



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

A SEQUÊNCIA PORTADORA DE FORMAÇÕES FERRÍFERAS DE GUANHÃES, MINAS GERAIS, BRASIL

AUTOR: Vitor Rodrigues Barrote

ORIENTAÇÃO: Prof. Dr. Carlos Alberto Rosière

**BELO HORIZONTE
DATA (08/01/2016)**

Nº 155

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

**A SEQUÊNCIA PORTADORA DE FORMAÇÕES
FERRÍFERAS DE GUANHÃES, MINAS GERAIS,
BRASIL**

Vitor Rodrigues Barrote

Dissertação a ser apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geologia da Universidade
Federal de Minas Gerais como requisito
parcial à obtenção do título de Mestre

Área de concentração: Geologia Regional
Orientador: Prof. Carlos Alberto Rosière



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

A sequência portadora de formações ferríferas de Guanhães, Minas Gerais, Brasil

VITOR RODRIGUES BARROTE

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA REGIONAL.

Aprovada em 08 de janeiro de 2016, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a). Carlos Alberto Rosiere - Orientador
UFMG

Prof(a). Simone Cerqueira Pereira Cruz
UFBA

Prof(a). Hermínio Atlas Nafini Júnior
UFOP

Belo Horizonte, 8 de janeiro de 2016.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Dr. Carlos Alberto Rosière, orientador desse trabalho e principal colaborador à construção do meu conhecimento geológico e pensamento científico

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Governo do Canadá pelo apoio financeiro

À empresa Centaurus Metals, sobretudo aos senhores Roger Fitzhardinge, Gaudius Montresor e demais funcionários envolvidos nos projetos de exploração baseados em Guanhães, pela disponibilidade de informações, logística, hospedagem, transporte, acesso a testemunhos de sondagem e pelo interesse no objeto de estudo

Ao geólogo e doutorando Vassily Rolim pois sem ele não existiria esse trabalho. A ele cabe todo o crédito pelas ideias que impulsionaram o interesse na sequência portadora de BIFs de Guanhães

Aos geólogos Prof. Dr. Cristiano Lana, Profa. Dra. Maria de Lourdes, João Orestes, Profa. Dra. Márcia Ernesto, Prof. Dr. Ross Stevenson, Prof. Dr. Fabrício Caixito, Prof. Dr. Maximiliano Martins, Profa. Dra. Rosaline Silva, Dr. Ernesto Percoits, Luciana Pereira, Ruy Vasconcelos, Gabriel Uhlein, Raiane Macedo, Janaína Fernandes, Arthur Lara, Joana Magalhães Tiago de Ferreira, Paula Mendes Serrano, Amanda Pires, Lucília Ramos, por colaborações ao trabalho

Aos colegas e funcionários do LOPAG-UFOP, REDE GEOCHRONOS-UNB, IAG-USP, GEOTOP-UQAM e UFMG

Ao Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa (CPMTC) e funcionários

Aos meus pais Daniel e Marília Barrote agradeço por tudo, mas principalmente pela oportunidade. Eles são coautores nesse trabalho

À minha irmã Daniela e aos meus amigos, Gabriel Uhlein, Moisés Ávila, Poliana Toledo, Carolina Oliveira, Tomás Canuto e Túlio Barrote, agradeço pelo apoio e amizade. E ainda à toda a minha família, em especial meus tios Desirè e Ulisses.

RESUMO

A sequência de rochas metassedimentares portadora de Formações Ferríferas de Guanhães ocorre como fatias tectônicas superpostas ao complexo basal tipo TTG de idade Arqueana. O sistema de cavalgamentos responsável pela estruturação regional foi gerado em duas fases compressivas (D1 e D2), de um mesmo evento deformacional de idade cambriana, relacionado à Orogênese Araçuaí, e que gerou também duas gerações de dobras (F1 e F2) de plano axial coincidentes de direção NW-SE com mergulho para SW, com eixos B_1 com caimento para SW e B_2 , horizontal, de orientação NW-SE. Para definição da idade da sequência metassedimentar foram realizados estudos geocronológicos através de análises isotópicas U-Pb SHRIMP em zircão detrítico para duas amostras da unidade quartzítica de base e duas amostras da unidade quartzítica de topo, e constatou-se idade máxima de deposição Riáciana, ainda com picos de zircões de idade sideriana e arqueana. Datou-se ainda três amostras de rochas do complexo basal, de idade Arqueana, e três amostras de granitos intrusivos através de análises isotópicas U-Pb SHRIMP e U-Pb LA-ICPM-MS e detectou-se uma granitogênese cambriana que estaria ligada à atividade hidrotermal de mesma idade, observada como veios e alteração metassomática nos zircões. A análise dos Elementos Terras Raras e Y, normalizados ao PASS, para as BIFs de Guanhães mostram enriquecimento em ETR pesados, anomalia positiva de Eu e nenhuma anomalia de Ce. Os valores para as relações $Ce/Ce^*_{(SN)}$ vs. Y/Ho e correlação positiva entre elementos litófilos evidenciam contaminação detrítica, em parte das amostras. Uma relação positiva entre $Ce/Ce^*_{(SN)}$ vs. Y/Ho indica fracionamento de ETR+Y, como La, Pr ou Sm. As amostras não contaminadas apresentam distribuição de ETR+Y similares a outras BIFs pré-cambrianas, particularmente às BIFs da Sequência do Morro Escuro (Silveira-Braga *et al.*, 2015), sem anomalia verdadeira de Ce e com Y/Ho próximo aos valores típicos de água do mar (45). Esses dados geoquímicos indicam que a BIF foi depositada em um ambiente plataformal, distante de fontes hidrotermais de alta temperatura. Parte das amostras apresentam indícios de contaminação posterior por fluidos hidrotermais ácidos de origem ígnea, originários de intrusões graníticas mais novas. Duas amostras mostram enriquecimento de ETR leves, em razão de alteração supergênica.

Palavras Chave: Guanhães, Grupo Guanhães, formação ferrífera bandada, geoquímica, análise estrutural, geocronologia, granitogênese brasileira.

ABSTRACT

The BIF-bearing supracrustal sequence of Guanhães is a Rhyacian metasedimentary sequence that occurs as thin tectonic slices superposed to Archean TTG granite-gneissic basement rocks. The thrust faults developed probably at the Proterozoic-Paleozoic boundary during the Brasiliano event of the Araçuaí Orogeny. The sequence is comprised of a layer of BIF bordered by two quartzite-rich units, correlatable to the Serra da Serpentina Group, metamorphosed at a high amphibolite facies. The supracrustal sequence was subjected to a two-phase deformational event (D1 and D2) responsible for the tectonic emplacement of the metasedimentary slices between TTG blocks by a NW-SE thrust system with an oblique component that generated isoclinal to tight F1 folds, with an S1 axial plane foliation, and tight to open F2 folds, respectively, creating a fold interference pattern. Measurements of the anisotropy of magnetic susceptibility (ASM) of selected sites show dominance of paramagnetic minerals, as expected for BIFs. Both magnetite and hematite display oblate susceptibility ellipsoids, and the magnetic foliation imitates the BIFs' banding. Mesoproterozoic mafic dikes and Cambrian Brasiliano-related granites intrude the sequence. The granites are connected to the large amount of hydrothermal fluids indicated by several veins and Cambrian alteration haloes in zircon grains. The analyses of PAAS-normalized REY (Rare Earth Elements + Yttrium) values for the Guanhães BIF, shows HREE enrichment, consistent positive Eu anomaly and virtually no Ce anomaly. $Pr/Yb_{(SN)}$ vs. Y/Ho and correlation between lithophile elements is evidence for detrital contamination on part of the samples. Positive correlation between $Ce/Ce^*_{(SN)}$ vs. Y/Ho indicates fractionation of REY such as La, Pr or Sm. The non-contaminated samples display REY distribution similar to BIF from other Precambrian BIFs, particularly BIFs from the eastern Espinhaço Range such as the Morro-Escuro Sequence and the Serro Group, without true Ce-anomaly and Y/Ho close to seawater values (45). These geochemical data indicate that the BIFs were deposited on a platform environment distant of the high T hydrothermal fluids source. Several samples exhibit positive Ce-anomaly linked to HREE enrichment and higher Eu-anomaly that are related to an igneous hydrothermal alteration from younger Granitic intrusions Two samples display LREE enrichment due to supergene.

Keywords: Guanhães, Guanhães Group, banded iron formation, geochemistry, structural analysis, geochronology, Brasiliano granitogenesis.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
SUMÁRIO.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS – ARTIGOS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE TABELAS – ARTIGOS.....	xii
LISTA DE ABREVIACÕES.....	xiii
I. INTRODUÇÃO.....	14
II. NATUREZA DA PESQUISA	16
III. JUSTIFICATIVA	20
IV. OBJETIVOS.....	21
Objetivo Geral.....	21
Objetivos Específicos	21
V. METODOLOGIA	22
SHRIMP.....	24
LA-ICP-MS.....	24
VI. LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	25
VII. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - FORMAÇÕES FERRÍFERAS PRÉ- CAMBRIANAS.....	26
Formação das BIFs	28
Distribuição temporal	30
Características geoquímicas das BIFs.....	31
VIII. LITOESTRATIGRAFIA DA SEQUÊNCIA SUPRACRUSTAL PORTADORA DE BIF DE GUANHÃES	35

Complexo basal	35
Sequência Supracrustal de Guanhães	38
Unidade quartzítica de base	40
BIF Guanhães	40
Unidade quartzítica de topo	42
Ortoanfibolitos	44
Metagranitos	45
IX. GEOLOGIA ESTRUTURAL	47
X. RESULTADOS OBTIDOS	49
THE BIF-BEARING SEQUENCE FROM GUANHÃES, MINAS GERAIS, BRAZIL: LITOSTRATIGRAPHY, STRUCTURAL ANALYSIS AND GEOCHRONOLOGY	51
INTRODUCTION.....	52
GEOLOGICAL SETTING	52
SAMPLE SELECTION AND METHODOLOGY	53
LITHOSTRATIGRAPHY	55
The Archean gneissic complex	55
Lower quartzitic unit:.....	56
Banded Iron Formation.....	56
Upper quartzitic unit:	56
Intrusive mafic rocks	56
Intrusive granites and pegmatites	56
GEOCHRONOLOGY	57
U-Pb Magmatic Zircon from the Basal Complex.....	57
U-Pb – Detrital Zircon	57
Intrusive Granites U-Pb – Magmatic Zircon	59
STRUCTURAL GEOLOGY	61
Tectonic structures on the Guanhães BIF-bearing sequence.....	61

Structural analysis of the Jambreiro Quarry	61
Interpretation of the regional structure based on the structural model of the Jambreiro quarry.....	65
DISCUSSIONS	67
CONCLUSIONS	69
ACKNOWLEDGEMENTS.....	69
REFERENCES.....	69
THE PROTEROZOIC GUANHÃES BANDED IRON FORMATIONS, MINAS GERAIS, BRAZIL: EVIDENCES FOR DETRITAL CONTAMINATION	73
INTRODUCTION.....	74
GEOLOGICAL SETTING	75
METHODOLOGY.....	76
Geochemistry	76
Geochronology.....	76
PETROGRAPHY.....	76
GEOCHRONOLOGY	79
GEOCHEMISTRY	81
Major and trace elements.....	81
Elements correlations.....	83
Ce-anomaly	85
DISCUSSIONS	86
Clastic contamination	86
Hydrothermal alteration	86
Uncontaminated BIFs	87
Geochronology.....	88
CONCLUSIONS	90
ACKNOWLEDGMENTS	90
REFERENCES	90

XI. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	93
XII. BIBLIOGRAFIA.....	99
XIII. ANEXOS.....	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa geológico e alvos da área estudada.	15
Figura 2: Seção geológica esquemática através do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental.....	18
Figura 3: Mapa de localização da área estudada e acesso a partir de Belo Horizonte.....	25
Figura 4: Classificação das formações ferríferas, modificado de Gross (1980).	27
Figura 5: Modelo simplificado dos tipos de oxidação sofridas pelo Fe ²⁺	30
Figura 6: Diagrama mostrando o volume relativo das principais BIFs do mundo/tempo	31
Figura 7: Colunas de empilhamento litoestratigráfico da Sequência Supracrustal SSGu.	35
Figura 8: Rochas do embasamento em afloramento ou amostra de sondagem.....	36
Figura 9: Imagens de microscopia de uma amostra de granito do embasamento.....	37
Figura 10: Imagens de microscopia de uma amostra de charnockito.	37
Figura 11: A) Afloramento de pacote de quartzitos da unidade superior	39
Figura 12: Imagens de quartzito ao microscópio.	40
Figura 13: Formações ferríferas de Guanhões em escala de amostra de mão e afloramento...41	
Figura 14: A) granada-anfibólio-xisto (Grt-Am-Xisto) alterado, aflorante, em escala de amostra de mão. e escala de afloramento.	43
Figura 15: Imagens de fotomicrografia de amostras de granada-anfibólio-xisto.	44
Figura 16: Fotomicrografia de amostras de ortoanfibolitos em microscópio.	45
Figura 17: Granito foliado de coloração rosada a branca.	46
Figura 18: Fotomicrografia de amostras de granito sob nicóis cruzados.....	46
Figura 19: Foto e croqui de afloramento de BIFs na Saibreira do Jambreiro.	47
Figura 20 A) Perfil geológico esquemático do Orógeno Araçuaí, modificado de Alkmim et al. (2006).....	98

LISTA DE FIGURAS - ARTIGOS

<i>Figure 1: Regional geological map showing the location of the Guanhães Group's BIFs.....</i>	<i>52</i>
<i>Figure 2: Geological map of the Guanhães region with studied targets.....</i>	<i>53</i>
<i>Figure 3: Lithostratigraphic stacking for five different targets in the studied area.....</i>	<i>55</i>
<i>Figure 4: BSE image of zircons from the sample FSA1</i>	<i>57</i>
<i>Figure 5: Concordia diagrams for all three samples of crystalline basement rocks.....</i>	<i>58</i>
<i>Figure 6: Probability diagrams for the the lower and upper quartzitic unit from the SSGu .</i>	<i>59</i>
<i>Figure 7: BSE image of zircons from the sample PEÇANHA4.</i>	<i>60</i>
<i>Figure 8: Concordia diagrams plotted for intrusive granite samples.</i>	<i>60</i>
<i>Figure 9: Microphotography and schematic drawing of small-scale F₁ folds' hinge zones..</i>	<i>62</i>
<i>Figure 10: Folded banded iron formation.</i>	<i>62</i>
<i>Figure 11: Geological map and sections of the Jambreiro quarry's area.....</i>	<i>63</i>
<i>Figure 12: 4 i.) Stereographic projection for the 3 structural domains: Hinge Zone (A), Inverted Limb (B) and Normal Limb (C).....</i>	<i>64</i>
<i>Figure 13: Mean bulk susceptibility (Km) values for the studied sites.....</i>	<i>67</i>
<i>Figure 14: i) Stereographic projection of the poles to S₀ for all the supracrustal rocks including BIFs for the entire region near Guanhães.....</i>	<i>66</i>
<i>Figure 15: Plot of relationship between intensity of anisotropy of magnetic susceptibility represented by the parameter ϵ and its shape represented by parameter ..</i>	<i>67</i>
<i>Figure 16: Stereogram of K3 average distribution for 7 sampled target.....</i>	<i>67</i>
<i>Figure 17: Schematic representation of the geometric and kinematic characteristics of folds F1 and F2.....</i>	<i>68</i>
<i>Figure 18: Regional geological map showing the location of the Guanhães Group's BIFs... </i>	<i>74</i>
<i>Figure 19: Stratigraphic sequence of the SSGu.....</i>	<i>75</i>
<i>Figure 20: A) Core drill sample of microbanded BIF, with intrafolial folds. B) Coarse IF with obliterated banded structure.....</i>	<i>77</i>
<i>Figure 21: Schematic drawing (on the left) and correlated Microphotography (on the right) of the Guanhães BIF under reflected light.....</i>	<i>78</i>
<i>Figure 22: Microphotography of the Guanhães BIF under transmitted light.</i>	<i>79</i>
<i>Figure 23: BSE image of selected detrital zircon grains.....</i>	<i>80</i>
<i>Figure 24: Probability diagrams for the the lower and upper quartzitic unit from the SSGu at the Guanhães region.</i>	<i>81</i>
<i>Figure 25: A): Chondrite-normalized REE spidergram for the Guanhães BIFs. B): PAAS- normalized REE spidergram for the Guanhães BIFs.</i>	<i>83</i>

<i>Figure 26: Binary plots of Th vs. Zr (A) and Hf vs. Zr (B). Line shows tendency and R² values are shown.</i>	83
<i>Figure 27: Binary plot of A) LREE/HREE vs. Y/Ho. B) Y vs. Y/Ho. C) Ho vs. Y/Ho. D) Eu-anomaly vs. Y/Ho.</i>	85
<i>Figure 28: Plot of CeSN and PrSN anomalies.</i>	85
<i>Figure 29: REY spidergram, discriminated for each group of sample (medium value) from the Guanhães BIF</i>	87
<i>Figure 30: Diagrams plotting Sm/Yb vs. Y/Ho.</i>	88
<i>Figure 31: Stratigraphic chart of the Espinhaço Supergroup in the central portion of southern Espinhaço correlated to the stratigraphic chart of the Serra da Serpentina and Serra de São José Groups in the Serpentina Range and to the lithostratigraphic stacking of the SSGuu.</i>	89
<i>Figure 32: Comparative REY_(SN) spidergram for the Guanhães BIF and other worldwide Proterozoic Iron Formations</i>	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Unidades litoestratigráficas e seus dados cronológicos.	17
Tabela 2: Síntese de evolução geotectônica da área estudada e referências cronológicas.	19
Tabela 3: Tabela de correlação litoestratigráfica entre as unidades da Serra do Espinhaço, Serra da Serpentina e Guanhães. Modificado de Rolim et al. (2016).	96

LISTA DE TABELAS – ARTIGOS

<i>Table 1: Major elements of the Guanhães BIF. Samples are presented with with two decimal digits.....</i>	<i>82</i>
<i>Table 2: Selected trace elements of the Guanhães BIF in ppm. Samples are presented with two decimal digits.....</i>	<i>84</i>

LISTA DE ABREVIACOES

BIF: Banded Iron Formation
CN: Condrite Normalization
CPMTC: Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa
DEGEO: Departamento de Geologia
DOP: Degree of Pyritization
EDS: Energy Dispersive X-ray Detector
ETR+Y: Elementos Terras Raras mais Ytrio
ETRL: Elementos Terras Raras Leves
ETRP: Elementos Terras Raras Pesados
GIF: Granular Iron Formation
GOE: Great Oxidation Event
ICP-ES: Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometric
ICP-MS: Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy
LILE: Large-Ion Lithophile Elements
MEV: Microscpio Eletrnico de Varredura
MORB: Middle Ocean Ridge Basalt
NASC: North American Shale Composite
P: presso
PAAS: Post-Archean Australian Shale
REY: Rare Earth Elements plus Yttrium
SHRIMP: Sensitive High Resolution Ion Microprobe
SN: Shale Normalization
SSGu: Sequncia Supracrustal de Guanhes
T: temperatura
TTG: tonalito–trondjhemito–granodiorito
UFOP: Universidade Federal de Ouro Preto
VS: versus
WDS: Wavelength-Dispersive Spectrometers

LISTA DE ABREVIACOES DE MINERAIS – (Siivola and Schmid, 2007)

Alm=Almandina
Aln=Alanita
Anf=Anfiblio
Ap=Apatita
Bt=Biotita
Chl=Clorita
Hem=Hematita
Kfs=K-feldspato
Mag=Magnetita
Ms=Muscovita
Opx=Ortopiroxnio
Pl=Plagioclsio
Qz=Quartzo
Sil=Silimanita
Tin=Titanita
Zn=Zirco

I. INTRODUÇÃO

Essa dissertação de mestrado é resultado de trabalhos conduzidos como parte do projeto de pesquisa intitulado “A sequência de formações ferríferas e minério do Grupo Guanhães”, sob coordenação do prof. Dr. Carlos Alberto Rosière, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e com recursos da FAPEMIG e apoio da Centaurus Metals.

Seguindo as novas regulamentações do programa de pós-graduação em geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC-UFMG), as informações geradas e interpretadas nesse trabalho foram organizadas em dois artigos científicos e apresentados em forma de capítulos nesse volume. As discussões e conclusões envolvendo o conteúdo total dos trabalhos de pesquisa e que envolvem ambos os artigos são apresentados em um capítulo separado. O artigo intitulado “THE BIF-BEARING SEQUENCE FROM GUANHÃES, MINAS GERAIS, BRAZIL: LITOSTRATIGRAPHY, STRUCTURAL ANALYSIS AND GEOCHRONOLOGY” está em desenvolvimento, visando futura publicação, enquanto que o artigo intitulado “THE PROTEROZOIC GUANHÃES BANDED IRON FORMATIONS, MINAS GERAIS, BRAZIL: EVIDENCES FOR DETRITAL CONTAMINATION” foi submetido para publicação na USP Geologia, Série Científica.

Devido à escassez de afloramentos contínuos e ao alto grau de intemperismo das rochas que compõe a Sequência Supracrustal portadora de BIF de Guanhães, aliado ao alto grau de deformação, responsável pela geração de fatias tectônicas de rochas, foi feito o levantamento de detalhe dos alvos individuais que apresentam boas exposições, com grande volume de dados estruturais e estratigráficos e extrapolação dos modelos locais para toda a região, reforçado por dados coletados em pontos isolados de ruim exposição e/ou continuidade (Figura 1).

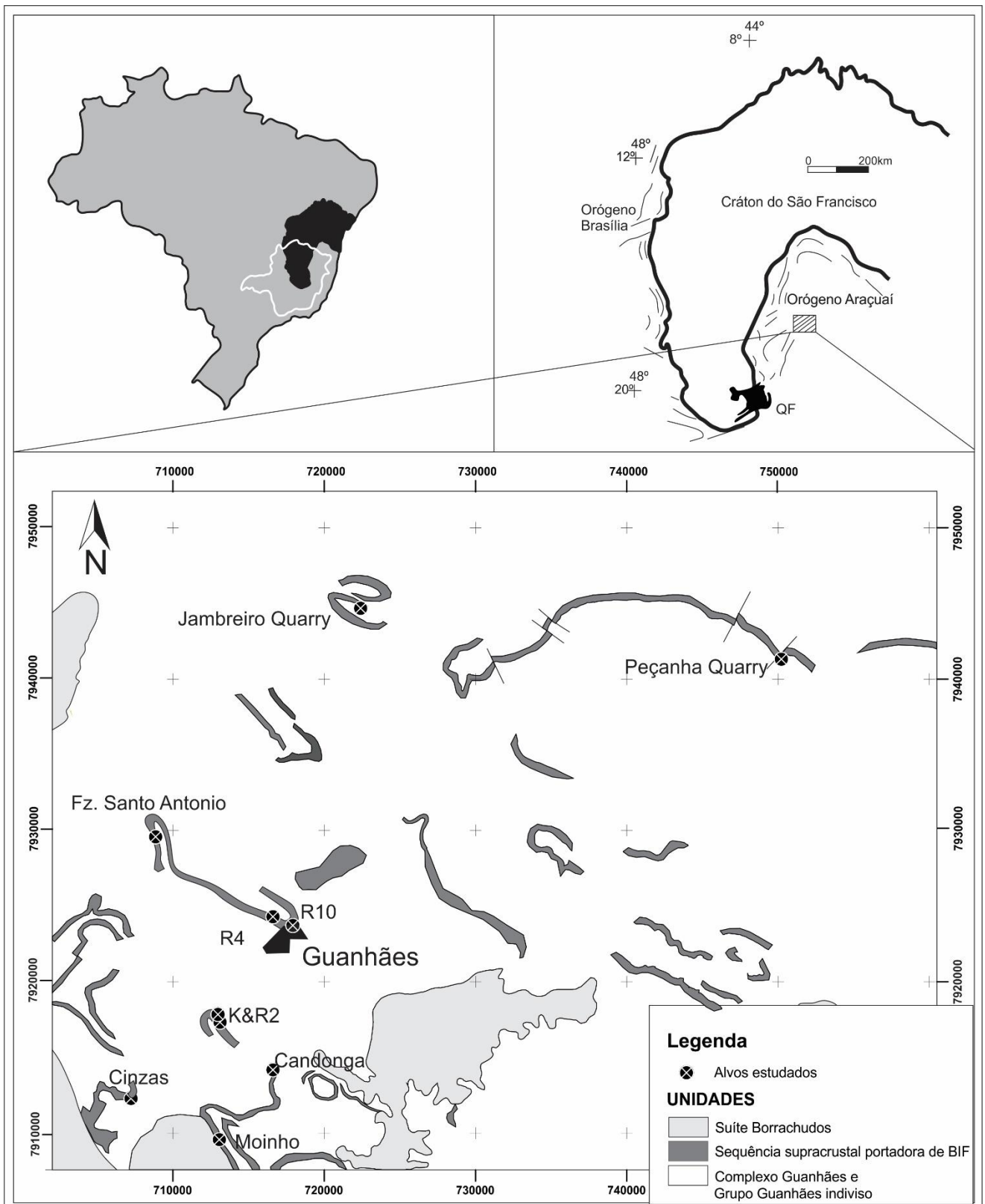


Figura 1: Mapa geológico e alvos da área estudada. Modificado de Grossi-Sad et al. (1997)

II. NATUREZA DA PESQUISA

A região de Guanhães está localizada a Leste da Serra do Espinhaço Meridional e da Serra da Serpentina, em Minas Gerais. Segundo mapeamentos regionais (e.g. Grossi-Sad, 1997, Pedrosa-Soares *et al.*, 1994), a região de Guanhães apresenta uma sucessão metavulcano-sedimentar de idade arqueana, tipo *Greenstone-Belt*, metamorfizada na fácies anfíbolito; com xistos máficos e ultramáficos na base; formações ferríferas, mármore, rochas cálcio-silicáticas e xistos na porção média, além de quartzitos e gnaisses em meio a rochas granito-gnáissicas do tipo TTG, tonalito–trondjhemito–granodiorito (Grossi Sad, 1989; 1990a; Grossi-Sad, 1997), como mostrado na Tabela 1.

A região estudada é considerada embasamento do Orógeno Araçuaí (Pedrosa-Soares *et al.* 1990, 1992), a oeste do Cráton do São Francisco (Almeida, 1977) e, segundo esses autores, foi afetada por 4 eventos geotectônicos, sendo eles as orogêneses de idade riaciana e cambriana e os eventos extensionais rifte Espinhaço (~1700 Ma) e rifte Araçuaí (~900 Ma) (Tabela 2). O último evento que afetou a região foi o Orógeno Araçuaí que se desenvolveu entre 630 a 490Ma (Alkmim *et al.*, 2006), sendo dividido em quatro estágios de magmatismo com geração de crosta: pré-colisional, sin-colisional, tardi-colisional e pós-colisional, caracterizados com base nas relações estruturais, assinaturas geoquímicas e isotópicas, e idades U-Pb das rochas que o representam (Pedrosa-Soares *et al.*, 2007). Este evento tectônico produziu deformação crescente de oeste para leste no domínio das faixas de deformação do Orógeno Araçuaí, atingindo condições rúptil-dúcteis na porção oriental da Cordilheira Espinhaço e rúpteis a não deformadas em direção ao interior do Cráton do São Francisco. O Evento Brasileiro, de idade cambriana, gerou cavalgamentos de direção N-S e uma sucessão de zonas com dobras assimétricas, ambas com vergência para oeste (Rolim, 1992). Condições de alto metamorfismo vigentes nesta orogênese são constatáveis pela existência de mobilizados migmatíticos no embasamento gnáissico e nos granitos Borrachudos (Dussin *et al.* 2000).

Segundo Alkmim *et al.* (2007), a região denominada Bloco Guanhães corresponderia a um alto estrutural que expõe o embasamento do Orógeno Araçuaí, a sudeste do Cinturão de Cavalgamentos da Serra do Espinhaço Meridional. Segundo este autor, as relações de contato com o Grupo Macaúbas sugerem que esse bloco já representaria um alto estrutural durante o rifteamento Araçuaí (Figura 2).

Tabela 1: Unidades litoestratigráficas que ocorrem na área de estudo e seus dados cronológicos.

Referências	(Silva <i>et al.</i> , 1995)		IDADES	(Dussin, 1994)		IDADES
Rochas Básicas	grupo I	Quartzo-clorita xistos e Clorita-cloritóide-sericitaxistos, além de gabros de granulação grossa a média, melanocráticos, equigranular e indeformados.	Idade aproximada de 120 Ma, K/Ar (Chemale Jr. et al. 1991; Silva <i>et al.</i> 1991a,b; in Silva <i>et al.</i> , 1995).	Diques Máficos	Metagabros de caráter ligeiramente alcalinos. As fases minerais principais são clinopiroxênio e plagioclásio.	O εNd varia entre -0,965 a -0,310, e as idades modelo (TDM) encontradas foram de 1,55 a 1,64 Ga. Aproximadamente 900 Ma.
	grupo II	Suíte Pedro Lessa. Metagabros de granulação média, melanocráticos e localmente preservando texturas primárias. São os mais comuns no Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional	Idade em torno de 906 Ma, os dados Sm/Nd indicam valores de εNd = +1,34 e -3,20 e idades modelo (TDM) = 2,59 e 1,35 Ga.			
	grupo III	Diques de diabásio de granulação média a fina, melanocrático. Magnetita, pirita, ilmenita, olivina, apatita, titanita e quartzo são acessórios.	O primeiro pulso magmático está relacionado à abertura da Bacia Espinhaço, aproximadamente 1,7-1,5 Ga	Metavulcânicas	Metavulcânicas do fácies xisto verde, presentes no sudeste do cráton São Francisco. São caracterizadas por dois litotipos, rochas sericiticas ricas em Fe, e clorita xistos.	O resultado de datação de zircão por evaporação de Pb resultaram numa idade de 1710±12 Ma para a cristalização do protólito vulcânico.
Referências	Dorr & Barbosa (1963)		IDADES			
Suíte Borrachudos	Rocha maciça, pouco fraturada de cor cinza clara, granulação grossa, discretamente foliada. Os minerais dominantes da rocha são quartzo, ortoclásio, microclina, albita, oligoclásio e biotita. Minerais acessórios são fluorita, moscovita, granada, epidoto, clinozoisita, turmalina, ilmenita, leucoxênio, clorita e, possivelmente, magnetita.		1740±8 Ma (Silva <i>et al.</i> , 2002) (U-Pb) 1729±14 Ma (Dussin <i>et al.</i> , 1993) (Pb-Pb) 620 Ma Idade do metamorfismo regional e recristalização metamórfica (Fernandes, 2001)			
Referências	(Grossi Sad <i>et al.</i> 1990a; 1990b; 1997)			(Pedrosa Soares <i>et al.</i> , 1994)		IDADES
Grupo Guanhanês	Formação Superior	Gnaisses quartzo-feldspáticos, migmatizados ou não, com discretas intercalações anfibolíticas, lentes finas de quartzito e raras camadas de formação ferrífera		Complexo Guanhanês	O Complexo Guanhanês é uma denominação local atribuída por Pedrosa Soares <i>et al.</i> (1994) no Mapa Geológico de Minas Gerais. Conjunto dominado por gnaisses orto e paraderivados, podendo estar migmatizados e milonitizados, faz parte do embasamento da Faixa Araçuaí e do Supergrupo Espinhaço. No Complexo Guanhanês, as sequências metavulcano-sedimentares e formações ferríferas encontram-se dispersas e tectonicamente esfarrapadas entre os gnaisses-granitos do tipo TTG.	2867±10 Ma, 2711±11 Ma (U-Pb) (Silva <i>et al.</i> , 2002)
	Formação média	A parte inferior da Formação Média é composta por um pacote de bifs, quartzosas ou dolomíticas, sobrepostas por quartzitos ferruginosos. No topo da formação ocorrem pacotes de quartzitos cianíticos.				
	Formação Inferior	Xistos pelíticos de composição variada na base, com quartzo em grãos angulares. No topo ocorrem xistos máficos-ultramáficos anfibolíticos e olivina-piroxênicos				
Complexo Basal	Granitóides do tipo TTG, denominada Suíte Guanhanês. Granitóides fortemente gnaissificados, de granulação média a grossa, acinzentados, por vezes encontram-se migmatizados.		Idade mínima do metamorfismo 2,66 Ga (Rb-Sr) (Müller <i>et al.</i> , 1986a in Grossi Sad <i>et al.</i> 1997)			

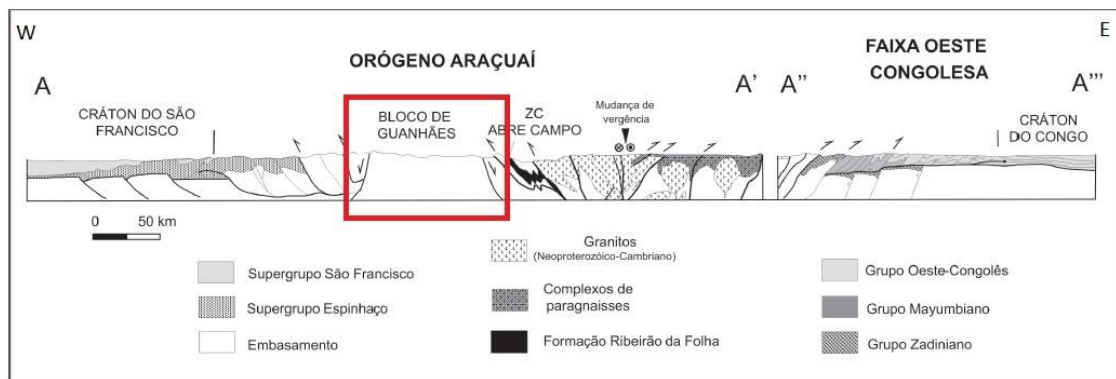


Figura 2: Seção geológica esquemática através de todo o Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, com a região estudada assinalada por um quadrado. Adaptado de Alkmim et al. (2006).

Diversas sequências associadas a formações ferríferas são encontradas ao longo da borda leste da Serra do Espinhaço Meridional. As características tectônicas da região, com o fatiamento de pacotes litológicos por falhas de cavalgamento e indefinição de idade, as torna difícil objeto de estudo, gerando diversas interpretações acerca da história geológica e origem de tais depósitos.

Trabalhos recentes mapearam e definiram a idade de diversas dessas unidades, trazendo uma nova perspectiva no entendimento do arcabouço geológico-geotectônico da região e permitindo uma redefinição do posicionamento estratigráfico de unidades já conhecidas e mapeadas, tais como aquelas encontradas na Serra da Serpentina e Serra do Sapo, nos arredores de Conceição do Mato Dentro (Rolim & Rosière, 2011; Rolim et al., 2016), assim como pacotes de rochas metassedimentares de características mal definidas, distribuídas entre fatias de rochas cristalinas do Complexo Basal, tal como a Sequência do Morro Escuro (Silveira-Braga, 2012; Silveira-Braga et al., 2015 e Pagung de Carvalho, 2013).

Estudos geológicos na região próximo à cidade de Guanhães são pouco expressivos, limitados a trabalhos regionais (e.g. Grossi-Sad, 1997, Pedrosa-Soares et al., 1994). Existia, portanto, uma necessidade de melhor caracterizar a sequência de rochas supracrustais de Guanhães, seu contexto geotectônico e relação com sequências adjacentes portadoras de BIFs, à luz dos novos métodos de pesquisa e novas interpretações propostas para as regiões de Serra da Serpentina, Serra do Sapo, Serra do Morro Escuro e Serra do Espinhaço.

Tabela 2: Síntese de evolução geotectônica da área estudada e referências cronológicas.

		Alkmin <i>et al.</i> 2006		IDADES	
4º Evento	B r a s i l i a n o	Orógeno Araçuaí	Estágio 5	Colapso Orogênico	520–490 Ma Alkmin <i>et al.</i> (2006)
			Estágio 4	Escape lateral para sudeste na porção sul do Orógeno Araçuaí- West Congo	560–535 Ma Alkmin <i>et al.</i> (2006)
			Estágio 3	Fechamento completo da bacia Macaúbas; estágio colisional	595 - 575 Ma Pedrosa-Soares and Wiedemann-Leonardos (2000)
			Estágio 2	Fechamento inicial da bacia Macaúbas	695 - 595 Ma Pedrosa-Soares and Wiedemann-Leonardos (2000)
3º Evento	M a c a ú b a s		Estágio 1	Abertura da bacia Macaúbas	906 ± 3 Ma Machado <i>et al.</i> (1989); 875 ± 9 Ma Silva <i>et al.</i> (2002)
2º Evento	Rifte Espinhaço			Dussin & Dussin (1995)	
		Fase 3(c.)	Subsidência térmica	906 ± 3 Ma por Machado <i>et al.</i> (1989)	
		Fase 2 (b.)	Rifte Espinhaço	1,9 - 1,7 Ga Dussin & Dussin (1995)	
		Fase 1 (a.)	Diasprismo astenosférico e fraturamento crustal		
1º Evento	Evento Transamazônico			Hurley <i>et al.</i> (1967)	2,0 (±) Ma Hurley <i>et al.</i> (1967)

III. JUSTIFICATIVA

Há grande importância em definir o posicionamento estratigráfico e tectônico de uma das principais seqüências portadoras de formações ferríferas do estado de Minas Gerais que está inserida no Grupo Guanhães (Grossi-Sad *et al.*, 1997). Este trabalho procura melhor definir essas questões e abre uma perspectiva de se reinterpretar a geologia do estado e a história geotectônica das rochas na região de Guanhães.

A aplicação de técnicas modernas e sofisticadas combinadas a técnicas tradicionais e informações já presentes na literatura gera uma discussão quanto ao real posicionamento espacial e temporal da seqüência de rochas estudadas, bem como dos eventos de deformação e gerações de granitogênese que afetaram a região. Dessa forma, essa dissertação possui um grande impacto na comunidade acadêmica, apresentando re-interpretação de informações previamente conhecidas, bem como a exposição novos dados de grande importância e que implicam na geração de novos modelos de evolução tectônica para a região de Guanhães, afetando toda a estruturação do Orógeno Araçuai.

A caracterização das formações ferríferas permite compará-las a outros casos no Brasil e no mundo, podendo aumentar o interesse econômico em torno dessas, uma vez que a gênese e idade das formações ferríferas são importantes fatores na determinação da importância econômica das seqüências de formação ferríferas. Esse trabalho impacta diretamente o potencial metalogenético na região o que gera impactos socioeconômicos indiretos que beneficiam a comunidade local.

Essa dissertação propõe ainda uma comparação de técnicas de datação de zircões que se baseiam na proporção U-Pb e na validação da Anisotropia de Susceptibilidade Magnética como uma ferramenta de baixo custo e grande retorno na detecção de texturas magnéticas e sua relação com a anisotropia deformacional nas rochas, sobretudo BIFs. Ela apresenta ainda estudos de geoquímica de BIFs que acrescentam aos estudos globais sobre o assunto e colaboram ao entendimento dessa importante ferramenta no entendimento das condições necessárias para formar essas rochas ricas em ferro e que representam importante registro da química marinha no tempo de sua deposição.

Esse trabalho apresenta uma técnica sofisticada e sistemática de análise estrutural, que é uma solução para áreas com baixa ocorrência de afloramentos de qualidade, baseada em levantamentos de detalhes de afloramentos espaçados. Isso permitiu identificar as fases de deformação a que foram sujeitas as rochas da seqüência de rochas supracrustais de Guanhães, elucidando o entendimento do intrincado controle estrutural a que foi sujeita a área de estudo, problemática constatada em trabalhos anteriores, mas tratado em detalhe e, de forma inédita, solucionado nessa dissertação.

IV. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Determinar o posicionamento crono-estratigráfico e evolução geológica da sequência de rochas supracrustais do Grupo Guanhães na região próxima à cidade de Guanhães, Minas Gerais.

Objetivos Específicos

A fim de atender o objetivo geral, foram realizados os seguintes estudos:

- 1) Definir o empilhamento litoestratigráfico da sequência metassedimentar portadora de formações ferríferas de Guanhães, caracterização da origem e protólitos dos principais litotipos;
- 2) Compreender do arcabouço estrutural local, através da identificação das estruturas encontradas na área de estudo, assim como a relação temporal entre elas;
- 3) Determinar a idade máxima de deposição das rochas metasedimentares, bem como a idade de cristalização de granitoides do embasamento e granitos intrusivos;
- 4) Caracterizar a geoquímica das formações ferríferas bandadas e estudo petrográfico e mineralógico de detalhe, para assim obter um quadro representativo da composição e da natureza deste litotipo e definir o ambiente de sedimentação;
- 5) Propor um modelo tectono-estrutural para região estudada, no contexto do Orógeno Araçuaí.

V. METODOLOGIA

1. Definição e caracterização da sequência de rochas supracrustais do Grupo Guanhães
 - a. Revisão bibliográfica sobre a geologia regional da área e sobre formações ferríferas pré-cambrianas em geral;
 - b. Realização de perfis de detalhe, perpendiculares a estruturação das camadas, para reconhecimentos das relações estratigráficas e principais estruturas. Foram levantados perfis litoestratigráficos de detalhe em cinco alvos, além da análise detalhada de outros cinco alvos onde não ocorre a sequência completa de rochas. A metodologia de campo, através de perfis e ainda análise de afloramentos pontuais localizados, foi determinada devido à pouca ocorrência de bons afloramentos do Grupo Guanhães e com tentativa de abranger uma ampla área de estudo;
 - c. Descrição de 11 testemunhos de sondagem, para determinação da litoestratigrafia e coleta de amostras para laminação e geoquímica;
 - d. Estudo petrográfico por luz transmitida e refletida de 40 lâminas delgadas e delgadas/polidas dos principais litotipos da sequência, para determinação de suas características mineralógicas e texturais;
 - e. Análise estrutural a partir de levantamento detalhado de estruturas em cada ponto levantado
2. Datação dos metassedimentos
 - a. Definição da idade máxima de deposição de quatro amostras de quartzito, através da datação de zircões detríticos por U/Pb SHRIMP (Sensitive High Resolution Ion Microprobe) na *Curtin University of Technology*, Austrália Ocidental;
3. Datação dos granitóides
 - a. Definição da idade de cristalização dos granitoides, através da datação de zircões de cinco amostras por U/Pb LA-ICP-MS no Laboratório de Estudos Isotópicos do DEGEO-UFOP;
 - b. Definição da idade de cristalização de um granitoide do embasamento cristalino pela datação de zircões de uma amostra com o método U/Pb SHRIMP; na *Curtin University of Technology*, Austrália Ocidental;
4. Estudo de Anisotropia à Susceptibilidade Magnética
 - a. Coleta de 46 amostras orientadas em sete alvos;

- b. Medições de susceptibilidade e outras propriedades de MAS (Km, Pj, K1, K2 e K3) foram realizadas no Laboratório de Paleomagnetismo do IAG-USP, utilizando um KLY3 Kappabridge;
 - c. Cálculo dos parâmetros de forma e anisotropia foram feitos com o uso do software Anisoft42;
5. Caracterização geoquímica das Formações Ferríferas
- a. Análises em rocha total de 17 amostras em furo de sondagem;

As lâminas delgadas e delgada/polidas foram confeccionadas na UNESP em Rio Claro São Paulo, na Vancouver GeoTech Labs, Vancouver, Canadá e no laboratório do Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa (CPMTC) na UFMG em Belo Horizonte. O estudo petrográfico foi realizado utilizando microscópios de luz transmitida e refletida das marcas LEICA e Zeiss do CPMTC, com ocular de 10X e objetivas de 2,5X, 5X, 10X, 20X e 50X. A análise petrográfica destacou aspectos texturais e composicionais das rochas da área estudada, que foram ilustradas por fotomicrografias em câmera digital Leica

Dados estruturais de campo foram tratados utilizando o programa Stereo 32 e OpenStereo, e os diagramas de contorno de densidade foram feitos com base no parâmetro estatístico de soma dos cossenos.

As caracterizações geoquímicas foram feitas a partir de análises químicas de rocha total realizadas pelo Laboratório AcmeLabs – ACME Analytical Laboratories Ltd. (Canadá).

Análises isotópicas U-Pb foram realizadas em cristais de zircão detrítico pelo método SHRIMP (Sensitive High Resolution Ion Microprobe) na *Curtin University of Technology*, Austrália Ocidental, e pelo método LA-ICP-MS no laboratório de Estudos Isotópicos do DEGEO-UFOP.

As amostras coletadas foram processadas pelos métodos convencionais, com britagem, moagem em moinho de disco (para evitar a quebra dos cristais), e peneiramento no laboratório LOPAG–DEGEO–UFOP. A concentração de pesados da fração de 80 a 120 mesh foi feita por bateia. Após a concentração as amostras foram novamente moídas, peneiradas e lavadas para eliminar material muito fino (tamanho silte e argila). A fração com 60-250 mesh foi tratada com líquido pesado (TBE – tetra-bromo-etano) para remover minerais leves, e foi utilizado o separador magnético Frantz LB1, para concentrar os minerais menos magnéticos como o zircão. Os cristais de zircão foram separados manualmente e organizados numa montagem em epoxy. Eles foram montados em pequeno cilindro de epoxy de 2,5 cm de diâmetro e polidos até que estivessem expostos.

SHRIMP

Imagens foram obtidas utilizando-se microscópio ótico, e as imagens de elétrons retroespalhados no MEV JEOL6400 no CMCA (Centre for Analytical and Characterization Analyses) da University of Western Australia. As imagens dos zircões são de extrema importância para identificação de características internas o que ajuda a evitar que se analise áreas com conteúdo de Pb comumente alto (inclusões, fraturas ...). A montagem em epoxy foi coberta por película de ouro para as análises no SHRIMP. A maioria dos spots foi feita com tamanho do feixe de laser entre 20-30 μm e apenas uma análise de zircão hidrotermal utilizou feixe de 10 μm . Quatro escaneamentos foram utilizados para cada spot analisado do zircão, e sete escaneamentos durante análises de menor diâmetro. Os seguintes dados foram analisados:

($^{196}\text{Zr}^{20}$, ^{204}Pb , background, ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{238}U , ^{248}ThO , ^{254}UO), e $^{200}\text{TixOy}$, ^{204}Pb , background, ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{238}U , ^{248}ThO , e ^{254}UO . Os padrões D23 e NBS611 foram usados para identificar a posição do pico de massa do ^{204}Pb , enquanto que a calibração do conteúdo de Pb/U foi realizada usando padrão de zircão BR266 (559 Ma, 903 ppm U). As idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ foram utilizadas para todos os grãos detríticos e as idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foram utilizadas para zircão hidrotermal. A maioria dos dados são concordantes, sendo que os discordantes foram agrupados em algumas populações vizinhas evidentes. Todos os dados em zircão detrítico com correção comum de Pb maior que 1% foram rejeitadas durante o primeiro escaneamento. As incertezas de idades individuais foram cotadas a 1σ , enquanto que a idade dos plots foram calculadas no nível 2σ (aproximadamente 95% confiança). Dados do SHRIMP foram reduzidos utilizando programa SQUID (Ludwig 2001) e plots foram preparados usando ISOPLOT/Ex (Ludwig 2003).

LA-ICP-MS

No Laboratório de Estudos Isotópicos do DEGEO-UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil, utilizou-se o LA-Q-ICP-MS para determinação dos elementos traço e das idades U-Pb preliminares. Um sistema de laser NdYAG 213 (New Wave Research UP-213) acoplado a um ICP-MS quadrupolo Agilent 7700x foi usado para medir a razão isotópica U-Pb nos grãos de zircão. Os furos nos zircões variam o diâmetro entre 30 e 40 μm . Os dados de sinal de tempo resolvido foram processados usando o pacote de software Glitter e, posteriormente, plotaram-se estes dados em uma extensão do Microsoft Excel, o Isoplot (Ludwig 2012). A redução dos dados incluiu a correção de problemas de fracionamento e de erros nas contagens das massas. As imagens de catodoluminescência e BSE foram obtidas na REDE GEOCHRONOS-UNB, em Brasília, DF, Brasil.

VI. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo possui 200 km² e localiza-se em parte na folha Guanhães (SE-23-Z-B-V, Carta do Brasil, escala 1:100.000) e em parte na folha Serro (SE-23-Z-B-IV, Carta do Brasil, escala 1:100.000), abrangendo os municípios de Braúnas, Cantagalo, Divinolândia de Minas, Guanhães, Materlândia, Paulistas, Peçanha, Sabinópolis, São João Evangelista, Senhora do Porto e Virgíniópolis. O acesso a área é feito a partir de Belo Horizonte pela BR-381, por cerca de 70 km até o trevo de Itabira. A partir deste trevo segue-se pela BR-120 por aproximadamente 180 km até a sede do município de Guanhães, porção central da área em estudo (Figura 3).

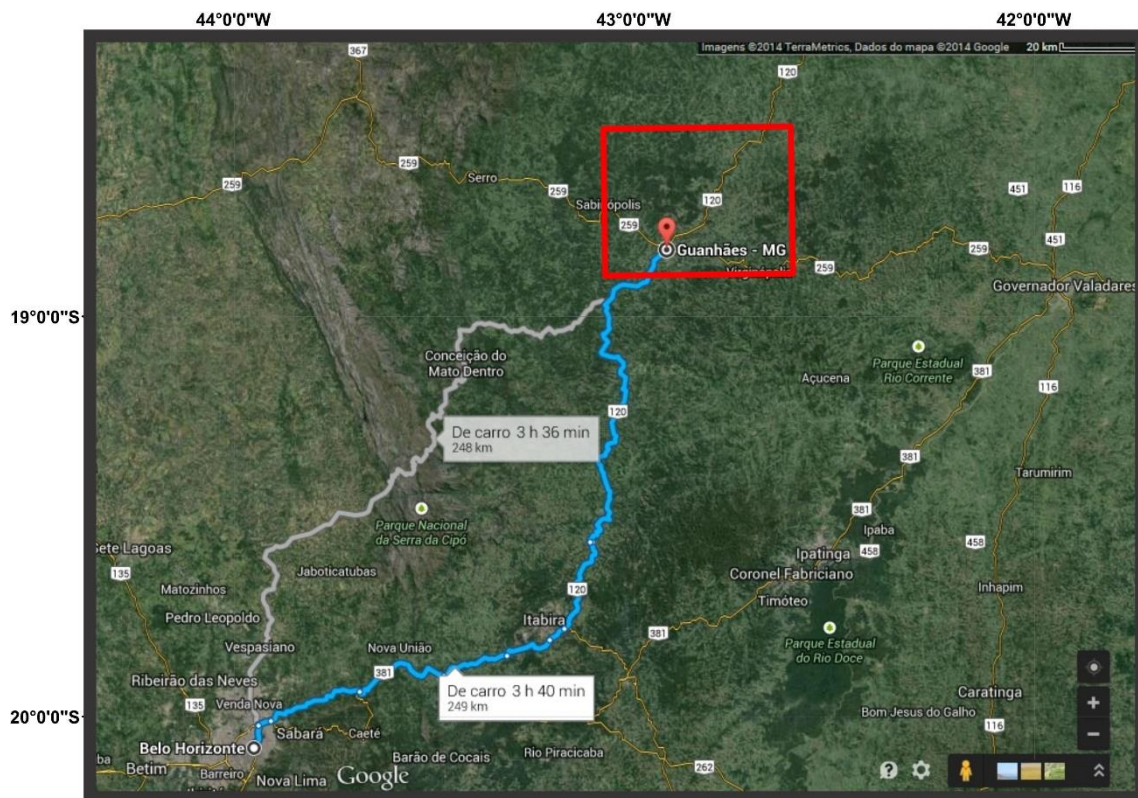


Figura 3: Mapa de localização da área estudada e acesso a partir de Belo Horizonte. Em azul está destacada a rota descrita no texto, em cinza destaca-se uma rota alternativa, a área de estudo está destacada em vermelho. Imagem modificada de <https://www.google.com.br/maps/dir/Belo+Horizonte,+MG/Guanh%C3%A3es+-+MG/@-19.353728,-43.9054051,172024m/data=!3m1!1e3!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0xa690a165324289:0x701d1dc8bb05fd7d!2m2!1d-43.9386024!2d-19.9191573!1m5!1m1!1s0xae4b4d822f8225:0x77c060718ac50c50!2m2!1d-42.9316326!2d-18.7717612!5i1> (Acesso 27/10/2014)

VII. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - FORMAÇÕES FERRÍFERAS PRÉ-CAMBRIANAS

James (1954) definiu formação ferrífera como uma rocha sedimentar química tipicamente bandada e/ou laminada, com quantidade de ferro igual ou superior a 15% e, comumente, mas não necessariamente contendo camadas de chert. Esta definição englobaria, segundo o autor, os itabiritos sul-americanos.

Por sua vez, o termo *itabirito* foi definido por Dorr & Barbosa (1963) para descrever as formações ferríferas laminadas da fácies óxido que foram metamorfisadas e que ocorrem no distrito de Itabira. Nessas rochas as bandas originais de chert e jasper foram recristalizadas em quartzo granular e nas quais as altas concentrações de minerais de ferro se apresentam como hematita, martita e magnetita.

Pode-se dividir as formações ferríferas em formação ferrífera bandada (BIF – Banded Iron Formation) ou formação ferrífera granular (GIF – Granular Iron Formation), baseando-se em suas estruturas primárias (Simonson, 2003). Segundo Beukes and Klein (1990), a maior parte dos clastos nas GIF se formaram pela erosão e redeposição intrabasinal de lamas ricas em ferro de origem química, como aquelas que formam BIFs. As formações ferríferas bandadas são dominantes nas sucessões arqueanas ao começo do Paleoproterozoico, enquanto formações ferríferas granulares são muito mais comuns na sucessão Paleoproterozoica (Simonson, 2003).

Trendall (1965a) *in* Trendall and Blockley (1970) definiu três escalas de bandamento nas quais as formações ferríferas do Membro Dales Gorge do Grupo Hamersley, Austrália Ocidental, são descritas. A primeira escala é um macrobandamento definido pelo contraste entre duas litologias, formação ferrífera bandada e um pacote formado por folhelhos, chert e siderita. Posteriormente, um mesobandamento marcado por sucessões de bandas com espessura aproximada de uma polegada (~2,5cm) de diferentes composições dentro da formação ferrífera. Finalmente, o autor definiu um microbandamento caracterizado por uma laminação variando de 0,3 a 1,7 milímetros marcada por horizontes de minerais ferrosos em meio ao chert.

Trendall (1965a) e Trendall (1966a) *in* Trendall and Blockley (1970) propuseram uma hipótese para o desenvolvimento das mesobandas onde sugerem que essa estrutura seria formada pela compactação e diagênese das microbandas primárias.

As formações ferríferas bandadas são comumente divididas em três categorias definidas por Gross (1983) considerando as características geológicas e geotectônicas das sequências associadas às

formações ferríferas. São elas os tipos Algoma, Lago Superior e Rapitan (Figura 4). A classificação de BIFs como Lago Superior ou Algoma enfatiza principalmente o contraste entre o ambiente de deposição desses tipos, sendo o primeiro típico de bacias costeiras próximas às margens continentais e o segundo formado próximo a centros vulcânicos.

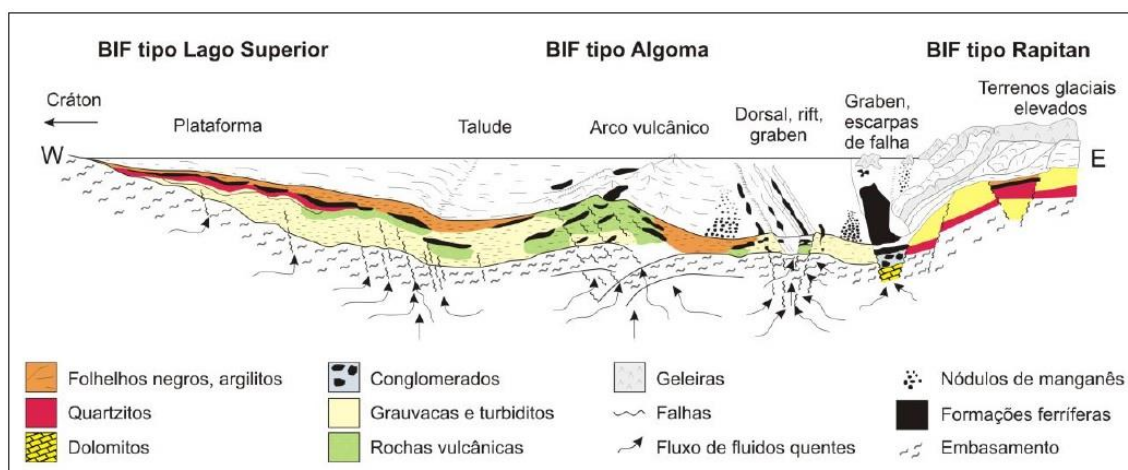


Figura 4: Classificação das formações ferríferas segundo as características e geotectônicas de seu ambiente deposicional, modificado de Gross (1980).

As BIFs do tipo Algoma são associadas a folhelhos, grauvacas, sequências turbidíticas e rochas vulcânicas e são formadas próximo a centros vulcânicos (Gross, 1980). As formações ferríferas desse tipo estão presentes em sequências *Greenstone Belts* vulcano-sedimentares de idade entre Eoarqueano e Paleoproterozoico superior (Goodwin, 1973; James, 1983; Isley and Abbott, 1999; Huston and Logan, 2004 in Bekker *et al.*, 2010).

As formações ferríferas do tipo Lago Superior são associadas a dolomitos, quartzitos, folhelho negro e, em menores quantidades, tufos e outras rochas de origem vulcânica. As BIFs desse tipo de depósito estão associadas a espessas camadas de rochas sedimentares. Elas foram depositadas em margens cratônicas, nas plataformas continentais marinhas e em bacias do tipo rifte, em ambiente de plataforma continental passiva no Paleoproterozoico (Gross, 1980).

As BIFs do tipo Rapitan são formadas em condições diferentes dos tipos anteriores. São formadas em bacias do tipo rifte intra-continental ou bacias sobre blocos falhados ao longo de margens continentais (Gross, 1980). Essas formações ferríferas ocorrem associadas a litologias glaciogênicas, como diamictitos, conglomerados, grauvaca, arenito, argilito e camadas com seixos pingados (Klein, 2005).

Na região do Lago Superior, Canadá, James (1954) dividiu as formações ferríferas em quatro fácies: silicato, sulfeto, carbonato e óxido, que seriam formadas em diferentes condições químicas em

um mesmo ambiente deposicional. A fácies oxido representaria um ambiente de alto Eh, a fácies sulfeto ambiente de baixo Eh e as outras duas teriam Eh intermediário. Segundo Gross (1983), as quatro fácies definidas por James (1954) ocorrem também em depósitos do tipo Algoma.

Formação das BIFs

A origem das formações ferríferas ainda é motivo de pesquisa e discussão, principalmente devido à ausência de ambientes deposicionais modernos capazes de precipitar ferro na grande quantidade encontrada nas BIFs pré-cambrianas.

Klein and Beukes (1989) estudaram a sequência de Campbellrand do Supergrupo Transvaal na África do Sul, e criaram um modelo de deposição de BIFs em oceano estratificado onde a variação do suprimento de oxigênio e carbono seriam os fatores condicionantes das fácies. Segundo esses autores, os calcários, dolomitos e folhelhos foram depositados em águas superficiais, em locais de grande produtividade de matéria orgânica. Por sua vez, as BIFs seriam depositadas em locais profundos do oceano, em ambientes carentes em carbono orgânico e enriquecidas em FeO dissolvido, proveniente de fontes hidrotermais quentes.

Os grandes questionamentos quanto ao processo de formação de BIFs são principalmente:

- a fonte das grandes concentrações de ferro encontradas nessas rochas;
- condições para o transporte do ferro do local de origem ao local de deposição;
- condições para precipitação do ferro na forma Fe^{3+} ;
- os ambientes deposicionais capazes de combinar todos esses fatores

No que diz respeito à origem das grandes quantidades de ferro encontrados nos depósitos de formação ferríferas assumem-se três possíveis fontes: (a) ferro transportado em solução pelos rios ao oceano (James, 1954); (b) ferro teria origem de águas supersaturadas no fundo oceânico, ricas em sedimentos químicos (Holland, 1973) e (c) fonte vulcânica exalativa ou sistemas hidrotermais submarinos em região de cadeia mesoceânica. Klein (2005) baseia-se na terceira hipótese e associa a diminuição de Fe nos oceanos e falta de depósitos modernos de formação ferrífera entre 1,8 a 0,8 à diminuição do hidrotermalismo de cadeia mesoceânica.

Jacobsen and Pimentel-Klose (1988) conduziram estudos isotópicos de Sm-Nd para as bacias de Hamersley e Michipicoten, para explicar a origem do Fe e dos ETR nas BIFs dessas bacias. Os autores concluíram que as fontes hidrotermais mesoceânicas estariam intimamente ligadas à fonte do ferro, nessas bacias Arqueanas, devido ao valor positivo de ϵNd , característico de fontes mantélicas.

Um outro fator complicador na formação dos grandes depósitos de formação ferrífera bandada, sobretudo para o modelo de deposição tipo Lago Superior, é o transporte do Fe em solução na forma Fe^{2+} da área fonte até a área de deposição, isso porque a solubilidade do ferro só é possível em condições altamente redutoras ou alcalinas.

O desenvolvimento de um amplo reservatório de ferro em solução nas águas oceânicas foi possível graças a dois fatores principais (Bekker *et al.*, 2010):

- atmosfera redutora ou com baixo potencial oxidante;
- baixa concentração marinha de sulfatos e sulfetos. Atualmente a concentração de H_2S nos oceanos é tão alta que logo que o Fe é expelido das chaminés hidrotermais ele se precipita em forma de FeS e FeS_2 (Kump and Seyfried, 2005).

Além das condições anóxicas necessárias para o transporte do Fe em solução o ferro é posteriormente precipitado em forma de Fe^{3+} . Para que isso aconteça, o Fe^{2+} , em solução, deve entrar em contato com um ambiente óxico, o que causa a precipitação de óxidos e carbonatos de ferro. Segundo Bekker *et al.* (2010) são considerados três processos principais de oxidação do Fe^{2+} (Figura 5):

- oxidação devido ao O_2 proveniente de cianobactérias. É o modelo tradicional para deposição de BIFs e, segundo Bekker *et al.* (2010), envolve a oxidação inorgânica do ferro em razão de um horizonte oxidante produzido pelas cianobactérias (Figura 5A).
- oxidação anóxica. Segundo Bekker *et al.* (2010) é o segundo mecanismo mais aceito para a precipitação do ferro de formações ferríferas bandadas. A oxidação do ferro nesse modelo é gerada pela ação metabólica direta de bactérias quimioautotróficas, (Figura 5B) (Planavsky *et al.*, 2009)
- oxidação fotoquímica. Esse modelo é uma alternativa aos processos biológicos (Cairns-Smith, 1978) e propõe que o ferro pode ter sido foto oxidado pela ação de raios ultravioleta, sem a necessidade de um ambiente rico em oxigênio (Figura 5C).

