



**ANÁLISE CONVENCIONAL DE MINERAIS PESADOS APLICADA AO ESTUDO
DA PROVENIÊNCIA DOS ARENITOS DO ANDAR ALAGOAS, BACIA DE
CAMPOS**

Porto Alegre, 2014

RAFAEL NIEMEYER

**ANÁLISE CONVENCIONAL DE MINERAIS PESADOS
APLICADA AO ESTUDO DA PROVENIÊNCIA DOS
ARENITOS DO ANDAR ALAGOAS, BACIA DE
CAMPOS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Dorneles Remus

Porto Alegre, 2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “ANÁLISE CONVENCIONAL DE MINERAIS PESADOS APLICADA AO ESTUDO DA PROVENIÊNCIA DOS ARENITOS DO ANDAR ALAGOAS, BACIA DE CAMPOS”, elaborado por “RAFAEL NIEMEYER”, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Carla Porcher

Prof. Dr. Antonio Pedro Viero

MSc. Sergio Junges

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Niemeyer, Rafael

Análise convencional de minerais pesados aplicada ao estudo da proveniência dos arenitos do Andar Alagoas, Bacia de Campos . / Rafael Niemeyer. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014.
[90 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2014.

Orientador(es): Marcus Vinícius Dorneles Remus

1. Proveniência Sedimentar 2. Minerais Pesados 3. Bacia de Campos 4. Andar Alagoas I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Veleida Ana Blank

CRB 10/571

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais e minha irmã por todo apoio incondicional. Meus agradecimentos aos colegas de barra Jade, Raquel, Denise, Pedrinho, Cristine, Diego, Marco, Melissa, Paulinho, Laércio, Marcos, Andreas e Airan companheiros de trabalho e amigos para a vida toda. Aos colegas formandos, em especial: Pedro Coveiro, Lucas, Fábria, Ana, Petry, Fernandinho, Leco e Carrel, que a partir de agora começa outra jornada para nós. Aos colegas de bolsa Rafa, Guilherme, Cris, Eliel, Tamara e Mariana, por toda a ajuda e conselhos. À Cris Zatt, por sua disposição e paciência nas correções da monografia. Ao prof. Marcus Remus, pela oportunidade e suporte na elaboração deste trabalho. Ao técnico Gilberto, por sua dedicação e atenção ao longo do projeto. Agradeço à PETROBRAS-ANP pela disponibilização das amostras para utilização neste trabalho. E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho objetiva contribuir na identificação das litologias-fonte para a definição da proveniência dos arenitos do Andar Alagoas da Bacia de Campos, utilizando a análise convencional de minerais pesados. Foram analisadas 92 amostras de arenitos, incluindo calha e testemunho. As amostras foram peneiradas na fração areia fina à muito-fina e posteriormente utilizou-se líquidos densos para separar a fração de minerais pesados dos leves. A identificação foi realizada em microscópio petrográfico com a quantificação de 300 grãos por amostra. Entre os principais minerais encontrados estão granada, zircão, apatita, rutilo, hornblenda, augita e epidoto, e minoritariamente titanita, turmalina, estauroлита, tremolita, actinolita, monazita, silimanita, andaluzita e cianita. O GZi em geral é alto indicando contribuição de rochas metamórficas e subordinadamente granitos na área-fonte. O ATi, predominantemente elevado, indica que os processos intempéricos na área-fonte não foram agressivos a ponto de dissolver a apatita. O ARi predominantemente baixo indica que a abrasão foi pequena e que não houve transporte por grandes extensões. Poucas amostras com apatita mais arredondada indicam que houve períodos com maior distância de transporte, podendo estar relacionados com mudanças do percurso do rio devido a eventos tectônicos nas áreas-fonte. O índice ZTR é baixo mostrando que os sedimentos que alimentaram a bacia são de primeiro ciclo, com pouca expressividade de rochas sedimentares policíclicas da área-fonte. A abundância de minerais como hornblenda, augita e epidoto aponta para uma importante participação de rochas máficas na área-fonte. A paragênese de minerais pesados encontrados nos arenitos e seus respectivos índices indica que as áreas-fonte com maior potencial foram: rochas metamórficas de médio a alto grau, granitos e máficas pertencentes ao Arco Magmático Rio Negro, Terreno Oriental no Orógeno Ribeira e Domínio Tectônico Cabo Frio, podendo ter participação de granitos do Orógeno Araçuaí.

Palavras-Chave: Proveniência Sedimentar, Minerais Pesados, Bacia de Campos, Andar Alagoas.

ABSTRACT

This work aimed to contribute for the identification of source lithologies in order to define the sandstones provenance at Alagoas Stage in the Campos Basin, using conventional heavy mineral analysis. Ninety two sandstones samples were analyzed including boreholes and cuts. The samples were sieved in a fine to very fine sand fraction and later processed in a dense liquids in order to separate the heavy minerals fractions from the light minerals. The identification was done in a petrographic microscope with a quantification of 300 grains by sample. The main minerals found are garnet, zircon, apatite, rutile, hornblende, augite and epidote, and a lesser amount of titanite, tourmaline, staurolite, tremolite, actinolite, mozanite, sillimanite, andaluzite and kyanite. In general the GZi is high indicating a high contribution of metamorphic rocks and minor granites in the source area. A dominantly high ATi shows that the weathering processes in source area were not aggressive enough to dissolve apatite. The dominantly low ARi a small abrasion and hence that sediment was transported for a short distance. Scarce samples with rounded apatite indicate a longer distance transport periods that may be related to changes in the river course due to tectonic events in the source area. The low ZTR index indicates that the sediments that feed the basin belong to the first cycle, with small expression of the polycyclic sedimentary rocks. The abundance of minerals such as hornblende, augite and epidote point out to an important role of mafic rocks in the source area. The heavy mineral paragenesis found in the sandstones and their respective index indicate that the potential source areas were: medium to high grade metamorphic rocks, granites and mafic rocks from the Rio Negro Magmatic Arc, Oriental Terrain in the Ribeira Orogen and the Cabo Frio Tectonic Domain, and it may have the Araçuaí Orogen Granite participation.

Keywords: Sedimentary Provenance, Heavy Minerals, Campos Basin, Alagoas Stage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da Bacia de Campos (Fonte ANP/BDEP, fev. 2010).

Figura 2: Coluna estratigráfica da Bacia de Campos (Winter *et al.*, 2007).

Figura 3: Mapa da compartimentação tectônica da região sudeste brasileira, modificado de Heilbron *et al.* 2004a, b. Legenda: 1-Coberturas Fanerozóicas; 2- Rochas Alcalinas do K/Eoceno; 3 a 4: Faixa Brasília: 3-Domínio Externo, 4- Domínio Interno; 5 a 7: Cráton do São Francisco e Domínio autóctone: 5- Megasseqüência Andrelândia autóctone, 6- Supergrupo Bambuí, 7- Embasamento cratônico; 8 a 15: terrenos da Faixa Ribeira: 8- Terreno Ocidental/Domínio Andrelândia, 9- Terreno Ocidental/Domínio Juiz de Fora, 10- Terreno Paraíba do Sul, 11- Terreno Apiaí, 12- Terreno Embú, 13- Terreno Oriental: Ca-Domínio Cambuci, IT- Klippe Italva, Cos-Domínio Costeiro, 14- Terreno Oriental/Arco magmático Rio Negro, 15- Terreno Cabo Frio. (Tupinambá *et al.*, 2007)

Figura 4: Localização esquemática dos sítios onde atuam os principais processos que controlam a composição das rochas sedimentares clásticas (modificado de Morton & Hallsworth, 1994 apud Remus *et al.*, 2008).

Figura 5: Estrutura para separação de minerais pesados por sedimentação gravitacional (adaptado de Mange & Maurer, 1992).

Figura 6: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 01.

Figura 7: (A) Zircão com inclusões. (B) Grãos de apatitas prismático curto sub-arredondadas. (C) Titanita prismático curto sub-angulosa. (D) Titanita prismático médio angulosa. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 01.

Figura 8: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 01.

Figura 9: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 02.

Figura 10: (A) Apatita e turmalina. (B) Zircão subédrico e granada. (C) Grão de augita. (D) Grão de epidoto. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 02.

Figura 11: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 02.

Figura 12: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 03.

Figura 13: (A) Grãos de granada com inclusões granulares. (B) Hornblenda, rutilo e granada. (C) Zircão subédrico. (D) Grão de hornblenda. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 03.

Figura 14: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 03.

Figura 15: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 04.

Figura 16: (A) Zircões, granadas e hornblenda. (B) Grão de apatita. (C) Grão de augita e hornblenda. (D) Grão de epidoto. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 04.

Figura 17: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 04.

Figura 18: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 05.

Figura 19: (A) Granada com inclusões. (B) Grão de rutilo com biotita. (C) Grão de zircão subédrico e anédrico. (D) Apatita fraturada. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 05.

Figura 20: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 05.

Figura 21: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 06

Figura 22: (A) Grão de granada com inclusões prismáticas e granulares levemente orientadas. (B) Apatita e granadas. (C) Grãos de zircões. (D) Augita corroída. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 06.

Figura 23: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 06.

Figura 24: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 07.

Figura 25: (A) Granada facetada. (B) Apatita arredondada. (C) Zircão subédrico. (D) Grãos de rutilo vermelho e amarelado. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 07.

Figura 26: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 07.

Figura 27: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 08.

Figura 28: (A) Turmalina azul. (B) Grãos de zircões. (C) Monazita e rutilo. (D) Grão de rutilo acicular. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 08.

Figura 29: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 08.

Figura 30: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 09.

Figura 31: (A) Apatitas arredondadas, granada e augita. (B) Grãos de hornblendas. (C) Grão de augita. (D) Grão de epidoto. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 09.

Figura 32: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 09.

Figura 33: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 10.

Figura 34: (A) Granada com inclusões granulares. (B) Rutilo com inclusões granulares. (C) Zircão com inclusões. (D) Hornblenda marrom. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 10.

Figura 35: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 10.

Figura 36: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 11.

Figura 37: (A) Granadas, turmalina e apatita. (B) Zircão com grãos de biotita. (C) Apatita arredondada. (D) Titanita e granada. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 11.

Figura 38: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 11.

Figura 39: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 12.

Figura 40: (A) Grãos de granada. (B) Granada rosada, apatita arredondada e epidoto. (C) Grão de rutilo. (D) Grão de zircão. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 12.

Figura 41: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 12.

Figura 42: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 13.

Figura 43: (A) Granada com inclusões. (B) Grão de granada e zircão. (C) Grãos de apatitas. (D) Grão de hornblenda. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 13.

Figura 44: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 13.

Figura 45: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 14.

Figura 46: (A) Grãos de granada e zircão. (B) Grãos de granadas e zircões. (C) Granada rosada e zircão zonado. (D) Grão de rutilo. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 14.

Figura 47: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 14.

Figura 48: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 15.

Figura 49: (A) Grão de granada com inclusões granulares. (B) Apatita e turmalina. (C) Grão de zircão quebrado e granada com inclusões. (D) Apatita, rutilo, hornblenda e biotita. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 15.

Figura 50: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 15.

Figura 51: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 16.

Figura 52: (A) Granada facetada. (B) Grão de turmalina. (C) Grão de zircão. (D) Grão de rutilo. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 16.

Figura 53: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 16.

Figura 54: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 17.

Figura 55: (A) Grão de turmalina. (B) Grão de zircão. (C) Zircão com zonação. (D) Grão de rutilo. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 17.

Figura 56: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 17.

Figura 57: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 18.

Figura 58: (A) Grão de rutilo e turmalina. (B) Grão de zircão. (C) Grãos de monazitas e granada. (D) Grão de hornblenda. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 18.

Figura 59: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 18.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Ordem de estabilidade dos minerais pesados (Pettijohn *et al.* 1973).

Quadro 2: Índices de minerais pesados de proveniência, como proposto por Morton & Hallsworth (1994, 1999).

LISTA DE ABREVIATURAS

Ap	apatita
Aug	augita
Bt	biotita
Ep	epidoto
Hb	hornblenda
Mz	monazita
Rut	rutilo
Tit	titanita
Tur	turmalina
Zr	zircão

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	2
1.1	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	2
1.2	HIPÓTESE	2
1.3	OBJETIVOS	2
1.4	TÉCNICAS DE SOLUÇÃO	2
1.5	CONTEXTO GEOLÓGICO	3
1.5.1	Bacia de Campos	3
1.5.2	Província Mantiqueira	6
1.5.2.1	Orógeno Ribeira	7
1.5.2.2	Orógeno Araçuaí	11
1.5.3	Andar Alagoas	14
1.6	DEFINIÇÕES	15
1.6.1	Minerais Pesados	15
1.6.2	Proveniência de minerais pesados	16
2.	METODOLOGIA	20
2.1.	Montagem das lâminas	20
2.2.	Quantificação	21
3.	RESULTADOS	23
4.	DISCUSSÕES	74
5.	CONCLUSÕES	76
6.	REFERÊNCIAS	77

1. INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A proveniência dos arenitos de idade Aptiana, mais especificamente do andar local Alagoas, da Bacia de Campos ainda é pouco conhecida, o presente trabalho visa áreas-fonte dessas rochas.

1.2 HIPÓTESE

Acredita-se que a proveniência dos arenitos do estudo tenha origem de rochas derivadas da Província da Mantiqueira. A área em questão engloba os orógenos Araçuaí e Ribeira, podendo as áreas-fonte pertencerem a um ou aos dois segmentos.

1.3 OBJETIVOS

O trabalho tem como objetivo estudar a distribuição das associações de minerais pesados dos arenitos do Andar Alagoas ao longo da Bacia de Campos, buscando parâmetros precisos para determinação da proveniência dessas rochas.

1.4 TÉCNICAS DE SOLUÇÃO

A análise de proveniência é muito utilizada no estudo de bacias sedimentares e na determinação de potenciais reservatórios de hidrocarbonetos. O estudo de proveniência em arenitos visa determinar áreas-fonte e das rotas de distribuição das areias. A diversidade de minerais pesados encontrados em arenitos e a ocorrência de paragêneses diagnósticas de rochas-fonte particulares torna a análise de minerais pesados a técnica mais sensível e robusta aplicada na análise de proveniência (Morton, 1985; Mange & Maurer, 1992; Morton & Hallsworth, 1994).

1.5 CONTEXTO GEOLÓGICO

1.5.1 Bacia de Campos

A Bacia de Campos é uma dentre uma série de bacias formadas ao longo da margem sudeste brasileiras durante a ruptura do Gondwana, com início no Cretáceo Inferior. Localiza-se no litoral norte do estado do Rio de Janeiro e a sul do estado do Espírito Santo, limitada a norte pelo Arco de Vitória que a separa da Bacia do Espírito Santo e, limita-se a sul pelo Arco de Cabo Frio separando-a da Bacia de Santos (Fig. 1).

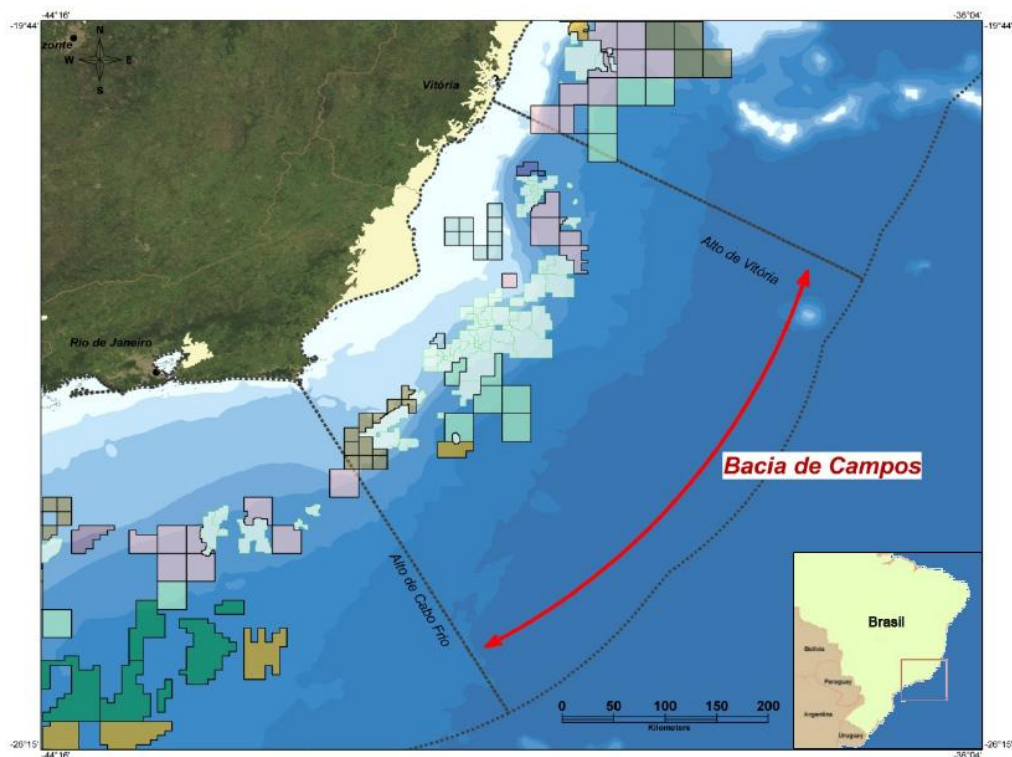


Fig. 1: Localização da Bacia de Campos (Fonte ANP/BDEP, fev. 2010).

O embasamento cristalino da bacia é composto por gnaisses de idade Pré-Cambriana pertencentes à Província Proterozóica da Ribeira. O embasamento econômico é caracterizado pelos basaltos da Formação Cabiúnas, depositados nos andares Rio da Serra e Aratu inferior, que cobrem discordantemente o embasamento Pré-Cambriano (Winter *et al.*, 2007).

Segundo Winter *et al.* (2007) o arcabouço estratigráfico da Bacia de Campos pode ser dividido em três supersequências: rifte, pós-rifte e drifte, associadas a diferentes fases de formação da bacia. Podemos observar esses aspectos detalhadamente na Figura 2.

A supersequência rifte, de idade Neocomiana, é de origem continental composta por basaltos da Formação Cabiúnas, além de expressiva quantidade de sedimentos siliciclásticos e carbonáticos da porção inferior do Grupo Lagoa Feia de idade barremiana a aptiana, conforme Winter *et al.* (2007). Essa porção inferior é composta pelas Formações Itabapoana, Atafona e Coqueiros.

A supersequência Pós-rifte limita-se na base pela discordância pré-neo-Alagoas separando-a das rochas de origem lacustre. É constituída essencialmente pelas formações Itabapoana, Gargaú, Macabu que foram definidos por Winter *et al.* (2007) e Formação Retiro, definido por Rangel *et al.* (1994), todas pertencentes ao Grupo Lagoa Feia, depositadas no andar Alagoas.

A Formação Itapaboana representa os conglomerados e arenitos proximais da bacia e de borda de falha. A formação Gargaú está representada por rochas pelíticas tais como folhelhos, siltitos e margas, intercalados por arenitos e calcilutitos que gradam distalmente para os calcários da Formação Macabu. Essa última é formada predominantemente por calcários (estromatólitos e laminitos microbiais) depositados em paleoambiente subaquoso árido e raso. Essas formações foram depositadas no andar Aptiano médio e superior (equivalente ao andar local Alagoas médio e superior).

No topo desta supersequência está a Formação Retiro, marcada pelo espesso pacote de evaporitos composto essencialmente por anidrita e halita, depositado no andar Albiano inferior (equivalente ao andar local Alagoas superior).

A supersequência Drifte compreende os sedimentos marinhos depositados sob um regime de subsidência térmica associada a tectonismo adiastrófico (Winter *et al.*, 2007). Segundo Grassi *et al.* (2004) essa supersequência pode ser dividida em quatro subsequências: Carbonática Nerítica Rasa, Hemipelágica, Transgressiva e Progradante.

A sequência Carbonática Nerítica (Eo e Mesoalbiano) inclui parte basal da Formação Macaé, constituída por calcarenitos oolíticos e calcilutitos (Membro Quissamã). A sequência Hemipelágica, correspondente a parte superior da Formação Macaé, com deposição entre o Neoalbiano e o Eoturoniano, evidencia um aprofundamento da coluna d'água da bacia e inclui margas, calcilutitos e folhelhos (Membro Outeiro) e arenitos turbidíticos (Arenito Namorado). Grassi *et al.* (2004) caracterizou como Membro Quissamã e Membro Outeiro que posteriormente foi nomeado de Formação Quissamã e Formação Outeiro por Winter *et al.* (2007).

O Grupo Campos, no qual recobre discordantemente a Formação Macaé, inclui a quase totalidade das sequências Transgressiva e a Progradante. A primeira é formada essencialmente por rochas pelíticas e arenitos turbidíticos com idades do Mesoturoniano ao Eopaleoceno. A sequência Progradante é constituída por sedimentos clásticos progradantes depositados entre o Paleoceno e o Holoceno (Grassi *et al.*, 2004).

No Campo de Jubarte, Bacia de Campos, Fontanelli (2007) estudou os arenitos reservatórios de água profunda de idade maastrichtiana, utilizando técnicas de análise de proveniência sedimentar (petrografia quantitativa, análise convencional de minerais pesados, análise de composição química de granadas e geocronologia U-Pb em zircões).

Os arenitos estudados são de composição quartzo-feldspática, pobremente selecionados, com grãos sub-angulares a angulares indicando pouco transporte sedimentar, provenientes de embasamento soerguido (*sensu* Dickinson, 1985). A assembleia de minerais pesados desses arenitos (granada, cianita, apatita, turmalina e zircões, e em menor quantidade silimanita, estauroilita, andaluzita, monazita, entre outros) juntamente com a composição das granadas e idades dos zircões, indicam proveniência a partir de rochas metamórficas de alto e médio grau, derivadas de metassedimentos siliciclásticos, incluindo metapelitos saturados em alumínio, granitóides e minoritariamente rochas máficas pertencentes ao Domínio Tectônico Cabo Frio e ao terreno oriental do Orógeno Ribeira.

A direção principal do suprimento sedimentar de sudoeste para nordeste, baseado na abundante presença de cianita no Domínio Tectônico Cabo Frio.

A área-fonte dos arenitos do Campo de Jubarte era relativamente próxima à bacia e possuía tectonismo ativo. O soerguimento rápido permitiu a erosão de grandes volumes de sedimentos sob regimes de intemperismo químico. A alta variação de frequência do índice ATi mostra derivação direta dos arenitos de Jubarte a partir de um sistema aluvial relativamente proximal (Fontanelli *et al.*, 2009).

