, as formações ferríferas de Lagoa do Alegre predominantemente não sofreram influência de águas continentais no período da deposição, mostrando que, durante a precipitação do ferro e da sílica, esses depósitos assimilaram parte da assinatura das águas oceânicas, misturando-as com as soluções hidrotermais de alta temperatura.



*A área sombreada delimita o campo de contribuição de fluidos origem continental: $Y/Ho < 30$: forte contribuição de água continental e; $Y/Ho > 30$ baixa ou ausência de contribuição de fluidos de origem continental

Figura 35 – Gráfico de Y (ppm) vs. (Y/Ho), em que é possível observar que ambos os grupos pertencentes às formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre não sofreram influência de águas continentais no período da deposição e assimilaram parte da assinatura das águas oceânicas. Destaca-se a amostra AS-005C que está associada à zona de redobramento e metassomatismo.

Informações de condições de profundidades durante a deposição das formações ferríferas também podem ser inferidas. A partir da relação de Y(ppm) vs. ΣREE , demonstra-se que a deposição das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre (Figura 36), para ambos os grupos (Mg < 1% e Mg > 1%) a deposição pode ter ocorrido em uma bacia com profundidade superior a 500m, com contribuição de soluções de alta temperatura e correlacionáveis, tanto com as formações ferríferas de Isua de 3.8Ga, quanto de Kuruman de 2.5Ga

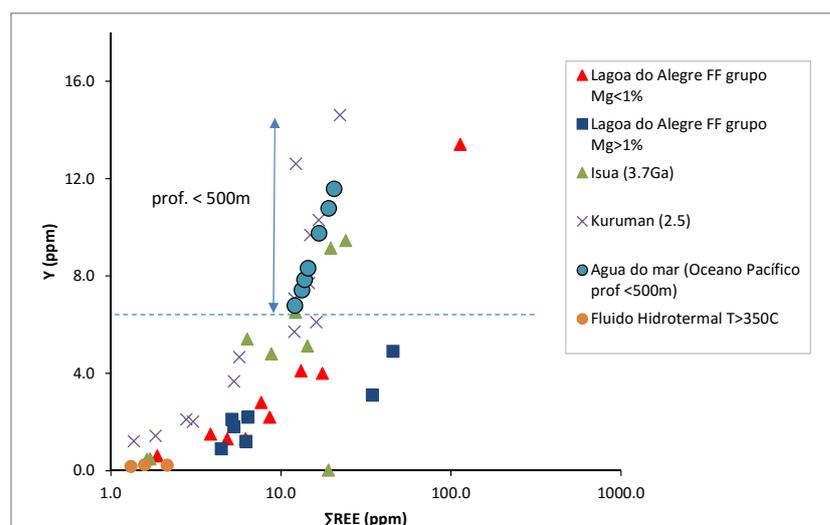
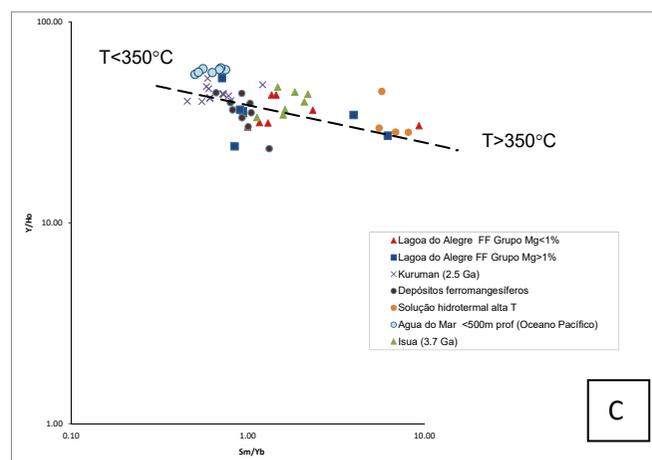
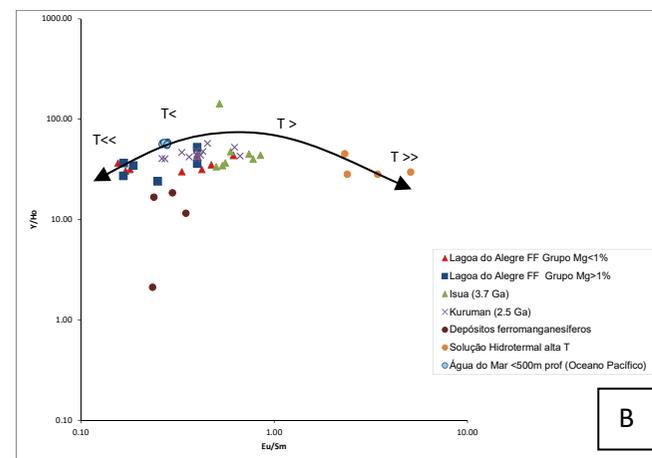
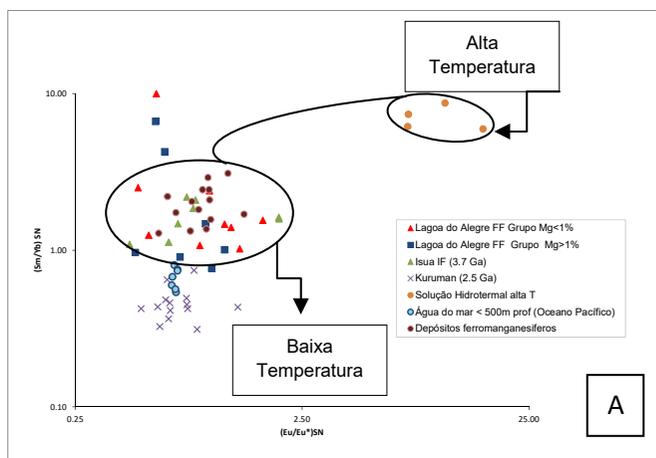


Figura 36 – Gráfico de correlação entre Y(ppm) vs. ΣREE mostra que a deposição das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre, para ambos os grupos (Mg < 1% e Mg > 1%) ocorreram em uma bacia com profundidade superior a 500m, com contribuição de soluções de alta temperatura e correlacionáveis às formações ferríferas de Isua de 3.8 Ga (BOLHAR et al., 2004).

Nos diagramas binários, utilizando a razão Sm/Yb (SN) vs. $Eu/Eu^*(SN)$ (ALEXANDER et al., 2008) (Figuras 37A), observa-se que as formações ferríferas, grupos $Mg < 1\%$ e $Mg > 1\%$, apresentam grande afinidade com as formações ferríferas de Isua (3.8Ga), com os depósitos ferromagnesíferos da região do pacífico norte e com a água do mar (BAU; DULSKI, 1996a, 1996b). Para as razões Y/Ho vs. Eu/Sm dos mesmos autores (Figuras 37B), observa-se que os padrões de afinidades persistem, similares à razão $Sm/Yb_{(SN)}$ vs. $Eu/Eu^*_{(SN)}$, porém evidencia-se que parte das amostras das formações ferríferas de ambos os grupos ($Mg < 1\%$ e $Mg > 1\%$) apresenta influência das águas oceânicas e afinidades com as formações ferríferas de Kuruman (2.5Ga) e de Isua (3.8Ga). Quando os dados dos dois grupos ($Mg < 1\%$ e $Mg > 1\%$) das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre são posicionados no diagrama binário Y/Ho vs. Sm/Yb (ALEXANDER et al., 2008) (Figuras 37C), observa-se que as formações ferríferas apresentam contribuição de fluidos hidrotermais de alta temperatura ($T > 350C$), onde representam o grupo de amostras associada do grupo $Mg > 1\%$ com leve anomalia positiva de Eu^* , com baixa concentração de ETR. Destaca-se a amostra AS-005C pertencente ao grupo $Mg < 1\%$ que está associada a zona de redobramento e intenso hidrotermalismo. A compreensão desses diagramas binários demonstra que o ferro e a sílica no Complexo Lagoa do Alegre foram provavelmente transportados por uma mistura de fluidos, com a assinatura da água do mar e forte contribuição de soluções hidrotermais de alta temperatura.



Figuras 37 – (A) Gráfico $Sm/Yb_{(SN)}$ vs. $Eu/Eu^*_{(SN)}$ as formações ferríferas, grupos $Mg < 1\%$ e $Mg > 1\%$, apresentam afinidades com as formações ferríferas de Isua (3.8Ga), com os depósitos ferromanganesíferos da região do pacífico norte e com a água do mar (BAU; DULSKI, 1996a, 1996b). (B) Para correlação entre razões Y/Ho vs. Eu/Sm , ambos os grupos das formações ferríferas apresentam comportamento similar a correlação $Sm/Yb_{(SN)}$ vs. $Eu/Eu^*_{(SN)}$, embora parte das amostras das formações ferríferas de ambos os grupos apresentam influência das águas oceânicas e afinidades com as formações ferríferas de Kuruman (2.5 Ga.) e de Isua (3.8 Ga). (C) No gráfico Y/Ho vs. Sm/Yb mostra-se que as formações ferríferas apresentam contribuição de fluidos hidrotermais de alta temperatura ($T > 350^{\circ}C$), destacando-se a amostra do AS-005C, pertencente ao grupo $Mg < 1\%$ que está associada à zona de dobramento e intenso hidrotermalismo.

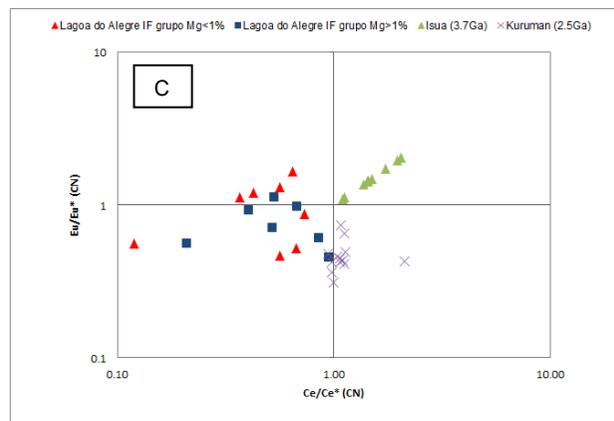
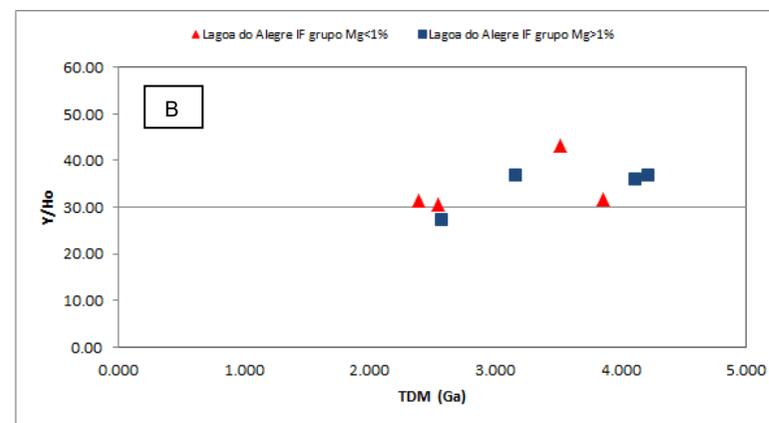
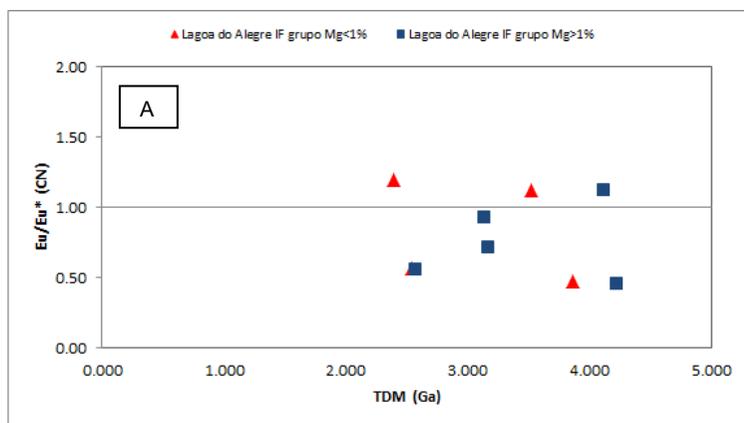
8.9.3 FORMAÇÕES FERRÍFERAS DO COMPLEXO LAGOA DO ALEGRE COM CARACTERÍSTICAS ASSOCIADAS AO PERÍODO DE TRANSIÇÃO ENTRE O NEOARQUEANO E O PALEOPROTEROZÓICO

As formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre apresentam características de transição (Figura 32), entre aquelas formadas no Arqueano, classificadas como do tipo Algoma, associadas às rochas vulcanossedimentares, como Isua (3.8Ga; BOLHAR et al., 2004; KLEIN, 2004), quanto às formadas no Paleoproterozoico, com plataforma desenvolvida, tipo Lago Superior, como Kuruman (BAU; DULSKI, 1996a; KLIEN, 2005). Essas características as tornam singulares, pois, apesar de apresentarem características do tipo Algoma (Gross, 1965) há a ausência da predominância da anomalia positiva de $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{(\text{SN})}$ para ambos os grupos ($\text{Mg}<1\%$ e $\text{Mg}>1\%$). Por outro lado, quando se observa as anomalias $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{(\text{SN})}$, essas tendem a ser levemente a positiva a negativa, típica das formações ferríferas paleoproterozoicas (KLEIN, 2005; ALEXANDER et al., 2008). No entanto, as mesmas não se enquadram no sentido *stricto sensu* do tipo Superior (GROSS, 1965), pois as associações litológicas não condizem e há ausência de uma plataforma com as fácies definidas. Diante dessas características, as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre podem ser definidas com formações de ambiente de transição, que foram depositadas em uma bacia entre as soluções hidrotermais de alta temperatura (tipo *black smoker*) e uma plataforma.

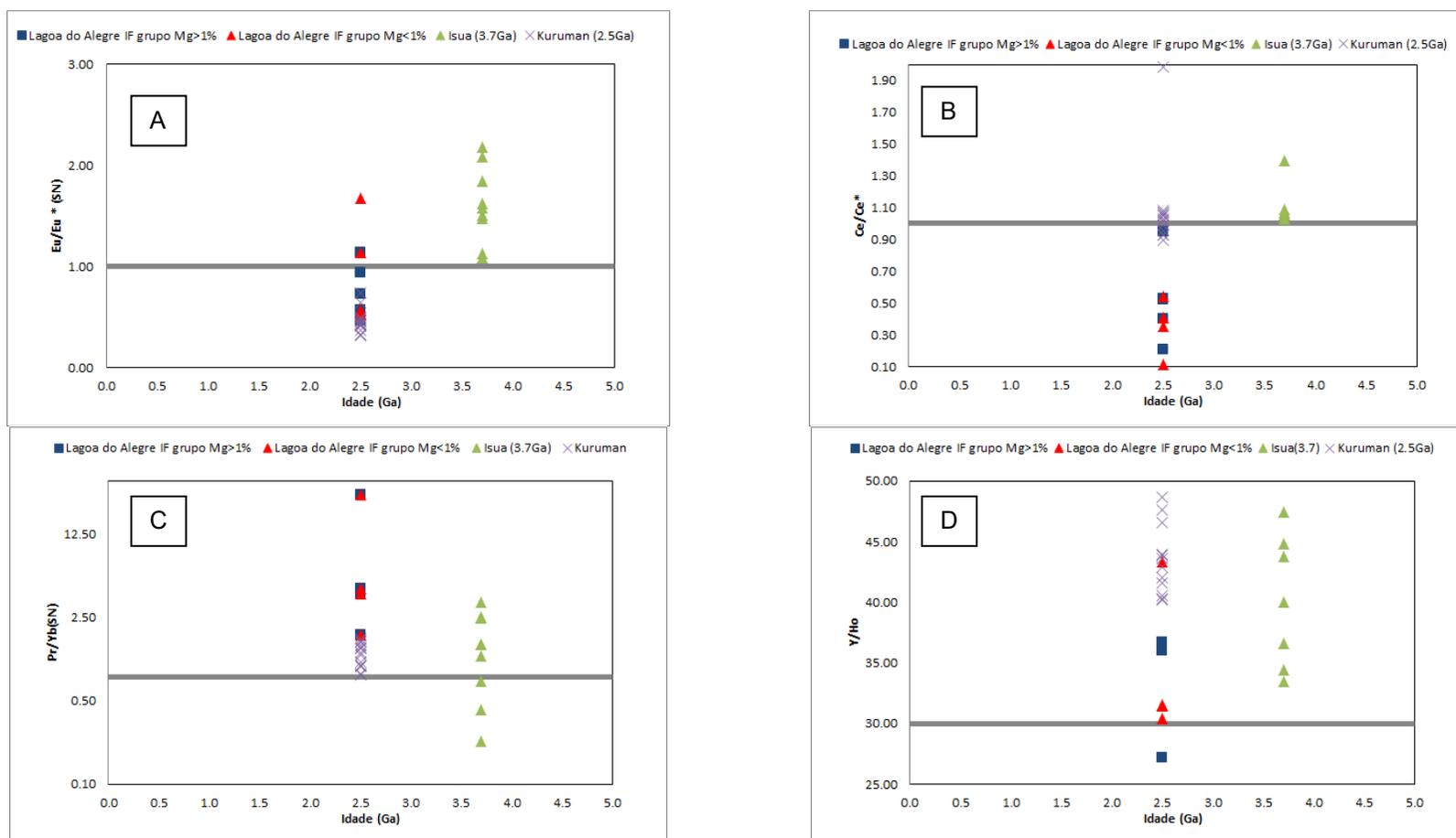
Na correlação entre $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{(\text{SN})}$ com as idades-modelo (T_{DM}) (Figuras 38A), observa-se que predominam as anomalias negativa de Eu^* e que apenas duas amostras do grupo $\text{Mg}<1\%$ e uma amostra do grupo $\text{Mg}>1\%$ apresentam anomalia positiva de Eu . Por outro lado, observa-se que a contribuição continental é pouco expressiva para ambos os grupos, onde se verifica que, para a maioria das idades T_{DM} , há um predomínio das razões $\text{Y}/\text{Ho}>30$ (Figuras 38B). Logo, pode-se inferir que foram depositadas em zonas intermediárias com forte contribuição de soluções hidrotermais de alta temperatura, de fonte vulcanogênica (Figuras 37 C). A Figuras 38C corrobora, quando correlaciona as anomalias de $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{(\text{CN})}$ X $\text{Ce}/\text{Ce}^*_{(\text{CN})}$ que parte das amostras de ambos os grupos ($\text{Mg}<1\%$ e $\text{Mg}>1\%$) apresentam anomalias positivas de Eu (próximo à zona de alta temperatura) e, quando se afasta da fonte hidrotermal, essas anomalias tendem a ficar negativas, associada à solução de baixa temperatura, que pode se sugestiva de mistura de soluções hidrotermais de alta temperatura com a água do mar. Além disso, verifica-se que parte das amostras, predominantemente do grupo $\text{Mg}<1\%$ situam-se no campo de anomalia negativa de $\text{Ce}/\text{Ce}^*_{(\text{CN})}$. Isso demonstra que a presença do oxigênio na bacia de deposição das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre foi suficiente para transformar Fe^{+2} em Fe^{+3} e estabilizar o Ce^{+IV} .

O comportamento ao longo do tempo das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre (grupos Mg<1% e Mg>1%) pode ser comparado com os dados de Isua (3.8Ga; BOLHAR et al., 2004) e Kuruman (2.5Ga; BAU; DULSKI, 1996a, 1996b), utilizando as anomalias de $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{(\text{SN})}$, $\text{Ce}/\text{Ce}_{(\text{SN})}^*$, $\text{Pr}/\text{Yb}_{(\text{SN})}$ e Y/Ho (Figuras 39). Observa-se que as anomalias positivas de $\text{Eu}/\text{Eu}^*_{(\text{SN})}$ são o registro das formações ferríferas arqueanas e essas tendem a ficar fracas a negativas no paleoproterozoico (ALEXANDER et al., 2008), conforme pode ser observado para as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre e de Kuruman (2.5Ga.) (Figuras 39A).

O estado paleoredox, ao longo do tempo, pode ser observado (Figuras 39B), em que se mostra que a bacia de deposição das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre apresentava estado predominantemente oxidante, com elevada razão de ETRL sobre os ETRP e elevadas razões de Y/Ho, semelhante às formações ferríferas arqueanas e paleoproterozoicas (Figuras 39C e D).



Figuras 38 – (A) Gráfico $Eu/Eu^*_{(SN)}$ vs. T_{DM} mostra que há predominância de anomalias negativas de $Eu/Eu^*_{(SN)}$ e que duas amostras do grupo Mg<1% e uma amostra do grupo Mg>1% apresentam anomalias positivas de $Eu/Eu^*_{(SN)}$. (B) Na correlação entre Y/Ho vs. T_{DM} , mostra que a contribuição continental é pouco expressiva para ambos os grupos e há um predomínio das razões $Y/Ho > 30$, sendo interpretadas como depositadas em zonas intermediárias, com contribuição de soluções hidrotermais de alta temperatura. (C) A correlação $Eu/Eu^*_{(SN)}$ vs. $Ce/Ce^*_{(SN)}$ corrobora com o gráfico (B) e mostra que parte de amostras de ambos os grupos (Mg<1% e Mg>1%) apresentam anomalia positiva de Eu (zona de alta temperatura). Quando se afasta da fonte hidrotermal, essas anomalias tendem a ficar negativas, associada à solução de baixa temperatura, que pode ser sugestiva de mistura de soluções hidrotermais de alta temperatura com a água do mar em uma ambiente oxidante.