Em função de todas as condições necessárias para a formação de grandes depósitos de ferro precipitado, existem inúmeros modelos de deposição propostos, que variam em função das características de cada depósito. Hoje aceita-se amplamente a existência de um oceano estratificado, como o proposto por Klein and Beukes (1989), em que o Fe^{2+} proveniente de fontes hidrotermais, teria sido transportado por águas profundas anóxicas até um ambiente de águas mais rasas e ricas em

oxigênio, proveniente de atividade biológica, onde o Fe^{2+} seria oxidado e se precipitaria em forma de Fe^{3+} (Figura 5).

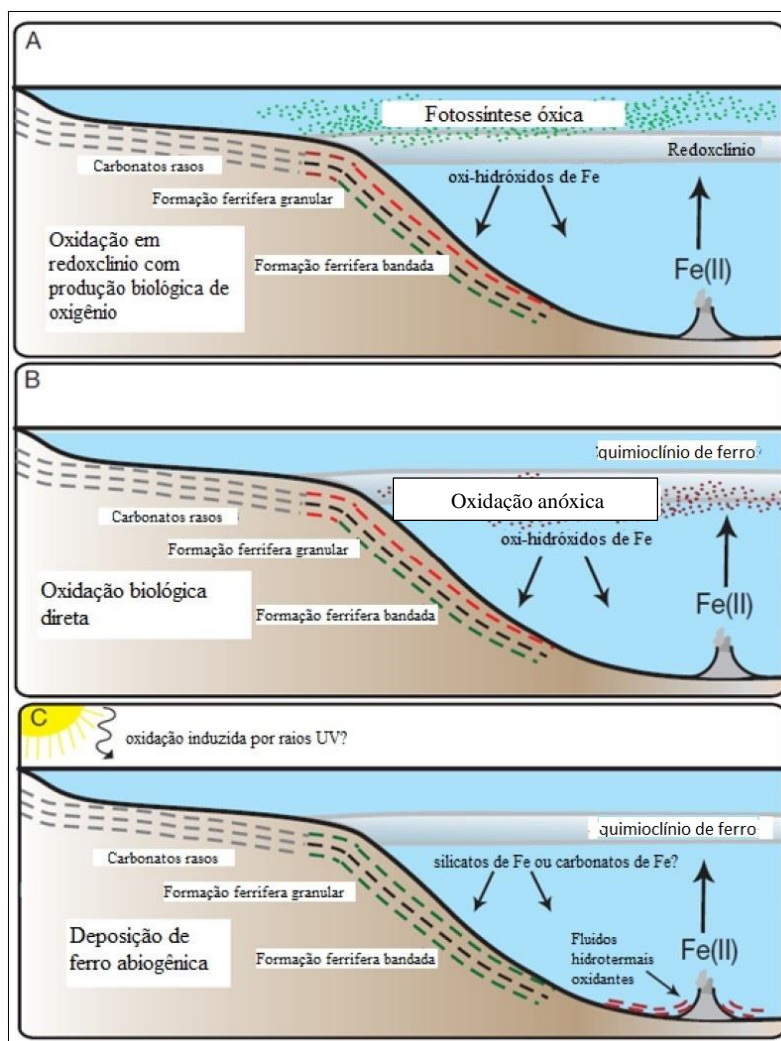


Figura 5: Modelo simplificado dos tipos de oxidação sofridas pelo Fe^{2+} para formação das BIFs. (A) Oxigênio em ambientes de águas rasas, acima da redoxclínio, produto de atividade fotossintetizante. (B) Oxidação do ferro diretamente pela ação de bactérias, denominado de oxidação anóxica. (C) Oxidação fotoquímica, e presença de fluidos hidrotermais oxidantes próximos as fumarolas. Modificado de Bekker et al. (2010)

Distribuição temporal

As formações ferríferas bandadas mais antigas datam de 3,8Ga e fazem parte da sequência de supracrustais de Isua na Groenlândia, ocorre associada a metavulcânicas e estão metamorfisadas, não preservando feições sedimentares (Klein, 2005). Segundo Clout and Simonson (2005), o ápice da sedimentação de ferro ocorreu entre ~2,85 a 1,8 Ga, quando grandes depósitos de BIFs foram formados globalmente devido à confluência de 3 fatores, cuja combinação foi responsável pelos volumes incomuns desses depósitos:

- elevada concentração de ferro nos sistemas hidrotermais submarinos;
- aparecimento de grandes áreas continentais com bacias costeiras onde se depositou o ferro;
- oceanos estratificados capazes de conectar os dois ambientes.

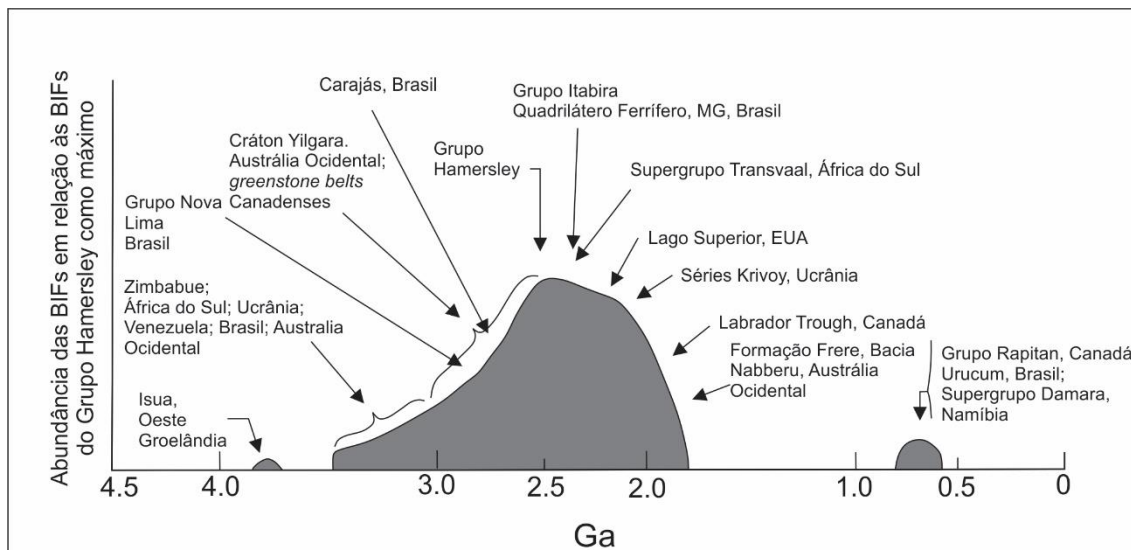


Figura 6: Diagrama esquemático mostrando o volume relativo das principais BIFs do mundo em função do tempo (modificado de Klein, 2005)

De acordo com Bekker *et al.* (2010), a formação de grandes depósitos de formações ferríferas bandadas coincidem, aproximadamente, aos períodos dos maiores eventos de megaplumas mantélicas, associados a quebra de megacontinentes.

A falta de grandes volumes de formação ferrífera bandada no fim do Paleoproterozoico e Mesoproterozoico coincide com uma pausa inferida na atividade tectônica global apontada por Condie *et al.* (2009), que teria causado um grande abaixamento no nível do mar.

Após o aumento do oxigênio atmosférico em 2,4 Ga, as GIFs tornaram-se mais abundantes do que as BIFs no registro das rochas (Bekker *et al.*, 2010). As BIFs desaparecem do registro geológico em cerca de 1,8Ga e reaparecem apenas entre 0,8 a 0,6 Ga (Klein, 2005). Essas BIFs Neoproterozoicas são sempre associadas a depósitos glaciogênicos e possuem características muito diferentes das BIFs mais antigas, estando, entretanto, também relacionadas a períodos de intensa atividade magmática.

Características geoquímicas das BIFs

ELEMENTOS MAIORES

Formações ferríferas bandadas são sedimentos químicos pouco usuais, isso porque eles possuem um alto teor de ferro (Fe_{total} entre 20% a 40 wt%). Além disso, o conteúdo de SiO_2 está entre 34 e 56%, CaO entre 1,75 e 9,0%, MgO entre 1,20 a 6,70%, e Al_2O_3 entre 0,09 e 1,8. O conteúdo de CaO , MgO , e MnO refletem a presença comum de carbonatos em BIF (e.g. siderita, ankerita, calcita

subordinada). Elevados teores de Al_2O_3 são atribuídos à contribuição detrítica na bacia (Klein 2005). Os elementos Na^+ , K^+ e Al^{3+} são considerados como produtos sedimentares de um gel amorfo cuja composição era aproximadamente igual à da stilpnomelano. Al_2O_3 , Na_2O e K_2O são hospedados, principalmente, em silicatos (e.g. riebeckita, greenalita e stilpnomelano) (Klein 2005). A presença de álcalis é descontínua e frequentemente associada à contaminação por material vulcânico/vulcanoclástico (LaBerge, 1966a e 1966b; Pickard, 2002)

Segundo Klein (2005), o grau de oxidação da BIF definido pela proporção de Fe_2O_3 e FeO podem ser expressados pela proporção $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+})$. Esse autor compilou uma série de dados geoquímicos de diversos depósitos mundiais e concluiu que essa proporção varia de 0,05 (para a formação ferrífera de Kuruman, rica em siderita) a 0,58 (para as formações ferríferas metamorfisadas Arquenas de Montana). As únicas formações ferríferas cujos valores da proporção $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+})$ são muito maiores são os depósitos de Urucum e Rapitan, ambos com valores de 0,98

ELEMENTOS TERRAS RARAS

Segundo Klein (2005), desde 1975 extensivos estudos foram feitos sobre os elementos Terras Raras (ETR), ou *Rare Earth Elements (REE)*, em BIFs com o objetivo de elucidar a fonte de ferro e sílica dessas rochas. Fryer (1983) já havia constatado a crescente atenção ao estudo da distribuição dos ETR esse autor compilou uma série de análises de BIFs de diferentes idades e reconheceu que poderiam fornecer uma série de informações quanto à sua gênese.

Os elementos Terras Raras são úteis como rastreadores geoquímicos devido a sua pouca mobilidade diante dos processos geológicos, principalmente metamorfismo e intemperismo. Os valores de ETR são normalmente normalizados a um padrão de referência com o objetivo de eliminar o efeito *Oddo-Harkins*, que é a variação de abundância que existe entre os elementos de número atômico par e ímpar (Allaby, 2008). Comumente usa-se para a análise de BIFs os padrões de composição de condritos: Evensen *et al.* (1978) e Taylor and McLennan (1985) e folhelhos: NASC (*North American Shale Composite*) de Gromet *et al.* (1984), PAAS (*Post-Archean Australian Shale*) de McLennan *et al.* (1989) e MUQ (*Mud from Queensland*) de Kamber *et al.* (2005).

Formações ferríferas arqueanas e do início do Paleoproterozoico são caracterizadas por consistente depleção de elementos Terras Raras leves (ETRL) (Planavsky *et al.*, 2008). Isso contrasta com as BIF do final do Paleoproterozoico, que mostram uma gama de valores da razão de ETRL e elementos Terras Raras pesados (ETRP) tanto acima quanto abaixo da normalização do padrão de folhelhos PAAS (Bekker *et al.*, 2010).

Além do enriquecimento relativo de ETRP em relação aos ETRL e de ambos ao padrão de normalização, grande parte dos estudos geoquímicos de BIFs focam-se na anomalia de Eu como traçador da contribuição hidrotermal e na anomalia de Ce como traçador das condições de redox do oceano. Esses dois elementos, ao contrário do restante dos Terras Raras, apresentam dois estados de valência cada, Eu^{+2} e Eu^{+3} , Ce^{+3} e Ce^{+4} .

A anomalia de európio ocorre quando há redução de parte do Eu^{+3} para Eu^{+2} . Essa mudança no estado de valência modifica o comportamento do elemento porque o Eu^{+2} difere em tamanho, complexo de formação e absorção em superfície mineral. Segundo Klinkhammer *et al.* (1983) e Bekker *et al.* (2010), essa redução ocorre sob condições de alta temperatura ($>250^\circ\text{C}$). O enriquecimento de európio nos sedimentos que são precipitados a partir de água marinha indica uma forte influência de fluidos hidrotermais quentes na quantidade de ETR dessa massa de água (Derry and Jacobsen, 1990)

Klein (2005) demonstra que há um decréscimo consistente na concentração total de elementos Terras Raras bem como no tamanho da anomalia positiva de európio, quanto mais jovens as formações ferríferas. Esse comportamento sugere uma decrescente contribuição hidrotermal nos ambientes de oceano profundo do início do Arqueano ao início do Proterozoico. De acordo com Bau and Möller (1993), essa diminuição na anomalia de Eu é um reflexo de uma redução da temperatura do manto superior e conseqüente decréscimo na temperatura das soluções hidrotermais. Danielson *et al.* 1992 afirmaram que a dependência do potencial redutor do Eu em relação à temperatura mostra que o desaparecimento da anomalia positiva nas BIFs pode ter sido causado por uma evolução termal da crosta.

Segundo Wilde *et al.* (1996) o uso da anomalia de Cério foi primeiramente proposta por Elderfield and Greaves (1982) como uma função do estado de oxidação. O Ce^{3+} é menos solúvel, é adsorvido pelas partículas de argila em suspensão, empobrecendo a argila do mar nesse elemento (sobre o Ce^{2+} , que é mais solúvel). Dessa forma, a água marinha óxica é menos rica em Ce enquanto os sedimentos oxidados são mais ricos em Ce. Sendo assim, sedimentos pelíticos ricos em óxidos de ferro depositados em ambiente óxido, como por exemplo *Red Clays*, possuem anomalia positiva de Ce (Thomson *et al.*, 1984). Em contraste, em sedimentos formados em condições anóxicas apresentam depleção em Ce, apresentando anomalia negativa a ligeiramente positiva (Wilde *et al.*, 1996).

Em geral, formações ferríferas bandadas arqueanas não mostram anomalia significativa de Ce quando normalizados aos folhelhos, e somente formações ferríferas mais novas que 1,9 Ga mostram proeminente anomalia positiva de Ce (Bau and Dulski, 1996; Planavsky *et al.*, 2010).

Outro elemento de grande importância na análise geoquímica de formações ferríferas bandadas é o Ytrio. Esse elemento possui comportamento geoquímico semelhante aos Elementos Terras Raras pesados e sobretudo ao Ho (Bau *et al.*, 1997). Portanto alguns trabalhos mais recentes tratam da distribuição dos ETR +Y, onde o Y é inserido entre Dy e Ho, de acordo com seu raio iônico. Analisando-se a razão Y/Ho determina-se a anomalia de Y em relação aos ETR (Bau and Dulski, 1996)

Apesar de suas semelhanças, Y e Ho possuem diferentes propriedades no sistema marinho, em que o Ho é absorvido pelas partículas sólidas em suspensão duas vezes mais rápido do que o Y (Nozaki *et al.*, 1997) o resultado disso é que a proporção Y/Ho é maior na água do mar ou em sedimentos químicos em equilíbrio quando comparado aos folhelhos (aumenta a proporção de Y na água, que não é absorvido como o Ho). Como a diferença de reatividade entre Y e Ho se manifesta bem em óxidos de metais, há uma diminuição na razão de Y/Ho dissolvida na água do mar em águas subóxicas e anóxicas devido ao aumento de Ho em relação ao Y liberado das partículas ricas em Fe-Mn dissolvidas (Bau *et al.*, 1997). Rochas da crosta superior e sedimentos clásticos possuem valores de Y/Ho de ~28 enquanto que a água do mar possui valores significativamente maiores, entre 44-74 (Bau *et al.*, 1996).

Existe também uma diferença significativa no comportamento do Y (normalizado aos folhelhos) nas formações ferríferas do fim do Paleoproterozoico quando comparadas às BIFs mais antigas, do início do Paleoproterozoico e Arqueano. As mais antigas possuem sempre anomalia positiva de Y, sendo a média da proporção Y/Ho cerca de 27 nas amostras analisadas por Planavsky *et al.* (2010). Por sua vez, as amostras de BIFs do fim do Paleoproterozoico apresentam uma grande variedade de valores de Y/Ho, tanto acima quanto abaixo do valor de normalização dos folhelhos, com um valor médio de Y/Ho de 32. Amostras que apresentaram mais de 5% de Al₂O₃ são caracterizadas por valores de Y/Ho que são similares aqueles da composição dos folhelhos.

VIII. LITOESTRATIGRAFIA DA SEQUÊNCIA SUPRACRUSTAL PORTADORA DE BIF DE GUANHÃES

O empilhamento litoestratigráfico para o conjunto de rochas aflorantes na região próxima à cidade de Guanhões foi definido com base no levantamento de cinco colunas litoestratigráficas em escala de detalhe (1:5.000) (Figura 7), além da análise de 15 furos de sondagem do alvo Saibreira Jambreiro (Figura 1) (*Jambreiro Quarry*). Devido ao alto grau de deformação, com ocorrência de contatos tectônicos e transposição, o empilhamento de rochas não fornece informações sobre a estratigrafia e as espessuras são estimadas.

Foram reconhecidas seis unidades litoestratigráficas distintas, discriminadas aqui da base para o topo.

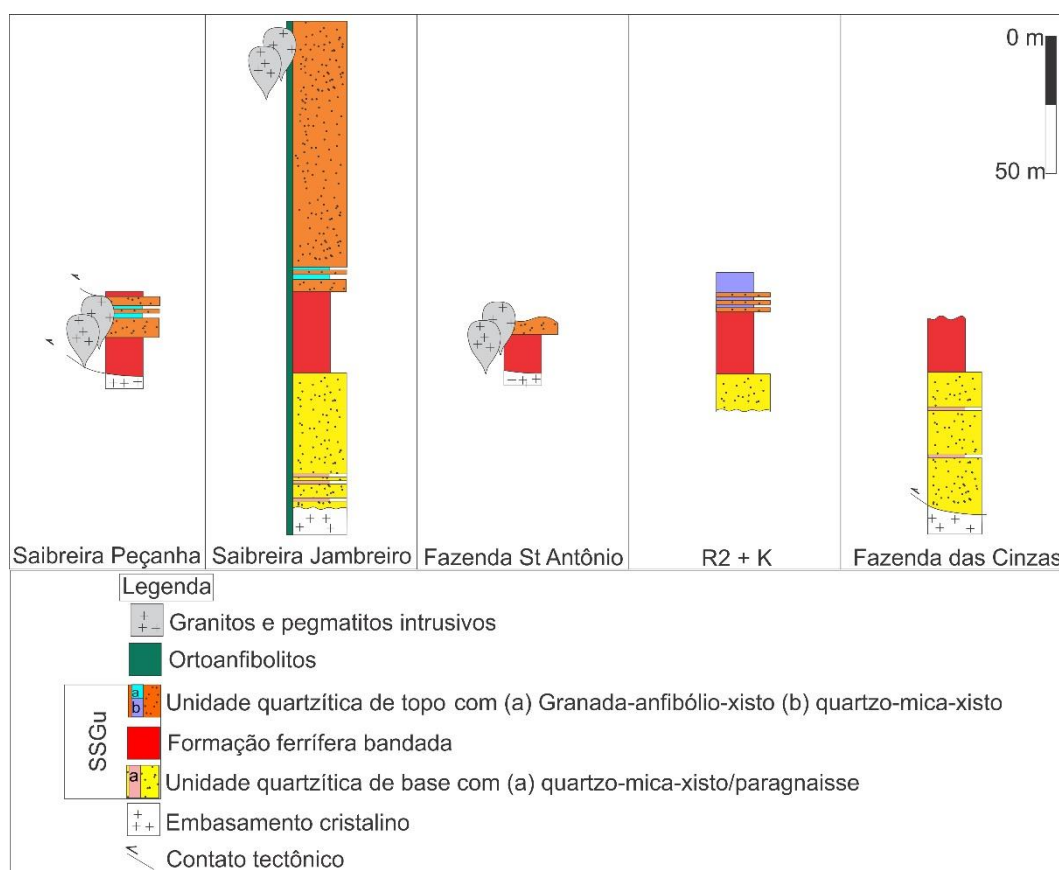


Figura 7: Colunas de empilhamento litoestratigráfico da Sequência Supracrustal portadora de BIF de Guanhões em 5 dos Alvos estudados.

COMPLEXO BASAL

O Complexo Basal sobrepõe a Sequência Supracrustal portadora de BIF de Guanhões (SSGu) e é composto por uma série de rochas granito-gnaisses foliadas (Figura 8A) e charnokito que ocorre como corpos individualizados (Figura 8B). Observa-se ainda a ocorrência de migmatização (Figura 8C) O complexo basal foi descrito próximo ao contato com as rochas metassedimentares, nos alvos

estudados. Três amostras foram coletadas em diferentes alvos e datadas, com o objetivo de confirmar o posicionamento da sequência e marcar a base das rochas supracrustais. Os resultados da datação são apresentados no artigo “THE BIF-BEARING SEQUENCE FROM GUANHÃES, MINAS GERAIS, BRAZIL: LITOSTRATIGRAPHY, STRUCTURAL ANALYSIS AND GEOCHRONOLOGY”.

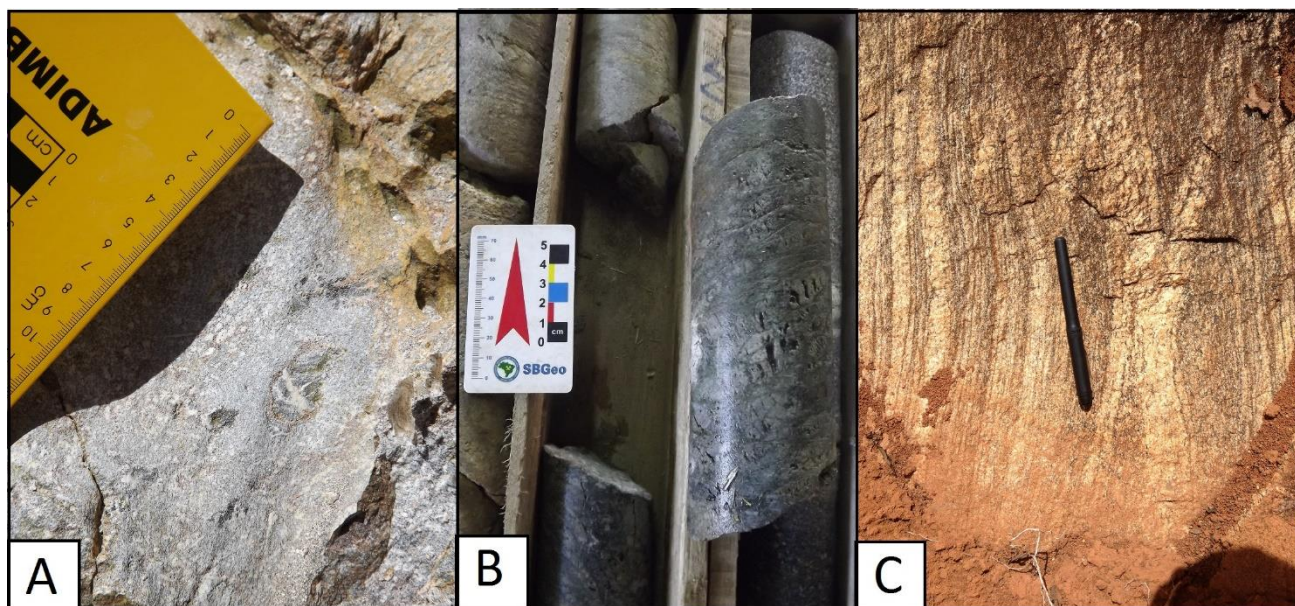


Figura 8: Rochas do embasamento em afloramento ou amostra de sondagem. A) Granitóide cinza com pórfiros de feldspato orientados e xenólitos máficos. B) Charnockito de coloração esverdeada, com anfíbólio e pórfiros orientados de piroxênio. C) Ortognaisse bandado.

Os ortognaisses descritos possuem coloração variando de cinza a branco, com textura inequigranular, matriz de granulação grossa e pórfiros estirados de feldspato. Observa-se ainda, eventualmente, xenólitos máficos (Figura 8A). Na zona próxima aos contatos com as rochas supracrustais das unidades superiores o contato pode apresentar-se cisalhado com foliação paralela ao contato. Ao microscópio observa-se a presença de plagioclásio (Figura 9A), quartzo, biotita (Figura 9B) e muscovita. A textura é granoblástica, os grãos apresentam contatos retos a serrilhados e as micas mostram orientação em duas direções, definindo duas foliações. Minerais secundários são clorita, como produto de alteração da biotita (Figura 9C), hematita, lamelar e tabular, e minerais resultantes da saussuritização do plagioclásio. Como acessórios observou-se a ocorrência de zircão, apatita (Figura 9D) e titanita.

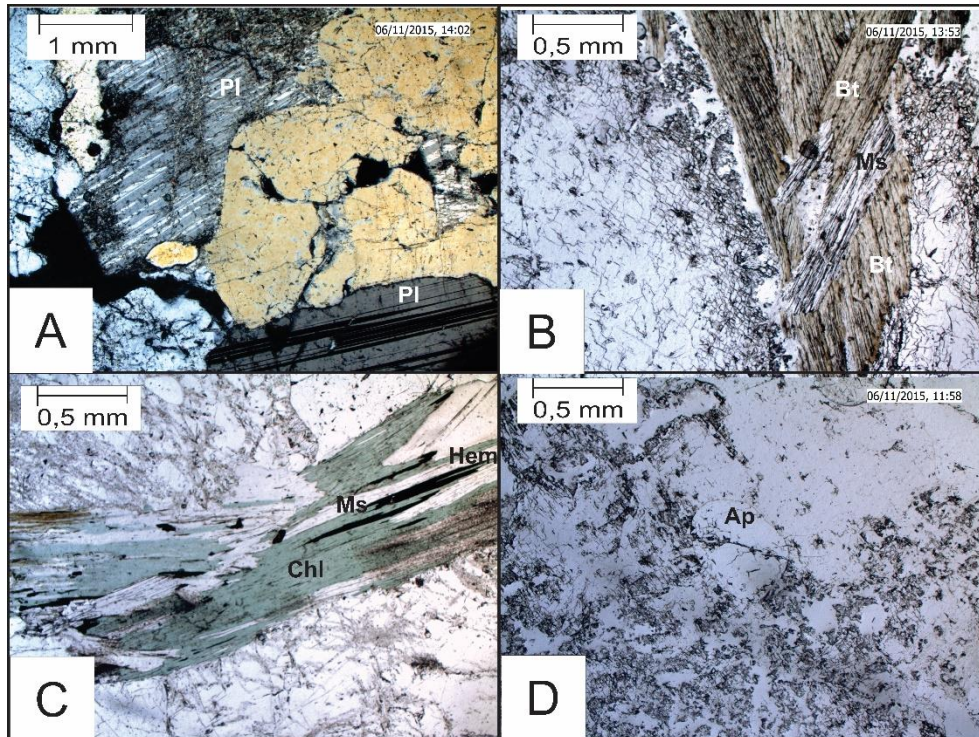


Figura 9: Imagens de microscopia sub luz transmitida de uma amostra de granito do embasamento. A) Plagioclásio maclados com e sem alteração. B) Biotita e Muscovita orientadas segundo duas direções. C) Clorita e hematita especular orientadas. D) Cristal de apatita em meio a plagioclásio. Pl=Plagioclásio; Bt= Biotita; Ms= Muscovita; Chl= Clorita; Hem= Hematita; Ap= Apatita.

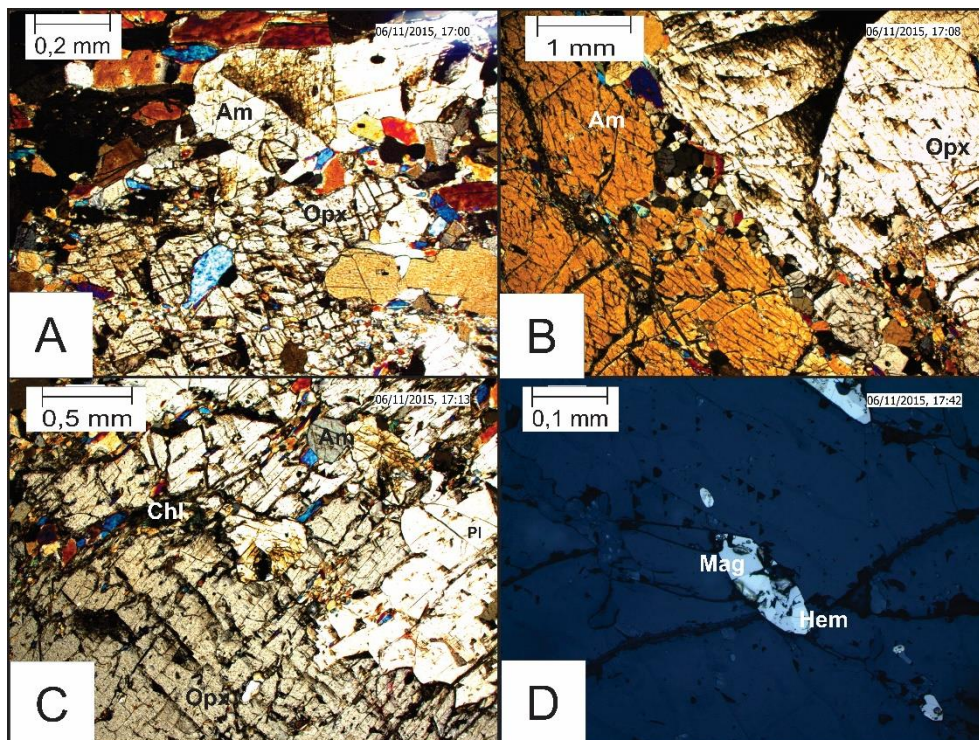


Figura 10: Imagens de microscopia sob luz transmitida (A, B, C) e refletida (D) de uma amostra de charnockito. A) Visão geral da lâmina, com ortopiroxênio, plagioclásio e anfibólio. B) Contato entre cristal de ortopiroxênio e anfibólio, diagnosticados pelos diferentes ângulos entre as clivagens. C) Ortopiroxênio com uranilização gerando clorita e anfibólio secundários. Contato serrilhado entre plagioclásio e ortopiroxênio. D) Cristal de magnetita martitizada. Anf= Anfibólio, Opx= Ortopiroxênio, Chl= Clorita, Pl= Plagioclásio, Mag= Magnetita, Hem= Hematita.

Já foi mencionada a presença de material charnockítico no interior do Complexo Basal, sob forma de massas isoladas. Guimarães and Gomes (1973) in Grossi-Sad *et al.* (1997) descrevem um charnockito hiperítico, junto da ponte da rodovia Guanhães – Virginópolis. O charnockito descrito nos testemunhos de sondagem do alvo Saibreira Jambreiro possui coloração verde esbranquiçada, com textura inequigranular, com matriz de granulação média e pórfiros estirados de clinopiroxênio. Observa-se a ocorrência de plagioclásio e anfibólio, além de biotita e clorita.

Ao microscópio observa-se como minerais essenciais clinopiroxênio, anfibólio, plagioclásio e quartzo (Figura 10A e B). Os minerais secundários são muscovita, carbonato e outros produtos da saussuritização de plagioclásio e uralitização do piroxênio (Figura 10C), os opacos são hematita e magnetita (Figura 10D) e além disso observa-se biotita e clorita. Os contatos são serrilhados a interlobados.

SEQUÊNCIA SUPRACRUSTAL DE GUANHÃES

Todos os quartzitos da região estudada, tanto da unidade de topo quanto de base são muito semelhantes, com algumas pequenas diferenças composicionais localizadas (Figura 11A). São quartzitos de granulação média a grossa e textura sacaroidal. Os pacotes de quartzitos são definidos por intercalações de quartzitos puros, quartzitos sericíticos com fibrolita (Figura 11B e C), quartzitos ferruginosos com cristais de martita e hematita (Figura 11D e E), quartzito arcóseano com caulim, sericita e outros argilominerais secundários.

Ao microscópio observa-se nos quartzitos, quartzo com extinção ondulante e contatos retos a irregulares (Figura 12A), além de microclina, sillimanita fibrosa (fibrolita) e biotita orientadas e com contatos serrilhados (Figura 12B e C), hematita, magnetita e martita. Como acessórios observa-se zircão e hornblenda anédrica com hábito granular (Figura 12A). Os minerais secundários são sericita preenchendo fraturas, e hidróxidos de ferro. A textura dos quartzitos é granoblástica poligonal a granolepidoblástica, os grãos de quartzo são alongados na direção da orientação das placas de sericita e fibras de fibrolita (Figura 12B, C e D). A ocorrência de fibrolita indica, ao menos, condições de fácies metamórfica anfibolito alto ($T > 600^\circ$).

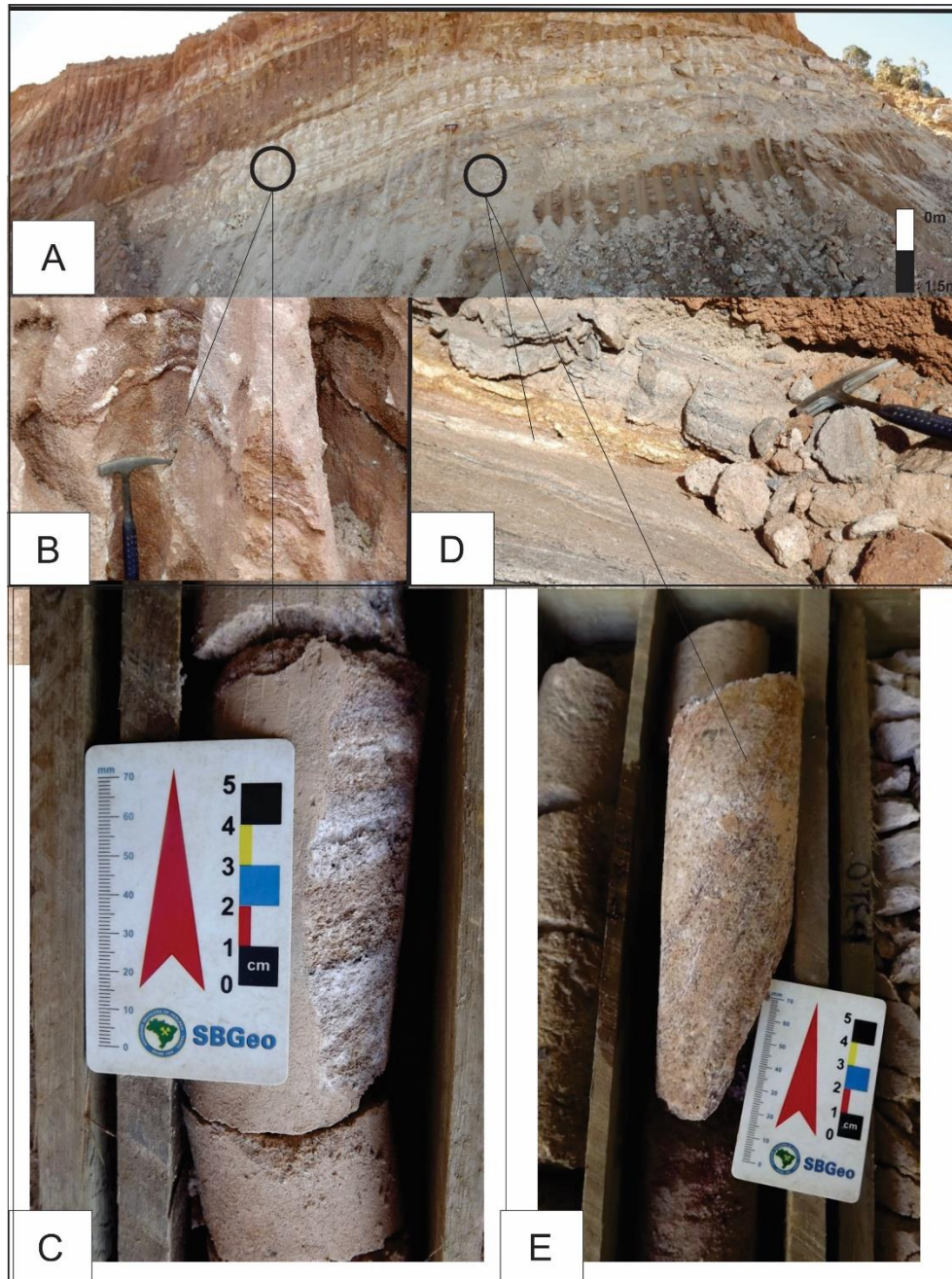


Figura 11: A) Afloramento de pacote de quartzitos da unidade superior, variando entre puros, sericíticos e ferruginosos. B e C) Quartzito sericítico rico em argilominerais, em escala de afloramento e amostra de mão, respectivamente. D e E) Quartzito ferruginoso, em escala de afloramento e amostra de mão, respectivamente. As fotos foram retiradas de diferentes afloramentos com semelhanças composicionais, os pontos sinalizados na figura A não representam a localidade dos testemunhos de sondagem.

Quatro amostras de quartzitos, tanto da unidade basal quanto da unidade de topo, foram selecionadas para datação U-Pb de zircões detríticos, os resultados são apresentados no artigo THE BIF-BEARING SEQUENCE FROM GUANHÃES, MINAS GERAIS, BRAZIL: LITOSTRATIGRAPHY, STRUCTURAL ANALYSIS AND GEOCHRONOLOGY.

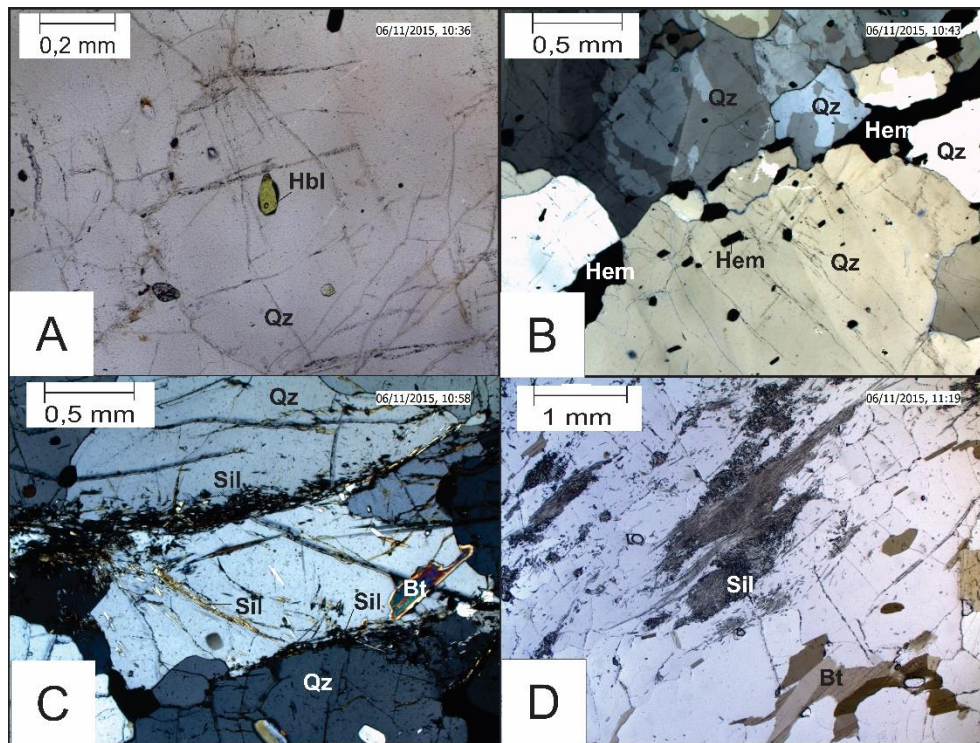


Figura 12: Imagens de quartzito ao microscópio. A) Hornblenda de hábito granular em meio ao quartzo, sob nicóis paralelos. B) Quartzo e hematita orientados segundo uma foliação, textura granonematoblástica, sob nicóis cruzados. C) Foliação S-C marcada pela orientação de fibrolita em meio ao quartzo, sob nicóis cruzados. Elongação dos cristais de quartzo segundo o plano C. D) Pods sigmoides de fibrolita. Biotita orientada segundo a foliação, sob nicóis paralelos. Hbl= Hornblenda, Qz= Quartzo, Hem= Hematita, Sil= Sillimanita fibrosa (Fibrolita), Bt= Biotita.

Unidade quartzítica de base

A unidade quartzítica de base diferencia-se da unidade quartzítica de topo pela ausência de espessos pacotes de quartzo-mica-xisto e pela ausência de granada-anfibólio-xisto. Nos pontos onde foi observado, o contato basal dessa unidade com o embasamento cristalino é tectônico. A unidade quartzítica de base grada para a formação ferrífera bandada, apresentando um aumento progressivo no conteúdo de ferro em direção ao topo da camada.

BIF Guanhões

As formações ferríferas da área estudada podem ser classificadas em dois tipos, de acordo com sua estruturação: formações ferríferas bandadas (Figura 13 A, B e C) e formações ferríferas sem bandamento (Figura 13C, D e E). Ambas possuem textura sacaroidal, com cristais de granulação variando de fina a média e mostra recristalização secundária com crescimento dos grãos. O que diferencia os dois tipos de formações ferríferas é que no segundo tipo o processo de recristalização foi muito intenso e combinado com uma possível remobilização mineral obliterou o bandamento primário.

A formação ferrífera por estar metamorfisada é denominada de itabirito (Rosière *et al.*, 2008). A mineralogia principal das formações ferríferas é quartzo, hematita (nas variedades: especular,

granular e lobular) e magnetita, além disso, ocorre sericita, anfibólio da série tremolita-actinolita e hornblenda, epidoto e biotita, como secundários observa-se clorita e carbonatos. A granulação da rocha é em geral média a fina variando entre 0,50 a 2,50 mm.

FORMAÇÃO FERRÍFERA BANDADA

A formação ferrífera possui duas escalas de bandamento semelhante às definidas por Trendall and Blockley (1970),

- Um microbandamento milimétrico, irregular, de origem primária, alternando bandas escuras compostas de óxidos de ferro e bandas de quartzo (Figura 13 A).
- Um mesobandamento centimétrico, marcado pelo predomínio de bandas escuras compostas de óxidos de ferro predominando sobre o quartzo e bandas claras onde o quartzo predomina sobre os óxidos de ferro (Figura 13 C).

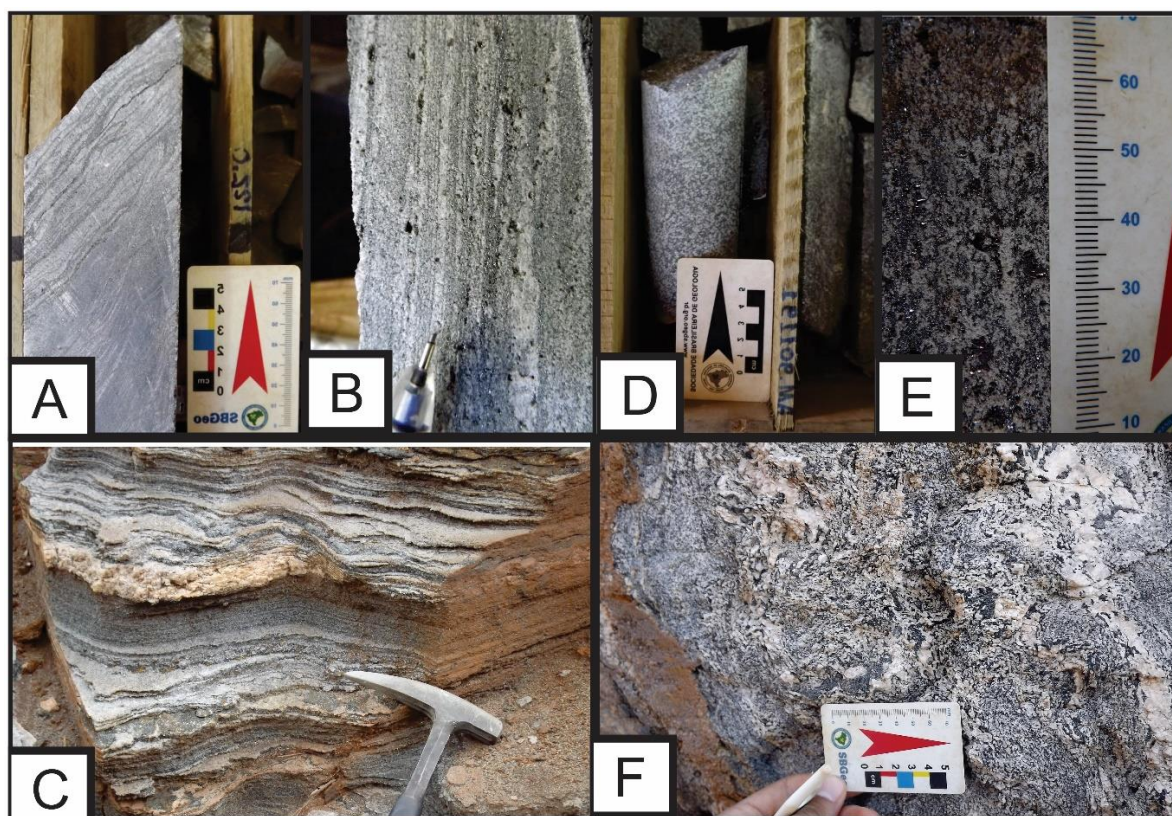


Figura 13: Formações ferríferas de Guanhães em escala de amostra de mão. A) Formação ferrífera com bandamento preservado, em escala de mão. B) Formação ferrífera com bandamento preservado, em detalhe. C) Formação ferrífera com bandamento preservado, em escala de afloramento. D) Formação ferrífera sem bandamento, em escala de mão. E) Formação ferrífera sem bandamento, em detalhe. F) Formação ferrífera sem bandamento, em escala de afloramento.

Estruturas sedimentares/diagenéticas podem se apresentar extensivamente obliteradas e transpostas por uma xistosidade plano-axial. Ocasionalmente, o bandamento apresenta dobras

intrafoliaais com amplitude e comprimento de onda centimétricos a milimétricos, e nestes casos observa-se que foliação da rocha é paralela à foliação plano-axial.

FORMAÇÃO FERRÍFERA SEM BANDAMENTO

Esse tipo de formação ferrífera é caracterizado pela textura sacaroidal, granulação variando de média a grossa e agregados milimétricos de óxidos de ferro distribuídos aleatoriamente.

Unidade quartzítica de topo

Os quartzitos da unidade quartzítica de topo se assemelham muito aos quartzitos da Unidade da Base, mantendo as mesmas características texturais e composicionais, tanto na análise de afloramento/amostra de mão quanto ao microscópio. Esse pacote de quartzitos se distingue da unidade de base pelo maior número de intercalações de quartzo-mica-xisto, que atingem espessuras de até 20 metros, e pela ocorrência de faixas de granada-anfibólio-xisto.

Os granada-anfibólio-xistos ocorrem como camadas intercaladas ao pacote de quartzitos na região próxima ao contato com as formações ferríferas. Elas apresentam coloração cinza esbranquiçada quando alteradas, em superfície (Figura 14A), e preta a verde quando não alteradas pelo intemperismo, em furos de sondagem (Figura 14B). As camadas têm espessura que variam de 10 centímetros a cerca de 13 metros (Figura 14C e D). A granulação dos granada-anfibólio-xistos (anfibólito granatífero) é fina a média, com blastos de granada sobrecrescidos

Os granada-anfibólio-xistos tem textura granonematoblástica e possuem como mineralogia principal anfibólio, granada, quartzo, plagioclásio e hematita, e biotita secundária como alteração do anfibólio (Figura 15A e B). Os contatos entre os cristais são retos ou serrilhados, além disso observa-se extinção ondulante. O anfibólio é euédrico a anédrico, frequentemente poiquilobástico e orientado segundo a foliação. Titanita, zircão (Figura 15C) e alanita (Figura 15D) ocorrem como acessórios.

O contato da Unidade quartzítica de topo com a Unidade BIF Guanhões é gradativo, com intercalação de camadas de quartzito ferruginoso e formação ferrífera, entretanto, devido ao alto grau de deformação sofrido pelas rochas na região estudada não se pode afirmar se essa intercalação é verdadeiramente primária ou se é produto de processos tectônicos, já que existem evidências de transposição.

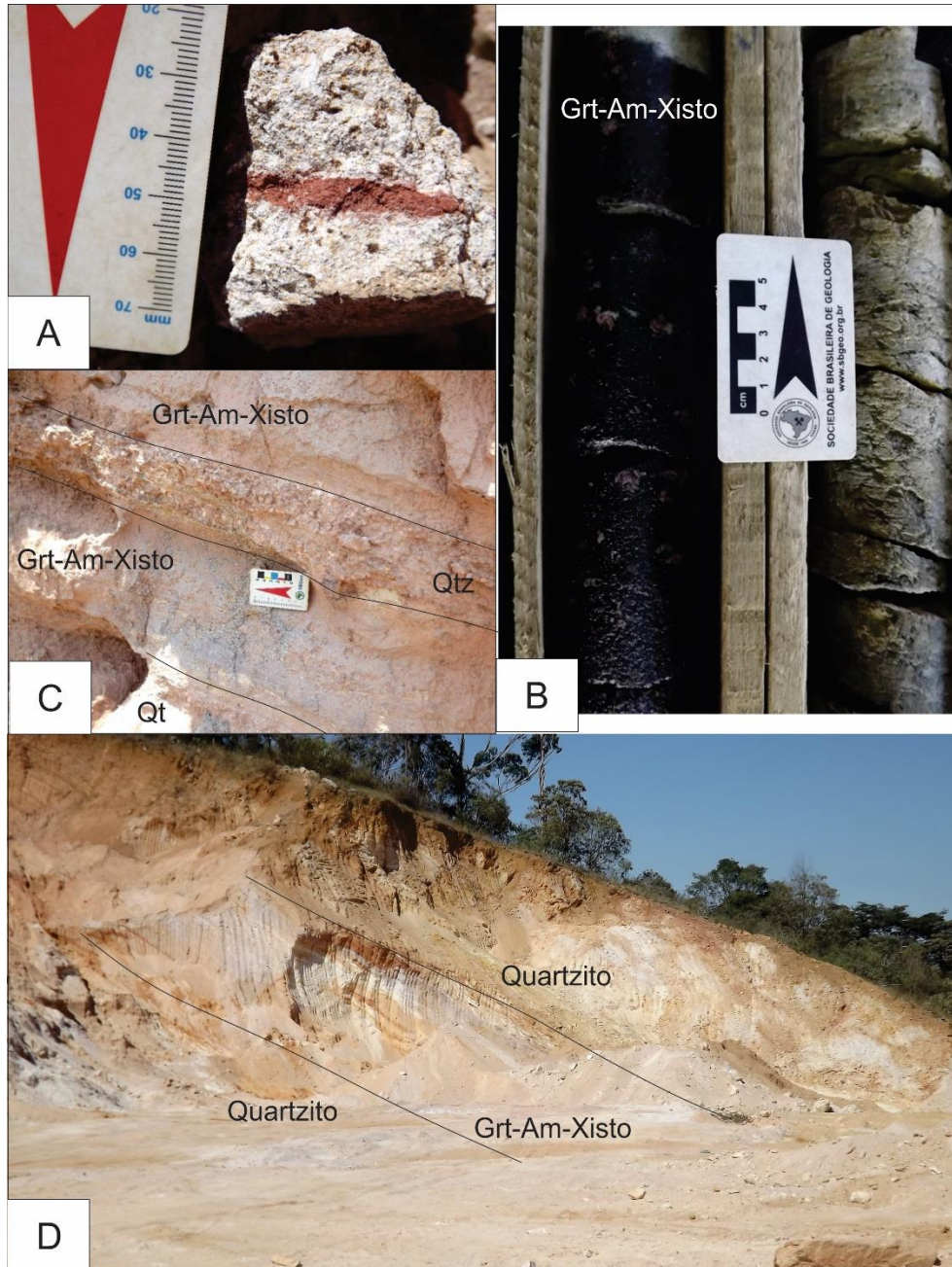


Figura 14: A) granada-anfíbólio-xisto (Grt-Am-Xisto) alterado, aflorante, em escala de amostra de mão. B) Sucessão centimétrica (10-20cm) entre quartzito e Grt-Am-Xisto, em escala de afloramento. C) Grt-Am-Xisto não alterado, em escala de amostra de mão, de testemunho de sondagem.

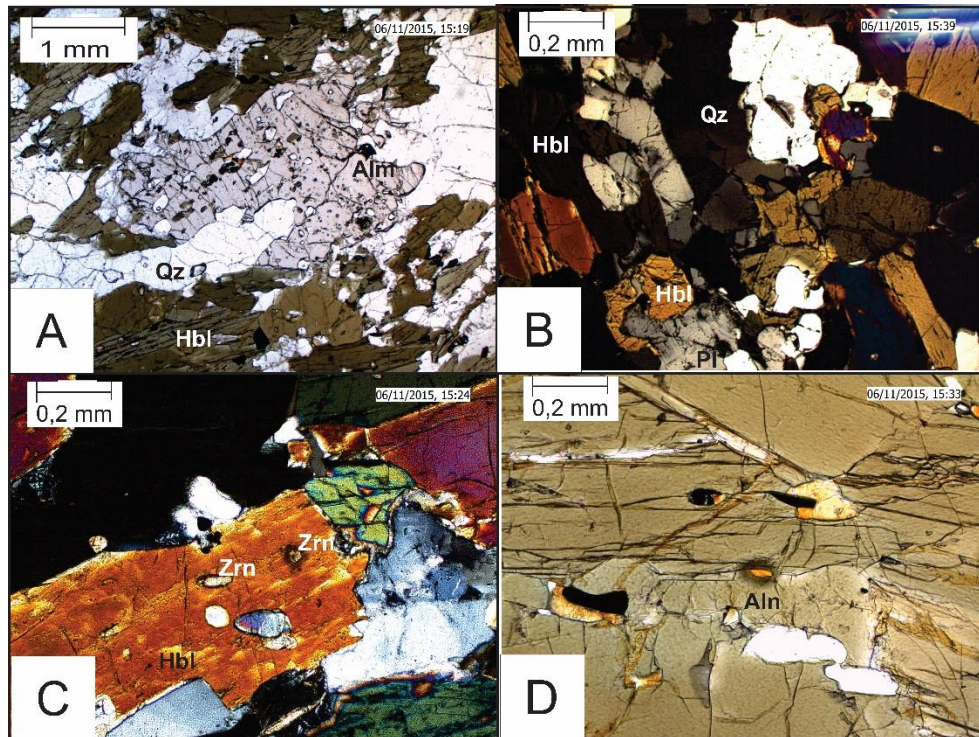


Figura 15: Imagens de fotomicrografia de amostras de granada-anfibólio-xisto, A e D) sob nicóis paralelos e B e C) sob nicóis cruzados. A) Pórfiro de almandina, hornblenda orientada e quartzo. B) Cristais de zircão com e sem halo de radiação nos cristais de hornblenda. C) Trama geral da rocha, quartzo com extinção ondulante, hornblenda e, plagioclásio. Os contatos são retos a serrilhados. D) Cristal de alanita com halo de radiação em um cristal de hornblenda. Hbl= Hornblenda, Qz= Quartzo, Pl= Plagioclásio, Zrn= Zircão, Aln= Alanita, Alm= Almandina.

Ortoanfibolitos

Os ortoanfibolitos são produto do metamorfismo de corpos intrusivos de rocha básica, que ocorrem intercalados em todas as unidades descritas anteriormente, em contato brusco, concordante, com foliação paralela a de suas encaixantes. Esta unidade parece em toda área de estudo. Os afloramentos estão comumente intemperizados, onde se identifica frequentemente um saprólito de cor ocre a branco, quando rico em caulim. Entretanto observa-se a rocha sã em testemunhos de sondagem.

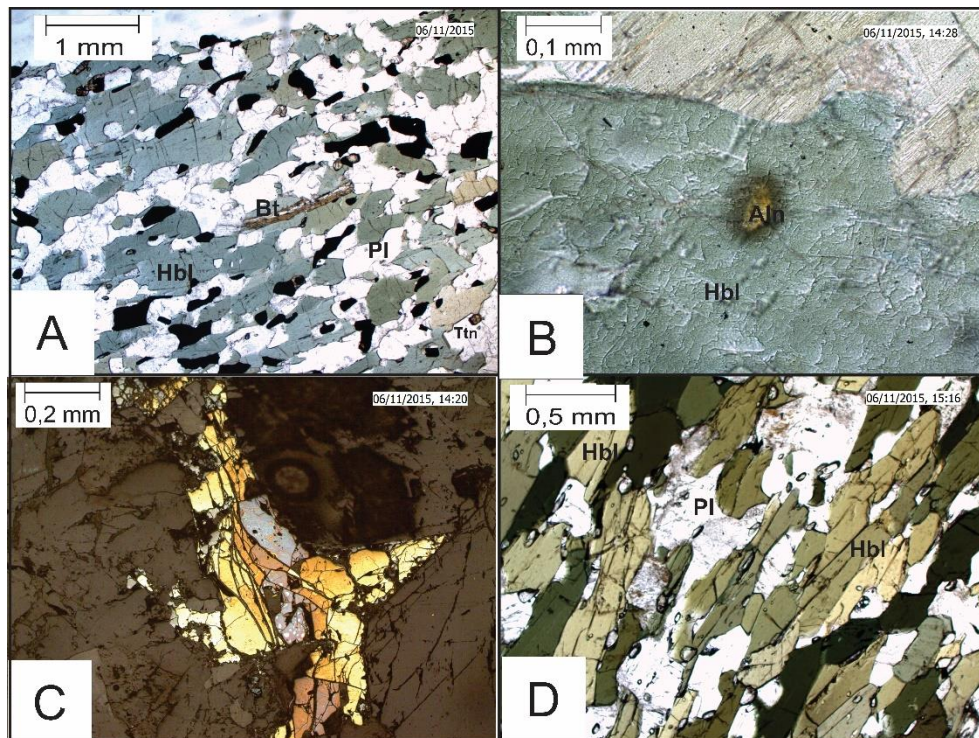


Figura 16: Fotomicrografia de amostras de ortoamfibolitos em microscópio de luz transmitida (A, C e D) e luz refletida (D). A) Visão geral da trama dos ortoamfibolitos, hornblenda, plagioclásio, titanita e biotita secundária, orientados segundo uma foliação. B) Sulfetos sub luz refletida. C) Cristal de alanita com halo de radiação em um cristal de hornblenda. D) Hornblenda orientada segundo duas foliações. Hbl= Hornblenda, Pl= Plagioclásio, Ttn= Titanita, Bt= Biotita, Aln= Alanita.

As rochas mostram granulação fina a média com textura nematogranoblástica (Figura 16A) compostas por hornblenda, plagioclásio, quartzo, biotita, hematita lamelar e martita e tem como acessórios titanita, epidoto, alanita (Figura 16B) e pirita e outros sulfetos (Figura 16C). O plagioclásio pode se apresentar muito saussuritizado, os contatos são serrilhados a retos e observa-se extinção ondulante. O anfibólio está orientado segundo a foliação (Figura 16D), assim como a hematita lamelar. Observa-se ainda como minerais secundários carbonato e biotita, não orientada.

Metagranitos

Observa-se a ocorrência de metagranitoides intrusivos e pegmatitos associados cortando toda a sequência de rochas supracrustais. Apresentam coloração rosada a branca com textura fanerítica média a grossa a pegmatóide e cristais inequigranulares, com pórfiros orientados de feldspato (Figura 17). Esses granitoides são compostos principalmente por quartzo, feldspato branco e rosa, biotita e muscovita.

Observa-se o caráter intrusivo dos granitoides nos alvos Saibreira Peçanha (*Peçanha Quarry*) e Fazenda Santo Antônio, onde eles intrudem formações ferríferas, e na Saibreira Jambreiro, onde eles intrudem os quartzitos da unidade quartzítica de topo. Nesses pontos observa-se o contato brusco dos granitoides com assimilação da rocha intrudida, sobretudo próximo ao contato.



Figura 17: Granito foliado de coloração rosada a branca com textura fanerítica média a grossa a pegmatóide e cristais inequigranulares, com pórfiros orientados de feldspato

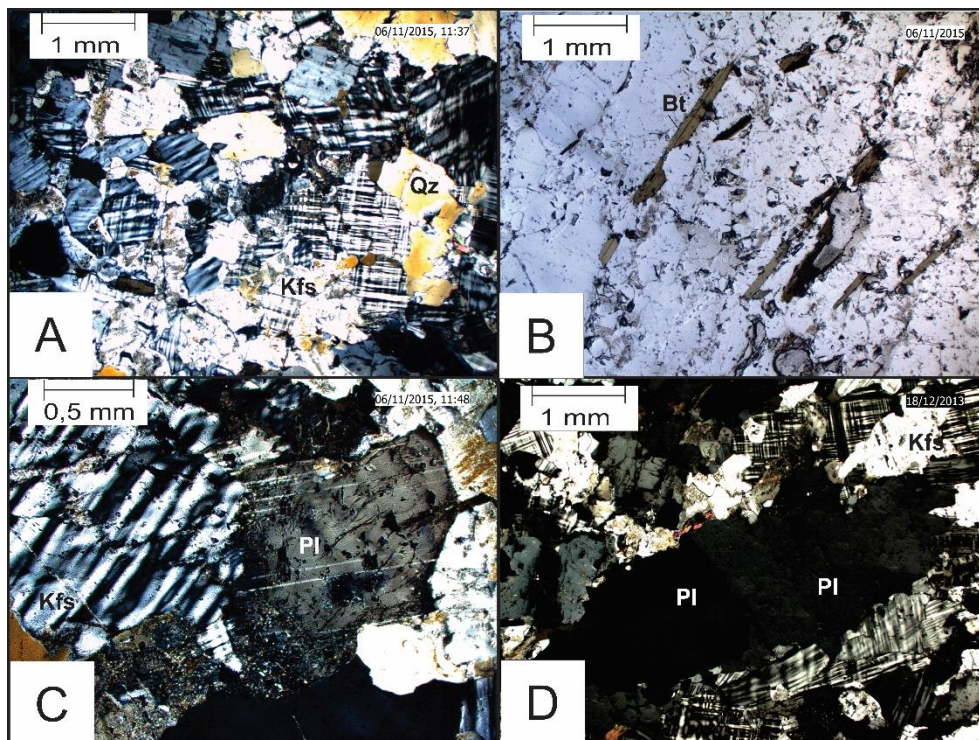


Figura 18: Fotomicrografia de amostras de granito sob nicóis cruzados (A, C e D) e paralelos (B). A) Trama geral da rocha, predomínio de k-feldspato (microclina) maclado, com ocorrência de quartzo. B) Biotita orientada em meio a k-feldspato. C) K-feldspato e plagioclásio identificados pelo tipo de macla. O plagioclásio apresenta extinção ondulada, o que indica alta temperatura. Pórfiro de plagioclásio em meio à matriz rica em k-feldspato. Kfs= K-feldspato, Qz= Quartzo, Pl= Plagioclásio, Bt= Biotita.