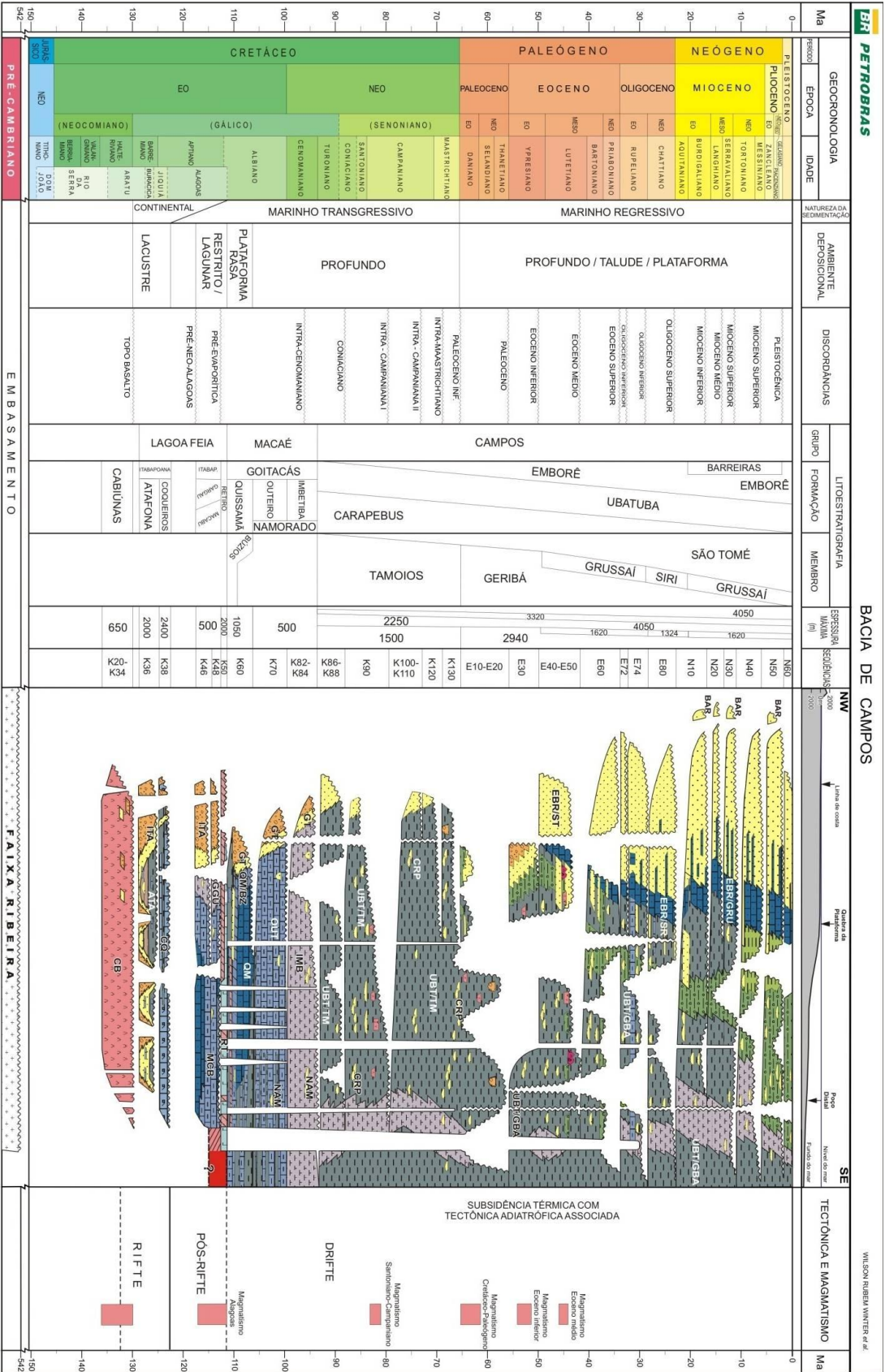


Fig. 2: Coluna estratigráfica da Bacia de Campos (Winter et al., 2007).

1.5.2 Província Mantiqueira

A Província Mantiqueira, definida por Almeida *et al.* (1977, 1981), é paralela à costa atlântica e se estende desde Montevideo (Uruguai) até o sul da Bahia. Faz limite com as províncias Tocantins, São Francisco e Paraná, e é bordejada, a leste, pela margem continental e pelas bacias costeiras do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas.

A província é um registro de uma longa e complexa evolução do Neoproterozóico na América do Sul (900-520 Ma) preservando remanescentes de unidades paleotectônicas arqueanas, paleoproterozóicas e mesoproterozóicas. Este sistema é constituído pelos orógenos Araçuaí, Ribeira, Dom Feliciano e São Gabriel. Para o presente estudo somente os orógenos Araçuaí e Ribeira serão destacados devido à proximidade dos pontos amostrados.

1.5.2.1 Orógeno Ribeira

A compartimentação tectônica proposta para a Faixa Ribeira neste segmento compreende quatro terrenos tectono-estratigráficos imbricados para NW/W, em direção ao Cráton do São Francisco, durante as várias etapas de convergência brasileiras: Ocidental (margem são franciscana retrabalhada), Terreno Paraíba do Sul, Terreno Oriental e Terreno Cabo Frio (Fig. 3) (Heilbron *et al.*, 2000; Trouw *et al.*, 2000). Os três primeiros foram amalgamados entre 605 e 580 Ma (Machado *et al.*, 1996; Heilbron & Machado, 2003), enquanto que o último só foi tardiamente colado ao orógeno, já no Cambriano (Schmitt *et al.* 2004).

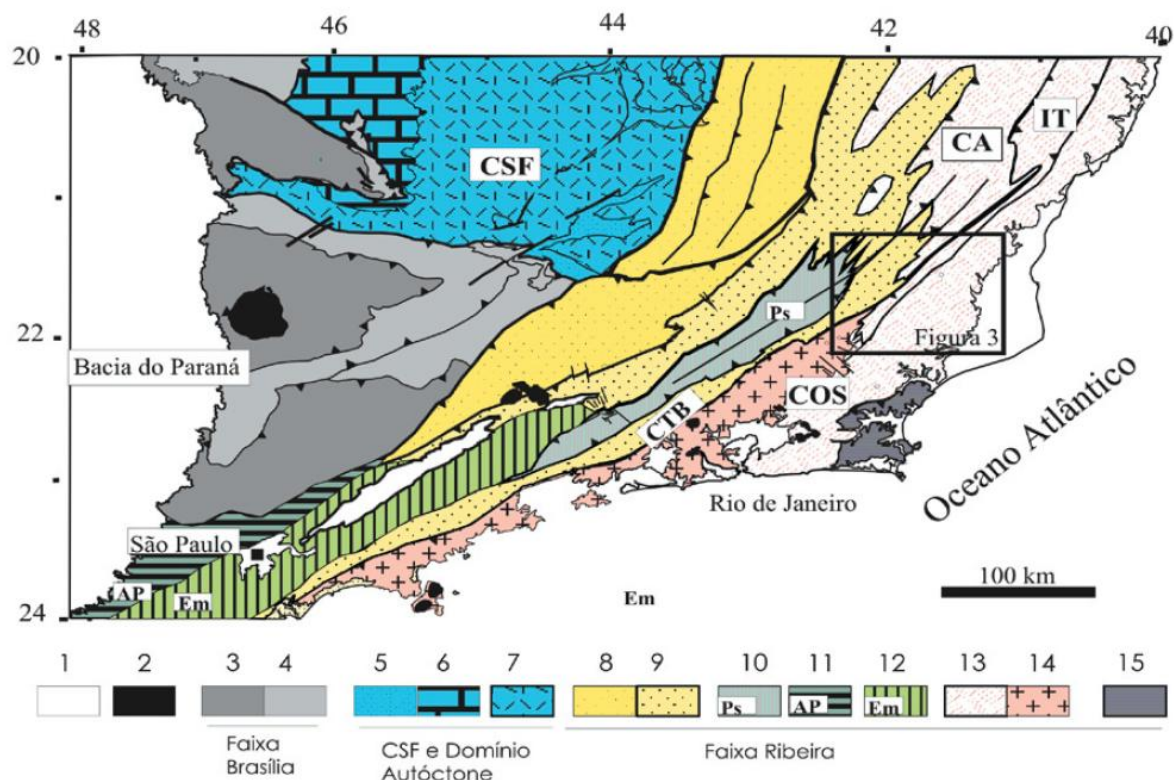


Fig. 3: Mapa da compartimentação tectônica da região sudeste brasileira, modificado de Heilbron *et al.* 2004a, b. Legenda: 1-Coberturas Fanerozóicas; 2- Rochas Alcalinas do K/Eoceno; 3 a 4: Faixa Brasília: 3-Domínio Externo, 4- Domínio Interno; 5 a 7: Cráton do São Francisco e Domínio autóctone: 5- Megassequência Andrelândia autóctone, 6- Supergrupo Bambuí, 7- Embasamento cratônico; 8 a 15: terrenos da Faixa Ribeira: 8- Terreno Ocidental/Domínio Andrelândia, 9- Terreno Ocidental/Domínio Juiz de Fora, 10- Terreno Paraíba do Sul, 11- Terreno Apiaí, 12- Terreno Embú, 13- Terreno Oriental: Ca- Domínio Cambuci, IT- Klippe Italva, Cos-Domínio Costeiro, 14- Terreno Oriental/Arco magmático Rio Negro, 15- Terreno Cabo Frio. (Tupinambá *et al.*, 2007)

O terreno Ocidental possui o seu embasamento constituído de *greenstone belts* arqueanos, orto-gnaisses migmatíticos arqueanos a paleoproterozóicos orto-gnaisses granulíticos paleoproterozóicos do Complexo Juiz de Fora. O embasamento está sobreposto por metassedimentos das bacias paleoproterozóicas a mesoproterozóicas de São João Del Rey e Carandaí e pelos metassedimentos e meta-ígneas máficas da Megassequência Andrelândia. O terreno Ocidental apresenta intrusões graníticas sin a tardi-orogências. O metamorfismo varia do fácies xisto verde próximo a borda do Cráton São Francisco até o fácies granulito de pressão média próximo ao limite com o terreno Oriental e Paraíba do Sul (Heilbron *et al.*, 2000; Heilbron & Machado, 2003).

A *klippe* Paraíba do Sul é uma sinforme que sobrepõe o terreno Ocidental. O embasamento pré-1,7 Ga neste compartimento é representado por ortognaisses graníticos a granodioríticos do Complexo Quirino (2,2 Ga) localizados na base de

uma megaestrutura sinclinal. Para o topo da estrutura, grandes dobras reclinadas, com flancos invertidos, intercalam ortognaisses do Complexo Quirino com metassedimentos do Grupo Paraíba do Sul (Valladares *et al.*, 2003; Tupinambá *et al.*, 2003a, 2003b), que são constituídos por mármore, biotita-granada gnaisses e biotita-muscovita xistos contendo granada e silimanita, lentes de gonditos e rochas calcico-silicáticas. Este terreno está metamorfizado no fácies anfibolito médio e contém corpos graníticos alongados tardi a pós-colisionais, intrudidos ao longo de zonas de cisalhamento (Heilbron *et al.*, 2000; Heilbron & Machado, 2003; Heilbron *et al.*, 2004; Moraes *et al.*, 2004).

O terreno Oriental, diferentemente dos outros terrenos, não possui embasamento, sendo inteiramente Neoproterozóico. O metamorfismo alterna entre fácies anfibolito a granulito. Pode ser subdividido em três domínios: Cambuci, Costeiro e Italva.

O Domínio Cambuci é representado por granada-biotita gnaisses com camadas intercaladas de mármore dolomítico e lentes menores de rochas calcico-silicáticas, gonditos e anfibolitos, metamorfizados na fácies anfibolito alto a granulito. Este domínio está justaposto tectonicamente ao Domínio Juiz de Fora, o contato é representado por uma zona de cisalhamento de baixo a médio ângulo, fortemente redobrada (Heilbron & Machado, 2003; Heilbron *et al.*, 2004).

O Domínio Costeiro é constituído de kinzigitos ricos em granada, silimanita e localmente cordierita, intercalados com quartzitos, rochas calcico-silicáticas e anfibolitos. Esse compartimento tectônico cavalga o Domínio Juiz de Fora/Terreno Ocidental na região serrana do Estado do Rio, e a partir de Itaocara (RJ) este domínio passa a cavalgar o Domínio Cambuci. Apresenta arcos magmáticos pré-colisionais (G1, exemplo: arco Rio Negro) desenvolvidos no período de 790 a 590 Ma, em resposta a subducção para leste da paleoplaca do São Francisco. Ao mesmo tempo, ocorria a deposição dos Domínios Paraíba do Sul e Cambuci em ambiente de ante-arco, do Domínio Italva em ambiente de retro-arco e do domínio Costeiro na margem passiva da paleoplaca do terreno Oriental. O metamorfismo neste terreno é no fácies granulito sob pressões baixas (Tupinambá *et al.*, 2000; Heilbron & Machado, 2003).

O Domínio Italva compreende granada-hornblenda-biotita gnaisses e espessas camadas de mármore calcítico intercalados a anfibolitos e hornblenda-biotita gnaisses. O metamorfismo situa-se no fácies anfibolito (Heilbron & Machado, 2003).

Os terrenos Ocidental e Oriental foram amalgamados ao Cráton São Francisco no período de 590 a 560 Ma, causando deformação e intrusão de granitóides ao longo de zonas de cisalhamento e alocando diversos corpos graníticos predominantemente tipo S no domínio Costeiro. Nomes locais para os granitóides e charnokitos sin-colisionais são Serra dos Órgãos, Desengano, Rio de Janeiro, Bela Joana, Angelim, entre outros (Silva & Cunha, 2001; Heilbron & Machado, 2003).

Durante a fase tardi-colisional de 560 a 545 Ma vários granitóides (e.g. Serra das Araras, Varre Sai, Santo Antonio de Padua) intrudiram nos terrenos Oriental e Ocidental. São granitos tipo S, foliados com enclaves de para-gnaisses e granitos tipo I foliados, com texturas miloníticas (Heilbron *et al.*, 2000; Silva & Cunha, 2001). No estágio pós-colisional de 545 a 500 Ma ocorreu intrusão de plútons menores, tipo I, também relacionados a zonas de cisalhamento nos terrenos Oriental e Paraíba do Sul (e.g. Getulandia) (Silva & Cunha, 2001). O final deste período corresponde ao estágio de colapso do orógeno (Heilbron *et al.*, 2000; Heilbron & Machado, 2003).

A última colisão registrada no orógeno Ribeira foi a amalgamação do Domínio Tectônico Cabo Frio ao terreno Oriental, no período de 530 a 490 Ma. Schmitt (2000) denominou esse evento de Orogenia Búzios, tendo afetado o domínio Costeiro e o terreno Paraíba do Sul, causando reativação de antigas estruturas e originando novas falhas transcorrentes (Machado & Gauthier, 1996). O Domínio Tectônico Cabo Frio possui características que o distinguem dos terrenos vizinhos do orógeno Ribeira: direção estrutural NW, ausência de grandes corpos graníticos sin a pós colisionais, presença de um embasamento Paleoproterozóico e paragêneses mineralógicas de alta temperatura e pressão média a alta, apresentando cianita e feldspato potássico nos granulitos peraluminosos (Schmitt, 2001; Heilbron *et al.*, 2004; Moraes *et al.*, 2004).

O embasamento Paleoproterozóico ocorre tectonicamente intercalado com rochas supracrustais neoproterozóicas. Contém uma unidade félsica dominante (Região dos Lagos), constituída de metagranitóides de composição monzogranítica, meta-quartzo-dioritos e meta-tonalitos; e uma unidade máfica subordinada (Forte São Mateus), constituída de granada-orto-anfibolitos e anfibólio-granada-diopsídio gnaisses com intercalações calcio-silicáticas e anfibolíticas (Schmitt *et al.*, 2004).

As rochas supracrustais neoproterozóicas são subdivididas nas unidades Búzios e Palmital. A unidade Búzios é a mais aluminosa, constituída por silimanita-cianita-granada-biotita gnaisses com intercalações calcio-silicáticas e anfibolíticas. A

unidade Palmital é constituída de gnaisses quartzo-feldspáticos com subordinadas intercalações aluminosas, rochas calcio-silicáticas e camadas quartzo-feldspáticas (Schmitt *et al.*, 2004).

1.5.2.2 Orógeno Araçuaí

A Faixa Araçuaí juntamente com sua contraparte africana, a Faixa Congo Ocidental, formavam um único orógeno brasileiro-panafricano: o Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. Após a abertura do Oceano Atlântico, a Faixa Araçuaí herdou os restos da crosta oceânica e o arco magmático. A duração da fase acrescional e colisional é calculada entre 625 e 575 Ma baseada em dados geocronológicos (Pedrosa-Soares *et al.*, 2001).

O embasamento inclui complexos granito-gnáissicos do Arqueano e Paleoproterozóico (Gouveia, Guanhões, Mantiqueira e Porteirinha), sequências tipo *greenstone belt* Arqueano, sequências predominantemente metassedimentares Paleoproterozóicas (Supergrupo Minas), granitos anorogênicos tardi-paleoproterozóicos relacionados à abertura do rifte Espinhaço e o Supergrupo Espinhaço.

O orógeno Araçuaí foi compartimentado em dois domínios: interno e externo. O domínio externo possui rochas supracrustais metamorizadas na fácies xisto verde a anfíbolito baixo. Neste domínio encontram-se os registros da fase *rift* (930-880 Ma) e de margem passiva (840-800 Ma), assinaladas pela presença de intrusões graníticas anorogênicas, enxames de diques máficos e pela deposição do grupo Macaúbas. O grupo Macaúbas é constituído de uma unidade basal proximal de depósitos glaciais (meta-conglomerados, quartzitos e meta-diamictitos) e por uma unidade distal transgressiva e vulcano sedimentar (quartzo-mica xistos, rochas calcio-silicáticas, grafita-xistos, mármore, meta-chert, cianita mica xistos com granada ou estauroлита, formações ferríferas bandadas (tipo Rapitan), anfíbolitos com assinatura geoquímica de assoalho oceânico e rochas meta-ultramáficas) (Pedrosa-Soares *et al.*, 2001; Leite *et al.*, 2004b).

A Formação Salinas constituída de conglomerados, grauvas e pelitos metamorizados na fácies xisto verde a anfíbolito, pode representar o registro de uma sedimentação sin- a tardi-orogênica (bacia intramontana ou ante-arco) ocorrida entre 640-570 Ma (Pedrosa-Soares *et al.*, 2005).

O domínio interno inclui a zona de sutura, o arco magmático e rochas supra-crustais depositadas em bacia de retro-arco, metamorfizados na fácies anfibolito alto a granulito. Possui um considerável volume de granitoides (Pedrosa-Soares *et al.*, 2001).

O Grupo Rio Doce, pertencente ao domínio interno, é constituído de meta-grauvacas, silimanita-granada (ou estauroлита)-mica xistos, e gnaisses (Heilbron *et al.*, 2004; Pedrosa-Soares *et al.*, 2005), correlacionados ao domínio Cambuci do orógeno Ribeira (Moraes *et al.*, 2004).

A unidade de origem meta-sedimentar é representada pelas rochas do Grupo Paraíba do Sul, que juntamente com o Complexo Jequitinhonha constituem o que denominaram de Complexo kinzigítico (Noce *et al.*, 2004). Este grupo é constituído por paragneisses aluminosos com intercalações de mármore, grafita, quartzitos, rochas calcio-silicáticas e orto-anfibolitos. O conteúdo de alumínio é variável e aumenta próximo à costa, onde ocorrem grafita-silimanita-cordierita-granada-biotita gnaisses (Féboli *et al.*, 1993). Granulitos charno-enderbíticos também ocorrem. As rochas foram metamorfizadas no fácies anfibolito alto a granulito, sob pressões baixas e com vários episódios de fusão parcial, durante a fase sin-colisional, entre 585- 569 Ma (Söllner *et al.*, 1987; Söllner *et al.*, 1989; Pedrosa-Soares *et al.*, 2001; Noce *et al.*, 2004).

No Orógeno Araçuaí são reconhecidos quatro estágios orogênicos denominados pré-colisional (630 - 580 Ma), sin-colisional (580 - 560 Ma), tardi-colisional (560 - 530 Ma) e pós-colisional (530 - 490 Ma). Estes estágios são caracterizados com base nas relações estruturais (em particular, com a foliação regional), assinaturas geoquímicas e isotópicas, e idades U-Pb das rochas que os representam (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos, 2000; Pedrosa-Soares *et al.*, 2001, 2008; Silva *et al.*, 2005)

No estágio pré-colisional (acrescionário) foi edificado o arco magmático tipo I, representado pela Suíte G1 e rochas vulcânicas do Grupo Rio Doce. A Suíte G1 é representada por granodioritos, tonalitos, granitos com enclaves máficos e alguns charnockitos. Alguns exemplos desses corpos são granito Brejatuba, tonalito Galiléia e tonalito São Vitor, entre outros (Pedrosa-Soares *et al.*, 2001, 2005).

O estágio sin-colisional, denominado Suíte G2, é caracterizado pela deformação e metamorfismo regionais, além de extensiva granitogênese do tipo S, que ocorreram entre 582 e 560 Ma (Nalini *et al.*, 2000, Pedrosa- Soares & Wiedemann-

Leonardos, 2000, Pedrosa-Soares *et al.*, 2001, Campos *et al.*, 2004, Silva *et al.*, 2005). A suíte é constituída essencialmente de granito peraluminoso (com granada onipresente e cordierita e/ou sillimanita frequentes), tendo granito a duas micas e granodiorito granatífero subordinados. Xenólitos e *roof-pendants* de rochas encaixantes são muito frequentes. Nomes locais para a suíte é granito Nanuque, leucogranito Carlos Chagas, entre outros (Pedrosa-Soares *et al.*, 2001). O arco Rio de Janeiro–Nanuque, embora descontínuo, caracteriza o desenvolvimento síncrono da colisão nos orógenos Araçuaí e Ribeira (Silva *et al.*, 2003, 2005).

A Suíte G3, tipo S, é produto de fusões parciais da Suíte G2 que ocorrem na fase tardi- a pós-colisional. As rochas típicas da Suíte G3 são leucogranitos com granada e/ou cordierita, pobres em micas e livres da foliação regional. Entretanto, variedades de granito micáceo, granatífero, com foliação incipiente, podem também pertencer a esta suíte. Plutons graníticos e granodioríticos com enclaves máficos (suíte G3 tipo I) intrudiram nas zonas de cisalhamento (Noce *et al.*, 2000).

No estágio pós-colisional ocorreram processos deformacionais (Marshak *et al.* 2006, Alkmim *et al.* 2007) e plutonismo relacionados ao colapso gravitacional (extensional) do Orógeno Araçuaí (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos, 2000, Pedrosa-Soares *et al.* 2001, Campos *et al.* 2004). Neste estágio formaram-se as suítes G4 e G5. A Suíte G4 do tipo S é constituída de plútons graníticos com pegmatitos ricos em turmalina. Sua ocorrência é restrita à parte norte, ao longo do limite entre os domínios externo e interno. A Suíte G5 representa um plutonismo tipo I ao longo de zonas de cisalhamento. As intrusões têm composição predominantemente granítica ou charnockítica, com termos enderbíticos e noríticos subordinados, que apresentam diversas evidências de misturas (*minglinge mixing*) de magmas e fluxo ígneo geralmente bem marcado.

1.5.3 Andar Alagoas

Em 1822, D'Omalius d'Halloy nomeou de Terrain Cretace, e posteriormente Cretáceo, para determinadas rochas brancas encontradas na Bacia de Paris que se estendem pela Europa.

A cronoestratigrafia do Cretáceo envolve 12 andares definidos com base em biozonas de amonóides: Berriasiano, Valanginiano, Hauteriviano, Barremiano, Aptiano, Albiano, Cenomaniano, Turoniano, Coniaciano, Santoniano, Campaniano e Maastrichtiano, os quais foram subdivididos em Cretáceo Inferior e Cretáceo Superior.

No Cretáceo Inferior, os andares locais definidos nas bacias sedimentares brasileiras são Rio da Serra, Aratu, Buracica, Jiquiá e Alagoas, sendo esse último o principal para o estudo deste trabalho.

O Andar Aptiano Inferior pode ser correlacionado à porção terminal do Andar Jiquiá e à porção inferior do Andar Alagoas.

No Brasil, este andar é relacionado ao Andar local Alagoas, que foi definido por Schaller (1969) na Bacia de Sergipe-Alagoas, englobando as rochas das formações Muribeca e Ponta Verde, a porção superior da Fm. Coqueiro Seco e a porção basal da Fm. Riachuelo.

A Formação Riachuelo é formada por carbonatos, folhelhos, siltitos e arenitos, sobrepostos a estratos não-marinhos da Formação Muribeca e sotopostos aos carbonatos da Formação Contiguiba. A Formação Muribeca é constituída por intercalações de arenitos, conglomerados folhelhos betuminosos, calcários laminados e evaporitos. Já a Formação Ponta Verde é formada predominantemente de folhelho cinza-esverdeado. A Formação Coqueiro Seco possui uma alternância de arenitos de granulometria fina a média, contendo níveis grossos a conglomeráticos, folhelhos betuminosos a sub-betuminosos e siltitos.