8.9.4 AS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DO COMPLEXO LAGOA DO ALEGRE E OS DEPÓSITOS DE FERRO DE CARAJÁS E DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Nas formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre, a magnetita é o principal óxido de ferro, com valores médios de FeO_t nas magnetitas dos 5 tipos petrográficos acima de 95% da sua composição química. Quando comparadas aos depósitos de Carajás (LINDENMAYER et al., 2001), assemelham-se com os depósitos de ferro na Serra Sul, em que a magnetita é o principal óxido. Tal como em uma das fácies petrográficas presentes nas formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre, os depósitos de Carajás mostram também esferulitos que são feições primárias, destruídas posteriormente por recristalização diagenética ou metamórfica, e essa recristalização leva à formação de magnetita (LINDENMAYER et al., 2001). Essas feições primárias não são encontradas nos depósitos do Quadrilátero Ferrífero, que apresentam os tipos petrográficos: itabiritos, hematita filitos, Fe – dolomitos e, subordinadamente, filitos piritoso; e os tipos tectônicos que são formados por brechas (SPIER, 2005; ROSIÈRE; CHEMALE JR., 2000), semelhantes à fácies brechada das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre. No entanto, as brechas se diferenciam pela composição da matriz, onde os tactionitos das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre é constituído formado por oxi-hidróxidos de ferro, enquanto que essas rochas do Quadrilátero Ferrífero apresentam quartzo, carbonato e hematita como matriz.

Quimicamente, ambos os grupos das formações ferríferas do Complexo da Lagoa do Alegre ($\text{Mg}<1$ e $\text{Mg}>1$) apresentam os valores Fe_2O_3 inferiores aos Carajás ($\text{Fe}_2\text{O}_3 = 57,76\%$) e do Quadrilátero Ferrífero ($\text{Fe}_2\text{O}_3 = 55,71\%$), enquanto que SiO_2 é superiores tanto para Carajás (40,70%) quanto para o Quadrilátero Ferrífero (41,71%) (Figura 40). Apesar dessas diferenças, as ocorrências de ferro do Complexo Lagoa do Alegre são muito semelhantes aos depósitos de Carajás e Quadrilátero Ferrífero, pois são formadas por precipitados químicos, compostos quase que exclusivamente por Fe, Si e O, nos quais Fe_2O_3 e SiO_2 somados variam entre 90,78 a 99,72%, com conteúdos negligenciáveis dos elementos Ti, Zr, Al e Rb (Figura 40), muitas vezes abaixo do limite de detecção do método analítico. Essas características atestam a ausência de contribuição detritica à bacia durante a deposição desses depósitos (SPIER, 2005; LINDENMAYER et al., 2001; ROSIÈRE; CHEMALE JR., 2000).

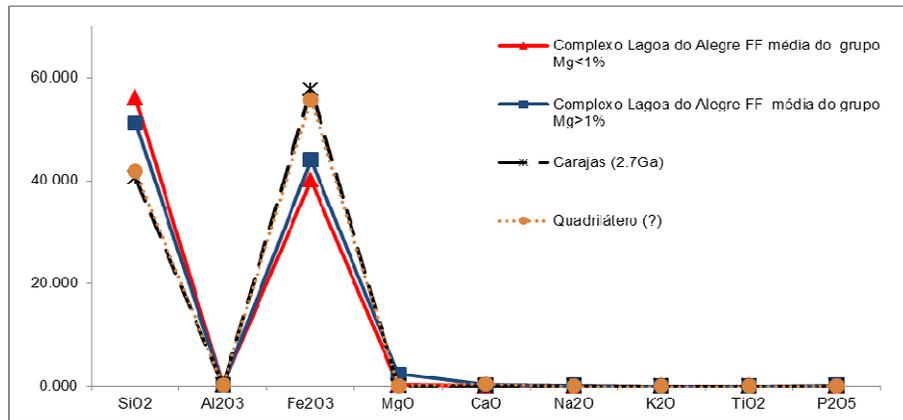


Figura 40 – Comparação com a médias dos elementos maiores em forma de óxidos das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre, Carajás (LINDENMAYER et al., 2001) e Quadrilátero Ferrífero (SPIER, 2005).

Quanto à origem para esses depósitos, não há um consenso e os padrões de ETR, ligeiramente côncavos e portadores de anomalias positivas de Eu, indicam deposição nas proximidades das fumarolas, de fontes dos fluidos hidrotermais, corroborando para o grupo Mg<1%, onde apresentam grande afinidade com as formações ferríferas de Isua de 3.8Ga. (Bolha et. al. 2004) com baixas concentrações de ETR, anomalia positiva de Eu*. De outro modo, o grupo Mg>1% com os padrões de ETR sem anomalias de Eu, ou tendendo a ser negativa, com elevada enriquecimento de ETR, podem indicar zonas da bacia onde soluções hidrotermais apresentam temperaturas mais baixas e/ou regiões mais afastadas do campo hidrotermal, onde essas soluções foram diluídas, ou podem, ainda, refletir épocas de quiescência da atividade das fumarolas (SILVA, 2009; LINDENMAYER et al., 2001).

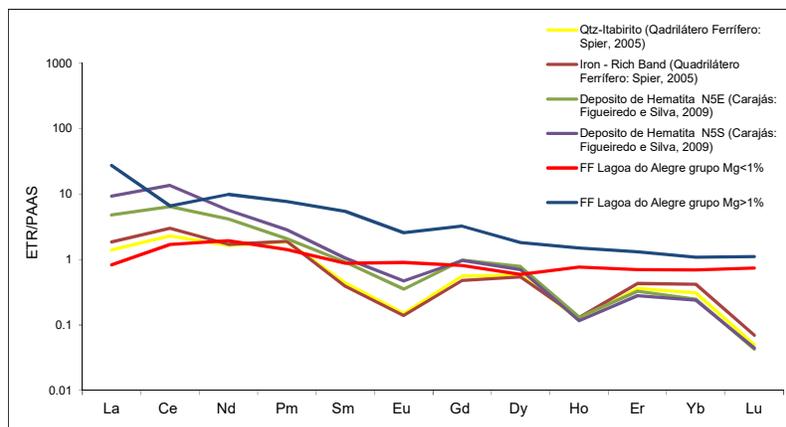


Figura 41 - Comparação com a médias dos elementos maiores em forma de óxidos das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre, Carajás (LINDENMAYER et al., 2001) e Quadrilátero Ferrífero (SPIER, 2005).

8.10 CONCLUSÕES

As formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre constituem inúmeras ocorrências no extremo norte da Bahia e são monótonas mineralogicamente, tendo a magnetita e a hematita como principais constituintes, além de quartzo e silicato de ferro. Texturalmente são bandadas a brechadas. Estão metamorfizadas na fácies xisto-verde superior a anfíbolito médio, tendo clinoanfíbólio da série da *cumingtonita-grunerita* como mineral índice, localizado entre a zona da biotita e da estauroлита e hornblenda como mineral acessório.

Os substratos da bacia de deposição das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre são formados por TTG com idade de 2.979 ± 14 Ma, que sofreram migmatização e metamorfismo em 2.130 ± 22 Ma, além de *augen*-ortognaisse de idade de cristalização de 2.853 ± 23 Ma.

As formações ferríferas ocorrem em cinco tipos petrográficos e em nenhum dos tipos fácies ocorre a presença de carbonato, ou sulfeto. Essas características as tornam singulares e as diferenciam dos grandes registros das principais formações ferríferas como em Animikie, na região do Lago Superior-USA, Hamersley (Australia), Transvall na África do sul.

O estudo das amostras usando a química mineral permitiu dois grupos de magnetita: (a) formando *trend* positivo em relação ao conteúdo de FeO_T , que está associado ao efeito de martitização; e o (b) caracterizado por empobrecimento em FeO_T e enriquecimento em SiO_2 provavelmente por atividade hidrotermal.

A análise dos elementos maiores aponta dois grupos distintos de formações ferríferas, e a separação mostra que o grupo 1 contém valores de $Mg < 1\%$ e, petrograficamente, com presença da *cumingtonita-grunerita* com concentração modal igual ou inferior a 5%; enquanto que o grupo 2 contém valores de $Mg > 1\%$ e a presença da *cumingtonita-grunerita* como principal constituinte nessas formações.

As condições paleoambientais no período da deposição e diagênese/metamorfismo, por meio do estudo de alguns elementos terras raras e suas correlações, demonstram que as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre se caracterizam por apresentar ambiente predominantemente oxidante.

Os estudos dos ETR das formações ferríferas utilizando os normalizadores: Condrito e PAAS demonstram que há dois grupos distintos de formações ferríferas: o grupo $Mg < 1\%$ apresenta os padrões de ETR ligeiramente côncavos e portadores de anomalias positivas de Eu^* , indicando que deposição do ferro e sílica deste grupo de amostras podem estar

relacionados as zonas proximais das fumarolas, em que há contribuição dos fluidos hidrotermais de alta. De outro modo, o grupo $Mg > 1\%$ apresenta elevado enriquecimento ETR, com padrões contendo anomalias negativa de Eu^* , indicativa que este grupo de amostras foram depositados em zonas distais da bacia, sob a baixa influência de soluções hidrotermais temperaturas alta e/ou regiões mais afastadas das fumarolas. A razão Y/Ho para o grupo $Mg < 1\%$ varia entre 30,00 e 43,33; e para o grupo $Mg > 1\%$, entre 24,00 e 52,5; dentro do intervalo para os valores da água do mar.

Observa-se também que o grupo $Mg < 1\%$ tem uma população de idade mais jovem, com média da $T_{DM} \sim 2.5Ga$, enquanto que o grupo $Mg > 1\%$ apresenta um conjunto de amostras com T_{DM} maior que 3.0Ga. E isso pode sugerir que a deposição pode ter ocorrido em períodos diferentes para os grupos citados e/ou associados a pulsos hidrotermais em épocas distintas dentro da mesma bacia de deposição. Além disso, compreende-se que as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre correspondem a unidades litológicas que passaram por processos metamórficos e polideformacionais, com intensa geração e interação com fluidos de alta temperatura. Esses processos foram responsáveis por grandes transformações, obliterações e modificações na química original da rocha, mas, por vezes, com preservação das texturas reliquias, a exemplo de rochas ultramáficas associadas às formações ferríferas que preservam textura cumulática e esqueletos de olivina, e que estão substituídas totalmente por sílica criptocristalina.

A idade máxima e possível de 2.5 Ga para deposição do Fe e Si sobre substratos mesoarqueanos ($2.979 \pm 14Ma$ e $2.853 \pm 23Ma$), com base no comportamento isotópico de Nd, expresso através do $\epsilon Nd(2,5)$ é corroborada com os registros de deposições de formações ferríferas associadas à sequência Vulcano-Sedimentar Serra Caiada, com idades de 3.7, 2.7 e 2.4 Ga.

Os depósitos ferríferos, oriundos das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre, abrem perspectiva para o aumento das reservas deste metal para as reservas brasileiras. Ainda que as ocorrências minério de ferro estejam na fácies anfíbolito, as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre são constituídas exclusivamente de magnetita e quartzo, sendo que esse óxido contém valores de FeO_t acima de 95%. Além disso, os resultados obtidos demonstram que as ocorrências desses depósitos são singulares e não apresentam correspondentes na literatura, não se enquadrando, pois, nos depósitos mundialmente conhecidos, por se tratarem de rochas que possuem comportamento de transição entre o neoarqueno e paleoproterozoico.

9 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

As formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre constituem inúmeras ocorrências no extremo norte da Bahia e são monótonas mineralogicamente, tendo a magnetita e a hematita como principais constituintes, além de quartzo e silicato de ferro. Texturalmente são bandadas a brechadas. Estão metamorfizadas na fácies xisto-verde superior a anfibolito médio, tendo clinoanfíbólio da série da *cummingtonita-grunerita* como mineral índice, localizado entre a zona da biotita e da estauroлита e hornblenda como mineral acessório.

Os substratos da bacia de deposição das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre são formados por TTG com idade de 2.979 ± 14 Ma, que sofreram migmatização e metamorfismo em 2.130 ± 22 Ma, além de *augen*-ortognaisse de idade de cristalização de 2.853 ± 23 Ma.

As formações ferríferas ocorrem em cinco tipos petrográficos e em nenhum dos tipos fácies ocorre a presença de carbonato, ou sulfeto. Essas características as tornam singulares e as diferenciam dos grandes registros das principais formações ferríferas como em Animikie, na região do Lago Superior-USA, Hamersley (Australia), Transvall na África do sul.

O estudo das amostras usando a química mineral permitiu dois grupos de magnetita: (a) formando *trend* positivo em relação ao conteúdo de FeO_T , que está associado ao efeito de martitização; e o (b) caracterizado por empobrecimento em FeO_T e enriquecimento em SiO_2 provavelmente por atividade hidrotermal.

A análise dos elementos maiores aponta dois grupos distintos de formações ferríferas, e a separação mostra que o grupo 1 contém valores de $Mg < 1\%$ e, petrograficamente, com presença da *cummingtonita-grunerita* com concentração modal igual ou inferior a 5%; enquanto que o grupo 2 contém valores de $Mg > 1\%$ e a presença da *cummingtonita-grunerita* como principal constituinte nessas formações.

As condições paleoambientais no período da deposição e diagênese/metamorfismo, por meio do estudo de alguns elementos terras raras e suas correlações, demonstram que as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre se caracterizam por apresentar ambiente predominantemente oxidante.

Os estudos dos ETR das formações ferríferas utilizando os normalizadores: Condrito e PAAS demonstram que há dois grupos distintos de formações ferríferas: o grupo $Mg < 1\%$ apresenta os padrões de ETR ligeiramente côncavos e portadores de anomalias positivas de

Eu*, indicando que deposição do ferro e sílica deste grupo de amostras podem estar relacionados as zonas proximais das fumarolas, em que há contribuição dos fluidos hidrotermais de alta. De outro modo, o grupo Mg>1% apresenta elevado enriquecimento ETR, com padrões contendo anomalias negativa de Eu*, indicativa que este grupo de amostras foram depositados em zonas distais da bacia, sob a baixa influência de soluções hidrotermais temperaturas alta e/ou regiões mais afastadas das fumarolas. A razão Y/Ho para o grupo Mg<1% varia entre 30,00 e 43,33; e para o grupo Mg>1%, entre 24,00 e 52,5; dentro do intervalo para os valores da água do mar.

Observa-se também que o grupo Mg<1% tem uma população de idade mais jovem, com média da $T_{DM} \sim 2.5\text{Ga}$, enquanto que o grupo Mg>1% apresenta um conjunto de amostras com T_{DM} maior que 3.0Ga. E isso pode sugerir que a deposição pode ter ocorrido em períodos diferentes para os grupos citados e/ou associados a pulsos hidrotermais em épocas distintas dentro da mesma bacia de deposição. Além disso, compreende-se que as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre correspondem a unidades litológicas que passaram por processos metamórficos e polideformacionais, com intensa geração e interação com fluidos de alta temperatura. Esses processos foram responsáveis por grandes transformações, obliterações e modificações na química original da rocha, mas, por vezes, com preservação das texturas reliquias, a exemplo de rochas ultramáficas associadas às formações ferríferas que preservam textura cumulática e esqueletos de olivina, e que estão substituídas totalmente por sílica criptocristalina.

A idade máxima e possível de 2.5 Ga para deposição do Fe e Si sobre substratos mesoarqueanos ($2.979 \pm 14\text{Ma}$ e $2.853 \pm 23\text{Ma}$), com base no comportamento isotópico de Nd, expresso através do $\epsilon_{Nd}(2,5)$ é corroborada com os registros de deposições de formações ferríferas associadas à sequência Vulcano-Sedimentar Serra Caiada, com idade de 3.7, 2.5 e 2.2 Ga.

Os depósitos ferríferos, oriundos das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre, abrem perspectiva para o aumento das reservas deste metal para as reservas brasileiras. Ainda que as ocorrências minério de ferro estejam na fácies anfíbolito, as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre são constituídas exclusivamente de magnetita e quartzo, sendo que esse óxido contém valores de FeO_t acima de 95%. Além disso, os resultados obtidos demonstram que as ocorrências desses depósitos são singulares e não apresentam correspondentes na literatura, não se enquadrando, pois, nos depósitos

mundialmente conhecidos, por se tratarem de rochas que possuem comportamento de transição entre o neoarqueno e paleoproterozoico.

Os depósitos ferríferos, oriundos das formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre, abrem perspectiva para o aumento das reservas desse metal para as reservas brasileiras. Ainda que o minério de ferro esteja na fácies anfibolito, as formações ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre são constituídas exclusivamente de magnetita e quartzo, sendo que, quimicamente, esse óxido contém valores de FeO_t acima de 95%. Além disso, os resultados obtidos demonstram que as ocorrências desses depósitos são singulares na literatura, não se enquadrando nos depósitos mundialmente conhecidos, por se tratarem de rochas que apresentam comportamento de transição entre o neoarqueno e paleoproterozoico.

Como trabalhos futuros, sugere-se o estudo petrológicos e isotópicos das unidades pertencentes Complexo Lagoa do Alegre a fim de colaborar para o entendimento dessa unidade vulcano-sedimentar, quanto a deposição das formações ferríferas e demais rochas metavulca-sedimentos, além correlacioná-las com outras unidades vulcano-sedimentares da literatura.

Por se tratar de uma unidade vulcano-sedimentar, os estudos metalogenéticos tornam-se essenciais para compreender os processos geológicos formadores de depósitos que, além do ferro, pode abrir perspectivas para a descoberta de outros metais bases. Além disso, faz-se necessário o estudo petrogenético e geocronológico das suítes magmáticas Lagoa do Alegre-Juzeiro e Fazenda Forte, e do Complexo Remanso Sabrinho do tipo TTG. Esses estudos fornecerão base para entendimento sobre a evolução tectônica da área, devido à complexidade de eventos arqueanos a neoproterozóicos que ocorreram na área de estudo.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, S.T.; SWEET, I.P. Tectonic control on third-order sequences in a siliciclastic rampstyle basin: an example from the Roper Superbasin (Mesoproterozoic), northern Australia. **Australian Journal Earth Science**, Australia, v.3, n.47, p.637-657, 2000.

ABDEL-RAHMAN, A.M. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas. **Journal of Petrology**, Quebec, n.35, p.525-541, 1994.

ALEXANDER, B. G.; BAU, M.; ANDERSSON, P.; DULSKI, P. Continentally-derived solutes in shallow Archean seawater: rare earth element and Nd isotope evidence in iron formation from the 2.9Ga Pongola Supergroup, South Africa. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Amsterdam, v.72, n.2. p.378-394, 2008.

ALIBERT, C.; MCCULLOCH, M.T. Rare earth element and neodymium composition of the banded iron formations and associated shales from Hamersley, Western Australia. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Amsterdam, v.57, p.187-204, 1993.

ALIBO, D.S; NOZAKI, Y. Rare Earth Elements in Seawater: Particle association, shale normalization, and Ce oxidation. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Amsterdam, v.63, p.363-372, 1999.

ALMEIDA, F. F. M.. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, n.7, v.4, p. 349-364, 1977.

ALKMIM, F.F. et al. Kinematic evolution of the Araçuaí-West Comgo orogen in Brazil and África: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. **Precambrian Research**, Amsterdam, n.149, p.43-64, 2006.

ANDERS, E.; GREVESSE, N. Abundances of the elements: meteoric and solar. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Amsterdam, v.53, p.197-214, 1989.

ANGELIM, L.A. de A. (Org.). **Petrolina, folha SC.24-V-C**: Estados da Bahia, Pernambuco e Piauí. Brasília: CPRM, 1997. Escala 1:250.000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB

BARBOSA, J.S.F. (Coord.). **Geologia da Bahia**: pesquisa e atualização. Salvador: CBPM, 2012. 2v. (Publicações Especiais, 13). Convênio CBPM/UFBA.

BAU, M.; DULSKI, P. Comparing yttrium and rare earths in hydrothermal fluids from the Mid- Atlantic Ridge: implications for Y and REE behaviour during nearvent mixing and for the Y/Ho ratio of Proterozoic seawater. **Chemical Geology**, Amsterdam, v.155, n.1-2, p.77-90, 1996a.

BAU, M.; DULSKI, P. Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron-formations, Transvaal Supergroup, South Africa. **Precambrian Research**, Amsterdã, v.79, n.1-2, p.37-55, 1996b.

BAU, M., MÖLLER, P.; DULSKI, P. Yttrium and lanthanides in eastern Mediterranean seawater and their fractionation during redox-cycling. **Marine Chemistry**, Amsterdã, v.56, p.123-13, 1997

BAU, M.; MÖLLER, P. Rare earth element systematics of the chemically precipitated component in Early Precambrian iron-formations and the evolution of the terrestrial atmosphere-hydrosphere-lithosphere system. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Amsterdam, v.57, p.2239-2249, 1993

BEKKER, A. et al. O. Iron formation: the sedimentary product of the complex interplay among mantle, tectonic, and biospheric processes. **Economic Geology**, Lancaster, v.105, n.3, p.467-508, 2010.