Ao microscópio observa-se predomínio de microclina, com ocorrência de pertita (Figura 18A), quartzo, biotita (Figura 18B), com pleocroísmo verde amarronzado, plagioclásio (Figura 18C e D) e

pouca muscovita. Os contatos são interlobados e observa-se ainda a ocorrência de sericita como alteração da microclina.

Os granitos intrusivos foram datados e os resultados são apresentados no artigo THE BIF-BEARING SEQUENCE FROM GUANHÃES, MINAS GERAIS, BRAZIL: LITOSTRATIGRAPHY, STRUCTURAL ANALYSIS AND GEOCHRONOLOGY.

IX. GEOLOGIA ESTRUTURAL

Grossi-Sad *et al.* (1997) reconheceu um bandamento nas formações ferríferas e uma foliação nas rochas do complexo basal na região de Guanhões e sugeriu a existência de um modelo polifásico que seria responsável pelo complexo arranjo das Unidades mapeadas na região. Segundo os autores, um exame acurado do bandamento mostrou que ele contém, como elemento de referência, dobras intrafoliais muito pequenas, com poucos centímetros, de abas paralelas ao bandamento, além de pequenas dobras com plano axial quase sempre paralelo ao bandamento. Os eixos medidos apresentam grande dispersão de valores. Grossi-Sad *et al.* (1997) observaram ainda um dobramento aberto, com eixos apontando para EW e N-NE, com caimento muito fraco, que modificou a organização do Grupo Guanhões.

O que permitiu nesse trabalho, melhor identificar as fases de dobramento e, conseqüentemente, as fases de deformação, caracterizando a geometria das múltiplas dobras e da interferência entre elas foi a descrição e análise geométrica de um excepcional afloramento de formações ferríferas no alvo da Saibreira do Jambreiro, com posterior aplicação do modelo desenvolvido para toda a região.

Como pode ser observado na Figura 19, que ilustra o afloramento citado, as BIFs são afetadas por dois tipos de dobras: 1) dobras isoclinais a fechadas, com plano axial mais inclinado, e que são parasíticas da grande estrutura que controla o afloramento, um sinforme com o flanco NE invertido; 2) dobras abertas a fechadas, com plano axial mais horizontalizado e que redobram as estruturas das primeiras dobras, formando uma aparente figura de interferência de dobras em laço. Observa-se que o eixo das duas gerações de dobras tem orientação que varia de acordo com a posição em que estão no grande sinclinal (flanco normal ou invertido ou zona de charneira).

Apartir da identificação dessas duas fases e sabendo que se deve tratar os dados em razão da sua localização nos domínios do dobramento 1 foi possível gerar uma coerente análise estrutural e conseqüente modelo que são apresentados no artigo THE BIF-BEARING SEQUENCE FROM GUANHÃES, MINAS GERAIS, BRAZIL: LITOSTRATIGRAPHY, STRUCTURAL ANALYSIS AND GEOCHRONOLOGY.

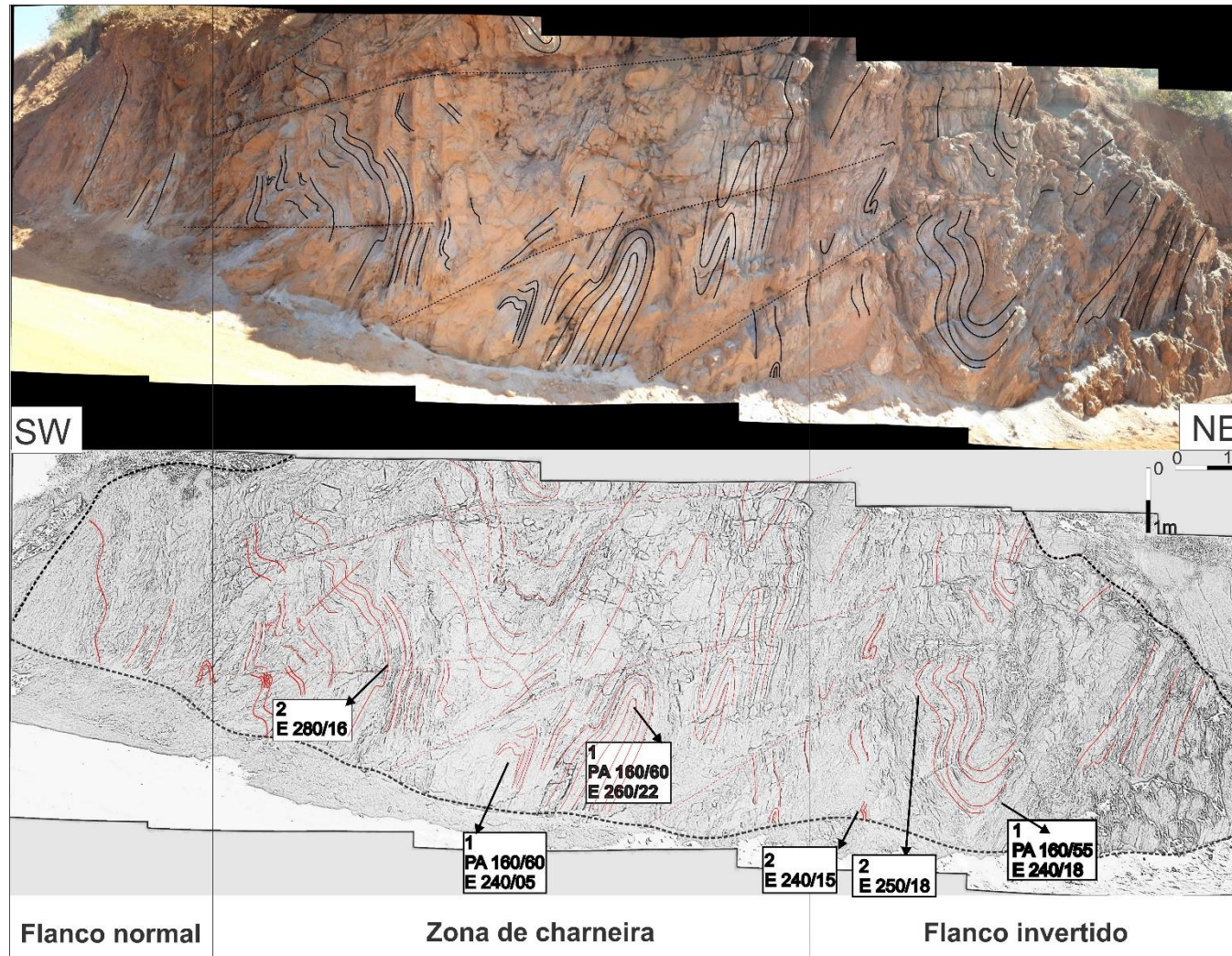


Figura 19: Foto e croqui de afloramento de BIFs na Saibreira do Jambreiro. As BIFs são afetadas por dois tipos de dobras: 1) dobras isoclinais a fechadas, com plano axial mais inclinado, parasíticas da grande estrutura que controla o afloramento, um sinforme com o flanco NE invertido; 2) dobras abertas a fechadas, com plano axial mais horizontalizado e que redobram as estruturas das primeiras dobras, formando uma aparente figura de interferência de dobras em laço. Os eixos das duas gerações de dobras têm orientação que variam de acordo com a posição em que estão no grande sinclinal (flanco normal ou invertido ou zona de charneira).

X. RESULTADOS OBTIDOS

Sucedendo o levantamento do empilhamento litoestratigráfico e observações acerca da petrografia da Sequência Supracrustal portadora de BIF de Guanhões e com o objetivo de melhor entender o contexto geotectônico no qual essas rochas estão inseridas e para melhor relacioná-las às outras sequências supracrustais de características semelhantes, igualmente portadoras de formações ferríferas, em regiões próximas à região de Guanhões, foram realizados estudos geocronológicos: datação de zircões detríticos de metassedimentos e de zircões ígneos de granitoides do embasamento e intrusivos, análise estrutural e geoquímica de BIFs.

Devido ao alto grau de deformação ao qual as rochas na região de Guanhões foram sujeitas, comumente observa-se a ocorrência de inversão estratigráfica da sequência de rochas metassedimentares, tanto por dobramento, quanto por falhamento. Em função da similaridade dos pacotes sedimentares que sobrepõe e superpõe a camada de BIF, o critério estratigráfico para detecção da inversão da sequência raramente pode ser aplicado. A análise estrutural e posterior desenvolvimento de um modelo estrutural para a região estudada gera um critério de identificação do domínio estrutural de uma certa área analisada e oferece indicações da possibilidade ou não de inversão estratigráfica. Essas informações são utilizadas para determinar a unidade litoestratigráfica aflorante, permitindo assim, a coleta de amostras de rochas metassedimentares para datação. Os dados gerados na análise estrutural são aplicados ainda à identificação dos eventos e fases deformacionais aos quais estiveram sujeitas as rochas da SSGu, permitindo, juntamente com dados já presentes na literatura, encaixar a região de Guanhões no modelo geotectônico do Orógeno Araçuaí.

Aliado à análise estrutural a partir do levantamento de campo foi feito um estudo de Anisotropia de Susceptibilidade Magnética das BIFs de Guanhões. A ASM é utilizada para entender as texturas magnéticas dos minerais que controlam a susceptibilidade magnética em cada amostra. Essa textura pode estar ligada às texturas causadas pelos eventos deformacionais. Essa é uma importante ferramenta no caso de rochas em que a detecção de texturas geradas por deformação é difícil, como é o caso de algumas rochas sedimentares, ou, como é o caso das rochas da SSGu que possuem uma granulação grossa, consequência do alto grau de recristalização durante metamorfismo. Além de ser um método relativamente simples a aquisição dos dados é rápida e pouco onerosa.

A datação de zircões detríticos presentes nas rochas metassedimentares da SSGu permite a determinação da idade máxima de deposição da sequência, que é obtida pela idade mais nova dos zircões encontrados. Além disso as idades observadas para as diferentes populações de zircões

detríticos possibilita comparações com prováveis rochas fontes e constitui, portanto, importante ferramenta de determinação de proveniência de rochas sedimentares.

Os granito-gnaisses do embasamento foram datados com intuito de comprovar o contato basal da sequência supracrustal com o Complexo Guanhães.

Através da datação de granitos intrusivos à sequência de rochas metassedimentares, obtém-se uma idade limite para a deposição dessas rochas. Além disso a geocronologia desses granitos é importante para entender os pulsos ígneos posteriores à deposição da SSGu, uma vez que podem estar ligados ao metamorfismo e/ou hidrotermalismo que afeta essas rochas. A partir desse estudo pode-se obter importantes informações acerca do contexto geotectônico e evolução geológica da região, além de possíveis relações com outros pulsos graníticos e mineralizações, num contexto mais regional.

Os dados e discussões, além da metodologia utilizada, nos estudos geocronológicos, de análise estrutural e de ASM são apresentados a seguir em forma de artigo: “THE BIF-BEARING SEQUENCE FROM GUANHÃES, MINAS GERAIS, BRAZIL: LITOSTRATIGRAPHY, STRUCTURAL ANALYSIS AND GEOCHRONOLOGY”.

As formações ferríferas bandadas são objetos de inúmeros estudos e controvérsias, sua importância se dá não apenas pelo fator econômico, uma vez que são fonte de Fe, mas também pelo fato de que guarda a assinatura química das águas em que foram precipitadas. O estudo de geoquímica das BIFs oferecem importantes informações acerca das condições de oxi-redução do ambiente em que se precipitaram, podendo ter até mesmo consequências globais. Além disso a interpretação dos dados de geoquímica de BIF podem gerar importantes informações acerca da sedimentologia e contexto geotectônico da bacia e sobre a diagênese, metamorfismo e hidrotermalisms posteriores a que as rochas da sequência portadora de formações ferríferas foram sujeitas. Os dados obtidos, metodologia utilizada e interpretações obtidas a partir do estudo da geoquímica das BIFs de Guanhães são apresentadas mais à frente no segundo artigo que compõe esse volume, intitulado: “THE PROTEROZOIC GUANHÃES BANDED IRON FORMATIONS, MINAS GERAIS, BRAZIL: EVIDENCES FOR DETRITAL CONTAMINATION”.

THE BIF-BEARING SEQUENCE FROM GUANHÃES, MINAS GERAIS, BRAZIL: LITOSTRATIGRAPHY, STRUCTURAL ANALYSIS AND GEOCHRONOLOGY

Vitor Rodrigues BARROTE^{1*}, Carlos A. ROSIERE^{2a}, Vassily K. ROLIM^{2b}, Joao Orestes Schneider SANTOS³, Neal J. MCNAUGHTON⁴, Cristiano de Carvalho LANA⁵, Márcia ERNESTO⁶

1 – Graduate Program, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil.

vitorbarrote@hotmail.com

2 - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil.

^a crosiere@gmail.com

^b vassily.rolim@gmail.com

3 - Centre for Exploration Targeting, University of Western Australia, Perth, Western Australia, Australia. orestes.santos@bigpond.com

4 - Curtin University, Perth, Western Australia, Australia.

N.McNaughton@curtin.edu.au

5 – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, MG, Brazil.

cristianodeclana@gmail.com

6 - Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Geofísica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brazil.

mernesto@usp.br

Abstract

The BIF-bearing supracrustal sequence of Guanhões is a Rhyacian metasedimentary sequence that occurs as thin tectonic slices superposed to Archean TTG granite-gneissic basement rocks developed probably at the Proterozoic-Paleozoic boundary during the Brasiliano event of the Araçuaí Orogeny. The sequence is comprised of a layer of BIF bordered by two quartzite-rich units, correlatable to the Serra da Serpentina Group, metamorphosed at a high amphibolite facies. The supracrustal sequence was subjected to a two-phase deformational event (D1 and D2) responsible for the tectonic emplacement of the metasedimentary slices over the TTG by a NW-SE thrust system with an oblique component and that generated isoclinal to tight F1 folds, with an S1 axial plane foliation, and tight to open F2 folds, respectively, creating a fold interference pattern. Measurements of the anisotropy of magnetic susceptibility (ASM) of selected sites show dominance of paramagnetic minerals, as expected for BIFs. Both magnetite and hematite display oblate susceptibility ellipsoids, and the magnetic foliation imitates the BIFs' banding. Mesoproterozoic mafic dikes and Cambrian Brasiliano-related granites intrude the sequence. The granites are connected to the large amount of hydrothermal fluids indicated by several veins and Cambrian alteration haloes in zircon grains.

INTRODUCTION

The Guanhães Group (Grossi-Sad *et al.*, 1997) represents a BIF (banded iron formation)-bearing supracrustal sequence that occurs east of the Espinhaço Range (Figure 1), in highly deformed terranes named the Guanhães Basement Block (Alkmim *et al.*, 2006). The metasedimentary sequence occur as thin strips of rocks in tectonic contact with basal Archean granitic rocks, displaying a complex distribution and internal deformation.

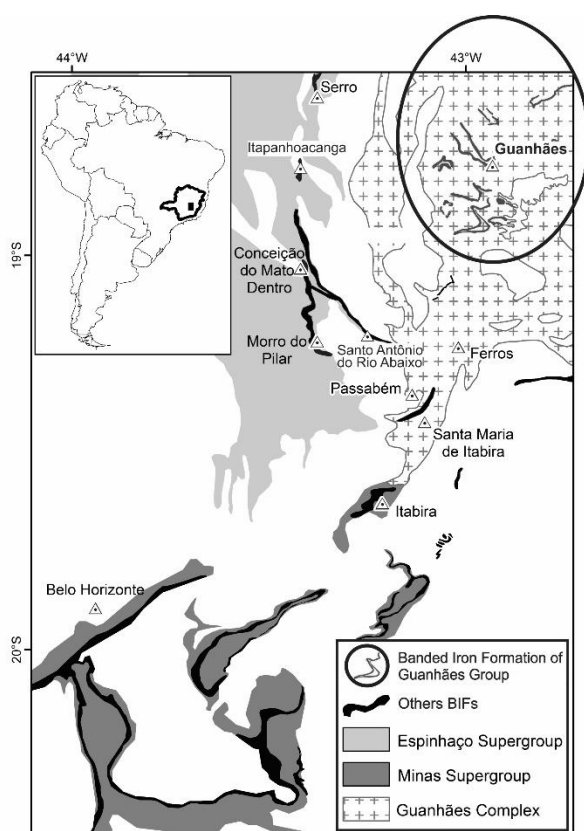


Figure 1: Regional geological map showing the location of the Guanhães Group's BIFs and distribution of others BIF-bearing sequences in southeast Brazil (based on Grossi-Sad *et al.* 1997; Pedrosa-Soares *et al.* 1994).

The Guanhães basement block is believed to be the product of crustal agglutination of Archean blocks during the Rhyacian orogenesis that affected the Paleoproterozoic units approximately between 2.2 and 2.0 Ga (Noce *et al.*, 2007). According to Alkmim *et al.* (2006), the block would have acted as a structural high during the Araçuaí Orogen already at the early stages of the

orogeny, during the rifting phase (~875 Ma in Silva *et al.*, 2002).

The Neoproterozoic Araçuaí orogeny is one of many Brasiliano/Pan-African orogens that developed during the assembly of West Gondwana (Pedrosa-Soares and Noce, 1998; Pedrosa-Soares and Wiedemann-Leonardos, 2000; Pedrosa-Soares *et al.*, 2001; Pedrosa-Soares *et al.*, 2007). The Araçuaí Orogen consists of several distinct structural domains, which differ from each other in terms of style, orientation, deformation history, and shear sense. According to Alkmim *et al.* (2006), following the criteria adopted by Almeida *et al.* (1981) the Guanhães Complex, including the Supracrustal BIF-bearing Sequence (SSGu), would be part of the basement to the Araçuaí orogeny that includes all units older than 1.8 Ga.

Several anorogenic granitic plutons of the Borrachudos Suite) (1.75 Ga – Fernandes, 2001) are intruded the rocks of the Guanhães Group (Dussin, 2000; Silva *et al.*, 2002). Dussin *et al.* (2000) and Fernandes (2001) acknowledged the existence of Neoproterozoic deformation in these intrusive granites, attaining a U-Pb age of 507 Ma in the region of Guanhães.

This paper presents the lithostratigraphic stacking of the of the BIF-bearing Supracrustal Sequence of Guanhães (SSGu), U-Pb zircon dating of granites and detrital zircon, structural analysis of the metasedimentary rock's deformation and AMS for the Guanhães BIF. The main purpose is to understand the geological setting of the SSGu and the correlation to other BIF-bearing sequences such as the Minas Supergroup (Dorr, 1969), the Serro Group (Grossi-Sad *et al.*, 1997) the Morro Escuro Sequence (Silveira-Braga *et al.*, 2015) and the BIF-bearing sequence of the Serra da Serpentina ridge (Rolim and Rosière, 2011; Rolim *et al.*, 2016).

GEOLOGICAL SETTING

The Guanhães' BIFs are part of the Guanhães Group, a sequence of metamorphic rocks superposed to Archean TTG granite-gneissic basement. The sequence is comprised of schists, quartzites and paragneisses of

metavulcanosedimentary origin according to Grossi-Sad *et al.* 1989; 1990a; 1990b; 1997. Several authors place the Guanhães Group as part of the Archean Guanhães Complex, making no

difference between the crystalline basement and the supracrustal sequence (Pedrosa-Soares *et al.* 1994; Dussin *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2002; Noce *et al.*, 2007).

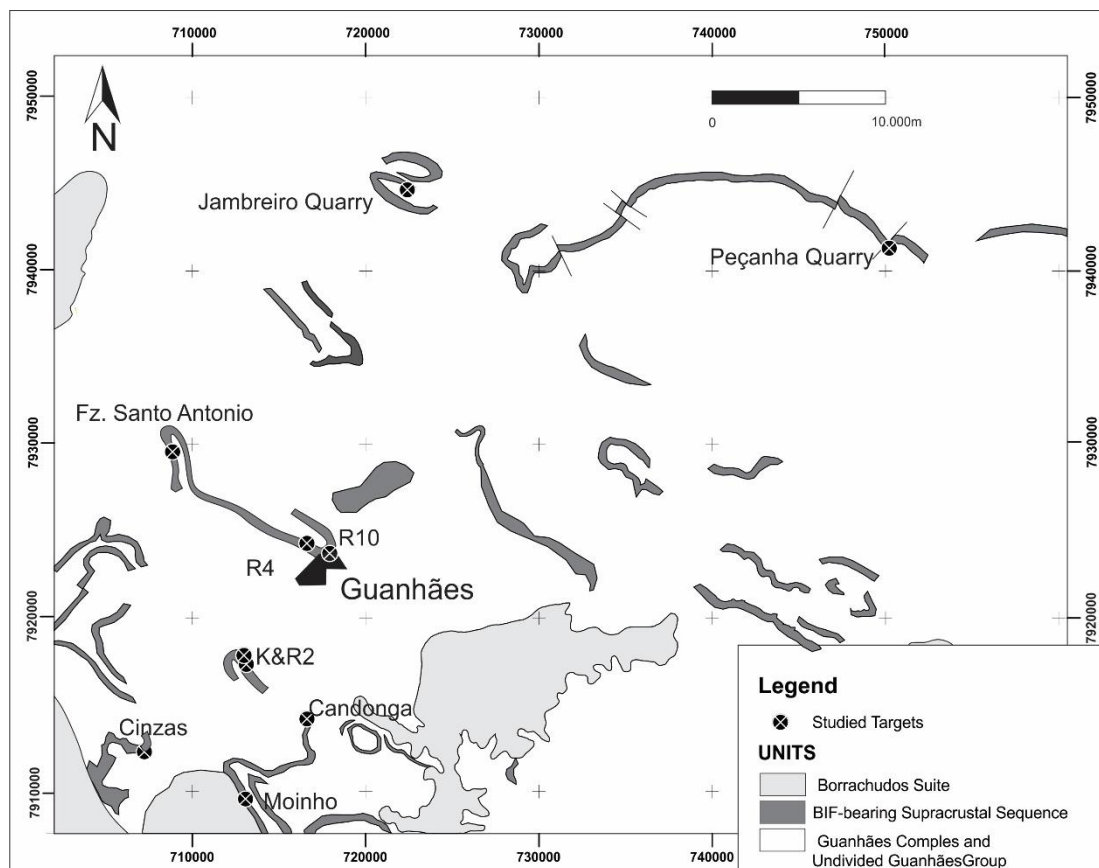


Figure 2: Geological map of the Guanhães region with studied targets. Modified from Grossi-Sad *et al.* (1997).

These rocks display mineral assemblages typical of upper amphibolite metamorphism and were migmatized between 507-519 Ma according to Noce *et al.* (2007), which indicates that the Guanhães block exposes a deeper crustal level, and that its uplifting probably occurred during the final stages of the Araçuaí orogeny (Peres *et al.*, 2004).

Grossi-Sad *et al.* (1997) recognized several planar and linear structures in the region, as well as two generation of folds, and suggested that polyphasic deformation would be responsible for the complex geometry of the Guanhães' BIF bodies, sustaining that both the riacian (~2.0 Ga) and Brasiliano (~500 Ma) compressional events affected the units of the Guanhães Group.

SAMPLE SELECTION AND METHODOLOGY

Fieldwork in the studied area included surface geological mapping with detailed work conducted at the selected target points (Figure 2) and the description of 12 diamond core drills and gathering of 40 samples for the preparation of thin and polished sections. Thin sections were made in laboratory facilities at the University of Ouro Preto (UFOP) or at the São Paulo State University (UNESP).

SHRIMP (Sensitive High Resolution Ion Microprobe) U-Pb determinations were performed on detrital zircon crystals from 4 samples and on magmatic zircons from one other sample at the John de Laeter Center for Isotopic

Research from the Curtin University in Perth, Western Australia. The samples were processed with conventional crushing, grinding and screening methods at the LOPAG-DEGEO laboratory at the Universidade Federal de Ouro Preto. A heavy fraction concentration of 60-120 mesh was realized by panning. After the concentration, the three samples were sieved and washed to remove any very fine material (of clay and silt size). The 60-250 mesh fraction was treated with heavy liquid (TBE, tetra-bromoethane) to remove light minerals and a Frantz LB1 magnetic separator (to concentrate the less magnetic minerals such as zircon). Zircon was handpicked and organized in an epoxy mount, which was polished and carboncoated for SEM (Scanning Electron Microscope) study. Back-scattered images were taken using a JEOL6400 SEM at the Centre for Analytical and Characterization Analyses at the University of Western Australia. Imaging of the zircon is critical for identifying internal features, such as the core and rims, and to avoid areas with high common lead content (inclusions, fractures, and metamict areas). Epoxy mounts were coated with gold for SHRIMP analyses. Most SHRIMP analytical spots were in the diameter range of 20-30 μm but the analyses of hydrothermal zircon used a spot size of only 10 μm . Four scans were used for each spot analysis of detrital zircon and seven scans during the analyses of hydrothermal minerals. The following masses were analyzed for zircon: ($^{196}\text{Zr}^{20}$, ^{204}Pb , background, ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{238}U , ^{248}ThO , ^{254}UO), as well as ($^{200}\text{Ti}^{20}$, ^{204}Pb , background, ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{238}U , ^{248}ThO , and ^{254}UO). The standards D23 and NBS611 were used to identify the position of the peak of the mass ^{204}Pb , whereas the calibration of the U content and the Pb/U ratio were conducted using the zircon standard BR266 (559 Ma, 903 ppm U). The $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages are used for all detrital grains, but the $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages are selected for magmatic and hydrothermal zircon. Most of the data are concordant; the discordant data have been grouped with adjacent populations. All data on detrital zircon with common lead correction greater than 1% were rejected during the first scan. The uncertainties of individual ages are quoted at 1s level, whereas the ages plotted are calculated at 2s levels (about 95%

confidence). SHRIMP data were reduced using SQUID software (Ludwig, 2001) and plots were prepared using ISOPLOT/Ex (Ludwig, 2003).

The analyses for U-Pb dating of the remaining magmatic zircon were performed with the LA-Q-ICP-MS (Mass spectrometry plasma coupling ionization laser ablation) method at the Isotopos Radioativos Lab at UFOP. The system is composed of a laser source (New Wave UP-213) coupled with a mass spectrometer with a quadrupole mass analyzer (Agilent 7700x). The spots diameters varied between 30 and 40 μm and the ablation time interval was 40 seconds. Data was reduced by using the Software Glitter (GEMOC Laser ICP-MS Total Trace Element Reduction). This software allows for an interactive selection of background and time-signal intervals from ICP-MS analysis.

The samples were prepared at the LOPAG from the UFOP. Zircons were separated from the chosen samples by rock crushing, concentration of heavy minerals (heavy liquid separation), magnetic separation and individual selection and handpicking of grains with the use of a petrographic magnifying glass. Zircon was handpicked, organized in an epoxy mount and polished until zircon grains were exposed to half thickness. Cathodoluminescence and BSE images were produced at REDE GEOCHRONOS/UNB and at the IGC/UFMG

For the AMS, a total of 46 oriented rock sample of the Guanhões BIF were collected from the studied area from 7 sites (Figure 2). Low field bulk susceptibility (K_m) and other AMS measurements (P_j , K_1 , K_2 and K_3) were carried out using the KLY3 (Kappabridge) at the paleomagnetism laboratory of the IAG-USP, São Paulo, Brazil. Each core was measured in 15 different directions to get the orientation and magnitudes of the principal axes K_1 , K_2 and K_3 ($K_1 \perp K_2 \perp K_3$). From this basic data, the mean susceptibility (K_m), strength of magnetic lineation ($L \propto K_1/K_2$) and foliation ($F \propto K_2/K_3$), the corrected degree of anisotropy (P_j) and shape parameter (T) were determined (Jelinek, 1981; Tarling and Hrouda, 1993). The calculations of these parameters were carried out using Anisoft42 software. P is a measure of the

eccentricity of the magnetic susceptibility ellipsoid and T gives the shape of the susceptibility ellipsoid.)

LITHOSTRATIGRAPHY

The stratigraphic stacking for the region near the town of Guanhões was determined based on a detailed description of five different targets

(Figure 2; Figure 3), including the data from core drill in the Jambreiro Quarry. Due to the high intensity of deformation displayed by the rocks of the SSGu, limited evidences of transposition and evidences of contacts of tectonic nature, this paper presents only observations regarding the lithostratigraphic stacking, which do not necessarily reflect the stratigraphy of the sequence.

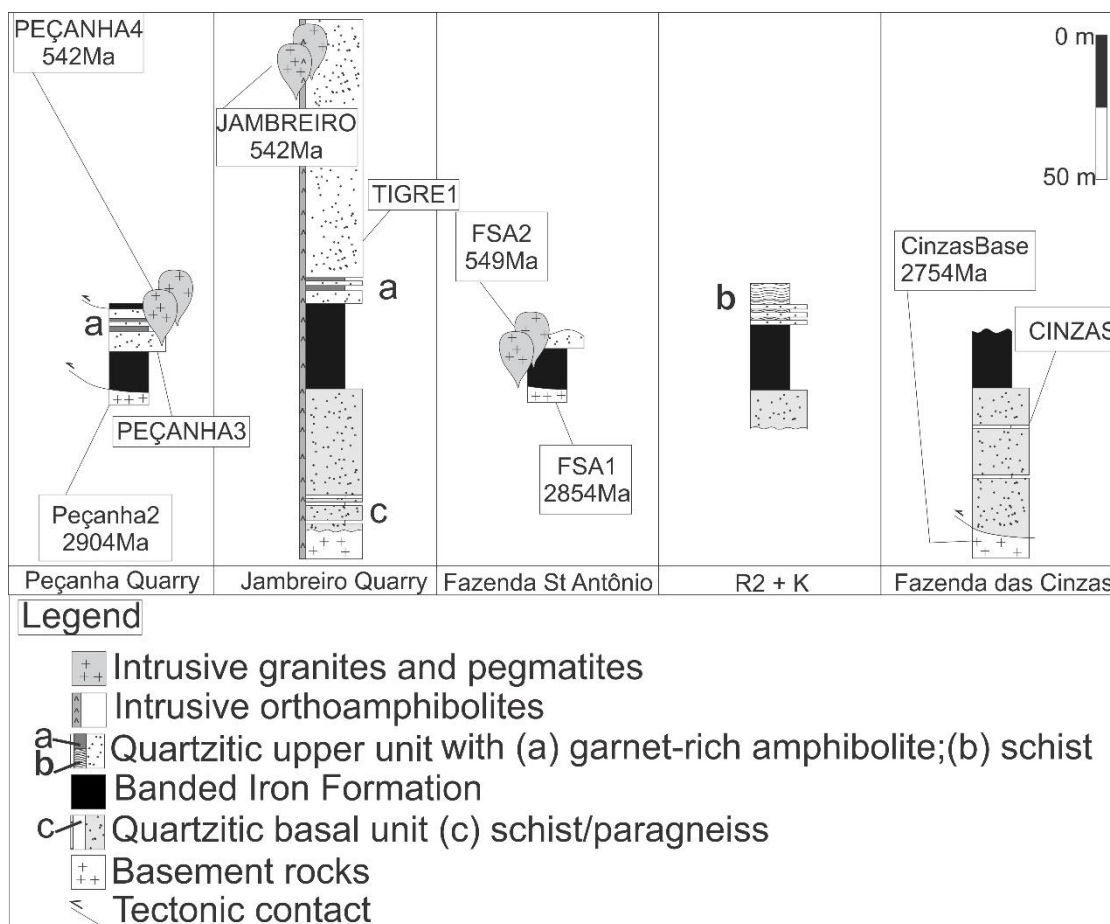


Figure 3: Lithostratigraphic stacking for five different targets in the studied area with plotted ages for intrusive granites and basement (from this paper).

The Archean gneissic complex

TTG-type orthogneisses and granites that underlies the SSGu are correlated with the Archean Guanhões Complex (Guimarães, 1992), Basal Complex (Grossi-Sad *et al.*, 1997) and interpreted as part of the basement for the metasedimentary rocks of the sequence. These rocks exhibit a medium grain size (0.01-1 mm), with granoblastic to granolepidoblastic fabric. The main minerals are quartz, plagioclase, microcline, muscovite, hematite and biotite. On

the studied targets, these rocks are highly altered and display secondary clay minerals, micas and iron-hydroxides. They are often foliated and exhibit mafic xenoliths.

At the Jambreiro Quarry there is a mafic sequence that occur at the base of the metasedimentary sequence, associated to the basal granitic rocks and might be linked to charnockites belonging to the Basal Complex, such as described by Grossi-Sad *et al.* (1997). It is comprised of intercalated

amphibolites and inequigranular phaneritic metagabbros with porphyritic orthopyroxene.

Lower quartzitic unit:

The quartzitic basal unit is up to 50m thick comprising mainly medium to coarsened grain quartzites with saccharoidal texture. The strata is defined by intercalation of pure, sericitic, arkosic and iron-rich quartzites. Layers of gneiss and schist occur associated to the quartzite. This unit is usually tectonically above the underlying basement, which is evidenced by the development of a mylonitic foliation or by the presence of extensively sheared folds.

Banded Iron Formation

The Guanhães BIFs' mineralogy varies slightly in both contents and proportions, the average mineral abundance is quartz (40-50%), iron oxides (20-35%), hornblende and tremolite-actinolite (5-20%), carbonates + chlorite(1-10%) and epidote, muscovite and zircon (<2.5%) as accessories. The quartz grains are irregularly shaped with undulatory extinction. Quartz and magnetite are sometimes intermixed showing only weak banding, usually on coarser BIFs. Alternatively, they often display regular banding inherited from the sedimentary rock. The contact between "iron-rich" and "iron-poor" micro bands are usually sharp, but diffuse transitions within the "iron-poor" laminae are also observed.

Iron-rich laminae are largely comprised by granular hematite, specularite and martite. Magnetite tends to occur as inclusions-free subhedral to euhedral medium-grained crystals. The relationship between magnetite and hematite is not clear but the occurrence of martite suggests that at least part of the magnetite formed prior to the hematite, along the original primary bands of the BIFs. A second generation of specularite defines the foliation in conformity with the regional structure.

There are two varieties of amphiboles in the Guanhães BIFs; the first type is colorless with lower second order interference color, identified as actinolite. Actinolite is syndeformational with crystals displaying the same orientation as the specularite. Pleochroic (pale green to dark green to deep bluish green) iron-rich hornblende is the

second amphibole that grows randomly on the iron-rich bands.

Upper quartzitic unit:

The upper boundary of the overlying BIF layer is defined by gradual replacement by a coarse-grained quartzite and interlayered centimetric to metric bands of garnet rich amphibolite. The amphibolite is fine-to medium-grained, rarely coarse-grained, with a nematogranoblastic texture. It is comprised mainly of hornblende, quartz, porphyroblastic garnet, plagioclase, biotite, titanite and epidote. The accessory minerals are hematite, magnetite, apatite, allanite and zircon.

The upper quartzitic unit is very similar to the basal unit, also displaying intercalations of pure, sericitic, arkosic and iron-rich quartzites. Locally the quartzite is replaced by a quartz-mica-schist with quartzite intercalations.

Intrusive mafic rocks

As described by Silveira-Braga *et al.* (2015) for the Morro Escuro Ridge, the mafic rocks in the area are represented by tabular-shaped bodies of orthoamphibolite of the Pedro Lessa Suite (Dussin, 1994), which are in igneous contact with all previously described units and is often foliated, although isotropic amphibolite were also described. The amphibolite is fine-to medium-grained, rarely coarse-grained, with a nematogranoblastic texture. It is composed mainly of hornblende, plagioclase, quartz, biotite, epidote, titanite, and ilmenite. The accessory minerals are sulfides, magnetite, apatite, zircon and rutile.

Intrusive granites and pegmatites

Several intrusive granites and associated pegmatites cut through the metasediments of the supracrustal rocks and, although they display similar mineralogy, are usually texturally distinct, occasionally foliated characterized by segregated mica plates and elongated feldspar crystals parallel to the regional structural trend.

These monzogranites are microcline-rich, and contain quartz, perthite, green to brown pleochroic biotite and very few muscovite. Secondary sericite occurs as the alteration

product of microcline. Biotite crystals display green to brown pleochroism.

Several pegmatite bodies are associated to the granitic intrusion, and contain tourmaline, beryl and large hematite crystals.

GEOCHRONOLOGY

U-Pb Magmatic Zircon from the Basal

Complex

Three samples of granitic rocks from the Basal Complex were collected from the contact zone between the basement and the metasedimentary rocks of the SSGu. They are weathered and very friable and, therefore, could not be petrographically described under the microscope.

The zircon grains from these samples are elongated, subhedral to euhedral and often highly fractured. Several of them have the borders hydrothermally altered or have undergone total pseudomorph alteration (Figure 4 ex: 4365a_61).

The sample from the Peçanha Quarry (Figure 2) was dated by SHRIMP while the other two, from Fazenda das Cinzas and Fazenda Santo Antônio were investigated using LA-ICP-MS. No major differences were observed in the results.

All the rocks were dated as of Archean age. The zircons at Peçanha2 build a discordia that crosses the concord at 2904.7 ± 9.8 Ma (Figure 5). The other two samples display zircons distributed over two discordia each. For the FSA1 sample the discords cross the concord at 3151.2 ± 9.0 and 2854 ± 25 Ma. For the sample Cinzas Base, the ages are 3125 ± 8.2 and 2754 ± 15 Ma.

U-Pb – Detrital Zircon

The maximum depositional age for the quartzitic units of the SSGu was determined according to the youngest population of detrital zircon grains. Two samples from each of the quartzitic units (see position on Figure 3) were investigated using SHRIMP. In all four samples the grains are sub rounded to rounded, although some prismatic crystals were also observed.

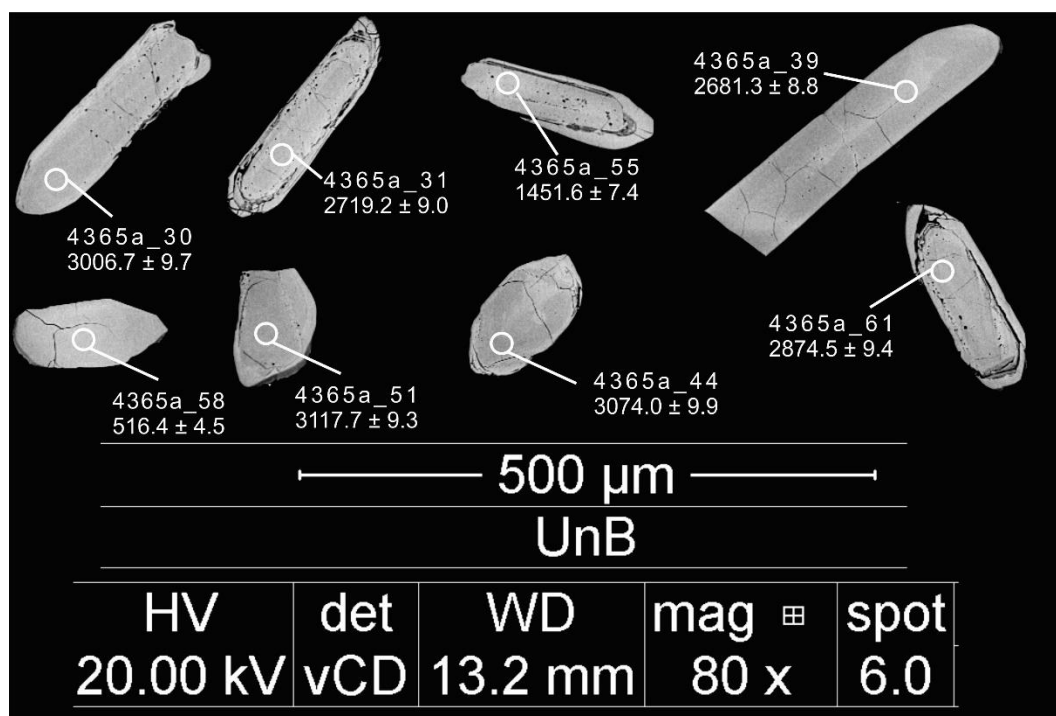


Figure 4: BSE image of zircons from the sample FSA1

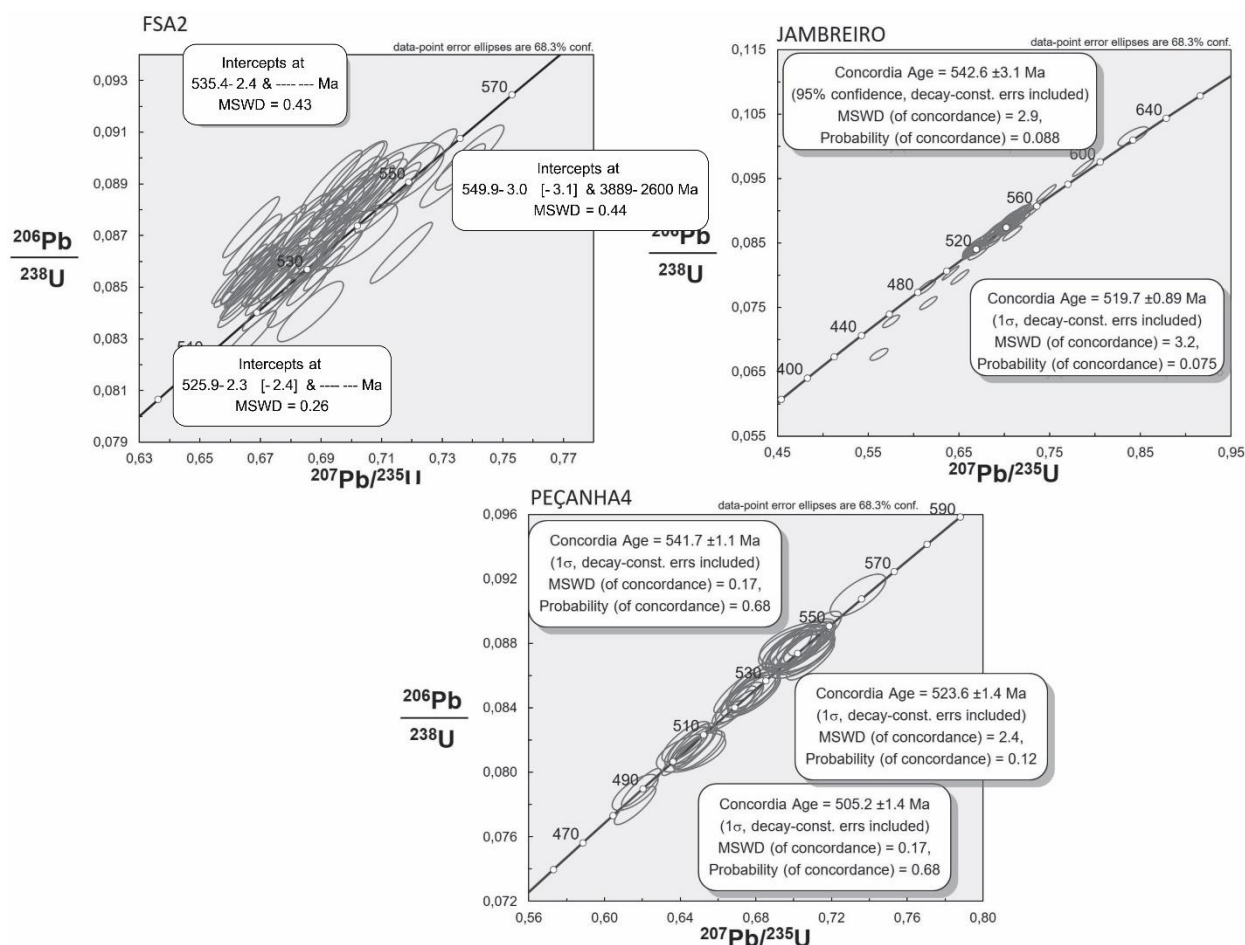


Figure 5: Concordia diagrams plotted in Isoplot following calculations of Ludwig (2003) with upper intercept age for all three samples of crystalline basement rocks. Peçanha2 was analyzed by SHRIMP and it is differentiated from the other two by filled error ellipsoids.

LOWER QUARTZITIC UNIT

The youngest age found in a population of 30 grains from the sample CINZAS (from Fazenda das Cinzas, Figure 2) was 2658 ± 15 Ma, which points to source rocks of Archean age. 13% of the zircon grains are Neoproterozoic, 80% Mesoproterozoic and 7% Paleoproterozoic. The main peak ages are at 2842 and 2969 Ma. Several zircons in this sample were very affected by hydrothermal recrystallization and could not be analyzed due to common Pb.

Twenty nine analyses were performed on zircon grains from the second layer from the lower quartzitic unit (CANDONGA, Figure 2) displaying the youngest age of 1737 ± 14 Ma represented by a single Statherian zircon (4%). The older zircon is 3426 ± 8 , 20% of the grains are Paleoproterozoic, 61% Mesoproterozoic and 14%

Neoproterozoic and the main peak ages are at 2979 and 3289. Five zircons exhibited alteration halo with low Th/U ratio and Cambrian ages.

UPPER QUARTZITIC UNIT

The TIGRE1 sample took from the upper quartzitic unit at the Jambreiro Quarry (Figure 2) shows a different pattern of zircon distribution at the histogram when compared to the first two. From the 30 analyzed zircons none are Paleoproterozoic, only 7% are Mesoproterozoic, 29% Neoproterozoic, 17% Siderian and 47% Rhyacian, the youngest grain has an age of 2135 ± 22 Ma. The main peak ages are at 2191 and 2703 Ma. Alteration halo were dated at four grains and resulted in Cambrian ages.

The other sample from the upper quartzitic unit (PEÇANHA3, from Peçanha Quarry, Figure 2) also has a peak of Rhyacian age, but the majority

of zircons are Archean. Of 19 detrital zircon, only 11% are Rhyacian, 16% are Mesoarchean and only one zircon is Paleoarchean. The main peak

ages are 2856, 2913 and 2960 Ma and the younger age 2080 ± 24 Ma.

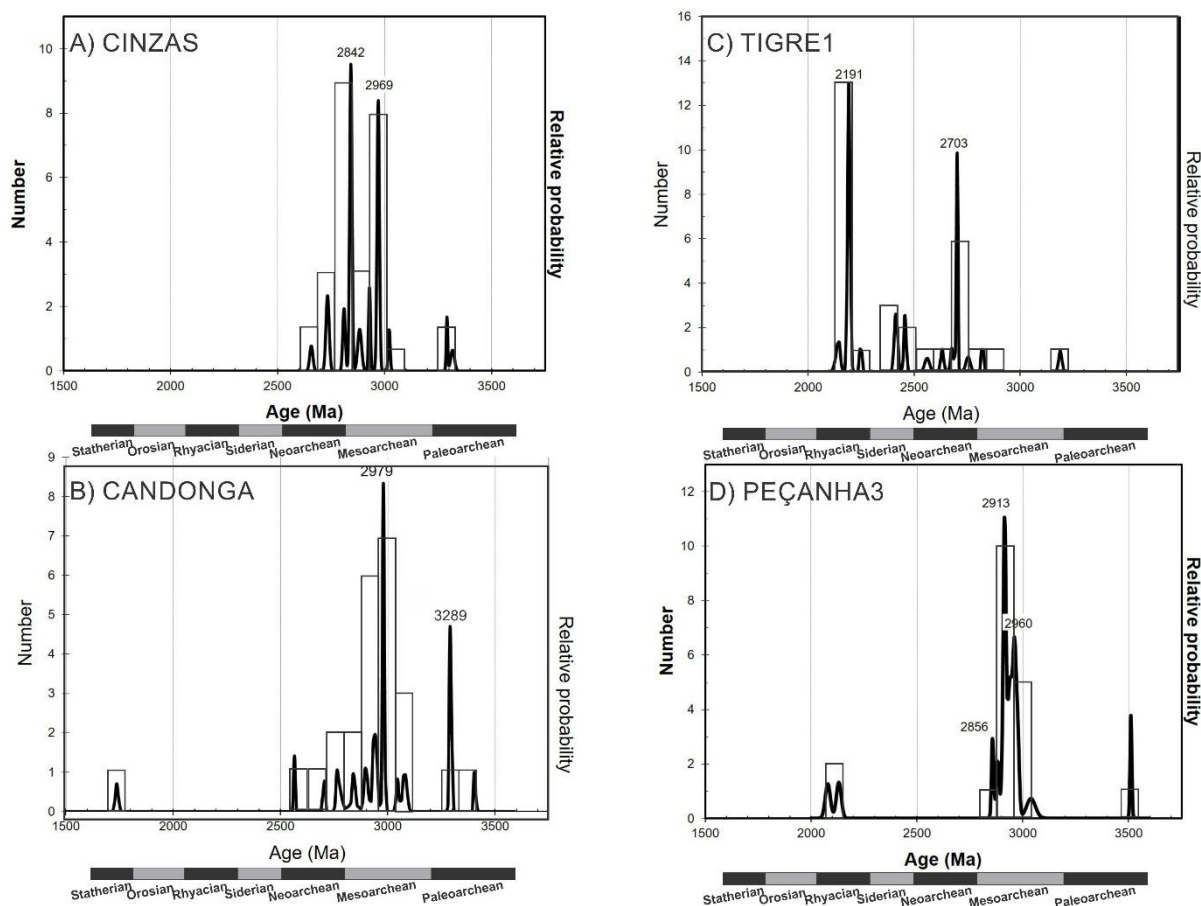


Figure 6: Probability diagrams for the ages obtained in zircon grains from the lower (A and B) and upper (C and D) quartzitic unit from the SSGu at the Guanhães region.

Intrusive Granites U-Pb – Magmatic Zircon

Three samples of intrusive granite from different targets were dated and all displayed Cambrian ages. There are several populations of euhedral to subhedral zircon grains in each sample, (Figure 7), and reach a maximum age difference of approximately 60Ma (see below). These zircon grains, unlike in the Basal Complex and the detrital grains from the metasedimentary rocks, lack hydrothermal recrystallization.

FSA2

Sample FSA2 (Fazenda das Cinzas: Figure 2) was collected from an intrusive pink to white, altered, foliated, equigranular granite with BIF xenoliths, which intrudes both the BIF layer and the basement Archean granite (FSA1) on the contact zone between these two rocks. The zircon grains

from this sample are slightly more rounded, but can still be classified as subhedral. There are three age populations on the sample, with modal values 525.9 ± 2.3 , 535.4 ± 2.4 and 549.9 ± 3.1 Ma (Figure 8).

JAMBREIRO

This sample was collected from an exploration drill core from the Jambreiro Quarry (Figure 2) and represents a strongly foliated granite, with oriented feldspar phenocrysts, that intrudes the lower quartzitic unit. Although there are a few scattered zircons ranging from 440 to 660 Ma, the majority of crystals can be divided between two populations of zircons, with modal values 519.7 ± 0.89 and 542.6 ± 3.1 Ma (Figure 8).

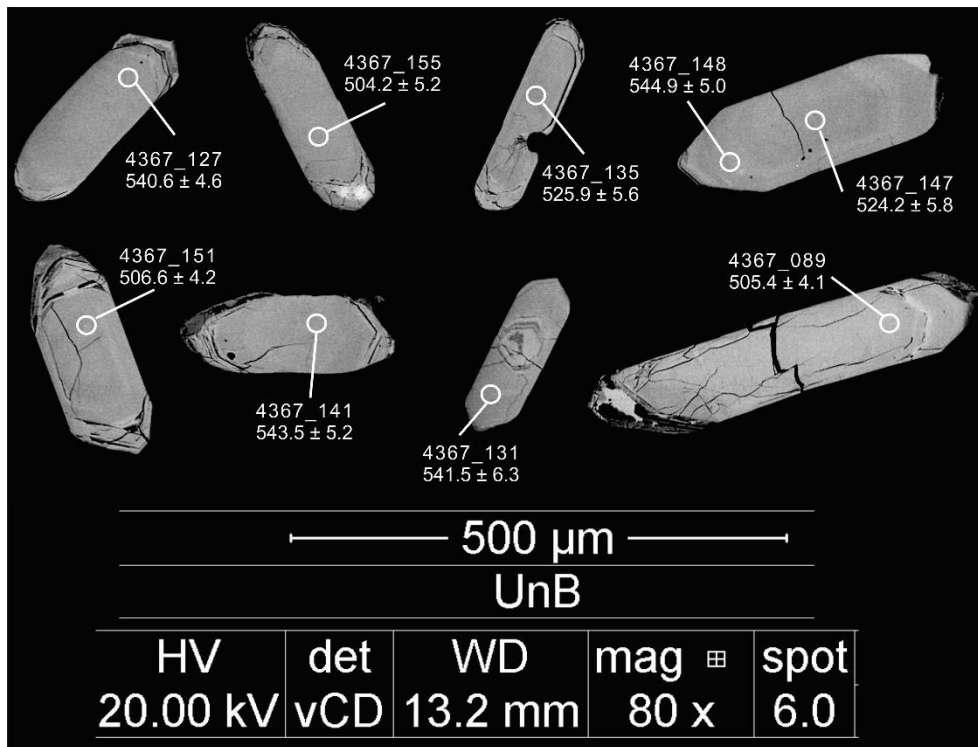


Figure 7: BSE image of zircons from the sample PEÇANHA4.

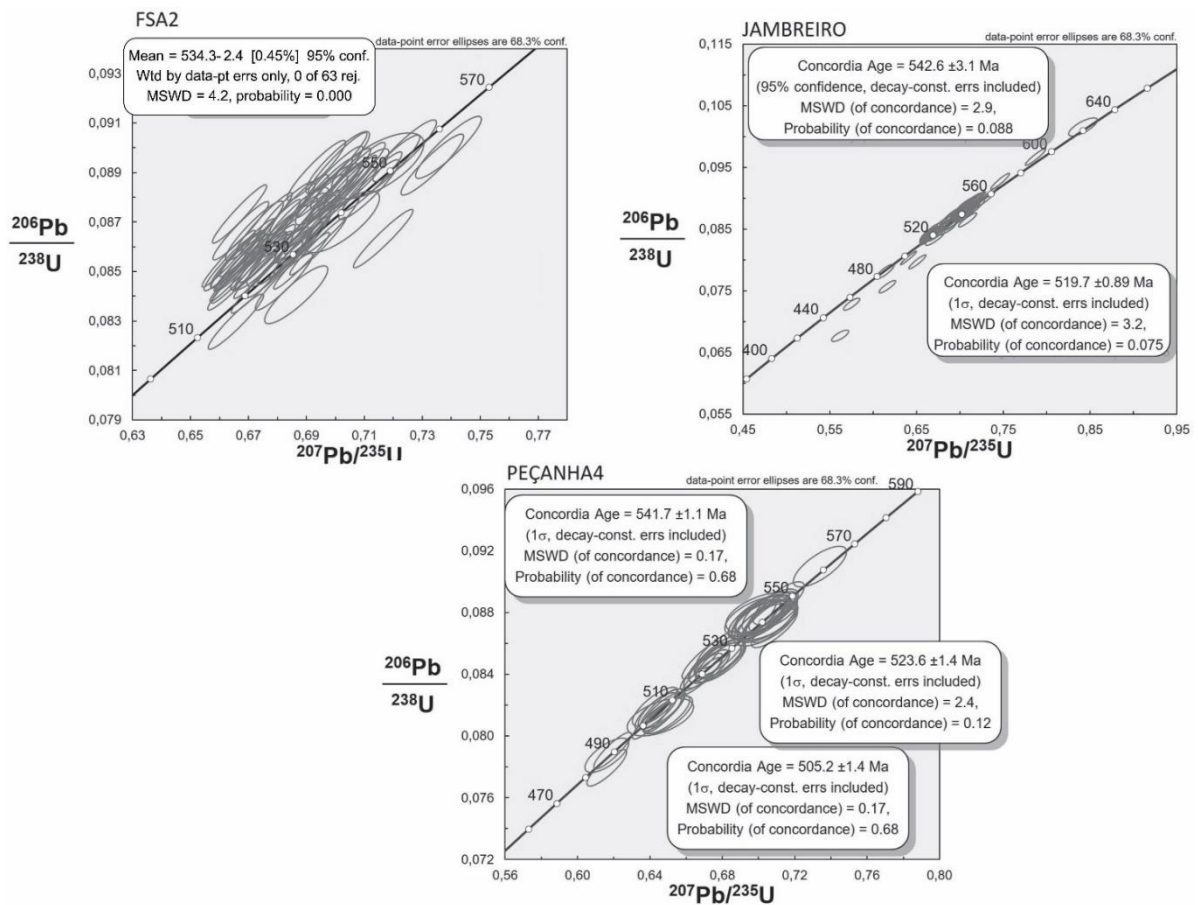


Figure 8: Concordia diagrams plotted in Isoplot following calculations of Ludwig (2003) for all three analyzed intrusive granite samples. The age of all the different populations of zircon are calculated for each sample.

PEÇANHA4

The sample PEÇANHA4 is an intrusive granite found on a secondary gravel road, close to the Peçanha Quarry (Figure 2). On the road cut is possible to observe the intrusive relationship. The granite is isotropic and contains metric xenoliths of the intruded BIF. Similarly to the JAMBREIRO sample, a small number of zircon grains on this sample are scattered from 480 to 570 Ma, but the majority can be grouped into three populations with modal values 505.2 ± 1.4 , 526.6 ± 1.4 and 541.7 ± 1.1 Ma (Figure 8).

STRUCTURAL GEOLOGY

Tectonic structures on the Guanhões BIF-bearing sequence

The Guanhões BIF-bearing sequence occur as thin tectonic slices over the crystalline basement bounded by NW-SE, NE-verging thrust faults which generates a great variety of structures.

The bedding is well preserved in great part of the rocks in the Guanhões region, despite the high metamorphic grade, recrystallization and intense deformation. S_0 is identifiable by changes in composition including increase or decrease in the content of mica, clay, iron oxides, garnet and by alternation between layers of BIF, quartzite, schist and gneiss.

In the Guanhões BIF is often observable a thin, parallel lamination between a millimeter to a centimeter thick and can be termed “laminae to very thin beds” such as in the lutitic formations described by Simonson (1985). Centimeter-scale composite layers with internal millimeter-scale laminae (= mesobands of Trendall and Blockley, 1970) also occur. Caution must be taken when trying to identify the original bedding as intrafolial folds suggests bedding transposition in which tight folds are accompanied by shear parallel to the axial planes of developing flexures, generating a metamorphic layering.

S_1 is a penetrative type 1 (Durney and Kisch, 1994) mineral schistosity defined by the preferred

orientation of platy hematite/specularite as in Figure 9, micas and fibrolite and/or as a grain shape preferred orientation of flattened quartz, granular hematite and magnetite crystals in the BIF's and quartzites. In schists and amphibolites S_1 is a continuous penetrative type 2 (Durney and Kisch, 1994) mineral schistosity defined by platy micas, hornblende and hematite. S_1 is an axial plane foliation, $S_0 \perp S_1$ in the hinge zones and $S_0 // S_1$ in the limbs. S_1 is hard to be identified on a hand sample or outcrop scale.

The most conspicuous structural feature seen in the metasedimentary sequence of the Guanhões Group are the folded S_0 planes with the development of Class 1C (Ramsay, 1967) isoclinal to tight, reclined to recumbent folds (F_1) with down-dip to the limbs mineral lineation. F_1 structures are refolded with the development of second-generation equally tight class 1C, F_2 folds, generating fold interference patterns (Figure 10). F_2 folds are recumbent with sub-horizontal, NW-SE striking axial planes and display a fan cleavage. The axis of both generations of folds are mainly horizontal or sub-horizontal plunging to NW, SW and SE.

A mylonitic fabric develops in the shear zones with S-C structures, sheath folds, fault propagation folds and occurrence quartz veins, along the joints and faults. Magnetite bodies often concur with the shear planes, along the foliation.

Structural analysis of the Jambreiro Quarry

The Jambreiro Quarry represents the main source of information in the studied area, with good outcrops and core drill data. Through a detailed description and analysis of the structures and rocks on the quarry, it was possible the interpretation of a local structural model that was later applied to all the tectonic slices of SSGu.

The Jambreiro Quarry is comprised of two internally deformed tectonic blocks bounded by NW-SE, NE-verging strike-slip/thrust faults (Figure 11) which are the dominant structural elements. The faults intersect the inverted

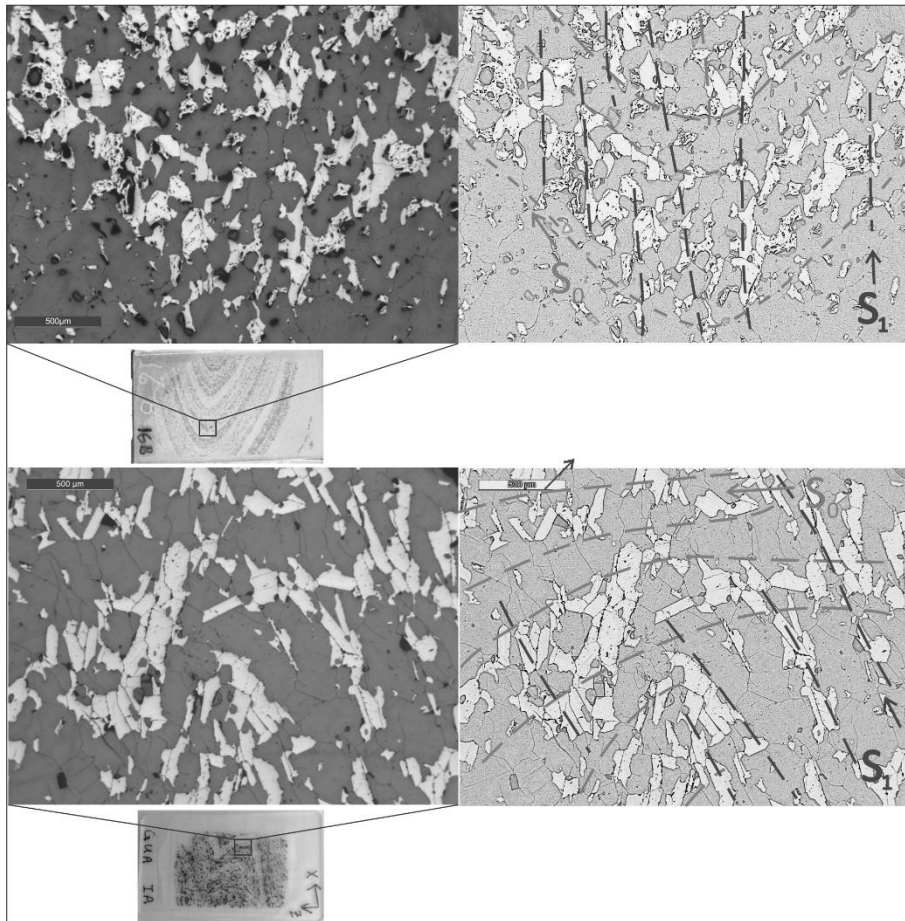


Figure 9: Microphotography and schematic drawing of two small-scale F_1 folds' hinge zones at the Guanhões BIF from core drill samples from the Jambreiro Quarry. Thin, dashed lines highlight S_0 and the thick, dashed lines highlight S_1 . The iron oxides are mostly specular hematite

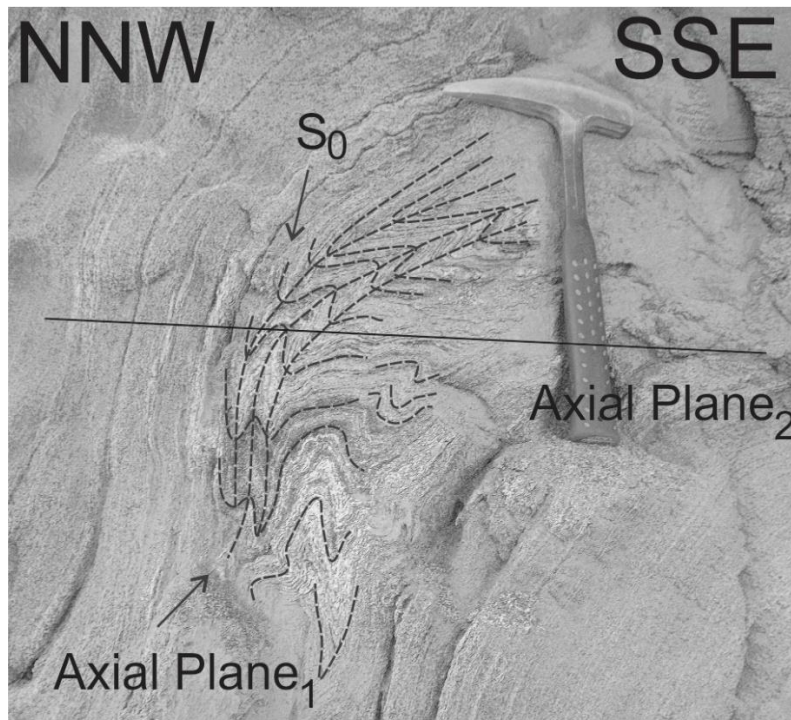


Figure 10: Folded banded iron formation. The second generation of folds folds the already deformed S_0 and the first generation's axial plane and generates, locally, a Type 3 fold interference pattern (Ramsay, 1967). Photo taken at the Jambreiro quarry's outcrop.