Segundo Gradstein *et al.* (1994), o Andar Aptiano vai de 121,0 Ma ($\pm 1,4$ Ma) a 112, 2 Ma ($\pm 1,1$ Ma), totalizando cerca de 8,8 Ma. Sendo 4,0 Ma pertencentes ao Aptiano Inferior e 4,8 Ma ao Aptiano Superior.

Na margem leste do Brasil, o Andar Aptiano pode ser subdividido em dois pacotes com características tectono-sedimentares distintas, correspondentes aos subandares Aptiano Inferior e Aptiano Superior. O Eoaptiano caracteriza-se por uma sedimentação predominantemente continental com incursões marinhas em um

ambiente tectônico de rifte, já o Neoptiano é caracterizado por uma sedimentação marinha em um contexto de quiescência tectônica predominante (Dias, 2005).

A correlação entre os andares Alagoas e Aptiano possui imprecisão ainda vigente (Dias-Brito *et al.*, 1987; Arai *et al.*, 1989), devido à isso foram assumidas premissas para dividir em dois subandares:

a) denominou-se de Andar Alagoas Inferior o pacote situado entre o topo do Andar Jiquiá e o nível de extinção da forma *T. crisopolensis* (biozona P-230). Este nível de extinção corresponderia à passagem do Eoaptiano para o Neo-aptiano, segundo Regali e Viana (1989). Associações fossilíferas indicam que a base do Aptiano se posiciona em algum nível estratigráfico da porção superior do Andar Jiquiá. Assim, ter-se-ia uma porção basal do Andar Aptiano mais velha do que o Andar Alagoas.

b) denominou-se de Andar Alagoas Superior o pacote situado acima do nível de extinção da forma *T. crisopolensis*. Como a marcação do topo do Andar Alagoas, por Palinologia, ainda é assunto controverso, assume-se que o topo do andar deve situar-se próximo ao topo dos evaporitos "Ibura". Desta maneira, o Andar Alagoas Superior deve corresponder aproximadamente ao Andar Aptiano Superior.

1.6 DEFINIÇÕES

1.6.1 Minerais Pesados

Os minerais pesados são grãos monominerálicos, provenientes de rochas ígneas e metamórficas nos quais ocorrem normalmente de forma acessória, cuja densidade é superior a 2,8 g/cm³, sendo maior que a do quartzo (2,65) e a dos feldspatos (2,56-2,76).

Nos minerais pesados incluem-se muitas espécies mineralógicas, podendo ser opacos, translúcidos, e outros provenientes da alteração destes. O grupo dos opacos geralmente são óxidos e sulfetos, que normalmente se integram na classe dos minérios, já os minerais translúcidos consistem predominantemente de silicatos.

Os primeiros estudos utilizando minerais pesados ocorrem no final do século XIX. Contudo no início do século XX o estudo da composição mineralógica dos sedimentos era feito, essencialmente, do ponto de vista qualitativo.

Edelman, em 1933, introduziu o conceito de “província sedimentar” para designar o conjunto de sedimentos que possuem a mesma idade de formação, a mesma origem e a mesma distribuição.

Na década de 50 e 60 a escola francesa desenvolveu consideravelmente essa linha de investigação, tendo grande sucesso na utilização das diferentes espécies como indicadores de origem e como traçadores do transporte sedimentar. Após a II Guerra Mundial a escola norte-americana desenvolveu a interpretação do comportamento hidrodinâmico dos diferentes grãos de minerais pesados de diversos ambientes sedimentares.

A razão minerais pesados / minerais leves varia muito com a fração granulométrica observada, geralmente as frações mais finas são ricas em minerais pesados. Contudo essa razão de minerais pesados na areia é normalmente inferior a 2%, porém, em alguns casos podem ocorrer em porcentagens muito maiores, chegando a constituir mais de 50% (exemplo disso são os níveis de minerais pesados nos sedimentos praias).

1.6.2 Proveniência de minerais pesados

A análise de minerais pesados é uma das técnicas mais precisas para determinação da proveniência de arenitos. Um dos fatores principais da técnica é que há uma grande variedade de minerais pesados encontrados em arenitos e esses minerais formam uma assembleia restrita fornecendo informações a respeito da rocha-fonte (Morton & Hallsworth 1994, 1999).

Deve-se levar em consideração que a distribuição dos minerais pesados em depósitos sedimentares não é controlada somente pela paleogeografia e petrologia da área-fonte. Uma série de fatores que ocorrem durante o ciclo sedimentar, tais como intemperismo, fracionamento hidráulico, abrasão mecânica e diagênese, influenciam na composição dos sedimentos e dificultam a interpretação da proveniência (Fig 4) (Morton, 1985; Mange & Maurer, 1992; Morton & Hallsworth, 1999). A composição da rocha-fonte é o principal fator que controla a composição dos sedimentos siliciclásticos.

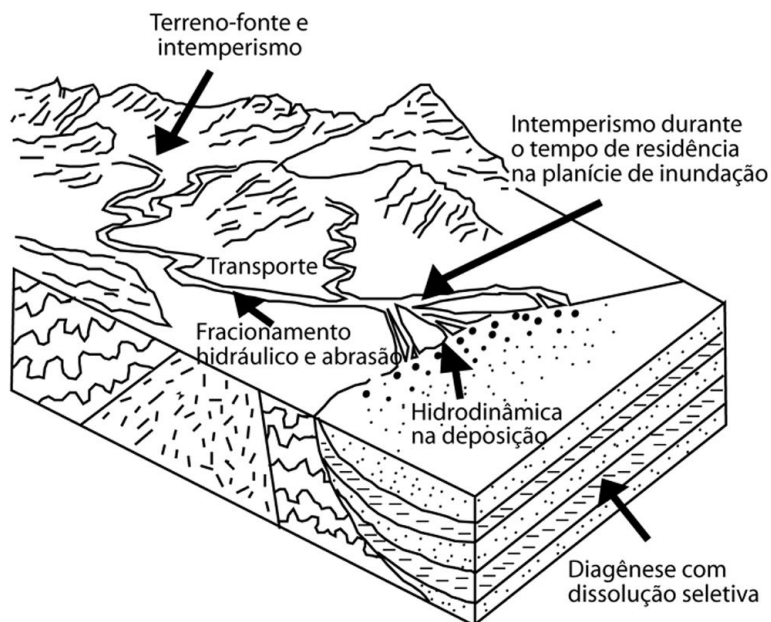


Fig 4: Localização esquemática dos sítios onde atuam os principais processos que controlam a composição das rochas sedimentares clásticas (modificado de Morton & Hallsworth, 1994 apud Remus *et al.*, 2008).

O intemperismo químico remove seletivamente os minerais instáveis da rocha-fonte. A duração do intemperismo químico está relacionada com o relevo da área e a disponibilidade de água, esses fatores, portanto, determinarão o produto gerado. Os efeitos do intemperismo serão menos intensos em terrenos que possuem relevos acidentados e tectonicamente instáveis, gerando materiais com a composição semelhante a da rocha-fonte (Johnson, 1993; Morton & Hallsworth, 1999).

A abrasão mecânica é responsável pela diminuição dos grãos durante o transporte sedimentar, através de uma combinação de fraturamento e arredondamento. Os minerais que possuem diversos sistemas de clivagem ou são mais macios são mais suscetíveis aos efeitos da abrasão (Morton & Smale, 1991; Johnson, 1993; Picard & MacBride, 2007).

O fracionamento hidráulico afeta a abundância relativa dos minerais durante o ciclo sedimentar. O comportamento dos minerais é definido pelas condições hidrodinâmicas tais como forma, densidade e tamanho dos grãos. Portanto, minerais com hábitos diferentes terão comportamentos distintos (Morton & Hallsworth 1994).

A diagênese causa a diminuição de muitas espécies de minerais pesados, principalmente minerais instáveis (Quadro 1) que podem ser dissolvidos parcialmente ou completamente, além haver possibilidade de sofrer substituição por

argilominerais, carbonatos, óxidos e outros minerais autigênicos. (Mc Donald & Surdam, 1984; Mc Bride, 1985; Morton & Hallsworth, 1999)

Quadro 1: Ordem de estabilidade dos minerais pesados (Pettijohn *et al.* 1973).

ESTABILIDADE	MINERAIS
Muito instável	Olivina
Instáveis	Horblenda Actinolita Augita Diopsídio Hiperstênio Andalusita
Moderadamente estáveis	Epidoto Cianita Granada (rica em Fe) Silimanita Titanita Zoisita
Estáveis	Apatita Granada (pobre em Fe) Estaurolita Monazita Anatásio
Ultra-estáveis	Zircão Turmalina Rutilo

Apesar dos processos que afetam a distribuição dos minerais pesados em sedimentos e arenitos, eles retêm informações fundamentais sobre a proveniência. Para uma interpretação correta de proveniência é necessário que os parâmetros utilizados sejam herdados da área-fonte e que não sejam modificados intensamente pelos processos atuantes durante o ciclo sedimentar. Há duas maneiras alternativas para gerar dados: uma que utiliza todo conjunto de minerais pesados (Análise Convencional de Minerais Pesados) e outra que se focaliza nos

atributos de espécies de minerais individuais (Análise Varietal de Minerais Pesados) (Morton & Halsworth, 1994, 1999).

Para reduzir os efeitos do ciclo sedimentar na assembléia são utilizados índices de abundância a partir de minerais pesados que possuam densidades e resistência semelhantes. Esses índices foram propostos por Morton & Hallsworth (1994, 1999) e estão ilustrados no quadro 2.

Quadro 2: Índices de minerais pesados de proveniência, como proposto por Morton & Hallsworth (1994, 1999).

Índice		Definição
ATi	Apatita-turmalina	100 x apatita/(apatita+turmalina)
GZi	Granada-zircão	100 x granada/(granada+zircão)
RZi	Grupo dos minerais TiO ₂ -zircão	100 x grupo TiO ₂ /(grupo TiO ₂ +zircão)
RuZi	Rutilo-zircão	100 x rutilo/(rutilo+zircão)
MZi	Monazita-zircão	100 x monazita/(monazita+zircão)
CZi	Cr espinélio-zircão	100 x Cr espinélio/Cr espinélio+zircão)

2. METODOLOGIA

2.1. Montagem das lâminas

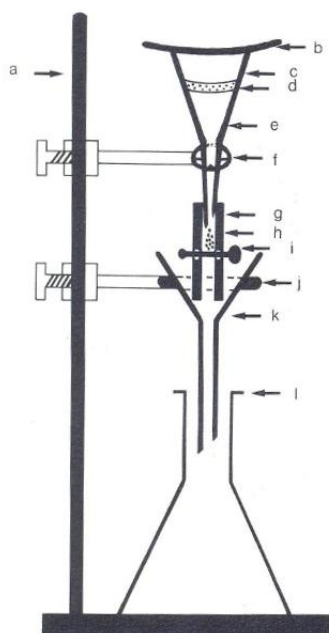
Foram analisadas 62 amostras de calha e 30 amostras de testemunho retiradas de um total de 18 poços na Bacia de Campos. Essas amostras foram enviadas para o laboratório do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO/IG/UFRGS) onde o técnico Gilberto Silveira dos Santos utilizou as seguintes metodologias para a confecção das lâminas para análise de minerais pesados.

Inicialmente desagregou-se a rocha utilizando um britador e após moendo em um almofariz.

A etapa de peneiramento foi a úmido e utilizaram-se peneiras de tamanho 0,250 mm (areia média), 0,125 mm (areia fina) e 0,062 mm (areia muito fina). A fração de interesse é o material que fica retido nas peneiras de 0,125 mm e 0,062 mm, pois corresponde a fração que apresenta maior concentração de minerais pesados (Zuffa & Serra, 2007), além de minimizar os efeitos do fracionamento hidráulico durante o ciclo sedimentar.

A fração de interesse foi secada em uma estufa a aproximadamente 60°C.

Para separação dos minerais pesados dos leves utilizou-se o método do líquido denso (funil separador) (Fig. 5). Esse método consiste em despejar a amostra em um funil preenchido com um líquido de densidade conhecida (foi utilizado o bromofórmio, $\rho = 2,89 \text{ g/cm}^3$). Leves agitações auxiliam a descida de grãos de pesados. Os minerais leves flutuam no líquido, enquanto os pesados afundam no líquido até próximo à torneira de separação. A abertura da torneira deixa passar somente a porção dos minerais pesados, caindo em outro funil que possui um papel filtro retendo os grãos, e armazenando o líquido em um béquer. O papel filtro com os pesados são separados para secagem após serem lavados com álcool etílico.



- a) estrutura de apoio
- b) vidro de relógio
- c) funil de separação
- d) minerais leves
- e) líquido de separação
- f) suporte do funil
- g) tubo de borracha
- h) minerais pesados
- i) torneira de separação
- j) suporte do funil de filtração
- k) funil de filtração
- l) frasco coletor

Fig 5: Estrutura para separação de minerais pesados por sedimentação gravitacional (adaptado de Mange & Maurer, 1992).

Os procedimentos com o bromofórmio devem sempre ser realizados em um ambiente com uma capela de exaustão devido à alta toxicidade do líquido.

Após esse processo, retiramos todo o material fortemente magnético das amostras com auxílio de um ímã de mão, e então utilizamos o Separador Magnético Isodinâmico Frantz para separar os minerais diamagnéticos dos paramagnéticos, através das amperagens 0,4A, 0,6A, 0,8A e 1,2A, para facilitar a visualização e identificação em lâmina.

Para confecção das lâminas é utilizado uma resina sintética com baixo índice de refração como o Entellan ($n = 1.490 - 1.500$). Esse método consiste em espalhar a resina sobre a lâmina e despejar os minerais. Por último coloca-se óleo mineral e uma lamínula em cima da lâmina para facilitar a identificação ao microscópio.

2.2. Quantificação

Para o estudo de proveniência foi quantificado em média 300 grãos de minerais pesados translúcidos e não micáceos por lâmina em microscópio petrográfico Leica DM4500 P LED, os quais foram devidamente anotados em uma planilha utilizando o software Microsoft Excel e classificados de acordo com seu arredondamento, cor e se há presença de inclusões.

Para identificação dos minerais foi levado em consideração as características dos grãos, tais como cor, pleocroísmo, relevo, birrefringência, sinal de alongação, sinal óptico, figura de interferência e hábito.

Após a quantificação, foram selecionados índices de abundância relativa entre minerais que possuam comportamento hidráulico similar por apresentarem densidade e hábitos semelhantes: ATi ($100 \times \text{apatita/turmalina} + \text{apatita}$), indicativo do grau de intemperismo, a apatita é extremamente instável em condições intempéricas ácidas onde a turmalina é estável (Nickel, 1973; Grimm, 1973; Morton, 1984, 1986); GZi ($100 \times \text{granada} / \text{granada} + \text{zircão}$), auxilia nas possíveis mudanças nas características da proveniência; RuZi ($100 \times \text{rutilo/rutilo} + \text{zircão}$), relacionado a mudanças da área-fonte.

Outro índice utilizado é o ZTR ($100 \times \text{a soma de zircão, turmalina e rutilo/total de grãos translúcidos}$), o qual indica o grau de maturidade mineralógica do sedimento (Hubert 1962). Arenitos com ZTR elevado possuem áreas fontes envolvendo terrenos reciclados (sedimentos siliciclásticos ou metassedimentos de grau muito baixo) enquanto aqueles que possuem ZTR baixo são sedimentos de primeiro ciclo (Remus *et al.*, 2008).

Foram construídos outros índices para indicar a maturidade dos sedimentos baseado em minerais máficos = $100 \times \text{total de máficos/total de grãos translúcidos}$.

O grau de arredondamento de minerais pesados pode ser avaliado pelo índice Ari ($100 \times \text{apatita arredondada/apatita total}$) utilizado para avaliar a história de transporte do sedimento e mudanças de proveniência (Allen & Mange-Rajetzky, 1992; Mange & Wright, 2007 *apud* Remus *et al.* 2008).

Foi construído um índice para a forma do zircão ($100 \times \text{soma dos zircões alongados/total de zircões}$), onde valores altos significam predomínio de zircões longos provindos de rochas ígneas, e valores baixos referentes a zircões curtos derivados de rochas metamórficas e granitóides alcalinos cristalizados em alta temperatura.

Foram confeccionados gráficos para cada tipo de índice para facilitar a visualização e poder interpretar a proveniência, juntamente com a assembleia de minerais pesados.

3. RESULTADOS

Os valores das profundidades foram substituídos por letras a fim de preservar o sigilo do convênio do projeto. Sendo a letra 'A' referente à amostra mais profunda do poço.

Poço 01

GRANADA – apresenta granulometria areia fina, hábito granular, sub-anguloso a anguloso, incolor.

ZIRCÃO – granulometria areia fina, prismático curto a longo, os cristais são incolores. Alguns possuem inclusões prismáticas longas a curtas translúcidas não orientadas.

APATITA – tamanho areia fina, prismático curto a longo, sub-arredondado, arredondado a sub-anguloso.

HORNBLENDA – possui tamanho areia fina a muito fina, prismático curto a longo sub-arredondado a anguloso, predomina cores verdes, porém há alguns cristais marrons.

TITANITA – areia fina a muito fina, prismático curto a longo sub-anguloso a anguloso, cor marrom claro.

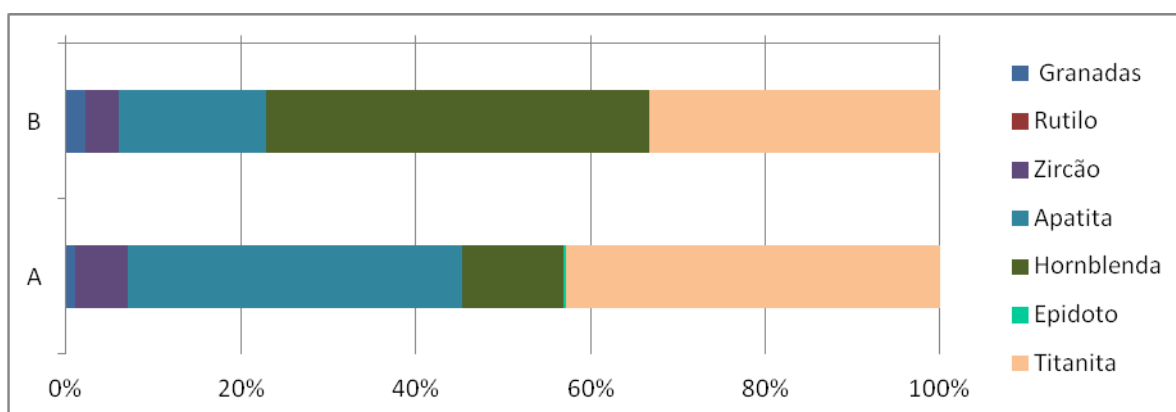


Fig. 6: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 01.

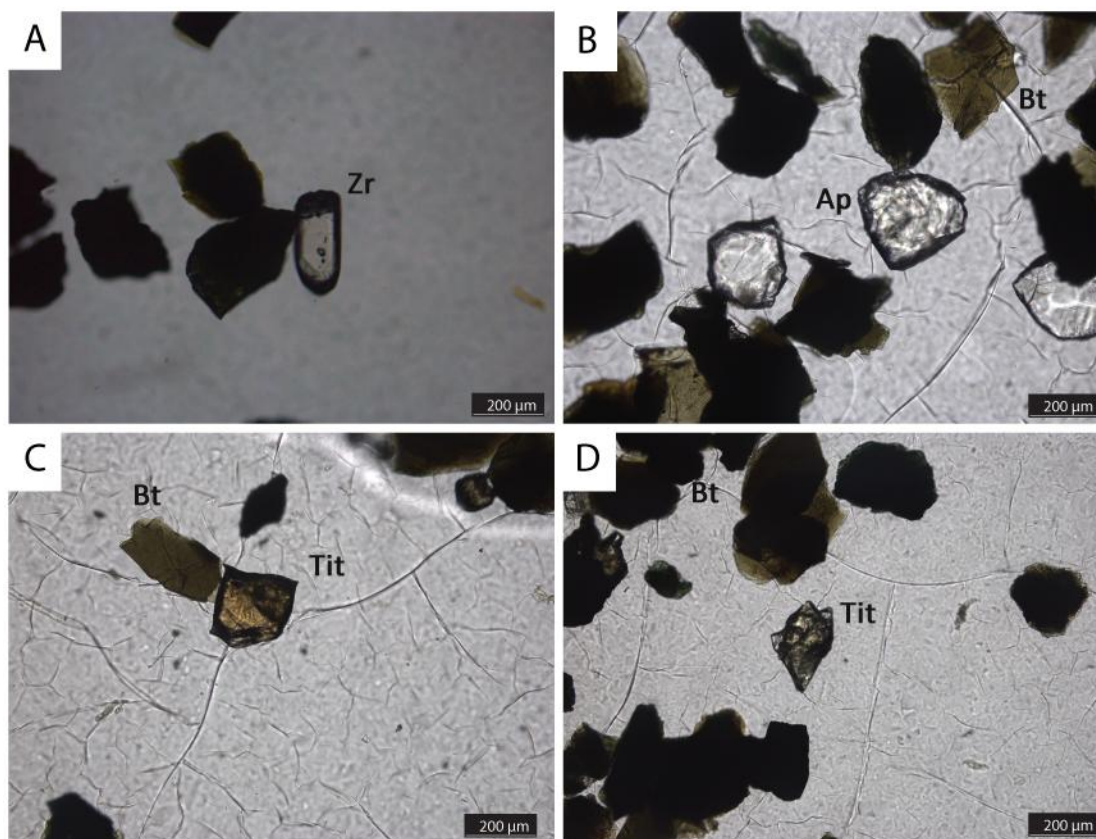


Fig. 7: (A) Zircão com inclusões. (B) Grãos de apatitas prismático curto sub-arredondadas. (C) Titanita prismático curto sub-angulosa. (D) Titanita prismático médio angulosa. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 01.

Os gráficos de GZi, Máficos mostram uma diminuição do índice com o aumento da profundidade.

Os gráficos RuZi, ARi e ZTR possuem valores baixos sem variações significativas.

Os índices ATi e forma de zircão possuem valores altos sem muitas variações.

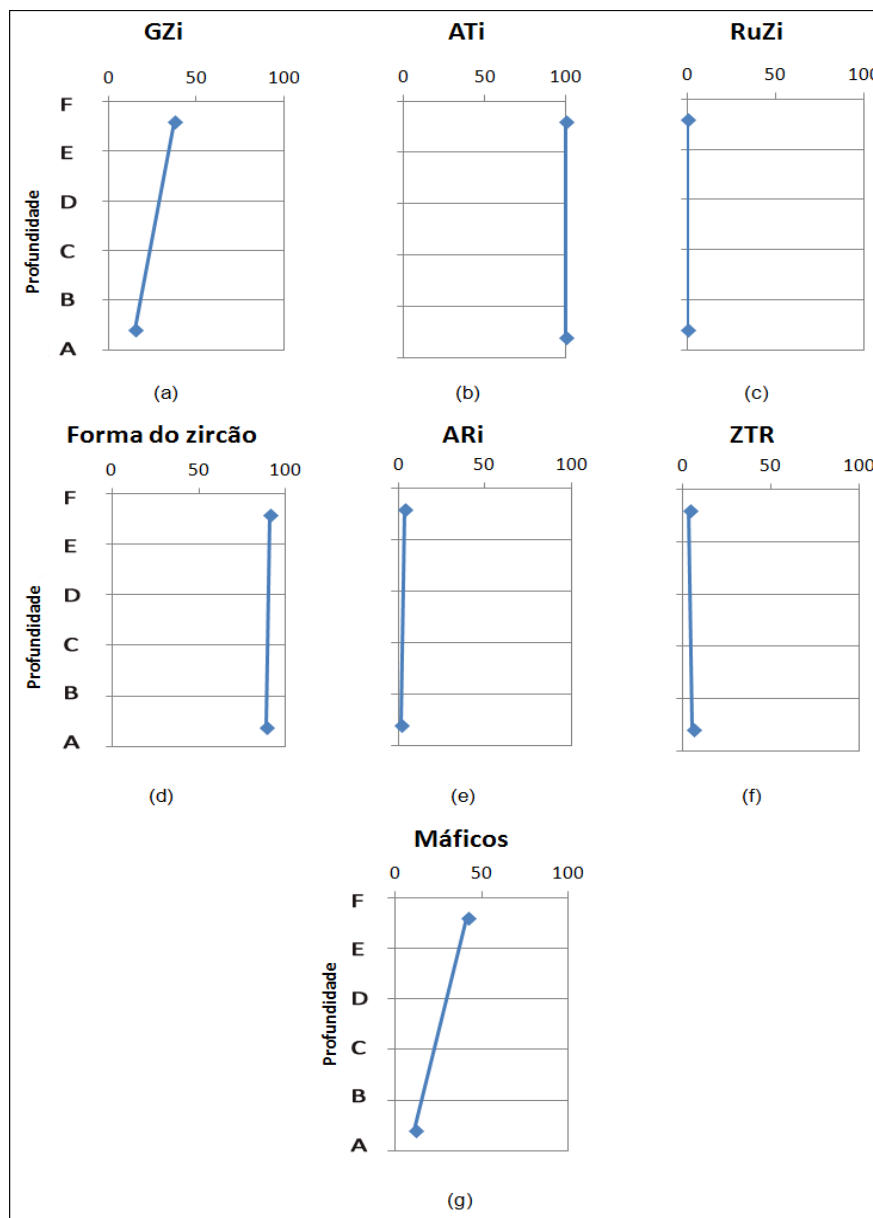


Fig. 8: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 01.