BELEVTSSEV YA, N.; BELEVTSSEV, R. Ya.; SIROSHTAN, R.I. The Krivoy Rog Basin. In: TRENDALL, A.F.; MORRIS, R.C. (Ed.) **Iron-formation: facts and problems**. Elsevier: Amsterdam, 1982. p.211-252. (Developments in Precambrian Geology, 6).

BOLHAR, R. et al. Characterisation of early Archaean chemical sediments by trace element signatures. *Earth and Planetary Science Letters*, Amsterdam, v.222, n.1, p.43-60, 2004.

CANFIELD, D.E. A new model for Proterozoic ocean chemistry. **Nature**, London, v.396, p.450-453, 1998.

SOUZA, J. D. et al. **Projeto Colômi**: relatório final. Geologia da região do Médio São Francisco. Texto e mapas. Salvador: CPRM, 1979. 3v. Convênio DNPM/CPRM.

DEPAOLO, D. J.; WASSERBURG G. J. Inferences about magma sources and mantle structure from variations of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$. **Geophysical Research Letters**, Washington, v.3, n.12, 1976.

DANTAS, E, L.; NEVES, B. B.; FUCK, R.A. Looking for the oldest rocks South American: Paleoproterozoic orthogneiss of the Sobradinho Block, northernmost foreland of the São Francisco Craton, Petrolina Pernambuco, Brazil. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 7., 2010, Brasília. **Anais...** Brasília, DF, 2010. p.137-140.

DAUPHAS, N. et al. Iron isotope, major and trace element characterization of Early Archean supracrustal rocks from SW Greenland: Protolith identification and metamorphic overprint. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Amsterdam, v.71, p.4745-4770, 2007.

DYMEK, R.F.; KLEIN, C. Chemistry, petrology and origin of banded iron-formation lithologies from the 3800 Ma Isua supracrustal belt, west Greenland. **Precambrian Research**, Amsterdam, v.39, p.247-302, 1988.

EWERS, W.E.; MORRIS, R.C. Studies of the Dales Gorge Member of the Brockman Iron Formation, Western Australia. **Economic Geology**, Lancaster, v.76, p.1929-1953, 1981.

FREI, R. et al. Trace element and isotopic characterization of Neoproterozoic and Paleoproterozoic iron formations in the Black Hills (South Dakota, USA): assessment of chemical change during 2.9–1.9Ga deposition bracketing the 2.4–2.2Ga first rise of atmospheric oxygen. **Precambrian Research**, Amsterdam, v.162, n.3-4, p.441-474, 2008.

FOUSTOUKOS, D.I.; BEKKER, A. Hydrothermal Fe (II) oxidation during phase separation: relevance to the origin of Algoma-type BIFs. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Amsterdam, v.72, Supplement 1, p.A280, 2008.

FRYER, B.J. Rare earth elements in iron-formation. In: TRENDALL, A.F.; MORRIS, R.C. (Ed.) **Iron-Formation: facts and problems**. Amsterdam: Elsevier, 1983. p.345-358.

FRYER, B.J.; FYFE, W.S.; KERRICH, R. Archean volcanogenic oceans. **Chemical Geology**, Amsterdam, v.24, p.25-33, 1979.

GARRELS, R.M.; CHRIST, C.L. Eh-pH Diagrams. In: GARRELS, R. M.; CHRIST, C. L. **Solutions minerals and equilibria**. New York: Harper & Row, 1965. p.172-266.

GIOIA, S.M.C.L; PIMENTEL, M.M. The Sm-Nd isotopic method in the geochronology laboratory of the University of Brasília. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.72, n.2, p.219-245, 2000.

GOLE, M.J.; KLEIN, C. Banded iron-formations through much of Precambrian time. **Journal of Geology**, Chicago, v.89, n.2, p.169-183, 1981.

GROSS, G.A. **Geology of Iron Deposits in Canada: general geology and evaluation of iron deposits**. Ottawa: Geological Survey of Canada, 1965. v.1. (Economic Report, 22).

GROSS, G.A. Tectonic systems and the deposition of iron-formation. **Precambrian Research**, Amsterdam, v.20, p.171-187, 1983.

GROMET, L.P. et al. The "North American shale composite": its compilation, major and trace element characteristics. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Amsterdam, v.48, p.2469-2482, 1984.

GROVES, D.I. et al. Craton-scale distribution of Archaean greenstone gold deposits: predictive capacity of the metamorphic model. **Economic Geology**, Lancaster, v.82, p.2045-2058, 1987.

HOLLAND, H.D. Sedimentary mineral deposits and the evolution of Earth's nearsurface environments. **Economic Geology**, Lancaster, v.100, p.1489-1509, 2005.

HOLLAND, H.D. The oceans: a possible source of iron in iron formations. **Economic Geology**, Lancaster, v.68, p.1169-1172, 1973.

HOLLAND, H.D. **The chemical evolution of the atmosphere and oceans**. New Jersey: Princeton University Press, 1984. p.374-407.

JACOBSEN, S.B.; PIMENTAL-KLOSE, M.R. A Nd isotope study of the Hamersley and Michipicoten banded iron formations: the source of REE and Fe in archaean oceans. **Earth and Planetary Science Letters**, Amsterdam, v.87, p.29-44, 1988.

JAMES, H.L., Precambrian iron-formations: nature, origin, and mineralogic evolution from sedimentation to metamorphism. In: WOLF, K.H.; CHILINGARIAN, G.V. (Ed.) **Diagensis III**. Amsterdam: Elsevier, 1992. p.543-589. (Developments in Sedimentology, 47).

JAMES, H.L. Distribution of Banded Iron-Formations in space and time. In: TRENDALL, A.F.; MORRIS, R.C. (Ed.) **Iron-Formation: facts and problems**. Amsterdam: Elsevier, 1983. p.471-490.

JAMES, H.L.; TRENDALL, A.F. Banded iron formation: distribution in time and paleoenvironmental significance. In: HOLLAND, H.D.; SCHIDLowski, M. (Ed.)

Mineral deposits and the evolution of the Biosphere. New York: Springer-Verlag, 1982. p.199-218.

JAMES, H.L. Chemistry of the iron-rich sedimentary rocks. In: FLEISCHER, M. (Ed.) **Data of Geochemistry.** 6.ed. Washington: USGS, 1966. (Geological Survey Professional Paper 440-N-I).

JAMES, H.L. Sedimentary facies of iron formation. **Economic Geology**, Lancaster, v.49, p.235-293, 1954.

JONES, B.; MANNING, D.A.C. Compariosin of geochemical indices used for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones. **Chemical Geology**, Amsterdam, v.114, p.111-129, 1994.

KLEIN, C. Some Precambrian banded iron formations (BIFs) from around the world: their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin. **American Mineralogist**, Washington, v.90, p.1473-1499, 2005.

KLEIN, C.; LADEIRA, E.A. Geochemistry and mineralogy of Neoproterozoic banded Iron- Formations and some selected, siliceous manganese formations from the Urucum district, Mato Grosso do Sul, Brazil. **Economic Geology**, Lancaster, v.99, p.1233-1244, 2004

KLEIN, C.; LADEIRA, E.A. Petrography and geochemistry of the least altered banded iron formations of the Archean Carajás Formation, Brazil. **Economic Geology**, Lancaster, v.97, p.643-651, 2002

KLEIN, C.; BEUKES, N.J. Proterozoic iron-formations. In: CONDIE K.C. (Ed.) **Proterozoic Crustal Evolution.** Amsterdam: Elsevier, 1992. p.383-418.

KLEIN, C.; BEUKES, N.J. Geochemistry and sedimentology of a facies transition from limestone to iron-formation deposition in the early Proterozoic Transvaal Supergroup, South Africa. **Economic Geology**, Lancaster, v.84, n.7, p.1733-1774, 1989.

KLEIN, C. Diagenesis and metamorphism of Precambrian banded iron-formation. In: TRENDALL, A.F.; MORRIS, R.C. (Ed.) **Iron-Formation: facts and problems.** Amsterdam: Elsevier, 1983. p.417-460.

KLEIN, C. Changes in mineral assemblages with metamorphism of some Precambrian banded iron-formations. **Economic Geology**, Lancaster, v.68, p.1075-1088, 1973.

KRETZ, R. Symbols for rock-forming minerals. **American Mineralogist**, Washington, v.68, p.277-279, 1983.

LEAKE, B. E.; WINCHELL, H. Nomenclature of amphiboles. **American Mineralogist**, Washington, v. 63, n.11-12, p.1023-1052, 1978.

LEITE, C.M.M. (Org.). **Campo Alegre de Lourdes, folha SC-23-X-DIV, Peixe, Folha SC.23-X-DI:** Estado da Bahia. Brasília: CPRM, 1997. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB.

LINDENMAYER, Z.G.; AUX, J. H.; TEIXEIRA, J.B.G. Considerações sobre a origem das formações ferríferas da Formação Carajás, Serra dos Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.31, n.1, p.21-28, 2001.

MANIKYAMBA, C.; BALARAM, V.; NAQVI, S. M. Geochemical signatures of polygenetic origin of a banded iron formation (banded iron-formation) of the Archean Sandurgreenstone belt (schist belt) Karnataka nucleus, Índia. **Precambrian Research**, Amsterdam, v.61,n.1-2, p.137-164, 1993.

MORFORD, J.L.; RUSSELL, A.D.; EMERSON, S. Trace metal evidence for changes in the redox environment associated with the transition from terrigenous clay to diatomaceous sediment, Saanich Inlet, BC. **Marine Geology**, Amsterdam, v.174, n.1-4, p.355-369, 2001.

MORRIS, R. Genetic modelling for banded iron formation of the Hamersley Grupo, Pilbara craton, western Australia. **Precambrian Research**, Amsterdam, v.60, p.243-286, 1993.

SIEVER, R. The silica cycle in the Precambrian. **Geochemica et Cosmochemica Acta**, Amsterdam, v.56, p.3265-3272, 1992.

NACHIT, H. **Contribution à l'étude analytique et expérimentale des biotites des granitoides**: applications typologiques. 1986. 181f. Tese (Doutorado) – Brest, Université de Bretagne Occidentale, 1986.

PECOITS, E. **Edicarian iron formations and carbonates of Uruguay**: paleoceanographic, paleoclimatic and paleobiologic implications. 2010. Tese (Doutorado) - University of Alberta, 2010.

PLANAUSKY, N. et al. Rare earth element and yttrium compositions of Archean and Paleoproterozoic Fe formations revisited: New perspectives on the significance and mechanisms of deposition. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Amsterdam, v.74, n.22, p.6387-6405, 2010.

PICKARD, A.L.; SHRIMP U–Pb zircon ages for the Palaeoproterozoic KurumanIron Formation, Northern Cape Province, South Africa: evidence for simulta-neous BIF deposition on Kaapvaal and Pilbara Cratons. **Precambrian Research**, Amsterdam, v.125, p.275-315, 2003.

PLANAUSKY, N. et al. Rare earth element evidence for redox structure evolution [abs.]: Goldschmidt 2008 Conference, Vancouver, B.C., Canada. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.72, Supplement 1, p. A753, 2008.

POVEROMO, J.J. **Iron Ores**. Pittsburgh, USA: The AISE Steel Foundation, 1999. Disponível em: <<http://jpkc.lut.edu.cn/upload/20120523/20120523181005392.pdf>>. Acesso em: 20 de Maio de 2015

PRADO, F.S; VASCONCELOS, A. M. (Org.). **Barra do Bonito, folha SC.24-V-A-IV**: estados de Piauí e Bahia. Brasília: DNPM, 1991. 160p. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB.

RUDNICK, R.L.; GAO, S. Composition of the continental crust. In: HOLLAND, H.D.; TUREKIAN, K.K. (Ed.) **Treatise on geochemistry**: the crust. A sterdam: Elsevier; Oxford: Pergamon, 2003. v.3, p.1-64. 2003.

SILVA FILHO, C.V.R. **Isótopos de Nd aplicados à datação direta de formações ferríferas paleoarqueanas do maciço são José do Campestre, Rio Grande do Norte-RN**. 2012. 97f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

SILVA, R. C. F. **Evolução e gênese do minério de ferro hidrotermal nos depósitos da Serra Norte, província mineral Carajás**. 2009. 236f. Tese (Doutorado em Geologia Econômica e Aplicada) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SIMONSON, B.M. Sedimentological constraints on the origins of Precambrian iron-formations. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v.96, p.244-252, 1985.

SIMONSON, B.M.; HASSLER, S. Was the deposition of large Precambrian iron formations linked to major marine transgressions? **Journal of Geology**, Chicago, v.104, p.665-676, 1996.

SLACK, J.F.; GRENNE, T.; BEKKER, A. Seafloor-hydrothermal Si-Fe-Mn exhalites in the Pecos greenstone belt, New Mexico, and the redox state of ca. 1720 Ma deep seawater. **Geosphere**, Boulder, v.5, n.3, p.302-314, 2009.

SPEER, J.A. Micas in igneous rocks. In: BAILEY, S. W. (Ed.) **Micas**. Blacksburg: Mineralogical Society of America, 1984. p.299-356. (Reviews in Mineralogy, 13).

SPIER, C. A. **Geoquímica e Gênese das Formações Ferríferas Bandadas e do Minério de Ferro da Mina de Águas Claras, Quadrilátero Ferrífero, MG**. 2005. 298f. Tese (Doutorado em geoquímica e geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ROSIÈRE, C.A.; CHEMALE Jr, F. Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero: uma visão geral e discussão. **Geonomos**, Belo Horizonte, v.8, n.2, p.27-43, 2000.

TANER, M. F.; CHEMAN M. Algoma-type banded iron formation (BIF), Abitibi Greenstone belt, Quebec, Canada. **Ore Geology Reviews**, Amsterdam, v.70, p.1-46, 2015.

TAYLOR, S. R.; MCLENNAN, S. M. **The Continental Crust: its composition and evolution**. Oxford: Blackwell Scientific Publishers, 1985.

TRENDALL, A.F. et al. SHRIMP zircon ages constraining the depositional chronology of the Hamersley Grupo, Western Australia. **Australian Journal of Earth Sciences**, Hornsby, v.51, p.621-644, 2004.

TRENDALL, A.F. The significance of iron-formation in the Precambrian stratigraphic record. In: ALTERMANN, W.; CORCORAN, P.L. **Precambrian Sedimentary Environments: a modern approach to ancient depositional systems**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2002. p.33-66. (Special Publication International Association of Sedimentologists, 33).

TRIBOVILLARD, N. et al. Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: an update. **Chemical Geology**, Amsterdam, v.232, p.12-32, 2006.

VEIZER, J. Geologic evolution of the Archean-Early Proterozoic Earth. In: SCHOPF, J.W. (Ed.) **Earth's Earliest Biosphere**. New Jersey: Princeton University Press, 1983. p.240-259.

WILLIAMS, G.E.; SCHMIDT, P.W.; CLARK, D.A. Paleomagnetism of iron formation from the late Palaeoproterozoic Frere Formation, Earraheedy Basin, Western Australia:

Paleogeographic and tectonic implications. **Precambrian Research**, Amsterdam, v.128, p.367-383, 2004.

WOOD, S.A.; SAMSON, I.M. The hydrothermal geochemistry of tungsten in granitoid environments: I. Relative solubilities of ferberite and scheelite as a function of T, P, pH and NaCl. **Economic Geology**, Lancaster, v.95, p.143-182, 2000,

ZELENOV, K.K. **Transportation and accumulation of iron and aluminum in volcanic provinces of the Pacific**. USSR: Izvestiya Akademia Nauk, 1960. p.47-59. (Geological Series, 8).

APÊNDICE

Tabela de dados das análises de química mineral

Laudos Analíticos dos resultados das análises em rocha total

Laudos Analíticos dos resultados das análises de isótopos Sm/Nd em amostras de formação ferrífera e U-Pb SHRIMP em zircão em otorgnaisses

1. Tabela de dados das análises de química mineral

Tabela 11 - Análises de microsonda representativas de biotita em tonalito/granodiorito -TTG Complexo Remanso Sobradinho

	58B C1 Bt 1 B	58B C1 Bt 1 N	58B C1 Bt 1 B	58B C1 Bt 2 B	58B C1 Bt 2 N	58B C1 Bt 2 B	58B C1 Bt 3 B	58B C1 Bt 3 N	58B C1 Bt 3 B	58B C1 Bt 4 B	58B C1 Bt 4 N	58B C1 Bt 4 B	58B C2 Bt 5 B
SiO2	35.874	35.971	35.583	36.124	36.004	36.056	35.932	35.78	35.936	35.986	35.681	35.621	36.12
TiO2	2.451	2.257	2.895	2.491	2.402	2.747	2.153	3.128	2.311	2.591	2.485	2.844	2.747
Al2O3	16.372	16.219	16.603	16.236	16.413	16.208	16.567	16.221	16.311	16.124	16.21	16.015	16.369
FeO	23.566	23.166	22.929	23.689	23.352	22.93	23.277	23.679	23.586	23.51	23.447	23.534	23.52
MnO	0.231	0.362	0.334	0.256	0.221	0.308	0.369	0.342	0.212	0.311	0.176	0.326	0.346
MgO	8.241	8.196	8.101	8.108	8.337	8.258	8.072	8.082	8.05	8.304	8.072	8.095	8.03
CaO	0.026	0.005	0.009	0.019	0	0	0.024	0.031	0.022	0.01	0.004	0.044	0
Na2O	0.052	0.083	0.076	0.062	0.062	0.041	0.089	0.086	0.086	0.035	0.112	0.082	0.046
K2O	9.207	9.367	9.409	9.306	9.525	9.239	9.212	9.28	9.28	9.415	9.359	9.333	9.147
F	0.553	0.551	0.525	0.533	0.551	0.538	0.545	0.513	0.523	0.574	0.524	0.483	0.597
Cl	0.076	0.052	0.079	0.066	0.037	0.054	0.061	0.066	0.102	0.063	0.04	0.054	0.08
NiO	0.043	0.057	0.031	0.047	0.08	0	0.016	0	0.027	0.037	0.059	0.002	0.084
Li2O*	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
H2O*	3.60	3.60	3.62	3.62	3.63	3.62	3.60	3.64	3.60	3.60	3.60	3.63	3.60
Subtotal	100.30	99.88	100.19	100.56	100.61	100.00	99.92	100.85	100.05	100.56	99.77	100.06	100.69
O=F,Cl	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23	0.24	0.26	0.23	0.22	0.27
Total	100.05	99.64	99.95	100.32	100.37	99.76	99.68	100.62	99.80	100.31	99.54	99.84	100.42
Si	5.536	5.572	5.493	5.563	5.540	5.563	5.559	5.500	5.562	5.546	5.541	5.521	5.549
Al iv	2.464	2.428	2.507	2.437	2.460	2.437	2.441	2.500	2.438	2.454	2.459	2.479	2.451
Soma de T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al vi	0.514	0.534	0.514	0.510	0.516	0.511	0.580	0.439	0.538	0.474	0.507	0.447	0.514
Ti	0.284	0.263	0.336	0.288	0.278	0.319	0.250	0.362	0.269	0.300	0.290	0.332	0.317
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	3.042	3.001	2.960	3.051	3.005	2.959	3.012	3.044	3.053	3.030	3.045	3.051	3.022
Mn	0.030	0.048	0.044	0.033	0.049	0.040	0.048	0.045	0.028	0.041	0.023	0.043	0.045
Mg	1.896	1.893	1.864	1.861	1.912	1.899	1.862	1.852	1.857	1.908	1.868	1.870	1.839
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ga	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.005	0.007	0.004	0.006	0.010	0.000	0.002	0.000	0.003	0.005	0.007	0.000	0.010
Cu	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Li*	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.004	0.001	0.001	0.003	0.000	0.000	0.004	0.005	0.004	0.002	0.001	0.007	0.000
Na	0.016	0.025	0.023	0.019	0.018	0.012	0.027	0.026	0.026	0.010	0.034	0.025	0.014
K	1.812	1.851	1.853	1.828	1.869	1.818	1.818	1.820	1.832	1.851	1.854	1.845	1.793
Sr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Rb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cs	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
OH*	3.710	3.716	3.723	3.723	3.722	3.723	3.717	3.733	3.717	3.704	3.732	3.749	3.689
F	0.270	0.270	0.256	0.260	0.268	0.263	0.267	0.249	0.256	0.280	0.257	0.237	0.290
Cl	0.020	0.014	0.021	0.017	0.010	0.014	0.016	0.017	0.027	0.016	0.011	0.014	0.021
TOTAL	27.604	27.622	27.598	27.599	27.638	27.559	27.602	27.591	27.610	27.620	27.630	27.619	27.554
Y total	5.772	5.745	5.722	5.749	5.750	5.729	5.754	5.741	5.748	5.758	5.741	5.742	5.748
X total	1.832	1.877	1.877	1.849	1.888	1.831	1.848	1.850	1.862	1.863	1.888	1.877	1.806
Al total	2.978	2.961	3.021	2.947	2.977	2.948	3.021	2.939	2.976	2.929	2.967	2.926	2.964
Fe/Fe+Mg	0.616	0.613	0.614	0.621	0.611	0.609	0.618	0.622	0.622	0.614	0.620	0.620	0.622