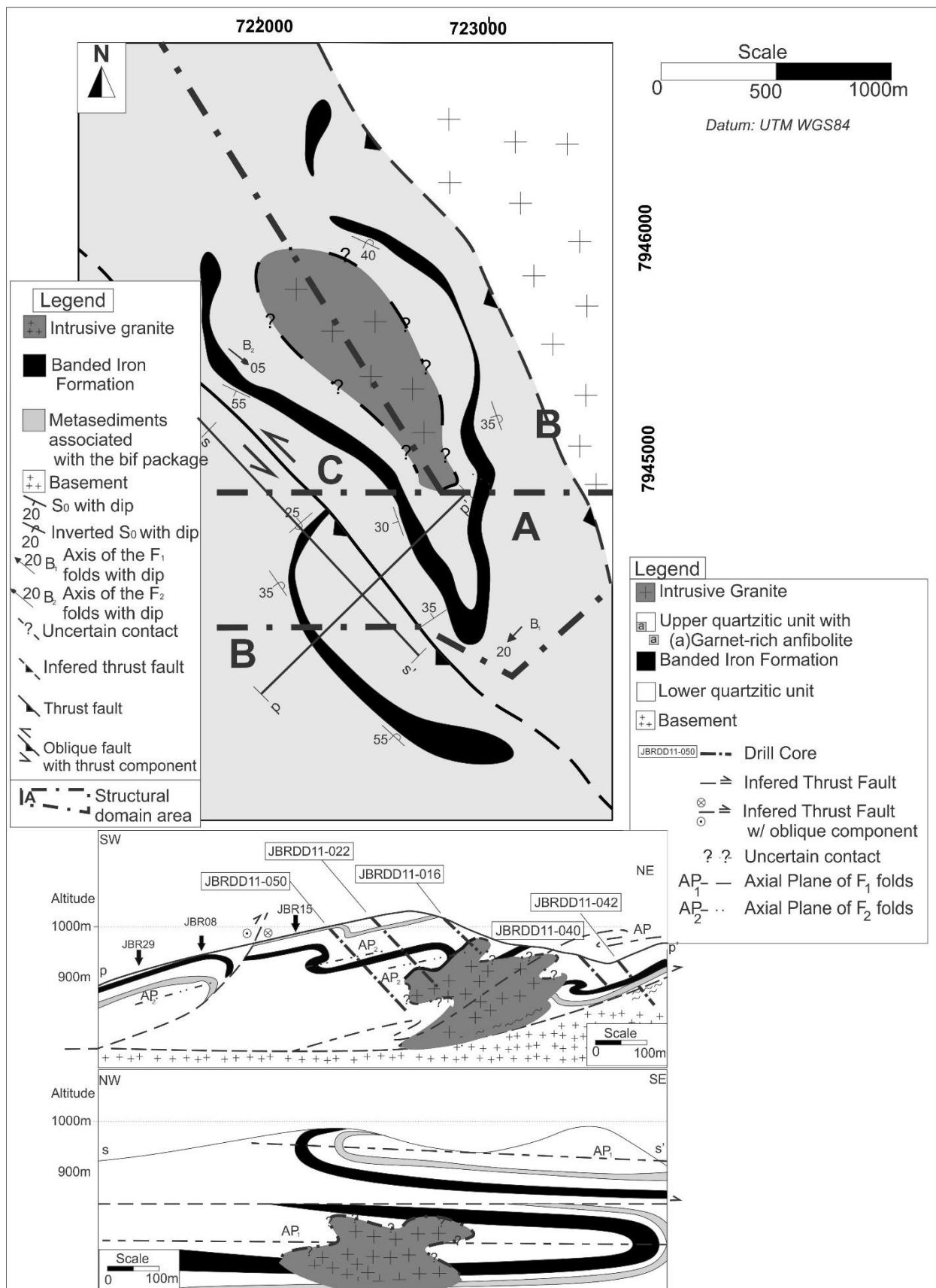


Figure 11: Geological map and sections of the Jambreiro quarry's area (Datum: WGS 84). The metasedimentary rocks are part of two faulted blocks in tectonic contact with the basement. The deformation internal to the blocks generate a fold-interference pattern. The layers' geometry are controlled by the two generations of folds. The different structural domains are separated by ticked lines.

limb of megascale F_1 fault propagation fold.

F_1 fold system is refolded by the F_2 folds with the development of a Type 3 fold interference pattern (Ramsay, 1967) in mesoscale (Figure 10)

In the Jambreiro quarry's area, the data was separated into three domains according the orientation of the hinge zone and flanks of F_1 .

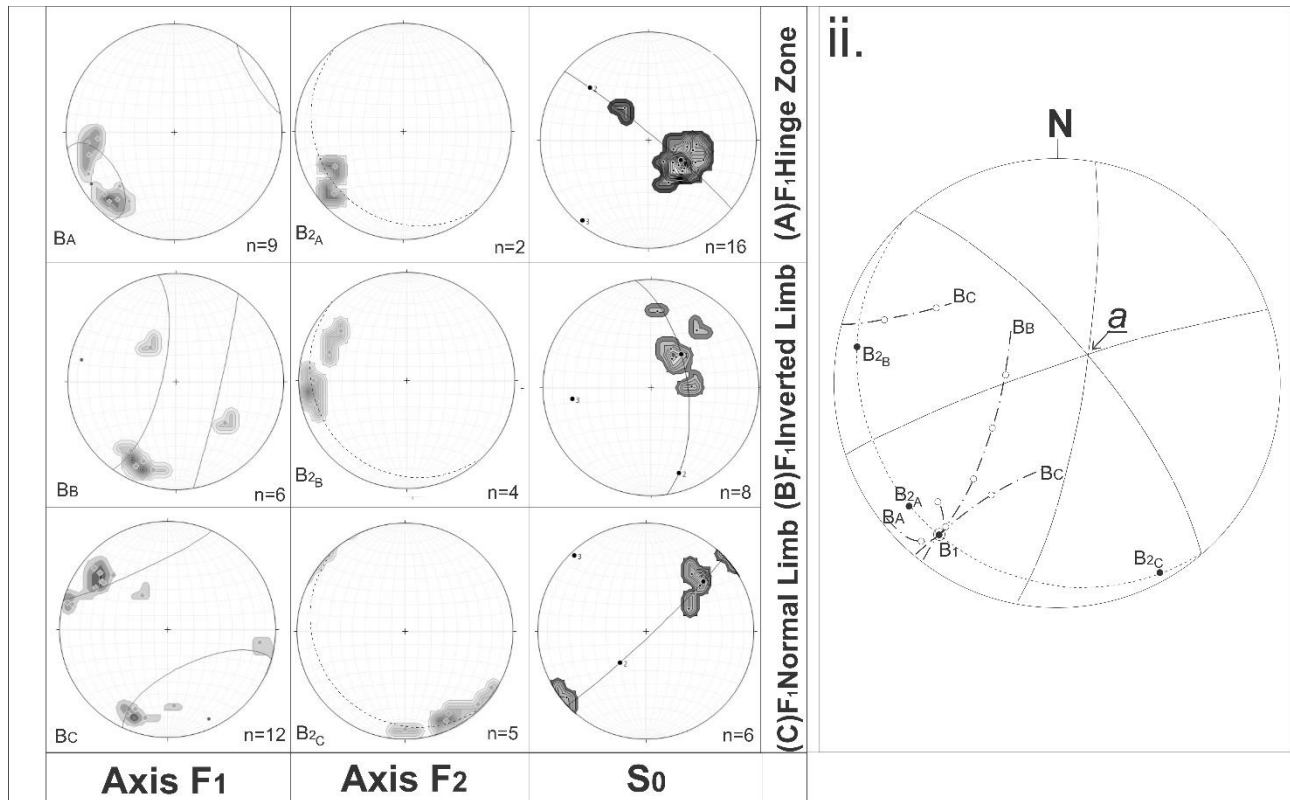


Figure 12: 4 i.) Stereographic projection of the rotated B_1 : B_1' (B_a , B_b and B_c) and B_2 axis and poles to S_0 with density lines, for the 3 structural domains: Hinge Zone (A), Inverted Limb (B) and Normal Limb (C) (Figure 11) of the F_1 folds at the Jambreiro Quarry. The small circles are defined by the rotated B_1 axis, dashed light great circle is the axial plane to the F_2 folds that contains all B_2 fold axis and the π -circle of the folded S_0 poles are traced with continuous lines.

ii.) Synoptic stereogram of the structural model developed for the Jambreiro quarry. A compressive phase D_2 induced a second generation of folds with respect to three sections (A, B, and C) of the original S_0 -surface folded by F_1 . For each planar section a new fold axis has been developed that lies in the new axial plane of the F_2 folds. The three new fold axes are B_{2a} , B_{2b} , and B_{2c} . It is a general property that each of the great circles (continuous light line) defined by the poles to the refolded S_0 -surfaces intersect in a . A further general property is that small circles (dashed dark line) drawn through the projections of rotated first linear elements (B_1') intersect at B_1 ; this is intuitively reasonable, because, for each position of S_0 the line elements initially coincide with B_1 , and during the second deformation they are progressively rotated from this direction. These relationships of the small and great circles on synoptic diagrams are useful in analyzing the geometry of an area. After Whitten (1966).

The shortening that created the second generation of folds affects differently each of the three surfaces (A (hinge zone), B (inverted limb), C (normal limb)) of the folded S_0 -planes; Figure 11). A new B_2 fold axis develops for each planar section, rotating the S_0 planes as well the linear element generated by F_1 .

Each structural domain must be treated as a separate fold, with S_0 poles distributed along a great circle perpendicular to the local B_2 and with

B_1 rotated along small circles centered on the F_2 axis on that particular domain (B_1').

The combination of the data from the three structural domains is depicted on the synoptic diagram from Figure 12ii (after Whitten, 1966). All three new fold axes are contained in the axial plane of F_2 that is perpendicular to the a -axis, which is the β of the second generation of folds (β_2 , trend and plunge of a fold axis deduced stereographically). The intersection of the great

circles defined by the poles of the plane and the \underline{a} -axis. The small circles of B_1' intersect at the original B_1

Interpretation of the regional structure based on the structural model of the Jambreiro quarry.

The structural data for the entire Guanhães region including own data as well from previous regional mapping (Knauer and Grossi-Sad, 1997; Grossi-Sad *et al.*, 1997), is consistent with the proposed superposition of folds from the Jambreiro Quarry. (Figure 13vi, vii and viii).

The poles to the F_1 axial plane (AP_1) are distributed along a great circle (π -plane₂) in all the structural domains (Figure 13ii). That indicates that S_1 had a similar attitude regardless of the domain, in that case, the π -pole indicates β_2 .

From the analyses of the pole figures (Figure 13i) it can be interpreted that the regional F_1 folds are reclined. The axis is determined by the interception of the small circles of the rotated B_1 axes (B_a , B_b , B_c), B_1 trends NE-SW trend plunging 20° SW. The pole to the F_1 axial plane (AP_1) prior to the second generation of folds is given by the intersection of the great circle that contains the rotated AP_1 poles and the plane perpendicular to B_1 (π -plane₁). AP_1 trends NW-SE trend and plunges 20° SW. The line of maximum plunge of AP_1 coincides with B_1 (Figure 13iii).

The axis for the F_2 folds was calculated by determination of the eigenvector 3 of the cylindrical best fit for the rotated AP_1 . F_2 axis is horizontal with an NW-SE trend and AP_2 trends NW-SE and plunges 15° to SW (Figure 13ii). The orientation of AP_2 was measured directly on the field (Figure 13v), and coincides with the great circle that contains the different fold axis for each domain (B_{2b} , B_{2a} , and B_{2c}) (Figure 13iv). F_1 and F_2 have similar axial planes and nearly perpendicular axis. F_2 folds are also recumbent

with horizontal axis and sub-horizontal axial plane.

ANISOTROPY OF MAGNETIC SUSCEPTIBILITY

The anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) is a fast and sensitive tool to describe elements of deformation as it works as a proxy of mineral preferred orientation (Tarling and Hrouda, 1993; Rosière *et al.*, 1996; Borradaile and Henry, 1997; Borradaile, 2001). It has been extensively used to infer kinematics constrains from terrains that lack well developed mesoscopic lineation and foliation (Bouchez *et al.*, 1990; Archanjo *et al.*, 1994; Neves *et al.*, 2003), as it is the case for the SSGu, due to high metamorphic grade and recrystallization. Recent studies have applied the AMS to stablish superposed deformation to multi-deformed terranes (Gosh *et al.*, 2010; Saha *et al.*, 2013)

The mean bulk susceptibility (Km) values in the samples vary from $4,288 \times 10^{-6}$ up to $1,365,928 \times 10^{-6}$ SI units. The highest values ($78,830 \times 10^{-6}$ to $1,365,928 \times 10^{-6}$ SI units) were delivered by BIF samples from the sites CD, R10A and R10B, located at hinge zones from large-scale F_1 folds. Other samples delivered values between $4,288 \times 10^{-6}$ (Figure 14) and $29,434 \times 10^{-6}$.

Regardless of the Km values, all samples fall in the oblate field at the Jelinek's Pj vs. T - plot. (Jelinek (1981) corrected anisotropy degree vs. shape parameter). An estimation of the texture was accomplished based on the analysis of the correlation plot between anisotropy shape q (Granar, 1957) and the AMS intensity factor ϵ (Nadai, 1963) Fig 14). Values of $0 < q < 0.4$ define the field for oblate susceptibility ellipsoids, $0.4 < q < 1.0$, triaxial ellipsoids and $q > 1.0$, prolate ellipsoids. According to Rosière *et al.* (1996) values of $\epsilon > 0.4$ are characteristic of a s-tectonite with a penetrative planar fabric defined by shape and crystallographic preferred orientation of hematite plates.

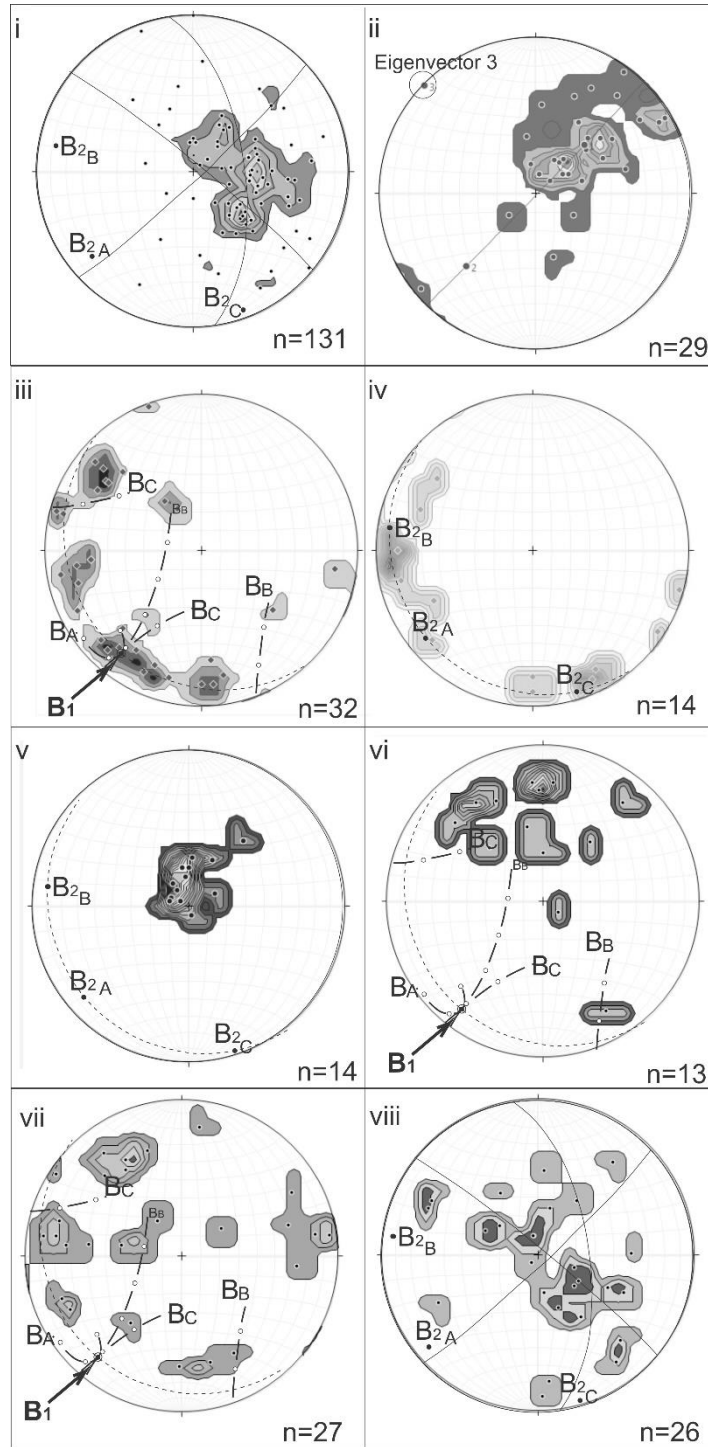


Figure 13: i) Stereographic projection of the poles to S_0 for all the supracrustal rocks including BIFs for the entire region near Guanhões. The grey great circles represent the distribution of S_0 for the Jambreiro quarry. ii) Poles to the AP_1 for the entire region of Guanhões, the great circle is the mathematic calculated cylindrical best fit to which Eigenvector 3 is the pole and represents the approximate attitude of the original B_2 . iii) Stereographic projection of the B_1 axis for the entire studied area. The axis plot into the three small circles set by the Jambreiro quarry's structural model. iv) B_2 axis of supracrustal rocks for the Guanhões region. The three maximum are similar to the ones attained at the Jambreiro quarry's structural model. The dashed line represents the plane that contains all B_2 axis and represents the AP_2 . v) Poles to AP_2 . The maximum distribution coincides with the great circle that contains all three maximum B_2 axis (B_{2a} , B_{2b} , and B_{2c}). vi) Poles to isoclinal folds from the Serro quadrangle of the Espinhaço Project of regional mapping (1:100.000) after Knauer and Grossi-Sad (1997). vii) and viii) Poles to isoclinal folds and S_0 of BIF, respectively, from the Guanhões quadrangle of the Espinhaço Project of regional mapping (1:100.000) after Grossi-Sad et al. (1997).

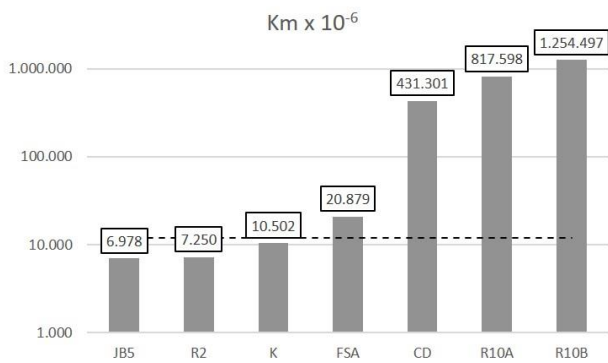


Figure 14: Mean bulk susceptibility (K_m) values for the seven studied sites (Figure 2). Values over $12,000 \times 10^{-6}$ SI units (dashed lines) indicate presence of magnetite.

Hematite crystals have a strong crystallographic anisotropy, with K_3 much smaller than the other two (K_1 and K_2) and coinciding with the $\langle c \rangle$ axis. That means that in the samples where the magnetic susceptibility is dominated by hematite, the geographic position of K_3 will reflect the spatial position of the $\langle c \rangle$ axis of the hematite crystals. It is expected that those samples would display oblate susceptibility ellipsoids.

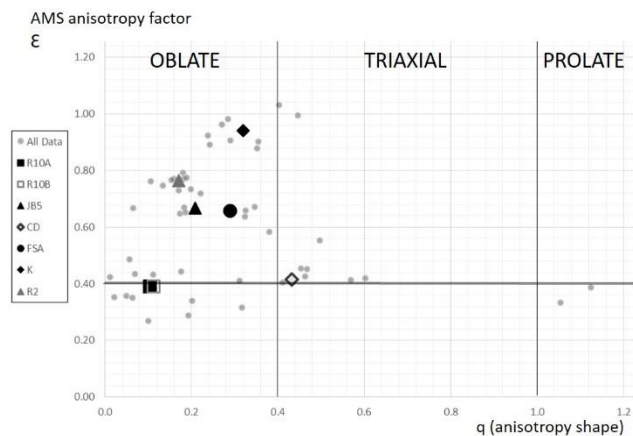


Figure 15: Plot of relationship between intensity of anisotropy of magnetic susceptibility represented by the parameter ϵ and its shape represented by parameter q (after Rosière et al., 1996). The large symbols represent the medium values for each target.

Magnetite has a very high magnetic susceptibility but its crystal magnetic anisotropy is usually low when compared to other minerals. As a result, the magnetic anisotropy for magnetite is completely dominated by grain shape, being affected by grain size, especially by the change from single- to multi-domain (Tarling and Hrouda, 1993). Single

domain behavior is limited to grains with very small dimensions, therefore petrographic observations indicates that a multi-domain behavior should be expected for the analyzed samples. For oblate susceptibility ellipsoids, K_3 is perpendicular to the plane that contain the random distribution of the long axes of magnetite crystals.

The plotting of K_3 (perpendicular axis to the magnetic foliation) in an equal-area stereogram shows that they are distributed along the three great circles defined by the poles to S_0 at the structural analysis of the Jambreiro Quarry (Figure 16).

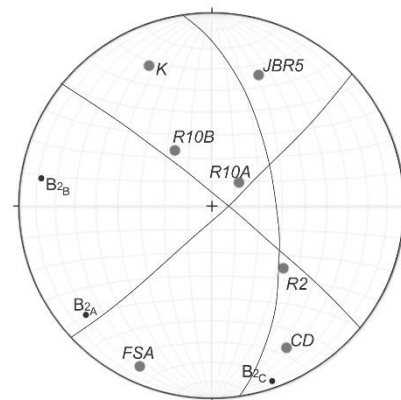


Figure 16: Stereogram of K_3 average distribution for 7 sampled targets. The K_3 is the pole to the magnetic foliation. The great circles are the distribution of the poles to S_0 for the supracrustal rocks of the Guanhões region (Structural analysis of the Jambreiro Quarry).

DISCUSSIONS

The BIF-bearing supracrustal sequence near the town of Guanhões (SSGu) is comprised of two quartzitic units that limit the BIF layer. Those metasedimentary rocks have undergone medium to high amphibolite facies metamorphism and high deformation and occur as tectonic slices, bordered by thrust faults, with oblique component that marks the tectonic contact between the SSGu and the Archean basement of TTG-type granite-gneisses. Mafic dikes and intrusive granites intruded all the rocks in the Guanhões area.

The crystalline basement was dated as Archean in outcrops where the metasedimentary sequence is immediately over the contact. The age of 3150Ma found in two of the samples is the oldest one found in the literature for the rocks of the Guanhões Complex, older than the reported 2867Ma by Silva et al. (2002).

The intense deformation of the SSGu with evidences for stratigraphic inversion, faulting, and transposition and the similarity of both upper and lower quartzitic does not allow an interpretation of stratigraphic sequence of the supracrustal units in the Guanhões region and the caution is therefore demanded to establish the nature of the mapped units.

SHRIMP data of detrital zircon grains of the BIF-related quartzitic units of the SSGu sequence suggest a maximum upper Rhyacian age (2080 Ma) for the supracrustal rocks, much younger than the Guanhões Complex (3151 ± 9 Ma in this paper; 2867 ± 10 Ma, Silva *et al.*, 2002) as purported by Grossi-Sad *et al.* (1997), and the quartzites from the Lower Paleoproterozoic Minas Supergroup (2606 ± 47 Ma, Machado *et al.*, 1996). The recurrent main age peaks obtained in the four histograms are also in agreement with the evidence of Chemale Jr. *et al.* (2012) that suggested long periods of intense felsic activity during the Rhyacian and Archean times.

The sin-tectonic granites that intrude the SSGu show indicatives of high temperature fusion, typical of deeper anatexis. LA-ICP-MS U-Pb dating of the intrusive granites reveals an important placement of Cambrian, Brasiliano-related granitic intrusions that could be the source of the intense hydrothermal activity in the area that causes halos in the zircons and eventually its complete recrystallization.

The SSGu rocks were affected by two paracontemporary deformational phases (Figure 17). The first phase (D₁) produced isoclinal to close folds (F₁) with NW-SE trending axial-plane (AP₁) plunging 15° to SW. The axis is parallel to the dip of the AP₁ plane, (reclined folds) and suggests a NW-verging kymematics. The fabric of the S₁ axial plane foliation suggests a deeper crustal level than D₂.

The second phase (D₂) generated close to open recumbent F₂ folds with axial plane coincident with AP₁ and horizontal axis trending NW-SE, which suggests a NE verging kymematics. That second phase was responsible for creating a fold interference pattern and there was no development of foliation during that phase.

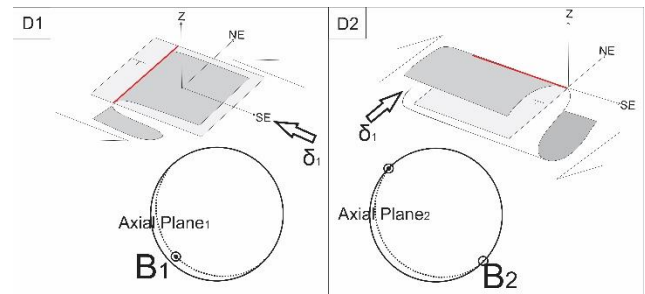


Figure 17: Schematic representation of the geometric and kinematic characteristics of folds F₁ and F₂.

The orientation of the thrust faults that limit the tectonic slices with SSGu is subparallel to AP₁//AP₂ and the development of fault propagation folds suggests that the thrust system is co-genetic to at least one of the fold generations. Most likely, the oblique component of the fault system is linked to D₁ and F₁ and the thrust component to D₂ and F₂.

Oriented rock samples collected from 7 targets spread along the studied area were collected for an AMS study. The lower K_m values indicate that hematite controls the overall magnetic fabrics of the samples while, the higher K_m values indicate that the presence of magnetite, supported by petrographic and field observations, is responsible for controlling the magnetic fabrics. According to Tarling and Hrouda (1993) the magnetic properties of a rock are dominated by magnetite when it is present as [c]>0.5 of the iron oxide fraction.

Hematite crystals have a strong crystallographic anisotropy, with K₁ much smaller than the other two (K₂ and K₃) and coinciding with the <c> crystallographic axis. (Rosière *et al.*, 1996). That means that in the samples where the magnetic susceptibility is dominated by hematite, the geographic position of K₃ will reflect the spatial position of the <c> axis of the hematite crystals. It is expected that those samples would display oblate susceptibility ellipsoids.

In the case of magnetite, even though it has very high magnetic susceptibility its crystal magnetic anisotropy is usually low when compared to other minerals. As a result, the magnetic anisotropy for magnetite is completely dominated by the grain shape, being affected by grain size, especially by the change from single- to multi-domain (Tarling and Hrouda, 1993). Single domain behavior is

limited to grains with very small length, therefore petrographic observations suggests that a multi-domain behavior should be expected for the analyzed samples. For oblate susceptibility ellipsoids, K_3 is perpendicular to the plane that contain the random distribution of the long axes of magnetite crystals.

The plotting of K_3 (perpendicular axis to the mineral foliation) in an equal-area stereogram show a similar distribution to S_0 in the structural model to the region of Guanhões. The mineral foliation mimics the bedding orientation in the BIFs, indicating that the magnetic foliation represents a diagenetic fabric of the iron oxides that predates the F_1 folding. Alternatively, the possibility of an overprinted pre- S_1 bedding-parallel foliation must be also taken into consideration

The fact that the magnetic foliation shows a behavior that is different from S_1 suggests that even when specularite is oriented along the axial plane of F_1 folds (Figure 9), the magnetic properties of magnetite and granular hematite overprints the influence of oriented platy crystals

The D_1 NW-verging compressive tectonic coincides with the regional deformation path proposed by Alkmim et al. (2006) as the oldest Neoproterozoic compressional phase for the Araçuaí-West Congo Orogen, which is represented by low dipping shear zones that were preserved throughout the orogenic complex.

The second deformation phase D_2 is linked to an overall SW verging movement. In the Guanhões region, the NE vergence of the D_2 structures is probably associated to a larger scale backthrust system, as proposed by Marquer (1990) for the Gothard massif in the Suisse Alps. Pagung de Carvalho (2013) also described reverse movement toward the hinterland for the Morro Escuro ridge, south of the studied area.

CONCLUSIONS

The BIF-bearing sequence of Guanhões is a Rhyacian supracrustal sequence that was deformed by two compressive deformation phases during the Araçuaí-West Congo Orogen, which was responsible for slicing the sequence and putting it in tectonic contact with the Archean

TTG basement. During the Araçuaí-West Congo Orogen, a series of I-type granites intruded the rocks of the SSGu and generated hydrothermal activity that affected all the rocks at the Guanhões region and recrystallized part of the detrital zircons of the metasediments.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are thankful to the Centaurus Metals, particularly R. Fitzhardinge, G. Montresor and all the geologists and employees involved in the Jambreiro Project for providing technical support and access to information, to the CNPq and FAPEMIG for financial resources. To the CPMTC, LOPAG, REDE GEOCRONOS, IAG/USP and all its employees.

REFERENCES

- Alkmim F.F., Marshak S., Pedrosa-Soares A.C., Peres G.G., Cruz S.C.P., Whittington A. 2006. Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian Research*, 149: 43-64.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sci. Rev.*, 17: 1-29.
- Archanjo C.J., Bouchez J.L., Corsini M. 1994. The Pombal Granite Pluton: magnetic fabric, emplacement and relationships with the Brasiliano strike-slip setting of Ne Brazil (Paraíba State). *Journal of Structural Geology*, 16:323-335.
- Borradaile G. J. 2001. Paleomagnetic vectors and tilted dikes. *Tectonophysics*, 333: 417-426.
- Borradaile G.J. & Henry B. 1997. Tectonic applications of magnetic susceptibility and its anisotropy. *Earth Sci. Rev.*, 42: 49-93.
- Bouchez J.L., Gleizes T., Djouadi T., Rochette P. 1990. Microstructure and magnetic susceptibility applied to emplacement kinematics of granites: The example of the Foix pluton (French Pyrenees). *Tectonophysics*, 184: 157-171.
- Chemale Jr., F., Dussin, I.A., Alkmim, F.F., Martins, M.S., Queiroga, G., Armstrong, R., Santos, M.N. 2012. Unravelling a Proterozoic basin history through detrital zircon geochronology: the case of the Espinhaço

- Supergroup, Minas Gerais. *Gondwana Res.*, 22: 200-206.
- Dorr J.V.N. 1969. Physiographic, Stratigraphic and Structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Washington, USGS/DNPM. Prof. Paper 641-A, 110p.
- Durney D.W., Kisch H.J. 1994. A field classification and intensity scale for first generation cleavages. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 15: 257-295.
- Dussin I.A. 1994. Evolution structurale de la region de l'Espinhaço Meridional, bordure Sud-est du Craton São Francisco Brésil. *Tectoniques superposées au Protérozoïque*. Tese de Doutorado, Univ. Orléans, 200p.
- Dussin T.M., 2000. A tectônica extensional paleoproterozoica na borda sudeste do Cráton do São Francisco (SE, Brasil): Geoquímica e petrologia das meta-ígneas. *Geonomos*, 8: 63-68.
- Dussin T.M, Dussin I.A., Macambira M.J.B. 2000b. Chronology of Neoproterozoic Magmatism in Guanhães Region: 207Pb/206Pb Single Zircon Evaporation Data of Alkaline Granite (Minas Gerais, Brazil). In: *Inter. Geol. Congress, Rio de Janeiro, Abstracts Vol., CD*.
- Fernandes M.L.S. 2001. O Granito Borrachudos entre Guanhães e Dores de Guanhães (Plutonito Morro do Urubu): Gênese e Evolução. Tese de Doutorado, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio do Janeiro, 172 p.
- Granar L. 1958. Magnetic Measurements on Swedish varved sediments. *Arkiv for geofvsik*, 3: 1-40.
- Grossi-Sad J.H. 1997. Geologia da Folha Guanhães. In: Grossi-Sad J.H., Lobato L.M., Pedrosa-Soares A.C., Soares-Filho B.S. (coordenadores e editores). *Projeto Espinhaço em Cd-Rom (textos, mapas e anexos)*. Belo Horizonte, COMIG, p. 2317-2435.
- Grossi-Sad J.H., Magalhães J.M.M., Carelos P.M. 1989. Geologia do Distrito de Guanhães, Minas Gerais. Relatório Interno, Belo Horizonte, DOCEGEO-GEOSOL, 252 p. In: Grossi-Sad J.H., Mourão M.A.A., Guimarães M.L.V., Knauer L.G. 1997. Geologia da Folha Conceição do Mato Dentro.
- Grossi-Sad J.H., Chiodi Filho C., Santos J.F., Magalhães J.M.M., Carelos P.M. 1990a. Geoquímica e origem da formação ferrífera do Grupo Guanhães, Distrito de Guanhães, MG, Brasil. In: SBG, Cong. Bras. Geologia, 36, Anais, 3: 1241-1253.
- Grossi-Sad J.H., Chiodi Filho C., Santos J.F., Magalhães J.M.M., Carelos P.M. 1990b. Duas Suítes Graníticas da Borda Sudeste do Cráton Sanfranciscano, em Minas Gerais: Petroquímica e Potencial Metalogenético. In: SBG, Cong. Bras. Geologia, 36, Anais, 4: 1836-1848.
- Ghosh G., Kumari S., Patil S.K., Mukhopadhyay J., Ray A. 2010. Superposed deformation fabrics in the Precambrian metabasic rocks of the Iron Ore Group, Singhbhum craton, Eastern India: Evidences from anisotropy of magnetic susceptibility studies. *Journal of Structural Geology*, 32: 249–261.
- Guimarães M.L.V. 1992. Petrogênese das rochas Pré-Cambrianas da região Itabira/Morro do Pilar, borda sudeste da Serra do Espinhaço meridional, MG. Dissertação de Mestrado, USP, 139 p.
- Jelinek V. 1981. Characterisation of the magnetic fabrics of rocks. *Tectonophysics*, 79: 63-67.
- Knauer L.G. and Grossi-Sad J.H. 1997. Geologia da Folha Serro. In: Grossi-Sad J.H., Lobato L.M., Pedrosa-Soares A.C., Soares-Filho B.S. (editors). *PROJETO ESPINHAÇO EM CD-ROM (text and maps)*. Belo Horizonte, COMIG - Companhia Mineradora de Minas Gerais, 2057-2316.
- Ludwig, K.R. 2001. *SQUID 1.02: a Users Manual*. Berkeley Geochronology Centre, Special Publication No. 2, 19 pp.
- Ludwig, K.R. 2003. *ISOPLLOT 3.00 e a Geochronological Toolkit for Excel*. Berkely Geochronology Center, Special Publication 4, 67pp.
- Machado N., Schrank A., Noce C.M., Gauthier G. 1996. Ages of detrital zircon from Archean–Paleoproterozoic sequences: implications for greenstone belt setting and evolution of a Transamazonian foreland basin in Quadrilátero

- Ferrífero, southeast Brazil. *Earth and Planetary Science Letters*, 141: 259–276.
- Marquer D. 1990. Structures et déformations alpines dans les granites hercyniens du massif du Gothard. *Eclogae geol. Helv.*, 83(1):77-97.
- Nadai, A. 1963. *Theory of flow and fracture of solids*. McGraw Hill, New York, 705pp.
- Neves S.P., Araújo A.M.B., Correia P.B., Mariano G. 2003. Magnetic fabrics in the Cabanas Granite (NE Brazil): interplay between emplacement and regional fabrics in a dextral transpressive regime. *Journal of Structural Geology*, 25(3): 443-455.
- Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., Silva, L.C., Alkmim, F.F. 2007. O Embasamento Arqueano e Paleoproterozoico do Orógeno Araçuaí. *Geonomos*, 15 (1): 17-23.
- Pagung de Carvalho R. 2013. A sequência Orosiriana-Estateriana e evolução tectono-metamórfica da borda leste do espinhaço meridional na região de Santa Maria de Itabira-MG. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 136 pp.
- Pedrosa-Soares A.C. & Noce C.M. 1998. Where is the suture zone of the Neoproterozoic Araçuaí-West-Congo orogen? In: *Conference on Basement Tectonics*, 14, Ouro Preto. UFOP, Extended Abstracts, 35-37.
- Pedrosa-Soares A.C. & Wiedemann-Leonardos C.M. 2000. Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, Eastern Brazil. In: U. Cordani, E. Milani, A. Thomaz-Filho & D. A. Campos (eds), *Tectonic Evolution of South America*. São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia: 265-285
- Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Alkmim F.F., Silva L.C., Babinski M., Cordani U., Castañeda C. 2007. Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos*, 15: 1-16.
- Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Wiedemann C.M., Pinto C.P. 2001. The Araçuaí–West Congo orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanland assembly. *Precambrian Research*, 110: 307-323.
- Pedrosa-Soares A.C., Dardenne M.A., Hasui Y., Castro F.D.C., Carvalho M.V.A. 1994. Nota Explicativa dos Mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Minerais do Estado de Minas Gerais, Escala 1:1.000.000. SEME/COMIG, Belo Horizonte, 231 pp.
- Peres G.G., Alkmim F.F., Jordt-Evangelista H. 2004. The southern Araçuaí belt and the Dom Silvério Group: geologic architecture and tectonic significance. *Anais da Academia Brasileira de Ciência*, 76(4): 771-790.
- Ramsay J.G. 1967. *Folding and Fracturing of Rocks*. 1st Edn., McGraw-Hill, New York, 568p..
- Rolim V.K., Rosière C.A., Santos J.O.S., McNaughton N.J. 2016. The Orosirian-Statherian banded iron formation-bearing sequences of the southern border of the Espinhaço range, southeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 65: 43-66.
- Rolim V.K. & Rosière C.A. 2011. The Conceição do Mato Dentro Iron Formation Province in southeastern Brazil. In: 11th Biennial SGA Meeting, Antofagasta, Chile, Extended Abstract, 927-929.
- Rosière C.A., Quade H., Siemes H., Chemale Jr. F. and Resende de Souza E.M.. 1996. Um modelo para a evolução microstrutural dos minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Parte II—trama, textura e anisotropia de susceptibilidade magnética. *Geonomos*, 4: 61–75.
- Saha S., Das K., Chakraborty P.P., Das P., Karmakar S., Mamtani M.A. 2013. Tectonomagmatic evolution of the Mesoproterozoic Singhora basin, central India: Evidence for compressional tectonics from structural data, AMS study and geochemistry of basic rocks. *Precambrian Research*, 227: 276–294
- Silva L.C., Armstrong R., Noce C.M., Carneiro M.A., Pimentel M.M., Pedrosa-Soares A.C., Leite C.A., Vieira V.S., Silva M.A., Paes V.J.C., Cardoso Filho J.M. 2002. Reavaliação da evolução geológica em terrenos pré-cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb

SHRIMP, parte II: Orógeno Araçuaí, Cinturão Mineiro e Cráton São Francisco Meridional. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(4): 513-528.

Silveira-Braga F.C., Rosière C.A., Queiroga G.N., Rolim, V.K., Santos, J.O.S., McNaughton, N.J. 2015. The Statherian itabirite-bearing sequence from the Morro Escuro Ridge, Santa Maria de Itabira, Minas Gerais, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 58: 33-53.

Simonson B.M 1985. Sedimentological constrains on Precambrian Iron Formations.

Geological Society of America Bulletin, 96: 244-252.

Tarling D.H. & Hrouda F. 1993. *The Magnetic Anisotropy of Rocks*. 1st Edn., Chapman and Hall, London, New York, ISBN-10: 0412498804, 217p..

Whitten E. H. T. 1966. *Structural Geology of Folded Rocks*. Rand McNally and Co., Chicago, 663 pp..

THE PROTEROZOIC GUANHÃES BANDED IRON FORMATIONS, MINAS GERAIS, BRAZIL: EVIDENCES FOR DETRITAL CONTAMINATION

AS FORMAÇÕES FERRÍFERAS BANDADAS PROTEROZÓICAS DE GUANHÃES, MINAS GERAIS, BRASIL: EVIDÊNCIAS DE CONTAMINAÇÃO DETRÍTICA
THE GUANHÃES BANDED IRON FORMATIONS, MINAS GERAIS, BRAZIL

Vitor Rodrigues BARROTE^{1*}, Carlos A. ROSIERE^{2a}, Vassily K. ROLIM^{2b}, Joao Orestes Schneider SANTOS³, Neal J. MCNAUGHTON⁴

1 - Graduate Program, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

vitorbarrote@hotmail.com

2 - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

^a crosiere@gmail.com

^b vassily.rolim@gmail.com

3 - Centre for Exploration Targeting, University of Western Australia, Perth, Western Australia, Australia. orestes.santos@bigpond.com

4 - Curtin University, Perth, WA, Australia.

N.McNaughton@curtin.edu.au

Abstract

The Guanhães BIF-bearing sequence occurs as thin tectonic slices juxtaposed to Archean TTG granite-gneissic basement rock developed at the Proterozoic-Paleozoic boundary during the Neoproterozoic-Cambrian Brasiliano collage (Knauer and Grossi-Sad, 1997). It is a Rhyacian sequence comprised of quartzites, schists, BIFs, gneiss and amphibolite, all metamorphosed at amphibolite facies. The analyses of PAAS-normalized REY (Rare Earth Elements + Yttrium) values for the Guanhães BIF, shows HREE enrichment, consistent positive Eu anomaly and virtually no Ce anomaly. Ce/Ce*(SN) vs. Y/Ho and correlation between lithophile elements is evidence for detrital contamination on part of the samples. Positive correlation between Ce/Ce*(SN) vs. Y/Ho indicates fractionation of REY such as La, Pr or Sm. The non-contaminated samples display REY distribution similar to BIF from other Precambrian BIFs, particularly BIFs from the Morro-Escuro Sequence (Silveira-Braga *et al.*, 2015) and the Serra da Serpentina Group (Rolim *et al.*, 2016), without true Ce-anomaly and Y/Ho close to seawater values (45). These geochemical data indicate that the BIFs were deposited on a platform environment distant of the high T hydrothermal fluids source. Several samples exhibit positive Ce-anomaly linked to HREE enrichment and higher Eu-anomaly that are related to an igneous hydrothermal alteration from younger Granitic intrusions

Resumo

A sequência supracrustal Guanhães, portadora de BIFs, ocorre como pequenas fatias tectônicas superpostas a embasamento de terrenos granito-gnáissicos do tipo TTG de idade Arqueana, desenvolvidas no limite entre Proterozoico-Paleozóico, durante a colagem Brasileira. A sequência de idade Riaciana é composta por quartzitos, xistos, BIFs, gnaisses e anfíbolitos, todos metamorfisados em fácies anfíbolito. A análise dos Elementos Terras Raras + Y (ETR+Y), normalizados ao PASS, para as BIFs de Guanhães, mostram enriquecimento em ETR pesados, anomalia positiva de Eu e virtualmente nenhuma anomalia de Ce. Ce/Ce*(SN) vs. Y/Ho e correlação positiva entre elementos litófilos evidenciam contaminação detrítica, em parte das amostras. Uma relação positiva entre Ce/Ce*(SN) vs. Y/Ho indica fracionamento de ETR+Y, como La, Pr ou Sm. As amostras não contaminadas apresentam distribuição de ETR+Y similares a outras BIFs pré-cambrianas, particularmente às BIFs da Sequência do Morro Escuro (Silveira-Braga *et al.*, 2015) e do Grupo Serra da Serpentina (Rolim *et al.*, 2016), sem anomalia verdadeira de Ce e com Y/Ho próximo aos valores típicos de água do mar (45). Esses dados geoquímicos indicam que a BIF foi depositada em um ambiente plataformar, distante de fontes hidrotermais de alta temperatura. Parte das amostras apresentam indícios de contaminação posterior por fluidos hidrotermais ácidos de origem ígnea, originários de intrusões graníticas mais novas. Duas amostras mostram enriquecimento de ETR leves, em razão de alteração supergenese.

Keywords: Banded Iron Formation; Guanhães; Geochronology; Geochemistry

Palavras-chave: Formações Ferríferas Bandadas; Guanhães; Geocronologia; Geoquímica.

INTRODUCTION

The Guanhães Group (Grossi-Sad *et al.* 1997) contains several small, discontinuously distributed and highly deformed tectonic slices of Banded Iron Formation (BIF) associated to a metasedimentary sequence scattered distributed over an area of approximately 2500 km² around the township of Guanhães, about 150 km north of the world known Quadrilátero Ferrífero mining district, Minas Gerais, Brazil (Figure 18). The existence of BIF in this region is long known, with references as old as 1833 (Eschwege 1833, in Grossi-Sad *et al.* 1997), but the studies in the area are limited to regional scale only (Grossi-Sad *et al.* 1989; 1990b; 1997; Pedrosa-Soares *et al.* 1994). Grossi-Sad *et al.* (1990a) based on geochemical data, classified the Guanhães BIFs as of Algoma-type estimating an Archean age for the sequence.

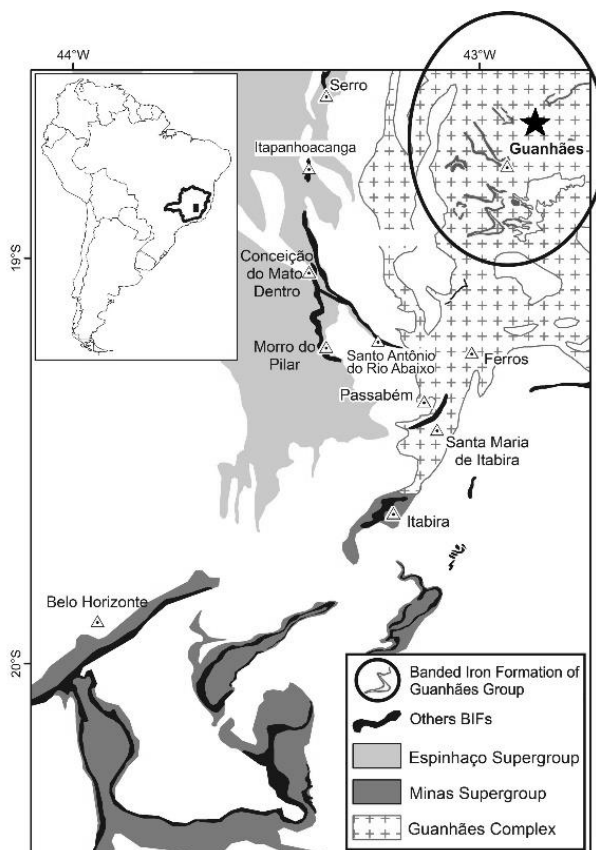


Figure 18: Regional geological map showing the location of the Guanhães Group's BIFs and distribution of others BIF-bearing sequences in southeast Brazil (based on Grossi-Sad *et al.* 1997; Pedrosa-Soares *et al.* 1994). The star is the location of the Jambreiro Mining Project.

Our data focuses on BIFs from the Jambreiro Quarry, located in the central region of distribution of ore bodies where few outcrops discontinuously occur. The targeted area represents a typical and relatively well exposed occurrence of the supracrustal sequence with several fresh, unaltered core drill samples, that makes it suitable for a chemical characterization of the Guanhães BIF and a first approach to the interpretation of its sedimentary environment.

The present paper discusses the geochemistry of the Guanhães BIFs in the light of more recent studies and precise data. This contribution does not only deliver valuable information for the exploration of iron in the region, but also makes an effort to comprehend the characteristics of the depositional basin, the nature of the processes they were submitted to and the relationship with the surrounding areas and other basins. These interpretations are complemented by detrital zircon dating from quartzite layers closely associated with the BIF.

GEOLOGICAL SETTING

The Guanhães' BIFs are part of the Guanhães Group, a sequence of metasedimentary rocks superposed to Archean TTG granite-gneissic basement. The Guanhães Group consists of schists, quartzites and paragneisses interpreted by Grossi-Sad *et al.* (1989; 1990a; 1990b; 1997) as of metavolcanosedimentary origin. Several authors place it as part of the Archean Guanhães Complex, indistinguishing crystalline basement rocks from the supracrustal sequence (Pedrosa-Soares *et al.* 1994; Dussin *et al.* 2000; Silva *et al.* 2002; Noce *et al.* 2007).

In the studied area, the metasedimentary sequence directly associated with the Guanhães BIFs (Figure 19) consists, from bottom to top, of:

- a lower quartzitic unit up to 50m thick comprising mainly medium to coarse grain quartzites with saccharoidal texture of variable composition (pure, sericitic, arkosic and iron-rich), intercalated with gneiss and schist.
- the Banded Iron Formation (itabirite) also displays a medium to fine grained saccharoidal texture. The iron oxide mineralogy comprises mainly hematite with variable morphologic characteristics (lamellar/specularite, granular and martite) and magnetite.
- An upper quartzitic units that is very similar to the basal unit. The main difference is the presence of layers of garnet-rich amphibolite, close to the contact with de underlying BIF unit.

Several intrusive granites and associated pegmatites cut through the metasediments of the supracrustal rocks, display similar mineralogy but with variable fabrics and are locally foliated.

The supracrustal rocks display mineral assemblages typical of high amphibolite facies (Grossi-Sad 1997; Fernandes 2001; Dussin *et al.* 2000) dated as 519-507 Ma (Noce *et al.* 2007), which indicates that the Guanhães block exposes a deeper crustal level, uplifted probably during the final stages of the Neoproterozoic-Cambrian Brasiliano collage (Knauer and Grossi-Sad 1997).

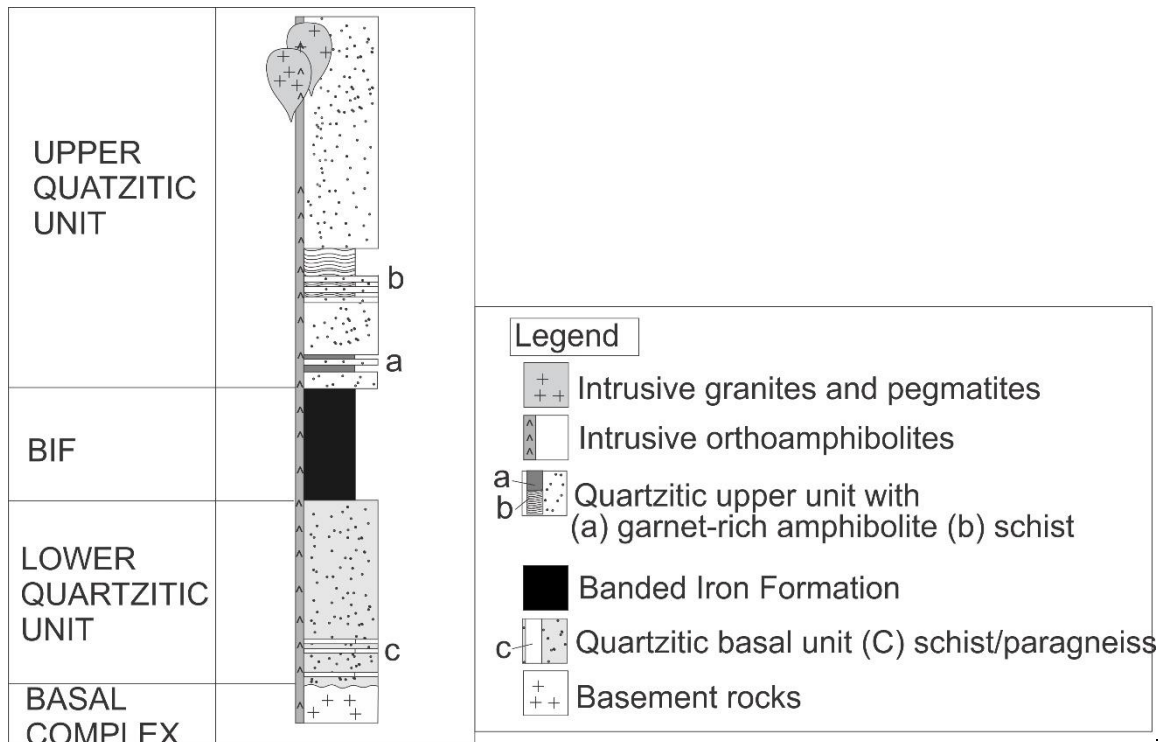


Figure 19: Stratigraphic sequence of the SSGu.

METHODOLOGY

Geochemistry

A total of 17 fresh BIF samples were collected in different stratigraphic positions from 11 core drill from the Jambreiro Iron Ore Project at Centaurus Metals and 8 were selected for thin sections. For the geochemical analysis, a hand held drill machine with a small diamond disc (1 cm in diameter) was used to pulverize the samples, cutting in homogeneous fashion all compositional bands of each sample. There was no separation between the bands in each sample.

The analyses were accomplished at the ACME Labs using the ICP-ES (Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometry) method for major oxide elements and the ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy) method for trace elements.

Concentrations of REYs in the BIF samples were normalized to Post-Archaean Average Shale (PAAS) after McLennan (1989) and to the chondrite after Taylor and McLennan (1985).

Geochronology

SHRIMP (Sensitive High Resolution Ion Microprobe) U-Pb determinations were performed on detrital zircon crystals from 4 samples at the John de Laeter Center for Isotopic Research from the Curtin University in Perth, Western Australia. The samples were processed with conventional crushing, grinding and screening at the LOPAG-DEGEO laboratory at the Universidade Federal de Ouro Preto. A heavy fraction concentration of 60-120 mesh was realized by panning. After the concentration, the three samples were sieved and washed to remove any very fine material (of clay and silt size). The 60-250 mesh fraction was treated with heavy liquid (TBE, tetra-bromo-ethane) to remove light minerals and a Frantz LB1 magnetic separator (to concentrate the less magnetic minerals such as zircon). Zircon was handpicked and organized in an epoxy mount, which was polished and carboncoated for SEM (Scanning Electron Microscope) study. Back-scattered images (BSE) were taken using a JEOL6400 SEM at the Centre for Analytical and Characterization Analyses at the University of Western Australia. Imaging of the zircon is critical for identifying internal features, such as the core and rims, and to avoid areas with high common lead content (inclusions, fractures, and metamict areas). Epoxy mounts were coated with gold for SHRIMP analyses. Most SHRIMP analytical spots were in the diameter range of 20 - 30 μm although in the presence of alteration haloes due to hydrothermal recrystallization, a spot size of only 10 μm was applied. Four scans were used for each spot analysis of detrital zircon and seven scans during the analyses of hydrothermal minerals. The following masses were analyzed for zircon: ($^{196}\text{Zr}2\text{O}$ 20^4Pb , background 20^6Pb 20^7Pb 20^8Pb , ^{238}U , ^{248}ThO , ^{254}UO), as well as $^{200}\text{TixOy}$ 20^4Pb , background 20^6Pb 20^7Pb 20^8Pb , ^{238}U , ^{248}ThO , and ^{254}UO . The standards D23 and NBS611 were used to identify the position of the peak of the mass ^{204}Pb , whereas the calibration of the U content and the Pb/U ratio were conducted using the zircon standard BR266 (559 Ma, 903 ppm U). All data on detrital zircon with common lead correction greater than 1% were rejected during the first scan. The uncertainties of individual ages are quoted at 1s level, whereas the ages plotted are calculated at 2s levels (about 95% confidence). SHRIMP data were reduced using SQUID software (Ludwig 2001) and plots were prepared using ISOPLOT/Ex (Ludwig 2003).

PETROGRAPHY

The mineralogical composition of the Guanhões BIFs varies slightly in both contents and proportions. Average mineral abundance in samples are quartz (40-50%), iron oxides (20-35%), amphibole (5-20%), carbonates + chlorite (1-10%) and accessory epidote, muscovite and zircon (<2.5%). The quartz grains are irregularly shaped and display deformational features such as undulatory extinction. Quartz and magnetite are sometimes intermixed with a coarser granular fabric that partially obliterates the

banded structure. Otherwise, the BIFs usually display a regular banding in meso (cm) to micro-scale (mm). The contact between “iron-rich” and “iron-poor” microbands are usually sharp, but more diffuse transitions within the “iron-poor” laminae are also observed probably reflecting primary BIF-features (Figure 20 A e B).

Iron-rich laminae are largely composed by hematite, but display distinct textural features such as specular and granular (Figure 21). Magnetite tends to occur as inclusions-free subhedral to euhedral thin to medium-grained crystals (0.4 to 1mm thick). The intergrowth and genetic relationship between magnetite and hematite is not clear but the occurrence of martite suggests that magnetite was formed first and then altered into hematite, along the original primary bands of the BIFs. A second generation of mainly specularite is coincident with the regional foliation and superposes the granular-textured iron oxides on the iron rich bands (Figure 21A).

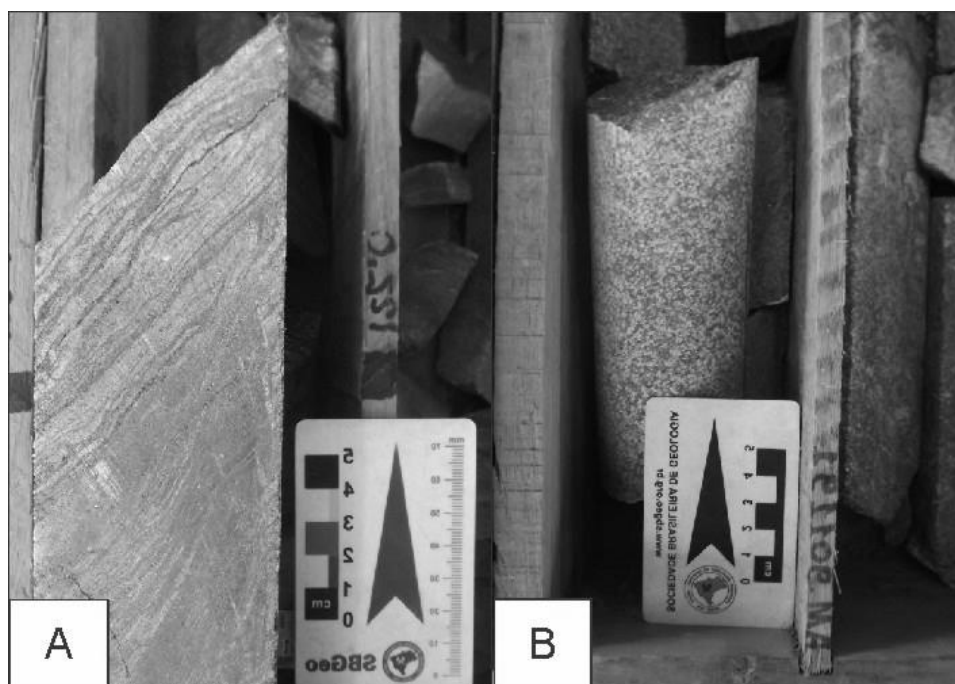


Figure 20: A) Core drill sample of microbanded iron formation, with intrafolial folds. B) Coarse iron formation with obliterated banded structure

There are two varieties of amphiboles in the Guanhães BIFs, the first is colorless actinolite with lower second order interference color, (Figure 22B). Actinolite is sin-deformational with crystals displaying the same orientation as the specularite. Hornblende also occurs preferably as random crystals in the iron-rich bands and is strongly pleochroic (pale green to dark green to deep bluish green) indicating high iron content (Figure 22C).

Iron rich and quartz layers are occasionally inter-layered with few white and pale brown 1–2 mm thin calcite bands (Figure 22C; D). The samples can be separated into two groups, according to the presence or lack of carbonates. Samples 051-115.2, 050-134.5, 051-123.0, 020-113.3, 027-127.7 and 052-133.5 contain carbonate as indicated in Table 1.