Poço 02

GRANADA – areia fina a muito fina, forma granular a moderadamente alongado, sub-arredondado. Possui grãos incolores e rosados. Apresenta inclusões granulares e prismáticas opacas e translúcidas, em geral não orientadas.

RUTILO – granulometria areia muito fina, prismático curto a médio, sub-arredondado (subédrico), cor amarela.

TURMALINA – areia fina, prismático curto, sub-arredondado, possui cor marrom.

ZIRCÃO – areia fina a muito fina, prismático médio a longo, sub-arredondado. Cristais incolores e poucos marrons.

APATITA – tamanho areia fina a muito fina, prismático médio a curto, arredondado a sub-arredondado

HORNBLENDA – areia fina a muito fina, prismático curto a médio, sub-arredondado a anguloso, possui cores variando do verde a marrom.

AUGITA – areia muito fina, prismático curto a médio, sub-arredondado a sub-anguloso, cor varia em tons claros de verde e marrom.

EPIDOTO – tamanho areia fina, prismático curto a médio, sub-arredondado a anguloso, pleocróico em tons de verde.

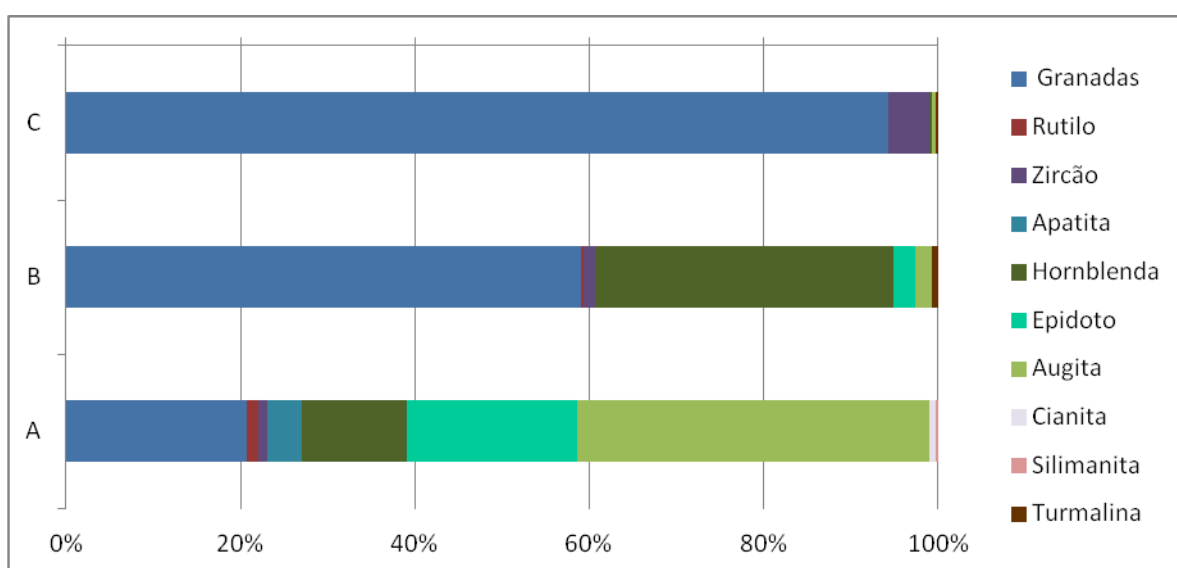


Fig. 9: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 02.

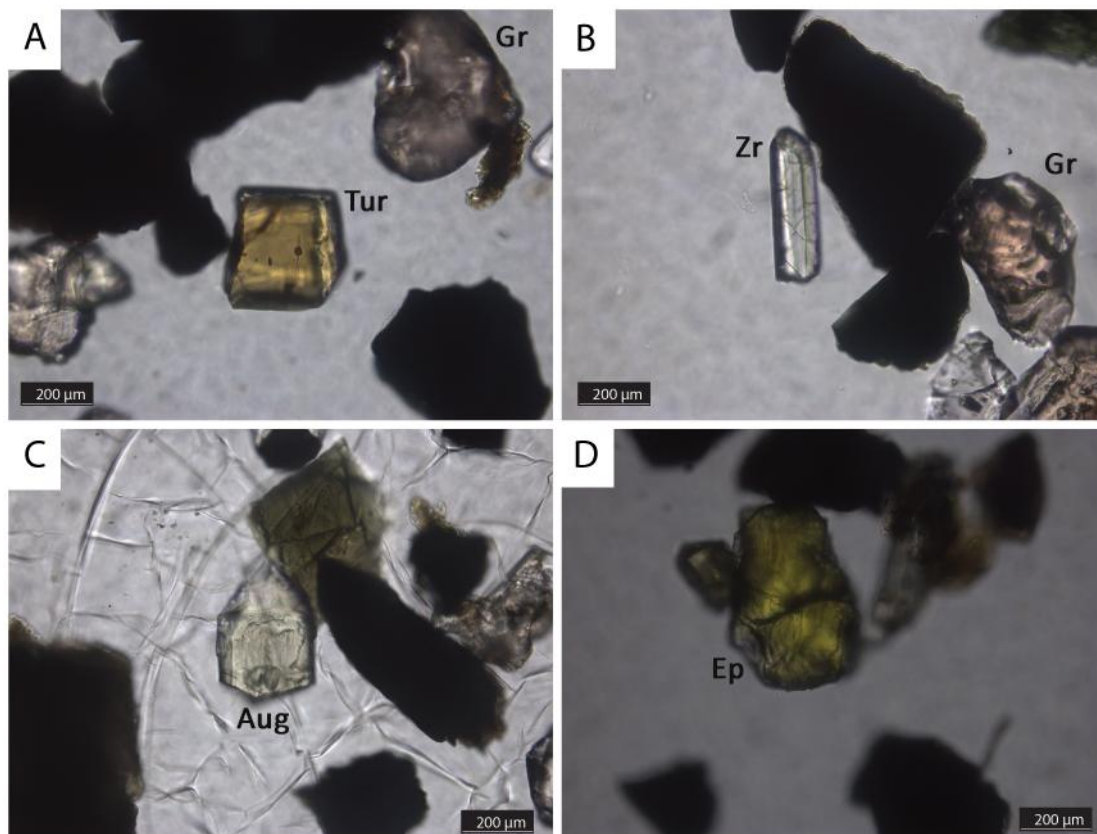


Fig. 10: (A) Apatita e turmalina. (B) Zircão subédrico e granada. (C) Grão de augita. (D) Grão de epidoto. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 02.

O GZi apresenta valores altos sem variações significativas.

O Ati possui valores altos com um pico negativo na profundidade F.

RuZi inicia-se com valores baixos e aumenta em direção à base do poço.

O índice ZTR possui valores baixos sem grandes variações.

O índice da forma do zircão possui valor próximo a 80 no topo do poço e aumenta em direção a base do poço.

O gráfico de máficos inicia-se com valores baixos e aumentam à medida que aumenta o poço.

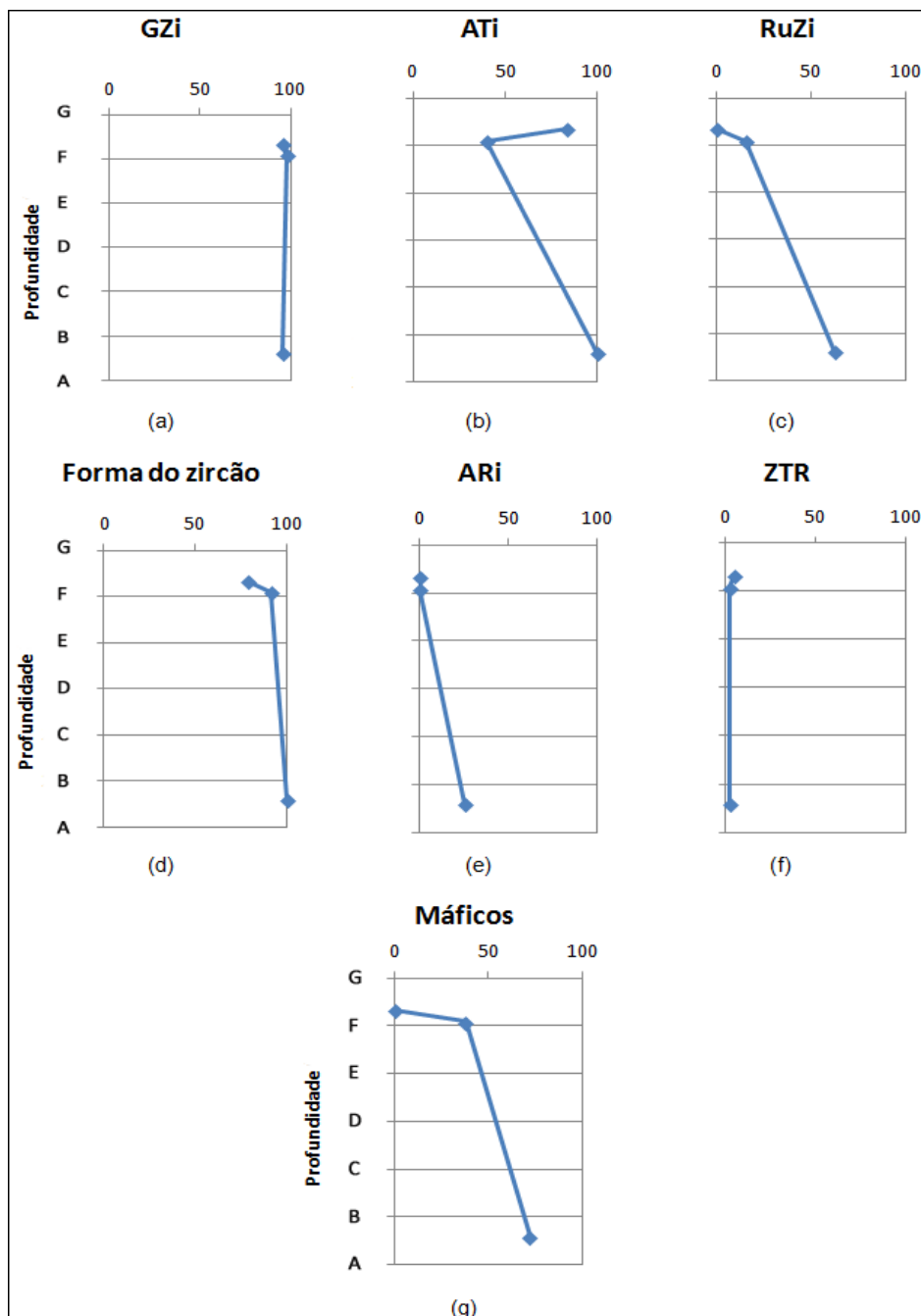


Fig. 11: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 02.

Poço 03

GRANADA – areia fina a muito fina, forma granular a moderadamente alongado, sub-arredondado a anguloso. Inclusões granulares e aciculares translúcidas orientadas a não orientadas. Incolor a rosa

TURMALINA – areia muito fina, prismático curto, sub-arredondado, cor marrom

RUTILO – tamanho areia fina, prismático curto a longo sub-arredondado, possui cor amarela.

ZIRCÃO – areia muito fina, prismático curto a longo, arredondado a sub-anguloso, incolor a marrom. Alguns cristais possuem inclusões aciculares translúcidas não orientadas.

APATITA – areia fina a muito fina, prismático curto a longo, arredondado a sub-arredondado.

HORNBLENDA – areia fina a muito fina, prismático médio, sub-arredondado a anguloso. Cores variando de verde a marrom.

AUGITA – areia fina a muito fina, prismático curto a médio, varia em tons claros de verde e marrom. Apresenta fraturas

EPIDOTO – areia muito fina, prismático curto a médio, sub-arredondado. Pleocróica em tons de verde.

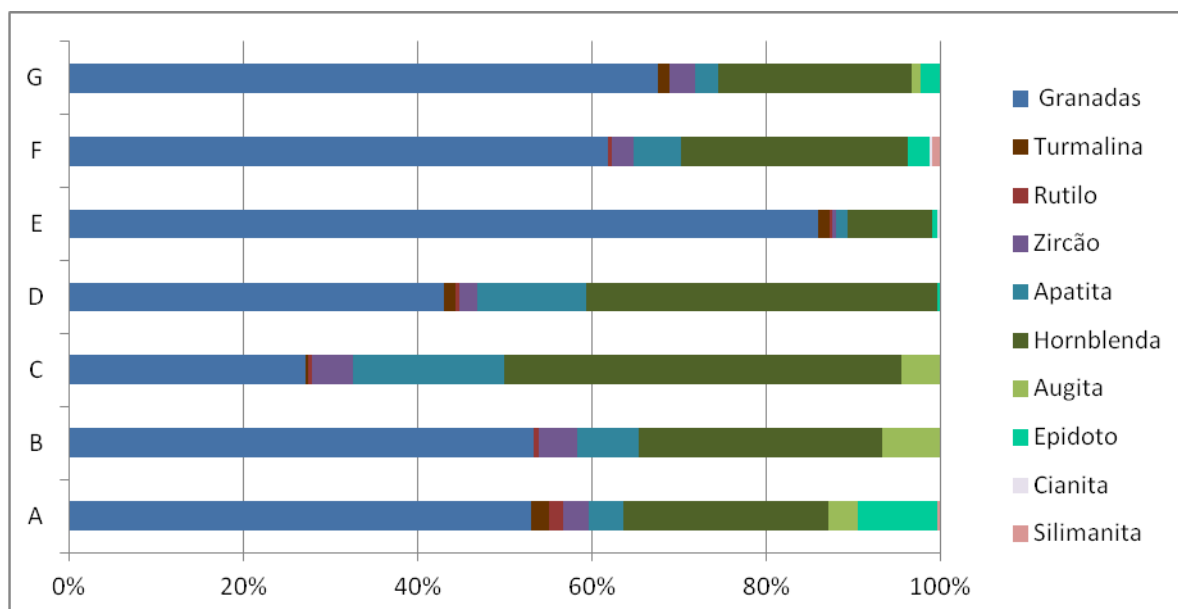


Fig. 12: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 03.

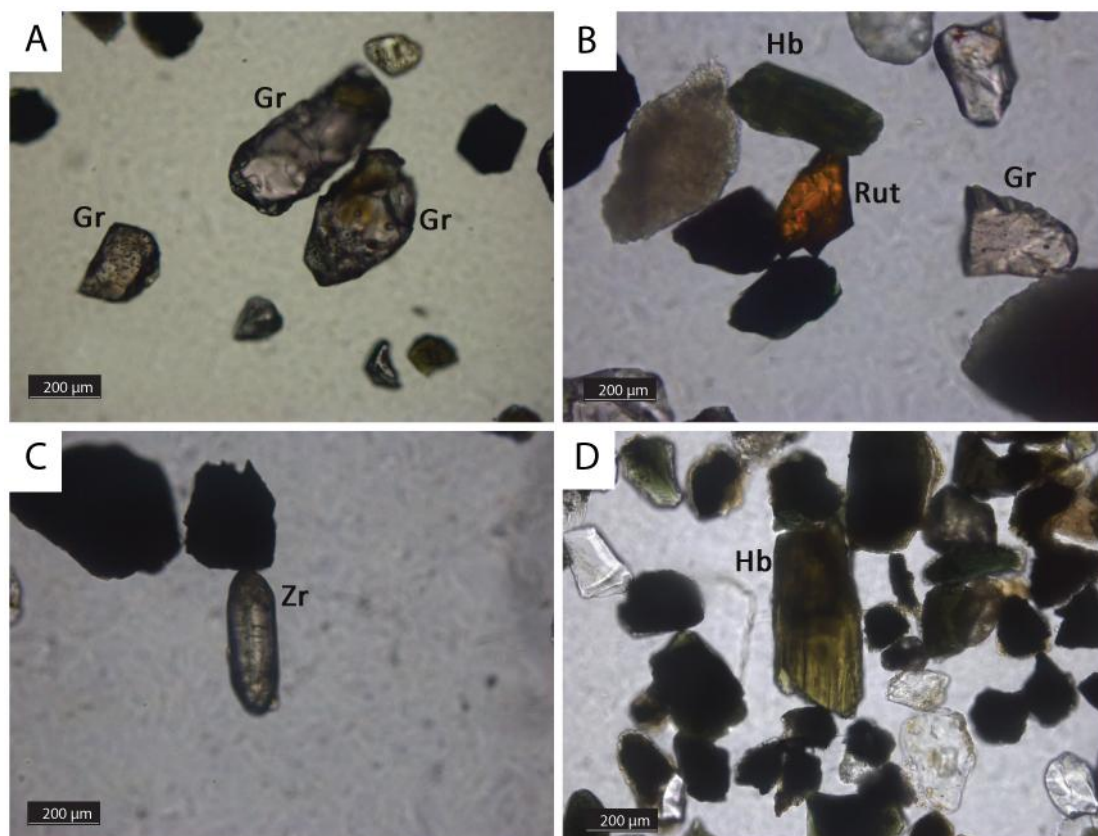


Fig. 13: (A) Grãos de granada com inclusões granulares. (B) Hornblenda, rutilo e granada. (C) Zircão subédrico. (D) Grão de hornblenda. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 03.

O GZi apresenta valores elevados e não possui grandes variações até a profundidade D na qual há uma diminuição para então aumentar novamente com o avanço da profundidade.

O ATi possui valores altos com um pico negativo na profundidade D.

O índice RuZi possui valor de 40 na amostra mais rasa do poço, apresenta um decréscimo seguido por um aumento com o avanço da profundidade volta a diminuir. Nas últimas amostras apresenta um aumento gradacional nos valores.

O ARi possui valores baixos com um pico positivo na profundidade D.

O índice ZTR possui valores baixos e não apresenta variações significativas.

O índice da forma do zircão possui valor de 55 no início do poço e aumenta até a profundidade D, após essa profundidade apresenta uma diminuição dos valores.

Os índices dos máficos iniciam com um aumento seguido por uma diminuição com o avanço da profundidade. A partir da profundidade D os valores sobem novamente há um decréscimo.

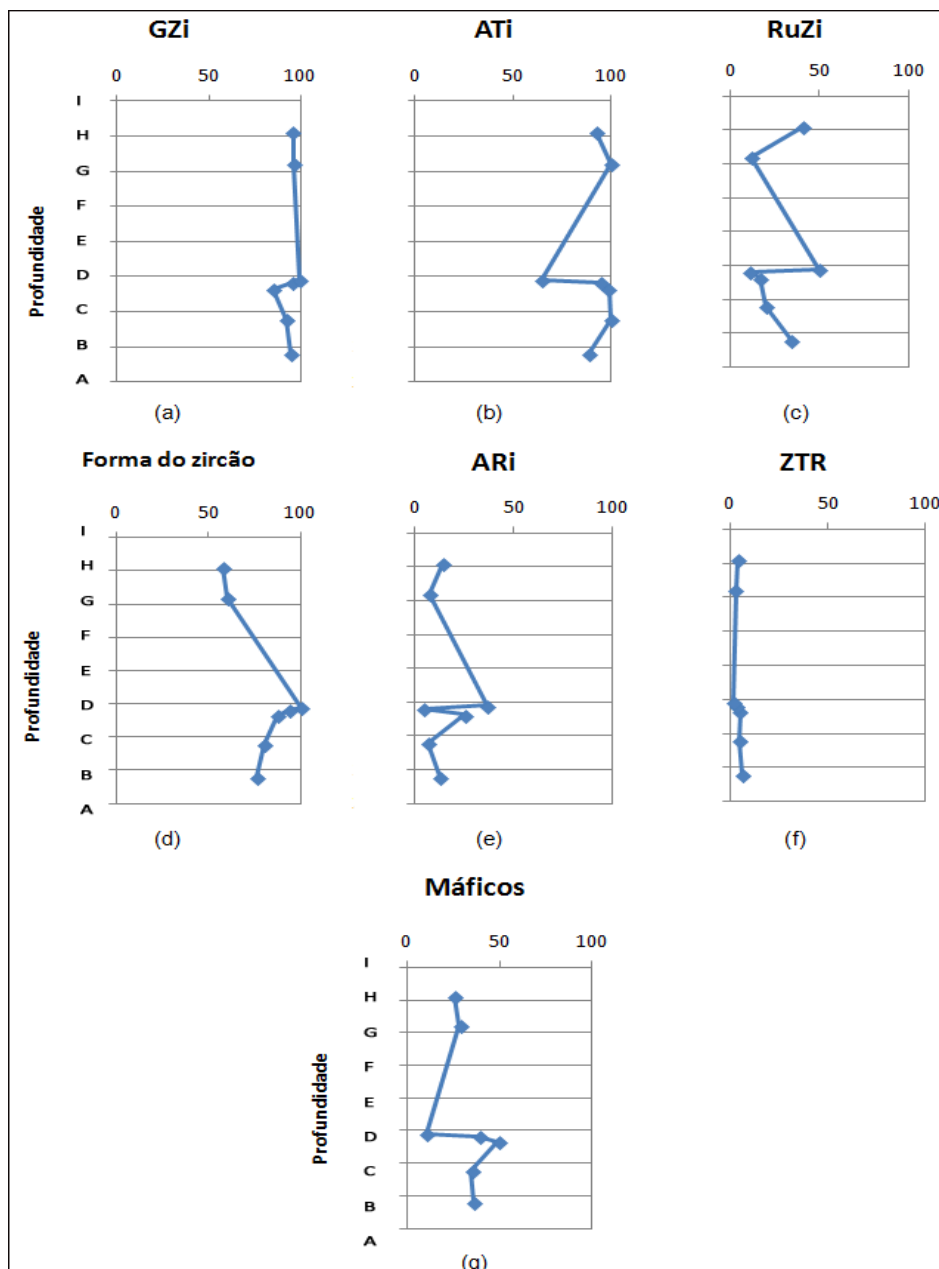


Fig. 14: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 03.

Poço 04

GRANADA – tamanho areia fina, forma granular, sub-arredondado a sub-anguloso, possui cristais incolores a rosados. Muitos grãos possuem inclusões granulares, mas ocorrem prismáticas também, podendo ser opacas ou translúcidas, orientadas e não orientadas.

TURMALINA – tamanho areia fina, prismático médio, sub-arredondado a anguloso. Possui cor marrom.

RUTILO – tamanho areia fina, prismático médio, sub-arredondado, ocorrem cristais amarelos e apenas uma ocorrência de cor vermelha.

ZIRCÃO – granulometria areia fina a muito fina, prismático médio a longo, sub-arredondado, cristais incolores a marrons.