Tabela 11 - Análises de microsonda representativas de biotita em tonalito/granodiorito -TTG Complexo Remanso Sobradinho

58B_C2_Bt 5 N	58B_C2_Bt 5 B	58B_C2_Bt 6 B	58B_C2_Bt 6 N	58B_C2_Bt 6 B	58B_C2_Bt 7 B	58B_C2_Bt 7 N	58B_C2_Bt 7 B	58B_C3_Bt 8 B	58B_C3_Bt 8 N	58B_C3_Bt 8 B	58B_C3_Bt 9 B	58B_C3_Bt 9 N	58B_C3_Bt 9 B
35.492	35.962	35.938	35.341	35.908	35.889	35.616	35.967	35.964	35.572	35.671	35.78	35.73	35.672
2.67	2.284	2.984	2.057	2.536	1.802	2.521	2.249	2.43	2.708	2.396	2.551	2.882	2.177
16.194	16.346	16.261	16.194	16.35	16.2	15.949	15.788	16.411	16.012	16.057	16.131	16.157	16.335
23.187	22.918	23.406	23.14	22.78	23.409	23.108	23.275	23.262	23.59	23.549	23.267	23.424	23.744
0.401	0.322	0.181	0.219	0.336	0.399	0.338	0.293	0.343	0.317	0.315	0.434	0.369	0.414
8.111	8.114	8.245	8.214	8.14	8.352	8.253	8.062	8.315	8.111	8.114	8.341	8.086	8.096
0.002	0	0	0.027	0.046	0.024	0.009	0.031	0	0.038	0.018	0	0.023	0.057
0.085	0.074	0.09	0.039	0.108	0.121	0.093	0.122	0.093	0.102	0.102	0.076	0.163	0.095
9.197	9.261	9.296	9.374	9.248	9.244	9.157	9.085	9.375	9.333	9.243	9.528	9.318	9.122
0.529	0.54	0.438	0.603	0.501	0.694	0.558	0.633	0.611	0.575	0.478	0.418	0.597	0.611
0.057	0.042	0.086	0.091	0.073	0.062	0.064	0.101	0.08	0.069	0.06	0.07	0.106	0.052
0.043	0.072	0	0.101	0.025	0	0	0.074	0	0.074	0.045	0.008	0	0.045
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
3.59	3.60	3.67	3.52	3.62	3.51	3.56	3.52	3.58	3.57	3.61	3.66	3.57	3.56
99.56	99.53	100.60	98.92	99.67	99.71	99.23	99.20	100.49	100.03	99.66	100.27	100.43	99.98
0.24	0.24	0.20	0.27	0.23	0.31	0.25	0.29	0.28	0.26	0.21	0.19	0.28	0.27
99.32	99.30	100.39	98.64	99.44	99.40	98.98	98.91	100.21	99.77	99.45	100.08	100.15	99.71
5.521	5.578	5.523	5.541	5.560	5.579	5.554	5.613	5.540	5.522	5.548	5.530	5.518	5.535
2.479	2.422	2.477	2.459	2.440	2.421	2.446	2.387	2.460	2.478	2.452	2.470	2.482	2.465
8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
0.490	0.567	0.469	0.534	0.544	0.547	0.486	0.517	0.519	0.452	0.492	0.469	0.460	0.523
0.312	0.266	0.345	0.243	0.295	0.211	0.296	0.264	0.282	0.316	0.280	0.297	0.335	0.254
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.016	2.973	3.008	3.034	2.950	3.043	3.014	3.038	2.997	3.063	3.063	3.008	3.026	3.081
0.053	0.042	0.024	0.029	0.044	0.053	0.045	0.039	0.045	0.042	0.042	0.057	0.048	0.054
1.881	1.876	1.889	1.920	1.879	1.935	1.919	1.876	1.909	1.877	1.881	1.922	1.862	1.873
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.005	0.009	0.000	0.013	0.003	0.000	0.000	0.009	0.002	0.009	0.006	0.001	0.000	0.006
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.005	0.008	0.004	0.002	0.005	0.000	0.006	0.003	0.000	0.004	0.009
0.026	0.022	0.027	0.012	0.032	0.036	0.028	0.037	0.028	0.017	0.031	0.023	0.049	0.029
1.825	1.832	1.822	1.875	1.827	1.833	1.821	1.808	1.842	1.848	1.834	1.878	1.836	1.805
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.725	3.724	3.765	3.677	3.735	3.642	3.708	3.661	3.681	3.700	3.749	3.777	3.681	3.686
0.260	0.265	0.213	0.299	0.245	0.341	0.275	0.312	0.298	0.282	0.235	0.204	0.292	0.300
0.015	0.011	0.022	0.024	0.019	0.016	0.017	0.027	0.021	0.018	0.016	0.018	0.028	0.014
27.608	27.588	27.584	27.663	27.582	27.661	27.609	27.593	27.624	27.630	27.632	27.654	27.618	27.634
5.757	5.734	5.735	5.772	5.715	5.788	5.758	5.743	5.754	5.758	5.764	5.753	5.730	5.791
1.851	1.855	1.849	1.891	1.867	1.873	1.851	1.851	1.870	1.871	1.868	1.901	1.888	1.843
2.969	2.989	2.946	2.993	2.984	2.968	2.932	2.904	2.980	2.930	2.944	2.939	2.941	2.988
0.616	0.613	0.614	0.612	0.611	0.611	0.611	0.618	0.611	0.620	0.620	0.610	0.619	0.622

Tabela 11 - Análises de microsonda representativas de biotita em tonalito/granodiorito -TTG Complexo Remanso Sobradinho

58B_C3_Bt 10 B	58B_C3_Bt 10 N	58B_C3_Bt 10 B	58B_C4_Bt 11 B	58B_C4_Bt 11 N	58B_C4_Bt 11 B	58B_C4_Bt 12 B	58B_C4_Bt 12 N	58B_C4_Bt 12 B	58B_C4_Bt 13 B	58B_C4_Bt 13 N	58B_C4_Bt 13 B
35.618	36.405	35.842	36.094	35.721	35.214	35.784	35.739	35.938	35.917	35.672	36.252
2.268	1.414	2.31	1.869	1.956	2.165	2.144	1.83	2.145	2.85	2.63	2.069
16.139	16.043	16.306	16.134	15.853	15.902	16.394	16.424	16.484	16.315	16.197	16.183
23.169	23.609	23.839	23.237	23.915	23.192	23.205	23.145	23.024	22.758	23.415	23.137
0.27	0.369	0.263	0.372	0.276	0.253	0.316	0.356	0.295	0.363	0.343	0.386
8.304	8.325	8.33	8.477	8.359	8.465	8.494	8.573	8.32	8.119	8.306	8.337
0.007	0.024	0	0.04	0.013	0.042	0	0	0.041	0	0.008	0
0.105	0.144	0.105	0.076	0.095	0.079	0.03	0.051	0.047	0.102	0.054	0.014
9.148	9.149	9.267	9.149	9.317	8.952	9.288	9.183	9.153	9.457	9.398	9.369
0.488	0.458	0.591	0.608	0.515	0.514	0.639	0.608	0.627	0.575	0.559	0.418
0.092	0.092	0.096	0.061	0.083	0.076	0.039	0.031	0.066	0.06	0.066	0.054
0.117	0.047	0.049	0.08	0	0.047	0.041	0	0.033	0	0.053	0.059
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.59	3.62	3.58	3.56	3.58	3.55	3.56	3.56	3.56	3.60	3.60	3.67
99.32	99.70	100.58	99.76	99.69	98.45	99.93	99.53	99.73	100.11	100.30	99.95
0.23	0.21	0.27	0.27	0.24	0.23	0.28	0.26	0.28	0.26	0.25	0.19
99.09	99.49	100.31	99.49	99.45	98.22	99.66	99.27	99.45	99.86	100.05	99.76
5.549	5.648	5.529	5.595	5.567	5.538	5.540	5.551	5.564	5.544	5.515	5.602
2.451	2.352	2.471	2.405	2.433	2.462	2.460	2.449	2.436	2.456	2.485	2.398
8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
0.513	0.582	0.494	0.543	0.480	0.485	0.532	0.558	0.572	0.512	0.467	0.550
0.266	0.165	0.268	0.218	0.229	0.256	0.250	0.214	0.250	0.331	0.306	0.240
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.019	3.063	3.075	3.012	3.117	3.050	3.005	3.007	2.981	2.938	3.028	2.990
0.036	0.048	0.034	0.049	0.036	0.034	0.041	0.047	0.039	0.047	0.045	0.051
1.929	1.925	1.916	1.959	1.942	1.984	1.960	1.985	1.920	1.868	1.914	1.920
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.015	0.006	0.006	0.010	0.000	0.006	0.005	0.004	0.004	0.000	0.007	0.007
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.001	0.004	0.000	0.007	0.002	0.007	0.000	0.000	0.007	0.000	0.001	0.000
0.032	0.043	0.031	0.023	0.029	0.024	0.009	0.015	0.014	0.031	0.016	0.004
1.818	1.810	1.823	1.809	1.852	1.796	1.834	1.819	1.807	1.862	1.853	1.847
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.735	3.751	3.687	3.686	3.724	3.724	3.677	3.693	3.676	3.704	3.709	3.782
0.240	0.225	0.288	0.298	0.254	0.256	0.313	0.299	0.307	0.281	0.273	0.204
0.024	0.024	0.025	0.016	0.022	0.020	0.010	0.008	0.017	0.016	0.017	0.014
27.628	27.647	27.648	27.629	27.688	27.642	27.636	27.649	27.593	27.588	27.638	27.609
5.777	5.789	5.793	5.791	5.805	5.816	5.793	5.814	5.765	5.695	5.767	5.758
1.851	1.858	1.855	1.838	1.883	1.827	1.843	1.835	1.828	1.892	1.871	1.851
2.964	2.934	2.965	2.948	2.912	2.948	2.992	3.007	3.008	2.968	2.952	2.948
0.610	0.614	0.616	0.606	0.616	0.606	0.605	0.602	0.608	0.611	0.613	0.609

Tabela 10 - Análises de microsonda representativas de anfibólios magnetita anfibólito do Complexo Lagoa do Alegre

Sample number	05B_C1_An 1 B	05B_C1_An 1 N	05B_C1_An 1 B	05B_C1_An 2 B	05B_C1_An 2 N	05B_C1_An 2 B	05B_C1_An 3 B	05B_C1_An 3 N	05B_C1_An 3 B	05B_C1_An 4 B	05B_C1_An 4 N
SiO2	50.698	51.062	54.025	50.029	50.675	50.586	55.558	51.313	55.551	52.09	51.678
TiO2	0.295	0.374	0.239	0.702	0.363	0.49	0	0.265	0.141	0.42	0.349
Al2O3	6.764	6.721	3.918	7.069	6.676	6.854	6.085	6.085	6.231	5.51	6.278
FeO	11.119	10.985	10.54	11.63	11.734	11.258	20.87	10.579	21.206	10.624	10.567
MnO	0.16	0.178	0.163	0.067	0.169	0.057	0.57	0.181	0.408	0.173	0.195
MgO	16.142	16.257	18.239	15.866	16.135	16.109	19.53	16.947	19.735	16.98	16.547
CaO	11.805	11.806	11.54	11.713	11.565	11.917	1.197	11.833	0.799	12.019	12.038
Na2O	0.895	0.936	0.58	1.013	0.944	0.959	0.033	0.734	0.065	0.837	0.835
K2O	0.307	0.356	0.077	0.353	0.331	0.029	0.029	0.321	0.022	0.23	0.297
F	0.235	0.234	0.177	0.244	0.244	0.264	0.152	0.202	0.253	0.184	0.214
Cl	0.014	0.009	0.028	0.023	0.018	0.013	0.028	0.027	0	0	0.018
NiO	0.022	0.12	0.004	0.079	0.035	0.045	0.039	0.047	0.12	0.004	0.12
Reformatted oxide %											
SiO2	50.70	51.06	54.03	50.03	50.68	50.59	55.56	51.31	55.55	52.09	51.68
TiO2	0.30	0.37	0.24	0.70	0.36	0.49	0	0.27	0.14	0.42	0.35
Al2O3	6.76	6.72	3.92	7.07	6.68	6.85	6.08	6.09	6.23	5.51	6.28
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe2O3	6.55	6.38	11.71	12.92	13.04	12.51	23.19	11.76	23.57	11.81	11.74
FeO	5.22	5.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.16	0.18	0.16	0.07	0.17	0.06	0.57	0.18	0.41	0.17	0.20
MgO	16.14	16.26	18.24	15.87	16.14	16.11	19.53	16.95	19.74	16.98	16.55
NiO	0.02	0.12	0.00	0.08	0.04	0.05	0.04	0.05	0.12	0.00	0.12
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Li2O* (not implemented)											
CaO	11.81	11.81	11.54	11.71	11.57	11.91	1.20	11.83	0.80	12.02	12.04
Na2O	0.90	0.94	0.58	1.01	0.94	0.73	0.03	0.70	0.07	0.84	0.84
K2O	0.31	0.36	0.08	0.26	0.35	0.33	0.03	0.32	0.02	0.23	0.30
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PbO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.24	0.23	0.18	0.24	0.24	0.26	0.15	0.20	0.25	0.18	0.21
Cl	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02
H2O*	2.02	2.03	2.11	2.04	2.05	2.04	2.12	2.06	2.08	2.09	2.07
O=F,Cl	101.13	101.71	102.81	102.03	102.26	102.17	102.73	101.77	102.98	102.36	102.38
Total	0.10	0.10	0.08	0.11	0.11	0.07	0.07	0.09	0.11	0.08	0.09
	101.03	101.61	102.73	101.92	102.16	102.06	102.66	101.68	102.87	102.28	102.29
No. of oxygens	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Si	7.132	7.143	7.358	6.946	7.014	7.002	7.672	7.105	7.555	7.166	7.115
Aliv	0.868	0.857	0.629	1.054	0.986	0.998	0.046	0.895	0.037	0.834	0.885
Alvi	0.254	0.251	0.000	0.102	0.103	0.121	0.000	0.098	0.000	0.060	0.133
Ti	0.031	0.039	0.024	0.073	0.038	0.051	0.000	0.028	0.014	0.043	0.036
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3+	0.694	0.671	1.201	1.350	1.358	1.303	2.379	1.225	2.412	1.217	1.217
Fe2+	0.614	0.614	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.019	0.021	0.019	0.008	0.007	0.066	0.021	0.047	0.020	0.023	0.023
Mg	3.385	3.390	3.703	3.284	3.329	3.324	3.968	3.498	4.001	3.483	3.396
Ni	0.002	0.014	0.000	0.009	0.004	0.005	0.004	0.013	0.000	0.013	0.013
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Li* (not implemented)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	1.779	1.769	1.684	1.742	1.715	1.767	0.175	1.756	0.116	1.772	1.776
Na	0.244	0.254	0.153	0.273	0.253	0.257	0.009	0.197	0.017	0.223	0.223
K	0.055	0.064	0.013	0.046	0.062	0.058	0.005	0.057	0.004	0.040	0.052
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F	0.105	0.104	0.076	0.107	0.107	0.116	0.066	0.088	0.109	0.080	0.093
Cl	0.003	0.002	0.006	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.000	0.005	0.004
OH*	1.892	1.894	1.917	1.887	1.889	1.881	1.930	1.905	1.891	1.915	1.903
Total	17.079	17.087	16.786	16.887	16.883	16.894	16.223	16.885	16.217	16.864	16.869
Calculation scheme	Σ13	Σ13	Σ13	Σ13	Σ13	Σ13	Σ15	Σ13	Σ13	Σ13	Σ13
Amphibole group	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Fe-Mg-Mn	Ca	Ca	Ca	Ca
(Ca+Mg) (B)	2.000	2.000	1.937	2.000	1.968	2.000	0.164	1.953	0.134	1.995	1.999
Na (B)	0.221	0.231	0.153	0.258	0.253	0.233	0.009	0.197	0.017	0.223	0.223
(Na+K) (A)	0.079	0.087	0.013	0.061	0.062	0.083	0.005	0.057	0.004	0.040	0.052
Mg/(Mg+Fe2)	0.846	0.847	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Fe3/(Fe3+Alvi)	0.732	0.728	1.000	0.930	0.930	0.915	1.000	0.926	1.000	0.953	0.901
Sum of S2	13.000	13.000	12.935	12.826	12.852	12.811	14.034	12.876	14.079	12.829	12.818

Tabela 10 - Análises de microsonda representativas de anfíbios magnetita anfibolito do Complexo Lagoa do Alegre

05B_C1_An 4 B	05B_C1_An 5 B	05B_C1_An 5 N	05B_C1_An 5 B	05B_C1_An 6 N	05B_C1_An 6 B	05B_C1_C1 4	05B_C2_An 7 B	05B_C2_An 7 N	05B_C2_An 7 B	05B_C2_An 8 B	05B_C2_An 8 N
53.362	54.165	51.06	52.628	49.73	56.208	28.388	55.342	50.665	54.065	50.479	49.974
0.199	0.196	0.344	0.304	0.553	0.014	0	0	0.355	0.08	0.659	0.374
4.426	4.069	6.39	5.557	6.857	20.341	0	2.653	7.238	3.868	7.334	7.2
10.58	9.941	11.157	10.817	11.364	9.121	15.687	10.052	11.236	10.102	11.372	11.459
0.207	0.128	0.079	0.184	0.059	0.153	0.085	0.14	0.09	0.193	0.2	0.227
17.763	17.757	16.417	17.173	15.838	19.296	23.523	18.564	15.682	18.067	15.749	15.735
11.869	12.013	11.814	11.814	11.438	11.81	0.059	11.583	11.592	11.617	11.808	11.747
0.614	0.49	0.771	0.691	0.829	0.192	0.09	0.37	0.916	0.524	0.855	0.979
0.084	0.107	0.317	0.21	0.415	0.07	0.061	0.063	0.368	0.116	0.344	0.359
0.249	0.177	0.282	0.205	0.156	0.213	0.136	0.129	0.164	0.186	0.22	0.27
0	0.011	0.005	0.028	0.011	0	0.018	0.002	0.003	0.031	0.01	0.016
0.01	0	0.093	0.071	0	0.096	0.153	0.051	0	0.043	0.083	0.067
05B_C1_An 4 B	05B_C1_An 5 B	05B_C1_An 5 N	05B_C1_An 5 B	05B_C1_An 6 N	05B_C1_An 6 B	05B_C1_C1 4	05B_C2_An 7 B	05B_C2_An 7 N	05B_C2_An 7 B	05B_C2_An 8 B	05B_C2_An 8 N
53.36	54.17	51.06	52.63	49.73	56.21	28.39	55.34	50.67	54.07	50.48	49.97
0.20	0.20	0.34	0.30	0.55	0.01	0.00	0.00	0.36	0.08	0.66	0.37
4.43	4.07	6.39	5.56	6.86	1.61	20.34	2.65	7.24	3.87	7.33	7.20
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11.76	11.05	12.40	12.02	12.63	10.14	17.43	11.17	12.49	11.23	12.64	12.73
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.21	0.13	0.08	0.18	0.06	0.15	0.09	0.14	0.09	0.19	0.20	0.23
17.76	17.76	16.42	17.17	15.84	19.30	23.52	18.56	15.68	18.07	15.75	15.74
0.01	0.00	0.09	0.07	0.10	0.00	0.15	0.05	0.04	0.08	0.07	0.07
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11.87	12.01	11.81	11.90	11.44	11.81	0.06	11.58	11.59	11.62	11.81	11.75
0.61	0.49	0.77	0.69	0.83	0.19	0.07	0.37	0.92	0.52	0.86	0.98
0.08	0.11	0.32	0.21	0.42	0.07	0.06	0.06	0.37	0.12	0.34	0.36
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	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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.18	0.28	0.21	0.16	0.21	0.14	0.13	0.16	0.19	0.22	0.27
0.00	0.01	0.00	0.03	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.01	0.02
2.07	2.11	2.03	2.09	2.06	2.10	1.86	2.14	2.08	2.09	2.06	2.02
102.61	102.27	102.00	103.06	100.57	101.89	92.15	102.20	101.64	102.11	102.44	101.70
0.10	0.08	0.12	0.09	0.07	0.09	0.05	0.05	0.07	0.07	0.09	0.12
102.51	102.19	101.88	102.97	100.50	101.80	92.08	102.15	101.57	102.02	102.35	101.59
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
7.299	7.403	7.068	7.185	6.989	7.669	4.416	7.548	7.030	7.405	6.969	6.963
0.701	0.597	0.932	0.815	1.011	0.259	3.584	0.426	0.970	0.595	1.031	1.037
0.013	0.058	0.111	0.079	0.125	0.000	0.145	0.000	0.214	0.030	0.162	0.145
0.020	0.020	0.036	0.031	0.058	0.001	0.000	0.000	0.037	0.008	0.068	0.039
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.210	1.136	1.292	1.235	1.336	1.041	2.041	1.147	1.304	1.157	1.313	1.335
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.024	0.015	0.009	0.021	0.018	0.007	0.011	0.016	0.022	0.023	0.027	0.027
3.622	3.618	3.388	3.495	3.318	3.925	5.455	3.775	3.244	3.689	3.241	3.268
0.001	0.000	0.010	0.008	0.000	0.011	0.019	0.006	0.000	0.005	0.009	0.008
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.739	1.759	1.752	1.740	1.722	1.726	0.010	1.693	1.723	1.705	1.747	1.754
0.163	0.130	0.207	0.183	0.226	0.051	0.027	0.098	0.246	0.139	0.229	0.264
0.015	0.019	0.056	0.037	0.074	0.012	0.012	0.065	0.020	0.061	0.064	0.064
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.108	0.077	0.123	0.089	0.069	0.092	0.067	0.056	0.072	0.081	0.096	0.119
0.000	0.003	0.000	0.006	0.003	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.004
1.892	1.921	1.875	1.905	1.928	1.908	1.928	1.944	1.927	1.912	1.902	1.877
16.807	16.755	16.861	16.829	16.867	16.712	17.719	16.719	16.845	16.775	16.854	16.904
$\Sigma 13$	$\Sigma 15$	$\Sigma 13$									
Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Fe-Mg-Mn	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
1.922	1.989	1.989	1.923	1.948	1.771	0.910	1.971	1.944	1.976	1.926	2.000
0.163	0.130	0.207	0.183	0.226	0.051	0.000	0.098	0.246	0.139	0.229	0.246
0.015	0.019	0.056	0.037	0.074	0.012	0.039	0.011	0.065	0.020	0.061	0.082
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.990	0.951	0.921	0.940	0.914	1.000	0.934	1.000	0.859	0.875	0.890	0.902
12.890	12.848	12.845	12.870	12.844	12.922	15.670	12.918	12.810	12.911	12.818	12.822