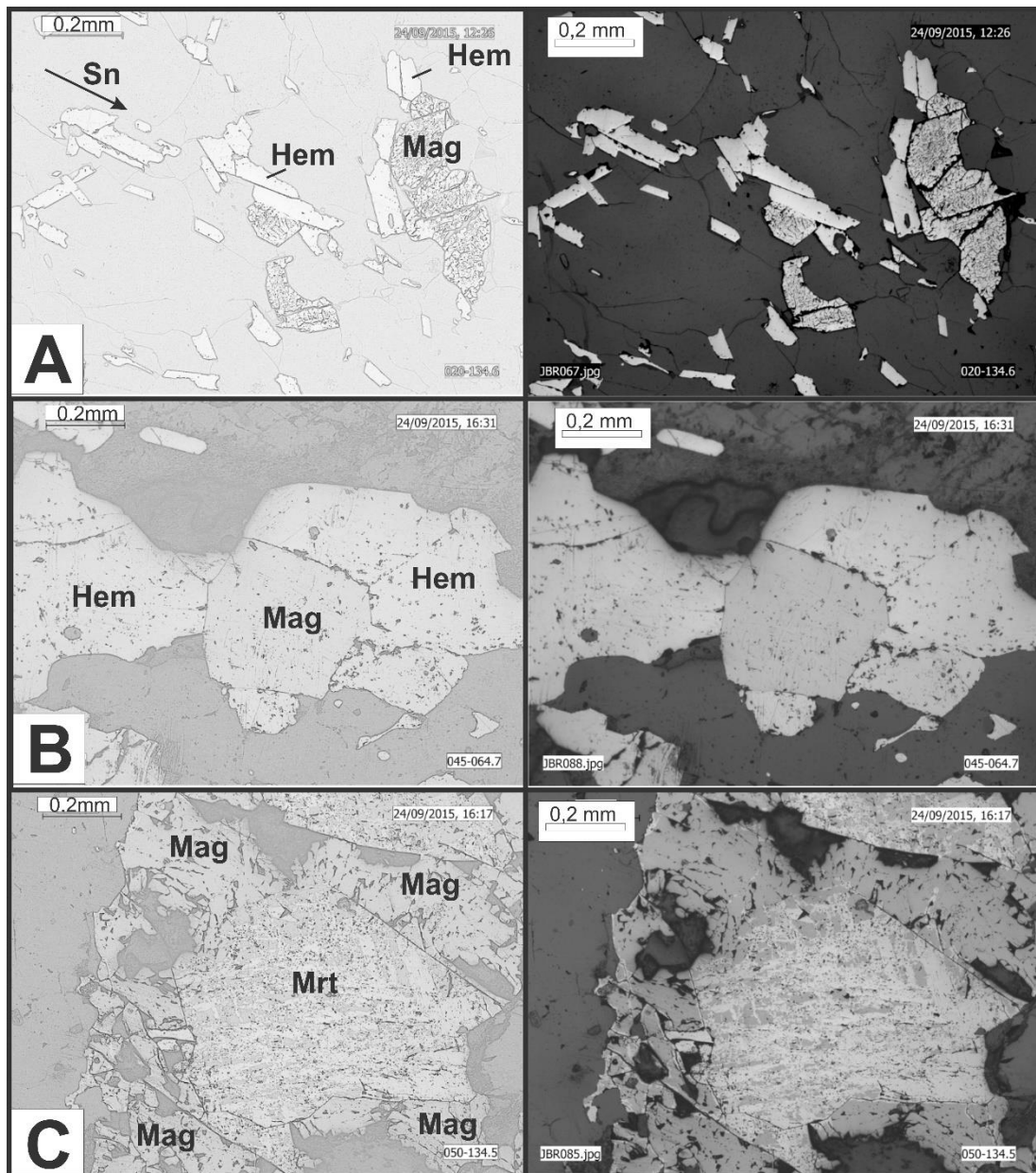


Figure 21: Schematic drawing (on the left) and correlated Microphotography (on the right) of the Guanhões BIF under reflected light, 10x augmentation, focus on texture and structure of the iron oxides. A) Two generations of specular hematite, Specularite. The first generation is distributed in the iron-rich bands of the BIF, second generation is oriented concordant to the foliation. Subhedral crystals of magnetite distributed through the iron-rich band are cut by the second generation of specularite. B) Euhedral magnetite and granular hematite in an iron-rich band. C) Subhedral martite (hematite pseudo morph of magnetite) with residues of magnetite and subhedral magnetite crystals on an iron-rich band. Mag= Magnetite; Hem= Hematite; Mrt= Martite.

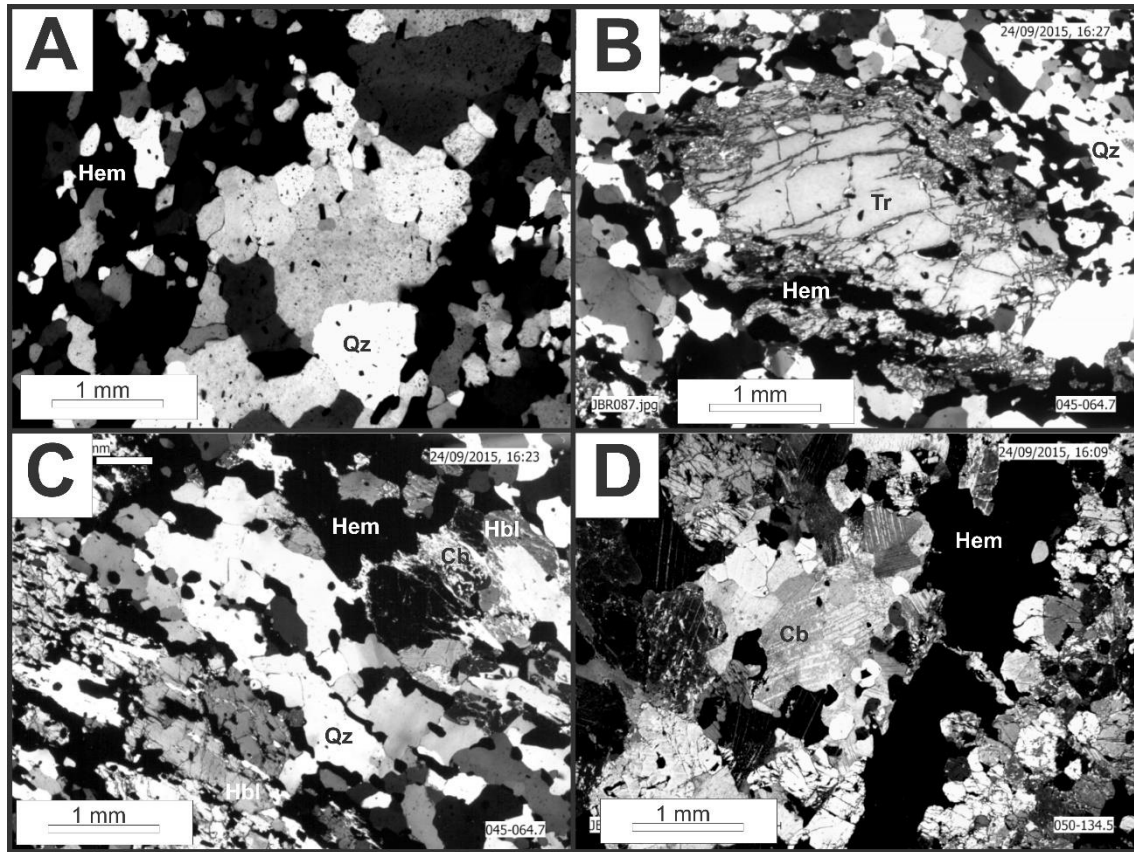


Figure 22: Microphotography of the Guanhães BIF under transmitted light, taken with crossed polar and 5x augmentation. A) Iron-rich band with predominance of hematite and silica-rich band with predominance of quartz, with triple contact, wavy extinction and straight to irregular grain boundaries. B) Cristal of tremolite in iron-rich band, sin-formational to the specular hematite, sin-deformational. C) Iron-rich band with predominance of hematite and hornblende. The hornblende is altered to carbonate, eventually. Silica-rich bands with predominance of oriented quartz and occurrence of carbonate. D) Euhedral to subhedral crystals of non-oriented carbonate on a silica-rich band. The iron-rich band is predominantly composed of hematite and hornblende (not shown). Qz= Quartz; Tr= Tremolite; Hbl= Hornblende; Cb= Undiscriminated carbonate.

GEOCHRONOLOGY

The maximum depositional age for the quartzitic units associated with the BIFs of the SSGu was determined according to the youngest population of detrital zircon grains. Four samples were selected from the upper and lower quartzitic units and investigated using SHRIMP. In all four samples the grains are sub rounded to rounded, although some prismatic crystals were also observed (Figure 23).

LOWER QUARTZITIC UNIT

The youngest age found in a population of 30 grains from the sample CINZAS was 2658 ± 15 Ma, which points to source rocks of Archean age. 13% of the zircon grains are Neoproterozoic, 80% Mesoproterozoic and 7% Paleoproterozoic. The main peak ages are at 2842 and 2969 Ma. Several grains in this sample were very affected by hydrothermal recrystallization.

Twenty nine analyses were performed on zircon grains from the lower quartzitic unit (CANDONGA) displaying the youngest age of 1737 ± 14 Ma represented by a single Statherian zircon (4%). The older zircon is 3426 ± 8 Ma. 20% of the grains are Paleoproterozoic, 61% Mesoproterozoic and 14% Neoproterozoic and the main peak ages are at 2979 and 3289 Ma. Five zircons exhibited alteration halo with low Th/U ratio and Cambrian ages.

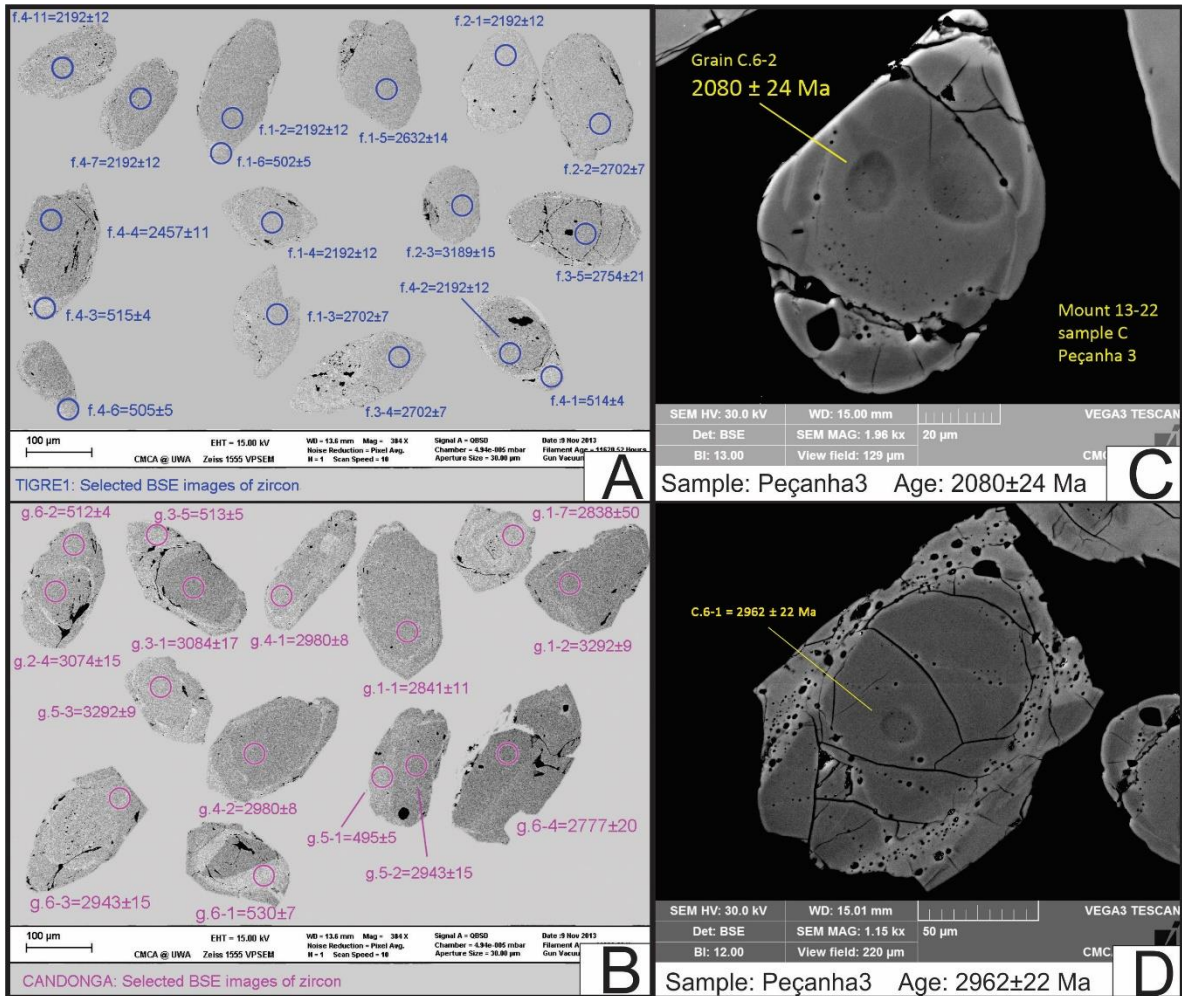


Figure 23: BSE image of selected detrital zircon grains from samples TIGRE (A) and CANDONGA (B). Metamict zircon grains with hydrothermal alteration (light gray areas) were dated to Cambrian age. (C) and (D) Small scale BSE images of a couple of zircon grains from the sample Peçanha3, of ryacian and archean age, respectively.

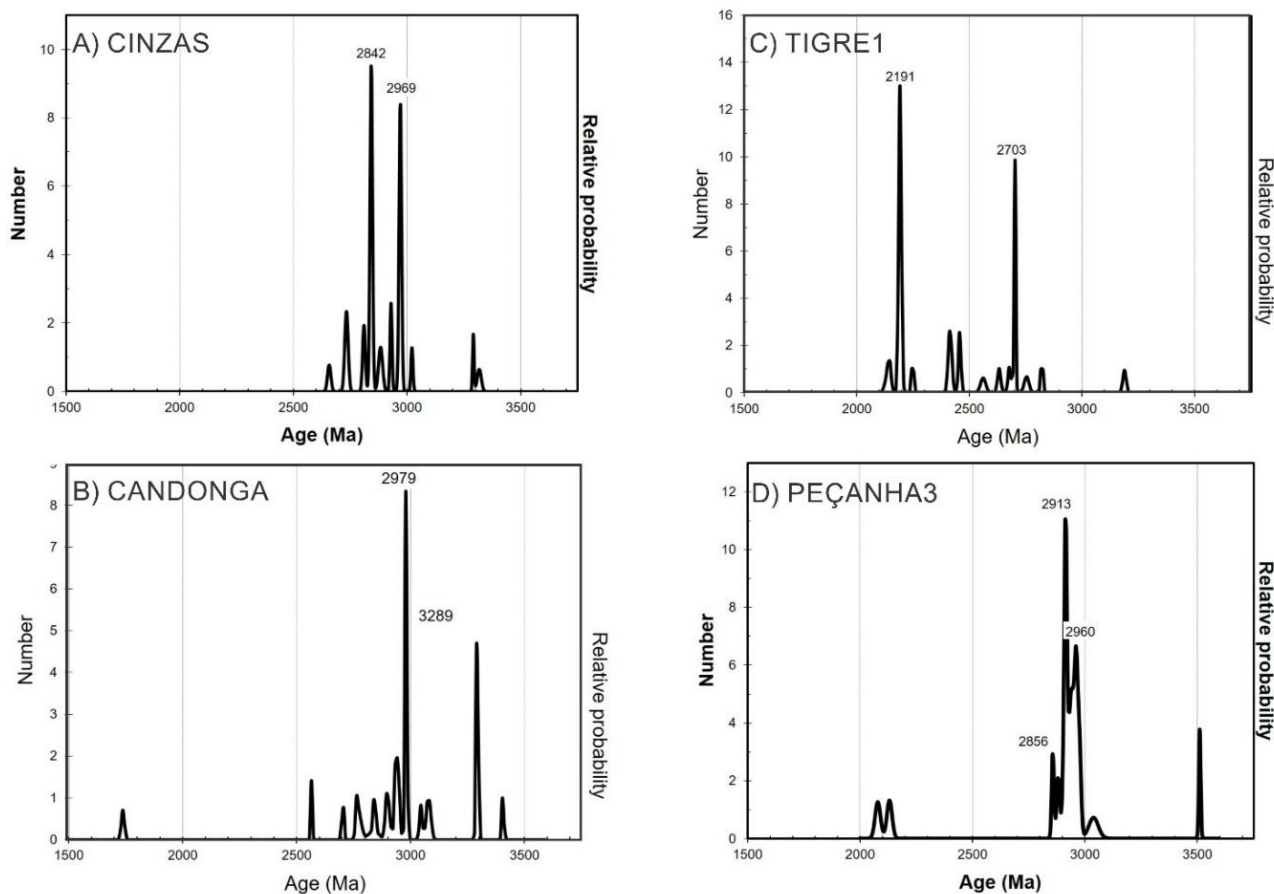


Figure 24: Probability diagrams for the ages obtained in zircon grains from the lower (A and B) and upper (C and D) quartzitic unit from the SSGu at the Guanhões region.

UPPER QUARTZITIC UNIT

The TIGRE1 sample taken from the upper quartzitic unit at the Jambreiro Quarry shows a different pattern of zircon distribution at the histogram when compared to the first two. From the 30 analyzed grains none is Paleoarchean, 7% are Mesoarchean, 29% Neoarchean, 17% Siderian and 47% Rhyacian, where the youngest delivered an age of 2135 ± 22 Ma. The main peak ages are at 2191 and 2703 Ma. Alteration halos were dated in four grains and resulted in Cambrian ages.

The other sample from the upper quartzitic unit (PEÇANHA3) also presents a distribution peak of Rhyacian age, but the majority of the grains are Archean. From an overall number of 19 detrital zircon grains, only 11% are Rhyacian, 16% are Mesoarchean and only one zircon is Paleoarchean. The main peak ages are 2856, 2913 and 2960 Ma and the younger age is 2080 ± 24 Ma.

GEOCHEMISTRY

Major and trace elements

Concentrations of major elements and selected trace elements in the Guanhões BIF from the Jambreiro quarry are displayed in Table 1 and Table 2, respectively. Chondrite and PAAS normalized rare earth elements and yttrium (REY)-diagrams are shown in Figure 25A and B.

The SiO_2 and Fe_2O_3 contents range from 8.78% to 54.55% and from 39.76% to 54.40%, respectively. The samples display relatively low contents in Al_2O_3 , TiO_2 , Zr, Nb, Sc, Cr, V and Ni.

Figure 25 shows that, with the exception of two samples (“042-028.0” and “039-040.0”), there is not any major discrepancy in the REE spectrum. The chondrite-normalized (Taylor and McLennan 1985)

REY spidergram (Figure 25A) for the Guanhões BIF indicates a pronounced LREE enrichment in relation to HREE (Pr/Yb [SN] averages 0.61) as illustrated in Figure 25. The Eu anomaly is in general slight positive with an average of 1.03 ($\text{Eu}/\text{Eu}^*(\text{CN}) = (\text{Eu}(\text{CN})/0.5\text{Sm}(\text{CN}) + 0.5\text{Gd}(\text{CN})) = 0.44-1.34$).

Normalized to the PAAS (McLennan 1989), the REY spider diagrams (Figure 25B) show the typical HREE enrichment in relation to LREE ((Pr/Yb) (SN) = 0.86 on average. The Eu anomaly is generally positive with an average of 1.59, close to the value of 1.5 proposed by Planavsky *et al.* (2010) to characterize late Proterozoic iron formations ($\text{Eu}/\text{Eu}^*(\text{SN}) = (\text{Eu}(\text{SN}) / (0.66\text{Sm}(\text{SN}) + 0.33\text{Tb}(\text{SN}))) = 0.84-1.96$).

The samples 042-028.0 and 039-040.0 show an anomalous enrichment in LREE when normalized to the PAAS and a very pronounced LREE enrichment when chondrite-normalized (red lines at Figure 25). Those samples have to be discarded because of contamination, which might be result from supergene alteration by the accumulation of LREE in clay and hydroxide particles. That is further supported by the lack of cohesion and dustiness of those samples, wich set them appart from the rest.

Table 1: Major elements of the Guanhões BIF. Samples are presented with with two decimal digits.

XRF(w.t.%)	SiO ₂	FeOt	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	with Cb
Sample											
008-046.1	45.17	54.40	0.20	<0.01	0.02	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.05	
020-134.6	47.53	49.71	1.00	0.04	0.04	0.13	0.13	0.01	0.02	0.04	
037-055.0	52.43	45.76	1.02	0.02	0.02	<0.01	0.02	<0.01	0.02	<0.01	
039-040.0	51.97	45.74	1.37	0.03	0.05	<0.01	0.01	<0.01	0.02	<0.01	
040-051.2	48.83	50.42	0.36	0.03	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
042-028.0	54.55	43.53	1.21	0.04	0.03	<0.01	0.01	<0.01	0.02	<0.01	
045-045.9	51.66	47.18	0.41	0.02	0.02	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	
045-064.7	44.15	45.37	0.69	0.06	0.21	4.51	4.13	0.06	<0.01	0.13	
051-115.2	8.78	49.93	2.01	0.41	0.32	8.60	13.42	0.02	0.16	0.12	yes
050-134.5	37.48	49.93	0.53	0.03	0.21	4.52	6.00	0.05	0.01	0.06	yes
051-123.0	32.11	39.76	0.44	0.03	0.43	9.83	13.39	0.06	<0.01	0.09	yes
020-113.3	52.92	46.05	0.44	0.5	0.07	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.05	yes
027-127.7	12.78	47.11	0.73	0.5	0.43	6.81	17.97	0.01	0.03	0.09	yes
052-133.5	53.55	43.47	0.38	0.3	0.04	0.42	1.08	<0.01	<0.01	0.12	yes
052-152.7	51.75	44.14	0.95	1.1	0.09	0.73	1.14	0.02	0.10	0.15	
050-112.5	53.34	45.71	0.35	0.5	0.03	0.02	0.16	<0.01	<0.01	0.12	
051-112.4	49.32	49.37	0.44	0.4	0.05	0.13	0.22	<0.01	0.03	0.17	

*samples that have Carbonate are marked with "yes" ender column with Cb ** strikethrough samples were discarded

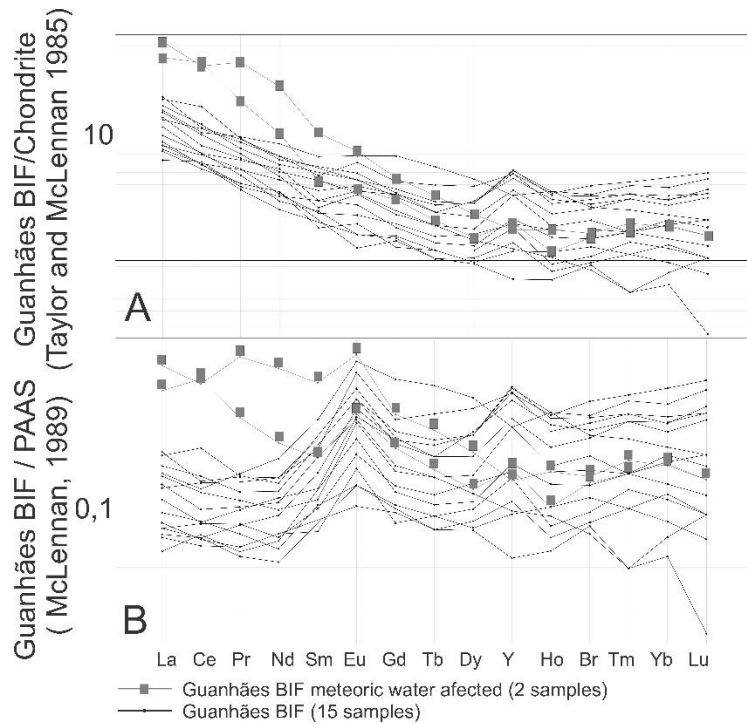


Figure 25: A): Chondrite-normalized REE spidergram for the Guanhões BIFs. B): PAAS-normalized REE spidergram for the Guanhões BIFs.

Elements correlations

The Guanhões BIF samples display positive correlation between lithophile elements Hf and Zr (Figure 26), but lack correlation between Zr and Th.

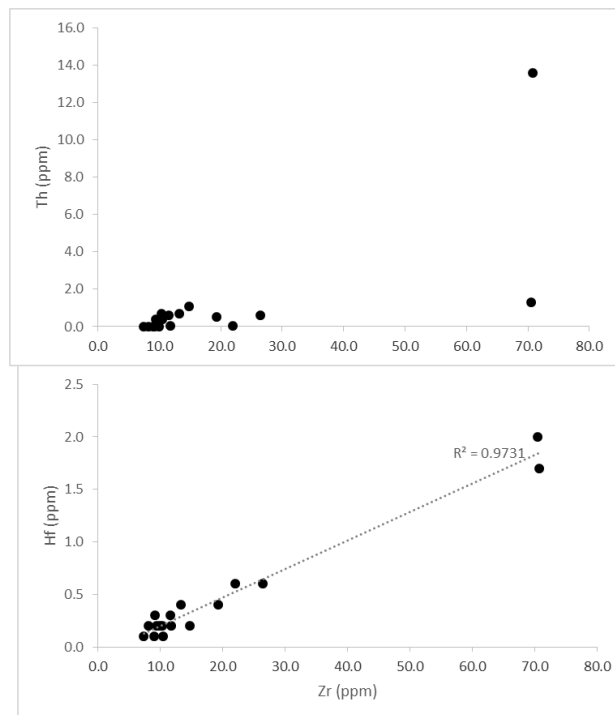


Figure 26: Binary plots of Th vs. Zr (A) and Hf vs. Zr (B). Line shows tendency and R^2 values are shown.

The samples also display a slightly negative correlation between the LREE/HREE ratio and Y/Ho (Figure 27A). The samples can be divided into two major groups according to the Y/Ho ratio. The first

Table 2: Selected trace elements of the Guanhões BIF in ppm. Samples are presented with two decimal digits.

Sample	020- 134.6	037- 055.0	039- 040.0	040- 051.2	042- 028.0	045- 045.9	045- 064.7	051- 115.2	050- 134.5	051- 123.0	020- 113.3	008- 046.1	027- 127.7	052- 133.5	052- 152.7	050- 112.5	051- 112.4
Sc	1.00	1.00	1.00	<1.00	1.00	<1.00	<1.00	4.00	<1.00	<1.00	1.00	2.00	1.00	<1.00	1.00	<1.00	<1.00
Cr2O3	0.11	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.01	0.01	<0.002	0.01	<0.002	0.01	<0.002	0.01	0.01	0.01
Rb	1.30	0.60	0.50	<0.1	0.50	<0.1	<0.1	4.30	0.30	<0.1	<0.1	0.30	1.10	0.20	2.80	0.10	0.50
Sr	2.70	10.20	4.40	4.40	6.70	2.20	11.70	86.10	14.10	34.10	0.38	0.69	0.90	0.29	1.05	0.48	0.69
Y	4.10	6.90	4.20	1.50	3.70	2.50	10.20	10.80	6.90	10.30	3.80	2.60	11.00	2.90	7.60	4.50	9.40
Zr	14.80	9.40	11.60	10.40	13.30	10.50	70.80	70.50	26.40	19.30	9.20	9.00	11.80	8.20	22.00	7.40	10.00
Hf	0.20	0.20	0.30	0.20	0.40	0.10	1.70	2.00	0.60	0.40	0.30	0.10	0.20	0.20	0.60	0.10	0.20
Pb	0.90	0.40	1.60	0.90	0.70	1.00	5.50	4.50	1.50	2.30	0.80	0.30	5.30	0.50	1.80	0.50	0.40
Th	1.10	0.40	0.60	0.70	0.70	0.40	13.60	1.30	0.60	0.50	0.02	0.01	0.04	0.01	0.03	0.01	0.02
U	2.00	1.40	0.70	0.50	0.60	0.80	1.60	2.40	2.50	3.60	1.00	0.80	4.30	3.00	1.10	1.60	2.10
La	3.00	5.70	14.90	3.60	19.90	2.70	4.80	4.20	5.50	2.80	3.00	5.00	7.30	3.20	7.00	2.30	6.20
Ce	6.60	9.90	35.40	6.80	33.50	5.10	10.60	6.70	9.50	5.60	5.60	7.80	10.80	5.50	15.90	5.80	11.50
Pr	0.73	1.31	2.52	0.65	5.09	0.56	1.19	0.86	0.96	0.72	0.50	0.89	1.26	0.56	1.28	0.53	1.06
Nd	2.40	6.00	7.20	2.10	17.10	2.50	4.80	3.80	3.30	3.10	1.80	3.60	4.80	2.50	4.50	2.30	4.10
Sm	0.55	1.54	0.99	0.57	2.37	0.42	1.09	0.69	0.61	0.83	<0.05	1.00	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Eu	0.20	0.59	0.32	0.14	0.64	0.17	0.52	0.31	0.29	0.34	0.14	0.30	0.38	0.11	0.43	0.24	0.38
Gd	0.60	2.07	0.93	0.46	1.38	0.39	1.30	1.02	0.71	1.02	0.48	0.76	1.13	0.44	1.05	0.56	0.98
Tb	0.09	0.32	0.12	0.06	0.19	0.07	0.23	0.16	0.11	0.16	0.07	0.11	0.17	0.06	0.14	0.08	0.14
Dy	0.62	1.68	0.58	0.36	0.89	0.37	1.48	1.09	0.68	1.09	0.46	0.55	1.09	0.40	0.85	0.50	1.13
Ho	0.15	0.30	0.10	0.06	0.15	0.10	0.29	0.30	0.16	0.24	0.08	0.09	0.28	0.07	0.20	0.13	0.26
Er	0.44	0.66	0.38	0.23	0.41	0.32	0.98	0.83	0.52	0.76	0.27	0.21	0.81	0.24	0.64	0.37	0.70
Tm	0.06	0.09	0.06	0.02	0.07	0.04	0.15	0.14	0.06	0.12	0.05	0.02	0.12	0.04	0.11	0.06	0.11
Yb	0.48	0.57	0.47	0.20	0.46	0.33	1.13	0.94	0.52	0.75	0.31	0.16	0.81	0.24	0.68	0.37	0.76
Lu	0.08	0.08	0.06	0.04	0.06	0.04	0.19	0.17	0.07	0.14	0.04	0.01	0.13	0.03	0.12	0.05	0.13
Y/Ho	27.33	23.00	42.00	25.00	24.67	25.00	35.17	36.00	43.13	42.92	47.50	28.89	39.29	41.43	38.00	34.62	36.15
Ce/Ce*(SN)	1.03	0.84	1.32	1.02	0.77	0.96	1.02	0.81	0.94	0.91	1.04	0.85	0.81	0.94	1.22	1.21	1.02
Pr/Pr*(SN)	1.99	2.39	1.28	1.72	2.74	1.98	0.98	0.99	1.00	1.01	0.92	0.99	1.03	0.89	0.87	0.85	0.90
Eu/Eu*(SN)	1.74	1.66		1.35		1.93	2.06	1.86	2.19	1.84	1.42	1.64	2.60	1.17	2.05	1.32	1.81

Ce/Ce*(SN)=(CeSN/(0.5(PrSN + LaSN)); Pr/Pr*(SN)=(PrSN/(0.5CeSN + 0.5NdSN)); Eu/Eu*(SN)=(Eu(SN)/(0.66Sm(SN)+0.33Tb(SN))

is comprised by five samples with Y/Ho under 30. The rest of the samples can be further divided according to the absence or presence of carbonate.

The samples with low Y/Ho do not display any correlation with Eu/Eu*(SN), while the rest display a weak negative correlation. BIFs without carbonate present slightly higher Europium anomalies (Figure 27B).

Ce-anomaly

The Ce anomaly is recognized as one of the fundamental features of lanthanide geochemistry (Taylor and McLennan 1985). Due to its redox sensitivity, Ce is a prime proxy for ocean–atmosphere evolution over geological timescales (e.g. Towe 1991; Lawrence and Kamber 2006). Due to this prominent role, it is essential to avoid artefacts in Ce anomaly calculations that might arise from the overabundance of La.

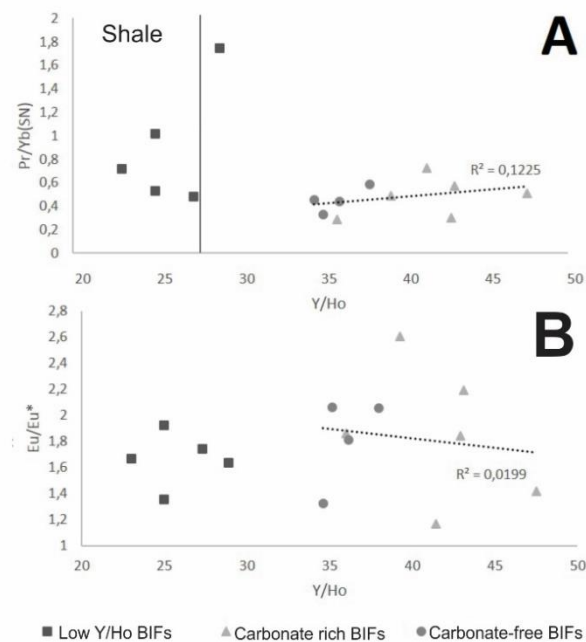


Figure 27: Binary plot of A) LREE/HREE vs. Y/Ho. B) Y vs. Y/Ho. C) Ho vs. Y/Ho. D) Eu-anomaly vs. Y/Ho. Lines show tendencies with respective R² values.

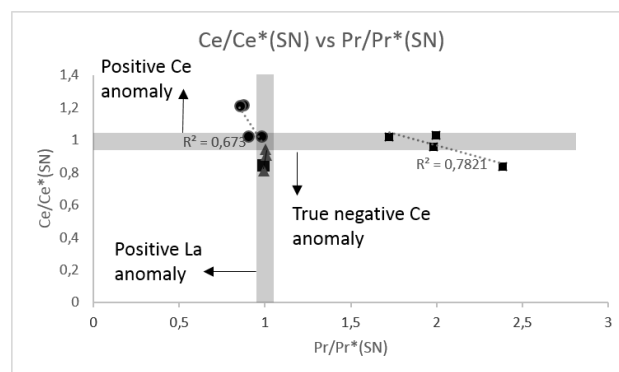


Figure 28: Plot of CeSN and PrSN anomalies. True negative Ce anomalies fall in the field defined by $Ce/Ce^*(SN) = (CeSN / (0.5(PrSN + LaSN))) > 1$ and $Pr/Pr^*(SN) = (PrSN / (0.5CeSN + 0.5NdSN)) < 1$. The approach (Bau and Dulski 1996) discriminates between positive La and true negative Ce anomalies. Samples that fall in the grey area present neither Ce nor La anomalies. After Planavsky et al. (2010).

The approach described by Bau and Dulski (1996), discriminates between positive La and true negative Ce-anomalies. Ce/Ce^* ($Ce(SN)/(0.5Pr(SN) + 0.5La(SN))$) and Pr/Pr^* ($Pr(SN)/(0.5Ce(SN) + 0.5Nd(SN))$).

The five samples with low Y/Ho ratio (squares) do not present real Ce anomaly but positive Pr anomaly ($Pr/Pr^*(SN) > 1$) falling outside the usual field of BIFs. The samples with higher Y/Ho ratio present usual BIF values where carbonate-free rocks (circles) display a light positive Ce anomaly, differently from the carbonatic samples, (triangles) (Figure 28).

DISCUSSIONS

Clastic contamination

Minor amounts of clastic material can result in elevated and correlated abundances of incompatible elements such as Th, Hf, Zr, Sc. Clastic contamination may also modify the original contents of authigenic REE and other trace elements, generating anomalous enrichments of redox-sensitive elements such as Ce and U.

The Guanhães BIF from the Jambreiro Quarry have relatively low contents of TiO_2 (average of 0.3 wt %), Hf (average of 0.5ppm) and Sc (average of 1.0ppm for 9 samples and 8 samples under the detection limit), but somewhat elevated concentration of Al_2O_3 (0.35 – 2.01wt %) and Th (average of 12.9ppm for 15 samples and 2 samples over 70ppm). Another evidence for detrital contamination is provided by the co-variation of the incompatible elements Hf vs. Zr as depicted in Figure 26.

Five of the samples from the Guanhães BIFs present strong signatures of terrigenous input, as indicated by the low values of Y/Ho (under 30) falling under the shale field of the $Pr/Y(SN)$ vs. Y/Ho plot (Figure 27A). Crustal material possesses a constant Y/Ho value of ca. 26, seawater-like ratios are >44 and thus, any contamination would depress the seawater signature and lead to negative co-variations (Pecoits 2010). These contaminated samples do not present real Ce anomaly (Figure 28) but high $Pr/Pr^*(SN)$ values. They are also clearly HREE depleted (Figure 29) and display low $Pr/Yb(SN)$ ratios (Figure 27A)

Evidences of clastic contamination, lack of negative Ce-anomaly and the close association of the BIF layers with quartzitic sequences, with the occasional occurrence of interbedded quartzite in the BIFs are strong evidence that these sediments precipitated on a shallow, saline, marine environment, with strong influence of continental input.

Hydrothermal alteration

The remainder of samples, not clastic contaminated, can be further divided into two additional groups, hornblende and carbonate-rich BIFs and BIFs without carbonate with distinct REY pattern (Figure 29).

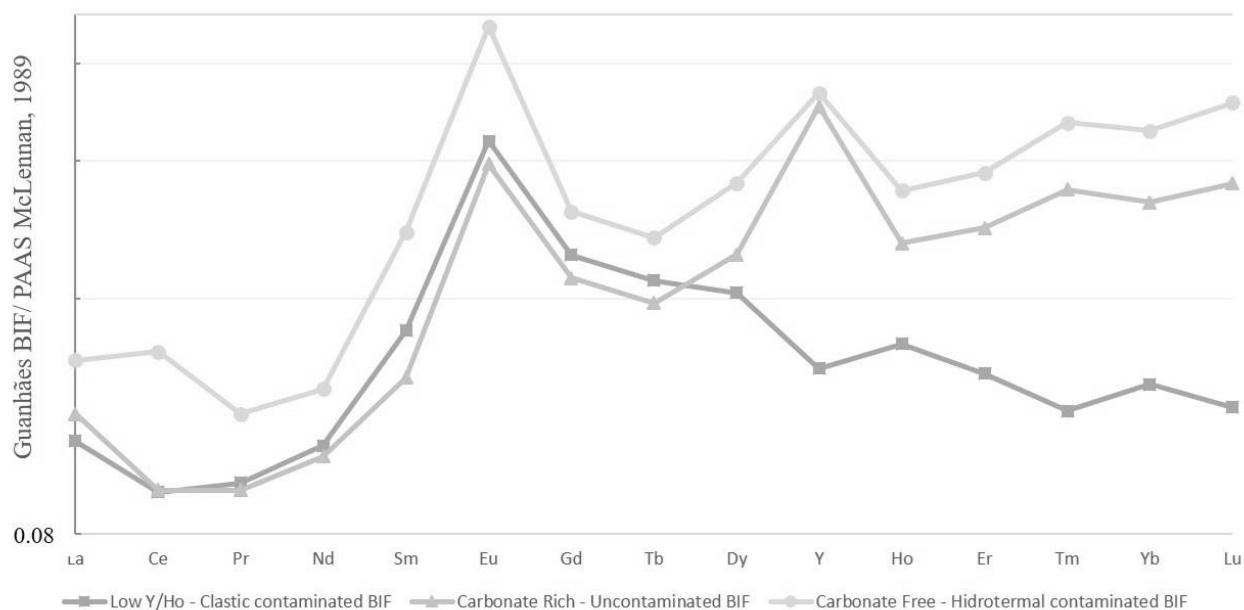


Figure 29: REY spidergram, discriminated for each group of sample (medium value) from the Guanahães BIF

The BIFs without display true positive Ce-anomaly on Figure 28 and have Y/Ho ratio close to the chondritic value of 35 (from 35 to 38). They also show higher HREE enrichment, given by the Pr/Yb (SN) ratio (Figure 27A), by the slope of the REY spidergram (Figure 29) and the overall higher Σ REE contents. These samples do not show the typical seawater La anomaly on the REY spidergram. All these evidences indicate a possible secondary hydrothermal contamination. The hydrothermal nature of the contaminating fluid is also supported by the higher positive Eu-anomalies found on those samples on Figure 27D and Figure 29.

There is evidence of hydrothermal activity in the region, such as alteration halos in zircon grains, quartz and carbonate veins and magnetitic bodies that are linked to acid granitic fluids that generated pegmatites and could have affected the chemistry of the Guanahães BIF. New generations of iron oxides ore REE-bearing minerals (e.g. crystallized from younger hydrothermal fluids would alter the REY distribution on those samples, generating, for example, a “true” positive Ce-anomaly that does not reflect the redox conditions of the deposition of the BIFs, similarly to what was reported by Silveira-Braga *et al.* (2015) for some of the Morro-Escuro BIF’s samples.

Uncontaminated BIFs

The third group of samples, carbonate-bearing BIFs, have the most seawater-like REY spidergram distribution (Figure 29) and Y/Ho values, close to 45. Those samples lack true Ce anomaly and display REY pattern very similar to the Morro-Escuro BIFs (Figure 29). That could indicate that the presence of carbonates might be a sign of uncontaminated BIF. Even though clastic components are probably present in all samples, as indicated by the correlation plot between the incompatible elements, Hf vs. Zr (Figure 26) they are negligible in the hornblende and carbonate-rich BIF samples.

The interaction of the carbonate-free BIFs with hydrothermal fluids is furtherly evidenced by the ratios Sm/Yb vs Y/Ho, that are similar to modern hydrothermal water as indicated by Figure 30. On the other hand, carbonatic BIFs present values similar of modern seawater and the clastic contaminated BIFs display very low Y/Ho ratios similar to mudstones and volcanic rocks.

The uncontaminated Guanahães BIF displays a REY distribution pattern comparable to those of the Morro Escuro and Serra da Serpentina BIFs (Figure 18), and show similar lack of Ce anomaly, positive

Y anomaly, and HREE depletion over LREE and very similar positive Eu anomaly, which indicated that those BIFs could have been formed in similar environments.

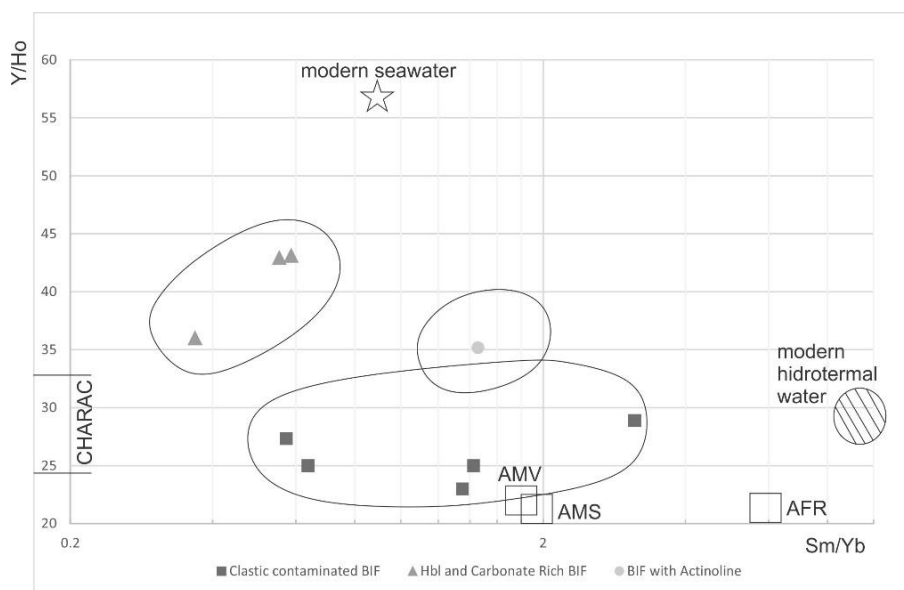


Figure 30: Diagrams plotting Sm/Yb vs. Y/Ho: (A) whole-rock geochemistry of Guanhães BIF samples. For an estimation of the mixing of fluid end-member average values for modern seawater (>100 m) (Alibo and Nozaki 1999), modern hydrothermal water from sea-floor vents (Bau and Dulski 1999), Archean mafic volcanic (AMV), Archean mudstones (AMS), and Archean felsic rocks (AFR) (Taylor and McLennan 1985) are shown.

Geochronology

SHRIMP data of detrital zircon grains of the BIF-related quartzitic units of the SSGu sequence suggest a maximum upper Rhyacian age (2080 Ma) for the supracrustal rocks. Even though further data are necessary for a robust analysis it becomes clear that the sequence is much younger than the Guanhães Complex (2867 ± 10 Ma, Silva *et al.* 2002) and the quartzites from the Lower Paleoproterozoic Minas Supergroup (2606 ± 47 Ma, Machado *et al.* 1996, in disagreement with the interpretations of Grossi-Sad *et al.* (1997)). The recurrent main age peaks obtained in the four histograms complies with the interpretations of Chemale Jr. *et al.* (2012) that suggested long periods of intense felsic activity during the Rhyacian and Archean times.

The histograms from the lower quartzitic unit are similar to those found by Rolim *et al.* (2016) for the Meloso Formation, basal to the Serra do Sapó BIF, that display a large population of Archean zircons with few younger late Paleoproterozoic grains. In the upper quartzitic unit, histograms show prevalence of Archean and Late Orosirian-Rhyacian zircon grains, similarly to the Itapanhoacanga Formation (Rolim *et al.* 2016), but unlike the Itapanhoacanga Formation, there were no zircons younger than Rhyacian. The Guanhães BIF would be correlate to the Serra do Sapó Formation, from Rolim *et al.* (2016).

The Figure 31 illustrates the correlation between the SSGu's supracrustal units with the stratigraphy proposed by Rolim *et al.* (2016) as well as the correlation between the Units found in the Serra da Serpentina and Serra de São José ridges with the stratigraphy of the central portion of the southern Espinhaço ridge proposed by these authors, after Martins-Neto (2000) and Chemale Jr. *et al.* (2012).

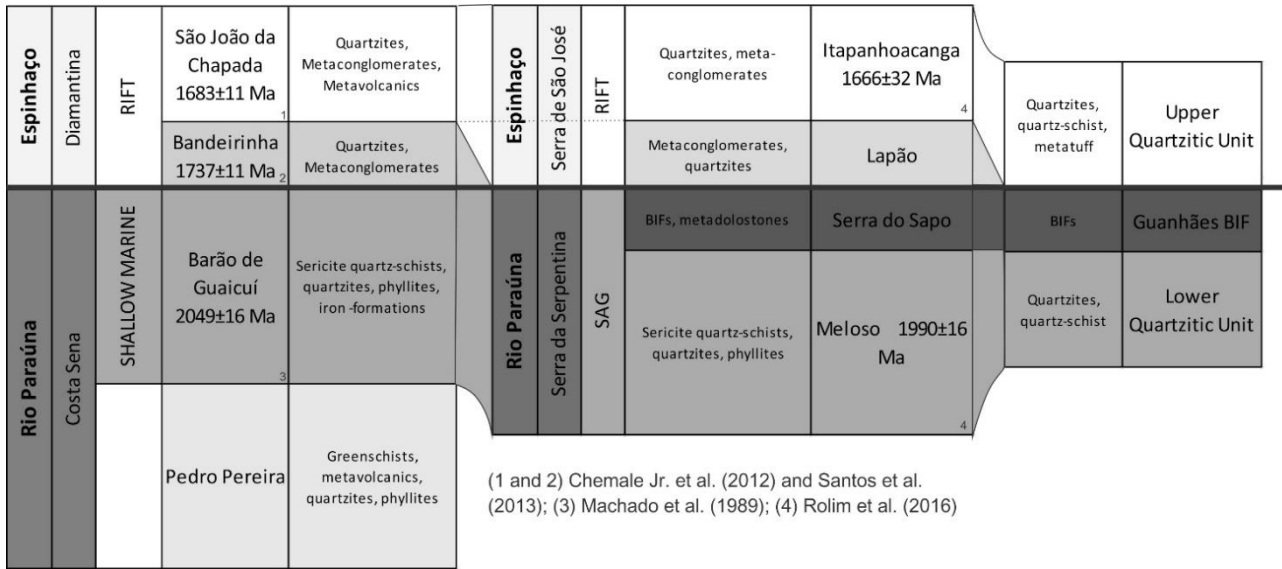


Figure 31: Stratigraphic chart of the Espinhaço Supergroup in the central portion of southern Espinhaço (modified after Martins-Neto 2000; Chemale Jr. et al. 2012) correlated to the stratigraphic chart of the Serra da Serpentina and Serra de São José Groups in the Serpentina Range (after Rolim et al. 2016) and to the lithostratigraphic stacking of the SSGuu.

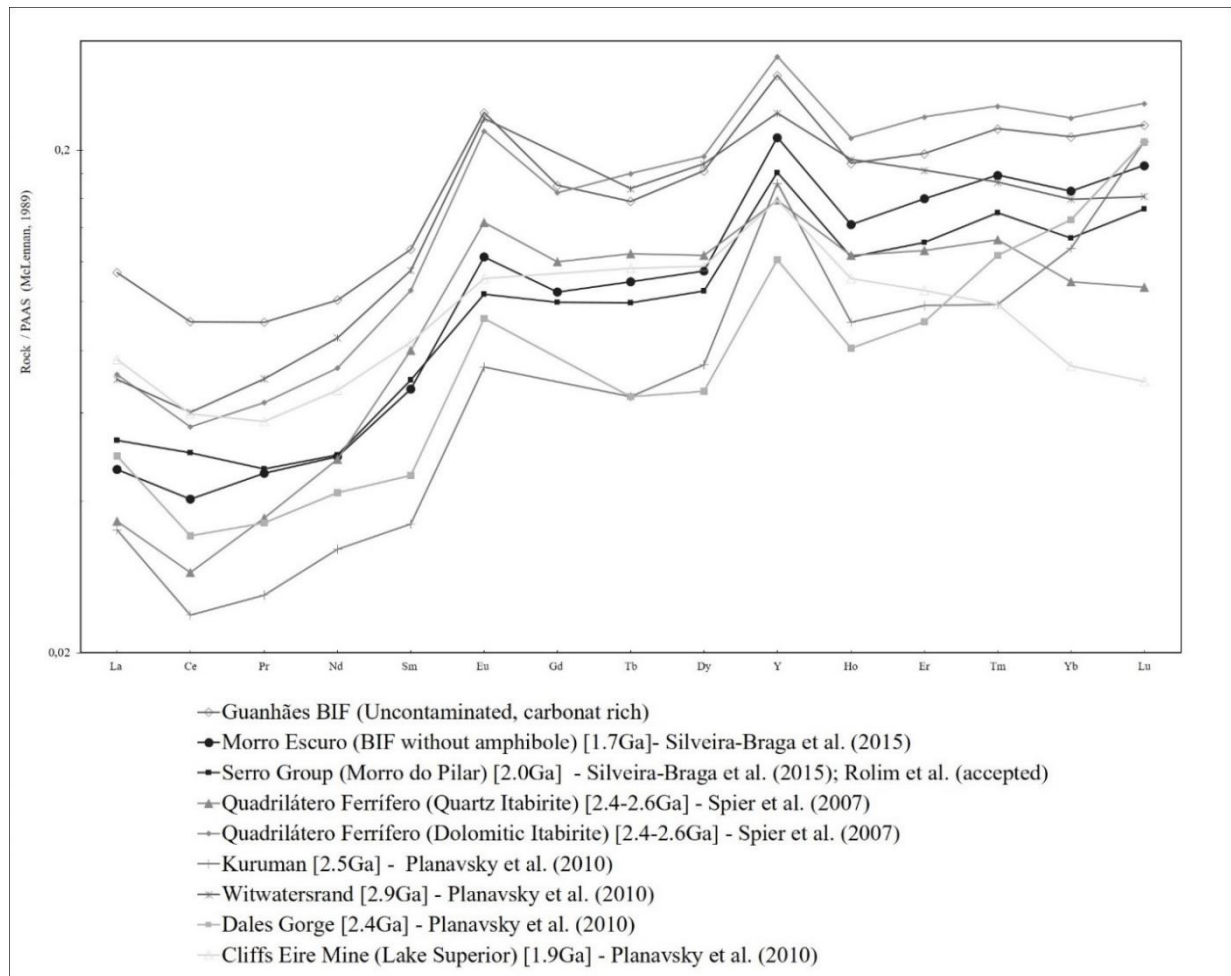


Figure 32: Comparative REY(SN) spidergram for the Guanahães BIF and other worldwide Proterozoic Iron Formations

CONCLUSIONS

Although the Guanhães BIF are present as discontinuous inlets in gneissic terranes the evidences of contamination by crustal clastic material and the stratigraphic association with siliciclastic sedimentary rocks indicate that they were deposited on a shallow marine environment and correspond to metamorphic of plataformal Lake Superior type BIFs. Seawater-like REY signatures are present on BIFs with inter-layered carbonates that broadly preserve the chemical conditions of the sedimentary environment. Chemically preserved BIF samples have REY distribution (Figure 32) similar to the Morro-Escuro and Serra da Serpentina BIFs from Morro do Pilar (Silveira-Braga *et al.* 2015; Rolim *et al.* 2016). The close association of the Guanhães BIFs with siliciclastic metassediments that display similar distributions of detritic zircon as the quartzitic units of the Meloso and Itapanhoacanga Formation (Rolim *et al.* 2016) as described by these authors also points to a possible correlation between the SSGu and the Units described at the Serra da Serpentina and Serra de São José ridges.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are thankful to the Centaurus Metals, particularly R. Fitzhardinge, G. Montresor and all the geologists and employees involved in the Jambreiro Project for providing technical support and access to information, to the CNPq and FAPEMIG for financial resources and to the CPMTC and all its employees.

REFERENCES

- Alibo, D.S., Nozaki, Y. (1999). Rare earth elements in seawater: particle association, shale normalization, and Ce oxidation. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63, 363-372.
- Bau, M., Dulski, P. (1996). Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman Iron-Formations, Transvaal Supergroup, South Africa. *Precambrian Res*, 79, 37-55.
- Chemale Jr., F., Dussin, I.A., Alkmim, F.F., Martins, M.S., Queiroga, G., Armstrong, R., Santos, M.N. (2012). Unravelling a Proterozoic basin history through detrital zircon geochronology: the case of the Espinhaço Supergroup, Minas Gerais. *Gondwana Res.*, 22 200-206.
- Dussin, T.M., Duarte, P., Dussin, I.A. (2000). Registro da tectônica Brasileira na região de Guanhães (SE, Brasil): deformação e metamorfismo das rochas de idade pós-Transamazônicas. *Geonomos*, 8 (2), 55-59.
- Fernandes, M.L.S. (2001). *O Granito Borrachudos entre Guanhães e Dolores de Guanhães (Plutonito Morro do Urubu): Gênese e Evolução*. PhD thesis. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 187.
- Fernandes, M.L.S., Fuzikawa, K., Correia Neves, J.M., Bilal, E., Leonardos, C.M.W. (2000). Fluids related to endoskarn formation process in the Guanhães área, Minas Gerais State, Brazil. *Rev. Bras. Geociênc.*, 30 (2), 327-330.
- Grossi-Sad J.H. (1997). *Geologia da Folha Guanhães*. In: Grossi-Sad J.H., Lobato L.M., Pedrosa-Soares A.C., Soares-Filho B.S. (coordenadores e editores). Projeto Espinhaço em Cd-Rom (textos, mapas e anexos). Belo Horizonte, COMIG, p. 2317-2435.
- Grossi-Sad J.H., Magalhães J.M.M., Carelos P.M. (1989). *Geologia do Distrito de Guanhães, Minas Gerais*. Relatório Interno, Belo Horizonte, DOCEGEO-GEOSOL, 252 p. In: Grossi-Sad J.H., Mourão M.A.A., Guimarães M.L.V., Knauer L.G. (1997). *Geologia da Folha Conceição do Mato Dentro*.
- Grossi-Sad J.H., Chiodi Filho C., Santos J.F., Magalhães J.M.M., Carelos P.M. (1990a). Geoquímica e origem da formação ferrífera do Grupo Guanhães, Distrito de Guanhães, MG, Brasil. In: *SBG, Cong. Bras. Geologia*, 36, Anais, 3: 1241-1253.

Grossi-Sad J.H., Chiodi Filho C., Santos J.F., Magalhães J.M.M., Carelos P.M. (1990b). Duas Suítes Graníticas da Borda Sudeste do Cráton Sanfranciscano, em Minas Gerais: Petroquímica e Potencial Metalogenético. In: *SBG, Cong. Bras. Geologia*, 36, Anais, 4: 1836-1848.

Knauer L.G. and Grossi-Sad J.H. (1997). *Geologia da Folha Serro*. In: Grossi-Sad J.H., Lobato L.M., Pedrosa-Soares A.C., Soares-Filho B.S. (editors). PROJETO ESPINHAÇO EM CD-ROM (text and maps). Belo Horizonte, COMIG - Companhia Mineradora de Minas Gerais. p. 2057-2316.

Lawrence, M.G., Kamber, B.S. (2006). The behaviour of the rare earth elements during estuarine mixing-revisited. *Mar. Chem.* 100, 147-161.

Ludwig, K.R. (2001). SQUID 1.02: a Users Manual. *Berkeley Geochronology Centre*, p. 19. Special Publication No. 2.

Ludwig, K.R. (2003). ISOPLOT 3.00 e a Geochronological Toolkit for Excel. *Berkeley Geochronology Center*, p. 67. Special Publication 4.

Machado, N., Schrank, A., Noce, C.M., Gauthier, G. (1996). Ages of detrital zircon from Archean–Paleoproterozoic sequences: implications for greenstone belt setting and evolution of a Transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. *Earth and Planetary Science Letters*, 141, 259–276.

Martins-Neto, M.A. (2000) Tectonics and sedimentation in a paleomesoproterozoic rift-sag basin (Espinhaço basin, southeastern Brazil). *Precambrian Res.*, 103, 147–173.

McLennan, S.M. (1989). Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. In: Lipin, B.R., McKay, G.A. (Eds.), *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements, Reviews in Mineralogy*, vol. 21, pp. 169-200.

Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., Silva, L.C., Alkmim, F.F. (2007). O Embasamento Arqueano e Paleoproterozoico do Orógeno Araçuai. *Geonomos*, 15 (1), 17-23.

Pecoits, E. (2010). *Ediacaran Iron Formations and Carbonates of Uruguay: Palaeoceanographic, Palaeoclimatic and Palaeobiologic Implications*. PhD thesis. University of Alberta, p. 230.

Pedrosa-Soares, A.C., Dardenne, M.A., Hasui, Y., Castro, F.D.C., Carvalho, M.V.A. (1994). *Nota Explicativa dos Mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Minerais do Estado de Minas Gerais*. Escala 1:1.000.000. Companhia Mineradora de Minas Gerais – COMIG.

Planavsky, N., Bekker, A., Rouxel, O.J., Kamber, B., Hofmann, A., Knudsen, A., Lyons, T.W. (2010). Rare earth element and yttrium compositions of Archean and Paleoproterozoic Fe formations revisited: new perspectives on the significance and mechanisms of deposition. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 74 (22), 6387-6405.

Rolim, V.K., Rosière, C.A., Santos, J.O.S., McNaughton, N.J. (2016). The Orosirian-Statherian banded iron formation-bearing sequences of the southern border of the Espinhaço range, southeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 65, 43-66.

Santos, M.N., Chemale Jr., F., Dussin, I.A., Martins, M., Assis, T.A.R., Jelinek, A.R., Guadagnin, F., Armstrong, R. (2013) Sedimentological and paleoenvironmental constraints of the Statherian and Stenian Espinhaço rif system, Brazil. *Sedimentary Geology*, 290, 47–59.

Silva, L.C., Armstrong, R., Noce, C.M., Carneiro, M.A., Pimentel, M.M., Pedrosa-Soares, A.C., Leite, C.A., Vieira, V.S., Silva, M.A., Paes, V.J.C., Cardoso Filho, J.M. 2002. Reavaliação da evolução geológica em terrenos pré-cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb SHRIMP, parte II: orógeno Araçuai, Cinturão Mineiro e Cráton São Francisco Meridional. *Rev. Bras. Geociênc.*, 32 (4), 513-528.

Silveira Braga, F.C. (2012). *A sequência portadora de formação ferrífera da Serra do Morro Escuro, Santa Maria de Itabira, Minas Gerais*. Masters dissertation. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, p. 130.

Silveira-Braga, F.C., Rosière, C.A., Queiroga, G.N., Rolim, V.K., Santos, J.O.S., McNaughton, N.J. (2015). The Statherian itabirite-bearing sequence from the Morro Escuro Ridge, Santa Maria de Itabira, Minas Gerais, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 58, 33-53.

Spier, C.A., Oliveira, S.M.B., Sial, A.N., Rios, F.J. (2007). Geochemistry and genesis of the banded iron formations of the Cauê Formation, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Res.*, 152, 170-206.

Taylor, S.R., McLennan, S.M. (1985). *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, London.

Towe K.M. (1991). Aerobic carbon cycling and cerium oxidation: significance for Archean oxygen levels and banded iron-formation deposition. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 97, pp. 1

XI. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A sequência supracrustal portadora de BIFs de Guanhões (SSGu) que se intercala a dois pacotes de quartzitos. Essas rochas foram submetidas a metamorfismo de fácies anfibolito intermediário a alto e ocorrem como inúmeras fatias tectônicas em contato com o terreno Arqueano do tipo TTG do Complexo Basal. Essas rochas são cortadas por diques máficos e granitoides intrusivos.

Devido à deformação dos pacotes metassedimentares, com evidências de falhamento, inversão estratigráfica e transposição, e os fatos de ambas camadas de quartzito de base e topo possuírem características composicionais e texturais muito semelhantes, não é possível definir um empilhamento estratigráfico às rochas supracrustais da região de Guanhões, mas trata-lo como uma sucessão litoestratigráfica.

Ambas as unidades quartzíticas caracterizam-se por pacotes de granulação média a grossa, com textura sacaroidal, definido em campo por intercalações de quartzitos puros, sericíticos, ferruginosos com grãos de magnetita e hematita ou arcóseo com níveis gnáissicos e xistosos. Localizadamente a unidade de topo apresenta-se como um pacote de quartzo-mica-xisto, com níveis quartzíticos que grada para um quartzito puro a sericítico.

O contato entre ambas as unidades quartzíticas com o pacote de BIF é gradativo. O pacote de topo possui intercalações de anfibolito granatífero, próximo ao contato com as formações ferríferas. Os níveis de anfibolito têm espessura que varia de 30 centímetros a cerca de 13 metros. A rocha apresenta coloração preta a verde quando em furos de sondagem, e cinza esbranquiçada quando alterada, em superfície. Além de anfibólios e granada, é constituída de quartzo com abundante participação de minerais como titanita, zircão e alanita. Não se assemelham aos ortoanfibolitos máficos de intrusão de dique, que cortam a sequência, exibindo diferenças em coloração e mineralógica, sobretudo a presença de quartzo e granada em abundância. O anfibolito granatífero foi interpretado como uma possível rocha metavulcanosedimentar, devido à sua composição mineralógica, rica em alumínio, sílica, titânio e zircônio, estrutura em camadas concordante com o acamamento das rochas metassedimentares, ocorrência em diversos pontos ao longo da área de estudo e o fato de que ocorre apenas associado à unidade quartzítica de topo. Essa rocha representa, portanto, uma potencial camada guia.