APATITA – tamanho areia fina, prismático curto a médio, arredondado a sub-arredondado,

HORNBLENDA – tamanho areia fina, prismática curto a médio, sub-arredondado a sub-anguloso, cor verde a marrom.

EPIDOTO – possuem tamanho areia fina a muito fina, prismático curto a médio, sub-arredondado a sub-anguloso. Pleocróico do verde pálido ao verde amarelado.

AUGITA – tamanho areia fina, prismático curto, sub-arredondado a sub-anguloso, cor verde pálido a incolor.

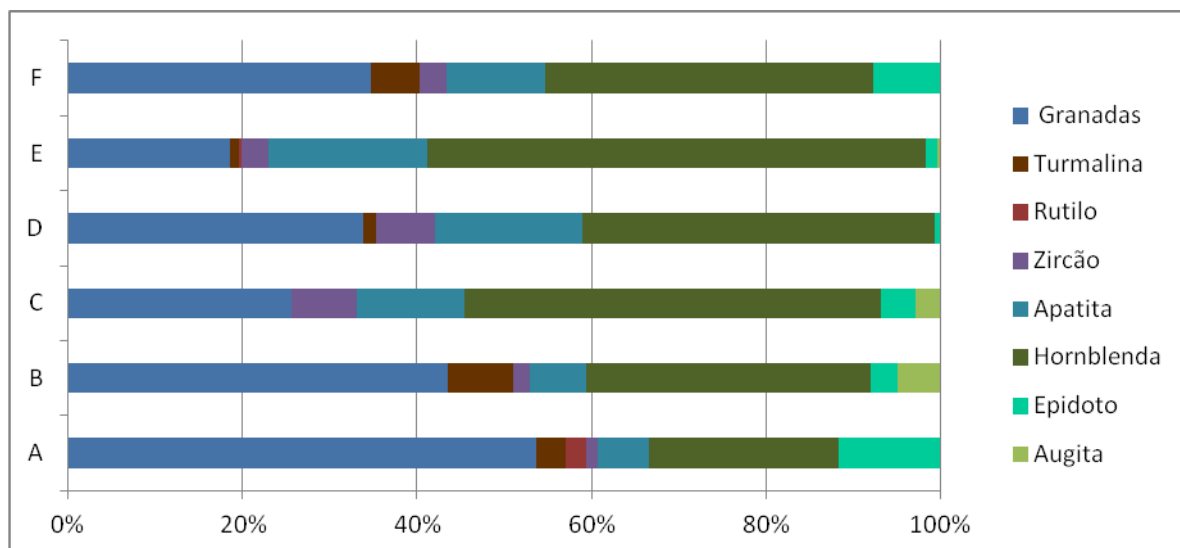


Fig. 15: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 04.

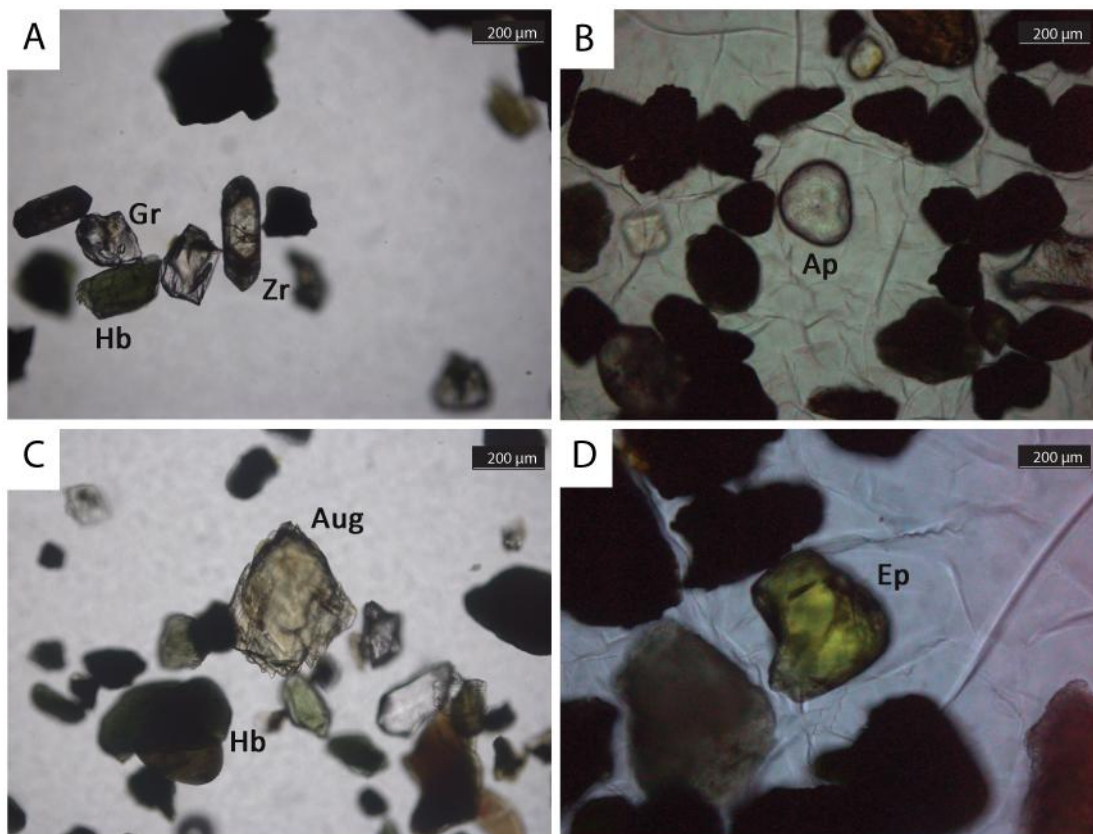


Fig. 16: (A) Zircões, granadas e hornblenda. (B) Grão de apatita. (C) Grão de augita e hornblenda. (D) Grão de epidoto. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 04.

GZi apresenta valores altos com um pico negativo entre as profundidades F e G.

Ati possui a amostra do topo do poço com valor de 73 e aumenta para valores elevados com o avanço da profundidade, ocorre um pico negativo na profundidade 3115 m.

O RuZi apresenta pequenas variações com valores baixos no início do poço, na profundidade B o valor aumenta até 65.

ARi intercala-se em aumentos e diminuições dos valores, não ultrapassando os 50.

ZTR possui valores baixos e não apresentam variações significativas.

O gráfico da forma do zircão possui valor de 65 no topo do poço, ocorre um aumento dos valores e após um decréscimo gradacional.

O índice dos máficos ocorre no intervalo de 40 e 60, no topo do poço apresenta variações de valores terminando com uma diminuição gradativa.

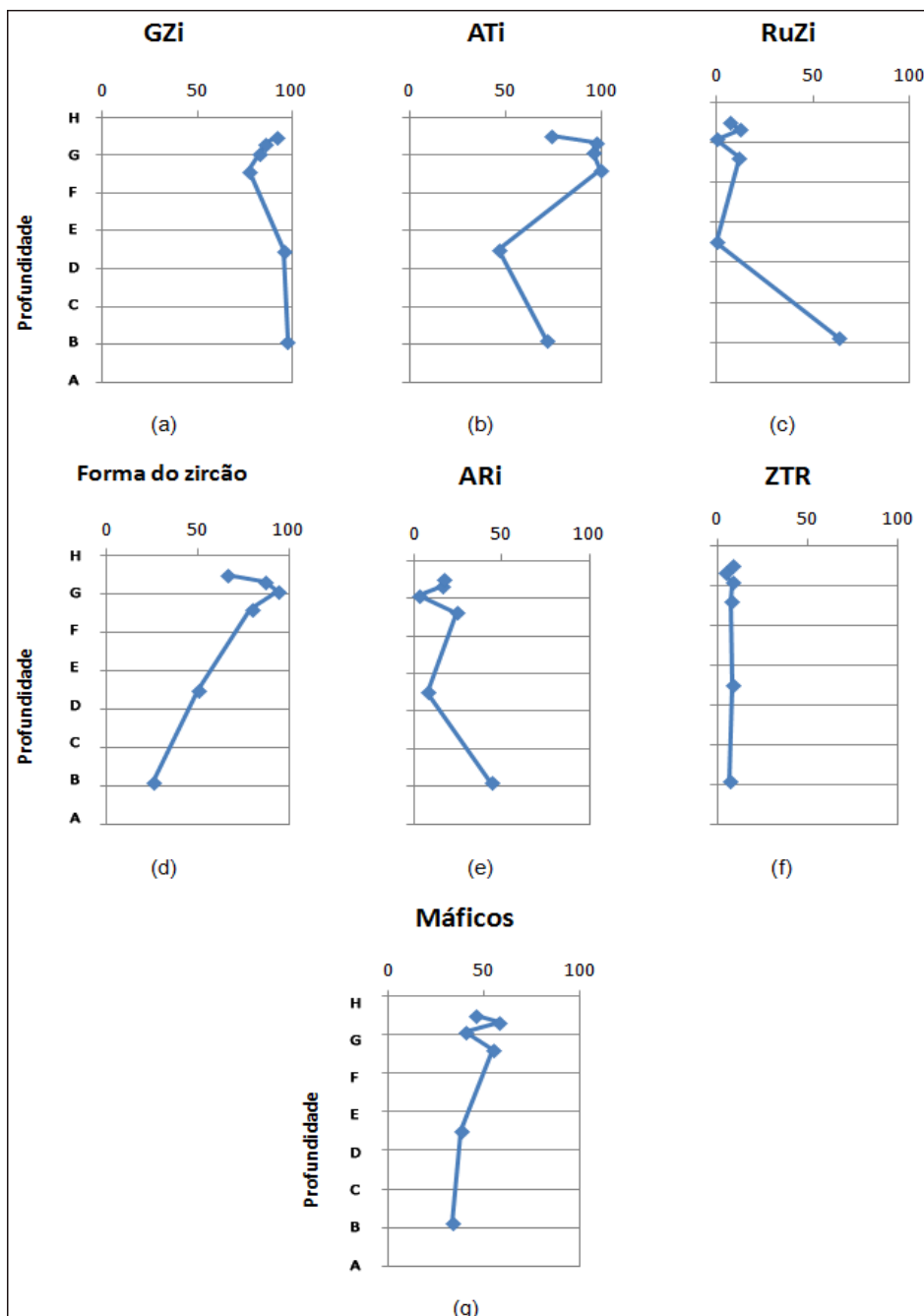


Fig. 17: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 04.

Poço 05

GRANADA – granulometria areia fina, forma granular a moderadamente alongado, sub-arredondado a sub-anguloso, cristais incolores a rosados. Alguns possuem inclusões granulares a prismáticas, orientadas a não orientadas.

TURMALINA – areia fina, prismático médio, sub-arredondado, cristais marrons.

RUTILO – granulometria areia muito fina, prismático curto a longo, sub-arredondado. Cristais amarelos e vermelhos.

ZIRCÃO – tamanho areia muito fina, prismático médio a longo, sub-arredondado

APATITA – tamanho areia fina a muito fina, prismático curto a longo, arredondado a sub-arredondado.

MONAZITA – tamanho areia fina a muito fina, prismático, arredondado a sub-arredondado, possui cor amarelo claro.

HORNBLENDA – areia fina a muito fina, prismático curto a longo, sub-arredondado a sub-anguloso (alguns apresentam textura ‘dente de serra’ devido à corrosão). Predomina cristais verdes, porém ocorrem grãos marrons.

AUGITA – tamanho areia fina, prismático curto a médio, sub-arredondado a sub-anguloso (alguns apresentam textura ‘dente de serra’ devido à corrosão), coloração verde claro.

EPIDOTO – areia muito fina, prismático curto, sub-arredondado, coloração verde claro.

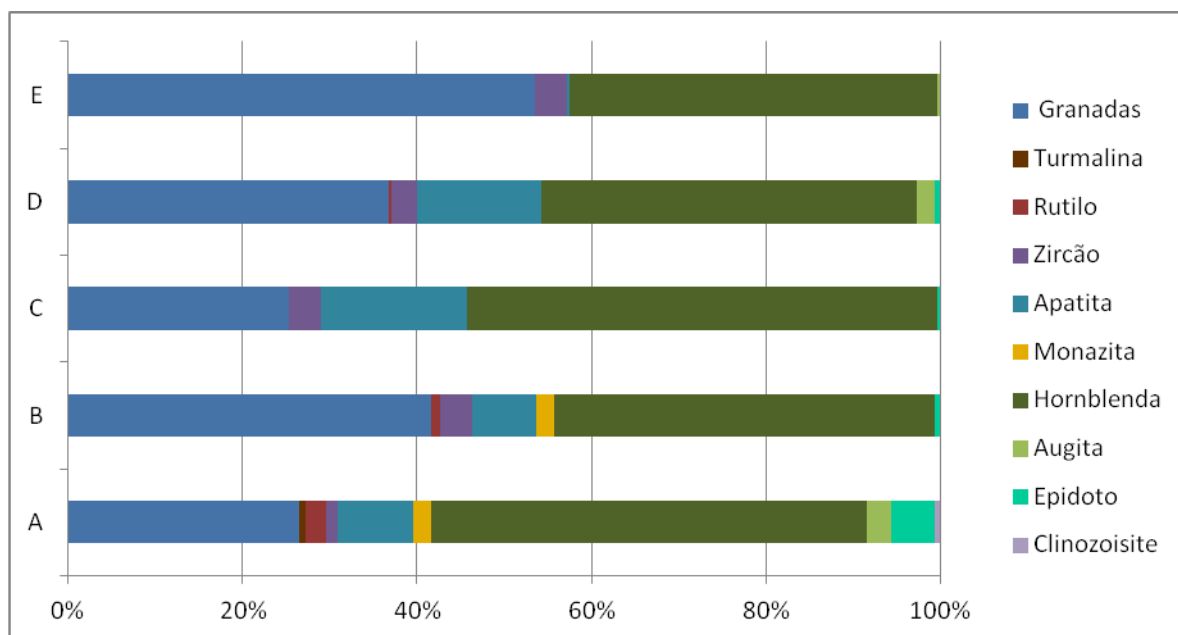


Fig. 18: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 05.

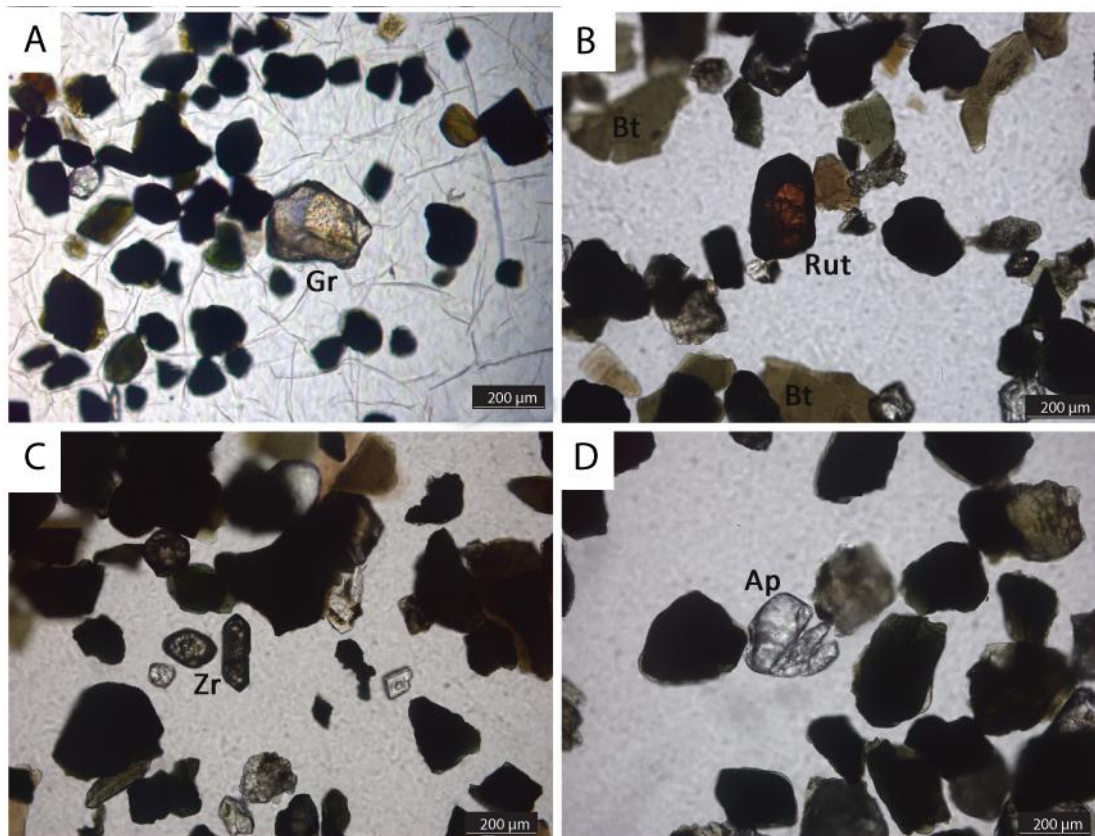


Fig. 19: (A) Granada com inclusões. (B) Grão de rutilo com biotita. (C) Grão de zircão subédrico e anédrico. (D) Apatita fraturada. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 05.

O GZi possui valores elevados sem variações significativas.

O ATi apresenta valores elevados com um pequeno decréscimo na amostra mais profunda.

O RuZi possui valores baixos no topo do poço e aumenta conforme aumenta a profundidade.

O índice ARi apresenta valores baixos no início do poço, em seguida sofre um acréscimo conforme aumenta a profundidade.

O índice ZTR possui valores baixos e sem variações significativas.

O gráfico da forma do zircão apresenta valores altos com intercalações de aumento e diminuição de valores.

O índice de máficos exibe um acréscimo na profundidade F, seguido por uma diminuição e um aumento.

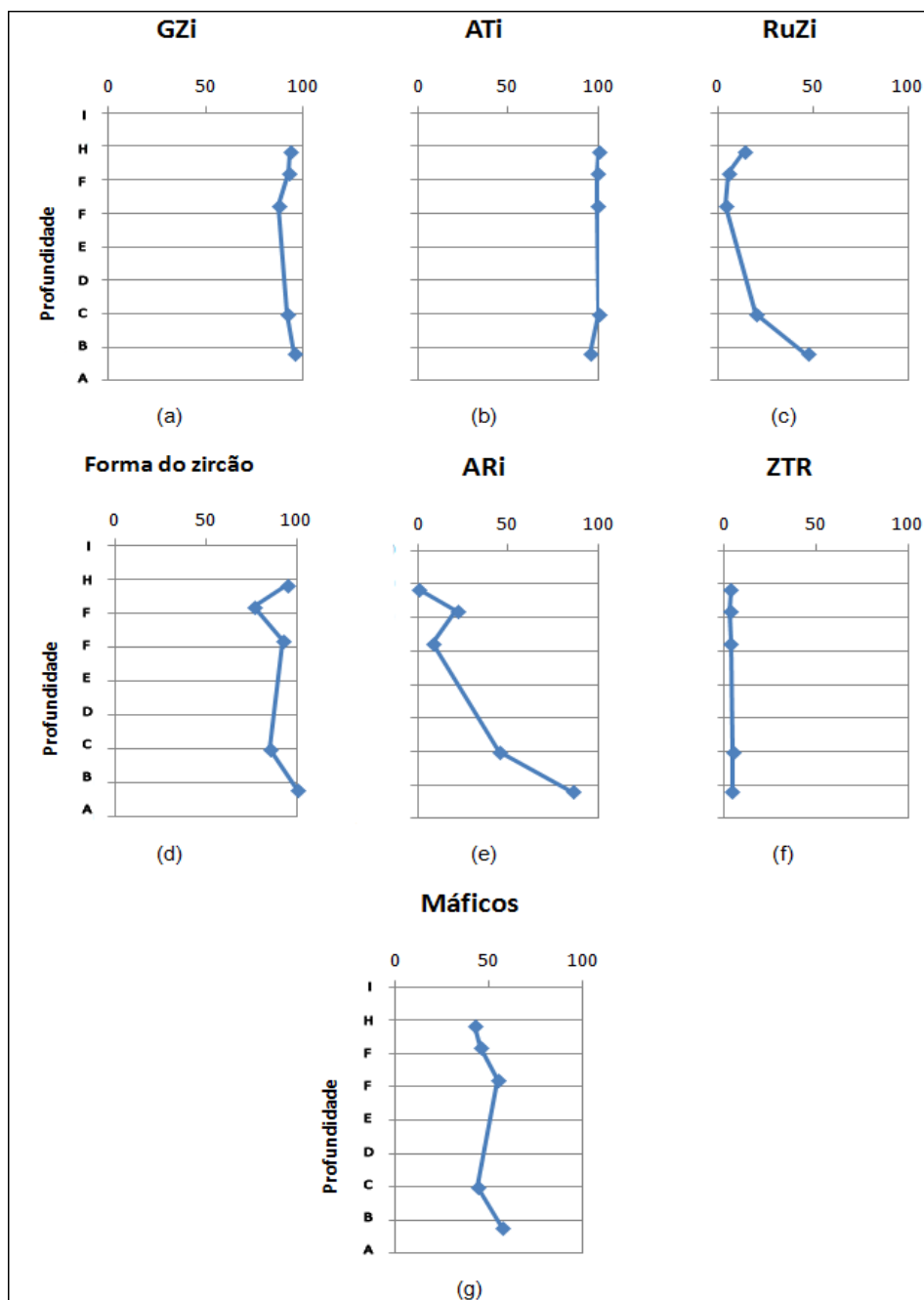


Fig. 20: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 05.

Poço 06

GRANADA – tamanho areia fina a muito fina, forma granular a moderadamente alongado, sub-arredondado a anguloso. Cristais incolores a rosa. Pode apresentar inclusões prismáticas e granulares translúcidas não orientadas ou orientadas.

ZIRCÃO – granulometria areia fina a muito fina, prismático médio a longo, arredondado a sub-arredondado. Cristais incolores. Alguns apresentam inclusões granulares opacas não orientadas.

APATITA – tamanho areia fina a muito fina, prismático curto a médio, arredondado a sub-anguloso.

MONAZITA – tamanho areia fina, prismático médio, sub-arredondado. Cor amarela.

HORNBLENDA – tamanho areia fina a muito fina, prismático curto a longo, sub-arredondado a anguloso. Apresenta tons esverdeados e amarronados.

AUGITA – tamanho areia fina, prismático curto a longo, sub-arredondado a anguloso. Possui cor verde claro.