Tabela 09 - Análises de microsonda representativas anfíbolos em metaltramáfica hidrotermalizada do Complexo Lagoa do Alegre

Sample number	93A_C1_An 1	93A_C1_An 2	93A_C1_An 3	93A_C1_An 4	93A_C1_An 5	93A_C1_An 6	93A_C3_An 12	93A_C2_An 7 B	93A_C2_An 7 N	93A_C2_An 7 B	93A_C2_An 8 B	93A_C2_An 8 N	93A_C2_An 8 B	93A_C2_An 9 B	93A_C2_An 9 N
SiO2	58.829	59.113	59.01	58.691	59.544	59.138	59.022	58.292	58.738	58.049	58.004	58.576	58.903	58.707	58.737
TiO2	0.092	0.014	0	0.245	0.214	0	0.173	0	0.086	0	0	0.25	0.041	0.117	0.011
Al2O3	0.688	0.577	0.467	0.631	0.37	0.248	0.249	1.001	0.656	0.864	0.38	0.614	0.431	0.792	0.518
FeO	2.283	1.703	2.062	1.719	1.815	2.271	2.186	1.919	1.824	1.892	2.122	1.827	1.962	1.767	1.646
MnO	0.17	0.089	0.166	0.181	0.14	0.092	0.135	0.131	0.159	0.115	0.07	0.203	0.107	0.106	0.08
MgO	24.083	24.322	24.418	24.022	23.805	23.792	23.836	24.025	24.273	24.466	23.826	24.067	24.509	24.115	24.311
CaO	12.805	13.062	12.841	13.066	12.642	13.025	13.156	12.975	13.066	13.151	12.741	12.927	12.91	13.041	12.926
Na2O	0.155	0.151	0.178	0.121	0.107	0.042	0.153	0.205	0.155	0.205	0.129	0.119	0.095	0.26	0.155
K2O	0.076	0.017	0.05	0.048	0.026	0.028	0.018	0.032	0.026	0.087	0.037	0.028	0.055	0.027	0.038
F	0.356	0.308	0.324	0.203	0.272	0.401	0.221	0.3	0.303	0.396	0.315	0.165	0.318	0.181	0.288
Cl	0	0.007	0.003	0.009	0	0	0.006	0.015	0.012	0.003	0.024	0	0	0	0
NiO	0	0	0	0	0	0	0	0	0.053	0.084	0	0	0.002	0	0.016
Reformatted oxide %															
SiO2	58.83	59.11	59.01	58.69	59.54	59.14	59.02	58.29	58.74	58.05	58.00	58.58	58.90	58.71	58.74
TiO2	0.09	0.01	0.00	0.25	0.21	0.00	0.17	0.00	0.09	0.00	0.00	0.25	0.04	0.12	0.01
Al2O3	0.69	0.58	0.47	0.63	0.37	0.25	0.26	1.00	0.66	0.86	0.38	0.61	0.43	0.79	0.52
Cr2O3	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
Fe2O3	2.54	1.89	2.29	1.91	2.02	2.52	2.43	2.13	2.03	2.10	2.36	2.03	2.18	1.96	1.83
FeO	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
MnO	0.17	0.09	0.17	0.18	0.14	0.09	0.14	0.13	0.16	0.12	0.07	0.20	0.11	0.11	0.08
MgO	24.08	24.32	24.42	24.02	23.81	23.79	23.84	24.03	24.27	24.47	23.83	24.07	24.51	24.12	24.31
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
ZnO	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
Li2O* (not implemented)															
CaO	12.81	13.06	12.84	13.07	12.64	13.03	13.16	12.98	13.07	13.15	12.74	12.93	12.91	13.04	12.93
Na2O	0.16	0.15	0.18	0.12	0.11	0.04	0.16	0.15	0.16	0.21	0.13	0.12	0.10	0.26	0.16
K2O	0.08	0.02	0.05	0.05	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.09	0.04	0.03	0.06	0.03	0.04
BaO	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
SrO	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
PbO	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
F	0.36	0.31	0.32	0.20	0.27	0.40	0.22	0.30	0.30	0.40	0.32	0.17	0.32	0.18	0.29
Cl	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
H2O*	2.07	2.09	2.09	2.13	2.11	2.04	2.13	2.08	2.09	2.04	2.04	2.15	2.09	2.15	2.09
O=F,Cl	101.86	101.65	101.84	101.26	101.25	101.33	101.41	101.14	101.64	101.56	99.93	101.13	101.64	101.46	101.00
Total	101.71	101.51	101.70	101.17	101.13	101.16	101.32	101.01	101.51	101.40	99.79	101.06	101.50	101.38	100.88
No. of oxygens	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Structural formulae															
Si	7.874	7.910	7.894	7.888	7.980	7.949	7.926	7.852	7.874	7.809	7.907	7.881	7.891	7.874	7.909
Al iv	0.109	0.090	0.074	0.100	0.020	0.039	0.039	0.148	0.104	0.137	0.061	0.097	0.068	0.125	0.082
Al vi	0.000	0.001	0.000	0.000	0.039	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.009	0.001	0.000	0.025	0.022	0.000	0.017	0.000	0.009	0.000	0.000	0.025	0.004	0.012	0.001
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3+	0.256	0.191	0.231	0.193	0.203	0.255	0.245	0.216	0.204	0.213	0.242	0.206	0.220	0.198	0.185
Fe2+	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.019	0.010	0.019	0.021	0.016	0.010	0.015	0.015	0.018	0.013	0.008	0.023	0.012	0.012	0.009
Mg	4.805	4.852	4.869	4.813	4.756	4.767	4.772	4.824	4.851	4.906	4.842	4.827	4.895	4.822	4.880
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Li* (not implemented)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	1.836	1.873	1.840	1.881	1.815	1.876	1.893	1.872	1.877	1.895	1.861	1.864	1.853	1.874	1.865
Na	0.040	0.039	0.046	0.032	0.011	0.040	0.011	0.040	0.053	0.034	0.034	0.034	0.025	0.068	0.040
K	0.013	0.003	0.009	0.008	0.004	0.005	0.003	0.005	0.004	0.015	0.006	0.005	0.009	0.005	0.007
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F	0.151	0.130	0.137	0.086	0.115	0.170	0.094	0.128	0.128	0.168	0.136	0.070	0.135	0.077	0.123
Cl	0.000	0.002	0.001	0.002	0.000	0.000	0.001	0.003	0.003	0.001	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000
OH*	1.849	1.868	1.862	1.912	1.885	1.830	1.905	1.869	1.831	1.859	1.859	1.930	1.865	1.923	1.877
Total	16.961	16.969	16.981	16.961	16.883	16.912	16.922	16.984	16.986	17.051	16.962	16.960	16.978	16.989	16.980
Calculation scheme	Σ13	Σ13	Σ13	Σ13	Σ13	Σ13	Σ13	Σ13	Σ13						
Amphibole group															
(Ca+Na) (B)	1.877	1.912	1.887	1.913	1.843	1.886	1.904	1.912	1.913	1.895	1.878	1.917	1.895	1.942	1.905
Na (B)	0.040	0.039	0.046	0.032	0.028	0.011	0.040	0.040	0.040	0.034	0.031	0.025	0.068	0.040	0.040
(Na+K) (A)	0.013	0.003	0.009	0.008	0.004	0.005	0.003	0.005	0.005	0.051	0.006	0.005	0.009	0.005	0.007
Mg/(Mg+Fe2)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Fe3/(Fe3+Alvi)	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096
Sum of S2	13.072	13.054	13.086	13.039	13.036	13.021	13.015	13.066	13.065	13.087	13.060	13.060	13.091	13.043	13.068

Tabela 09 - Análises de microsonda representativas anfíbolos em metaltramáfica hidrotermalizada do Complexo Lagoa do Alegre

93A_C2_An 9 B	93A_C3_An 10 B	93A_C3_An 10 B	93B_C3_An 1	93B_C3_An 2	93B_C2_An 3	93B_C2_An 4	93B_C2_An 5	93B_C2_An 6	93B_C1_An 7
59.39	58.833	58.179	57.938	58.128	58.062	58.644	58.197	58.113	57.804
0	0	0.061	0.016	0	0.031	0	0	0.131	0
0.509	0.378	0.42	1.293	1.138	1.02	0.838	0.895	0.645	1.007
1.943	1.829	1.653	2.085	1.982	2.104	2.053	2.117	2.199	2.125
0.172	0.222	0.23	0.095	0.136	0.177	0.047	0.003	0.165	0.079
24.218	23.711	24.623	23.601	23.471	23.62	23.469	23.31	23.663	22.998
12.658	12.79	13.138	13.29	13.193	13.318	13.099	13.39	13.049	12.996
0.171	0.123	0.148	0.238	0.205	0.155	0.086	0.178	0.096	0.187
0.052	0.016	0.063	0.037	0.052	0.037	0.038	0.062	0.069	0.079
0.33	0.362	0.235	0.312	0.339	0.295	0.333	0.325	0.33	0.29
0.003	0.016	0.016	0	0.011	0	0	0.004	0.008	0.01
0	0	0	0	0.008	0	0.047	0	0	0.047
93A_C2_An 9 B	93A_C3_An 10 B	93A_C3_An 10 B	93B_C3_An 1	93B_C3_An 2	93B_C2_An 3	93B_C2_An 4	93B_C2_An 5	93B_C2_An 6	93B_C1_An 7
59.39	58.83	58.18	57.94	58.13	58.06	58.64	58.20	58.11	57.80
0.00	0.00	0.06	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.13	0.00
0.51	0.38	0.42	1.29	1.14	1.02	0.84	0.90	0.65	1.01
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.16	2.03	1.84	2.32	2.20	2.34	2.28	2.35	2.44	2.36
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.17	0.22	0.23	0.10	0.14	0.18	0.05	0.00	0.17	0.08
24.22	23.71	24.62	23.60	23.47	23.62	23.47	23.31	23.66	23.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	0.05
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.66	12.79	13.14	13.29	13.19	13.32	13.10	13.39	13.05	13.00
0.17	0.12	0.15	0.24	0.21	0.16	0.09	0.18	0.10	0.19
0.05	0.02	0.06	0.04	0.05	0.04	0.04	0.06	0.07	0.08
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	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
0.33	0.36	0.24	0.31	0.34	0.30	0.33	0.33	0.33	0.29
0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
2.09	2.04	2.11	2.08	2.06	2.08	2.07	2.06	2.06	2.06
101.75	100.52	101.06	101.21	100.94	101.13	100.95	100.78	100.77	99.92
0.14	0.16	0.10	0.13	0.15	0.12	0.14	0.14	0.14	0.12
101.61	100.37	100.95	101.08	100.79	101.01	100.81	100.64	100.63	99.79
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
7.936	7.960	7.852	7.813	7.854	7.836	7.909	7.876	7.869	7.886
0.064	0.040	0.067	0.187	0.146	0.162	0.091	0.124	0.103	0.114
0.016	0.020	0.000	0.018	0.035	0.000	0.042	0.019	0.000	0.047
0.000	0.000	0.006	0.002	0.000	0.003	0.000	0.000	0.013	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.217	0.207	0.187	0.235	0.224	0.237	0.232	0.240	0.249	0.242
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.019	0.025	0.026	0.011	0.016	0.020	0.005	0.000	0.019	0.009
4.824	4.782	4.954	4.745	4.727	4.752	4.718	4.703	4.777	4.677
0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.005	0.000	0.000	0.005
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.812	1.854	1.900	1.920	1.910	1.926	1.893	1.942	1.893	1.900
0.044	0.032	0.039	0.062	0.054	0.041	0.022	0.047	0.025	0.049
0.009	0.003	0.011	0.006	0.009	0.006	0.007	0.011	0.012	0.014
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.139	0.155	0.100	0.133	0.145	0.126	0.142	0.139	0.141	0.125
0.001	0.004	0.004	0.000	0.003	0.000	0.000	0.001	0.002	0.002
1.860	1.841	1.896	1.867	1.853	1.874	1.858	1.860	1.857	1.873
16.942	16.924	17.040	16.999	16.975	16.984	16.924	16.961	16.960	16.944
Σ13	Σ13	Σ13	Σ13	Σ13	Σ13	Σ13	Σ13	Σ13	Σ13
Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
1.856	1.886	1.909	1.982	1.963	1.966	1.915	1.988	1.918	1.949
0.044	0.032	0.009	0.062	0.054	0.041	0.022	0.047	0.025	0.049
0.009	0.003	0.004	0.006	0.009	0.006	0.007	0.011	0.012	0.014
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.931	0.911	1.000	0.927	0.865	1.000	0.847	0.926	1.000	0.836
13.077	13.035	13.091	13.011	13.003	13.012	13.002	12.962	13.030	12.981

Tabela 07 - Análises de microsonda representativas em aglomerados exibindo textura cumulática em metalumina hidrotermalizada do Complexo Lagoa do Alegre.

Compo/Amostra	93B_C3_Si 1.1	93B_C3_Si 1.2	93B_C3_Si 1.3	93B_C1_Si 2.1	93B_C1_Si 2.2	93B_C1_Si 2.3	93B_C1_Si 2.4	93B_C2_Si 5 B	93B_C2_Si 5 N	93B_C2_Si 5 B
SiO2	93.509	93.824	92.727	97.737	96.9	93.842	96.929	98.447	97.921	97.879
TiO2	0	0	0.005	0.05	0	0	0.305	0.21	0	0
Al2O3	0.004	0	0.36	0.053	0	0.038	0.112	0.011	0	0
FeO	0.102	0.111	0.071	0.098	0.086	0.166	0.238	0.086	0.127	0.081
MnO	0	0	0.087	0	0	0	0.036	0	0	0
MgO	0.019	0.014	0.036	0.036	0	0	0.05	0.05	0.036	0.009
CaO	0.05	0.039	0.043	0.057	0.023	0.005	0.008	0.033	0.007	0.052
Na2O	0	0.019	0.072	0.19	0.066	0.027	0.054	0.066	0.077	0.079
K2O	0.083	0.054	0.168	0.08	0.056	0.042	0.079	0.053	0.054	0.06
F	0.072	0	0	0.058	0.045	0	0.004	0	0.035	0.002
Cl	0.056	0.057	0.073	0.051	0.037	0.055	0.034	0	0.006	0.001
NiO	0	0.031	0.059	0.023	0	0	0.029	0.008	0.027	0.052

Comp/Amostra	93B_C2_Si 6 B	93B_C2_Si 6 N	93B_C2_Si 6 B	93B_C3_Si 7	93B_C3_Si 8	93B_C3_Si 9	93B_C4_Si 10	93B_C4_Si 11	93B_C4_Si 12
SiO2	98.105	97.759	97.692	97.455	96.813	98.3	97.596	89.844	97.797
TiO2	0.067	0.004	0	0	0.19	0	0	0.042	0
Al2O3	0.002	0	0	0.024	0	0	0	0.055	0
FeO	0.788	0.17	0.158	0.246	1.192	0.1	0.15	2.067	0.056
MnO	0	0	0	0	0	0	0	0.876	0.121
MgO	0.117	0.076	0.024	0.055	0.155	0.054	0.058	0.059	0.055
CaO	0.027	0.042	0.014	0.008	0.034	0.008	0.04	0.077	0.027
Na2O	0.034	0.064	0.06	0.059	0.004	0.03	0.083	0.098	0.138
K2O	0.07	0.064	0.053	0.009	0.069	0.027	0.14	0.06	0.142
F	0.019	0.033	0.02	0	0.086	0	0.018	0.008	0.022
Cl	0	0.018	0.031	0.005	0.019	0.013	0.036	0.041	0.042
NiO	0.006	0.029	0.046	0	0	0.002	0	0	0

Tabela 04 - Análises de microsonda representativas em clinofibólios das Formações Ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre

Sample number	102A_C2_Gr 4	102A_C1_Gr 5	102A_C2_An 3	102A_C1_An 4	102A_C1_Gr 5	102A_C1_An 5	102A_C1_An 6	102A_C1_An 7	05C_C1_An 1	05C_C1_An 2	05C_C2_An 3	05C_C2_An 4	05C_C3_An 5
SiO2	50.688	50.058	50.57	50.978	50.058	51.256	50.964	50.615	52.927	52.761	53.021	51.068	50.130
TiO2	0	0.03	0	0	0.03	0.054	0	0	0.330	0.000	0.000	0.165	0.094
Al2O3	1.609	1.559	1.644	1.599	1.559	1.588	1.589	1.429	1.956	1.901	1.997	2.381	4.343
FeO	27.518	26.872	27.206	27.15	26.872	27.518	27.145	27.29	19.549	19.040	18.628	19.046	20.923
MnO	0.183	0.213	0.138	0.238	0.213	0.119	0.105	0.257	0.242	0.361	0.432	0.209	0.319
MgO	7.118	6.878	7	7.189	6.878	7.099	6.95	7.231	11.758	12.307	12.371	11.346	10.667
CaO	11.092	10.974	11.148	11.108	10.974	11.085	11.556	11.245	11.695	11.592	11.773	10.888	11.391
Na2O	0.254	0.168	0.151	0.175	0.176	0.234	0.23	0.23	0.265	0.253	0.211	0.362	0.506
K2O	0.152	0.16	0.126	0.138	0.16	0.107	0.092	0.069	0.143	0.095	0.118	0.199	0.326
BaO													
SrO													
PbO													
ZnO													
F	0.129	0.24	0.289	0.265	0.24	0.167	0.138	0.222	0.174	0.148	0.178	0.285	0.151
Cl	0.045	0.069	0.065	0.04	0.069	0.06	0.041	0.015	0.007	0.000	0.000	0.062	0.027
Cr2O3													
CrO3													
NiO	0	0	0	0.029	0	0	0.014	0.006	0.000	0.000	0.075	0.000	0.000
Reformatted oxide %													
SiO2	50.688	50.058	50.570	50.978	50.058	51.256	50.964	50.615	52.927	52.761	53.021	51.068	50.130
TiO2	0.000	0.030	0.000	0.000	0.030	0.054	0.000	0.000	0.330	0.000	0.000	0.165	0.094
Al2O3	1.609	1.559	1.644	1.599	1.559	1.588	1.589	1.429	1.956	1.901	1.997	2.381	4.343
Cr2O3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2O3	30.581	29.863	30.234	30.172	29.863	30.581	30.166	30.327	4.486	6.109	5.321	5.841	7.415
FeO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	15.512	13.543	13.840	13.790	14.250
MnO	0.183	0.213	0.138	0.238	0.213	0.119	0.105	0.257	0.242	0.361	0.432	0.209	0.319
MgO	7.118	6.878	7.000	7.189	6.878	7.099	6.950	7.231	11.758	12.307	12.371	11.346	10.667
NiO	0.000	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.014	0.006	0.000	0.000	0.075	0.000	0.000
ZnO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Li2O* (not implemented)													
CaO	11.092	10.974	11.148	11.108	10.974	11.085	11.556	11.245	11.695	11.592	11.773	10.888	11.391
Na2O	0.254	0.168	0.151	0.175	0.176	0.234	0.230	0.230	0.265	0.253	0.211	0.362	0.506
K2O	0.152	0.160	0.126	0.138	0.160	0.107	0.092	0.069	0.143	0.095	0.118	0.199	0.326
BaO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SrO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PbO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F	0.129	0.240	0.289	0.265	0.240	0.167	0.138	0.222	0.174	0.148	0.178	0.285	0.151
Cl	0.045	0.069	0.065	0.040	0.069	0.060	0.041	0.015	0.007	0.000	0.000	0.062	0.027
H2O*	2.036	1.943	1.944	1.975	1.943	2.028	2.035	1.991	1.981	1.996	1.987	1.856	1.974
O=Fe,Cl	103.887	102.154	103.309	103.906	102.163	104.377	103.880	103.407	101.477	101.066	101.324	98.452	101.594
	0.064	0.117	0.136	0.117	0.084	0.067	0.097	0.062	0.062	0.075	0.075	0.134	0.070
Total	103.822	102.038	103.173	103.786	102.046	104.294	103.813	103.310	101.402	101.003	101.249	98.318	101.524
No. of oxygens	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Structural formulae													
Si	7.21	7.24	7.23	7.24	7.24	7.24	7.24	7.23	7.682	7.657	7.674	7.629	7.323
Al iv	0.270	0.266	0.277	0.268	0.266	0.264	0.266	0.240	0.318	0.325	0.326	0.371	0.677
Al vi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000	0.014	0.049	0.071
Ti	0.000	0.003	0.000	0.000	0.003	0.006	0.000	0.000	0.036	0.000	0.000	0.019	0.010
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3+	3.273	3.249	3.252	3.225	3.249	3.252	3.225	3.259	0.490	0.667	0.580	0.657	0.815
Fe2+	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.883	1.644	1.675	1.723	1.741
Mn	0.022	0.026	0.017	0.029	0.026	0.014	0.013	0.031	0.030	0.044	0.053	0.026	0.039
Mg	1.509	1.482	1.492	1.522	1.482	1.495	1.472	1.539	2.544	2.663	2.669	2.527	2.323
Ni	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Li* (not implemented)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	1.690	1.700	1.707	1.690	1.700	1.678	1.759	1.720	1.819	1.802	1.826	1.743	1.783
Na	0.070	0.047	0.042	0.048	0.049	0.064	0.063	0.000	0.075	0.071	0.059	0.105	0.143
K	0.028	0.030	0.023	0.025	0.030	0.019	0.013	0.013	0.026	0.018	0.022	0.038	0.081
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F	0.058	0.110	0.131	0.119	0.110	0.075	0.062	0.100	0.080	0.068	0.081	0.135	0.070
Cl	0.011	0.016	0.016	0.017	0.017	0.014	0.010	0.004	0.002	0.000	0.000	0.016	0.007
OH*	1.931	1.873	1.854	1.871	1.873	1.911	1.928	1.896	1.918	1.932	1.919	1.850	1.924
Total	16.069	16.040	16.039	16.050	16.042	16.035	16.055	16.030	16.920	16.891	16.907	16.886	16.987
Calculation scheme	∑13	∑13	∑13	∑13	∑13	∑13	∑13	∑13	∑13	∑13	∑13	∑13	∑13
Amphibole group	Ca												
(Ca+Na) (B)	1.760	1.747	1.749	1.738	1.749	1.742	1.822	1.720	1.893	1.874	1.885	1.848	1.926
Na (B)	0.070	0.047	0.042	0.048	0.049	0.064	0.063	0.000	0.075	0.071	0.059	0.105	0.143
(Na+K) (A)	0.028	0.030	0.023	0.025	0.030	0.019	0.017	0.013	0.026	0.018	0.022	0.038	0.081
Mg/(Mg+Fe2)	1.000	0.575	0.618	0.614	0.595	0.572							
Fe3/(Fe3+Alvi)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.967	1.000	0.976	0.931	0.920
Sum of S2	12.282	12.264	12.267	12.287	12.263	12.274	12.216	12.297	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000