A mineralogia principal das formações ferríferas é constituída por quartzo, hematita com textura variada (especular, granular e tabular) e magnetita. Como minerais acessórios podem ocorrer sericita, anfibólio (actinolita e hornblenda), carbonatos, epidoto e biotita, como secundários observa-

se clorita. A granulação da rocha é em geral média a fina. A BIF de Guanhões possui diferenças texturais em seu pacote, por vezes não preservando o bandamento e apresentando-se maciça e com textura sacaroidal, semelhante aos pacotes de quartzito da SSGu, possivelmente devido ao alto grau de recristalização. Entretanto, na maioria das ocorrências, a BIF exibe relictos das características primárias/diagenéticas como meso e microbandamento (laminação).

Rochas do embasamento foram datadas em pontos onde tem-se o contato basal da SSGu com o embasamento cristalino e foram obtidas idades arqueanas entre 2850 e 3150Ma

As idades máximas de sedimentação obtidas através da datação de zircão detrítico por U-Pb SHRIMP para os quartzitos da SSGu são Riácianas, com a ocorrência de uma idade estateriana de 1737 ± 19 Ma. Os quartzitos apresentaram padrão muito variado de distribuição de populações zircões, com picos diferentes mesmo entre amostras do mesmo nível estratigráfico. Entanto, de forma geral, os quartzitos da unidade de base apresentam pico principal de idade mesoarqueana e ausência de zircões riácianos. Por sua vez, os quartzitos da unidade de topo apresentam picos de quantidade variadas de zircões riácianos e um pico principal de idade mesoarqueana. Interpreta-se que seguramente a SSGu portadora de Formação Ferrífera tem idade máxima de sedimentação riáciana, diferentemente da idade Arqueana que foi previamente proposta por Grossi-Sad *et al.* (1997). Além disso, a ocorrência de um zircão de idade estateriana indica a possibilidade de toda a sequência ser ainda mais nova e que a ausência de uma maior população de zircões detríticos mesoproterozoicos estaria ligada ao menor volume de rochas fontes de idades estaterianas.

Três corpos graníticos intrusivos em diferentes alvos mostraram ter idades Cambrianas, entre 505 e 540Ma, com alto conteúdo em K, indicado pela grande quantidade de microclina. Eles apresentam-se ora anisotrópicos, ora foliados segundo a foliação S1 das rochas metassedimentares da SSGu, o que permite interpretar uma idade cambriana para essa estrutura. Esses granitos possuem inúmeras características similares aquelas que definem os Granitos do tipo G3, de idade variando de 545 a 530 Ma, ricos em Potássio, pós a tardi-colisionais, segundo Gradim *et al.* (2014), exceto pela presença de foliação e parte dos granitoides datados nesse trabalho.

A geoquímica das formações ferríferas de Guanhões na área da Saibreira de Jambreiro (Jambreiro Quarry) dividem-se em três grupos: 1) as que possuem evidências de contaminação crustal; 2) as que possuem contaminação por fluidos hidrotermais ligados aos granitos intrusivos; e 3) as que conservam a assinatura de água do mar.

As amostras que não mostram contaminação (3) caracterizam-se por altos valores de Y/Ho, anomalia positiva de Eu, ausência de anomalia real de Ce e anomalia positiva de La, características típicas de BIFs pré-cambrianas que conservaram a assinatura das águas oceânicas. Essas BIFs não contaminadas de Guanhões possuem distribuição de ETR+Y muito semelhante às BIFs do Morro Escuro estudadas por Silveira-Braga, (2012). Entretanto, as evidências de contaminação clástica em algumas amostras das BIFS da SSGu indicam que essas foram formadas possivelmente em ambiente marinho mais raso do que as de Morro Escuro.

A contaminação por fluidos hidrotermais de origem ígnea é evidenciada por uma anomalia positiva “real” de Ce, por maior quantidade de Σ ETR, menor razão ETR Leves/ ETR Pesados e maiores valores de anomalia positiva de Eu. A fonte desses fluidos deve estar ligada às intrusões graníticas de idades cambrianas que cortam a sequência de rochas metassedimentares, por sua vez, a ocorrência anômala de anomalia positiva de Ce pode estar ligada a um enriquecimento de Ce nos granitos. Essa atividade hidrotermal também é responsável pela criação de bordas e por vezes completa recristalização dos cristais de zircão, tanto detríticos, quanto das rochas do embasamento, o que resulta em idades cambrianas de alguns zircões em rochas mais antigas.

Com base na litoestratigrafia e petrografia, interpretou-se que a SSGu corresponderia à Formação Média do Grupo Guanhões, como definido por Grossi-Sad *et al.* (1997), não tendo sido identificada a ocorrência de xistos verdes e paragneisses pertencentes às formações Inferior e Superior, respectivamente, nos pontos com ocorrência de BIF. As semelhanças químicas e geocronológicas entre a SSGu e a Sequência portadora de Formações Ferríferas do Morro Escuro descrita por Silveira-Braga (2012), interpretada por Silveira-Braga (2012) e Pagung de Carvalho (2013) como correlata da Sequência portadora de BIF da Serra da Serpentina Rolim and Rosière (2010) indica um possível correlação entre a SSGu e as Sequências de Morro Escuro e Serra da Serpentina.

Diante disso, sugere-se que a SSGu é, então, correlata ao Grupo da Serra da Serpentina (SSG), como ilustrado na Tabela 3 tal como definido por Rolim *et al.* (2016), o que é reforçado pela litoestratigrafia e pelos dados de geocronologia de zircão detrítico.

Tabela 3: Tabela de correlação litoestratigráfica entre as unidades da Serra do Espinhaço, Serra da Serpentina e Guanhães. Modificado de Rolim et al. (2016).

Espinhaço	Diamantina	RIFT	São João da Chapada 1683±11 Ma	Quartzites, Metaconglomerates, Metavolcanics	Espinhaço	Serra de São José	RIFT	Quartzites, meta- conglomerates	Itapanhoacanga 1666±32 Ma	Quartzites, quartz-schist, metatuff	Upper Quartzitic Unit
			Bandeirinha 1737±11 Ma	Quartzites, Metaconglomerates				Metaconglomerat es, quartzites	Lapão		
Rio Paraúna	Costa Sena	SHALLOW MARINE	Barão de Guaicuí 2049±16 Ma	Sericite quartz-schists, quartzites, phyllites, iron-formations	Rio Paraúna	Serra da Serpentina	SAG	BIFs, metadolostones	Serra do Sapo	BIFs	Guanhães BIF
								Sericite quartz- schists, quartzites, phyllites	Meloso 1990±16 Ma	Quartzites, quartz-schist	Lower Quartzitic Unit
			Pedro Pereira	Greenschists, metavolcanics, quartzites, phyllites							

As rochas da SSGu ocorrem em fatias tectônicas limitadas por falhas de empurrão com vergência para NE e componente oblíquo para NW-SE, marcado por *offset* entre camadas. A deformação que gerou o sistema de cavalgamento também foi responsável pelo dobramento resultante da deformação interna aos blocos tectônicos.

As camadas de rochas metassedimentares da SSGu têm o controle estrutural definido por duas fases de dobramentos, as dobras F1, geradas em uma fase de deformação D1 que gerou também uma foliação plano axial S1, observada não somente na sequência de rochas metassedimentares, mas também nos diques máficos de ortoanfibolito e eventualmente nos granitos cambrianos intrusivos. O eixo das dobras F1 coincide com a reta de máximo declive do plano axial e tem caimento de aproximadamente, 15° para SW.

Uma segunda fase de deformação D2 formou dobras abertas a fechadas F2 que redobram F1, formando um padrão regional de interferência de dobras. Não se observa geração de foliação nessa fase, o que indica que as rochas estavam em um nível crustal mais raso quando foram afetadas por D2. O plano axial das dobras F2 é coincidente com aquele de F1, entretanto o eixo dessas dobras é sub-horizontal e tem direção NW-SE, o que indica que o plano de máxima deformação foi coincidente para ambas as fases, mas que houve mudança na direção do movimento ($\delta 1$) de NW para NE.

O sistema de falhas coincide com os planos axiais de F1 e F2. Interpreta-se que o componente oblíquo deve estar ligado a D1 e o componente D2 estaria ligado ao componente de empurrão com vergência para NE.

Como S1 foi gerado em D1 e está presente em parte dos granitos intrusivos cambrianos, conclui-se que essa fase de deformação é brasileira. Como a região não foi afetada por nenhum evento deformacional pós-brasiliiano, conclui-se que D1 e D2 são duas fases de deformação de um mesmo evento de idade brasileira, ligadas à formação do Orógeno Araçuaí. Essa observação é reforçada pela coincidência dos planos de máxima deformação das duas fases.

O esforço de direção NW observado em D1 é coincidente com o que foi descrito por Alkmim *et al.* (2006) como a fase mais antiga de deformação Neoproterozoica do Orógeno Araçuaí-West Congo (AWC), caracterizada por um movimento de capa para norte em zonas de cisalhamento de mergulho baixo, preservada no intervalo crustal entre as zonas de cisalhamento regionais Dom Silvério e Abre Campo.

A fase D2 estaria ligada ao estágio tardio de colisão do Orógeno Araçuaí, caracterizado por uma vergência para SW devido a um escape lateral resultante da acomodação da deformação. Entretanto, as dobras e falhas geradas por D2 na região de Guanhães indicam movimento vergente para NE. Esse movimento de vergência em sentido ao hinterland é também observado em algumas zonas de cisalhamento, de vergência SE, na Serra do Morro Escuro descritas por Pagung de Carvalho (2013). Esse movimento reverso foi descrito anteriormente na literatura por Marquer (1990) para o maciço de São Gotardo nos Alpes Suíços centrais e interpretado como uma amplificação do movimento de retrocavalgamento caracterizada por zonas de cisalhamento de baixo mergulho (Figura 20B).

Interpreta-se, portanto, que a SSGu na região de Guanhães foi intensamente afetada pela deformação Brasileira e não funcionou passivamente como um alto estrutural, como afirmado anteriormente por Alkmim *et al.* (2006), o que modifica a estrutura do Orógeno Araçuaí na região, conforme ilustrado na Figura 20.

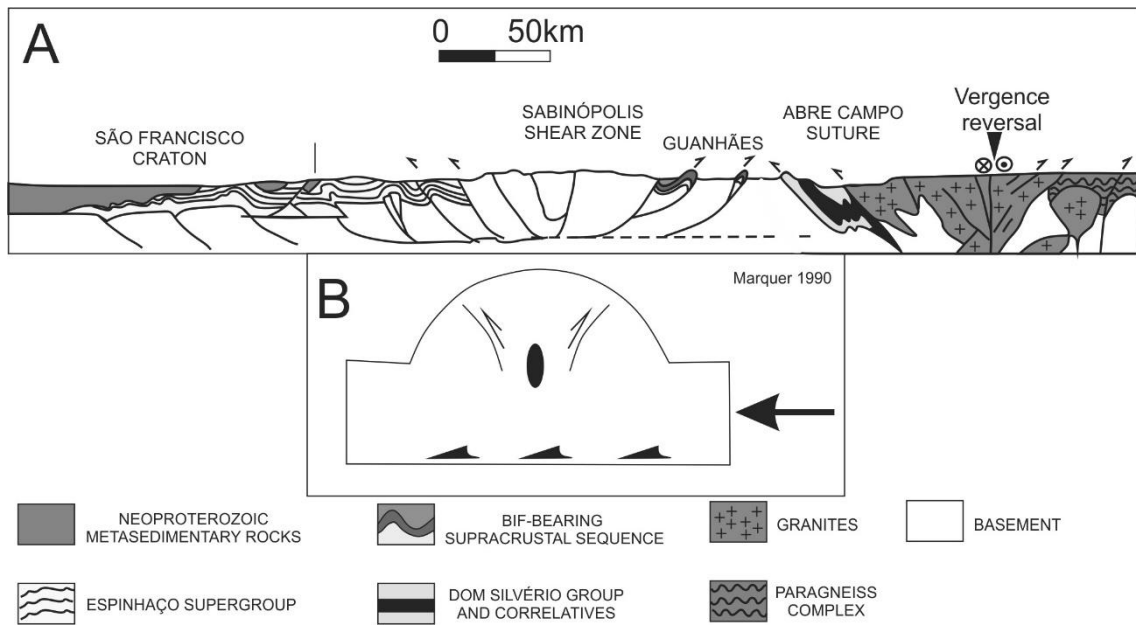


Figura 20: A) Perfil geológico esquemático do Orógeno Araçuaí, modificado de Alkmim et al. (2006)

B) Modelo cinemático de deformação proposto por Marquer (1990) para o maciço de São Gotardo nos Alpes Suíços centrais aplicados ao Orógeno Araçuaí na região próxima à Guanhães

XII. BIBLIOGRAFIA

- Alkmim F.F., Marshak S., Pedrosa-Soares A.C., Peres G.G., Cruz S.C.P., Whittington A. 2006. Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian Research*, **149**: 43-64.
- Alkmim F.F., Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Cruz S.C.P. 2007. Sobre a Evolução Tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. *Geonomos*, **15**(1): 25-43.
- Allaby M. 2008. *A Dictionary of Earth Sciences* 2nd Edition. Oxford University Press, Oxford, 654pp
- Almeida F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, **7**: 349-364.
- Bau M., Hohndorf A., Dulski P., Beukes N.J. 1997. Sources of rare-earth elements and Fe in paleoproterozoic iron-formations from the Transvaal Supergroup, South Africa: Evidence from neodymium isotopes. *Journal of Geology*, **105**: 121-129.
- Bau M. & Dulski P. 1996. Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman Iron- Formations, Transvaal Supergroup, South Africa. *Precambrian Research*, **79**: 37-55.
- Bau M., Koschinsky A., Dulski P., Hein J.R. 1996. Comparison of the partitioning behaviours of yttrium, rare earth elements, and titanium between hydrogenetic marine ferromanganese crusts and seawater. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **60**: 1709-1725.
- Bau, M. & Möller P. 1993. 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*, **57**: 2239-2249.
- Bekker A., Slack J.F., Planavsky N., Krapez B., Hofman A., Konhauser K.O., Rouxel O.J. 2010. Iron Formation: The sedimentary product of a complex interplay among mantle, tectonic oceanic, and biospheric processes. *Economic Geology*, **105**: 467-508.
- Beukes N.J. & Klein C. 1990 Geochemistry and sedimentology of a facies transition from microbanded to granular ironformation in the early Proterozoic Transvaal Supergroup, South Africa. *Precambrian Research*, **47**: 99-39.
- Cairns-Smith A.G. 1978 Precambrian solution photochemistry, inverse segregation, and banded iron formations. *Nature*, **276**, 808-809
- Clout J.M.F. & Simonson B.M. 2005. Precambrian Iron Formations and Iron Formation-Hosted Iron Ore Deposits. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*: 643-679.
- Chemale Jr F., Rosière C.A., Endo I. 1991. Evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero – Um modelo. *Pesquisas em Geociências*, **18**(2): 104-127.
- Condie K.C., O'Neill C., Aster R. 2009. Evidence and implications for a widespread magmatic shutdown for 250 My on Earth. *Earth and Planetary Science Letters*, **282**: 294-298.
- Danielson A., Moller P., Dulski P. 1992. The europium anomalies in banded iron formations and the thermal history of the oceanic crust. *Chemical Geology*, **97**: 89-100.
- Derry L.A. & Jacobsen S.B. 1990. The chemical evolution of Precambrian seawater: Evidence from REEs in banded iron formations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **54**: 2965-2977.
- Dorr, J.V.N. & Barbosa, A.L.M. 1963. Geology and ore deposits of the Itabira District, Minas Gerais, Brazil. *US Geol. Surv. Prof. Pap.*, 341-C, 110.

Dussin I.A., Dussin T.M., Charvet J., Cocherie A., Rossi P. 1993. Single-zircon dating by step-wise Pb evaporation of Middle Proterozoic Magmatism in the Espinhaço Range, Southeastern São Francisco Craton (Minas Gerais, Brazil). *In: SBG, Simp. do Cráton do São Francisco, 2, Anais, 1*: 39-42.

Dussin T.M., Duarte P., Dussin I.A. 2000. Registro da tectônica Brasileira na região de Guanhães (SE, Brasil): Deformação e metamorfismo das rochas de idade pós-Transamazônicas. *Geonomos, 8*(2): 55- 59.

Dussin I.A., Dussin T.M. 1995. Supergrupo Espinhaço: modelo de evolução geodinâmica. *Geonomos, 3*: 19– 26.

Dussin T.M. 1994. Late Proterozoic dyke swarm from the southeastern edge of the São Francisco Craton (SE Brazil): geochemistry and petrology. *In: Dussin T.M. 1994. Associações vulcano-plutônicas de l'Espinhaço Meridional (SE-Brasil), Un exemple d'évolution de la croûte protérozoïque. Tese de Doutorado, Universidade de Orléans, 177 p.*

Elderfields H. & Greaves M.J. 1982. The rare elements in seawater. *Nature, 296*: 214-219.

Evensen N.M., Hamilton P.J., O'Nions R.K. 1978. Rare-Earth abundances in chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta, 42*: 1199-1212. *In: Rollinson, H.R. 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Harlow: Longman, p.:133-150.*

Fernandes M.L.S. 2001. O Granito Borrachudos entre Guanhães e Dores de Guanhães (Plutonito Morro do Urubu): Gênese e Evolução. Tese de Doutorado, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 172 p.

Fryer, B.J. (1983) Rare earth elements in iron-formation. *In A.F. Trendall and R.C. Morris, Eds., Iron-Formation: Facts and Problems. Elsevier, Amsterdam, p. 345-358.*

Goodwin A.M. 1973. Archean Iron-Formations and Tectonic Basins of the Canadian Shield. *Economic Geology, 68*: 915-933.

Gradim C., Roncato J., Pedrosa-Soares C.P., Cordani U., Dussin I., Alkmim F.F., Queiroga G., Jacobsohn T., da Silva L.C. and Babinski M. (2014) The hot back-arc zone of the Araçuaí orogen, Eastern Brazil: from sedimentation to granite generation. *Brazilian Journal of Geology, 44 (1)*: 155-180.

Gromet L.P., Dymek R.F., Haskin L.A., Korotev R.L. 1984. The "North American shale composite": Its compilation, major and trace element characteristics. *Geochimica et Cosmochimica Acta, 48*: 2469- 2482.

Gross G.A. 1980. A classification of iron-formation based on depositional environments. *Canadian Mineralogist, 18*: 215-222.

Gross G.A. 1983. Tectonic systems and the deposition of iron-formation. *Precambrian Research, 20*: 171- 187.

Grossi-Sad J.H. 1997. Geologia da Folha Guanhães. *In: Grossi-Sad J.H., Lobato L.M., Pedrosa-Soares A.C., Soares-Filho B.S. (coordenadores e editores). Projeto Espinhaço em Cd-Rom (textos, mapas e anexos). Belo Horizonte, COMIG, p. 2317-2435.*

Grossi-Sad J.H., Magalhães J.M.M., Carelos P.M. 1989. Geologia do Distrito de Guanhães, Minas Gerais. Relatório Interno, Belo Horizonte, DOCEGEO-GEOSOL, 252 p. *In: Grossi-Sad J.H., Mourão M.A.A., Guimarães M.L.V., Knauer L.G. 1997. Geologia da Folha Conceição do Mato Dentro.*

Grossi-Sad J.H., Chiodi Filho C., Santos J.F., Magalhães J.M.M., Carelos P.M. 1990a. Geoquímica e origem da formação ferrífera do Grupo Guanhães, Distrito de Guanhães, MG, Brasil. *In: SBG, Cong. Bras. Geologia, 36, Anais, 3*: 1241-1253.

Grossi-Sad J.H., Chiodi Filho C., Santos J.F., Magalhães J.M.M., Carelos P.M. 1990b. Duas Suítes Graníticas da Borda Sudeste do Cráton Sanfranciscano, em Minas Gerais: Petroquímica e Potencial Metalogenético. *In: SBG, Cong. Bras. Geologia, 36, Anais, 4*: 1836-1848.

Holland D.H. 1973. The Oceans: A Possible Source of Iron in Iron-Formations. *Economic Geology, 68*: 1169-1172.

- Huston D.L. & Logan G.A. 2004. Barite, BIFs and bugs: evidence for the evolution of the Earth's early hydrosphere. *Earth and Planetary Science Letters*, **220**: 41-55.
- Hurley P.M.; Almeida F.F.M.; Melcher G.C.; Cordani U.G.; Rand J.R.; Kawashita K.; Vandroos P.; Pinso Jr W.H., Fairbairn H.W. 1967. Test of continental drift by comparison of radiometric ages. A pre-drift reconstruction shows matching geologic age provinces in West Africa and Northern Brazil. *Science*, **157**:495-500.
- Isley A.E & Abbott D.H. 1999. Plume-related mafic volcanism and the deposition of banded iron formation. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. **104**: 15461-15477.
- Jacobsen S.B. & Pimentel-Klose M.R. 1988. A Nd isotopic study of the Hamersley and Michipicoten banded ironformations: the source of REE and Fe in Archean oceans. *Earth and Planetary Science Letters*, **87**: 29-44.
- James, H.L. 1983. Distribution of banded iron-formation in space and time. In: Iron Formation: Facts and Problems (Eds A.F. Trendall and R.C. Morris), Elsevier, Amsterdam, p. 471–490.
- James H.L. 1954. Sedimentary facies of iron-formation. *Economic Geology*, **49**: 235-293.
- Kamber B.S., Greig A., Collerson K.D. 2005. A new estimate for the composition of weathered young upper continental crust from alluvial sediments, Queensland, Australia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **69(4)**: 1041–1058.
- Klein C. 2005. Some Precambrian banded iron-formations (BIFs) from around the world: Their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin. *American Mineralogist*, **90**: 1473- 1499.
- Klein C. & Beukes N.J. 1989. Geochemistry and sedimentology of a facies transition from limestone to ironformation deposition in the Early Proterozoic Transvaal Supergroup, South Africa. *Economic Geology*, **84**: 1733–1774.
- Klein C. & Beukes N.J. 1993. Sedimentology and Geochemistry of the Glaciogenic Late Proterozoic Rapitan Iron-Formation in Canada. *Economic Geology*, **88**: 542-565
- Klein C. & Ladeira E.A. 2004. 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*, **99**: 1233-1244.
- Klinkhammer G., Elderfield H., Hudson A. 1983. Rare earth elements in seawater near hydrothermal vents. *Nature*, **305**: 185-188.
- Kump L.R. & Seyfried Jr. W. E. 2005. Hydrothermal Fe fluxes during the Precambrian: Effect of low oceanic sulfate concentrations and low hydrostatic pressure on the composition of black smokers. *Earth and Planetary Science Letters*, **235**: 654-662
- Laberge G.L. 1966a. Altered pyroclastic rocks in iron-formation in the Hamersley Range, Western Australia. *Economic Geology*, **61**: 147-161
- Laberge G.L. 1966b. Pyroclastic rocks in South African iron-formations. *Economic Geology*, **61**: 572-581.
- Machado N., Schrank A., Abreu F.R.De, Knauer L.G., Almeida-Abreu P.A. 1989. Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço Meridional. In: SBG, Simp. Geol. MG, 5, *Anais*, **10**: 171-174.
- McLennan S.M. 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. In: B.R. Lipin & G.A. McKay G.A. (eds.) *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements*. Reviews in Mineralogy, **21**: 169-200.
- Marquer D. 1990. Structures et deformation alpine dans les granites hercyniens du massif du Gothard (Alpes centrales suisses). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, **83(1)**: 77-97.
- Nozaki Y., Zhang J., Amakawa H. 1997. The fractionation between Y and Ho in the marine environment. *Earth and Planetary Science Letters*, **148**: 329-340.

Pagung de Carvalho R. 2013. A sequência Orosiriana-Estateriana e evolução tectôno-metamórfica da borda leste do espinhaço meridional na região de Santa Maria de Itabira-MG. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 136 pp.

Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Alkmim F.F., Silva L.C., Babinski M., Cordani U., Castañeda C. 2007. Orógeno Araçuai: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos*, **15**, 1-16.

Pedrosa-Soares A.C., Dardenne M.A., Hasui Y., Castro F.D.C., Carvalho M.V.A. 1994. *Nota Explicativa dos Mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Minerais do Estado de Minas Gerais, Escala 1:1.000.000*. SEME/COMIG, Belo Horizonte, 231 pp.

Pedrosa-Soares A. C., Noce C. M., Vidal P., Monteiro R., Leonardos O. H. 1992. Toward a new tectonic model for the Late Proterozoic Araçuai (SE Brazil) - West Congolian (SW Africa) Belt. *Journal of South American Earth Sciences*, **6**: 33-47.

Pedrosa-Soares A. C., Monteiro R.L.B.P., Noce C. M., Freitas-Silv, F.H., Oliveira M.J.R., Schettino, A. 1990. Caracterização de uma seqüência vulcano-sedimentar distal na Faixa Araçuai, MG: bacia oceânica restrita? In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal. SBG, *Boletim de Resumos*: 308.

Peres G.G., Alkmim F.F., Jordt-Evangelista H. 2004. The southern Araçuai belt and the Dom Silvério Group: geologic architecture and tectonic significance. *Anais da Academia Brasileira de Ciência*, **76**(4): 771-790.

Pickard A.L. 2002. SHRIMP U-Pb zircon ages for the Palaeoproterozoic Kuruman Iron Formation, Northern Cape province, South Africa: Evidence for simultaneous BIF deposition on Kaapvaal and Pilbara cratons. *Precambrian Research*, **125**: 275-315.

Planavsky N., Bekker A., Rouxel O.J., Kamber B., Hofmann A., Knudsen A., Lyons T.W. 2010. 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*, **74**(22): 6387-6405.

Planavsky N., Rouxel O., Bekker A., Shapiro R., Fralick P., Knudsen A. 2009. Iron-oxidizing microbial ecosystems thrived in late Paleoproterozoic redox stratified oceans. *Earth and Planetary Science Letters*, **286**: 230-242.

Planavsky N., Rouxel O., Bekker A., Lyons T.W. 2008. Rare earth element evidence for redox structure evolution [abs.]: Goldschmidt 2008 Conference, Vancouver, B.C., Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **72**: Supplement 1, p. A753.

Rolim V.K. 1992. Uma interpretação das estruturas tectônicas do Supergrupo Espinhaço, baseada na geometria dos falhamentos de empurrão. *Revista Escola de Minas*, **45**(2): 75-77.

Rolim V.K., Rosière C.A., Santos J.O.S., McNaughton N.J. 2016. The Orosirian-Statherian banded iron formation-bearing sequences of the southern border of the Espinhaço range, southeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **65**: 43-66.

Rolim V.K. & Rosière C.A. 2011. The Conceição do Mato Dentro Iron Formation Province in southeastern Brazil. In: 11th Biennial SGA Meeting, Antofagasta, Chile, *Extended Abstract*, 927-929.

Rosière C. A., Spier C. A., Rios F. J., Suckau V. E. 2008. The itabirites of the Quadrilátero Ferrífero and related high-grade iron ore deposits: an overview. *Reviews in Economic Geology*, **15**: 223-254.

Siivola J. & Schmid R. 2007 A systematic nomenclature for metamorphic rocks: 12. List of mineral abbreviations. Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks. Recommendations, web version of 01.02.2007. Acesso (16/02/2016)

Silva A.M., Chemale Jr.F., Kuyumjian R.M. 1995. O ambiente tectônico dos diques máficos do Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional e suas implicações para a evolução do Cráton São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, **25**(2): 124-137.

Silva L.C., Armstrong R., Noce C.M., Carneiro M.A., Pimentel M.M., Pedrosa-Soares A.C., Leite C.A., Vieira V.S., Silva M.A., Paes V.J.C., Cardoso Filho J.M. 2002. Reavaliação da evolução geológica em terrenos pré-cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb SHRIMP, parte II: Orógeno Araçuai, Cinturão Mineiro e Cráton São Francisco Meridional. *Revista Brasileira de Geociências*, **32**(4): 513-528.

Silveira-Braga, F.C. 2012. A sequência Estateriana portadora de formação ferrífera do Grupo Serra da Serpentina na Serra do Morro Escuro, Santa Maria de Itabira, Minas Gerais, Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 121 pp.

Silveira-Braga F.C., Rosière C.A., Queiroga G.N., Rolim, V.K., Santos, J.O.S., McNaughton, N.J. 2015. The Statherian itabirite-bearing sequence from the Morro Escuro Ridge, Santa Maria de Itabira, Minas Gerais, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **58**: 33-53.

Simonson B. 2003. Origin and evolution of large Precambrian iron formations: *Geological Society of America Special Paper*, **370**: 231-244.

Taylor S.R. & McLennan S.M. 1985. *The Continental Crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford, 312 pp.

Thomson J., Carpenter M.S.N., Colley S., Wilson T.R.S. Elderfield H. and Kennedy H. 1984. Metal accumulation rates in northwest Atlantic pelagic sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **48**: 1935-1948.

Trendall A.F. and Blockley J.G. 1970. The iron formations of the Precambrian Hamersley Group, Western Australia with special reference to the associated corcidolite. *Western Australia Geological Survey Bulletin*, 119 pp.

Wiedemann-Leonardos C.M., Ludka I.P., Medeiros S.R., Mendes J.C., Moura J.C. 2000. Arquitetura de plútons zonados da Faixa Araçuai-Ribeira. *Geonomos*, **8**: 25-38.

Wilde P., Quinby-Hunt M. S., Erdtmann B.D. 1996. The whole-rock cerium anomaly: a potential indicator of eustatic sea-level changes in shales of the anoxic facies. *Sedimentary Geology*, **101**: 43-53.

XIII. ANEXOS

Anexo 1 – Tabela de Dados de ASM

Name	Field	Freq.	Km x10-6	L	F	P	Pj	T	U	K1dec	K1inc	K2dec	K2inc	K3dec	K3inc	K11	K22	K33	K12	K23	K13	Gamma
R5C1	200	F1	2,273	1.165	1.906	2.219	2.331	0.618	0.486	187.8	56.6	317.7	22.9	58	22.9	1.04373	0.79276	1.16351	-0.1949	-0.17233	-0.18412	0.784633601
R5C2	200	F1	1,728	1.209	1.817	2.196	2.273	0.518	0.366	198.2	56.7	329.4	23.4	69.6	22.3	1.09801	0.72652	1.17547	-0.11661	-0.19347	-0.15885	0.779409214
R5C3	200	F1	7,212	1.115	2.003	2.233	2.391	0.729	0.626	187.2	46.4	330.5	37.4	75.9	19.1	1.17888	0.66579	1.15533	-0.11136	-0.18031	-0.10878	0.787595237
R5C4	200	F1	7,209	1.122	2.026	2.273	2.433	0.719	0.611	192.3	55.5	333.2	28.1	73.4	18.4	1.14706	0.66882	1.18413	-0.13387	-0.18067	-0.11362	0.796230974
R5C5	200	F1	3,938	1.185	1.957	2.319	2.434	0.597	0.451	196.1	54.7	330.8	26.4	72.1	21.6	1.13174	0.69192	1.17634	-0.111923	-0.20415	-0.15035	0.805872846
R5C6	200	F1	5,953	1.176	1.983	2.332	2.457	0.617	0.476	202.9	61	336.8	21	74.4	19	1.12278	0.66593	1.21129	-0.11167	-0.19699	-0.12264	0.808542492
R10A1	200	F1	1,008,679	1.024	1.126	1.153	1.164	0.667	0.647	219.9	8.7	310.8	5.7	73.6	79.6	1.04401	1.03661	0.91937	0.01083	-0.02197	-0.00859	0.331552113
R10A2	200	F1	724,570	1.03	1.341	1.381	1.43	0.818	0.79	228.5	19.1	320.2	4.8	63.8	70.2	1.08741	1.07175	0.84084	0.00176	-0.08611	-0.04537	0.499297
R10A3	200	F1	794,088	1.01	1.234	1.246	1.282	0.913	0.904	285.1	5.1	193.3	20	28.9	69.3	1.04518	1.06731	0.88751	-0.01322	-0.03314	-0.05813	0.412207689
R10A4	200	F1	743,056	1.019	1.475	1.503	1.585	0.908	0.889	219.1	17.1	128.6	1.6	33.3	72.8	1.10212	1.11064	0.78724	-0.00497	-0.05939	-0.08928	0.560892293
R10B1	200	F1	1,140,241	1.003	1.36	1.364	1.429	0.98	0.977	214.2	8.1	121.4	18.6	326.7	69.6	1.07322	1.086	0.84079	0.01774	0.05179	-0.07965	0.489584143
R10B2	200	F1	1,347,824	1.011	1.121	1.134	1.149	0.821	0.81	200.9	15.4	107.4	12.8	339.3	69.8	1.03114	1.03304	0.93581	0.00803	0.01172	-0.03665	0.311226709
R10B3	200	F1	1,238,744	1.004	1.236	1.241	1.28	0.963	0.959	135	24.1	225.7	1.6	319.4	65.8	1.04853	1.05376	0.89771	0.01515	0.05074	-0.05897	0.408274379
R10B4	200	F1	1,252,889	1.012	1.22	1.235	1.267	0.89	0.879	136.6	28.4	46.4	0.4	315.7	61.6	1.04256	1.04307	0.91437	0.01685	0.05945	-0.06101	0.403547953
R10B6	200	F1	1,128,254	1.019	1.361	1.387	1.444	0.883	0.865	152	28.6	58.9	5.6	318.9	60.8	1.06285	1.06307	0.87408	0.0274	0.0851	-0.10048	0.502534704
R10B7	200	F1	1,307,597	1.034	1.179	1.219	1.236	0.661	0.633	147.4	31.5	244.9	11.9	353	55.8	1.01012	1.0476	0.94228	-0.00572	0.01746	-0.08623	0.391053335
R10B8	200	F1	1,365,928	1.045	1.136	1.188	1.196	0.485	0.452	125.2	41.7	222.5	8.1	321.4	47.2	0.99945	1.02061	0.97994	0.01554	0.05712	-0.06118	0.364308859
JB32	200	F1	11,412	1.382	1.213	1.676	1.685	-0.252	-0.37	267.2	44.2	93.8	45.6	0.4	3.3	0.77247	1.11851	1.10902	0.00774	-0.1783	-0.01827	0.63150111
JB33	200	F1	9,104	1.272	1.058	1.346	1.371	-0.619	-0.663	264.4	25.5	95.5	64.1	356.5	4.4	0.88371	1.1371	0.97919	0.02313	-0.09774	-0.01347	0.478904155
JB34	200	F1	11,614	1.375	1.252	1.722	1.726	-0.173	-0.302	265.7	45.2	75.3	44.3	170.4	5.2	0.76278	1.11491	1.12231	0.04411	-0.17975	0.00377	0.647690032
JB35	200	F1	5,783	1.37	1.347	1.845	1.845	-0.028	-0.179	262.5	19.2	143.9	54	3.7	29.2	0.78077	1.27574	0.94349	0.02857	-0.11655	-0.11974	0.687723803
JB36	200	F1	5,794	1.316	1.286	1.693	1.693	-0.043	-0.173	267.1	27.7	69.7	61.1	173.2	7.4	0.76098	1.20628	1.03274	0.03672	-0.12927	0.02099	0.637462899
JB11	200	F1	7,227	1.303	1.331	1.735	1.736	0.039	-0.098	101.9	2.2	10.1	38.7	194.7	51.2	0.90481	1.2609	0.83428	-0.08343	0.04158	0.11316	0.652122654
JB12	200	F1	7,068	1.445	1.216	1.757	1.772	-0.307	-0.43	282.3	5.2	188.6	35.1	19.7	54.4	0.88763	1.29867	0.8137	-0.10195	-0.06212	-0.06464	0.659678833
JB13	200	F1	6,539	1.37	1.186	1.625	1.636	-0.297	-0.405	100.7	1.3	198.2	80	10.4	9.9	0.80809	1.26244	0.92948	-0.08817	0.00338	-0.02585	0.612215374
JB14	200	F1	5,980	1.375	1.27	1.746	1.75	-0.142	-0.276	104.2	2.4	12.9	27.9	198.8	62	0.9302	1.27779	0.79201	-0.09781	0.04149	0.07552	0.656015351
JB52	200	F1	4,790	1.09	1.891	2.061	2.203	0.762	0.679	263.2	42.9	134.2	34.2	23	28.1	0.7901	1.1362	1.0737	-0.1444	-0.13844	-0.21244	0.7472593
JB53	200	F1	9,777	1.195	1.418	1.694	1.71	0.325	0.204	267.6	30.3	149.6	38.8	23.3	36.5	0.86825	1.15368	0.97807	-0.06538	-0.14533	-0.13757	0.638023017
JB54	200	F1	8,345	1.123	2.259	2.536	2.758	0.751	0.638	247.8	33.4	124.5	39.7	2.6	32.5	0.72057	1.25411	1.02533	0.01372	-0.0748	-0.3197	0.847713388
JB55	200	F1	8,234	1.084	2.415	2.617	2.908	0.832	0.749	265.8	34.3	136.8	42.6	17.2	28.2	0.70281	1.22122	1.07596	-0.14969	-0.13373	-0.28325	0.861910096
JB56	200	F1	6,410	1.097	1.896	2.08	2.22	0.747	0.66	269.1	48.3	135.2	31.7	29.2	24.1	0.80015	1.08471	1.11515	-0.19112	-0.1532	-0.17642	0.751950528
JB57	200	F1	4,310	1.035	2.079	2.152	2.376	0.91	0.874	265.8	50.3	132.8	29.5	28.2	24	0.79145	1.09398	1.11457	-0.2138	-0.12916	-0.20424	0.769205712
CD1	200	F1	474,020	1.049	1.339	1.404	1.444	0.719	0.676	305.9	64.6	52.5	7.7	146	24	0.92075	1.00843	1.07082	0.10049	-0.07304	0.09566	0.512009699
CD2	200	F1	580,004	1.073	1.248	1.339	1.357	0.516	0.462	281.5	61.4	55.5	20.8	152.9	18.8	0.89713	1.02194	1.08094	0.07194	-0.06034	0.06279	0.474781713
CD3	200	F1	450,091	1.127	1.264	1.424	1.433	0.323	0.243	262.9	67.6	58.3	20.5	151.5	8.5	0.86618	0.99883	1.13499	0.09025	-0.06058	0.02191	0.522541634
CD4	200	F1	527,856	1.138	1.191	1.356	1.357	0.149	0.074	307.7	63.2	60	10.9	155	24.2	0.90775	1.00108	1.09117	0.0378	-0.06996	0.08905	0.484711793
CD5	200	F1	605,189	1.112	1.23	1.368	1.375	0.32	0.248	237.4	46	34	41.6	134.8	11.9	0.9505	0.97265	1.07684	0.117	-0.07609	-0.0037	0.491795799
CD6	200	F1	454,221	1.136	1.065	1.21	1.214	-0.339	-0.381	350.3	69.2	258.5	0.7	168.3	20.8	0.94209	0.97396	1.08395	0.00757	-0.01142	0.06275	0.383566085
CD7	200	F1	76,830	1.196	1.083	1.296	1.304	-0.385	-0.439	289	60.3	92.8	28.7	186.6	7	0.89497	1.00206	1.10296	-0.02257	-0.07585	0.03527	0.447178451
CD9	200	F1	498,159	1.092	1.215	1.326	1.335	0.379	0.318	321.7	68.9	231.7	0	141.7	21.1	0.93918	0.97296	1.08787	0.07125	-0.05749	0.07272	0.466992686

CD10	200	F1	282,628	1.127	1.191	1.343	1.345	0.186	0.114	301.7	69.2	57.1	9.3	150.2	18.4	0.90564	0.98682	1.10754	0.05562	-0.06049	0.06457	0.47694555
CD11	200	F1	364,013	1.124	1.268	1.425	1.435	0.34	0.26	317.9	73	67.6	5.9	159.3	15.9	0.85987	1.00972	1.13041	0.06107	-0.04427	0.08017	0.522983262
MOINH01	200	F1	15,905	1.434	1.397	2.003	2.004	-0.037	-0.208	143.9	71.3	352.2	16.6	259.7	8.4	0.97185	0.71081	1.31735	-0.06707	0.11248	-0.09455	0.73237908
MOINH02	200	F1	16,887	1.585	1.365	2.164	2.174	-0.194	-0.373	176.2	71.1	349.3	18.8	80.1	2.1	0.9521	0.67024	1.37766	-0.04463	0.00184	-0.16323	0.77196383
MOINH03	200	F1	21,188	1.291	1.407	1.815	1.819	0.144	-0.003	145.3	78.8	355	9.8	264.1	5.4	1.00383	0.7198	1.27636	-0.03466	0.05869	-0.04276	0.678624078
MOINH05	200	F1	8,386	1.464	1.474	2.158	2.158	0.009	-0.181	84.5	87.2	183.1	0.4	273.2	2.8	0.95388	0.65033	1.39579	0.01698	0.03685	0.00126	0.770621683
MOINH06	200	F1	9,842	1.466	1.657	2.428	2.435	0.138	-0.08	228.1	85.9	20	3.6	110.2	1.9	0.93248	0.63765	1.42987	0.12636	-0.03601	-0.01703	0.827690313
MOINH07	200	F1	22,883	1.093	1.639	1.791	1.874	0.696	0.617	113.6	70.7	282.4	18.9	13.6	3.5	0.70431	1.09572	1.19997	-0.1024	0.02312	-0.0384	0.670850009
MOINH08	200	F1	26,661	1.125	1.607	1.808	1.872	0.603	0.504	104.9	68.6	279	21.3	9.8	2	0.69311	1.09715	1.20975	-0.07349	0.04225	-0.026	0.676176719
MOINH09	200	F1	32,569	1.167	1.522	1.776	1.812	0.462	0.345	302.9	83.4	103.9	6.2	194.1	2.1	0.72081	1.04227	1.23692	-0.08715	-0.01363	0.02399	0.66595193
MOINH010	200	F1	33,444	1.18	1.416	1.671	1.689	0.354	0.239	273.7	78.4	94.6	11.6	4.6	0.2	0.736	1.04482	1.21918	-0.02478	-0.03697	0.00135	0.629583079
FSA1	200	F1	22,109	1.105	2.264	2.501	2.734	0.783	0.684	359.8	76.1	110.2	5	201.4	13	0.64388	1.09501	1.26111	-0.21212	0.0524	0.16288	0.841349388
FSA2	200	F1	18,765	1.19	1.831	2.179	2.265	0.553	0.41	322.9	64.9	116.2	22.7	210.5	10.1	0.76243	0.98562	1.25196	-0.22906	-0.00448	0.13803	0.775452577
FSA3	200	F1	17,055	1.173	1.802	2.113	2.199	0.574	0.441	304.2	67.7	90.9	18.9	184.8	11.4	0.64128	1.11525	1.24347	-0.05201	-0.04712	0.1315	0.760089057
FSA4	200	F1	29,434	1.099	1.971	2.166	2.323	0.756	0.665	328.1	70.2	115.4	16.8	208.5	10.1	0.7361	1.02938	1.23452	-0.23637	0.02746	0.11658	0.77249539
FSA5	200	F1	18,711	1.165	1.545	1.8	1.84	0.48	0.362	319	63.5	109.7	23.5	204.8	11.6	0.78911	1.0183	1.19259	-0.15487	-0.0153	0.1201	0.673648055
FSA6	200	F1	19,197	1.163	1.729	2.011	2.085	0.568	0.442	306.9	61.7	119.5	28.1	211.2	3.1	0.77208	0.99672	1.23119	-0.22299	-0.04666	0.06604	0.734415431
K1	200	F1	6,872	1.252	4.218	5.281	6.085	0.73	0.503	70.3	10	179.2	61.6	335.3	26.3	0.62841	1.33727	1.03432	0.37432	0.2011	-0.31403	1.1335008
K2	200	F1	8,291	1.394	4.519	6.298	7.11	0.639	0.329	82.5	17.2	212.1	64.2	346.5	18.7	0.39663	1.50891	1.09446	0.23511	0.18957	-0.24759	1.192013338
K3	200	F1	7,802	1.426	3.868	5.514	6.061	0.585	0.271	245.7	10.1	125.6	70.5	338.7	16.5	0.5338	1.40074	1.06546	0.43016	0.00708	-0.244	1.148166752
K4	200	F1	11,536	1.196	3.636	4.348	4.972	0.757	0.575	67.4	4	165.7	64.2	335.4	25.5	0.65556	1.2917	1.05274	0.35533	0.15727	-0.30433	1.065267662
K5	200	F1	8,781	1.236	4.012	4.958	5.694	0.736	0.522	239.3	40.1	99.4	42.2	348.6	21.4	0.49546	1.29974	1.2048	0.22501	-0.05987	-0.3734	1.11182969
K6	200	F1	10,206	1.294	3.142	4.065	4.451	0.633	0.398	59.3	10	171.2	64.6	324.9	23.1	0.78971	1.17165	1.03864	0.45531	0.21187	-0.20144	1.040598549
K7	200	F1	11,820	1.282	2.952	3.786	4.119	0.627	0.402	227.8	37.2	87.2	45.5	334.5	20.8	0.69821	1.13436	1.16742	0.35911	-0.00708	-0.33117	1.013765254
K7	200	F1	13,619	1.237	3.332	4.123	4.607	0.699	0.494	349.8	29.2	155	60	256.2	6.4	1.34282	0.41844	1.23874	-0.227	0.06751	0.13928	1.045748229
K7	200	F1	15,589	1.193	3.31	3.947	4.456	0.743	0.567	223.7	37.4	84.4	44.8	331.3	21.6	0.72035	1.10502	1.17463	0.37881	0.06045	-0.3323	1.029664698
EG1	200	F1	53,821	1.026	1.024	1.051	1.051	-0.039	-0.051	304.6	66.7	80.6	17.2	175.4	15.2	0.97859	1.00178	1.01963	-0.00017	-0.00831	0.01138	0.195618753
EG2	200	F1	50,726	1.02	1.032	1.053	1.053	0.221	0.209	299.8	41.4	139.3	46.9	38.6	9.8	0.98795	1.00045	1.0116	-0.01971	-0.01205	0.00093	0.199350591
EG3	200	F1	48,729	1.03	1.018	1.049	1.049	-0.243	-0.254	332.4	56.8	216.7	15.9	117.9	28.3	0.99998	0.98707	1.01294	0.00203	-0.01292	0.01563	0.191741703
EG4	200	F1	32,394	1.008	1.039	1.048	1.051	0.645	0.638	30.8	24.2	289.3	23.8	160.5	54.9	1.00386	1.01037	0.98576	0.00708	-0.00439	0.0197	0.189589879
EG5	200	F1	24,627	1.01	1.019	1.029	1.029	0.307	0.301	308.4	73.2	188	8.7	95.7	14.3	1.00296	0.98633	1.01071	0.00131	-0.00649	0.00213	0.148805414
EG6	200	F1	59,628	1.029	1.009	1.038	1.04	-0.544	-0.551	348.1	58.6	113.7	19.6	212.6	23.5	0.99566	0.99139	1.01295	-0.00481	-0.00101	0.01525	0.169977501
EG7	200	F1	79,678	1.038	1.035	1.075	1.075	-0.049	-0.067	11.9	45.5	235.7	35.3	127.9	23.3	1.00577	0.98156	1.01267	0.01752	-0.00567	0.02627	0.235789299
EG8	200	F1	64,599	1.037	1.078	1.118	1.12	0.349	0.324	342.4	48.6	209.1	31.1	103.3	24.3	1.02363	0.9558	1.02057	0.00887	-0.0324	0.02401	0.293392904
CD9	200	F1	19,743	1.039	1.051	1.092	1.092	0.131	0.109	63.3	16.1	274.7	71.3	156	9.2	0.97099	1.02408	1.00494	0.03198	0.00615	0.02401	0.293392904
EG10	200	F1	230,836	1.046	1.104	1.155	1.159	0.376	0.345	188.7	19.1	312.7	58.2	89.6	24.4	1.0571	0.93787	1.00503	0.00573	-0.03825	0.01165	0.260667352
EG11	200	F1	82,789	1.025	1.068	1.095	1.098	0.446	0.427	358.9	20.2	176.1	69.8	268.5	0.9	1.03553	0.94856	1.01592	-0.00208	0.00086	0.0084	0.264506647
EG12	200	F1	22,600	1.017	1.073	1.092	1.097	0.605	0.591	191	9.7	37.5	79.1	281.8	4.7	1.03082	0.95205	1.01713	0.01699	0.00501	-0.00407	0.260159461
EG13	200	F1	122,204	1.064	1.069	1.138	1.138	0.039	0.007	184.7	11.5	285.4	42.7	82.9	45.1	1.06098	0.96876	0.97026	0.00102	-0.03326	-0.01647	0.315611006
EG14	200	F1	66,872	1.043	1.089	1.136	1.139	0.336	0.307	175.9	4	278.2	72.1	84.6	17.5	1.05579	0.93848	1.00573	-0.01013	-0.02341	-0.00523	0.31367431
EG15	200	F1	85,979	1.021	1.097	1.12	1.128	0.629	0.611	199.6	16.5	11.9	73.3	108.9	2.1	1.03107	0.94447	1.02445	0.03396	-0.00513	-0.00452	0.295823359
R96	200	F1	5,405	1.261	1.898	2.393	2.47	0.469	0.289	333.4	27.8	210.8	45.7	82.2	31.4	1.24505	0.75572	0.99923	-0.13779	-0.27602	0.07291	0.820814768
R97	200	F1	12,768	1.121	1.612	1.807	1.874	0.614	0.517	208.1	59.5	353.7	25.9	91.1	14.9	1.12075	0.71411	1.16514	0.0219	-0.13068	-0.04893	0.67588875
R91	200	F1	8,308	1.213	1.749	2.122	2.184	0.486	0.335	349	0.2	258.6	58.1	79.1	31.9	1.28655	0.76484	0.94861	-0.10481	-0.20328	-0.03816	0.762100017

R92	200	F1	15,462	1.016	1.751	1.78	1.928	0.943	0.926	177.5	14.7	293.5	59	79.9	26.6	1.16505	0.77397	1.06098	-0.06934	-0.19584	-0.03956	0.667066451
R93	200	F1	9,651	1.243	1.812	2.252	2.318	0.465	0.297	174.8	10.1	278.7	53.4	77.6	34.7	1.30904	0.76569	0.92527	-0.09094	-0.21595	-0.09321	0.791733798
R94	200	F1	81,563	1.412	1.414	1.996	1.996	0.002	-0.169	289.9	59.6	175.9	13.4	79	26.7	0.9652	0.83499	1.19981	-0.07464	-0.27346	0.03716	0.730567294
R95	200	F1	7,130	1.34	1.533	2.054	2.063	0.188	0.012	173.5	10.1	276.6	51.8	75.9	36.4	1.31529	0.79428	0.89043	-0.09045	-0.15492	-0.09886	0.745503494
R21	200	F1	6,600	1.123	2.637	2.96	3.293	0.787	0.67	257.3	30.2	3.7	25.9	126.6	48.2	1.08677	1.09048	0.82274	0.18196	-0.35923	0.20647	0.91543874
R22	200	F1	7,672	1.068	2.547	2.721	3.064	0.868	0.798	271.8	34	13.8	17.1	126	50.8	1.11675	1.08283	0.80042	0.13889	-0.33179	0.2146	0.879054411
R23	200	F1	6,077	1.104	2.526	2.789	3.1	0.806	0.705	245.5	19.3	356	44.9	139.1	38.8	0.96726	1.10387	0.92887	0.25981	-0.2672	0.25149	0.889869371
R24	200	F1	6,266	1.12	2.485	2.783	3.072	0.779	0.666	254.4	28.2	359.1	25.3	124	50.5	1.1075	1.09412	0.79837	0.16209	-0.34658	0.17898	0.888973251
R25	200	F1	7,527	1.125	2.511	2.826	3.119	0.773	0.655	268.5	31.8	9.4	16.9	123.2	53	1.11121	1.11426	0.77453	0.12166	-0.35474	0.1865	0.895505515
R26	200	F1	9,506	1.133	2.153	2.44	2.628	0.719	0.601	338.1	42.8	242.2	6.4	145.4	46.5	1.0273	1.07163	0.90107	0.10862	-0.20408	0.32544	0.829813241
R27	200	F1	10,066	1.1	2.512	2.763	3.073	0.812	0.715	270.8	33.5	14.1	19.3	128.8	50	1.08359	1.10311	0.8133	0.14473	-0.33263	0.22374	0.885835804
R28	200	F1	4,288	1.111	2.447	2.72	3.003	0.789	0.683	260.6	25.7	3.1	24.3	130.3	53.3	1.08826	1.1493	0.76244	0.14129	-0.30827	0.20966	0.878846179

ANEXO2: Tabela de dados geocronológicos obtidos por SHRIMP

TIGRE 1

Spot Name	% comm 206	ppm U	ppm Th	232Th /238U	ppm Rad 206Pb	204corr /238U Age err	204corr /206Pb 1σ	to zero	204corr /206Pb 1σ	204corr /206Pb Age err	% Dis-cordant	4corr /208Tl % /232 err	238/206Tl % err	207Tl /206Tl % err	207Tl % /235 err	207Tl % /238 err	204 corrected						
																	err	% err					
I323F.1-1	0.13	145.08	83.35	0.59	53.95	2316.26	31.44	2459.27	14.14	2457.00	11.00	5.82	0.12	2.15	2.31	1.62	0.16	0.84	9.56	1.82	0.43	1.62	0.89
I323F.1-2	0.00	57.51	36.75	0.66	19.41	2135.85	35.94	2180.66	23.08	2192.00	12.00	2.06	0.11	2.68	2.55	1.98	0.14	1.33	7.38	2.38	0.39	1.98	0.83
I323F.1-3	0.05	154.33	63.26	0.42	64.28	2547.06	34.14	2682.49	11.66	2702.00	7.00	5.05	0.13	2.29	2.06	1.62	0.18	0.70	12.24	1.77	0.48	1.62	0.92
I323F.1-4	0.07	141.96	102.54	0.75	48.07	2140.75	29.98	2184.15	15.45	2192.00	12.00	1.99	0.11	2.06	2.54	1.65	0.14	0.89	7.42	1.87	0.39	1.65	0.88
I323F.1-5	0.00	92.02	43.87	0.49	36.30	2435.69	37.71	2609.25	14.47	2632.00	14.00	6.65	0.12	2.35	2.18	1.86	0.18	0.87	11.10	2.05	0.46	1.86	0.91
I323F.1-6	0.00	359.33	2.80	0.01	25.01	502.10	5.70	497.85	49.01	502.00	5.00	-0.85	0.02	15.13	12.35	1.18	0.06	2.22	0.64	2.52	0.08	1.18	0.47
I323.F.2-1	0.06	224.76	146.07	0.67	71.24	2023.37	26.63	2178.04	11.38	2192.00	12.00	7.10	0.10	1.78	2.71	1.53	0.14	0.65	6.92	1.67	0.37	1.53	0.92
I323F.2-2	0.01	123.78	60.23	0.50	50.19	2491.75	20.67	2688.29	10.02	2702.00	7.00	7.31	0.13	1.52	2.12	1.00	0.18	0.61	11.96	1.17	0.47	1.00	0.86
I323F.2-3	0.04	119.29	59.86	0.52	62.16	3055.05	27.48	3178.39	14.54	3189.00	15.00	3.88	0.15	2.07	1.65	1.13	0.25	0.92	20.81	1.46	0.61	1.13	0.78
I313F.2-4	0.15	23.23	9.00	0.40	8.06	2184.03	36.44	2179.39	36.11	2192.00	12.00	-0.21	0.12	5.73	2.48	1.97	0.14	2.07	7.57	2.86	0.40	1.97	0.69
I323F.3-1	-0.12	211.73	93.92	0.46	82.06	2402.67	35.61	2675.05	11.19	2702.00	7.00	10.18	0.13	2.31	2.21	1.78	0.18	0.68	11.36	1.90	0.45	1.78	0.93
I323F.3-2	0.03	221.50	121.03	0.56	67.66	1960.55	25.86	2166.97	13.49	2192.00	12.00	9.53	0.10	2.01	2.81	1.53	0.14	0.77	6.63	1.71	0.36	1.53	0.89
I323F.3-3	0.26	152.24	58.53	0.40	64.86	2590.47	36.32	2564.06	23.32	2561.00	23.00	-1.03	0.17	2.63	2.02	1.70	0.17	1.39	11.64	2.20	0.49	1.70	0.77
I323F.3-4	0.00	152.24	58.53	0.40	43.39	1846.73	17.23	2587.20	21.48	2702.00	7.00	28.62	0.12	1.52	3.01	1.07	0.17	1.29	7.91	1.68	0.33	1.07	0.64
I323F.3-5B	0.02	63.71	57.23	0.93	25.72	2483.17	25.76	2733.95	21.02	2754.00	21.00	8.84	0.13	1.69	2.13	1.25	0.19	1.28	12.17	1.79	0.47	1.25	0.70
I323F.3-6	0.19	96.53	79.89	0.86	28.47	1899.22	20.04	2125.35	18.28	2192.00	12.00	10.64	0.11	1.73	2.92	1.22	0.13	1.04	6.24	1.60	0.34	1.22	0.76
I323F.3-7	-0.01	109.49	67.39	0.64	37.19	2148.19	34.06	2187.60	13.33	2192.00	12.00	1.80	0.11	2.16	2.53	1.86	0.14	0.77	7.46	2.02	0.40	1.86	0.92
I323F.3-8	0.02	203.89	65.99	0.33	57.18	1820.77	15.66	2172.55	11.01	2248.00	11.00	16.19	0.10	1.55	3.06	0.99	0.14	0.63	6.10	1.17	0.33	0.99	0.84
I323F.4-1	0.04	646.17	7.19	0.01	46.08	513.79	3.42	523.39	23.54	514.00	4.00	1.83	0.03	19.03	12.05	0.69	0.06	1.07	0.66	1.28	0.08	0.69	0.54
I323F.4-2	0.28	180.45	63.49	0.36	40.00	1475.48	26.94	2010.89	14.58	2192.00	12.00	26.63	0.08	2.46	3.89	2.04	0.12	0.82	4.39	2.20	0.26	2.04	0.93
I323F.4-3	0.04	420.36	2.13	0.01	30.02	514.59	3.85	516.85	26.68	515.00	4.00	0.44	0.04	18.45	12.03	0.78	0.06	1.22	0.66	1.44	0.08	0.78	0.54
I323F.4-4	0.00	57.37	16.29	0.29	22.39	2414.33	46.48	2453.31	17.43	2457.00	11.00	1.59	0.13	3.11	2.20	2.31	0.16	1.03	10.01	2.53	0.45	2.31	0.91
I323F.4-5	0.03	146.49	71.15	0.50	65.94	2715.25	36.43	2698.77	11.75	2702.00	7.00	-0.61	0.15	2.12	1.91	1.64	0.19	0.71	13.37	1.79	0.52	1.64	0.92
I323.4-6	0.00	468.16	3.36	0.01	32.76	504.77	4.99	531.70	43.43	505.00	5.00	5.06	0.03	12.85	12.28	1.03	0.06	1.98	0.65	2.23	0.08	1.03	0.46
I323F.4-7	0.00	135.98	72.40	0.55	42.99	2019.97	30.43	2171.87	16.65	2192.00	12.00	6.99	0.10	2.24	2.72	1.75	0.14	0.96	6.88	2.00	0.37	1.75	0.88
I323F.4-8	0.06	117.90	58.12	0.51	37.74	2040.70	28.83	2371.63	14.37	2414.00	16.00	13.95	0.10	2.26	2.69	1.65	0.15	0.84	7.82	1.85	0.37	1.65	0.89
I323F.4-9	0.00	204.18	212.99	1.08	93.38	2751.21	34.76	2815.20	9.06	2822.00	9.00	2.27	0.14	1.71	1.88	1.55	0.20	0.55	14.58	1.65	0.53	1.55	0.94
I323F.4-10	0.00	162.37	65.33	0.42	59.75	2298.31	31.06	2631.67	12.10	2678.00	13.00	12.67	0.12	2.08	2.33	1.61	0.18	0.73	10.50	1.76	0.43	1.61	0.91
I323F.4-11	0.46	157.29	35.04	0.23	35.52	1498.46	14.71	2050.72	23.34	2192.00	12.00	26.93	0.08	5.67	3.82	1.10	0.13	1.32	4.57	1.72	0.26	1.10	0.64
I323F.5-1	0.00	113.62	88.27	0.80	43.72	2385.86	34.26	2407.36	17.80	2414.00	16.00	0.89	0.13	2.08	2.23	1.72	0.16	1.05	9.60	2.01	0.45	1.72	0.85
I323F.5-2	0.00	62.29	23.55	0.39	23.45	2342.79	37.26	2412.78	19.05	2414.00	16.00	2.90	0.13	2.74	2.28	1.90	0.16	1.12	9.43	2.20	0.44	1.90	0.86
I323F.6-1	0.06	265.08	130.82	0.51	75.32	1840.76	31.96	2129.61	10.66	2192.00	12.00	13.56	0.10	2.21	3.03	2.00	0.13	0.61	6.03	2.09	0.33	2.00	0.96
I323F.6-2	0.22	92.52	60.33	0.67	31.03	2120.83	18.03	2133.12	21.65	2135.00	22.00	0.58	0.08	2.65	2.57	1.00	0.13	1.24	7.12	1.59	0.39	1.00	0.63
I323F.7-1	-0.01	181.17	135.98	0.78	61.08	2134.43	15.43	2143.59	13.56	2145.00	14.00	0.43	0.11	1.41	2.55	0.85	0.13	0.78	7.22	1.15	0.39	0.85	0.74