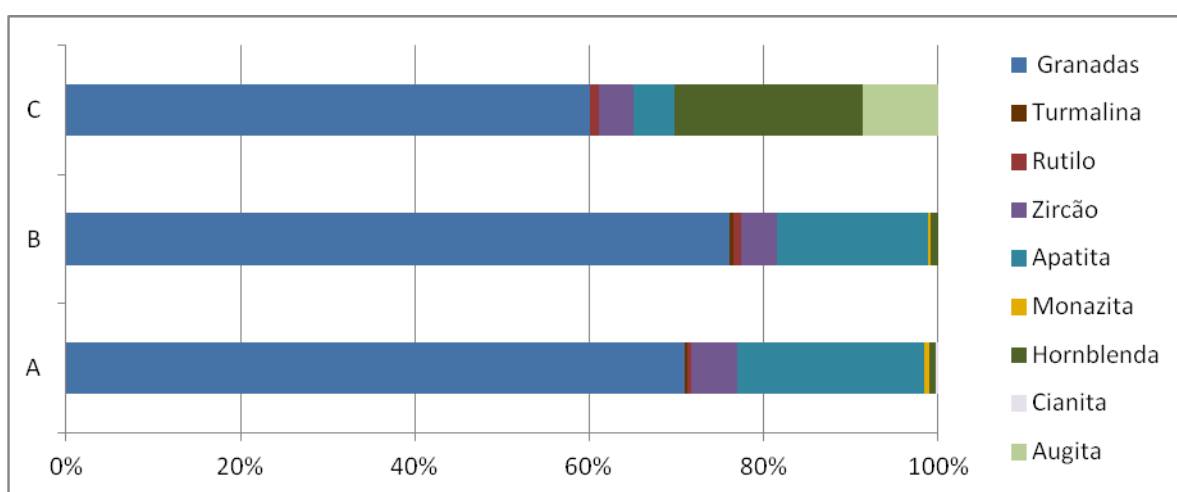


Fig. 21: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 06

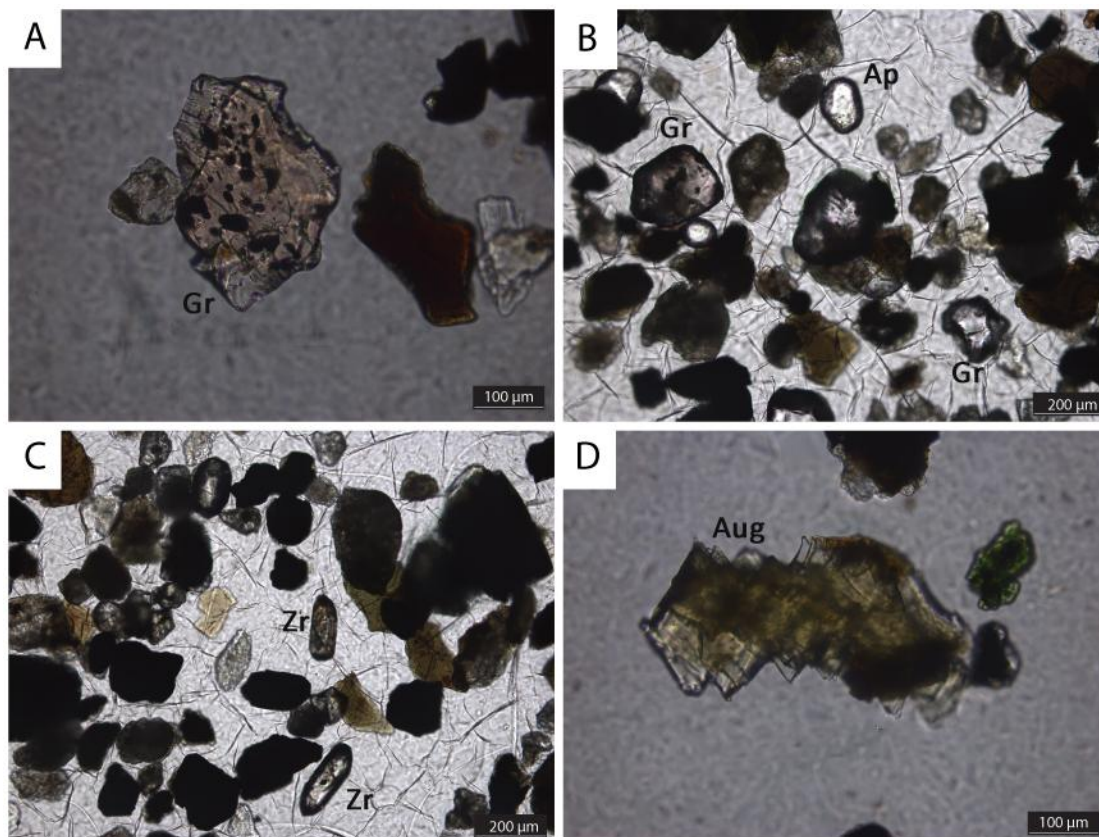


Fig. 22: (A) Grão de granada com inclusões prismáticas e granulares levemente orientadas. (B) Apatita e granadas. (C) Grãos de zircões. (D) Augita corroída. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 06.

GZi, ATi e forma do zircão apresentam valores altos e sem variações significativas.

RuZi, ARi, ZTR mostram valores baixos e sem grandes variações.

O índice dos máficos apresenta valores próximos a 30 no topo do poço, em direção a base do poço os valores diminuem.

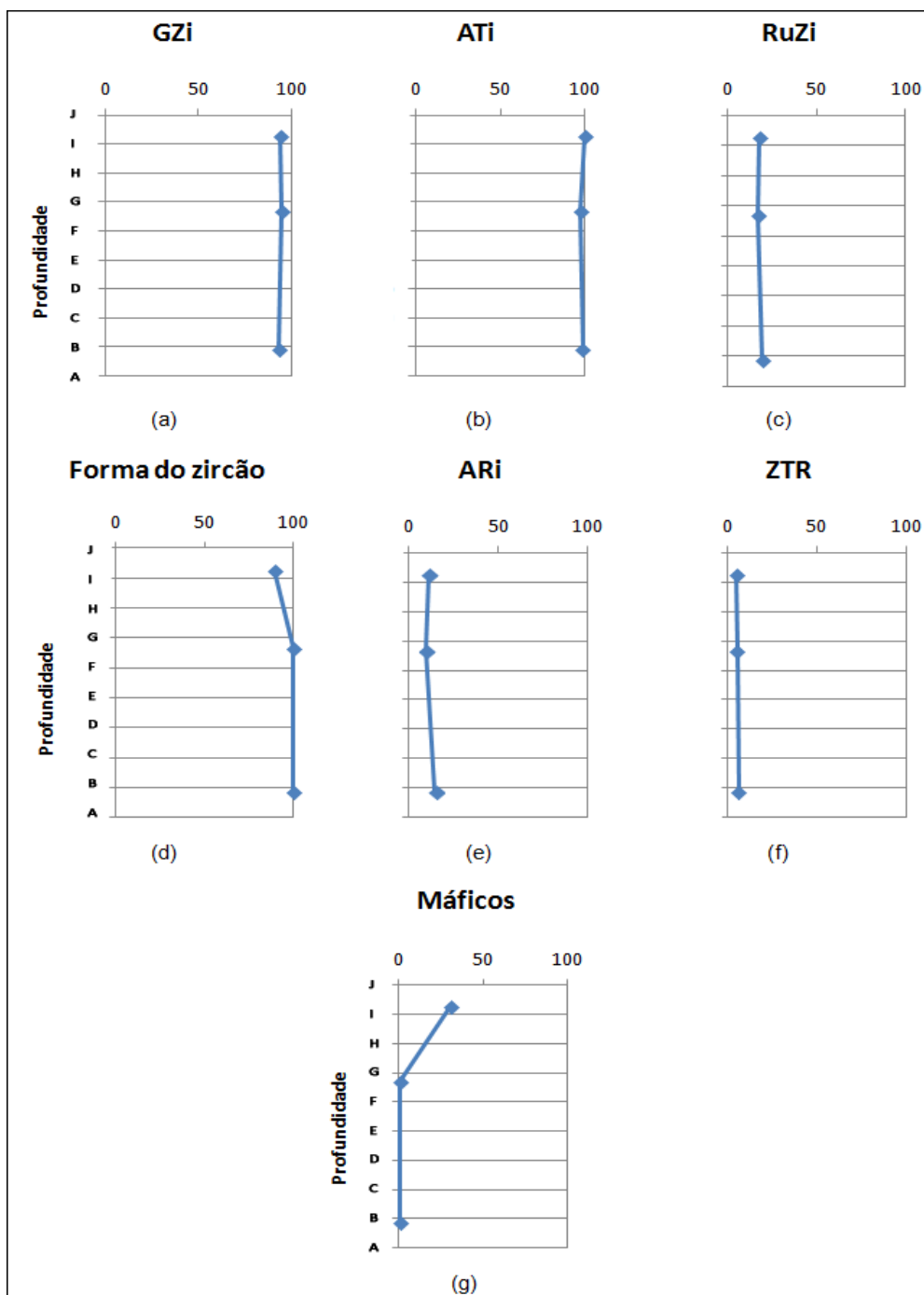


Fig. 23: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 06.

Poço 07

GRANADA – tamanho areia fina, forma granular a moderadamente alongado, sub-arredondado a sub-angulosos. Apresenta um predomínio de granadas facetas que podem indicar ação intempérica ou diagenética, granadas que apresentam essa feição geralmente são ricas em Ca (grossulária).

TURMALINA – areia fina, prismático médio, sub-arredondado, coloração amarronada.

RUTILIO – granulometria areia muito fina, prismático curto a longo, sub-arredondado a sub-anguloso. Há um predomínio de cristais amarelos, porém ocorrem cores avermelhadas.

ZIRCÃO – areia fina a muito fina, prismático curto a longo, arredondado a sub-anguloso. Cristais incolores e amarronados. Alguns grãos apresentam zonação concêntrica regular.

APATITA – areia fina a muito fina, prismático curto a longo, predomina grãos arredondados e sub-arredondados com poucos grãos sub-angulosos. Alguns grãos possuem inclusões aciculares orientadas.

MONAZITA – areia fina, prismático curto, arredondado a sub-arredondado, grãos amarelos.

EPIDOTO – tamanho areia fina, prismático curto a médio, sub-anguloso a sub-arredondado, apresenta pleocroísmo em tons de verde claro.

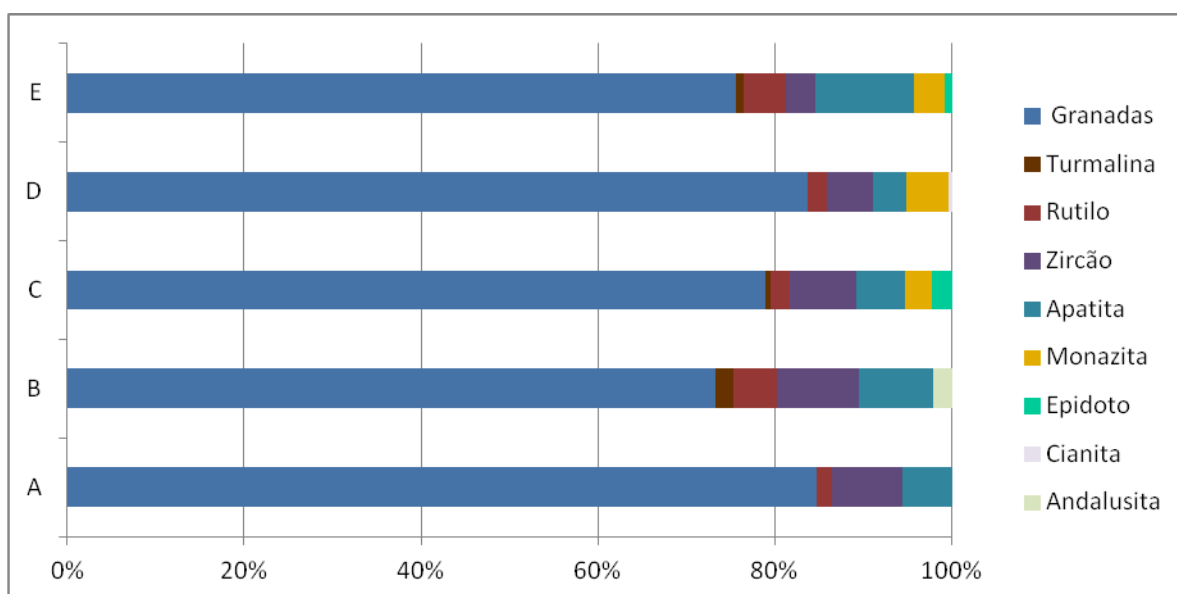


Fig. 24: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 07.

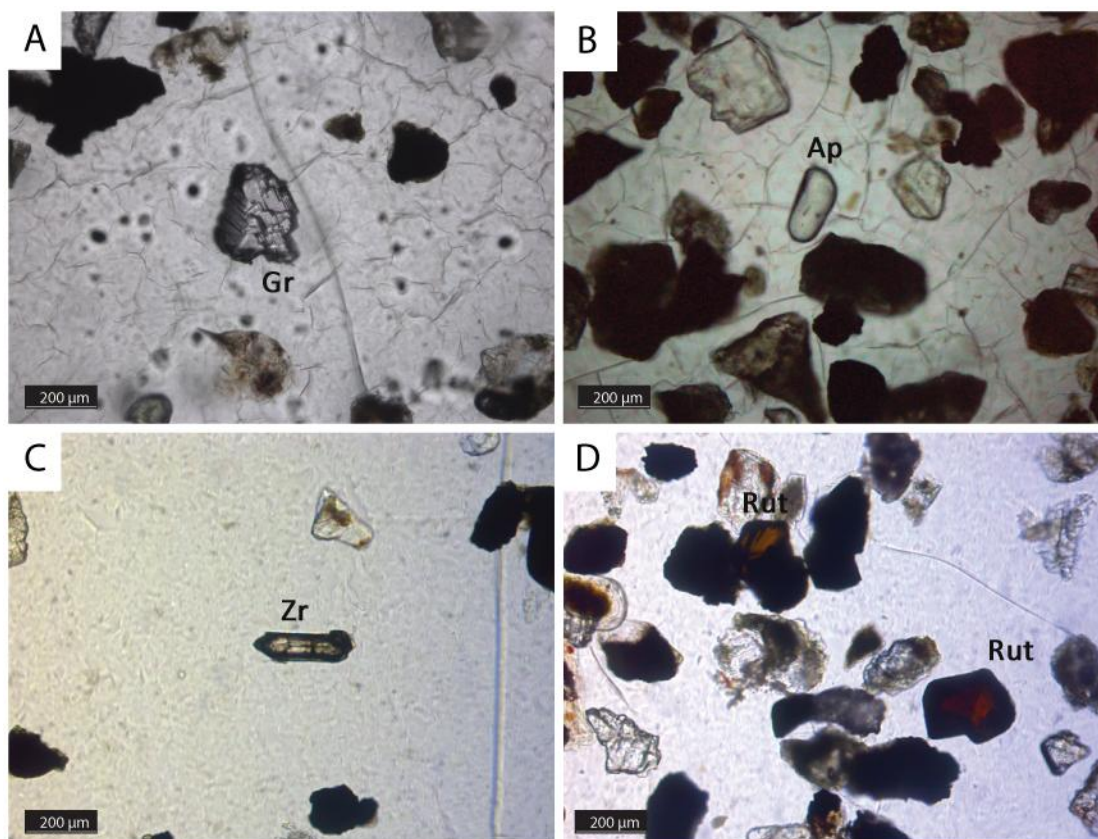


Fig. 25: (A) Granada facetada. (B) Apatita arredondada. (C) Zircão subédrico. (D) Grãos de rutilo vermelho e amarelado. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 07.

O GZi possui valores sem grandes variações.

O ATi apresenta valores altos no topo do poço e um decréscimo próximo a profundidade C. Não deve indicar mudança de proveniência pois as amostras possuem poucas turmalinas.

Os índices RuZi iniciam-se com valores próximos a 65 apresentam uma diminuição com o avanço da profundidade, seguido por um aumento e um decréscimo novamente.

O ARi apresenta valores relativamente baixos com um pico próximo a profundidade C.

O gráfico da forma do zircão inicia-se com 60 e apresenta um acréscimo a medida de que aumenta a profundidade, e um pico negativo próximo a profundidade C.

Os índices ZTR e Máficos mostram valores baixos e relativamente constantes com um pequeno aumento próximo a profundidade C.

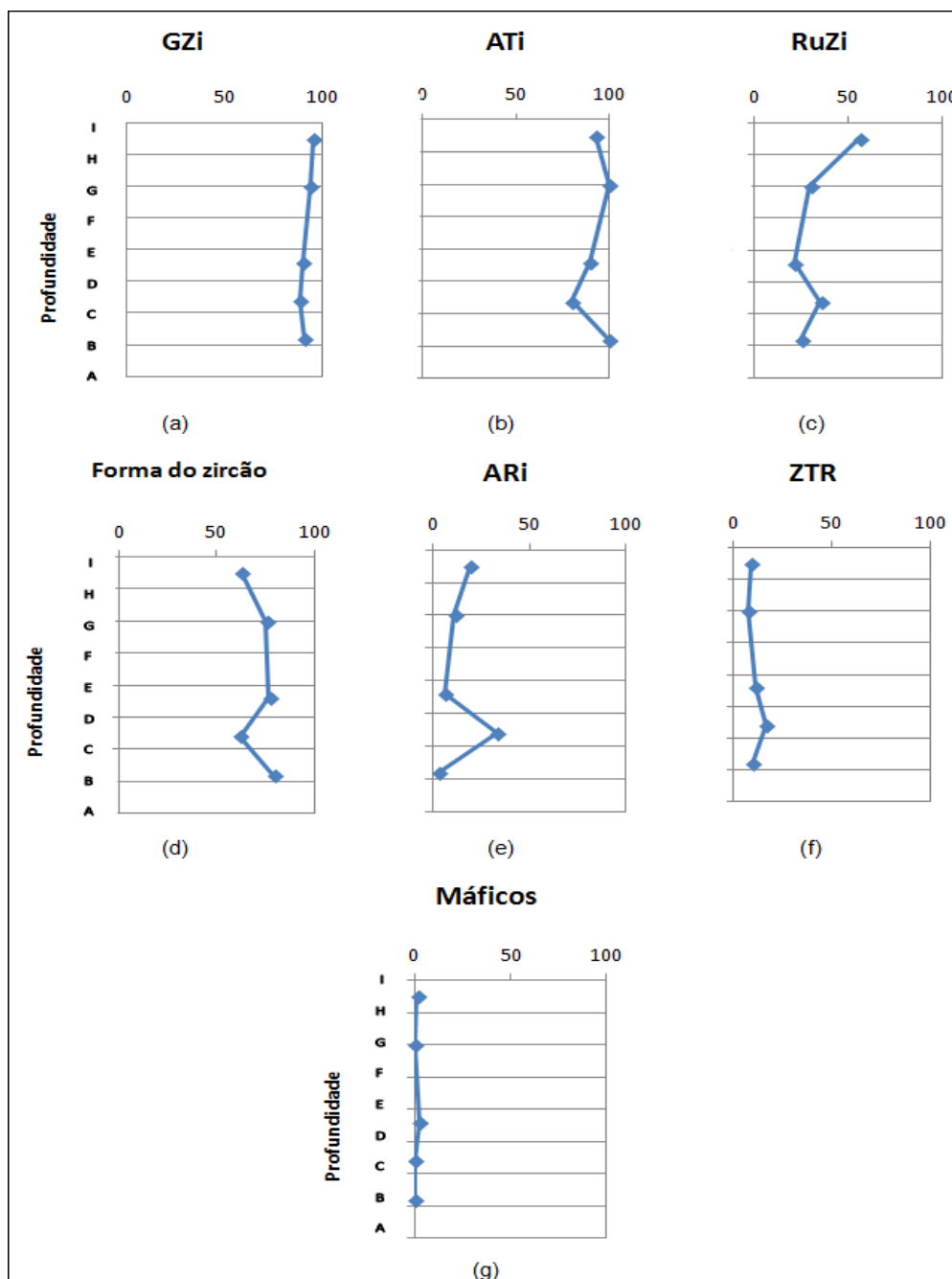


Fig. 26: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 07.

Poço 08

GRANADAS – tamanho areia fina a muito fina, forma moderadamente alongado, sub-arredondado a anguloso (poucos grãos estão facetados), cristais incolores.

TURMALINA – granulometria areia muito fina, prismático curto, sub-arredondado, possui cor marrom.

RUTILO – areia fina, prismático longo a médio, sub-arredondado a anguloso (há um caso de rutilo amarelo euédrico), predominam grãos amarelados a amarronados, e raros avermelhados.

ZIRCÃO – areia fina a muito fina, prismático longo a médio, arredondado a sub-anguloso, predominam grãos incolores, mas há marrons. Alguns grãos apresentam zonação concêntrica regular.

APATITA – granulometria areia muito fina, prismático médio a curto, arredondado a sub-arredondado.

MONAZITA – areia fina, prismático médio, sub-arredondado a sub-anguloso, cor amarelo claro.

HORNBLENDA – tamanho areia fina, prismático médio, sub-arredondado, coloração verde escuro.

AUGITA – areia fina, prismático médio a curto, sub-arredondado a sub-anguloso, incolor a marrom claro.

EPIDOTO – areia muito fino, prismático curto a médio, sub-arredondado a sub-anguloso, pleocróico em tons de verde claro.

CLINOZOISITA – tamanho areia muito fino, prismático médio a curto, sub-arredondado a anguloso, cor verde pálido.

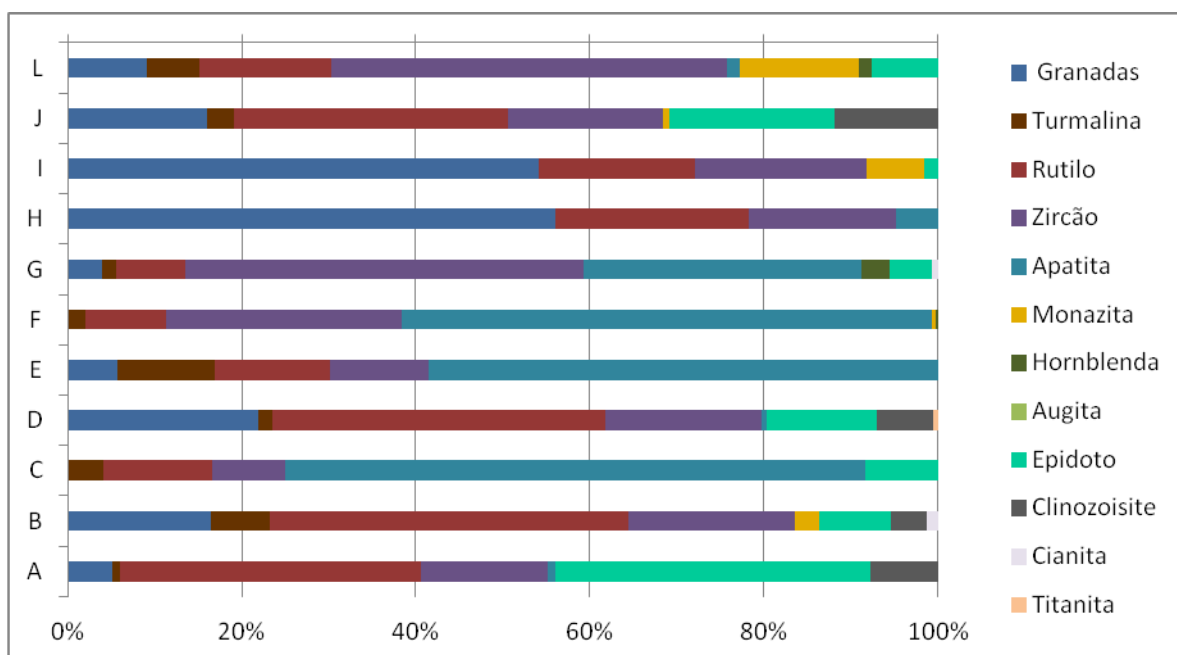


Fig. 27: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 08.