Tabela 04 - Análises de microsonda representativas em clinofibólios das Formações Ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre

05C_C4_An 6	05C_C4_An 7	05C_C4_An 8
51.949	42.087	49.202
0.010	0.232	0.025
3.615	3.366	3.323
19.381	10.472	15.372
0.377	0.145	0.284
11.735	10.701	11.592
11.833	7.684	10.120
0.534	0.539	0.490
0.181	0.201	0.167
0.215	0.294	0.169
0.000	0.034	0.000
0.000	0.000	0.036
05C_C4_An 6	05C_C4_An 7	05C_C4_An 8
51.949	42.087	49.202
0.010	0.232	0.025
3.615	3.366	3.323
0.000	0.000	0.000
5.359	4.078	4.413
14.559	6.803	11.401
0.377	0.145	0.284
11.735	10.701	11.592
0.000	0.000	0.036
0.000	0.000	0.000
11.833	7.684	10.120
0.534	0.539	0.490
0.181	0.201	0.167
0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000
0.215	0.294	0.169
0.000	0.034	0.000
1.979	1.491	1.847
102.346	77.654	93.069
0.091	0.131	0.071
102.256	77.523	92.998
23	23	23
7.484	7.699	7.656
0.516	0.301	0.344
0.098	0.425	0.266
0.001	0.032	0.003
0.000	0.000	0.000
0.581	0.561	0.517
1.754	1.041	1.484
0.046	0.022	0.037
2.520	2.918	2.689
0.000	0.000	0.005
0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000
1.826	1.506	1.687
0.149	0.191	0.148
0.033	0.047	0.033
0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000
0.098	0.170	0.083
0.000	0.011	0.000
1.902	1.819	1.917
17.009	16.744	16.868
Σ 13	Σ 13	Σ 13
Ca	Ca	Ca
1.976	1.697	1.835
0.149	0.191	0.148
0.033	0.047	0.033
0.590	0.737	0.644
0.856	0.569	0.660
13.000	13.000	13.000

Tabela 02 - Análises de microsonda representativas cummingtonita-grunerita das Formações Ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre

Sample number	93E C1 Gr 1 B	93E C1 Gr 1 N	93E C1 Gr 1 B	93E C1 Gr 2 B	93E C1 Gr 2 N	93E C1 Gr 2 B	373E C1 Gr 1 B	373E C1 Gr 1 N	373E C1 Gr 1 B	142C C2 Gr 3 B	142C C2 Gr 3 N	142C C2 Gr 3 B	93E C2 Gr 3	93E C2 Gr 4	93E C2 Gr 5
SiO2	53.400	53.648	53.353	53.111	53.547	53.529	53.017	52.819	52.991	51.179	50.598	51.403	53.311	53.137	53.238
TiO2	0.093	0.000	0.000	0.081	0.000	0.234	0.125	0.000	0.159	0.061	0.095	0.057	0.000	0.029	0.123
Al2O3	0.162	0.089	0.024	0.064	0.050	0.044	0.113	0.073	0.100	0.085	0.085	0.044	0.050	0.043	0.104
FeO	28.810	29.761	29.719	29.707	29.991	29.964	31.331	31.245	30.972	35.852	36.009	36.493	29.858	29.715	29.316
MnO	0.866	0.931	0.921	0.754	0.870	0.923	0.885	0.989	0.923	0.399	0.510	0.612	0.791	0.924	0.862
MgO	13.790	13.871	13.843	13.819	13.943	13.769	12.404	12.294	12.277	9.182	9.515	9.318	13.690	13.758	13.771
CaO	1.518	0.604	0.555	0.655	0.670	0.635	0.616	0.709	0.689	0.554	0.488	0.504	0.583	0.722	0.995
Na2O	0.041	0.030	0.001	0.025	0.027	0.021	0.013	0.093	0.024	0.043	0.028	0.017	0.014	0.037	0.021
K2O	0.000	0.024	0.005	0.027	0.017	0.001	0.009	0.018	0.000	0.024	0.000	0.000	0.014	0.004	0.009
BaO															
SiO															
PbO															
ZnO															
F	0.283	0.249	0.202	0.243	0.210	0.232	0.232	0.217	0.254	0.225	0.311	0.112	0.188	0.231	0.220
Cl	0.009	0.000	0.001	0.020	0.020	0.031	0.000	0.026	0.037	0.025	0.039	0.027	0.032	0.026	0.021
Cr2O3															
NiO	0.000	0.000	0.000	0.057	0.018	0.058	0.030	0.034	0.000	0.073	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
Reformatted oxide %															
SiO2	53.400	53.648	53.353	53.111	53.547	53.529	53.017	52.819	52.991	51.179	50.598	51.403	53.311	53.137	53.238
TiO2	0.093	0.000	0.000	0.081	0.000	0.234	0.125	0.000	0.159	0.061	0.095	0.057	0.000	0.029	0.123
Al2O3	0.162	0.089	0.024	0.064	0.050	0.044	0.113	0.073	0.100	0.085	0.085	0.044	0.050	0.043	0.104
Cr2O3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2O3	0.230	0.000	0.093	0.029	0.329	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.237	0.603	0.000	0.473	0.216
FeO	28.810	29.761	29.485	29.411	29.486	29.880	31.331	31.245	30.972	35.852	34.896	35.951	29.858	29.290	29.121
MnO	0.866	0.933	0.921	0.754	0.870	0.923	0.885	0.989	0.923	0.399	0.510	0.612	0.791	0.924	0.862
MgO	13.790	13.871	13.843	13.819	13.943	13.769	12.404	12.294	12.277	9.182	9.515	9.318	13.690	13.758	13.771
NiO	0.000	0.000	0.000	0.057	0.018	0.058	0.030	0.034	0.000	0.073	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
ZnO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Li2O* (not implemented)															
CaO	1.518	0.604	0.555	0.655	0.670	0.635	0.616	0.709	0.689	0.554	0.488	0.504	0.583	0.722	0.995
Na2O	0.041	0.030	0.001	0.025	0.027	0.021	0.013	0.093	0.024	0.043	0.028	0.017	0.014	0.037	0.021
K2O	0.000	0.024	0.005	0.027	0.017	0.001	0.009	0.018	0.000	0.024	0.000	0.000	0.014	0.004	0.009
BaO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SrO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PbO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F	0.283	0.249	0.202	0.243	0.210	0.232	0.232	0.217	0.254	0.225	0.311	0.112	0.188	0.231	0.220
Cl	0.009	0.000	0.001	0.020	0.020	0.031	0.000	0.026	0.037	0.025	0.039	0.027	0.032	0.026	0.021
H2O*	1.876	1.898	1.913	1.880	1.913	1.898	1.879	1.871	1.808	1.854	1.762	1.878	1.903	1.885	1.896
O=F,Cl	100.871	100.974	100.568	100.477	101.335	101.348	100.654	100.388	100.280	99.510	99.564	100.526	100.434	100.559	100.617
	0.121	0.105	0.085	0.107	0.093	0.097	0.088	0.115	0.140	0.100	0.086	0.103	0.103	0.097	0.097
Total	100.750	100.869	100.483	100.370	101.242	101.244	100.556	100.291	100.164	99.409	99.424	100.472	100.347	100.456	100.520
No. of oxygens	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
Structural formulae															
Si	7.96	7.99	7.98	7.96	7.96	7.96	7.99	7.99	8.01	7.99	7.90	7.95	7.99	7.96	7.96
Al iv	0.028	0.008	0.004	0.011	0.009	0.008	0.008	0.005	0.000	0.010	0.016	0.008	0.007	0.008	0.018
Al vi	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.008	0.018	0.006	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
Ti	0.010	0.000	0.000	0.009	0.000	0.026	0.014	0.000	0.018	0.007	0.011	0.007	0.000	0.003	0.014
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3+	0.026	0.000	0.029	0.037	0.066	0.010	0.000	0.000	0.000	0.145	0.070	0.000	0.053	0.024	0.024
Fe2+	3.564	3.708	3.681	3.689	3.617	3.950	3.955	3.916	4.681	4.559	4.651	3.744	3.670	3.642	3.642
Mn	0.109	0.101	0.118	0.096	0.110	0.113	0.127	0.118	0.118	0.053	0.067	0.080	0.100	0.117	0.109
Mg	3.063	3.088	3.088	3.089	3.053	2.788	2.774	2.767	2.137	2.216	2.149	3.060	3.073	3.070	3.070
Ni	0.000	0.000	0.000	0.007	0.002	0.007	0.004	0.004	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Li* (not implemented)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.242	0.096	0.089	0.105	0.107	0.101	0.099	0.115	0.112	0.093	0.082	0.084	0.116	0.116	0.159
Na	0.012	0.009	0.000	0.007	0.008	0.006	0.004	0.027	0.007	0.013	0.008	0.005	0.004	0.011	0.006
K	0.000	0.005	0.001	0.005	0.000	0.002	0.000	0.003	0.000	0.005	0.000	0.000	0.003	0.001	0.002
Ba	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F	0.133	0.117	0.096	0.115	0.099	0.109	0.111	0.104	0.121	0.111	0.154	0.055	0.089	0.109	0.104
Cl	0.002	0.000	0.000	0.005	0.005	0.008	0.000	0.007	0.009	0.007	0.010	0.007	0.008	0.007	0.005
OH*	1.864	1.883	1.904	1.879	1.896	1.883	1.889	1.889	1.869	1.882	1.836	1.938	1.884	1.884	1.891
Total	17.012	17.007	17.001	17.012	17.011	17.006	16.986	17.014	16.966	17.004	17.008	17.005	17.006	17.012	17.008
Calculation scheme	715	715	715	715	715	715	715	715	715	715	715	715	715	715	715
Amphibole group	Fe-Mg-Mn	Fe-Mg-Mn	Fe-Mg-Mn	Fe-Mg-Mn	Fe-Mg-Mn	Fe-Mg-Mn	Fe-Mg-Mn	Fe-Mg-Mn	Fe-Mg-Mn						
(Ca+Na) (B)	0.243	0.103	0.089	0.106	0.107	0.102	0.103	0.132	0.119	0.106	0.082	0.084	0.095	0.117	0.160
Na (B)	0.001	0.006	0.000	0.001	0.000	0.004	0.001	0.007	0.001	0.013	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
(Na+K) (A)	0.011	0.007	0.001	0.012	0.010	0.006	0.002	0.014	0.000	0.005	0.008	0.005	0.006	0.011	0.007
Mg/(Mg+Fe2)	0.46</														

Tabela 01B- Análises de microsonda representativas de Magnetita sectionada (perfil) das Formações Ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre

Análises/Elementos	SiO2	FeO	MgO	TiO2	NiO	MnO	Al2O3	Na2O	K2O	CaO	Cl	F	V2O3	(OH)	Total
93E C5 Mg 8.5	6.14	90.51	0.02	0.04	0.00	0.05	0.20	0.00	0.01	0.03	0.02	0.38	0.02	2.72	100.00
366C C2 He 9.3	0.05	93.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.04	0.07	0.43	0.01	6.11	100.00
93E C1 Mg 1.2	2.86	94.03	0.04	0.00	0.00	0.06	0.23	0.03	0.00	0.02	0.00	0.41	0.04	2.46	100.00
93E C5 Mg 8.2	2.65	94.12	0.00	0.00	0.00	0.06	0.22	0.00	0.01	0.02	0.00	0.41	0.00	2.69	100.00
93E C1 Mg 1.1	2.37	94.24	0.05	0.00	0.06	0.07	0.26	0.00	0.01	0.00	0.00	0.35	0.01	2.73	100.00
78C C2 Mg 2.5	0.86	94.54	0.00	0.07	0.00	0.00	0.39	0.68	0.08	0.03	0.05	0.32	0.02	3.07	100.00
366A C4 He 23.4	0.13	94.75	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02	0.00	0.04	0.05	0.40	0.00	4.56	100.00
366A C4 He 23.4	0.13	94.75	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02	0.00	0.04	0.05	0.40	0.00	4.56	100.00
78C C2 Mg 2.4	0.32	95.18	0.05	0.08	0.00	0.03	0.16	0.06	0.00	0.04	0.00	0.44	0.00	3.75	100.00
366B C2 He 7.1	0.20	95.25	0.02	0.02	0.01	0.10	0.08	0.02	0.01	0.01	0.00	0.41	0.00	3.92	100.00
366B C2 He 7.1	0.20	95.25	0.02	0.02	0.01	0.10	0.08	0.02	0.01	0.01	0.00	0.41	0.00	3.92	100.00
366B C2 He 7.3	0.19	95.52	0.00	0.00	0.00	0.21	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.48	0.01	3.71	100.00
366B C2 He 7.3	0.19	95.52	0.00	0.00	0.00	0.21	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.48	0.01	3.71	100.00
93E C5 Mg 8.4	0.07	95.59	0.00	0.06	0.00	0.09	0.19	0.00	0.02	0.00	0.01	0.42	0.04	3.66	100.00
366B C3 He 14.3	0.08	95.61	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.45	0.03	3.97	100.00
93E C5 Mg 8.3	0.22	95.64	0.02	0.00	0.00	0.06	0.21	0.01	0.00	0.01	0.00	0.42	0.01	3.58	100.00
78C C2 Mg 2.1	0.29	95.74	0.02	0.03	0.00	0.06	0.06	0.06	0.02	0.02	0.01	0.40	0.03	3.42	100.00
93E C1 Mg 1.3	0.22	95.76	0.01	0.04	0.00	0.03	0.26	0.00	0.02	0.04	0.00	0.42	0.03	3.30	100.00
373E C4 Mg 6.4	0.44	95.79	0.07	0.00	0.01	0.06	0.17	0.03	0.03	0.03	0.00	0.36	0.00	3.13	100.00
373E C1 Mg 1.7	0.10	95.91	0.00	0.00	0.05	0.01	0.27	0.00	0.00	0.01	0.00	0.36	0.00	3.41	100.00
93E C1 Mg 1.5	0.20	95.94	0.03	0.03	0.00	0.04	0.20	0.02	0.04	0.01	0.01	0.38	0.03	3.11	100.00
78C C2 Mg 2.3	0.36	95.94	0.00	0.01	0.01	0.03	0.05	0.04	0.01	0.00	0.00	0.37	0.01	3.31	100.00
78C C2 Mg 2.6	0.12	95.96	0.01	0.02	0.00	0.00	0.06	0.21	0.02	0.01	0.01	0.33	0.03	3.34	100.00
366B C3 He 14.2	0.06	95.99	0.01	0.09	0.00	0.11	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.40	0.00	3.46	100.00
366B C3 He 14.2	0.06	95.99	0.01	0.09	0.00	0.11	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.40	0.00	3.46	100.00
366B C3 He 14.4	0.16	96.03	0.00	0.00	0.00	0.06	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.00	3.44	100.00
366B C3 He 14.4	0.16	96.03	0.00	0.00	0.00	0.06	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.00	3.44	100.00
93F C3 Mg 5.2	0.37	96.10	0.04	0.00	0.00	0.02	0.11	0.01	0.03	0.03	0.00	0.42	0.00	2.96	100.00
373E C4 Mg 6.2	0.08	96.10	0.01	0.01	0.00	0.10	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.00	3.18	100.00
78C C2 Mg 2.2	0.09	96.14	0.05	0.00	0.01	0.13	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	3.28	100.00
93F C3 Mg 5.3	0.14	96.16	0.01	0.00	0.02	0.00	0.14	0.00	0.01	0.00	0.01	0.37	0.00	3.29	100.00
93F C3 Mg 5.7	0.11	96.16	0.03	0.00	0.01	0.12	0.13	0.02	0.00	0.00	0.01	0.41	0.04	3.14	100.00
366B C3 He 14.1	0.12	96.17	0.01	0.00	0.00	0.16	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.46	0.02	3.15	100.00
366B C3 He 14.1	0.12	96.17	0.01	0.00	0.00	0.16	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.46	0.02	3.15	100.00
373E C4 Mg 6.1	0.10	96.21	0.02	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.02	0.01	0.02	0.34	0.00	3.19	100.00
93E C5 Mg 8.1	0.07	96.23	0.02	0.04	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.01	0.00	0.50	0.00	3.13	100.00
366A C4 He 23.3	0.06	96.25	0.00	0.00	0.01	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.41	0.00	3.32	100.00
366A C4 He 23.3	0.06	96.25	0.00	0.00	0.01	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.41	0.00	3.32	100.00
93E C1 Mg 1.4	0.25	96.27	0.01	0.04	0.00	0.01	0.22	0.00	0.00	0.00	0.01	0.37	0.00	2.89	100.00
93F C3 Mg 5.1	0.03	96.31	0.01	0.17	0.00	0.02	0.12	0.01	0.00	0.01	0.00	0.37	0.00	3.04	100.00
373E C3 Mg 5.2	0.08	96.35	0.00	0.09	0.00	0.08	0.33	0.02	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	2.83	100.00
93E C1 Mg 1.6	0.23	96.37	0.03	0.00	0.00	0.07	0.22	0.00	0.00	0.00	0.02	0.42	0.00	2.81	100.00
366B C2 He 7.4	0.26	96.46	0.02	0.00	0.01	0.18	0.04	0.04	0.00	0.01	0.01	0.35	0.01	2.75	100.00
366B C2 He 7.4	0.26	96.46	0.02	0.00	0.01	0.18	0.04	0.04	0.00	0.01	0.01	0.35	0.01	2.75	100.00
93F C3 Mg 5.6	0.04	96.55	0.02	0.11	0.00	0.00	0.23	0.04	0.02	0.00	0.01	0.28	0.03	2.81	100.00
93F C3 Mg 5.4	0.07	96.55	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.01	0.00	0.00	0.39	0.00	2.99	100.00
373E C1 Mg 1.1	0.03	96.55	0.00	0.04	0.00	0.11	0.18	0.01	0.02	0.01	0.00	0.35	0.01	2.84	100.00
93F C3 Mg 5.5	0.15	96.56	0.02	0.06	0.00	0.04	0.14	0.03	0.00	0.02	0.02	0.40	0.04	2.70	100.00
366C C2 He 9.2	0.04	96.61	0.00	0.02	0.00	0.03	0.04	0.00	0.00	0.03	0.00	0.47	0.02	2.92	100.00
366A C4 He 23.2	0.03	96.63	0.02	0.00	0.00	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.03	2.90	100.00
366A C4 He 23.2	0.03	96.63	0.02	0.00	0.00	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.03	2.90	100.00
366A C4 He 23.1	0.03	96.63	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.38	0.03	3.00	100.00
366A C4 He 23.1	0.03	96.63	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.38	0.03	3.00	100.00
93F C3 Mg 5.8	0.10	96.70	0.01	0.02	0.06	0.00	0.15	0.01	0.01	0.00	0.00	0.45	0.01	2.67	100.00
93F C3 Mg 5.9	0.02	96.73	0.02	0.08	0.00	0.07	0.13	0.00	0.01	0.00	0.01	0.40	0.00	2.69	100.00
366B C2 He 7.2	0.02	96.74	0.00	0.02	0.00	0.13	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.39	0.00	2.81	100.00
366B C2 He 7.2	0.02	96.74	0.00	0.02	0.00	0.13	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.39	0.00	2.81	100.00
366C C2 He 9.1	0.08	96.93	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.05	0.00	0.01	0.00	0.37	0.00	2.67	100.00
373E C1 Mg 1.4	0.08	97.32	0.05	0.00	0.00	0.04	0.28	0.02	0.03	0.00	0.00	0.37	0.03	1.92	100.00
373E C3 Mg 5.4	0.08	97.52	0.02	0.01	0.00	0.07	0.31	0.00	0.00	0.00	0.01	0.47	0.00	1.69	100.00
373E C1 Mg 1.5	0.11	97.89	0.05	0.00	0.04	0.10	0.27	0.04	0.02	0.02	0.00	0.43	0.00	1.14	100.00
93E C5 Mg 8.6	0.08	98.04	0.00	0.08	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.01	0.40	0.00	1.38	100.00
373E C3 Mg 5.3	0.10	98.18	0.03	0.04	0.01	0.07	0.28	0.01	0.00	0.00	0.01	0.38	0.02	1.04	100.00
373E C1 Mg 1.2	0.12	98.39	0.03	0.15	0.01	0.00	0.24	0.08	0.00	0.02	0.00	0.42	0.01	0.67	100.00
373E C3 Mg 5.1	0.06	98.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.06	0.01	0.01	0.01	0.48	0.00	0.87	100.00
373E C1 Mg 1.6	0.12	98.55	0.04	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	0.76	100.00
373E C1 Mg 1.3	0.21	98.67	0.06	0.02	0.00	0.00	0.31	0.02	0.05	0.02	0.03	0.35	0.00	0.43	100.00
373E C4 Mg 6.3	0.10	98.71	0.04	0.28	0.05	0.06	0.24	0.02	0.00	0.00	0.01	0.44	0.00	0.22	100.00
373E C3 Mg 5.5	0.10	98.93	0.04	0.00	0.00	0.02	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.00	0.34	100.00
373E C2 Mg 3	0.08	99.23	0.01	0.00	0.00	0.08	0.23	0.00	0.00	0.01	0.00	0.38	0.01	0.11	100.00
Média	0.33	96.25	0.02	0.03	0.01	0.06	0.14	0.03	0.01	0.01	0.01	0.40	0.01	2.85	100.00
Mínimo	0.02	90.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.11	100.00
Máximo	6.14	99.23	0.07	0.28	0.06	0.21	0.39	0.68	0.08	0.04	0.07	0.50	0.04	6.11	100.00