CANDONGA

Spot Name	% comm 206	ppm U	ppm Th	232Th /238U	ppm Rad 206Pb	204corr /238U Age err	to zero	204corr /206Pb 1σ	to 500 Ma	204corr /206Pb 1σ	% Dis-cordant	4corr /232 208T err	238 /206f err	207T /206f err	207T /235 err	206T /238 err	err corr	204 corrected							
																		207T /206f err	206T /238 err						
I323G.1-1	0.00	149.89	82.12	0.57	72.04	2864.39	38.61	2842.82	11.41	2841.00	11.00	-0.76	2.05	1.79	2.07	1.81	1.67	0.20	0.70	15.59	1.81	0.56	1.67	0.92	
I323G.1-2	0.19	40.61	14.88	0.38	22.73	3228.96	55.36	3300.41	21.97	3292.00	9.00	2.17	5.54	1.54	2.18	2.40	2.59	2.18	1.40	24.12	2.59	0.65	2.18	0.84	
I323G.1-3	0.00	164.46	119.25	0.75	63.09	2379.77	33.35	2719.53	10.70	2764.00	11.00	12.49	1.91	2.24	1.68	1.19	0.65	1.68	0.19	11.54	1.80	0.45	1.68	0.93	
I323G.1-4	0.01	142.79	71.51	0.52	57.42	2474.92	35.14	2681.69	11.72	2702.00	7.00	7.71	2.10	1.71	1.18	0.71	1.18	1.71	0.18	11.82	1.85	0.47	1.71	0.92	
I323G.1-5	-0.02	189.84	96.55	0.53	79.91	2571.06	22.03	2955.30	8.10	2980.00	8.00	13.00	2.04	2.04	1.04	0.22	0.50	1.04	0.22	14.63	1.15	0.49	1.04	0.90	
I323G.1-6	-0.02	75.97	38.46	0.52	29.19	2383.12	23.67	2846.55	12.55	2904.00	14.00	16.28	1.77	2.24	1.19	0.20	0.77	2.24	1.19	12.49	1.42	0.45	1.19	0.84	
I323G.1-7	0.01	603.11	52.45	0.09	75.65	878.40	6.93	2070.86	49.75	2838.00	50.00	57.58	0.04	3.22	6.85	0.84	0.13	2.82	2.58	2.58	2.95	0.15	0.84	0.29	
I323G.2-1	0.03	141.73	46.90	0.34	64.83	2750.96	36.56	2955.87	15.15	2980.00	8.00	6.74	2.89	1.88	1.63	0.22	0.94	1.88	0.22	15.84	1.88	0.53	1.63	0.87	
I323G.2-2-1	0.00	155.28	81.31	0.54	59.08	2363.65	20.82	2833.81	10.79	2893.00	12.00	16.59	1.52	2.26	1.05	0.20	0.66	2.26	1.05	12.27	1.24	0.44	1.05	0.85	
I323G.2-3	0.00	329.07	289.36	0.91	109.27	2106.71	15.84	2501.44	7.22	2565.00	7.00	15.78	0.11	1.13	2.59	0.88	0.16	0.43	0.88	8.76	0.98	0.39	0.88	0.90	
I323G.2-4	0.16	53.09	26.94	0.52	21.43	2479.11	27.78	3013.05	15.06	3074.00	15.00	17.72	0.12	2.71	2.13	0.22	0.94	2.13	0.22	14.52	1.64	0.47	1.35	0.82	
I323G.2-5	0.05	249.73	175.81	0.73	59.84	1585.31	12.44	1701.73	13.51	1737.00	14.00	6.84	0.08	1.23	3.59	0.89	0.10	0.73	4.01	1.15	0.28	0.89	0.77		
I323G.2-6	0.04	162.13	96.05	0.61	87.54	3142.76	24.08	3404.98	7.72	3426.00	8.00	7.70	0.16	1.46	1.59	0.97	0.29	1.59	0.29	24.92	1.09	0.63	0.97	0.89	
I323G.2-7	-0.06	201.70	98.10	0.50	82.67	2515.63	20.55	2991.45	12.07	3045.00	12.00	15.91	0.14	1.38	2.09	0.99	0.22	2.09	0.22	14.58	1.24	0.48	0.99	0.80	
I323G.2-8	0.04	234.93	134.86	0.59	92.85	2439.01	19.55	2876.89	7.77	2930.00	8.00	15.22	0.13	1.31	2.17	0.96	0.21	2.17	0.96	13.08	1.07	0.46	0.96	0.90	
I323G.3-1	0.00	50.69	23.03	0.47	26.90	3100.83	56.16	3083.91	16.64	3084.00	17.00	-0.55	0.16	3.06	1.62	2.28	0.23	1.62	2.28	19.98	2.51	0.62	2.28	0.91	
I323G.3-2	0.01	118.04	71.66	0.63	58.65	2941.87	43.21	2972.03	11.79	2980.00	8.00	1.01	0.16	2.21	1.73	1.83	0.22	1.73	1.83	17.45	1.97	0.58	1.83	0.93	
I323G.3-3	0.00	165.28	9.88	0.06	59.64	2260.60	31.34	3097.51	12.46	3292.00	9.00	27.02	0.12	4.11	2.38	1.64	0.24	2.38	1.64	13.70	1.82	0.42	1.64	0.90	
I323G.3-4	0.00	70.68	32.95	0.48	37.25	3083.45	47.82	2991.60	15.01	2980.00	8.00	-3.07	0.16	2.62	1.63	1.95	0.22	1.63	1.95	18.73	2.16	0.61	1.95	0.90	
I323G.3-5	0.00	519.34	23.76	0.05	36.98	513.34	4.45	496.00	45.00	513.00	5.00	-3.97	0.03	4.23	12.06	0.90	0.06	4.23	0.06	2.05	0.65	2.24	0.08	0.40	
I323G.3-6	0.00	31.05	9.39	0.31	15.45	2945.21	38.42	2946.62	16.43	2943.00	15.00	0.05	0.15	2.82	1.73	1.63	0.22	1.73	1.63	17.20	1.92	0.58	1.63	0.85	
I323G.4-1	0.00	83.59	48.45	0.60	36.06	2622.84	40.15	2954.30	14.98	2980.00	8.00	11.22	0.14	2.41	1.99	1.86	0.22	1.99	1.86	14.98	2.08	0.50	1.86	0.90	
I323G.4-2	0.00	49.86	15.23	0.32	22.91	2762.23	48.72	2981.04	15.87	2980.00	8.00	7.34	0.15	3.12	1.87	2.17	0.22	1.87	2.17	16.23	2.38	0.53	2.17	0.91	
I323G.4-3	0.18	56.65	11.84	0.22	26.80	2823.67	33.50	2970.99	16.69	2980.00	8.00	4.96	0.14	6.55	1.82	1.82	0.22	1.82	1.82	16.57	1.79	0.55	1.47	0.82	
I323G.4-4	-0.01	53.95	48.95	0.94	30.64	3271.39	34.13	3289.57	11.14	3292.00	9.00	0.55	0.18	1.71	1.51	1.33	0.27	1.51	1.33	24.35	1.51	0.66	1.33	0.88	
I323G.4-5	-0.10	57.38	30.11	0.54	33.14	3317.14	33.13	3291.12	11.91	3292.00	9.00	-0.79	0.17	2.04	1.49	1.28	0.27	1.49	1.28	24.81	1.49	0.67	1.28	0.86	
I323G.5-1-5	0.00	355.09	14.90	0.04	24.34	494.91	4.89	487.15	48.30	495.00	5.00	-1.59	0.03	5.84	12.53	1.03	0.06	5.84	1.03	2.19	0.63	2.42	0.08	1.03	0.42
I323G.5-2	0.03	193.24	109.48	0.59	87.47	2727.44	21.60	2924.25	8.24	2943.00	15.00	6.73	0.14	1.32	1.90	0.97	0.21	1.90	0.97	15.43	1.10	0.53	0.97	0.89	
I323G.5-3	0.06	182.78	155.19	0.88	77.51	2584.90	23.19	3177.96	8.07	3292.00	9.00	18.66	0.14	1.36	2.03	1.09	0.25	2.03	1.09	16.93	1.20	0.49	1.09	0.91	
I323G.5-4	0.20	407.82	47.58	0.12	28.07	495.89	4.49	493.24	32.42	496.00	5.00	-0.54	0.02	3.24	12.51	0.94	0.06	12.51	0.94	0.63	1.75	0.08	0.94	0.54	
I323G.6-1	0.20	1102.01	21.86	0.02	81.21	529.47	7.34	515.00	41.00	530.00	7.00	-2.82	0.02	57.46	11.68	1.44	0.06	57.46	1.44	1.85	0.68	2.35	0.09	1.44	0.61
I323G.6-2	0.00	806.49	17.52	0.02	57.28	512.09	3.99	589.77	26.46	512.00	4.00	13.17	0.04	3.97	12.09	0.81	0.06	12.09	0.81	1.22	0.68	1.46	0.08	0.81	0.55
I323G.6-3	-0.02	313.24	109.00	0.36	135.39	2627.48	18.03	2919.67	5.82	2943.00	15.00	10.01	0.14	1.72	1.99	0.84	0.21	1.99	0.84	14.70	0.91	0.50	0.84	0.92	
I323G.6-4	0.19	45.10	20.42	0.47	21.63	2854.93	49.44	2784.59	20.27	2777.00	20.00	-2.53	0.14	3.63	1.79	2.14	0.19	3.63	1.79	14.98	2.47	0.56	2.14	0.87	

PEÇANHA2

Spot Name	% comm 206	ppm U	ppm Th	232Th /238U	ppm Rad 206Pb	204corr /238U Age err	to zero		to 500 Ma		% Dis-cordant	4corr 208r /232 err	238/206r % err	207r /206r % err	207r /235 % err	206r /238 % err	err corr						
							204corr 207Pb /206Pb 1σ err	204corr 207Pb /206Pb 1σ err															
I322A.1-1	0.00	173.35	84.02	0.50	73.38	2582.42	24.56	2867.46	11.70	2551.40	43.85	9.94	1.72	2.03	1.15	0.21	0.72	13.94	1.36	0.49	1.15	0.85	
I322A.1-2	0.00	61.62	27.43	0.46	24.12	2420.26	32.29	2873.27	31.73	2671.37	65.77	15.77	2.46	2.19	1.60	0.21	1.95	12.93	2.52	0.46	1.60	0.63	
I322A.2-1-3	0.45	49.46	16.38	0.34	24.42	2916.47	61.67	2905.15	33.79	3019.21	281.40	-0.39	9.32	1.75	2.63	0.21	2.08	16.56	3.35	0.57	2.63	0.78	
I322A.2-2	0.14	737.80	8.26	0.01	53.05	517.47	3.93	506.93	40.88	492.97	270.34	-2.08	54.84	11.96	0.79	0.06	1.86	0.66	2.02	0.08	0.79	0.39	
I322A.2-3	0.04	1262.21	17.28	0.01	94.07	536.09	7.52	522.15	16.43	541.51	58.68	-2.67	10.84	11.53	1.46	0.06	0.75	0.69	1.64	0.09	1.46	0.89	
I322A.2-4	0.16	72.79	36.43	0.52	34.36	2819.38	40.30	2901.38	16.29	2892.14	74.52	2.83	2.58	1.82	1.76	0.21	1.00	15.84	2.03	0.55	1.76	0.87	
I322A.2-5	0.10	154.73	74.87	0.50	57.39	2311.50	31.84	2830.34	9.54	2322.47	46.86	18.33	2.02	2.32	1.64	0.20	0.58	11.92	1.74	0.43	1.64	0.94	
I322A.2-6	0.00	58.29	27.20	0.48	25.29	2635.03	35.36	2884.30	27.41	2681.94	96.95	8.64	3.62	1.98	1.63	0.21	1.69	14.43	2.35	0.50	1.63	0.70	
I322A.3-1-3	0.04	205.41	93.38	0.47	88.59	2621.69	22.47	2898.47	13.01	2622.42	54.13	9.55	2.06	1.99	1.04	0.21	0.80	14.47	1.32	0.50	1.04	0.79	
I322A.3-2	0.10	541.06	25.61	0.05	38.20	508.58	3.79	519.88	41.06	582.01	56.10	2.17	9.64	12.18	0.78	0.06	1.87	0.65	2.03	0.08	0.78	0.38	
I322A.3-3	0.11	234.97	66.51	0.29	75.20	2039.38	19.00	2782.51	16.83	1866.28	45.11	26.71	2.42	2.69	1.09	0.19	1.03	9.99	1.50	0.37	1.09	0.73	
I322A.4-1	0.03	2662.15	135.70	0.05	187.19	506.98	1.84	538.31	16.46	502.25	18.57	5.82	3.70	12.22	0.38	0.06	0.75	0.66	0.84	0.08	0.38	0.45	
I322A.4-2	0.25	681.22	156.41	0.24	57.21	599.86	4.35	1363.27	27.72	638.87	21.46	56.00	3.26	10.25	0.76	0.09	1.44	1.17	1.63	0.10	0.76	0.47	
I322A.4-3	-0.06	884.17	48.32	0.06	62.58	510.61	2.72	570.29	25.79	583.72	21.08	10.46	3.61	12.13	0.55	0.06	1.19	0.67	1.31	0.08	0.55	0.42	
I322A.4-4	-0.09	233.29	72.38	0.32	54.90	1561.94	14.18	2689.14	20.37	2088.93	46.30	41.92	2.22	3.65	1.02	0.18	1.23	6.96	1.60	0.27	1.02	0.64	
I322A.4-5	0.17	51.80	28.66	0.57	24.76	2847.45	89.82	2897.76	31.71	2706.09	137.04	1.74	5.06	1.80	3.90	0.21	1.96	16.00	4.36	0.56	3.90	0.89	
I322A.4-6	0.12	893.58	9.26	0.01	65.92	530.47	3.63	516.84	27.54	395.43	74.95	-2.64	18.95	11.66	0.71	0.06	1.25	0.68	1.44	0.09	0.71	0.49	
I322A.4-8	0.05	226.68	53.87	0.25	69.97	1977.94	15.63	2826.65	18.95	2619.35	76.32	30.03	2.91	2.78	0.92	0.20	1.16	9.91	1.48	0.36	0.92	0.62	
I322A.5-1	0.07	1683.94	22.93	0.01	122.61	524.06	2.37	530.81	31.31	429.03	207.51	1.27	48.37	11.81	0.47	0.06	1.43	0.68	1.50	0.08	0.47	0.31	
I322A.5-2	0.13	70.06	13.47	0.20	29.22	2548.52	39.34	2843.33	16.81	2328.00	96.29	10.37	4.14	2.06	1.87	0.20	1.03	13.51	2.13	0.48	1.87	0.88	
I322A.5-3	0.20	371.28	102.85	0.29	63.69	1171.38	10.75	2455.61	19.48	1268.10	29.88	52.30	2.36	5.02	1.00	0.16	1.15	4.40	1.53	0.20	1.00	0.66	
I322A.6-2	0.00	163.08	81.15	0.51	75.14	2768.15	22.77	2882.27	15.94	2829.15	44.19	3.96	1.56	1.86	1.01	0.21	0.98	15.31	1.41	0.54	1.01	0.72	
I322A.7-1	-0.08	213.18	108.83	0.53	98.10	2767.19	19.69	2881.28	10.63	2905.38	45.53	3.96	1.57	1.87	1.87	0.88	0.21	0.65	15.29	1.09	0.54	0.88	0.80

PEÇANHA3

Spot Name	% comm	ppm U	ppm Th	232Th /238U	ppm Rad 206Pb	204corr /238U Age err	204corr /206Pb 1σ	to zero	204corr /206Pb 1σ	to 500 Ma	% Dis-cordant	4corr /208Tl %	238/206Tl %	207Tl /206Tl %	207Tl /206Tl %	207Tl /206Tl %	207Tl /206Tl %	204 corrected	err corr	err corr			
																					err	err	err
I322C.2-1	0.07	165.60	84.77	0.53	68.98	2546.99	32.97	2826.68	8.79	2568.62	48.03	9.89	1.87	2.06	1.57	0.20	0.54	13.37	1.66	0.48	1.57	0.95	
I322C.2-2	0.21	37.24	16.37	0.45	17.35	2788.42	46.16	2903.69	18.17	2778.55	114.88	3.97	4.13	1.85	2.04	0.21	1.12	15.65	2.33	0.54	2.04	0.88	
I322C.2-3	0.09	1620.99	107.92	0.07	110.56	492.09	3.59	519.23	23.50	486.90	29.74	5.23	6.11	12.61	0.76	0.06	1.07	0.63	1.31	0.08	0.76	0.58	
I322C.3-1	0.09	141.28	45.93	0.34	81.46	3308.10	45.82	3498.15	6.60	3345.92	73.45	5.43	2.20	1.49	1.77	0.31	0.43	28.24	1.82	0.67	1.77	0.97	
I322C.3-2	0.09	132.84	51.72	0.40	55.53	2554.03	33.77	2878.96	9.75	2592.94	57.17	11.29	2.20	2.06	1.60	0.21	0.60	13.85	1.71	0.49	1.60	0.94	
I322C.3-4	0.16	95.63	27.32	0.30	20.11	1409.16	17.29	2721.72	32.67	1574.49	62.50	48.23	3.97	4.09	1.37	0.19	1.98	6.32	2.41	0.24	1.37	0.57	
I322C.3-5	0.10	235.70	153.41	0.67	72.69	1975.65	18.80	2759.35	11.29	2002.48	31.35	28.40	1.57	2.79	1.10	0.19	0.69	9.49	1.30	0.36	1.10	0.85	
I322C.4-1	0.00	917.10	31.44	0.04	65.16	512.22	3.07	548.27	26.38	553.41	23.64	6.58	4.27	12.09	0.62	0.06	1.21	0.67	1.36	0.08	0.62	0.46	
I322C.4-2	0.00	142.37	64.26	0.47	49.42	2187.67	21.49	2822.69	11.95	2117.15	37.43	22.50	1.77	2.47	1.16	0.20	0.73	11.12	1.37	0.40	1.16	0.85	
I322C.5-1-2	0.00	111.27	67.00	0.62	44.54	2465.51	29.46	2902.98	23.28	2443.27	55.39	15.07	2.27	2.15	1.44	0.21	1.44	13.47	2.03	0.47	1.44	0.71	
I322C.5-2	0.03	148.03	76.77	0.54	61.33	2536.47	22.64	2933.26	12.29	2651.88	45.02	13.33	1.70	2.07	1.08	0.21	0.76	14.20	1.32	0.48	1.08	0.82	
I322C.5-3	0.02	909.38	6.16	0.01	63.00	499.84	4.25	508.07	24.00	456.00	63.25	1.62	0.02	13.87	12.40	0.88	0.06	1.09	0.64	1.40	0.08	0.88	0.63
I322C.6-1-3	0.00	125.02	79.59	0.66	46.61	2323.48	26.44	2891.69	19.55	2390.13	51.34	19.65	2.15	2.30	1.36	0.21	1.20	12.46	1.81	0.43	1.36	0.75	
I322C.6-2	0.20	200.01	101.02	0.52	51.65	1691.37	15.70	2004.36	19.44	1738.04	32.49	15.62	0.09	1.87	3.33	1.06	0.12	1.09	5.10	1.52	0.30	1.06	0.69
I322C.6-3	0.06	3343.62	140.14	0.04	238.13	513.09	2.22	500.41	17.84	481.38	29.05	-2.53	6.03	12.07	0.45	0.06	0.81	0.65	0.93	0.08	0.45	0.49	
I322C.6-4	0.07	221.54	111.65	0.52	52.84	1578.45	15.40	2016.45	18.12	1565.21	32.28	21.72	2.06	3.60	1.10	0.12	1.02	4.75	1.50	0.28	1.10	0.73	
I322C.6-5	0.11	63.87	28.43	0.46	25.97	2496.12	35.10	2892.89	16.83	2786.31	74.48	13.72	1.15	2.67	1.70	0.21	1.04	13.59	1.99	0.47	1.70	0.85	
I322C.6-6	0.18	56.29	24.99	0.46	20.36	2262.00	30.90	2858.37	18.69	1988.18	55.84	20.86	0.10	2.81	2.38	1.62	0.20	1.15	11.82	1.99	0.42	1.62	0.82
I322C.6-7	0.07	264.08	130.33	0.51	93.53	2223.93	17.87	2834.39	9.35	2262.57	32.58	21.54	1.44	2.43	0.95	0.20	0.57	11.42	1.11	0.41	0.95	0.86	
I322C.7-1	0.06	893.84	8.30	0.01	64.71	521.20	3.13	546.69	34.71	744.49	275.13	4.66	36.96	11.88	0.63	0.06	1.59	0.68	1.71	0.08	0.63	0.37	
I322C.7-2	0.48	548.52	9.82	0.02	38.75	507.06	4.41	504.37	62.16			-0.53		12.22	0.90	0.06	2.83	0.65	2.97	0.08	0.90	0.30	
I233C.7-3	0.08	1288.58	11.01	0.01	92.21	515.39	3.08	511.00	28.99	506.28	234.78	-0.86	0.03	46.37	12.01	0.62	0.06	1.32	0.66	1.46	0.08	0.62	0.43
I322C.7-4	0.13	47.40	21.20	0.46	21.75	2755.08	49.00	2943.47	22.01	2887.28	101.34	6.40	0.15	3.51	1.88	2.19	0.21	1.36	15.81	2.58	0.53	2.19	0.85
I322C.7-5	0.00	98.96	30.01	0.31	32.71	2098.20	24.21	2838.11	23.95	2841.46	69.86	26.07	0.15	2.46	2.60	1.35	0.20	1.47	10.69	2.00	0.38	1.35	0.68
I322C.7-6	0.01	218.06	96.88	0.46	90.86	2548.80	22.42	2879.37	11.01	2533.43	38.16	11.48	0.13	1.51	2.06	1.07	0.21	0.68	13.82	1.26	0.48	1.07	0.84
I322C.7-7	0.00	190.41	93.00	0.50	66.74	2205.81	19.70	2874.01	10.42	2198.76	33.86	23.25	0.11	1.54	2.45	1.05	0.21	0.64	11.59	1.23	0.41	1.05	0.85

ANEXO3: Tabela de dados geocronológicos obtidos por LA-ICP-MS

CinzasBase																							
Spot	Pb206*	Pb207*	ThU	207/206	1σ	206/238	1σ	207/235	1σ	206/207	±	206/238	±	207/235	±	208/232	±	Conc	207/235	Er, %	206/238	Er, %	RHO
5sSNIPABC167	183436.00	491055.00	0.04	0.26	0.01	0.59	0.01	20.82	0.41	3229.88	32.08	2981.60	29.26	3130.30	29.26	1779.40	19.04	50.30	20.82	0.41	0.59	0.01	0.62
5sSNIPABC177	289741.00	71566.00	0.17	0.24	0.00	0.48	0.00	16.16	0.20	3146.25	21.24	2528.60	20.46	2886.10	12.10	1731.20	14.73	32.74	16.16	0.20	0.48	0.00	0.77
5sSNIPABC156	152848.97	21555.10	0.05	0.14	0.00	0.09	0.00	1.63	0.02	2198.23	18.91	539.50	4.64	980.10	6.25	1715.60	44.79	54.45	1.63	0.02	0.09	0.00	0.92
5sSNIPABC129	548741.28	24373.29	0.15	0.21	0.00	0.29	0.00	8.49	0.03	2935.48	17.06	1629.80	13.13	2284.70	8.74	1692.00	41.16	85.38	8.49	0.03	0.08	0.00	0.95
5sSNIPABC130	151473.90	24317.90	0.07	0.15	0.00	0.16	0.00	3.44	0.00	2393.25	18.09	965.40	8.14	1512.90	7.59	1638.60	39.49	82.98	3.44	0.00	0.16	0.00	0.94
5sSNIPABC166	160298.00	40455.00	0.28	0.24	0.00	0.60	0.01	19.77	0.20	3110.05	17.19	3033.40	22.37	3080.00	9.56	1626.50	44.25	47.46	19.77	0.20	0.60	0.01	0.93
5sSNIPABC173	222843.46	54441.47	0.28	0.23	0.00	0.49	0.01	15.80	0.29	3072.29	30.06	2580.10	24.31	2864.70	17.29	1537.50	106.25	44.76	15.80	0.29	0.49	0.01	0.63
5sSNIPABC136	314095.00	60635.00	0.06	0.19	0.00	0.24	0.00	6.33	0.07	2732.09	20.32	1401.70	12.07	2022.00	10.15	1480.10	61.44	73.55	6.33	0.07	0.24	0.00	0.83
5sSNIPABC161	229022.00	57429.00	0.27	0.24	0.00	0.55	0.01	18.04	0.18	3100.34	16.95	2832.20	20.84	2991.70	9.35	1461.00	38.98	50.55	18.04	0.18	0.55	0.01	0.94
5sSNIPABC125	99434.00	23943.00	0.25	0.23	0.00	0.44	0.00	13.80	0.13	3043.53	17.05	2697.80	17.98	2735.80	9.15	1363.50	33.45	88.97	13.80	0.13	0.44	0.00	0.95
5sSNIPABC146	30789.00	18290.00	0.24	0.19	0.00	0.50	0.00	13.13	0.13	2749.76	17.99	2609.10	19.80	2689.80	9.44	1392.50	35.70	88.85	13.13	0.13	0.50	0.00	0.92
5sSNIPABC158	287486.45	83444.95	0.64	0.19	0.00	0.43	0.00	11.43	0.12	2774.77	18.17	2294.30	17.89	2568.50	9.56	1366.30	38.98	53.02	11.43	0.12	0.43	0.00	0.90
5sSNIPABC178	425652.54	82084.63	0.26	0.19	0.00	0.42	0.00	10.84	0.12	2706.76	19.40	2272.40	17.95	2509.10	10.20	1329.40	46.32	24.11	10.84	0.12	0.42	0.00	0.85
5sSNIPABC128	277091.88	51895.78	0.44	0.18	0.00	0.32	0.00	7.96	0.08	2657.93	18.44	1768.40	14.53	2226.70	9.28	1279.60	35.18	85.86	7.96	0.08	0.32	0.00	0.91
5sSNIPABC149	204059.00	40118.00	0.43	0.12	0.00	0.36	0.00	9.30	0.10	2721.85	18.09	1979.00	15.83	2366.10	9.40	1279.20	60.72	57.54	9.30	0.10	0.36	0.00	0.91
5sSNIPABC155	176253.00	21199.50	0.04	0.12	0.00	0.07	0.00	1.07	0.02	1930.86	27.45	410.60	4.01	739.90	7.64	1160.00	35.32	55.75	1.07	0.02	0.07	0.00	0.69
5sSNIPABC175	129248.00	24634.00	0.10	0.18	0.00	0.14	0.00	3.63	0.17	2668.18	75.59	871.00	16.77	1566.50	36.36	1123.50	238.76	43.29	3.63	0.17	0.14	0.00	0.45
5sSNIPABC164	357842.45	38814.50	0.02	0.11	0.00	0.13	0.00	1.90	0.02	1780.26	22.53	787.30	6.83	1080.10	7.69	1100.60	44.22	57.28	1.90	0.02	0.13	0.00	0.87
5sSNIPABC116	262083.74	53680.51	0.17	0.20	0.00	0.24	0.00	6.43	0.06	2765.13	16.83	1381.40	11.19	2036.40	8.16	1086.50	24.79	99.90	6.43	0.06	0.24	0.00	0.91
5sSNIPABC159	257374.00	45824.00	0.23	0.17	0.00	0.27	0.00	6.23	0.06	2542.00	17.86	1530.80	12.40	2008.10	8.51	1068.70	28.29	52.84	6.23	0.06	0.27	0.00	0.94
5sSNIPABC142	175194.04	17068.09	0.04	0.09	0.00	0.09	0.00	1.16	0.01	1521.91	20.53	549.90	4.78	783.40	5.43	1039.40	26.62	62.52	1.16	0.01	0.09	0.00	0.91
5sSNIPABC172	314693.52	56685.91	0.19	0.18	0.00	0.21	0.00	5.03	0.07	2624.30	24.04	1208.00	10.92	1823.60	11.61	1025.00	56.82	40.53	5.03	0.07	0.21	0.00	0.72
5sSNIPABC122	269693.60	34511.02	0.12	0.12	0.00	0.13	0.00	2.13	0.02	1985.10	18.77	769.50	6.57	1159.70	6.63	1005.60	23.92	93.84	2.13	0.02	0.13	0.00	0.95
5sSNIPABC124	257689.03	25251.22	0.09	0.09	0.00	0.11	0.00	1.37	0.01	1519.32	19.87	644.70	5.53	877.10	5.63	986.80	23.44	89.58	1.37	0.01	0.11	0.00	0.94
5sSNIPABC182	208907.19	13891.37	0.02	0.07	0.00	0.07	0.00	0.61	0.01	787.55	35.94	420.70	4.12	482.20	6.33	940.60	55.99	14.34	0.61	0.01	0.07	0.00	0.61
5sSNIPABC139	251917.00	26642.00	0.02	0.10	0.00	0.08	0.00	1.16	0.00	1674.20	22.08	505.40	4.56	779.80	6.12	919.10	32.44	66.61	1.16	0.00	0.08	0.00	0.84
5sSNIPABC157	268911.03	41635.34	0.07	0.14	0.00	0.17	0.00	3.35	0.04	2257.93	24.28	1016.40	9.24	1483.90	10.33	905.90	46.88	53.36	3.35	0.04	0.17	0.00	0.74
5sSNIPABC144	239019.00	26531.00	0.07	0.11	0.00	0.08	0.00	1.17	0.01	1744.48	21.08	484.00	4.42	787.80	5.87	833.60	24.07	59.23	1.17	0.01	0.08	0.00	0.87
5sSNIPABC135	233725.00	33624.00	0.07	0.14	0.00	0.15	0.00	2.81	0.03	2197.47	19.14	891.20	7.67	1359.40	7.59	817.10	22.49	75.49	2.81	0.03	0.15	0.00	0.93
5sSNIPABC147	195831.56	29555.85	0.06	0.14	0.00	0.09	0.00	1.78	0.02	2257.93	18.54	560.00	4.88	1039.70	6.38	815.50	21.27	58.59	1.78	0.02	0.09	0.00	0.91
5sSNIPABC165	350046.18	59685.53	0.13	0.17	0.00	0.22	0.00	4.98	0.05	2512.54	19.88	1272.20	10.81	1815.70	9.30	815.40	29.70	48.10	4.98	0.05	0.22	0.00	0.85
5sSNIPABC119	274913.00	36411.00	0.27	0.16	0.00	0.19	0.00	4.38	0.05	2497.43	19.23	1141.90	9.79	1709.40	8.73	765.20	22.52	96.93	4.38	0.05	0.19	0.00	0.88
5sSNIPABC179	297703.00	21948.00	0.02	0.10	0.00	0.09	0.00	0.92	0.01	915.39	5.14	590.90	5.14	662.80	4.98	761.00	22.66	21.30	0.92	0.01	0.10	0.00	0.89
5sSNIPABC123	337527.12	35030.69	0.08	0.10	0.00	0.11	0.00	1.50	0.02	1645.87	20.28	657.50	5.74	929.80	6.13	757.60	19.74	93.84	1.50	0.02	0.11	0.00	0.92
5sSNIPABC120	258289.52	33079.83	0.08	0.12	0.00	0.15	0.00	2.60	0.02	1986.00	18.48	921.90	7.73	1301.30	6.92	740.60	17.54	95.00	2.60	0.02	0.15	0.00	0.95
5sSNIPABC163	250966.81	36466.14	0.11	0.14	0.00	0.18	0.00	3.44	0.04	2208.41	19.38	1067.30	9.08	1513.30	8.11	722.00	21.45	49.29	3.44	0.04	0.18	0.00	0.89
5sSNIPABC183	172665.82	18539.06	0.05	0.10	0.00	0.05	0.00	0.70	0.01	1702.18	20.48	306.10	2.72	538.40	4.27	714.70	20.60	-27.47	0.70	0.01	0.05	0.00	0.89
5sSNIPABC138	215216.66	17245.23	0.03	0.08	0.00	0.07	0.00	0.80	0.01	1213.66	28.22	446.00	4.21	584.90	6.13	691.50	33.28	67.58	0.80	0.01	0.07	0.00	0.72
5sSNIPABC121	254336.19	36065.46	0.22	0.14	0.00	0.14	0.00	2.62	0.03	2174.82	18.46	844.90	7.19	1307.50	7.10	688.80	16.54	94.37	2.62	0.03	0.14	0.00	0.94
5sSNIPABC181	274327.25	39194.56	0.10	0.14	0.00	0.15	0.00	3.55	0.04	2174.31	19.26	1118.90	9.40	1538.30	8.05	655.20	19.26	14.90	3.55	0.04	0.15	0.00	0.90
5sSNIPABC180	407190.34	58925.13	0.06	0.14	0.00	0.15	0.00	2.95	0.04	2265.30	23.33	898.80	8.11	1385.30	9.71	645.80	33.33	19.80	2.95	0.04	0.15	0.00	0.76
5sSNIPABC143	297515.63	25646.62	0.05	0.08	0.00	0.10	0.00	1.12	0.01	1262.85	20.60	602.70	5.19	762.10	5.19	642.40	16.62	59.82	1.12	0.01	0.10	0.00	0.93
5sSNIPABC145	343719.79	51959.34	0.17	0.14	0.00	0.15	0.00	2.95	0.03	2274.91	18.00	893.00	7.52	1384.60	7.20	620.20	15.91	59.01	2.95	0.03	0.15	0.00	0.95
5sSNIPABC137	159455.58	15340.68	0.09	0.10	0.00	0.08	0.00	1.12	0.01	1566.44	20.28	518.50	4.51	763.00	5.29	617.60	15.96	68.82	1.12	0.01	0.08	0.00	0.92
5sSNIPABC126	200068.00	25889.00	0.07	0.12	0.00	0.15	0.00	2.62	0.03	1989.18	18.69	927.10	7.80	1307.10	7.03	616.60	15.37	88.48	2.62	0.03	0.15	0.00	0.85
5sSNIPABC167	244771.05	28915.30	0.09	0.11	0.00	0.12	0.00	1.87	0.02	1849.65	20.57	730.20	6.39	1070.80	6.97	580.10	17.96	45.71	1.87	0.02	0.12	0.00	0.88
5sSNIPABC117	205682.44	26250.29	0.10	0.11	0.00	0.14	0.00	2.39	0.01	1995.56	18.88	852.00	7.21	1240.10	6.83	500.00	11.94	99.39	2.39	0.02	0.14	0.00	0.95
5sSNIPABC140	268854.00	34749.00	0.20	0.12	0.00	0.13	0.00	2.24	0.02	2000.91	19.10	798.00	6.84	1192.60	6.92	473.30	12.37	63.95	2.24	0.02	0.13	0.00	0.92
5sSNIPABC168	153333.00	15083.00	0.06	0.09	0.00	0.10	0.00	1.33	0.02	1519.72	23.71	625.20	5.63</										

FSA1

Spot	Pb206*	Pb207*	ThIU	207/206	1σ	206/238	1σ	207/235	1σ	206/207	±	206/238	±	207/235	±	208/232	±	Conc	207/235	Er. %	206/238	Er. %	RHO
5.55MPABC051	113221.00	28537.00	0.25	0.24	0.00	0.61	0.01	20.55	0.20	3137.70	22.31	3084.10	16.89	3117.70	9.33	2506.70	53.63	98.91	20.55	0.20	0.61	0.01	0.94
5.55MPABC051	186176.00	47386.00	0.36	0.25	0.00	0.60	0.01	20.39	0.19	3153.65	22.00	3089.10	16.76	3109.80	9.23	2446.40	62.62	97.69	20.39	0.19	0.60	0.01	0.95
5.55MPABC016	225224.00	56538.00	0.32	0.24	0.00	0.59	0.01	19.77	0.19	3131.46	21.73	2999.90	16.73	3080.40	9.19	2402.30	52.83	97.32	19.77	0.19	0.59	0.01	0.95
5.55MPABC044	96812.00	24315.00	0.27	0.24	0.00	0.59	0.01	19.64	0.20	3137.24	22.39	2975.50	17.68	3074.00	9.89	2411.80	61.48	96.69	19.64	0.20	0.59	0.01	0.92
5.55MPABC030	71140.73	17271.98	0.27	0.24	0.00	0.59	0.01	19.50	0.20	3118.38	22.31	2985.80	17.58	3066.70	9.71	2517.10	59.48	97.29	19.50	0.20	0.59	0.01	0.93
5.55MPABC037	193490.00	48607.00	0.35	0.24	0.00	0.56	0.00	18.54	0.17	3129.22	20.63	2851.80	16.47	3018.10	8.96	2126.10	49.12	94.17	18.54	0.17	0.56	0.00	0.96
5.55MPABC097	142602.70	35617.38	0.15	0.24	0.00	0.55	0.01	18.30	0.19	3132.64	21.21	2816.70	16.76	3005.40	10.00	2200.20	73.55	93.30	18.30	0.19	0.55	0.01	0.89
5.55MPABC135	148149.60	36604.91	0.29	0.24	0.00	0.54	0.01	18.04	0.20	3125.40	18.94	2794.80	16.97	2982.00	9.36	2307.30	61.67	93.48	18.04	0.20	0.54	0.01	0.94
5.55MPABC053	204517.00	51174.00	0.32	0.24	0.00	0.54	0.00	17.94	0.17	3126.65	16.68	2780.10	16.68	2986.00	9.13	2397.20	60.01	92.58	17.94	0.17	0.54	0.00	0.95
5.55MPABC119	195256.00	48969.00	0.30	0.24	0.00	0.53	0.01	17.92	0.19	3119.31	20.47	2790.00	16.76	2985.40	9.20	2391.00	59.86	92.97	17.92	0.19	0.53	0.01	0.94
5.55MPABC042	62134.00	15097.00	0.18	0.24	0.00	0.54	0.00	17.74	0.17	3118.98	20.69	2766.20	16.72	2975.80	9.43	2428.30	61.11	91.48	17.74	0.17	0.54	0.01	0.87
5.55MPABC073	182831.40	45717.53	0.24	0.24	0.00	0.53	0.00	17.46	0.17	3117.98	17.27	2732.70	16.77	2960.70	9.55	2321.20	67.53	91.66	17.46	0.17	0.53	0.00	0.92
5.55MPABC049	158303.10	39443.85	0.20	0.24	0.00	0.52	0.00	17.36	0.17	3119.97	17.38	2716.80	17.38	2955.10	9.64	2364.70	61.09	91.23	17.36	0.17	0.52	0.00	0.92
5.55MPABC034	89138.00	22942.00	0.21	0.24	0.00	0.52	0.00	17.27	0.17	3130.54	20.11	2689.80	17.03	2949.70	9.27	2282.70	53.49	90.34	17.27	0.17	0.52	0.00	0.95
5.55MPABC013	136071.60	33663.78	0.24	0.24	0.00	0.52	0.00	16.90	0.16	3102.69	17.03	2680.60	17.03	2929.00	9.25	2354.70	52.21	90.73	16.90	0.16	0.52	0.00	0.94
5.55MPABC111	231911.00	56891.00	0.28	0.24	0.00	0.51	0.00	16.61	0.18	3108.65	20.16	2635.20	16.85	2912.70	10.17	2280.60	81.86	89.49	16.61	0.18	0.51	0.00	0.88
5.55MPABC096	15182.50	38450.63	0.28	0.24	0.00	0.50	0.00	16.50	0.18	3122.62	18.04	2602.20	18.04	2906.30	10.15	2243.80	76.48	88.31	16.50	0.18	0.50	0.00	0.89
5.55MPABC110	150642.10	36736.92	0.23	0.24	0.00	0.50	0.00	16.36	0.17	3098.86	18.17	2615.30	18.17	2897.80	10.22	2121.50	76.29	89.20	16.36	0.17	0.50	0.00	0.88
5.55MPABC012	190220.90	45699.91	0.22	0.23	0.00	0.51	0.00	16.19	0.15	3055.52	19.62	2652.20	16.77	2888.30	9.02	2287.50	50.37	91.10	16.19	0.15	0.51	0.00	0.96
5.55MPABC061	101784.00	25534.50	0.22	0.24	0.00	0.48	0.00	15.96	0.16	3118.51	17.15	2537.40	16.77	2874.50	9.37	2241.20	59.90	86.71	15.96	0.16	0.48	0.00	0.93
5.55MPABC036	193906.00	34186.60	0.27	0.24	0.00	0.49	0.00	15.91	0.15	3093.40	16.91	2562.90	16.91	2871.10	9.17	2149.70	50.79	87.97	15.91	0.15	0.49	0.00	0.95
5.55MPABC035	97597.56	16627.49	0.28	0.24	0.00	0.48	0.00	15.75	0.15	3098.86	17.13	2534.60	16.91	2861.50	9.29	2348.70	55.15	87.10	15.75	0.15	0.48	0.00	0.94
5.55MPABC126	68110.00	16643.00	0.17	0.24	0.00	0.48	0.00	15.61	0.18	3105.91	19.16	2507.10	19.16	2853.20	10.86	2367.80	93.52	86.20	15.61	0.18	0.48	0.00	0.84
5.55MPABC131	231478.60	56077.74	0.27	0.23	0.00	0.48	0.00	15.60	0.18	3094.27	18.96	2520.50	18.96	2792.90	10.23	2096.30	73.26	82.99	15.60	0.18	0.48	0.00	0.88
5.55MPABC071	130736.60	31657.81	0.17	0.23	0.00	0.46	0.00	15.46	0.16	3081.25	17.98	2451.60	17.98	2844.20	10.56	2059.60	82.27	86.66	15.46	0.16	0.46	0.00	0.85
5.55MPABC091	190489.90	44697.34	0.21	0.23	0.00	0.46	0.00	14.40	0.15	3032.29	17.66	2436.30	17.66	2776.40	9.68	2252.70	71.92	86.04	14.40	0.15	0.46	0.00	0.90
5.55MPABC120	121895.00	52097.00	0.19	0.23	0.00	0.43	0.00	13.74	0.15	3062.03	18.42	2305.50	18.42	2731.60	10.28	2268.40	85.83	81.52	13.74	0.15	0.43	0.00	0.86
5.55MPABC031	124155.30	29869.64	0.15	0.23	0.00	0.43	0.00	13.56	0.13	3058.44	16.91	2284.50	16.91	2719.20	9.01	2520.50	57.88	80.97	13.56	0.13	0.43	0.00	0.95
5.55MPABC078	208252.00	49552.00	0.31	0.23	0.00	0.42	0.00	13.35	0.14	3054.62	17.65	2260.30	17.65	2704.90	9.65	1820.60	55.83	80.33	13.35	0.14	0.42	0.00	0.91
5.55MPABC117	112534.00	26156.00	0.15	0.22	0.00	0.42	0.00	13.08	0.13	3006.37	17.20	2278.70	17.20	2685.70	9.10	2149.30	49.11	82.14	13.08	0.13	0.42	0.00	0.94
5.55MPABC100	149115.10	35554.58	0.38	0.23	0.00	0.45	0.00	14.45	0.15	3098.78	17.94	2410.20	18.85	2792.90	9.82	1906.90	51.26	84.66	14.45	0.15	0.45	0.00	0.88
5.55MPABC129	198601.50	46067.18	0.26	0.23	0.00	0.46	0.00	14.43	0.16	3023.58	18.81	2451.60	18.81	2778.60	10.56	2059.60	82.27	86.66	14.43	0.16	0.46	0.00	0.85
5.55MPABC091	190489.90	44697.34	0.21	0.23	0.00	0.46	0.00	14.40	0.15	3032.29	17.66	2436.30	17.66	2776.40	9.68	2252.70	71.92	86.04	14.40	0.15	0.46	0.00	0.90
5.55MPABC120	121895.00	52097.00	0.19	0.23	0.00	0.43	0.00	13.74	0.15	3062.03	18.42	2305.50	18.42	2731.60	10.28	2268.40	85.83	81.52	13.74	0.15	0.43	0.00	0.86
5.55MPABC031	124155.30	29869.64	0.15	0.23	0.00	0.43	0.00	13.56	0.13	3058.44	16.91	2284.50	16.91	2719.20	9.01	2520.50	57.88	80.97	13.56	0.13	0.43	0.00	0.95
5.55MPABC078	208252.00	49552.00	0.31	0.23	0.00	0.42	0.00	13.35	0.14	3054.62	17.65	2260.30	17.65	2704.90	9.65	1820.60	55.83	80.33	13.35	0.14	0.42	0.00	0.91
5.55MPABC117	112534.00	26156.00	0.15	0.22	0.00	0.42	0.00	13.08	0.13	3006.37	17.20	2278.70	17.20	2685.70	9.10	2149.30	49.11	82.14	13.08	0.13	0.42	0.00	0.94
5.55MPABC039	238054.00	48803.00	0.31	0.20	0.00	0.48	0.00	13.02	0.12	2802.00	16.94	2525.10	18.65	2681.30	8.78	2163.60	50.32	93.69	13.02	0.12	0.48	0.00	0.96
5.55MPABC092	277374.80	64570.36	0.16	0.23	0.00	0.41	0.00	12.83	0.13	3020.03	17.60	2252.40	17.30	2667.40	9.56	2016.10	65.09	80.15	12.83	0.13	0.41	0.00	0.91
5.55MPABC139	191017.70	45888.05	0.12	0.23	0.00	0.38	0.00	12.04	0.14	3068.86	19.10	2053.70	16.72	2607.40	10.69	1905.60	80.81	73.04	12.04	0.14	0.38	0.00	0.83
5.55MPABC050	101479.00	20549.00	0.41	0.19	0.00	0.43	0.00	11.54	0.11	2769.68	17.88	2318.80	17.90	2568.10	9.29	2140.10	54.04	89.25	11.54	0.11	0.43	0.00	0.93
5.55MPABC094	101421.00	20346.00	0.37	0.19	0.00	0.43	0.00	11.47	0.12	2779.66	18.54	2293.90	17.99	2561.80	9.81	1976.60	64.75	88.32	11.47	0.12	0.43	0.00	0.89
5.55MPABC021	155266.00	35869.00	0.18	0.22	0.00	0.38	0.00	11.37	0.11	2968.05	16.74	2064.00	16.74	2492.40	9.33	1620.50	49.00	69.32	11.37	0.11	0.38	0.00	0.96
5.55MPABC136	264801.00	60075.00	0.19	0.22	0.00	0.37	0.00	11.26	0.13	2990.25	16.59	2022.80	16.59	2544.90	10.76	1864.00	80.33	74.19	11.26	0.13	0.37	0.00	0.83
5.55MPABC082	195392.90	38853.32	0.43	0.19	0.00	0.42	0.00	11.23	0.11	2762.96	17.89	2272.70	17.55	2542.00	9.35	2106.20	63.52	88.15	11.23	0.11	0.42	0.00	0.91
5.55MPABC043	178936.00	36321.00	0.13	0.20	0.00	0.42	0.00	11.20	0.11	2786.73	17.14	2241.50	17.00	2540.30	8.78	2009.10	48.60	86.67	11.20	0.11	0.42	0.00	0.95
5.55MPABC133	201397.00	46457.00	0.18	0.22	0.00	0.36	0.00	11.11	0.15	3001.76	22.73	1989.10	17.45	2532.60	12.91	1757.30	90.66	72.68	11.11	0.15	0.36	0.00	0.73
5.55MPABC074	134117.30	31632.31	0.14	0.23	0.00	0.35	0.00	10.89	0.11	3038.91	17.67	1915.60	15.34	2514.1									

5.55MPABC076	234061.00	41195.00	0.23	0.17	0.00	0.26	0.00	6.02	0.07	2559.71	20.79	1471.20	12.75	1978.90	10.27	1706.80	64.25	65.49	6.02	0.07	0.26	0.00	0.82
5.55MPABC014	238568.00	45260.00	0.09	0.18	0.00	0.24	0.00	6.02	0.06	2673.36	17.26	1382.30	11.13	1978.20	8.14	1672.60	37.53	56.89	6.02	0.06	0.24	0.00	0.96
5.55MPABC023	172274.00	29434.00	0.11	0.16	0.00	0.23	0.00	5.25	0.05	2495.78	17.87	1346.00	10.78	1861.00	7.89	1428.20	32.10	51.74	5.25	0.05	0.23	0.00	0.96
5.55MPABC032	241808.30	42564.53	0.05	0.17	0.00	0.21	0.00	4.88	0.05	2548.26	17.48	1237.30	9.94	1798.40	7.83	1251.80	29.78	63.04	4.88	0.05	0.21	0.00	0.96
5.55MPABC060	168472.00	31380.00	0.07	0.18	0.00	0.19	0.00	4.68	0.06	2651.30	22.17	1113.70	10.14	1763.50	10.56	1795.40	74.25	41.65	4.68	0.06	0.19	0.00	0.79
5.55MPABC025	198573.00	33284.00	0.04	0.16	0.00	0.21	0.00	4.57	0.04	2463.99	17.49	1205.80	9.76	1743.00	7.69	1539.30	35.65	55.45	4.57	0.04	0.21	0.00	0.96
5.55MPABC112	230229.00	37200.00	0.04	0.16	0.00	0.21	0.00	4.50	0.05	2423.39	19.35	1217.30	10.33	1731.50	8.89	1802.60	66.54	57.76	4.50	0.05	0.21	0.00	0.87
5.55MPABC134	260041.50	43583.48	0.05	0.16	0.00	0.20	0.00	4.40	0.04	2475.50	18.22	1158.40	9.68	1732.00	9.16	1623.70	44.70	52.21	4.40	0.04	0.20	0.00	0.92
5.55MPABC134	238844.00	38241.48	0.04	0.16	0.00	0.18	0.00	3.99	0.05	2424.15	20.11	1089.70	9.47	1632.00	9.16	1623.70	72.92	50.17	3.99	0.05	0.18	0.00	0.84
5.55MPABC033	171835.60	28826.80	0.03	0.16	0.00	0.18	0.00	3.97	0.04	2487.64	19.91	1047.70	9.15	1628.40	8.89	1493.50	48.64	44.57	3.97	0.04	0.18	0.00	0.86
5.55MPABC090	234327.00	37874.00	0.04	0.16	0.00	0.18	0.00	3.81	0.04	2420.58	19.03	1044.90	8.95	1594.00	8.40	1807.40	60.48	47.45	3.81	0.04	0.18	0.00	0.89
5.55MPABC020	271790.10	55508.53	0.14	0.18	0.01	0.15	0.00	3.78	0.12	2697.68	55.78	892.40	13.12	1588.40	25.68	2039.40	481.36	22.01	3.78	0.12	0.15	0.00	0.49
5.55MPABC001	255761.60	39590.19	0.05	0.15	0.00	0.18	0.00	3.66	0.04	2453.09	19.12	1046.60	8.92	1563.70	8.31	1336.80	46.55	50.59	3.66	0.04	0.18	0.00	0.89
5.55MPABC098	176923.20	29994.23	0.05	0.16	0.00	0.16	0.00	3.51	0.04	2474.98	18.43	940.50	8.00	1529.10	7.93	1592.50	48.34	37.42	3.51	0.04	0.16	0.00	0.91
5.55MPABC079	265572.20	40715.46	0.11	0.15	0.00	0.17	0.00	3.46	0.04	2340.10	20.03	999.70	8.75	1518.40	8.70	1261.30	45.90	48.11	3.46	0.04	0.17	0.00	0.85
5.55MPABC095	184516.00	28771.00	0.04	0.15	0.00	0.17	0.00	3.45	0.04	2358.19	20.45	987.10	8.73	1515.80	8.91	1110.30	42.25	46.44	3.45	0.04	0.17	0.00	0.84
5.55MPABC070	326017.60	52285.74	0.11	0.15	0.00	0.15	0.00	3.26	0.04	2399.86	20.78	916.40	8.22	1472.40	9.01	983.40	36.39	39.33	3.26	0.04	0.15	0.00	0.83
5.55MPABC095	161272.40	30679.08	0.21	0.18	0.00	0.12	0.00	3.18	0.03	2692.94	17.52	758.30	6.45	1451.60	7.41	968.30	24.62	8.57	3.18	0.03	0.12	0.00	0.94
5.55MPABC118	186892.00	26673.00	0.07	0.14	0.00	0.16	0.00	2.94	0.03	2230.67	20.09	911.70	7.96	1392.70	8.28	1092.50	42.24	47.24	2.94	0.03	0.16	0.00	0.85
5.55MPABC024	219367.60	30986.50	0.12	0.14	0.00	0.14	0.00	2.85	0.02	2183.90	18.00	852.20	7.07	1318.50	6.81	813.40	18.48	45.28	2.85	0.02	0.14	0.00	0.96
5.55MPABC128	150306.50	19139.19	0.04	0.12	0.00	0.14	0.00	2.41	0.03	2023.55	21.33	843.80	7.50	1244.40	8.20	1283.90	41.15	43.54	2.41	0.03	0.14	0.00	0.87
5.55MPABC093	210331.00	26143.00	0.10	0.12	0.00	0.13	0.00	2.16	0.02	1962.45	19.87	786.20	6.81	1166.90	7.18	918.50	30.71	51.58	2.16	0.02	0.13	0.00	0.89
5.55MPABC022	208157.00	25687.61	0.06	0.12	0.00	0.13	0.00	2.15	0.02	1947.11	18.57	790.70	6.58	1165.20	6.42	1249.50	28.08	52.64	2.15	0.02	0.13	0.00	0.95
5.55MPABC109	175999.00	20727.00	0.11	0.11	0.00	0.13	0.00	2.01	0.02	1864.29	22.07	776.40	6.99	1120.20	7.89	849.10	33.46	55.72	2.01	0.02	0.13	0.00	0.82
5.55MPABC107	114549.30	13346.13	0.02	0.12	0.00	0.11	0.00	1.69	0.02	1880.04	21.06	653.70	5.80	1006.30	6.98	2142.20	77.21	46.06	1.69	0.02	0.11	0.00	0.86
5.55MPABC138	167649.00	17188.00	0.06	0.10	0.00	0.11	0.00	1.53	0.02	1620.73	24.06	680.90	6.29	810.20	7.68	810.20	61.29	61.29	1.53	0.02	0.11	0.00	0.78
5.55MPABC017	255643.00	25072.00	0.07	0.10	0.00	0.08	0.00	1.10	0.04	1569.34	74.39	515.00	7.80	753.50	20.30	989.80	201.91	53.69	1.10	0.04	0.08	0.00	0.41
5.55MPABC127	99386.00	7059.00	0.01	0.07	0.00	0.10	0.00	0.91	0.01	891.25	29.43	587.90	5.57	654.80	6.67	594.30	31.97	88.82	0.91	0.01	0.10	0.00	0.72
5.55MPABC037	68765.00	4939.00	0.02	0.07	0.00	0.09	0.00	0.84	0.01	928.06	26.96	539.60	4.95	621.10	5.83	698.00	31.71	84.90	0.84	0.01	0.09	0.00	0.77
5.55MPABC081	95574.46	6433.65	0.06	0.07	0.00	0.08	0.00	0.76	0.01	830.30	24.73	510.50	4.52	573.60	4.83	220.20	7.74	87.84	0.76	0.01	0.10	0.00	0.80
5.55MPABC069	101621.00	6374.17	0.01	0.06	0.00	0.08	0.00	0.71	0.01	627.20	25.34	523.10	4.59	543.30	4.58	1632.90	55.20	96.14	0.71	0.01	0.08	0.00	0.84
5.55MPABC041	62143.37	3675.56	0.01	0.06	0.00	0.09	0.00	0.71	0.01	591.99	25.94	530.90	4.63	543.10	4.76	486.50	26.04	97.70	0.71	0.01	0.09	0.00	0.80
5.55MPABC075	109891.00	6962.00	0.02	0.06	0.00	0.08	0.00	0.70	0.01	650.48	27.69	511.00	4.65	537.60	5.09	261.30	11.87	94.79	0.70	0.01	0.08	0.00	0.77
5.55MPABC114	52982.00	3269.00	0.01	0.06	0.00	0.08	0.00	0.69	0.01	602.13	29.42	514.60	4.70	531.40	5.36	307.00	20.37	96.74	0.69	0.01	0.08	0.00	0.73
5.55MPABC099	93580.00	5721.00	0.01	0.06	0.00	0.08	0.00	0.68	0.01	577.39	26.69	518.10	4.64	529.70	4.77	572.00	27.76	97.76	0.68	0.01	0.08	0.00	0.81
5.55MPABC115	116114.00	7076.00	0.00	0.06	0.00	0.08	0.00	0.68	0.01	575.93	26.88	513.20	4.63	525.30	4.80	962.00	47.19	97.64	0.68	0.01	0.08	0.00	0.80
5.55MPABC125	114860.50	7143.87	0.00	0.06	0.00	0.08	0.00	0.68	0.01	561.55	27.34	515.70	4.68	524.70	4.90	383.70	28.91	98.25	0.68	0.01	0.08	0.00	0.79
5.55MPABC004	35661.00	2010.00	0.16	0.05	0.00	0.09	0.00	0.67	0.02	390.53	68.98	550.80	6.55	520.20	12.43	486.50	25.99	105.56	0.67	0.02	0.09	0.00	0.41
5.55MPABC072	98816.46	5837.72	0.01	0.06	0.00	0.08	0.00	0.66	0.01	516.10	25.74	516.10	4.54	516.50	4.48	420.70	27.59	99.92	0.66	0.01	0.08	0.00	0.82
5.55MPABC058	116357.00	6929.00	0.01	0.06	0.00	0.08	0.00	0.66	0.01	508.47	26.20	517.60	4.57	516.40	4.50	781.20	32.05	100.23	0.66	0.01	0.08	0.00	0.83

FSAZ

Spot	Pb206*	Pb207*	Th/U	207/206	1σ	206/238	1σ	207/235	1σ	206/207	±	206/238	±	207/235	±	208/232	±	Conc	207/235	Er. %	206/238	Er. %	RHO
5.55MPABC029	408257.50	24679.70	13.29	0.06	0.00	0.10	0.00	0.84	0.01	548.91	29.25	627.20	5.97	621.40	5.97	304.80	9.03	102.17	0.84	0.01	0.10	0.00	0.75
5.55MPABC063	419078.90	24904.18	10.01	0.06	0.00	0.09	0.00	0.76	0.01	514.96	31.04	566.40	6.04	571.80	6.04	303.80	11.27	101.03	0.76	0.01	0.09	0.00	0.70
5.55MPABC066	590896.00	36173.63	6.30	0.06	0.00	0.09	0.00	0.74	0.01	526.74	23.76	555.60	4.88	561.80	4.38	341.90	7.30	101.48	0.74	0.01	0.09	0.00	0.91
5.55MPABC042	759547.00	45739.00	6.30	0.06	0.00	0.09	0.00	0.72	0.01	514.96	23.58	554.80	4.26	553.00	4.26	279.70	6.30	101.04	0.72	0.01	0.09	0.00	0.91
5.55MPABC067	655091.70	39814.13	10.31	0.06	0.00	0.09	0.00	0.72	0.01	509.61	23.85	552.30	4.82	550.20	4.15	148.80	3.06	100.88	0.72	0.01	0.09	0.00	0.93
5.55MPABC043	608905.50	35285.64	5.85	0.06	0.00	0.09	0.00	0.70	0.01	533.91	24.79	552.00	4.32	539.30	4.32	355.70	7.93	101.61	0.70	0.01	0.09	0.00	0.90
5.55MPABC065	783409.00	46386.00	4.72	0.06	0.00	0.09	0.00	0.70	0.01	479.49	23.31	552.00	4.08	539.30	4.08	295.10	6.52	99.55	0.70	0.01	0.09	0.00	0.95
5.55MPABC085	559412.40	34071.03	7.88	0.06	0.00	0.09	0.00	0.73	0.01	493.08	23.09	551.50	4.81	558.60	4.20	269.60	5.91	100.20	0.73	0.01	0.09	0.00	0.93
5.55MPABC034	535993.40	31499.87	7.18	0.06	0.00	0.09	0.00	0.72	0.01	493.68	23.98	551.20	4.82	549.80	4.17	394.60	5.96	101.94	0.72	0.01	0.09	0.00	0.92
5.55MPABC106	659481.60	41377.75	5.27	0.06	0.00	0.09	0.00	0.71	0.01	462.64	23.98	551.30	5.23	547.50	6.20	299.50	15.44	98.71	0.71	0.01	0.09	0.00	0.67
5.55MPABC030	659487.70	39762.91	6.37	0.06	0.00	0.09	0.00	0.72	0.01	546.67	22.81	550.10	4.79	552.30	4.09	327.60	5.67	102.11	0.72	0.01	0.09	0.00	0.95
5.55MPABC074	520189.00	30538.00	6.58	0.06	0.00	0.09	0.00	0.69	0.01	500.02	23.44	550.10	4.76	534.90	4.00	288.40	5.78	100.54	0.69	0.01	0.09	0.00	0.93
5.55MPABC101	550439.00	33119.00	6.01	0.06	0.00	0.09	0.00	0.71	0.01	471.68	22.87	549.60	4.75	542.90	4.03	280.90	6.20	99.14	0.71	0.01	0.09	0.00	0.94
5.55MPABC081	743351.00	44176.00	4.09	0.06	0.00	0.09	0.00	0.70	0.01	496.94	23.32	548.70	4.76	538.40	4.00	289.10	6.10	100.36	0.70	0.01	0.09	0.00	0.94
5.55MPABC075	722305.80	42476.14	3.91	0.06	0.00	0.09	0.00	0.70	0.01	499.25	23.42	548.20	4.78	539.90	4.07	303.00	6.42	100.45	0.70	0.01	0.09	0.00	0.94
5.55MPABC041	445777.00	26848.00	7.04	0.06	0.00	0.09	0.00	0.71	0.01	539.55	24.80	547.90	4.84	543.10	4.38	347.60	7.27	101.72	0.71	0.01	0.09	0.00	0.89
5.55MPABC088	427342.70	25697.61	5.02	0.06	0.00	0.09	0.00	0.70	0.01	486.88	23.33	547.50	4.71	546.40	3.98	281.10	5.71	100.04	0.71	0.01	0.09	0.00	0.95
5.55MPABC022	478343.90	28437.61	5.66	0.06	0.00	0.09	0.00	0.70	0.01	599.24	22.10	546.70	4.66	541.40	3.86	350.30	5.24	102.96	0.70	0.01	0.09	0.00	0.97
5.55MPABC048	785965.10	46942.87	4.57	0.06	0.00	0.09	0.00	0.70	0.01	523.33	22.83	545.90	4.70	536.50	3.87	304.00	5.23	101.35	0.70	0.01	0.09	0.00	0.96
5.55MPABC089	483786.80	29060.21	8.61	0.06	0.00	0.09	0.00	0.71	0.01	484.17	23.22	545.60	4.74	545.70	4.11	265.10	5.78	99.98	0.71	0.01	0.09	0.00	0.93
5.55MPABC032	710835.00	42703.31	3.81	0.06	0.00	0.09	0.00	0.70	0.01	544.80	22.32	545.50	4.65	541.30	3.80	345.60	5.31	102.00	0.70	0.01	0.09	0.00	0.99
5.55MPABC082	724278.30	43206.65	5.76	0.06	0.00	0.09	0.00	0.70	0.01	496.94	22.33	545.10	4.67	538.70	3.85	266.70	5.26	100.32	0.70	0.01	0.09	0.00	0.97
5.55MPABC095	626582.40	27266.59	5.95	0.06	0.00	0.09	0.00	0.70	0.01	477.54	22.37	544.90	4.68	539.20	3.90	272.20	5.72	99.38	0.70	0.01	0.09	0.00	0.86
5.55MPABC042	357956.30	32496.54	13.60	0.06	0.00	0.09	0.00	0.74	0.01	539.55	24.60	544.50	4.83	561.90	4.59	276.10	5.86	101.70	0.74	0.01	0.09	0.00	0.86
5.55MPABC033	659330.00	39104.00	5.03	0.06	0.00	0.09	0.00	0.70	0.01	543.68	24.70	544.40	4.83	537.10	4.35	345.00	7.75	101.97	0.70	0.01	0.09	0.00	0.89
5.55MPABC077	926145.00	54929.36	6.66	0.06	0.00	0.09	0.00	0.70	0.01	523.71	22.49	542.20	4.69	536.30	3.89	180.50	3.21	101.39	0.70	0.01	0.09	0.00	0.87
5.55MPABC104	449419.70	26722.57	7.86	0.06	0.00	0.09	0.00	0.69	0.01	468.54	24.66	542.10	4.77	534.80	4.29	279.60	6.84	99.05	0.69	0.01	0.09	0.00	0.88
5.55MPABC093	360421.20	21240.11	10.36	0.06	0.00	0.09	0.00	0.68	0.01	521.05	23.73	542.00	4.69	531.30	4.02	322.80	6.53	100.27	0.68	0.01	0.09	0.00	0.93
5.55MPABC072	460662.60	26794.99	7.82	0.06	0.00	0.09	0.00	0.68	0.01	502.71	23.85	540.30	4.71	528.60	4.05	296.50	6.02	100.56	0.68	0.01	0.09	0.00	0.92
5.55MPABC051	591170.10	34193.30	6.04	0.06	0.00	0.09	0.00	0.67	0.01	520.67	22.81	539.70	4.64	518.90	3.79	303.70	5.20	101.25	0.67	0.01	0.09	0.00	0.96
5.55MPABC105	654641.00	38660.00	5.11	0.06	0.00	0.09	0.00	0.69	0.01	466.58	24.80	538.90	4.75	530.90	4.26	285.70	7.62	98.88	0.69	0.01	0.09	0.00	0.89
5.55MPABC045	519836.70	30929.54	5.53	0.06	0.00	0.09	0.00	0.69	0.01	527.87	22.26	538.90	4.61	533.90	3.83	313.80	5.11	101.51	0.69	0.01	0.09	0.00	0.97
5.55MPABC091	290949.00	17487.00	11.05	0.06	0.00	0.09	0.00	0.70	0.01	483.39	28.11	537.80	4.89	540.20	5.10	330.60	10.80	99.85	0.70	0.01	0.09	0.00	0.78
5.55MPABC092	526983.00	30804.96	5.86	0.06	0.00	0.09	0.00	0.68	0.01	483.00	22.99	537.80	4.62	524.10	4.73	270.80	5.62	99.60	0.68	0.01	0.09	0.00	0.96
5.55MPABC083	363616.00	21004.54	9.10	0.06	0.00	0.09	0.00	0.69	0.01	495.78	24.66	537.50	4.73	530.80	4.23	294.70	6.53	100.27	0.69	0.01	0.09	0.00	0.90
5.55MPABC069	687974.80	40992.92	6.57	0.06	0.00	0.09	0.00	0.69	0.01	508.08	21.85	537.10	4.60	534.10	3.81	260.50	4.81	100.84	0.69	0.01	0.09	0.00	0.98
5.55MPABC109	627442.00	38299.00	8.02	0.06	0.00	0.09	0.00	0.70	0.01	444.42	23.44	536.90	4.64	537.70	3.97	217.40	4.94	97.23	0.70	0.01	0.09	0.00	0.94
5.55MPABC080	612786.70	36072.16	6.71	0.06	0.00	0.09	0.00	0.68	0.01	499.25	23.02	536.90	4.62	529.40	3.86	275.80	5.46	100.38	0.68	0.01	0.09	0.00	0.96
5.55MPABC100	520385.70	30735.23	6.77	0.06	0.00	0.09	0.00	0.68	0.01	476.37	22.99	536.20	4.60	525.80	3.83	271.70	5.83	99.18	0.68	0.01	0.09	0.00	0.96
5.55MPABC040	448260.50	25668.13	7.58	0.06	0.00	0.09	0.00	0.67	0.01	539.93	22.76	535.70	4.62	519.10	3.86	323.60	5.34	101.88	0.67	0.01	0.09	0.00	0.85
5.55MPABC107	543856.90	31899.83	5.88	0.06	0.00	0.09	0.00	0.67	0.01	460.67	23.89	535.70	4.67	522.00	4.03	275.90	6.58	98.43	0.67	0.01	0.09	0.00	0.92
5.55MPABC111	448556.50	26471.88	4.56	0.06	0.00	0.09	0.00	0.69	0.01	425.58	23.03	534.70	4.60	532.80	3.92	264.20	5.95	96.80	0.69	0.01	0.09	0.00	0.95
5.55MPABC061	458321.90	28245.08	6.86	0.06	0.00	0.09	0.00	0.72	0.01	515.72	22.49	533.80	4.60	548.60	4.01	304.50	5.52	101.05	0.72	0.01	0.09	0.00	0.95
5.55MPABC066	755823.50	44459.82	4.72	0.06	0.00	0.09	0.00	0.68	0.01	512.29	22.58	533.10	4.57	524.90	3.74	296.40	5.38	100.91	0.68	0.01	0.09	0.00	0.98
5.55MPABC060	497663.60	29880.95	3.34	0.06	0.00	0.09	0.00	0.69	0.01	516.10	22.77	532.20	4.56	531.90	3.83	299.90	5.27	101.06	0.69	0.01	0.09	0.00	0.97
5.55MPABC068	543613.30	32913.28	9.07	0.06	0.00	0.09	0.00	0.69	0.01	508.85	22.32	531.90	4.56	535.20	3.84	223.60	4.11	100.85	0.69	0.01	0.09	0.00	0.97
5.55MPABC021	710698.50	41557.22	5.57	0.06	0.00	0.09	0.00	0.67	0.01	608.26	22.84	531.60	4.58	520.40	3.79	323.50	5.10	103.10	0.67	0.01	0.09	0.00	0.98
5.55MPABC103	405627.90	23648.27	6.37	0.06	0.00	0.09	0.00	0.68	0.01	468.93	23.24	530.20	4.56	524.70	3.87	267.10	5.80	99.06	0.68	0.01	0.09	0.00	0.95
5.55MPABC026	496448.10	29759.60	7.29	0.06	0.00	0.09	0.00	0.68	0.01	573.36	22.68	529.60	4.54	528.50	3.81	322.40	4.94	102.34	0.68	0.01	0.09	0.00	0.86
5.5																							