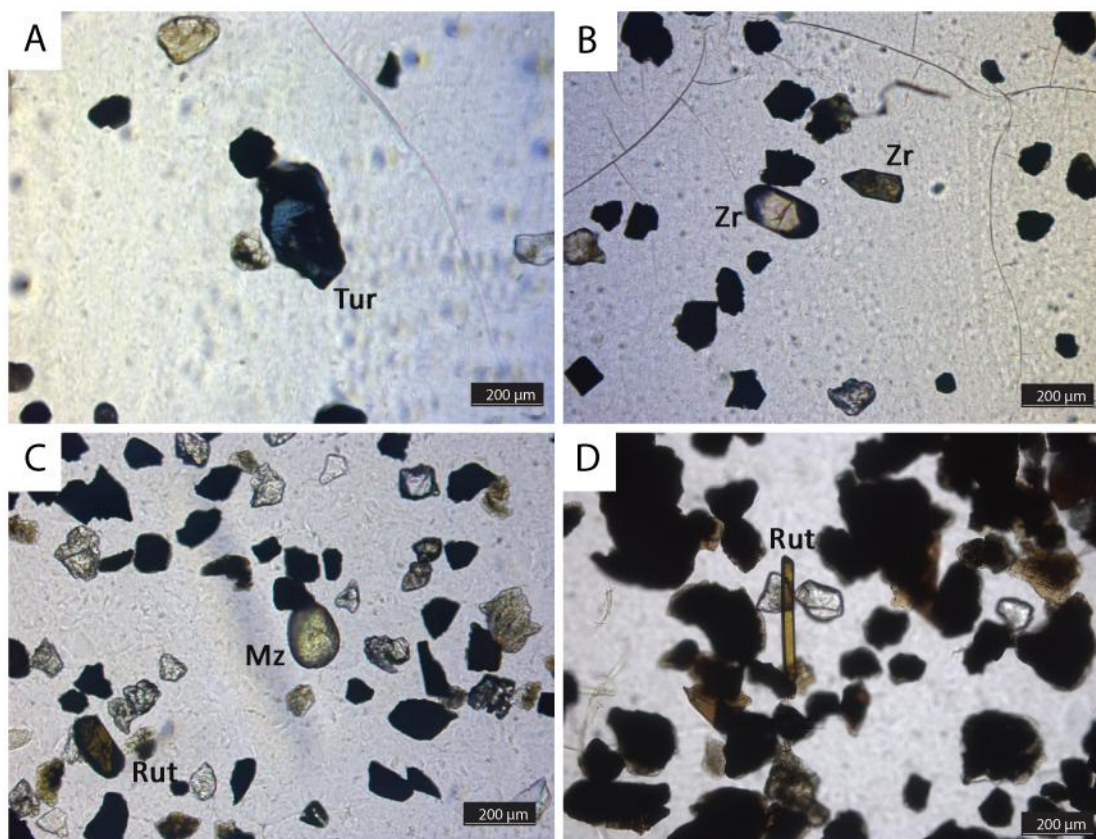


Fig. 28: (A) Turmalina azul. (B) Grãos de zircões. (C) Monazita e rutilo. (D) Grão de rutilo acicular. Imagens de microscópio óptico em luz polarizada da amostra 08.

O GZi apresenta um aumento nos valores seguido por uma diminuição até chegar a zero, esse padrão se repete mais uma vez no gráfico.

O ATi apresenta uma diminuição do índice até 0, após há um acréscimo com o aumento da profundidade, em seguida ocorre uma diminuição gradacional, seguido por um aumento, uma diminuição e por fim volta a aumentar.

RuZi no topo do poço possui aumentos e diminuições de valores próximo a D, após um aumento gradual até D, por fim uma diminuição e aumento dos valores.

O ARi no topo do poço os valores são zero, com o avanço da profundidade possui aumentos e diminuições dos valores.

ZTR apresenta um padrão de acréscimos e decréscimos de valores.

O índice da forma do zircão inicia-se com um pequeno aumento, ao longo que desce na profundidade o valor diminui e aumenta novamente, a seguir há um decréscimo considerável e após um aumento significativo, e por fim uma diminuição.

O índice dos máficos inicia-se com um aumento com o avanço da profundidade, diminuindo até chegar a zero, se mantém constante nesse valor sofrendo pouca

variação, na profundidade D sofre um acréscimo, não sofre grandes variações nos próximos dois pontos, e por fim sofre um aumento significativo.

As linhas pontilhadas no gráfico indica que os valores das amostras possuem pequena representatividade, pois apresentam poucos grãos quantificados devido a presença de muitos minerais alterados e carbonatos nas lâminas.

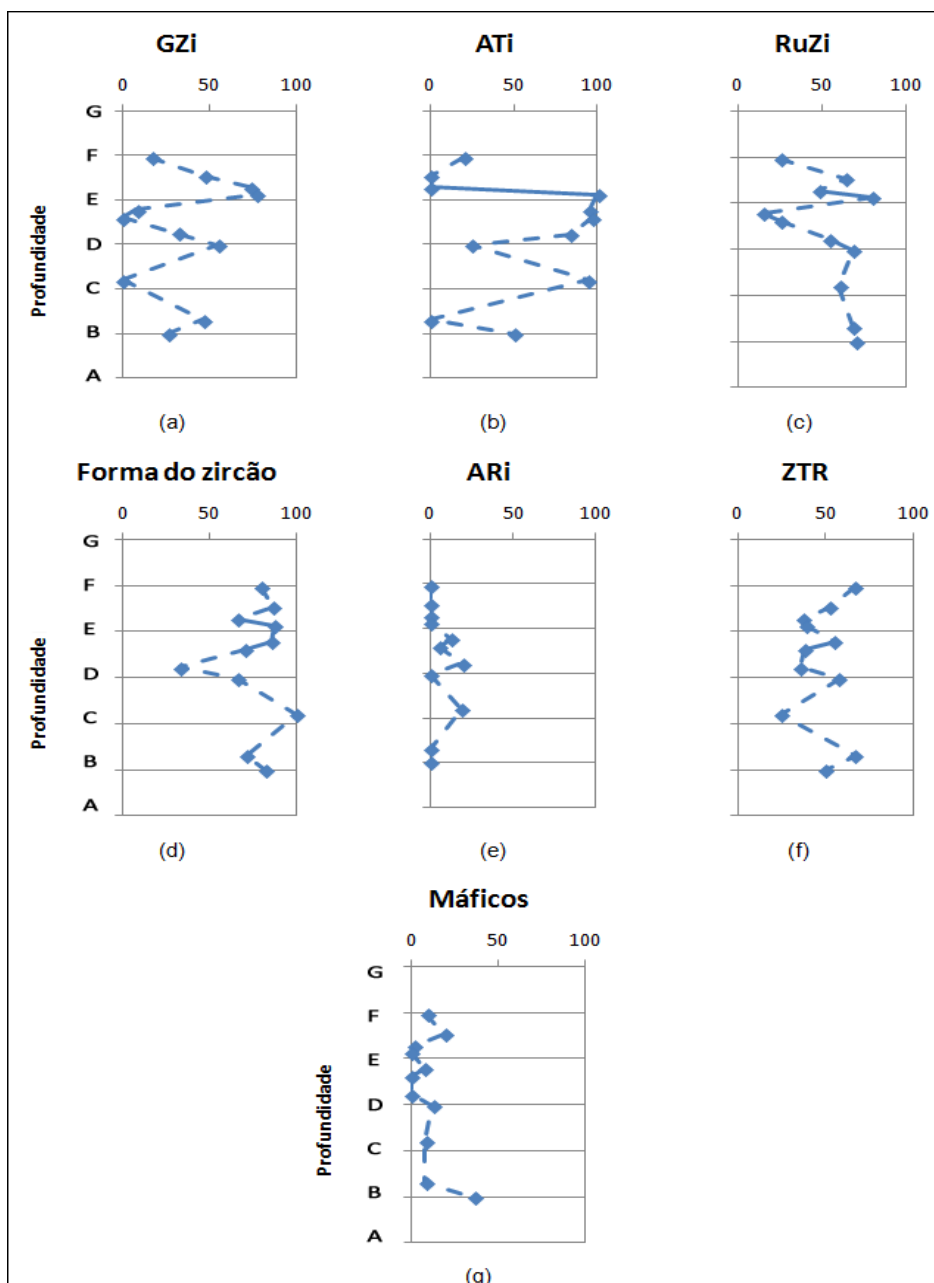


Fig. 29: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 08.

Poço 09

GRANADA – tamanho areia fina, forma granular a moderadamente alongado, sub-arredondado a sub-anguloso, possui inclusões translúcidas granulares e algumas prismáticas. Possui granadas rosas e incolores.

TURMALINA – granulometria areia fina, prismático médio sub-arredondado, possui pleocroísmo em tons marrons.

RUTILO – areia fina, prismático médio sub-arredondado, cor amarelo claro.

ZIRCÃO – tamanho areia muito fina, prismático médio sub-arredondado, incolor.

APATITA – areia fina a muito fina, prismático médio a curto sub-arredondado a arredondado.

HORNBLENDA – possui granulometria areia fina a muito fina, prismático médio a curto sub-arredondado a anguloso (esse último principalmente na profundidade 1608 m). Possui tons verdes (predominante) e marrons.

TREMOLITA/ACTINOLITA – tamanho areia fina, prismático médio sub-arredondado, tons verdes claros e incolores.

AUGITA – granulometria areia fina, prismático médio a curto sub-anguloso, tons verdes, marrons e incolor.

EPIDOTO – tamanho areia fina a muito fina, prismática médio a curto sub-arredondado. Pleocroísmo do verde pistache ao incolor

TITANITA – granulometria areia fina, prismático médio sub-arredondado. Cor amarelo pálido.

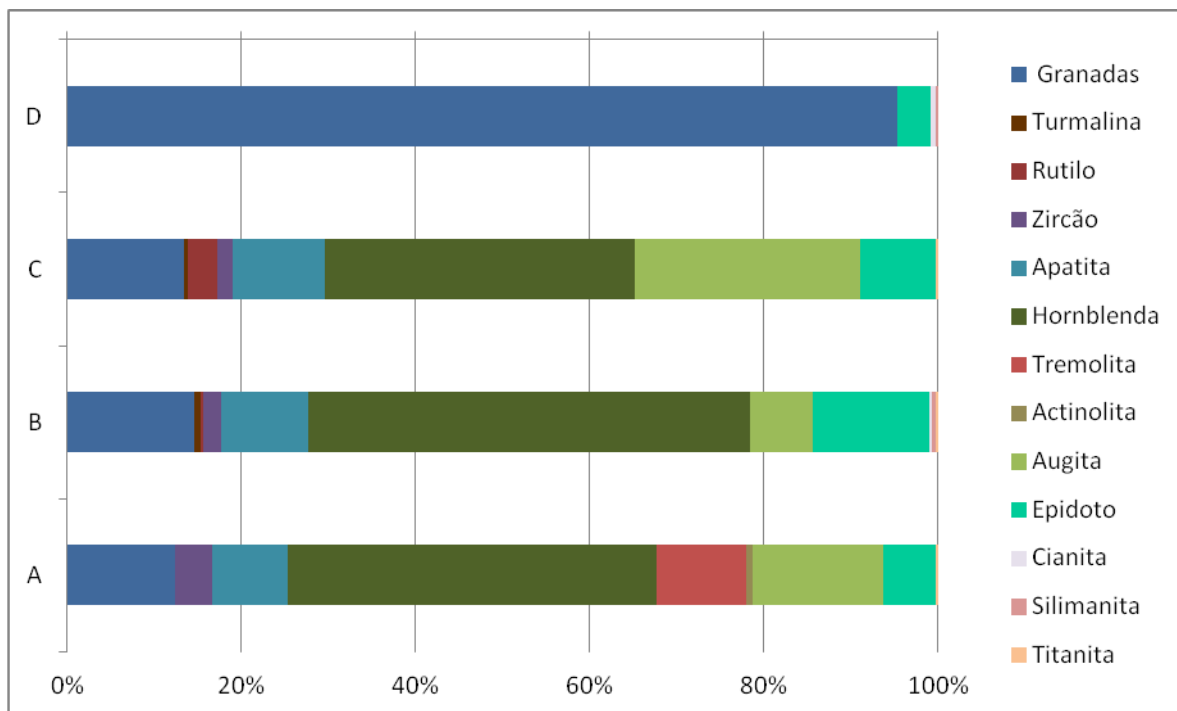


Fig. 30: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 09.

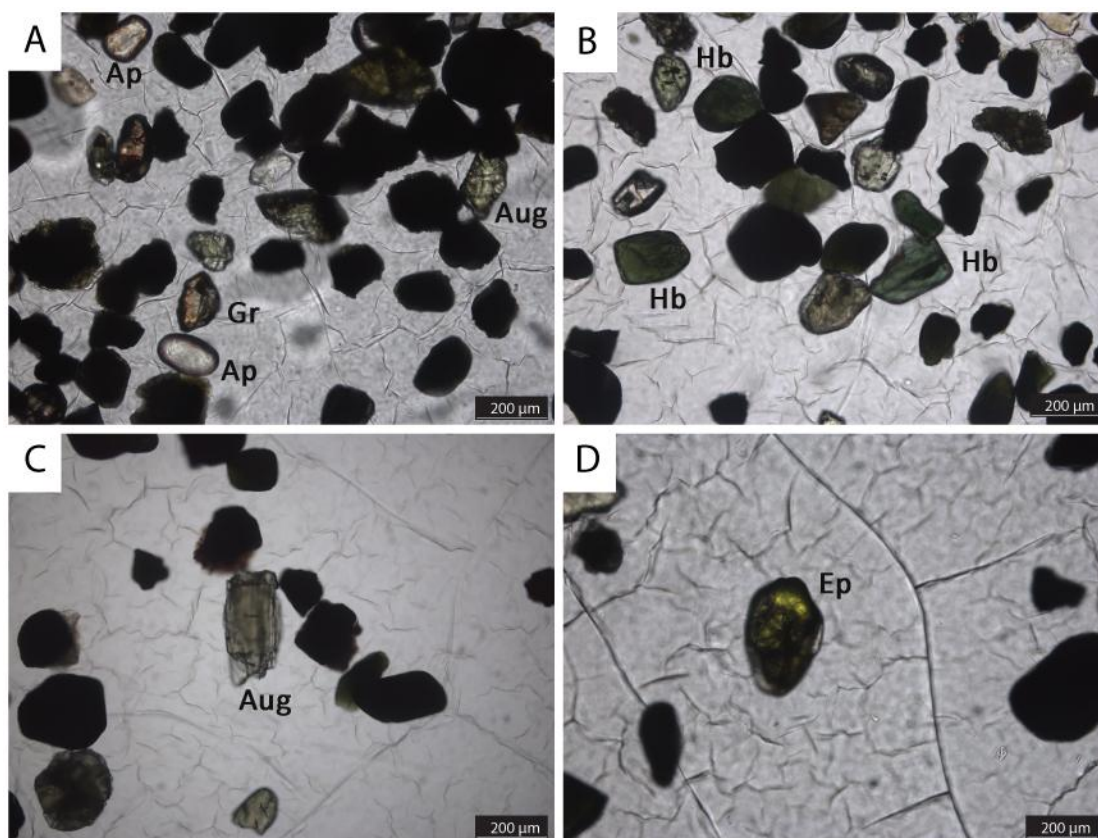


Fig. 31: (A) Apatitas arredondadas, granada e augita. (B) Grãos de hornblendas. (C) Grão de augita. (D) Grão de epidoto. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 09.

O índice ZTR possui valores baixos e sem grandes variações.

O GZi possui valor de 60 no topo do poço e após apresenta um acréscimo com o aumento da profundidade e na base do poço o valor decai.

O ATi possui valores altos e sem grandes variações.

RuZi apresentam valores baixos e um pico positivo na profundidade G.

O ARi possui valor próximo aos 55 no topo do poço com um acréscimo a medida que aumenta a profundidade e após diminui.

O índice de comprimento de zircão no topo do poço possui valor próximo a 80, com um acréscimo ao longo da profundidade, após decai e aumenta novamente.

Os índices de máficos apresentam valores próximos dos 70 com pouca variação.

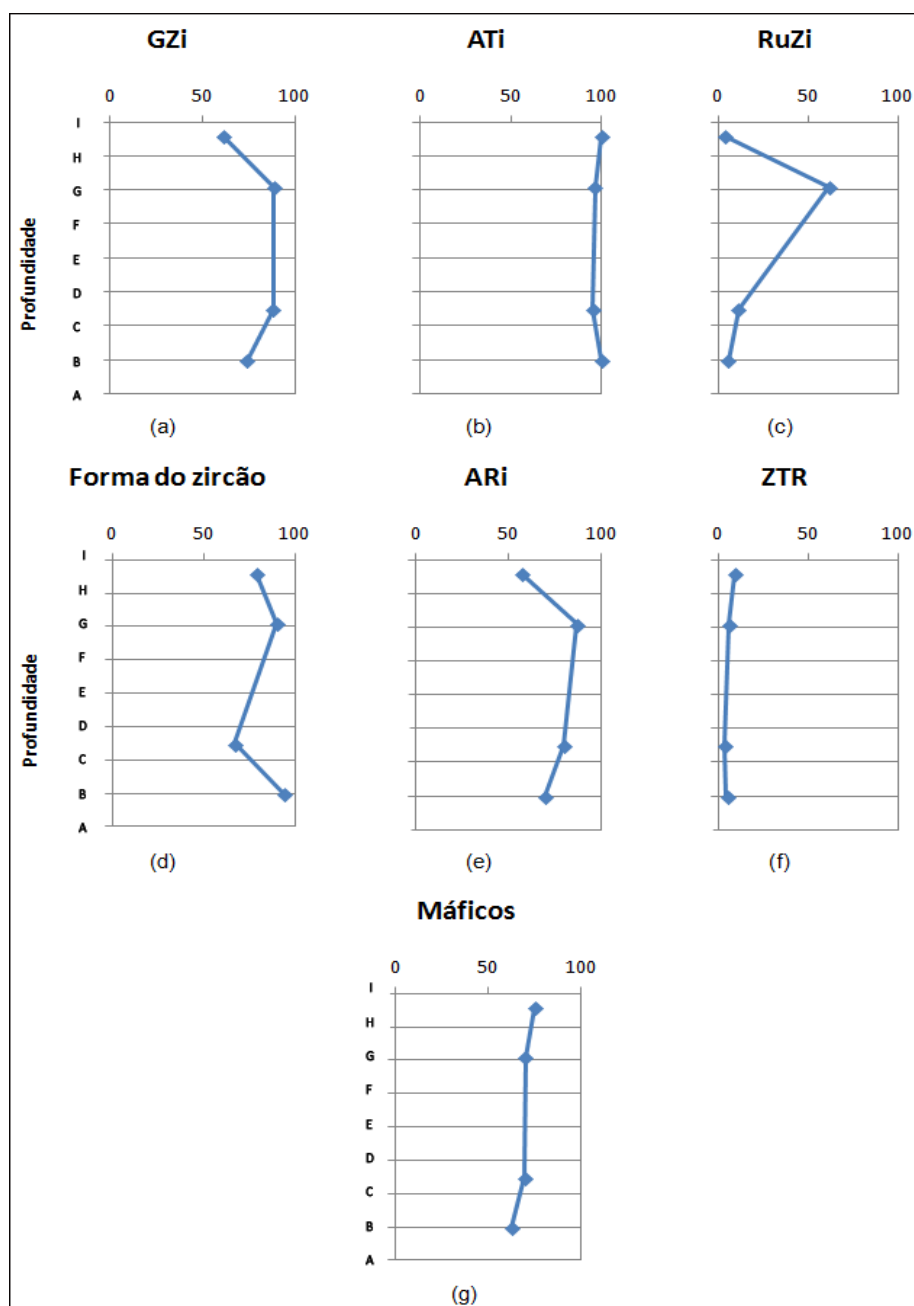


Fig. 32: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 09.

Poço 10

GRANADA – areia fina a muito fina, forma granular a moderadamente alongado, sub-arredondado a sub-anguloso, incolores a rosadas. Possuem inclusões granulares a prismáticas opacas e translúcidas podendo ser orientadas ou não.

TURMALINA – areia muito fina, prismático curto a médio, sub-arredondado, cor marrom.

RUTILO – tamanho areia muito fina, prismático longo a médio, sub-arredondado a sub-anguloso, cristais em tonalidades amarelas. Podem apresentar inclusões granulares translúcidas.

ZIRCÃO – areia fina a muito fina, prismática longo a médio, sub-arredondado, cristais incolores podendo apresenta zonação concêntrica regular e inclusões prismáticas e granulares translúcidas orientadas ou não.

APATITA – granulometria areia muito fina, prismático médio a curto, sub-arredondado.

HORNBLENDA – areia fina a muito fina, prismático longo a curto, sub-arredondado a anguloso, a cor varia em tons de verde.

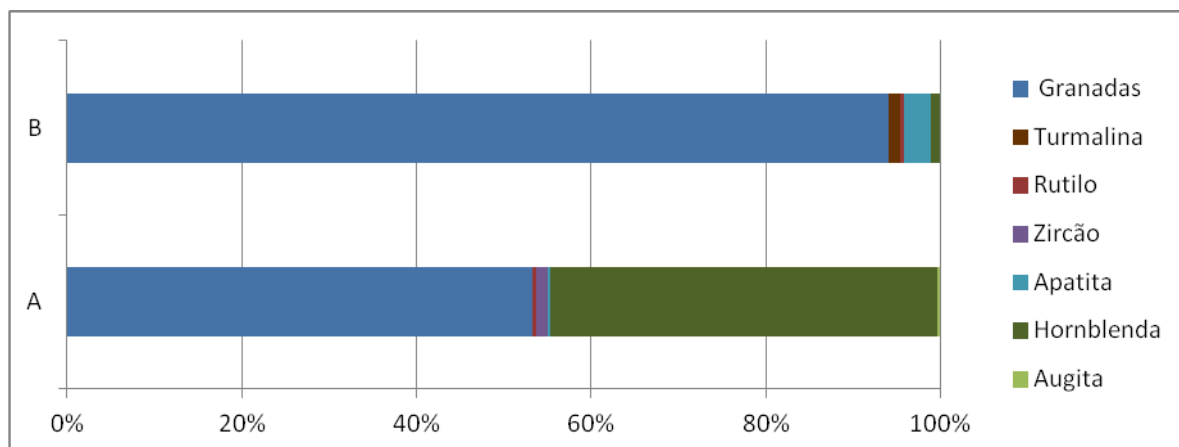


Fig. 33: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 10.

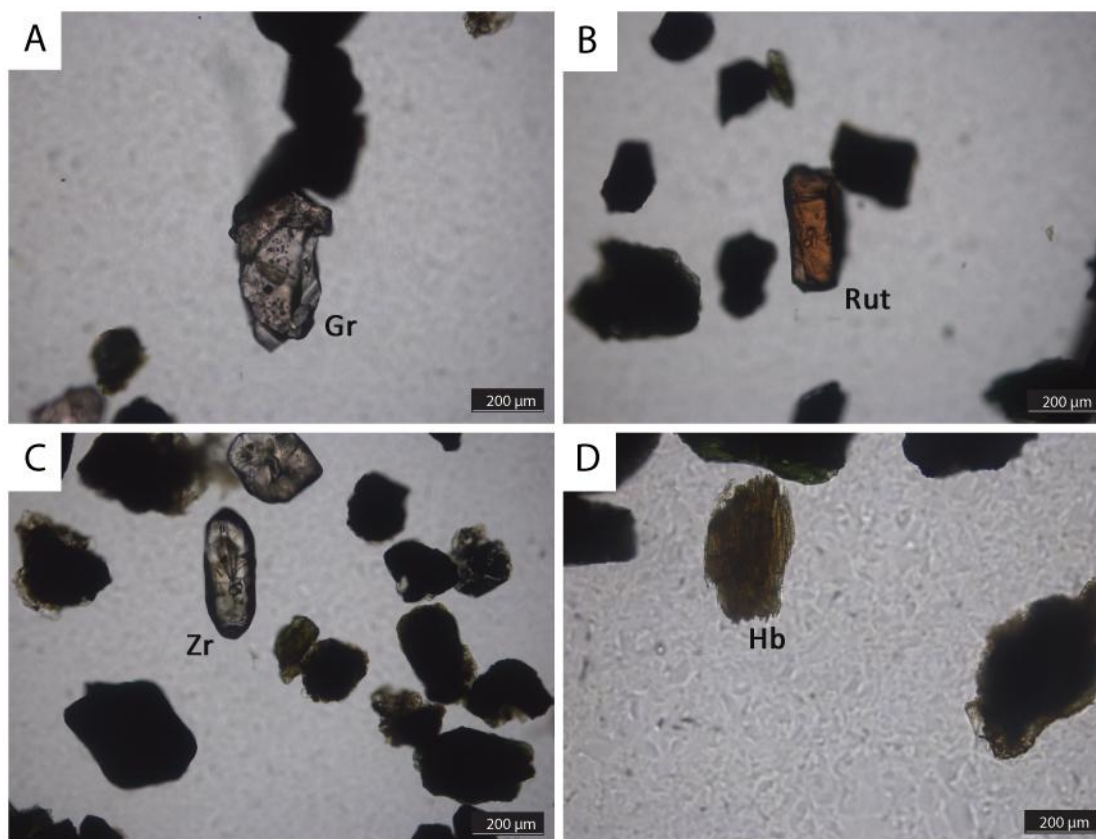


Fig. 34: (A) Granada com inclusões granulares. (B) Rutilo com inclusões granulares. (C) Zircão com inclusões. (D) Hornblenda marrom. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 10.