Tabela 01A - Análises de microsonda representativas de borda-núcleo-borda (BNB) de Magnetita das Formações Ferríferas do Complexo Lagoa do Alegre

Análises/Elementos	SiO2	FeO	MgO	TiO2	MnO	Al2O3	Na2O	K2O	CaO	Cl	P2O5	NiO	F	V2O3	(OH)	Total
398F_C1_Mg 1 B	0.00	97.31	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	0.02	0.00	0.05	0.00	0.45	0.00	2.30	100.00
366A_C5_He 30 B	0.02	96.16	0.01	0.11	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.40	0.00	3.37	100.00
366A_C5_He 30 B	0.02	96.16	0.01	0.11	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.40	0.00	3.37	100.00
93E_C3_Mg 3 N	0.03	96.63	0.02	0.05	0.13	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.46	0.00	2.70	100.00
366A_C5_He 29 N	0.03	96.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.01	3.06	100.00
366A_C5_He 29 N	0.03	96.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.01	3.06	100.00
373E_C2_Mg 4 B	0.03	96.63	0.02	0.00	0.04	0.23	0.01	0.00	0.03	0.04	0.06	0.05	0.47	0.00	2.64	100.00
366A_C5_He 30 B	0.04	96.67	0.00	0.00	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.02	2.92	100.00
366A_C5_He 30 B	0.04	96.67	0.00	0.00	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.02	2.92	100.00
373E_C1_Mg 2 B	0.04	96.08	0.00	0.07	0.06	0.16	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.04	0.36	0.00	3.32	100.00
373E_C1_Mg 2 B	0.04	98.32	0.00	0.08	0.02	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.04	1.04	100.00
78C_C1_Mg 1 N	0.04	96.80	0.00	0.08	0.11	0.05	0.02	0.00	0.02	0.11	0.00	0.03	0.36	0.00	2.64	100.00
398F_C1_Mg 1 B	0.04	97.37	0.03	0.13	0.00	0.07	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.43	0.00	2.07	100.00
78C_C1_Mg 1 B	0.06	96.62	0.05	0.05	0.00	0.04	0.07	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.31	0.04	2.88	100.00
366A_C5_He 31 B	0.06	96.39	0.04	0.00	0.13	0.06	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.05	0.35	0.00	3.04	100.00
366A_C5_He 31 B	0.06	96.39	0.04	0.00	0.13	0.06	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.05	0.35	0.00	3.04	100.00
375A_C2_Mg 3 B	0.06	96.89	0.02	0.00	0.04	0.08	0.02	0.00	0.01	0.04	0.08	0.00	0.37	0.03	2.56	100.00
398F_C1_Mg 1 N	0.08	96.92	0.01	0.00	0.19	0.09	0.04	0.01	0.01	0.01	0.05	0.00	0.50	0.00	2.32	100.00
366A_C5_He 31 N	0.08	95.91	0.00	0.02	0.00	0.04	0.04	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.43	0.00	3.63	100.00
366A_C5_He 31 N	0.08	95.91	0.00	0.02	0.00	0.04	0.04	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.43	0.00	3.63	100.00
373E_C2_Mg 4 B	0.08	98.64	0.01	0.02	0.05	0.22	0.04	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.34	0.03	0.70	100.00
366A_C5_He 30 N	0.09	96.77	0.03	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.42	0.00	2.80	100.00
366A_C5_He 30 N	0.09	96.77	0.03	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.42	0.00	2.80	100.00
366A_C5_He 31 B	0.09	95.83	0.01	0.09	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	3.66	100.00
366A_C5_He 31 B	0.09	95.83	0.01	0.09	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	3.66	100.00
366A_C5_He 29 B	0.11	96.30	0.03	0.07	0.03	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.44	0.05	3.11	100.00
366A_C5_He 29 B	0.11	96.30	0.03	0.07	0.03	0.05	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.44	0.05	3.11	100.00
373E_C1_Mg 2 N	0.12	98.70	0.00	0.06	0.10	0.30	0.08	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.41	100.00
93F_C2_Mg 2 B	0.12	96.19	0.00	0.00	0.01	0.14	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.40	0.02	3.24	100.00
93F_C2_Mg 4 B	0.12	87.37	0.04	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.41	0.00	12.12	100.00
375A_C2_Mg 3 N	0.12	97.65	0.00	0.00	0.00	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.44	0.03	1.80	100.00
78C_C1_Mg 1 B	0.15	96.02	0.01	0.06	0.02	0.03	0.00	0.02	0.03	0.01	0.06	0.01	0.46	0.01	3.31	100.00
93F_C2_Mg 2 B	0.15	96.19	0.04	0.06	0.03	0.13	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.43	0.02	3.09	100.00
93F_C2_Mg 2 N	0.16	95.64	0.00	0.00	0.11	0.11	0.06	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	3.67	100.00
366A_C5_He 29 B	0.27	95.73	0.00	0.00	0.05	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.03	0.38	0.01	3.64	100.00
366A_C5_He 29 B	0.27	95.73	0.00	0.00	0.05	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.03	0.38	0.01	3.64	100.00
93F_C2_Mg 4 N	0.32	87.76	0.02	0.11	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.40	0.03	11.48	100.00
93F_C2_Mg 4 B	0.44	87.66	0.02	0.06	0.06	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.37	0.00	11.41	100.00
373E_C2_Mg 4 N	0.89	94.36	0.03	0.00	0.06	0.19	0.02	0.01	0.03	0.02	0.00	0.03	0.38	0.03	4.12	100.00
93F_C2_Mg 3 N	2.07	86.36	0.01	0.04	0.21	0.06	0.03	0.02	0.04	0.03	0.06	0.00	0.46	0.00	10.82	100.00
93F_C2_Mg 3 B	2.39	84.34	0.94	0.16	0.25	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.36	0.00	11.30	100.00
93F_C2_Mg 3 B	2.43	91.13	0.04	0.00	0.06	0.09	0.04	0.06	0.09	0.01	0.05	0.00	0.44	0.00	5.74	100.00
93E_C3_Mg 3 B	3.00	93.24	0.02	0.00	0.03	0.22	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.43	0.00	3.18	100.00
375A_C2_Mg 3 B	3.50	91.39	0.01	0.00	0.00	0.08	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.06	0.36	0.01	4.72	100.00
93E_C3_Mg 3 B	5.49	90.84	0.00	0.14	0.00	0.22	0.00	0.01	0.00	0.01	0.04	0.00	0.43	0.00	3.01	100.00
Média	0.52	95.02	0.03	0.04	0.05	0.09	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.41	0.01	3.93	100.00
Mínimo	0.00	84.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.41	100.00
Máximo	5.49	98.70	0.94	0.16	0.25	0.33	0.08	0.06	0.09	0.03	0.09	0.06	0.50	0.05	12.12	100.00

2. Laudos Analíticos dos resultados das análises em rocha total em amostras de formação ferrífera



BUREAU VERITAS MINERAL LABORATORIES
Canada

www.bureauveritas.com/um

Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.
9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
PHONE (604) 253-3158

Client: **Universidade de Brasilia**
Instituto de Geociencias
Campus Universitario Darcy Ribeiro
Brasilia 70.910-900 BRASIL

Submitted By: Aloisio da Silva Pires
Receiving Lab: Brazil-Belo Horizonte
Received: October 22, 2015
Report Date: November 19, 2015
Page: 1 of 2

CERTIFICATE OF ANALYSIS

BHZ15002168.1

CLIENT JOB INFORMATION

Project: None Given
Shipment ID:
P.O. Number: Aloisio da Silva Pires
Number of Samples: 16

SAMPLE DISPOSAL

STOR-PLP Store After 90 days Invoice for Storage

SAMPLE PREPARATION AND ANALYTICAL PROCEDURES

Procedure Code	Number of Samples	Code Description	Test Wgt (g)	Report Status	Lab
SLBHP	16	Sort, label and box pulps			BHZ
WGHT	16	Weight of sample after prep drying			BHZ
BAT01	16	Batch charge of <20 samples			BHZ
DRPLP	16	Warehouse handling / disposition of pulps			BHZ
SHP01	16	Per sample shipping charges for branch shipments			BHZ
LF202	16	Total Whole Rock Characterization with AQ200	0.2	Completed	VAN

ADDITIONAL COMMENTS

Bureau Veritas does not accept responsibility for samples left at the laboratory after 90 days without prior written instructions for sample storage or return.

Invoice To: Universidade de Brasilia
Instituto de Geociencias
Campus Universitario Darcy Ribeiro
Brasilia 70.910-900
BRASIL

CC: Márcia Abrahão
Catarina Laboure Toledo



This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only. All results are considered the confidential property of the client. Bureau Veritas assumes the liabilities for actual cost of analysis only. Results apply to samples as submitted.
*** asterisk indicates that an analytical result could not be provided due to unusually high levels of interference from other elements.



BUREAU VERITAS MINERAL LABORATORIES
Canada

www.bureauveritas.com/um

Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.

9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA

PHONE (604) 253-3158

Client: **Universidade de Brasilia**
Instituto de Geociencias
Campus Universitario Darcy Ribeiro
Brasilia 70.910-900 BRASIL

Project: None Given
Report Date: November 19, 2015

Page: 2 of 2

Part: 1 of 4

CERTIFICATE OF ANALYSIS

BHZ15002168.1

Method	Analyte	WTDRY	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200						
		Wgt	Al2O3	Ba	Be	CaO	Ce	Co	Cr2O3	Cs	Dy	Er	Eu	Fe2O3	Ga	Gd	Hf	Ho	K2O	La	LOI
Unit		kg	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	%
MDL		0.01	0.01	1	1	0.01	0.1	0.2	0.002	0.1	0.05	0.03	0.02	0.04	0.5	0.05	0.1	0.02	0.01	0.1	-5.1
AS-005C	Pulp	<0.01	0.31	80	<1	0.68	16.8	334.1	<0.002	0.2	3.04	1.08	1.11	19.55	3.2	4.97	<0.1	0.44	0.05	53.7	0.5
AS-007A	Pulp	<0.01	0.04	18	<1	0.20	1.1	197.2	<0.002	<0.1	0.15	0.11	0.04	41.21	0.9	0.21	<0.1	<0.02	<0.01	1.3	0.4
AS-020B	Pulp	<0.01	1.02	14	2	0.84	10.6	125.9	0.002	1.5	0.94	0.48	0.40	44.38	2.5	1.37	0.1	0.18	0.05	19.4	1.2
AS-038	Pulp	<0.01	0.02	6	<1	0.34	1.3	96.7	<0.002	<0.1	0.16	0.14	0.06	41.36	0.9	0.21	<0.1	0.05	<0.01	0.8	0.6
AS-078A	Pulp	<0.01	0.09	3	<1	<0.01	1.0	211.7	<0.002	<0.1	0.12	0.10	0.06	33.52	1.3	0.17	<0.1	0.03	<0.01	1.1	2.8
AS-093E	Pulp	0.01	0.22	108	<1	0.21	1.7	218.0	<0.002	0.1	0.19	0.14	0.04	40.25	1.9	0.20	<0.1	0.05	0.03	1.6	1.6
AS-123A	Pulp	0.01	0.13	4	<1	0.03	0.5	198.7	<0.002	<0.1	0.18	0.13	0.04	39.00	1.6	0.19	<0.1	0.05	<0.01	0.5	0.7
AS-142A	Pulp	<0.01	0.24	553	4	0.06	3.2	154.8	<0.002	<0.1	0.52	0.46	0.09	48.39	2.6	0.59	<0.1	0.13	0.03	1.7	5.0
AS-142D	Pulp	<0.01	1.59	117	4	0.16	5.1	151.8	<0.002	0.2	0.79	0.40	0.12	39.64	2.8	0.77	<0.1	0.11	0.03	3.3	2.8
AS-366A	Pulp	<0.01	0.03	15	4	0.01	2.7	146.4	0.003	<0.1	0.27	0.19	0.11	46.31	0.7	0.31	<0.1	0.07	<0.01	1.5	3.0
AS-366C	Pulp	0.01	0.05	4	3	0.01	2.0	202.5	<0.002	<0.1	0.13	0.06	0.08	46.61	0.8	0.17	<0.1	0.03	<0.01	1.8	2.9
AS-373A	Pulp	<0.01	0.01	3	2	0.02	1.6	245.8	<0.002	<0.1	0.29	0.21	0.09	47.71	0.6	0.22	<0.1	0.08	<0.01	1.5	3.6
AS-373E	Pulp	<0.01	0.09	62	<1	0.36	1.3	124.5	0.002	<0.1	0.22	0.18	0.03	42.86	1.6	0.25	<0.1	0.06	<0.01	0.7	1.0
AS-375A	Pulp	<0.01	0.19	44	<1	0.13	17.9	107.4	<0.002	<0.1	0.52	0.27	0.17	45.03	0.8	0.72	<0.1	0.09	0.01	8.7	2.1
AS-398A	Pulp	0.01	0.28	3	<1	<0.01	0.4	88.2	<0.002	<0.1	0.07	0.07	<0.02	52.94	3.3	0.08	<0.1	<0.02	<0.01	0.3	2.0
AS-398N	Pulp	0.01	0.02	8	<1	0.19	1.1	119.7	<0.002	<0.1	0.22	0.14	0.04	43.77	0.8	0.19	<0.1	0.04	<0.01	0.8	4.0



Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.

9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA

PHONE (604) 253-3158

Client: **Universidade de Brasilia**
Instituto de Geociencias
Campus Universitario Darcy Ribeiro
Brasilia 70.910-900 BRASIL

Project: None Given
Report Date: November 19, 2015

Page: 2 of 2

Part: 2 of 4

CERTIFICATE OF ANALYSIS

BHZ15002168.1

	Method Analyte Unit MDL	LF200																			
		Lu	MgO	MnO	Na2O	Nb	Nd	Ni	P2O5	Pr	Rb	Sc	SiO2	Sm	Sn	Sr	Sum	Ta	Tb	Th	TiO2
		ppm	%	%	%	ppm	ppm	ppm	%												
		0.01	0.01	0.01	0.01	0.1	0.3	20	0.01	0.02	0.1	1	0.01	0.05	1	0.5	0.01	0.1	0.01	0.2	0.01
AS-005C	Pulp	0.10	0.77	0.04	0.02	0.6	38.1	<20	0.02	10.46	4.0	2	77.58	6.51	2	6.3	99.56	0.1	0.62	0.3	0.02
AS-007A	Pulp	0.01	1.46	0.12	0.02	0.2	0.6	<20	<0.01	0.22	0.6	1	56.25	0.11	3	2.1	99.73	<0.1	0.03	<0.2	<0.01
AS-020B	Pulp	0.07	2.26	0.10	0.03	0.5	12.9	<20	0.02	3.79	7.5	1	49.85	2.41	3	2.9	99.79	<0.1	0.20	1.1	0.02
AS-038	Pulp	0.02	3.36	0.27	<0.01	0.2	0.9	<20	0.03	0.20	0.4	<1	53.85	0.15	<1	1.1	99.84	<0.1	0.03	<0.2	<0.01
AS-078A	Pulp	0.02	0.03	0.02	<0.01	0.4	1.2	<20	0.12	0.24	0.6	4	63.15	0.15	1	0.7	99.74	0.2	0.03	0.2	<0.01
AS-093E	Pulp	0.03	2.59	0.19	<0.01	0.4	1.0	<20	0.02	0.28	5.4	1	54.60	0.16	1	4.0	99.70	0.2	0.03	0.2	<0.01
AS-123A	Pulp	0.01	0.06	0.01	<0.01	0.4	0.6	<20	0.02	0.09	0.4	1	59.77	0.12	<1	0.8	99.75	<0.1	0.03	<0.2	<0.01
AS-142A	Pulp	0.06	0.12	0.06	0.01	0.8	1.8	24	0.12	0.43	2.0	1	45.69	0.50	1	5.3	99.75	0.1	0.09	<0.2	<0.01
AS-142D	Pulp	0.06	0.98	0.08	<0.01	0.9	3.3	<20	0.04	0.76	5.5	1	54.40	0.77	4	7.2	99.77	0.1	0.12	0.9	<0.01
AS-366A	Pulp	0.03	0.07	0.11	<0.01	0.2	1.5	<20	0.04	0.49	0.5	<1	50.25	0.26	<1	0.7	99.83	<0.1	0.05	<0.2	<0.01
AS-366C	Pulp	0.02	0.11	0.10	<0.01	0.1	0.7	<20	0.03	0.24	0.4	1	49.98	0.13	<1	1.9	99.77	0.1	0.03	0.7	<0.01
AS-373A	Pulp	0.03	0.03	0.03	<0.01	0.2	1.0	<20	0.03	0.23	0.4	<1	48.29	0.19	<1	0.8	99.73	0.1	0.04	<0.2	<0.01
AS-373E	Pulp	0.03	3.72	0.31	0.01	0.8	0.7	<20	0.15	0.18	1.1	<1	51.32	0.18	1	2.1	99.79	0.1	0.04	<0.2	<0.01
AS-375A	Pulp	0.04	1.31	0.11	0.01	0.2	5.1	<20	0.04	1.57	1.8	<1	50.86	0.91	1	4.4	99.84	<0.1	0.09	1.5	<0.01
AS-398A	Pulp	<0.01	<0.01	0.02	0.01	0.2	<0.3	<20	0.84	0.04	0.3	<1	43.77	0.06	<1	0.6	99.90	<0.1	0.01	<0.2	<0.01
AS-398N	Pulp	0.02	1.43	0.19	0.01	0.1	0.7	<20	0.05	0.13	0.8	<1	50.21	0.10	<1	1.2	99.85	<0.1	0.03	0.2	<0.01



BUREAU VERITAS MINERAL LABORATORIES
Canada

www.bureauveritas.com/um

Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.