5.55MPABC035	494133.00	29515.00	7.22	0.06	0.00	0.09	0.00	0.67	0.01	541.43	22.47	526.20	4.51	523.30	3.77	311.30	4.85	101.93	0.67	0.01	0.09	0.00	0.97
5.55MPABC028	541580.60	32023.22	6.79	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	551.89	22.67	525.50	4.49	518.20	3.72	323.00	4.90	102.30	0.67	0.01	0.08	0.00	0.98
5.55MPABC024	581997.70	34260.69	4.89	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	585.80	22.63	525.00	4.49	518.50	3.71	336.00	5.05	102.56	0.67	0.01	0.08	0.00	0.97
5.55MPABC073	419316.20	24953.80	9.44	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	501.95	23.14	523.40	4.50	518.00	3.81	286.30	5.01	100.55	0.67	0.01	0.08	0.00	0.96
5.55MPABC094	311742.40	18830.48	9.54	0.06	0.00	0.08	0.00	0.68	0.01	479.10	23.10	523.40	4.52	528.20	3.97	276.20	5.78	99.38	0.68	0.01	0.08	0.00	0.93
5.55MPABC044	479190.40	28852.29	7.83	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	533.53	22.63	522.60	4.48	522.80	3.77	308.20	4.99	101.54	0.67	0.01	0.08	0.00	0.96
5.55MPABC054	267579.80	15878.22	9.88	0.06	0.00	0.08	0.00	0.69	0.01	518.77	24.58	520.30	4.59	530.60	4.33	317.50	6.20	101.17	0.69	0.01	0.08	0.00	0.87
5.55MPABC025	348731.50	20928.18	9.06	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	585.08	23.29	513.90	4.42	518.10	3.83	337.30	5.15	102.55	0.67	0.01	0.08	0.00	0.95
5.55MPABC087	279912.10	16016.08	11.28	0.06	0.00	0.08	0.00	0.63	0.01	487.27	23.66	513.70	4.44	498.50	3.82	273.70	5.55	100.06	0.63	0.01	0.08	0.00	0.93
5.55MPABC090	324402.00	19811.00	12.49	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	521.05	22.77	511.10	4.39	519.10	3.84	283.30	4.72	101.32	0.67	0.01	0.08	0.00	0.95
5.55MPABC071	265660.40	15808.08	13.20	0.06	0.00	0.08	0.00	0.64	0.01	503.48	23.87	497.90	4.32	502.20	3.90	289.80	5.50	100.67	0.64	0.01	0.08	0.00	0.91
5.55MPABC108	260019.00	15293.87	10.65	0.06	0.00	0.08	0.00	0.63	0.01	459.09	23.22	490.40	4.24	495.00	3.82	260.20	5.79	98.02	0.63	0.01	0.08	0.00	0.92
5.55MPABC027	180323.50	10438.49	17.39	0.06	0.00	0.07	0.00	0.56	0.01	559.33	29.63	436.50	4.01	449.70	4.59	360.20	7.91	102.30	0.56	0.01	0.07	0.00	0.76

JAMBREIRO

Spot	Pb206*	Pb207*	ThU	207/206	1σ	206/238	1σ	207/235	1σ	206/207	+	206/238	+	207/235	+	208/232	+	Conc	Er. %	206/238	Er. %	RHO	
5.S5MPABC078	550264,27	34101,63	12,56	0,06	0,00	0,10	0,00	0,84	0,01	605,02	29,61	623,60	5,88	620,10	6,10	200,70	13,48	100,56	0,84	0,01	0,10	0,00	0,75
5.S5MPABC079	339276,76	24238,73	1,71	0,06	0,00	0,10	0,00	0,81	0,01	527,12	23,57	620,10	5,74	601,50	4,67	179,40	2,66	103,00	0,81	0,01	0,10	0,00	0,94
5.S5MPABC046	401190,12	20238,35	14,42	0,06	0,00	0,10	0,00	0,79	0,01	567,10	23,08	594,90	5,21	589,60	4,39	249,40	7,91	100,89	0,79	0,01	0,10	0,00	0,94
5.S5MPABC063	598991,96	35484,58	8,10	0,06	0,00	0,09	0,00	0,74	0,01	502,33	26,83	574,20	5,33	560,30	5,01	291,00	14,97	102,42	0,74	0,01	0,09	0,00	0,83
5.S5MPABC044	414654,55	24491,85	13,81	0,06	0,00	0,09	0,00	0,75	0,01	541,05	23,15	571,80	5,02	566,00	4,23	229,10	7,00	101,01	0,75	0,01	0,09	0,00	0,94
5.S5MPABC033	366564,77	39862,03	10,69	0,06	0,00	0,09	0,00	0,73	0,01	523,71	23,15	567,70	5,08	559,40	4,23	157,50	3,96	101,46	0,73	0,01	0,09	0,00	0,95
5.S5MPABC022	629382,72	37268,19	8,26	0,06	0,00	0,09	0,00	0,73	0,01	512,67	22,21	563,70	4,96	554,00	4,03	272,60	5,82	101,72	0,73	0,01	0,09	0,00	0,97
5.S5MPABC071	530091,89	30975,30	7,99	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	444,02	25,90	563,50	5,14	540,80	4,71	313,40	15,31	104,03	0,70	0,01	0,09	0,00	0,85
5.S5MPABC076	453798,02	26806,03	10,83	0,06	0,00	0,09	0,00	0,71	0,01	474,42	27,28	562,80	5,17	546,10	4,92	270,30	14,25	102,97	0,71	0,01	0,09	0,00	0,83
5.S5MPABC043	449282,00	36444,00	11,79	0,06	0,00	0,09	0,00	0,71	0,01	480,27	23,01	561,50	4,86	546,30	3,98	297,30	5,95	102,71	0,71	0,01	0,09	0,00	0,96
5.S5MPABC041	578988,00	24544,00	13,71	0,06	0,00	0,09	0,00	0,72	0,01	516,49	22,49	560,30	4,92	552,10	4,10	125,60	3,65	101,46	0,72	0,01	0,09	0,00	0,95
5.S5MPABC023	667755,81	39401,19	14,91	0,06	0,00	0,09	0,00	0,73	0,01	552,27	22,23	559,80	4,92	558,70	4,05	81,50	1,79	100,20	0,73	0,01	0,09	0,00	0,97
5.S5MPABC070	357149,19	20564,18	12,40	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	458,30	29,05	559,80	5,27	540,70	5,33	304,30	18,33	103,41	0,70	0,01	0,09	0,00	0,77
5.S5MPABC081	477506,00	28035,00	11,11	0,06	0,00	0,09	0,00	0,69	0,01	428,40	27,12	555,80	5,06	531,90	4,78	229,40	11,66	104,30	0,69	0,01	0,09	0,00	0,82
5.S5MPABC034	456875,51	27327,51	12,95	0,06	0,00	0,09	0,00	0,73	0,01	561,55	22,59	554,80	4,88	556,60	4,11	207,10	5,37	99,68	0,73	0,01	0,09	0,00	0,95
5.S5MPABC025	572359,00	34118,00	11,05	0,06	0,00	0,09	0,00	0,72	0,01	525,98	22,75	554,80	4,88	549,60	4,02	193,80	4,43	100,94	0,72	0,01	0,09	0,00	0,96
5.S5MPABC035	603729,88	36036,61	7,91	0,06	0,00	0,09	0,00	0,72	0,01	528,25	22,95	554,70	4,87	550,00	4,05	280,90	7,40	100,85	0,72	0,01	0,09	0,00	0,96
5.S5MPABC074	487674,73	28822,92	9,35	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	480,27	25,20	554,40	4,91	540,60	4,41	277,60	12,42	102,49	0,70	0,01	0,09	0,00	0,88
5.S5MPABC057	584073,92	34990,25	7,68	0,06	0,00	0,09	0,00	0,71	0,01	520,29	23,91	553,10	4,83	547,10	4,21	294,30	11,21	101,08	0,71	0,01	0,09	0,00	0,91
5.S5MPABC060	413515,06	24501,01	8,54	0,06	0,00	0,09	0,00	0,71	0,01	503,10	24,02	551,20	4,86	542,30	4,23	314,60	11,94	101,61	0,71	0,01	0,09	0,00	0,91
5.S5MPABC064	460031,00	28036,00	11,17	0,06	0,00	0,09	0,00	0,71	0,01	527,12	26,07	550,30	5,04	546,30	4,72	242,70	10,95	100,73	0,71	0,01	0,09	0,00	0,85
5.S5MPABC065	462878,11	27265,76	10,67	0,06	0,00	0,09	0,00	0,71	0,01	518,77	25,42	549,30	4,85	543,80	4,57	243,30	10,04	101,00	0,71	0,01	0,09	0,00	0,87
5.S5MPABC077	405583,91	24397,41	9,36	0,06	0,00	0,09	0,00	0,71	0,01	514,58	24,60	549,00	4,85	542,80	4,43	300,60	13,99	101,13	0,71	0,01	0,09	0,00	0,88
5.S5MPABC072	405754,48	24436,66	11,28	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	502,33	24,83	549,00	4,85	540,50	4,36	277,90	12,30	101,55	0,70	0,01	0,09	0,00	0,89
5.S5MPABC076	310663,22	18037,73	12,27	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	507,70	25,09	548,30	4,98	541,20	4,56	343,10	9,88	101,29	0,70	0,01	0,09	0,00	0,87
5.S5MPABC052	566389,54	33688,70	8,87	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	509,23	22,72	546,80	4,75	540,20	3,98	318,30	6,88	101,21	0,70	0,01	0,09	0,00	0,95
5.S5MPABC051	548367,24	33145,40	10,82	0,06	0,00	0,09	0,00	0,72	0,01	557,47	23,24	546,60	4,84	549,10	4,21	198,60	6,58	99,54	0,72	0,01	0,09	0,00	0,93
5.S5MPABC036	722095,00	43670,00	4,70	0,06	0,00	0,09	0,00	0,71	0,01	550,40	22,47	546,30	4,80	547,50	4,02	322,50	8,62	99,78	0,71	0,01	0,09	0,00	0,96
5.S5MPABC052	575818,84	33229,84	8,47	0,06	0,00	0,09	0,00	0,68	0,01	456,72	23,25	546,10	4,80	529,50	4,06	261,10	8,97	103,04	0,68	0,01	0,09	0,00	0,93
5.S5MPABC062	385819,56	22301,41	12,53	0,06	0,00	0,09	0,00	0,68	0,01	429,21	24,40	546,00	4,81	524,60	4,18	258,90	10,15	103,94	0,68	0,01	0,09	0,00	0,90
5.S5MPABC013	587925,19	35190,68	9,89	0,06	0,00	0,09	0,00	0,71	0,01	549,66	22,27	546,00	4,80	547,10	3,99	224,90	4,75	99,80	0,71	0,01	0,09	0,00	0,97
5.S5MPABC027	411601,50	25026,14	13,06	0,06	0,00	0,09	0,00	0,71	0,01	547,79	22,58	545,80	4,81	546,60	4,05	235,30	5,45	99,85	0,71	0,01	0,09	0,00	0,86
5.S5MPABC016	370866,74	22909,42	13,25	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	541,05	23,12	545,70	4,87	545,30	4,06	294,00	4,35	100,07	0,71	0,01	0,09	0,00	0,96
5.S5MPABC083	304692,50	20347,77	14,99	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	519,91	24,05	545,70	4,76	541,20	4,19	307,10	6,50	100,82	0,70	0,01	0,09	0,00	0,91
5.S5MPABC078	339156,55	21566,10	3,47	0,06	0,00	0,09	0,00	0,71	0,01	524,84	23,53	545,60	4,79	542,40	4,13	324,40	7,33	100,59	0,71	0,01	0,09	0,00	0,93
5.S5MPABC045	457257,00	27484,00	9,13	0,06	0,00	0,09	0,00	0,71	0,01	525,22	23,47	545,60	4,69	542,20	4,04	364,40	8,23	100,62	0,71	0,01	0,09	0,00	0,93
5.S5MPABC043	517547,32	30371,26	9,26	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	506,55	23,50	545,60	4,73	538,50	4,08	269,80	8,94	101,30	0,70	0,01	0,09	0,00	0,93
5.S5MPABC038	474093,98	27965,44	7,77	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	517,63	21,87	545,50	4,79	540,70	3,92	353,60	6,06	100,88	0,70	0,01	0,09	0,00	0,98
5.S5MPABC079	477895,00	28858,00	9,57	0,06	0,00	0,09	0,00	0,71	0,01	534,67	23,78	545,40	4,78	544,10	4,14	342,60	8,81	100,24	0,71	0,01	0,09	0,00	0,93
5.S5MPABC077	407900,54	24995,66	7,93	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	509,61	23,02	545,40	4,76	539,20	4,04	350,10	8,58	101,14	0,70	0,01	0,09	0,00	0,94
5.S5MPABC015	459076,57	27187,92	6,98	0,06	0,00	0,09	0,00	0,71	0,01	528,63	23,79	545,20	4,72	542,60	4,11	348,10	9,47	100,48	0,71	0,01	0,09	0,00	0,93
5.S5MPABC015	547067,52	32209,97	11,21	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	516,87	22,32	545,20	4,73	540,10	3,95	241,80	4,50	100,94	0,70	0,01	0,09	0,00	0,96
5.S5MPABC045	400803,07	24159,98	4,11	0,06	0,00	0,09	0,00	0,71	0,01	545,55	23,10	545,10	4,80	545,60	4,13	313,20	9,66	99,91	0,71	0,01	0,09	0,00	0,94
5.S5MPABC051	443636,03	25865,20	12,22	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	518,39	22,27	545,10	4,73	540,60	3,96	278,90	5,80	100,83	0,70	0,01	0,09	0,00	0,98
5.S5MPABC032	547766,22	32827,26	4,30	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	516,10	21,90	545,00	4,76	540,00	3,90	371,40	6,40	100,92	0,70	0,01	0,09	0,00	0,96
5.S5MPABC036	335648,21	20104,31	17,00	0,06	0,00	0,09	0,00	0,71	0,01	535,42	23,01	544,90	4,78	543,60	3,99	245,10	4,24	100,24	0,71	0,01	0,09	0,00	0,97
5.S5MPABC037	466416,70	27421,42	7,90	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	531,65	23,01	544,70	4,77	542,80	4,00	357,20	6,52	100,35	0,71	0,01	0,09	0,00	0,97
5.S5MPABC056	357835,00	214007,00	7,14	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	520,29	22,93	544,70	4,83	540,70	4,05	336,50	6,16	100,73	0,70	0,01	0,09	0,00	0,96
5.S5MPABC020	332882,40	19515,47	11,81	0,06	0,00	0,09	0,00	0,70	0,01	527,49	23,82	544,60	4,88	541,70	4,23	376,10	6,87	100,53	0,70	0,01	0,09	0,00	0,92
5.S5MPABC022	332072,90	1																					

5.55MPABC080	301875.22	17845.71	6.24	0.06	0.00	0.09	0.00	0.71	0.01	536.55	23.07	542.40	4.93	542.30	4.12	228.00	3.35	100.02	0.71	0.01	0.09	0.00	0.96
5.55MPABC014	413484.46	24885.47	15.36	0.06	0.00	0.09	0.00	0.71	0.01	561.92	22.49	542.10	4.79	546.30	4.06	215.60	3.65	99.23	0.71	0.01	0.09	0.00	0.96
5.55MPABC075	454977.00	26693.00	14.97	0.06	0.00	0.09	0.00	0.68	0.01	451.97	24.56	541.90	4.79	525.50	4.28	300.40	13.66	103.03	0.68	0.01	0.09	0.00	0.88
5.55MPABC054	372398.78	22332.42	14.07	0.06	0.00	0.09	0.00	0.71	0.01	541.80	25.32	541.20	4.78	541.90	4.39	221.10	9.90	99.87	0.71	0.01	0.09	0.00	0.88
5.55MPABC054	432411.88	25580.37	11.39	0.06	0.00	0.09	0.00	0.71	0.01	551.52	23.39	539.40	4.75	542.10	4.17	253.60	8.93	99.50	0.71	0.01	0.09	0.00	0.92
5.55MPABC037	419867.64	24706.38	17.27	0.06	0.00	0.09	0.00	0.69	0.01	510.76	22.84	539.20	4.74	534.20	4.02	140.10	3.82	100.93	0.69	0.01	0.09	0.00	0.85
5.55MPABC083	376491.98	22156.36	11.30	0.06	0.00	0.09	0.00	0.69	0.01	496.17	25.81	539.00	4.77	531.40	4.45	267.50	13.22	101.41	0.69	0.01	0.09	0.00	0.86
5.55MPABC053	641813.00	38196.00	8.08	0.06	0.00	0.09	0.00	0.69	0.01	502.33	23.63	538.60	4.73	532.20	4.07	224.60	7.93	101.19	0.69	0.01	0.09	0.00	0.93
5.55MPABC040	344780.36	20734.66	15.55	0.06	0.00	0.09	0.00	0.70	0.01	533.16	23.59	536.80	4.73	536.50	4.07	242.60	6.93	100.06	0.70	0.01	0.09	0.00	0.94
5.55MPABC042	393441.33	23399.91	1.58	0.06	0.00	0.09	0.00	0.69	0.01	505.78	23.42	536.30	4.69	530.90	4.04	317.40	9.66	101.01	0.69	0.01	0.09	0.00	0.93
5.55MPABC025	340761.82	19505.92	6.53	0.06	0.00	0.09	0.00	0.67	0.01	442.82	24.43	536.10	4.77	519.20	4.24	295.20	10.71	103.15	0.67	0.01	0.09	0.00	0.88
5.55MPABC029	381020.15	22913.69	18.48	0.06	0.00	0.09	0.00	0.71	0.01	581.79	23.49	544.10	4.58	544.10	4.13	165.40	4.99	98.24	0.71	0.01	0.09	0.00	0.91
5.55MPABC024	413042.50	24427.11	12.71	0.06	0.00	0.09	0.00	0.69	0.01	544.05	22.54	533.20	4.70	535.70	3.98	246.20	5.46	99.53	0.69	0.01	0.09	0.00	0.86
5.55MPABC054	330755.28	20111.59	15.61	0.06	0.00	0.09	0.00	0.69	0.01	541.43	24.66	531.80	4.72	534.00	4.24	236.90	8.38	99.59	0.69	0.01	0.09	0.00	0.90
5.55MPABC084	470355.18	28156.38	11.16	0.06	0.00	0.09	0.00	0.68	0.01	514.58	27.56	529.00	4.67	529.00	4.85	208.60	11.37	100.53	0.68	0.01	0.09	0.00	0.78
5.55MPABC058	485687.97	28769.93	12.06	0.06	0.00	0.09	0.00	0.68	0.01	522.57	25.63	529.30	4.57	528.50	4.37	189.40	8.42	100.15	0.68	0.01	0.09	0.00	0.85
5.55MPABC082	400925.57	28319.39	7.24	0.06	0.00	0.09	0.00	0.68	0.01	522.03	29.88	526.90	4.62	528.40	5.13	242.90	13.60	99.72	0.68	0.01	0.09	0.00	0.74
5.55MPABC059	611420.56	35850.73	8.56	0.06	0.00	0.09	0.00	0.67	0.01	503.10	27.65	526.30	4.54	522.40	4.69	238.40	13.08	100.74	0.67	0.01	0.09	0.00	0.78
5.55MPABC019	410680.20	24614.93	11.19	0.06	0.00	0.08	0.00	0.68	0.01	536.55	23.52	522.80	4.52	525.80	3.92	345.10	6.66	99.43	0.68	0.01	0.08	0.00	0.94
5.55MPABC061	562052.93	33832.66	6.00	0.06	0.00	0.08	0.00	0.68	0.01	540.68	28.58	522.30	4.51	526.20	4.81	307.00	17.85	99.25	0.68	0.01	0.08	0.00	0.77
5.55MPABC018	383808.95	22493.53	10.81	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	516.49	23.65	522.20	4.46	521.40	4.03	395.90	9.59	100.15	0.67	0.01	0.08	0.00	0.90
5.55MPABC080	402603.00	24605.00	10.61	0.06	0.00	0.08	0.00	0.69	0.01	578.86	31.36	521.80	4.60	533.20	5.55	267.30	18.58	97.82	0.69	0.01	0.08	0.00	0.96
5.55MPABC023	289945.65	17333.70	14.03	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	517.63	22.35	521.80	4.62	521.50	3.92	341.40	5.42	100.06	0.67	0.01	0.08	0.00	0.96
5.55MPABC021	35512.18	21063.84	9.46	0.06	0.00	0.08	0.00	0.66	0.01	494.63	24.34	521.70	4.48	517.10	4.01	407.30	9.33	100.88	0.66	0.01	0.08	0.00	0.90
5.55MPABC081	259524.97	15416.09	10.27	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	496.17	23.00	521.50	4.70	517.80	3.95	231.40	3.43	100.71	0.67	0.01	0.08	0.00	0.96
5.55MPABC073	298001.00	17886.00	11.40	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	502.71	26.94	521.40	4.49	517.90	4.52	305.10	10.36	100.67	0.67	0.01	0.08	0.00	0.81
5.55MPABC057	349140.16	20038.08	7.37	0.06	0.00	0.08	0.00	0.66	0.01	491.53	26.35	521.10	4.51	516.00	4.37	348.10	10.92	100.98	0.66	0.01	0.08	0.00	0.84
5.55MPABC032	515223.34	30779.52	11.42	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	528.25	23.99	521.00	4.46	522.70	3.99	212.80	6.72	99.67	0.67	0.01	0.08	0.00	0.91
5.55MPABC055	283275.40	16296.32	13.75	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	506.93	22.70	520.90	4.63	519.00	3.91	320.40	5.39	100.36	0.67	0.01	0.08	0.00	0.96
5.55MPABC062	363137.98	21970.14	7.75	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	509.61	25.96	520.50	4.49	518.80	4.41	330.80	10.66	100.33	0.67	0.01	0.08	0.00	0.83
5.55MPABC074	335330.96	19578.43	6.22	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	503.10	24.17	520.50	4.51	517.90	4.05	345.80	9.46	100.50	0.67	0.01	0.08	0.00	0.91
5.55MPABC044	435177.47	25625.71	4.30	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	515.34	23.21	520.30	4.43	519.60	3.92	365.00	9.23	100.13	0.67	0.01	0.08	0.00	0.91
5.55MPABC046	293008.00	17442.00	7.63	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	506.17	23.01	520.10	4.56	518.10	3.90	341.60	6.30	100.38	0.67	0.01	0.08	0.00	0.85
5.55MPABC031	468291.00	27736.00	1.72	0.06	0.00	0.08	0.00	0.66	0.01	493.47	23.52	520.00	4.44	515.40	3.84	368.50	8.40	100.88	0.66	0.01	0.08	0.00	0.94
5.55MPABC042	365149.23	21229.25	8.37	0.06	0.00	0.08	0.00	0.65	0.01	467.36	23.99	519.90	4.46	510.70	3.92	378.20	9.07	101.77	0.65	0.01	0.08	0.00	0.91
5.55MPABC083	287298.18	16734.28	11.89	0.06	0.00	0.08	0.00	0.66	0.01	503.10	24.49	519.70	4.51	517.10	4.10	351.30	9.95	100.50	0.66	0.01	0.08	0.00	0.89
5.55MPABC082	378764.89	22446.03	5.62	0.06	0.00	0.08	0.00	0.66	0.01	495.01	25.47	519.70	4.46	515.50	4.19	317.60	10.40	100.81	0.66	0.01	0.08	0.00	0.86
5.55MPABC024	323107.50	19374.04	11.94	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	516.49	22.25	519.20	4.60	519.20	3.89	335.90	5.18	100.00	0.67	0.01	0.08	0.00	0.96
5.55MPABC025	353378.77	20433.43	11.62	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	510.38	22.87	519.00	4.52	517.90	3.89	345.00	6.28	100.21	0.67	0.01	0.08	0.00	0.95
5.55MPABC063	280201.92	16374.27	13.45	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	512.29	22.75	518.50	4.60	518.00	3.94	335.50	6.08	100.10	0.67	0.01	0.08	0.00	0.95
5.55MPABC058	316324.43	18864.23	6.66	0.06	0.00	0.08	0.00	0.66	0.01	510.76	23.97	518.20	4.51	517.40	4.08	342.90	8.37	100.15	0.66	0.01	0.08	0.00	0.90
5.55MPABC040	292219.85	17046.01	14.62	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	513.44	22.69	517.90	4.62	517.70	3.96	315.80	5.25	100.04	0.67	0.01	0.08	0.00	0.96
5.55MPABC063	260463.00	15702.00	15.39	0.06	0.00	0.08	0.00	0.67	0.01	537.67	25.67	517.20	4.69	521.70	4.43	355.90	8.69	99.13	0.67	0.01	0.08	0.00	0.87
5.55MPABC013	322426.62	19034.03	12.36	0.06	0.00	0.08	0.00	0.66	0.01	513.05	22.43	517.00	4.56	516.70	3.86	350.50	5.57	100.06	0.66	0.01	0.08	0.00	0.87
5.55MPABC012	253567.00	15551.00	17.58	0.06	0.00	0.08	0.00	0.64	0.01	520.67	22.62	498.20	4.45	502.70	3.78	287.10	3.47	99.10	0.64	0.01	0.08	0.00	0.97
5.55MPABC038	254744.00	15584.00	17.19	0.06	0.00	0.08	0.00	0.65	0.01	573.36	23.17	494.40	4.38	509.00	3.96	272.20	7.50	97.05	0.65	0.01	0.08	0.00	0.93
5.55MPABC064	207688.04	11949.39	14.33	0.06	0.00	0.08	0.00	0.62	0.01	499.25	23.74	486.80	4.47	489.80	3.95	260.30	3.73	99.38	0.62	0.01	0.08	0.00	0.94
5.55MPABC071	201386.02	11585.37	22.21	0.06	0.00	0.08	0.00	0.61	0.01	484.55	26.57	485.20	4.65	485.90	4.49	143.20	2.38	99.86	0.61	0.01	0.08	0.00	0.86
5.55MPABC021	227344.00	13853.00	18.09	0.06	0.00	0.08	0.00	0.62	0.01	568.57	24.81	470.20	4.06	487.60	3.46	314.60	9.65	96.30	0.62	0.01	0.08	0.00	0.88
5.55MPABC051	180819.00	10954.00	21.93	0.06	0.00	0.07	0.00	0.57	0.01	466.97	27.65	455.70	4.39	458.00	4.46	155.30	2.20	99.50	0.57	0.01	0.07	0.00	0.82
5.55MPABC072	19880																						

PECANHA4

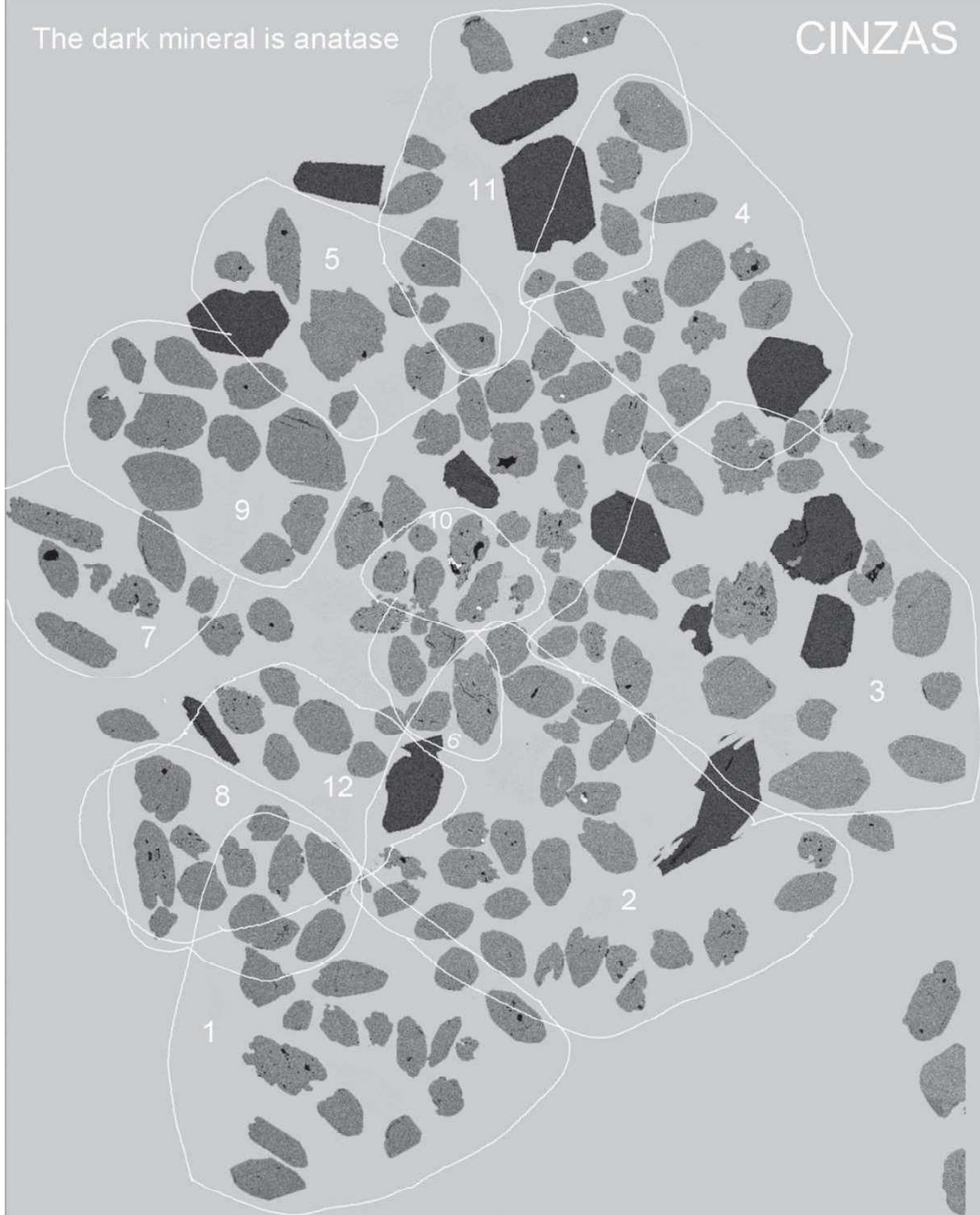
Spot	Pb206*	ThIU	207206	1e	2067238	1e	207235	1e	206207	±	206238	±	207235	±	208232	±	Comc	207235	Er, %	206238	Er, %	RHO
5.55MPABC179	148791.00	56232.00	0.53	0.16	0.00	0.46	0.00	0.12	2454.60	20.61	2446.60	10.42	2454.60	10.42	964.40	22.84	95.67	10.22	0.12	0.46	0.00	0.90
5.55MPABC132	3720574.38	256022.55	0.07	0.17	0.00	0.08	0.00	0.03	2561.97	29.09	507.60	11.38	1094.90	5.39	6968.10	425.24	-11.70	1.94	0.03	0.08	0.00	0.65
5.55MPABC093	178337.57	29245.04	0.14	0.16	0.00	0.06	0.00	0.02	2476.02	20.08	389.30	6.37	885.10	3.44	961.10	34.88	-27.36	1.39	0.02	0.06	0.00	0.85
5.55MPABC096	91556.84	15107.16	0.08	0.11	0.00	0.07	0.00	0.01	2460.83	18.28	358.20	5.66	831.20	3.24	1448.10	33.50	-32.05	1.27	0.01	0.06	0.00	0.83
5.55MPABC095	123970.22	14266.44	0.05	0.16	0.00	0.06	0.00	0.01	1841.48	22.16	462.00	6.37	779.90	3.39	1736.20	55.90	31.19	1.16	0.01	0.07	0.00	0.94
5.55MPABC091	92495.11	16418.50	0.12	0.17	0.00	0.05	0.00	0.01	2558.04	19.19	304.20	5.96	770.30	3.00	550.00	10.06	-53.22	1.14	0.01	0.05	0.00	0.92
5.55MPABC194	91804.73	8830.91	0.10	0.10	0.00	0.08	0.00	0.01	1642.20	21.97	485.50	6.01	749.50	4.55	765.20	23.08	45.62	1.09	0.01	0.08	0.00	0.86
5.55MPABC094	125978.89	10872.80	0.05	0.08	0.00	0.09	0.00	0.03	1307.53	46.43	571.60	6.42	745.60	12.18	1312.90	108.64	69.56	1.08	0.03	0.09	0.00	0.51
5.55MPABC108	110517.00	10684.00	0.06	0.09	0.00	0.08	0.00	0.01	1464.70	27.79	508.80	4.62	724.20	6.99	1124.80	55.06	57.67	1.04	0.01	0.08	0.00	0.69
5.55MPABC092	67640.45	6764.63	0.07	0.10	0.00	0.08	0.00	0.03	1555.00	28.23	482.30	4.46	720.00	7.21	943.90	38.09	50.72	1.03	0.01	0.08	0.00	0.68
5.55MPABC111	68778.89	7906.37	0.09	0.11	0.00	0.07	0.00	0.02	2299.48	17.95	319.00	2.87	715.60	2.87	2350.20	51.46	-24.33	1.02	0.01	0.05	0.00	0.96
5.55MPABC109	71597.32	5834.51	0.04	0.08	0.00	0.09	0.00	0.02	1227.50	33.48	547.50	5.12	700.00	8.08	1592.40	98.65	72.15	0.99	0.02	0.07	0.00	0.52
5.55MPABC174	97820.79	5669.94	0.04	0.07	0.00	0.09	0.00	0.02	941.21	49.05	579.50	6.23	660.20	11.36	938.90	89.58	86.07	0.92	0.02	0.09	0.00	0.48
5.55MPABC107	132584.51	11006.37	0.06	0.08	0.00	0.08	0.00	0.01	1188.83	23.66	491.60	4.75	637.20	5.53	388.30	7.82	70.38	0.87	0.01	0.08	0.00	0.85
5.55MPABC093	198317.16	16157.35	0.04	0.08	0.00	0.08	0.00	0.02	1097.97	41.88	504.20	5.70	628.40	9.67	1280.20	85.14	75.37	0.86	0.02	0.08	0.00	0.57
5.55MPABC118	111687.77	7842.35	0.05	0.07	0.00	0.08	0.00	0.03	982.22	25.48	525.20	4.82	614.00	5.45	727.80	25.58	83.09	0.83	0.01	0.08	0.00	0.81
5.55MPABC115	109065.08	8368.13	0.05	0.07	0.00	0.08	0.00	0.02	918.05	49.43	521.10	5.71	601.00	10.54	451.20	29.46	84.67	0.81	0.02	0.09	0.00	0.49
5.55MPABC165	77416.91	4190.62	0.04	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	542.55	30.00	561.40	5.14	558.90	5.65	450.60	20.45	100.45	0.73	0.01	0.09	0.00	0.73
5.55MPABC140	60039.00	3806.00	0.04	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	619.72	45.05	534.30	5.25	550.50	8.50	527.50	44.91	96.97	0.72	0.01	0.09	0.00	0.52
5.55MPABC134	245414.00	16005.00	0.03	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	528.63	29.65	547.30	5.39	545.40	5.54	271.10	8.09	100.35	0.71	0.01	0.09	0.00	0.78
5.55MPABC166	105319.00	6511.00	0.03	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	554.50	25.59	539.60	4.98	544.00	4.76	311.10	8.87	99.18	0.71	0.01	0.09	0.00	0.85
5.55MPABC148	77631.84	4598.58	0.04	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	564.14	26.79	537.60	4.93	544.00	4.97	390.70	12.50	98.81	0.71	0.01	0.09	0.00	0.81
5.55MPABC141	103966.00	6305.00	0.04	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	535.42	28.77	544.00	5.01	543.50	5.20	350.60	12.47	100.09	0.71	0.01	0.09	0.00	0.78
5.55MPABC177	287636.45	18612.27	0.02	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	529.38	5.34	543.60	5.34	542.80	5.34	296.40	8.82	100.15	0.71	0.01	0.09	0.00	0.81
5.55MPABC167	126967.00	7640.00	0.04	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	528.63	32.42	544.50	5.36	542.70	6.09	443.30	21.68	100.33	0.71	0.01	0.09	0.00	0.71
5.55MPABC112	249987.00	15646.00	0.03	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	532.78	26.47	542.70	5.21	541.90	4.90	271.20	6.81	100.15	0.71	0.01	0.09	0.00	0.86
5.55MPABC131	61219.68	3509.96	0.05	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	538.80	34.36	540.30	5.35	541.50	6.36	414.60	13.54	99.78	0.70	0.01	0.09	0.00	0.68
5.55MPABC129	102850.17	6014.97	0.06	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	537.30	39.66	540.80	5.24	540.90	7.23	533.80	34.30	99.98	0.70	0.01	0.09	0.00	0.58
5.55MPABC171	74819.00	4500.00	0.04	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	541.80	36.05	539.00	5.40	540.70	6.69	445.30	23.85	99.68	0.70	0.01	0.09	0.00	0.65
5.55MPABC127	98843.44	5834.21	0.05	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	534.29	26.12	540.70	4.89	540.60	4.65	369.30	10.46	100.02	0.70	0.01	0.09	0.00	0.86
5.55MPABC099	73969.86	4288.40	0.04	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	529.38	34.52	542.90	4.90	540.30	6.14	334.90	16.29	100.48	0.70	0.01	0.09	0.00	0.64
5.55MPABC136	110796.44	6357.90	0.05	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	530.52	26.00	541.00	4.93	540.30	4.67	358.80	10.50	100.13	0.70	0.01	0.09	0.00	0.85
5.55MPABC139	85196.90	5017.15	0.05	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	539.18	41.35	540.60	5.18	540.20	7.46	347.90	19.62	100.07	0.70	0.01	0.09	0.00	0.56
5.55MPABC120	105211.00	6377.00	0.04	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	526.74	32.82	542.80	4.91	540.10	5.87	402.10	19.19	100.50	0.70	0.01	0.09	0.00	0.67
5.55MPABC168	38833.67	2322.34	0.04	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	524.46	43.00	543.60	5.22	539.80	7.82	387.10	23.87	100.70	0.70	0.01	0.09	0.00	0.54
5.55MPABC114	72459.73	4289.34	0.04	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	521.05	31.68	543.20	4.89	539.60	5.65	434.30	17.81	100.66	0.70	0.01	0.09	0.00	0.70
5.55MPABC173	74372.00	4491.00	0.05	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	525.60	33.12	541.00	4.98	539.20	6.03	335.40	17.68	100.33	0.70	0.01	0.09	0.00	0.67
5.55MPABC098	65900.00	3987.00	0.04	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	522.19	39.02	542.20	5.03	538.40	7.01	419.20	25.73	100.70	0.70	0.01	0.09	0.00	0.58
5.55MPABC154	85824.00	5134.00	0.04	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	513.44	26.80	541.10	4.93	537.40	5.76	320.20	10.09	100.81	0.70	0.01	0.09	0.00	0.74
5.55MPABC132	86267.00	6322.00	0.05	0.07	0.00	0.07	0.00	0.01	935.96	28.15	443.90	4.19	534.20	5.48	611.10	27.02	79.66	0.69	0.01	0.07	0.00	0.74
5.55MPABC169	130364.51	7672.95	0.03	0.06	0.00	0.08	0.00	0.01	524.09	30.07	524.70	5.13	526.20	5.52	304.70	11.37	99.71	0.68	0.01	0.08	0.00	0.75
5.55MPABC135	107690.00	6428.00	0.07	0.06	0.00	0.08	0.00	0.01	520.29	31.79	526.00	4.89	525.90	5.66	520.60	27.01	100.02	0.68	0.01	0.09	0.00	0.70
5.55MPABC121	107353.17	6372.29	0.04	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	512.67	29.01	527.30	5.15	525.70	5.38	231.70	6.13	100.30	0.68	0.01	0.09	0.00	0.78
5.55MPABC158	88733.37	5101.13	0.04	0.06	0.00	0.08	0.00	0.01	519.53	29.86	529.30	4.97	525.70	5.37	405.60	15.10	100.00	0.68	0.01	0.09	0.00	0.76
5.55MPABC147	131075.00	7819.00	0.04	0.06	0.00	0.08	0.00	0.01	518.01	31.83	524.40	5.80	524.20	5.80	328.90	16.34	100.44	0.68	0.01	0.08	0.00	0.72
5.55MPABC161	76795.00	4306.00	0.04	0.05	0.00	0.09	0.00	0.01	368.55	33.48	558.40	5.29	523.80	5.90	333.50	16.09	106.20	0.68	0.01	0.09	0.00	0.68
5.55MPABC168	114514.00	6855.00	0.03	0.06	0.00	0.08	0.00	0.01	511.91	26.44	524.00	4.67	522.50	4.64	449.20	16.24	100.29	0.67	0.01	0.08	0.00	0.82
5.55MPABC170	135057.46	7989.21	0.05	0.06	0.00	0.08	0.00	0.01	511.53	28.01	521.90	4.93	521.50	5.12	352.40	14.58	100.08	0.67	0.01	0.08	0.00	0.78
5.55MPABC133	128966.49	7773.82	0.03	0.06	0.00	0.08	0.00	0.01	490.37	25.44	525.50	4.79	520.30	4.42	374.10	10.28	101.05	0.67	0.01	0.08	0.00	0.88
5.55MPABC175	132545.16	7996.72	0.04	0.06	0.00	0.08	0.00	0.01	515.34	24.36	519.20	4.73	519.80	4.36	347.20	9.60	99.88	0.67	0.01	0.08	0.00	0.83
5.55MPABC150	122338.52	6995.92	0.05	0.06	0.00	0.09	0.00	0.01	446.01	28.25	530.40	5.04	515.80	5.10	357.10	12.79	102.75	0.66	0.01	0.09	0.00	

5.55MPABC151	151264,00	9139,00	0,04	0,06	0,00	0,00	0,08	0,00	0,65	0,01	510,38	24,25	504,10	4,61	506,60	4,23	296,20	7,29	99,50	0,65	0,01	0,08	0,00	0,89
5.55MPABC176	219276,00	14150,00	0,03	0,06	0,00	0,00	0,08	0,00	0,65	0,01	495,40	29,94	506,60	5,02	506,30	5,30	226,00	6,83	100,06	0,65	0,01	0,08	0,00	0,77
5.55MPABC128	51029,33	2610,86	0,07	0,06	0,00	0,00	0,08	0,00	0,65	0,01	517,25	43,20	503,40	4,82	505,90	7,44	472,80	30,68	99,50	0,65	0,01	0,08	0,00	0,53
5.55MPABC089	156225,84	9249,89	0,04	0,06	0,00	0,00	0,08	0,00	0,65	0,01	492,69	24,21	507,20	4,56	505,40	4,07	404,60	9,22	100,35	0,65	0,01	0,08	0,00	0,92
5.55MPABC153	128996,17	7302,47	0,04	0,06	0,00	0,00	0,08	0,00	0,64	0,01	491,92	27,72	505,80	4,72	504,50	4,78	318,10	12,06	100,26	0,64	0,01	0,08	0,00	0,80
5.55MPABC155	142455,00	8489,00	0,04	0,06	0,00	0,00	0,08	0,00	0,64	0,01	480,27	29,74	507,50	4,94	504,20	5,22	275,40	9,61	100,65	0,64	0,01	0,08	0,00	0,77
5.55MPABC157	173113,39	10228,72	0,03	0,06	0,00	0,00	0,08	0,00	0,64	0,01	498,48	24,77	501,90	4,60	502,70	4,22	323,10	8,73	99,84	0,64	0,01	0,08	0,00	0,89
5.55MPABC138	121806,09	8909,46	0,04	0,06	0,00	0,00	0,08	0,00	0,64	0,01	513,44	50,85	496,00	5,75	499,70	8,85	180,80	7,69	99,25	0,64	0,01	0,08	0,00	0,54
5.55MPABC149	59942,00	3653,00	0,15	0,06	0,00	0,00	0,08	0,00	0,62	0,02	496,17	67,94	490,80	5,31	492,50	11,86	54,40	10,36	99,65	0,62	0,02	0,08	0,00	0,37
5.55MPABC102	174469,10	10140,99	0,03	0,06	0,00	0,00	0,08	0,00	0,62	0,01	478,32	25,55	490,50	4,66	489,40	4,34	245,20	5,50	100,22	0,62	0,01	0,08	0,00	0,88
5.55MPABC178	95676,42	5271,63	0,03	0,05	0,00	0,00	0,08	0,00	0,62	0,01	351,33	27,40	515,50	4,79	488,10	4,57	179,70	6,66	105,32	0,62	0,01	0,08	0,00	0,81
5.55MPABC156	144685,00	8620,00	0,04	0,06	0,00	0,00	0,08	0,00	0,62	0,01	478,71	30,90	488,70	4,36	487,40	5,04	275,70	14,03	100,27	0,62	0,01	0,08	0,00	0,71
5.55MPABC117	180341,00	11109,00	0,04	0,06	0,00	0,00	0,08	0,00	0,62	0,01	497,71	26,70	483,90	4,65	487,40	4,54	205,40	4,72	99,28	0,62	0,01	0,08	0,00	0,85

ANEXO4: Imagens BSK de zircões detríticos

The dark mineral is anatase

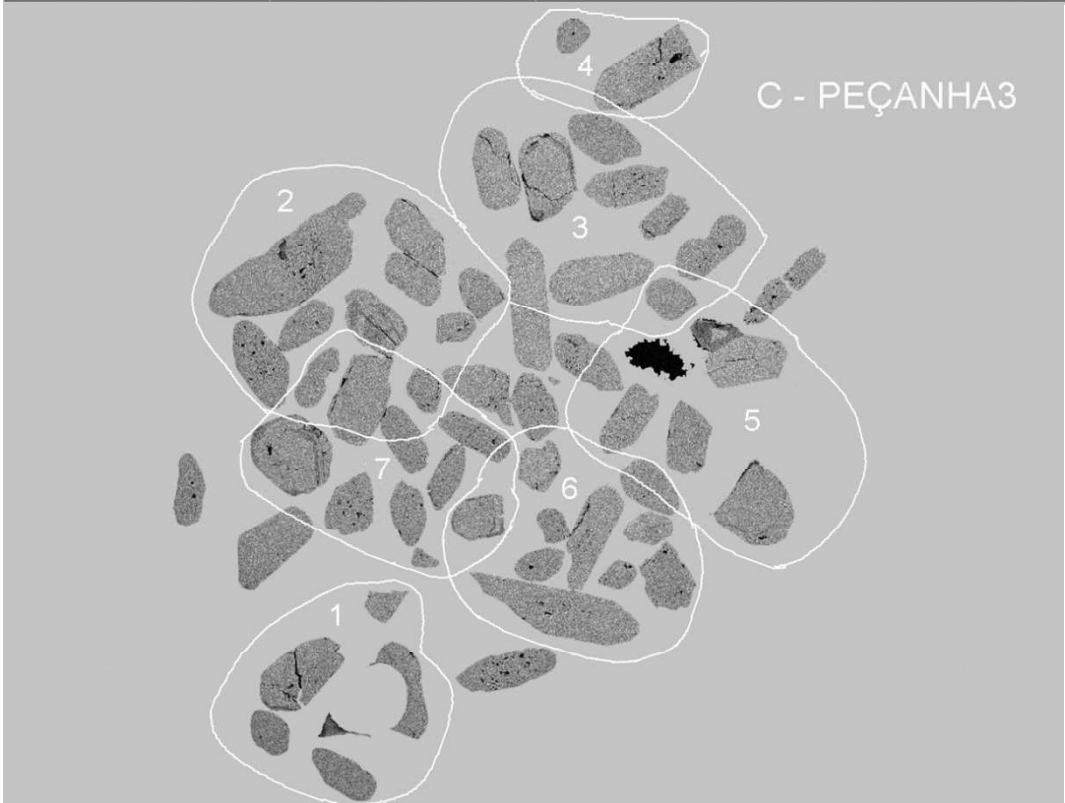
CINZAS



SEM HV: 15.0 kV	Det: BSE		VEGA3 TESCAN
Date(m/d/y): 11/10/13	SEM MAG: 125 x	500 μ m	
	View field: 2.53 mm		

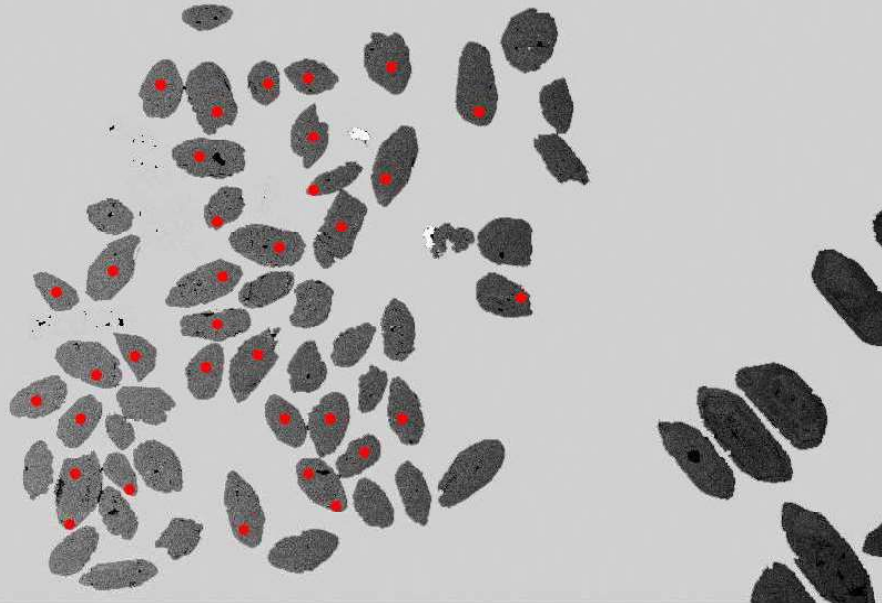


SEM HV: 15.0 kV	Det: BSE		VEGA3 TESCAN
Date(m/d/y): 11/10/13	SEM MAG: 138 x	500 µm	CMCA UWA
	View field: 2.29 mm		



SEM HV: 15.0 kV	Det: BSE		VEGA3 TESCAN
Date(m/d/y): 11/10/13	SEM MAG: 127 x	500 µm	CMCA UWA
	View field: 2.48 mm		

F - TIGRE1



200 μ m

CMCA @ UWA Zeiss 1555 VPSEM

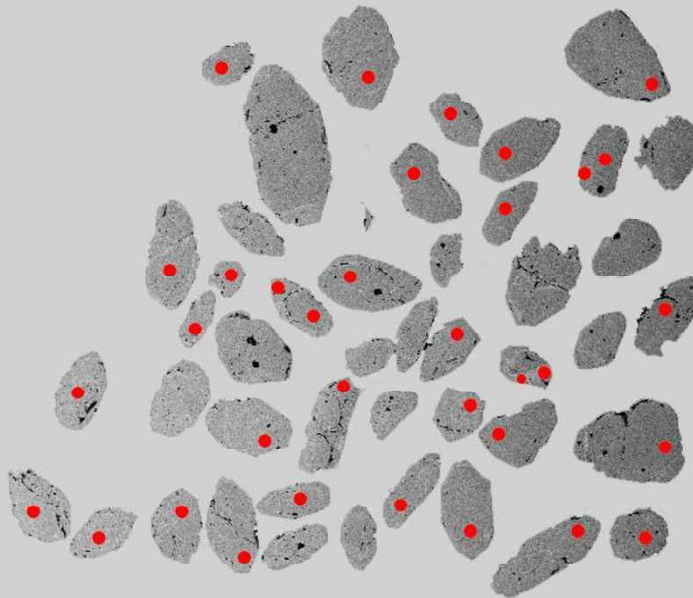
EHT = 15.00 kV

WD = 13.6 mm Mag = 135 X
Noise Reduction = Pixel Avg.
N = 1 Scan Speed = 10

Signal A = QBSD
Chamber = 5.03e-005 mbar
Aperture Size = 30.00 μ m

Date :9 Nov 2013
Filament Age = 11620.25 Hours
Gun Vacuum = 1.56e-010 mbar

G - CANDONGA



200 μ m

CMCA @ UWA Zeiss 1555 VPSEM

EHT = 15.00 kV

WD = 13.6 mm Mag = 151 X
Noise Reduction = Pixel Avg.
N = 1 Scan Speed = 10

Signal A = QBSD
Chamber = 4.91e-005 mbar
Aperture Size = 30.00 μ m

Date :9 Nov 2013
Filament Age = 11620.43 Hours
Gun Vacuum = 1.54e-010 mbar

ANEXO5: Imagens BSK de zircões magmáticos

JAMBREIRO



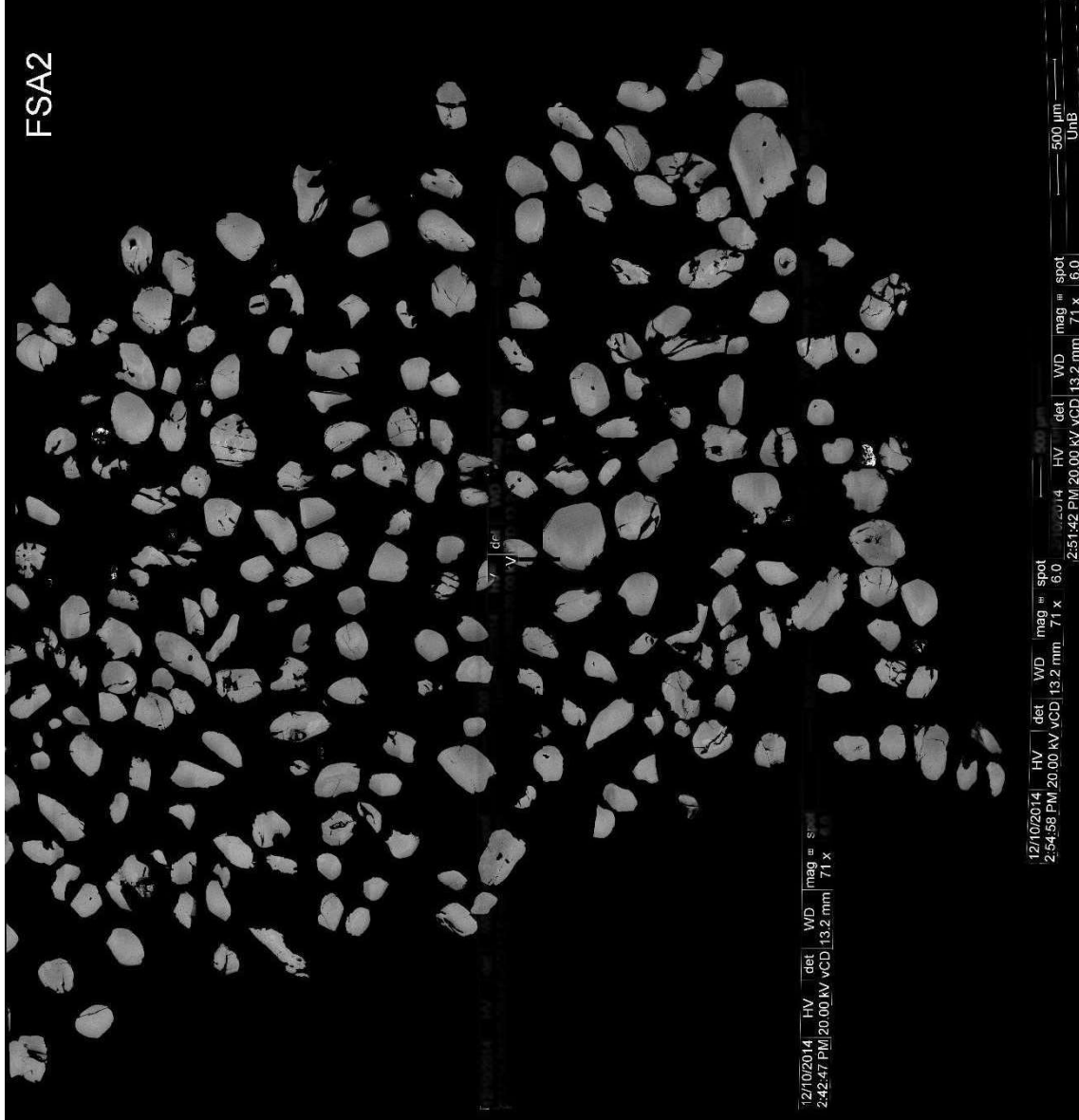
12/10/2014 HV def WD mag # spot
11:20:56 AM 20.00 kV/VCD 13.2 mm 100 x 6.0
500 μm
12/10/2014 HV def WD mag # spot
11:17:29 AM 20.00 kV/VCD 13.2 mm 100 x 6.0
500 μm
UnB



FSA1

12/
3:1

12/10/2014 3:20:57 PM 20.00 kV vCD 13.2 mm det vCD mag 80x spot 6.0
/10/2014 3:25:02 PM 20.00 kV vCD 13.2 mm det vCD mag 80x spot 6.0
500 μm UnB 500 μm det vCD mag 80x spot 6.0
500 μm UnB 500 μm det vCD mag 80x spot 6.0



FSA2

12/10/2014 HV det WD mag^m spot
2:42:47 PM 20.00 kV vCD 13.2 mm 71 x

12/10/2014 HV det WD mag^m spot
2:54:58 PM 20.00 kV vCD 13.2 mm 71 x 6.0
2:51:42 PM 20.00 kV vCD 13.2 mm 71 x 6.0

500 μm
Unb

CinzasBase



12/10/2014 HV WD mag spot
2:00:30 PM 20.00 kV 13.2 mm 90 x 6.0

500 μm

UL014

2:11:51 PM

HV

20.00 kV

det

vCD

WD

13.2 mm

mag

90 x

spot

6.0

500 μm

UnB

Peçanha4