9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA

PHONE (604) 253-3158

Client: **Universidade de Brasilia**
Instituto de Geociencias
Campus Universitario Darcy Ribeiro
Brasilia 70.910-900 BRASIL

Project: None Given
Report Date: November 19, 2015

Page: 2 of 2

Part: 3 of 4

CERTIFICATE OF ANALYSIS

BHZ15002168.1

Method	Analyte	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	TC000	TC000	AQ200										
		Tm	U	V	W	Y	Yb	Zr	TOT/C	TOT/S	Ag	As	Au	Bi	Cd	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb
Unit	MDL	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppb	ppm							
AS-005C	Pulp	0.13	0.9	36	2809.7	13.4	0.70	1.2	0.03	<0.02	<0.1	<0.5	0.5	<0.1	<0.1	10.5	0.02	0.9	10.9	0.6	<0.1
AS-007A	Pulp	0.01	0.3	<8	1697.5	0.9	0.08	0.5	0.04	<0.02	<0.1	0.5	<0.5	<0.1	<0.1	2.2	0.02	0.8	12.6	0.3	<0.1
AS-020B	Pulp	0.06	3.5	<8	1085.1	4.9	0.39	2.8	0.10	<0.02	<0.1	<0.5	0.8	<0.1	<0.1	16.8	0.02	1.0	7.7	9.7	<0.1
AS-038	Pulp	0.02	0.5	<8	778.0	1.8	0.16	0.4	0.05	<0.02	<0.1	<0.5	0.9	<0.1	<0.1	0.7	0.02	0.3	7.2	0.1	<0.1
AS-078A	Pulp	0.02	0.5	<8	1863.7	1.3	0.11	0.8	0.05	<0.02	<0.1	0.7	<0.5	<0.1	<0.1	1.2	0.08	0.5	9.6	1.1	<0.1
AS-093E	Pulp	0.03	1.7	<8	1699.0	1.2	0.19	0.6	0.04	<0.02	<0.1	<0.5	<0.5	<0.1	<0.1	17.5	0.01	1.0	12.2	0.2	<0.1
AS-123A	Pulp	0.01	3.1	<8	1770.4	1.5	0.12	0.4	0.04	<0.02	<0.1	<0.5	0.9	<0.1	<0.1	1.4	0.03	0.6	9.3	0.1	<0.1
AS-142A	Pulp	0.06	4.9	<8	1260.0	4.1	0.43	0.6	0.04	0.02	<0.1	<0.5	<0.5	<0.1	0.1	4.3	*	5.3	24.6	0.7	<0.1
AS-142D	Pulp	0.06	2.1	<8	1399.1	4.0	0.33	1.2	0.15	<0.02	<0.1	0.7	<0.5	<0.1	<0.1	8.1	0.02	1.3	15.2	2.4	<0.1
AS-366A	Pulp	0.04	0.8	<8	1185.0	2.2	0.20	0.4	0.03	<0.02	<0.1	<0.5	1.1	<0.1	<0.1	2.1	0.01	1.0	15.5	0.3	<0.1
AS-366C	Pulp	0.02	0.6	<8	1643.0	1.3	0.09	0.8	0.05	<0.02	<0.1	0.5	<0.5	<0.1	<0.1	0.5	0.04	0.6	9.2	2.6	<0.1
AS-373A	Pulp	0.02	<0.1	<8	1799.9	2.8	0.20	0.8	0.03	<0.02	<0.1	<0.5	0.9	<0.1	<0.1	3.1	0.05	0.2	7.5	0.5	<0.1
AS-373E	Pulp	0.03	0.6	<8	1008.2	2.2	0.20	0.6	0.03	<0.02	<0.1	0.6	1.1	<0.1	<0.1	11.1	0.03	0.9	9.5	0.8	<0.1
AS-375A	Pulp	0.03	0.3	<8	949.8	3.1	0.23	1.4	0.09	<0.02	<0.1	<0.5	<0.5	<0.1	<0.1	3.6	0.03	0.7	8.3	3.1	<0.1
AS-398A	Pulp	<0.01	0.7	<8	686.3	0.6	0.05	0.5	0.02	<0.02	<0.1	0.5	0.5	<0.1	<0.1	8.5	*	0.7	3.7	<0.1	<0.1
AS-398N	Pulp	0.02	1.3	<8	920.5	2.1	0.14	0.5	0.02	<0.02	<0.1	0.6	0.9	<0.1	<0.1	3.6	0.03	0.6	12.2	0.3	<0.1



BUREAU VERITAS MINERAL LABORATORIES
Canada

www.bureauveritas.com/um

Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.

9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA

PHONE (604) 253-3158

Client: **Universidade de Brasilia**

Instituto de Geociencias
Campus Universitario Darcy Ribeiro
Brasilia 70.910-900 BRASIL

Project: None Given

Report Date: November 19, 2015

Page: 2 of 2

Part: 4 of 4

CERTIFICATE OF ANALYSIS

BHZ15002168.1

Method	Analyte	AQ200	AQ200	AQ200
		Se	TI	Zn
Unit		ppm	ppm	ppm
MDL		0.5	0.1	1
AS-005C	Pulp	<0.5	<0.1	6
AS-007A	Pulp	<0.5	<0.1	4
AS-020B	Pulp	<0.5	<0.1	11
AS-038	Pulp	<0.5	<0.1	3
AS-078A	Pulp	<0.5	<0.1	4
AS-093E	Pulp	<0.5	<0.1	9
AS-123A	Pulp	<0.5	<0.1	3
AS-142A	Pulp	<0.5	<0.1	51
AS-142D	Pulp	<0.5	<0.1	30
AS-366A	Pulp	<0.5	<0.1	3
AS-366C	Pulp	<0.5	<0.1	3
AS-373A	Pulp	<0.5	<0.1	5
AS-373E	Pulp	<0.5	<0.1	9
AS-375A	Pulp	<0.5	<0.1	9
AS-398A	Pulp	<0.5	<0.1	7
AS-398N	Pulp	<0.5	<0.1	4



Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.
9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
PHONE (604) 253-3158

Client: Universidade de Brasilia
Instituto de Geociencias
Campus Universitario Darcy Ribeiro
Brasilia 70.910-900 BRASIL

Project: None Given
Report Date: November 19, 2015

Page: 1 of 1 Part: 1 of 4

QUALITY CONTROL REPORT **BHZ15002168.1**

Method	WTDRY	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200								
Analyte	Wgt	Al2O3	Ba	Be	CaO	Ce	Co	Cr2O3	Cs	Dy	Er	Eu	Fe2O3	Ga	Gd	Hf	Ho	K2O	La	LOI	
Unit	kg	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	%	
MDL	0.01	0.01	1	1	0.01	0.1	0.2	0.002	0.1	0.05	0.03	0.02	0.04	0.5	0.05	0.1	0.02	0.01	0.1	-5.1	
Pulp Duplicates																					
AS-398N	Pulp	0.01	0.02	8	<1	0.19	1.1	119.7	<0.002	<0.1	0.22	0.14	0.04	43.77	0.8	0.19	<0.1	0.04	<0.01	0.8	4.0
REP AS-398N	QC																				
Reference Materials																					
STD DS10	Standard																				
STD GS311-1	Standard																				
STD GS910-4	Standard																				
STD OREAS45EA	Standard																				
STD SO-18	Standard		14.01	498	1	6.32	26.3	26.2	0.548	6.7	2.78	1.82	0.85	7.60	17.4	2.98	9.7	0.58	2.15	12.2	1.9
STD SO-19	Standard		13.83	500	21	5.90	161.1	24.2	0.500	4.6	7.46	3.75	3.77	7.53	17.7	11.00	3.1	1.37	1.31	71.1	1.9
STD GS311-1 Expected																					
STD GS910-4 Expected																					
STD DS10 Expected																					
STD OREAS45EA Expected																					
STD SO-18 Expected			14.23	514		6.42	27.1	26.2	0.55	7.1	3	1.84	0.89	7.67	17.6	2.93	9.8	0.62	2.17	12.3	
STD SO-19 Expected			13.95	486	20	6	161	24	0.5	4.5	7.5	3.78	3.81	7.47	17.5	10.53	3.1	1.39	1.29	71.3	
BLK	Blank																				
BLK	Blank																				
BLK	Blank		<0.01	<1	<1	<0.01	<0.1	<0.2	<0.002	<0.1	<0.05	<0.03	<0.02	<0.04	<0.5	<0.05	<0.1	<0.02	<0.01	<0.1	0.0

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.
9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
PHONE (604) 253-3158

Client: Universidade de Brasilia
Instituto de Geociencias
Campus Universitario Darcy Ribeiro
Brasilia 70.910-900 BRASIL

Project: None Given
Report Date: November 19, 2015

Page: 1 of 1

Part: 2 of 4

QUALITY CONTROL REPORT

BHZ15002168.1

Method	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	
Analyte	Lu	MgO	MnO	Na2O	Nb	Nd	Ni	P2O5	Pr	Rb	Sc	SiO2	Sm	Sn	Sr	Sum	Ta	Tb	Th	TiO2	
Unit	ppm	%	%	%	ppm	ppm	ppm	%													
MDL	0.01	0.01	0.01	0.01	0.1	0.3	20	0.01	0.02	0.1	1	0.01	0.05	1	0.5	0.01	0.1	0.01	0.2	0.01	
Pulp Duplicates																					
AS-398N	Pulp	0.02	1.43	0.19	0.01	0.1	0.7	<20	0.05	0.13	0.8	<1	50.21	0.10	<1	1.2	99.85	<0.1	0.03	0.2	<0.01
REP AS-398N	QC																				
Reference Materials																					
STD DS10	Standard																				
STD GS311-1	Standard																				
STD GS910-4	Standard																				
STD OREAS45EA	Standard																				
STD SO-18	Standard	0.27	3.38	0.39	3.66	19.6	13.1	41	0.76	3.24	27.9	24	58.32	2.88	15	410.0	99.72	7.1	0.49	9.7	0.69
STD SO-19	Standard	0.53	2.90	0.13	4.08	69.6	74.2	470	0.32	19.39	19.9	27	60.52	13.56	20	336.3	99.72	5.4	1.41	13.5	0.70
STD GS311-1 Expected																					
STD GS910-4 Expected																					
STD DS10 Expected																					
STD OREAS45EA Expected																					
STD SO-18 Expected		0.27	3.35	0.39	3.71	19.3	14	44	0.83	3.45	28.7	25	58.47	3	15	407.4		7.4	0.53	9.9	0.69
STD SO-19 Expected		0.53	2.88	0.13	4.11	68.5	75.7	470	0.32	19.4	19.5	27	61.13	13.7	19	317.1		4.9	1.41	13	0.69
BLK	Blank																				
BLK	Blank																				
BLK	Blank	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	<0.3	<20	<0.01	<0.02	0.3	<1	<0.01	<0.05	<1	<0.5	0.01	<0.1	<0.01	<0.2	<0.01



QUALITY CONTROL REPORT

BHZ15002168.1

Method	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	TC000	TC000	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	
Analyte	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zr	TOT/C	TOT/S	Ag	As	Au	Bi	Cd	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
MDL	0.01	0.1	8	0.5	0.1	0.05	0.1	0.02	0.02	0.1	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0.01	0.1	0.1	0.1	0.1	
Pulp Duplicates																					
AS-398N	Pulp	0.02	1.3	<8	920.5	2.1	0.14	0.5	0.02	<0.02	<0.1	0.6	0.9	<0.1	<0.1	3.6	0.03	0.6	12.2	0.3	<0.1
REP AS-398N	QC										<0.1	0.6	0.5	<0.1	<0.1	3.3	0.01	0.6	10.9	0.2	<0.1
Reference Materials																					
STD DS10	Standard										1.9	46.3	45.0	11.6	2.7	146.6	0.27	12.4	71.8	137.5	7.9
STD GS311-1	Standard							1.08	2.26												
STD GS910-4	Standard							2.86	8.28												
STD OREAS45EA	Standard									0.3	12.2	55.7	0.3	<0.1	697.8	0.01	1.8	368.9	15.4	0.4	
STD SO-18	Standard	0.27	16.1	195	15.8	29.6	1.69	287.8													
STD SO-19	Standard	0.53	20.8	165	10.9	35.5	3.50	111.3													
STD GS311-1 Expected								1.02	2.35												
STD GS910-4 Expected								2.65	8.27												
STD DS10 Expected										2.02	46.2	91.9	11.65	2.62	154.61	0.3	13.6	74.6	150.55	9	
STD OREAS45EA Expected										0.26	10.3	53	0.26	0.03	709		1.6	381	14.3	0.32	
STD SO-18 Expected		0.27	16.4	200	14.8	29	1.79	290													
STD SO-19 Expected		0.55	19.4	165	9.8	35.5	3.55	112													
BLK	Blank							<0.02	<0.02												
BLK	Blank									<0.1	<0.5	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	
BLK	Blank	<0.01	<0.1	<8	1.0	<0.1	<0.05	<0.1													



Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.
9050 Shaughnessy St Vancouver BC V6P 6E5 CANADA
PHONE (604) 253-3158

Client: **Universidade de Brasilia**
Instituto de Geociencias
Campus Universitario Darcy Ribeiro
Brasilia 70.910-900 BRASIL

Project: None Given
Report Date: November 19, 2015

Page: 1 of 1

Part: 4 of 4

QUALITY CONTROL REPORT

BHZ15002168.1

Method	AQ200	AQ200	AQ200	
Analyte	Se	Tl	Zn	
Unit	ppm	ppm	ppm	
MDL	0.5	0.1	1	
Pulp Duplicates				
AS-398N	Pulp	<0.5	<0.1	4
REP AS-398N	QC	<0.5	<0.1	4
Reference Materials				
STD DS10	Standard	1.9	4.9	353
STD GS311-1	Standard			
STD GS910-4	Standard			
STD OREAS45EA	Standard	1.0	<0.1	33
STD SO-18	Standard			
STD SO-19	Standard			
STD GS311-1 Expected				
STD GS910-4 Expected				
STD DS10 Expected				
		2.3	5.1	370
STD OREAS45EA Expected				
		0.78	0.072	31.4
STD SO-18 Expected				
STD SO-19 Expected				
BLK	Blank			
BLK	Blank	<0.5	<0.1	<1
BLK	Blank			

3. Laudos Analíticos dos resultados das análises de isótopos Sm/Nd em amostras de formação ferrífera e U-Pb *SHRIMP* em zircão em otorgnaisses



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
LABORATÓRIO DE GEOCRONOLOGIA**

ALOISIO_BOL484_2015

Interessado:

	Amostra	Sm(ppm)	Nd(ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ $\pm 2\text{SE}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	T_{DM} (Ga)
1	AS05C	6.802	40.125	0.1025	0.511185+/-2	-28.35	2.54
2	AS07A	0.157	0.755	0.1258	0.511242+/-8	-27.24	3.14
3	AS20B	2.359	13.347	0.1069	0.511238+/-2	-27.31	2.57
4	AS38	0.122	0.496	0.1492	0.511357+/-21	-25.00	4.12
5	AS78A	0.219	0.964	0.1373	0.511307+/-79	-25.97	3.52
6	AS93E	0.196	0.992	0.1191	0.511085+/-31	-30.29	3.17
7	AS142D	0.812	3.348	0.1467	0.51139+/-12	-24.34	3.86
8	AS366C	0.169	1.029	0.0991	0.511237+/-9	-27.34	2.39
9	AS373E	0.187	0.744	0.1515	0.511385+/-9	-24.44	4.22

Errors are 1σ unless otherwise specified

Spot Name	% comm 206	ppm U	ppm Th	232Th /238U	204corr		207corr		208corr		204corr		% Dis-cordant	4corr		7corr		8corr		----- 204 corrected -----				----- 208 corrected -----																			
					206Pb /238U	1σ Age err	206Pb /238U	1σ Age err	206Pb /238U	1σ Age err	207Pb /206Pb	1σ Age err		208Pb /232Th	1σ Age err	208r /232r	% err	206Pbr /238U	1σ err	206Pbr /238U	1σ err	Total 238 /206	Total 207 /206	% err	238r /206r	% err	207r /206r	% err	207r /235r	% err	206r /238r	% err											
AS-04-4.1	0.02	244	144	0.61	2837.5	41.9	2834.1	61.6	2837.7	44.6	2845	13	2836	56	0	.1507	2.0	.5521	.0148	.5530	.0107	1.81	1.8	2025	0.8	1.81	1.8	2024	0.8	15.43	2.0	.5530	1.8	.915	1.81	1.8	.2024	0.8	15.43	2.0	.5530	1.8	.916
AS-04-2.1	0.16	285	126	0.46	2682.5	40.5	2636.5	54.4	2695.3	43.0	2806	6	2425	108	5	1.281	4.4	.5053	.0127	.5191	.0101	1.93	1.8	.1989	0.3	1.94	1.8	.1975	0.4	14.05	1.9	.5161	1.8	.978	1.93	1.8	.2017	0.4	14.44	1.9	.5195	1.8	.977
AS-04-7.1	0.06	407	45	0.11	2315.2	35.9	2189.3	44.4	2317.2	36.4	2782	8	2172	60	20	1.141	2.7	.4044	.0097	.4325	.0081	2.31	1.8	.1952	0.5	2.31	1.8	.1947	0.5	11.60	1.9	.4321	1.8	.969	2.31	1.8	.1954	0.5	11.65	1.9	.4326	1.8	.970
AS-04-5.2	0.06	334	277	0.86	2289.6	35.1	2160.6	44.0	2307.9	38.8	2780	24	2109	42	21	1.101	2.0	.3982	.0095	.4305	.0086	2.34	1.8	.1949	1.5	2.34	1.8	.1944	1.5	11.43	2.3	.4264	1.8	.780	2.32	1.8	.2013	1.5	11.96	2.3	.4311	1.8	.777
AS-04-12.1	0.06	318	165	0.54	2251.1	34.6	2125.9	42.4	2260.0	36.7	2749	8	2108	42	22	1.101	2.0	.3907	.0091	.4199	.0081	2.39	1.8	.1913	0.5	2.39	1.8	.1908	0.5	10.99	1.9	.4179	1.8	.968	2.38	1.8	.1941	0.5	11.25	1.9	.4201	1.8	.963
AS-04-6.1	0.20	413	77	0.19	1918.2	30.1	1785.9	36.1	1924.5	30.8	2647	7	1651	54	38	.0860	3.0	.3192	.0074	.3479	.0064	2.88	1.8	.1809	0.3	2.88	1.8	.1793	0.4	8.57	1.9	.3466	1.8	.977	2.87	1.8	.1820	0.3	8.73	1.8	.3480	1.8	.984
AS-04-13.1	0.09	491	216	0.46	1398.7	22.8	1301.7	25.8	1392.2	24.2	2349	7	1509	31	68	.0776	2.0	.2238	.0049	.2411	.0047	4.12	1.8	.1510	0.4	4.13	1.8	.1503	0.4	5.02	1.9	.2423	1.8	.975	4.15	1.8	.1464	0.6	4.86	1.9	.2409	1.8	.950
AS-04-9.1	0.09	523	151	0.30	1326.4	21.7	1228.0	24.7	1328.8	22.6	2359	7	1269	29	78	.0649	2.3	.2098	.0046	.2289	.0043	4.37	1.8	.1519	0.4	4.38	1.8	.1511	0.4	4.76	1.9	.2285	1.8	.972	4.37	1.8	.1525	0.4	4.81	1.9	.2289	1.8	.975
AS-04-3.2	0.47	483	61	0.13	1036.3	17.3	990.0	18.4	1033.4	17.7	1848	14	1209	53	78	.0624	4.2	.1660	.0033	.1739	.0032	5.70	1.8	.1167	0.4	5.73	1.8	.1130	0.8	2.72	2.0	.1744	1.8	.918	5.75	1.8	.1106	0.9	2.65	2.0	.1738	1.8	.899
AS-04-5.1	0.41	522	72	0.14	1488.5	24.4	1400.4	27.4	1483.2	24.9	2302	9	1803	64	55	.0946	3.3	.2426	.0053	.2587	.0049	3.83	1.8	.1494	0.3	3.85	1.8	.1462	0.5	5.24	1.9	.2597	1.8	.960	3.87	1.8	.1430	0.7	5.10	2.0	.2585	1.8	.928
AS-04-10.1	0.41	445	186	0.43	1622.7	26.5	1523.8	30.3	1613.1	28.2	2401	11	1807	40	48	.0940	2.2	.2666	.0060	.2843	.0056	3.48	1.8	.1582	0.5	3.49	1.8	.1549	0.6	6.11	2.0	.2862	1.8	.946	3.52	1.8	.1497	1.0	5.86	2.1	.2840	1.8	.882
AS-04-11.1	0.20	328	461	1.45	1973.1	30.9	1808.0	38.8	2030.7	37.6	2795	7	1679	33	42	.0867	1.9	.3237	.0080	.3703	.0080	2.79	1.8	.1978	0.3	2.79	1.8	.1962	0.4	9.69	1.9	.3581	1.8	.975	2.69	1.8	.2198	1.6	11.27	2.4	.3718	1.8	.751