O GZi possui valores altos e sem variações significativas.

O ARi é zero pois não possui apatitas arredondadas.

ZTR possui valores baixos e sem variações significativas.

O ATi possui valor do topo do poço próximo aos 75 e aumenta conforme aumenta a profundidade.

O RuZi possui valores baixos com um pequeno aumento na base do poço.

O índice da forma do zircão apresenta valor próximo a 85 no topo do poço, abaixo ocorre um aumento.

O índice dos máficos possui valor baixo no início do poço e aumenta para o fundo.

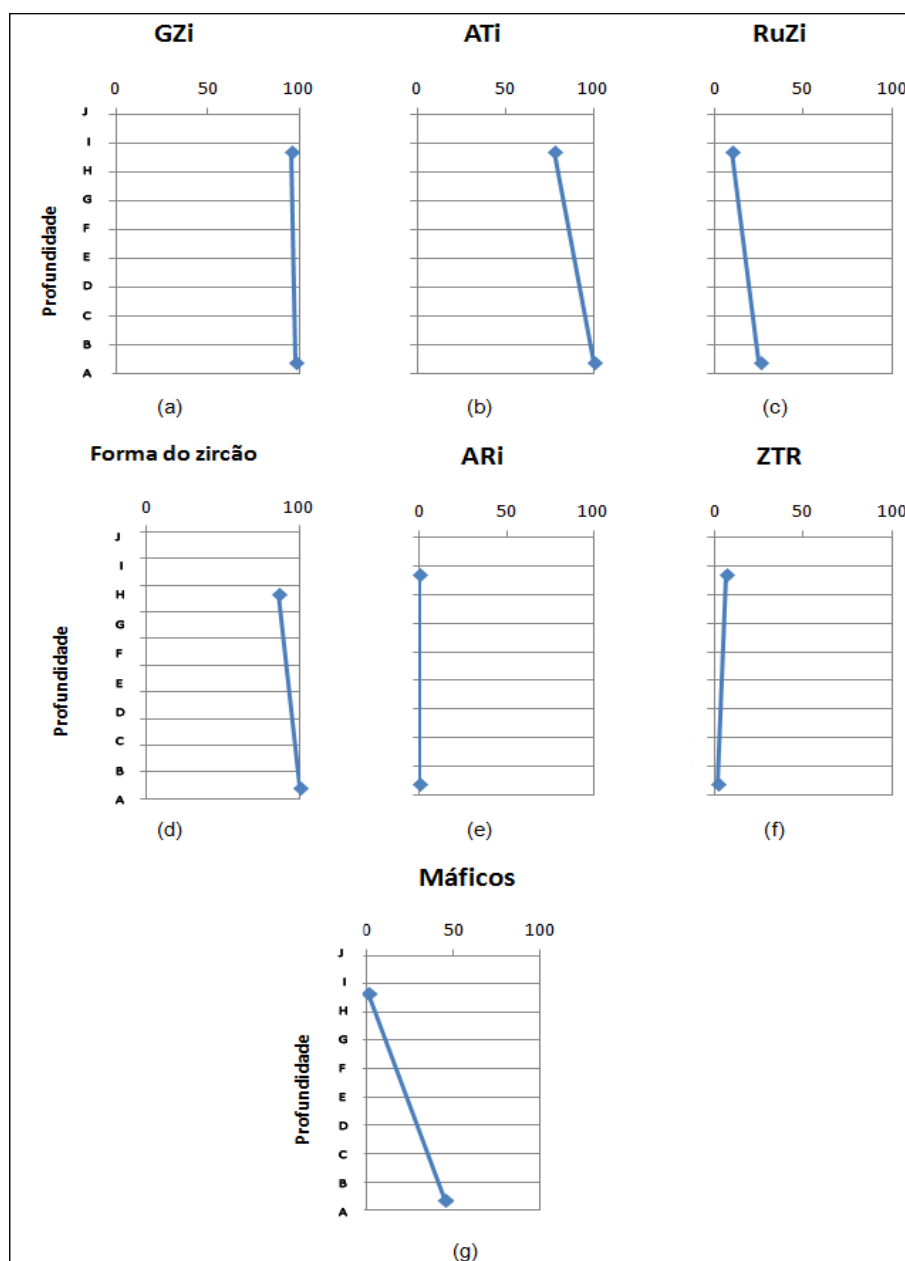


Fig. 35: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 10.

Poço 11

GRANADA – tamanho areia fina a muito fina, forma granular, sub-arredondado a anguloso (há poucos grãos facetados), coloração variando do incolor ao rosa. Apresentam inclusões granulares a prismáticas opacas e translúcidas, podendo ser orientados ou não orientados.

TURMALINA – areia fina, prismático curto, sub-arredondado, cor marrom.

RUTILO – tamanho areia muito fina, prismático médio a curto, sub-arredondado a sub-anguloso, coloração amarela.

ZIRCÃO – areia muito fina, prismático longo a curto, sub-arredondado, predomínio de cristais incolores e raros marrons.

TITANITA – granulometria areia fina a muito fina, prismático curto, sub-arredondado a sub-anguloso, cor amarelo claro.

APATITA – tamanho areia muito fina, prismático médio a curto, arredondado a sub-anguloso. Alguns grãos possuem inclusões prismáticas translúcidas não orientadas.

HORNBLENDA – granulometria areia fina a muito fina, prismático médio a curto, sub-arredondado a anguloso, cor em tons de verde e marrom.

AUGITA – areia fina, prismático longo a médio, em geral sub-arredondados, ocorrem em tons marrons e incolor.

EPIDOTO – fina, prismático curto, sub-arredondado a anguloso, cor em tons de verde.

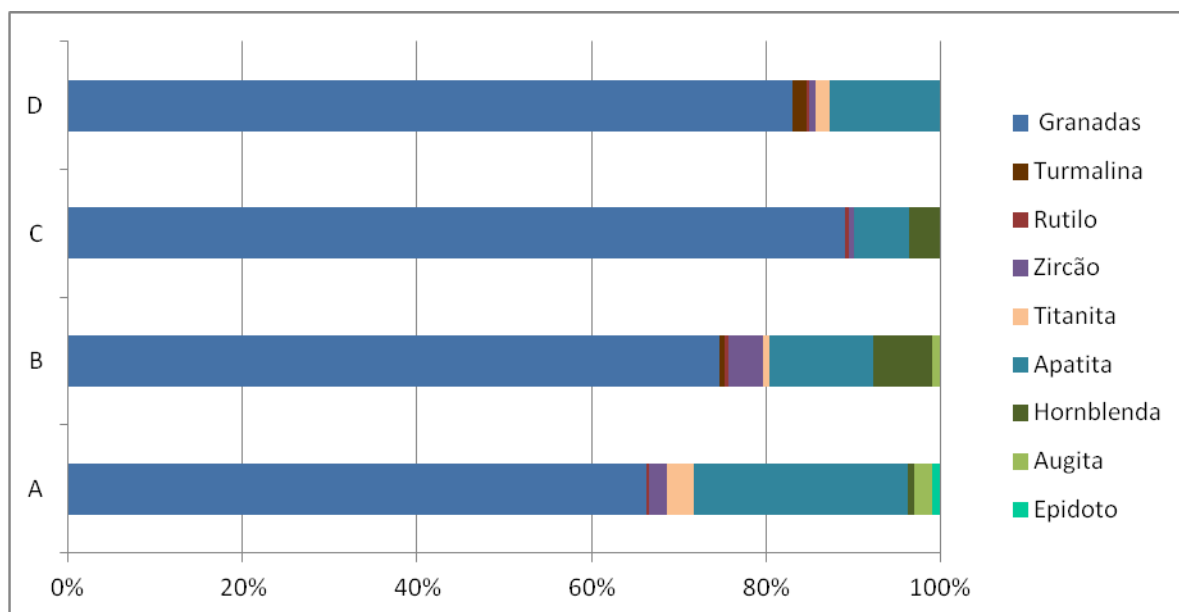


Fig. 36: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 11.

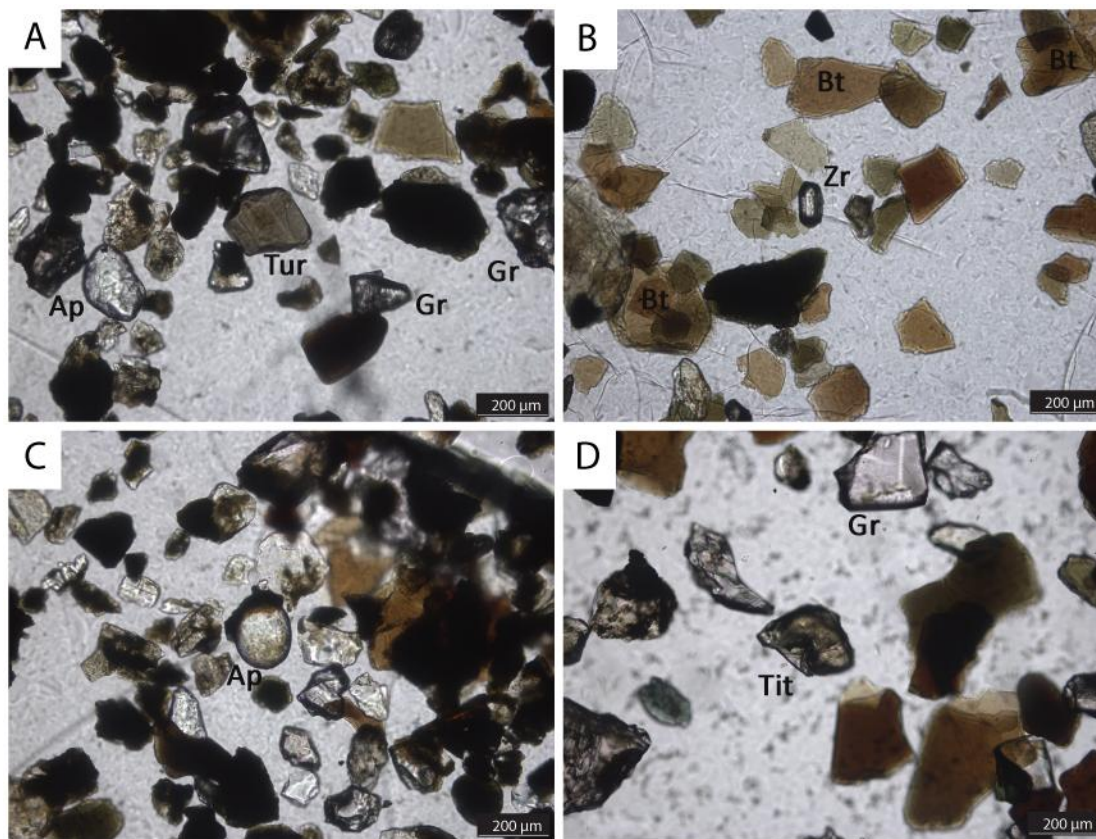


Fig. 37: (A) Granadas, turmalina e apatita. (B) Zircão com grãos de biotita. (C) Apatita arredondada. (D) Titanita e granada. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 11.

O índice GZi apresenta valores altos sem variações significativas.

O ATi possui valor de 83 no início do poço e a medida que aumenta os valores sofrem um acréscimo e não sofre mudanças significativas.

O GZi, ZTR, gráfico da augita e gráfico dos máficos não apresentam variações significativas.

O ATi possui um aumento do topo até E e com o aumento da profundidade não sofre grandes variações.

O gráfico RuZi possui valor de 62 no topo do poço e diminui gradativamente com o aumento da profundidade.

O índice ZTR possui valores baixos sem mudanças significativas.

O índice ARi e forma do zircão apresentam um acréscimo seguido por um decréscimo com o aumento da profundidade, finalizando com uma elevação dos índices.

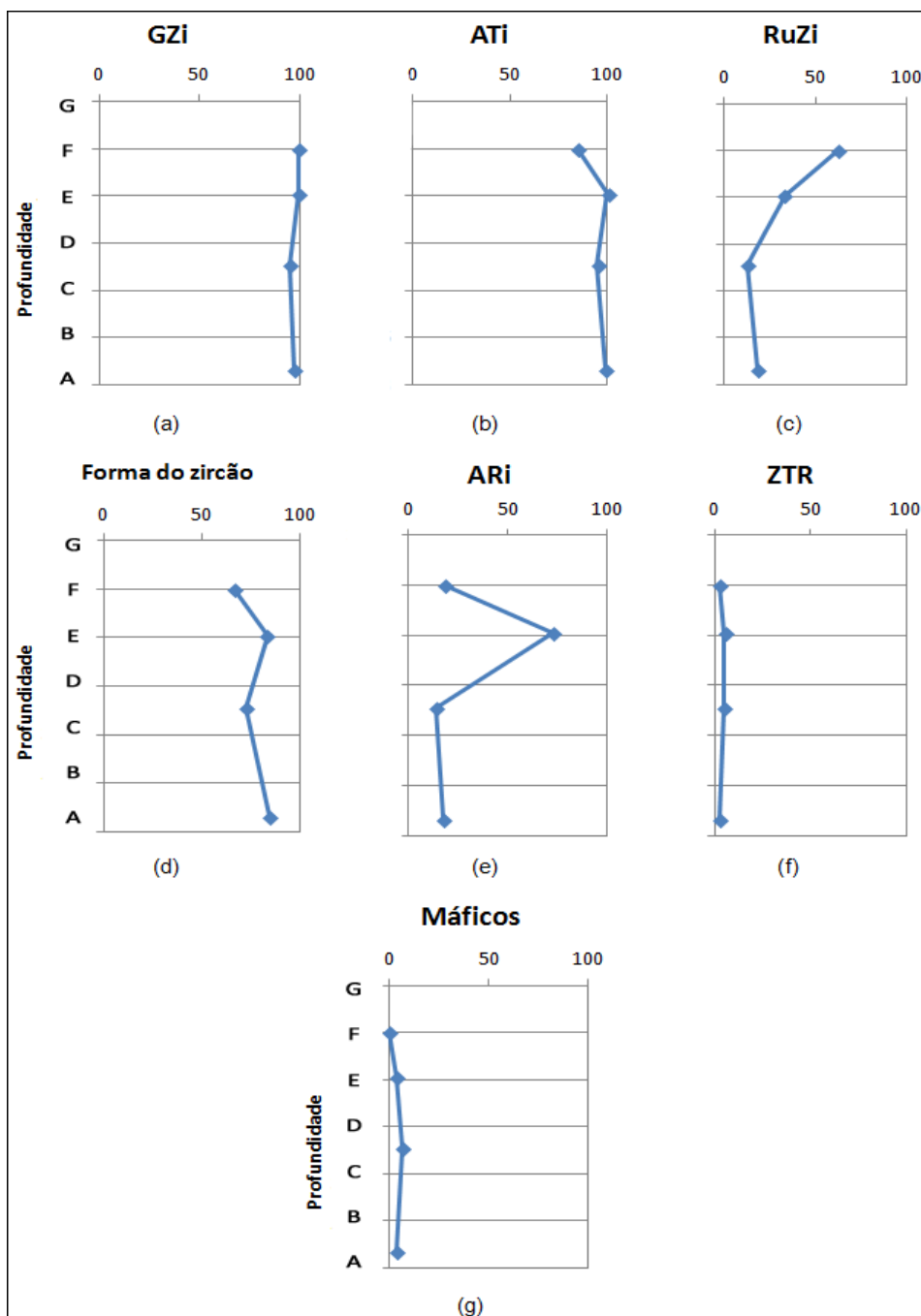


Fig. 38: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 11.

Poço 12

GRANADA – tamanho areia fina a muito fina, forma granular a moderadamente alongado, sub-arredondado a sub-anguloso, podem apresentar inclusões prismáticas a granulares translúcidas não orientadas a orientadas. Os cristais são incolores a rosa.

TURMALINA – tamanho areia fina, prismático curto, sub-arredondado, domina cristais de cor marrom e há raros cristais azuis na profundidade 2961 m.

RUTILO – granulometria areia muito fina, prismático médio, sub-arredondado, possui coloração amarelo e vermelho.

ZIRCÃO – areia fina a muito fina, prismático longo a curto, arredondado a sub-anguloso (muitos grãos são subédricos), predominam cristais incolores, porém há marrons. Pode possuir inclusões prismáticas translúcidas não orientadas e zonação concêntrica regular.

APATITA – tamanho areia muito fina, prismático curto a médio, sub-arredondado a arredondado.

HORNBLENDA – granulometria areia muito fina, prismático curto a longo, sub-arredondado a sub-anguloso, em geral são verdes, mas ocorre marrons.

AUGITA – tamanho areia fina a muito fina, prismático curto a médio, sub-arredondado a sub-anguloso. Possui tons de verde claro a marrom claro.

EPIDOTO – tamanho areia fina a muito fina, prismático curto a médio, sub-arredondado a sub-anguloso, apresenta tons de verde claro a verde amarelado.

TITANITA – tamanho areia fina, prismático curto a médio, sub-arredondado, cor marrom claro.

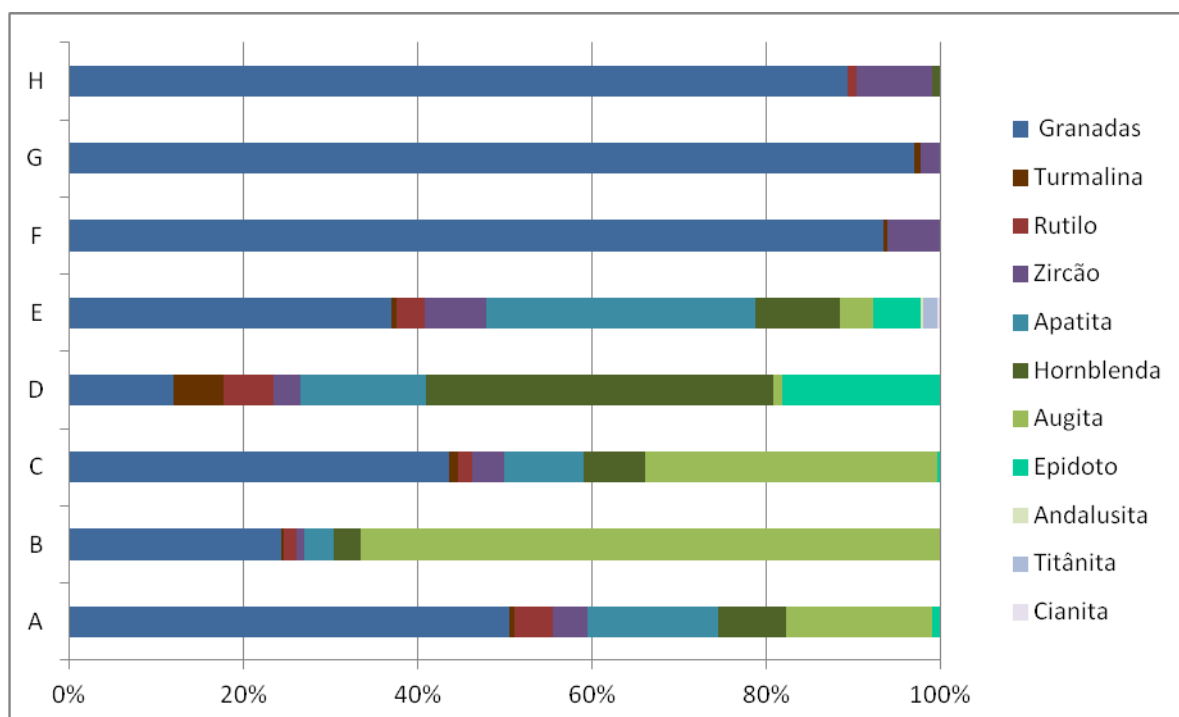


Fig. 39: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 12.

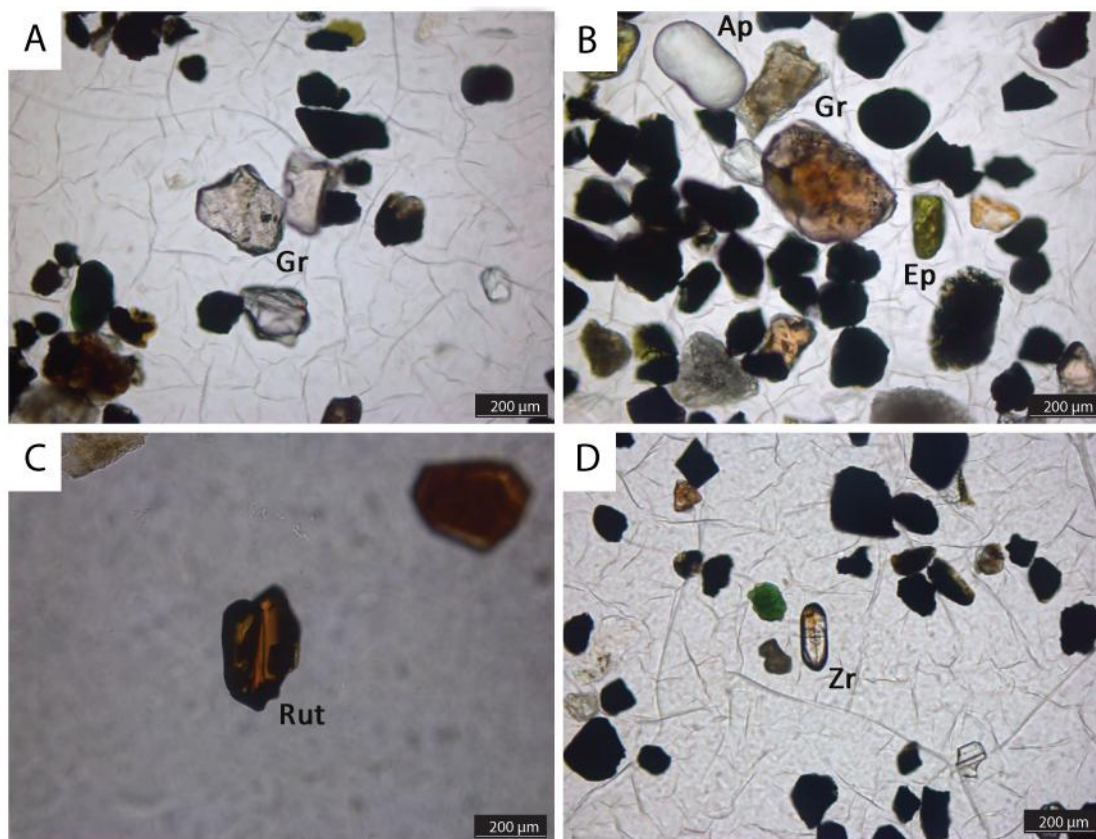


Fig. 40: (A) Grãos de granada. (B) Granada rosada, apatita arredondada e epidoto. (C) Grão de rutilo. (D) Grão de zircão. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 12.

O índice GZi apresenta valores altos no início do poço seguido por um decréscimo, e aumenta novamente.

O índice ATi possui valores baixos no início do poço e nas amostras mais profundas os valores aumentam.

O RuZi apresenta valores baixos no topo do poço seguido por um aumento dos valores com um pico negativo na profundidade C.

O índice ARi apresenta valores baixos nas amostras mais rasas, com o avanço da profundidade os valores aumentam e em C decai novamente.

O ZTR possui valores baixos com algumas variações.

A forma do zircão começa com um acréscimo até 100 com o avanço da profundidade, em seguida o valor diminui e aumenta novamente. Após ocorre um pico de decaimento e aumenta novamente, por fim há uma diminuição e um aumento nos valores.

O índice de máficos possui valores baixos nas amostras do topo do poço e a medida que aumenta a profundidade os valores aumentam, em C há um pico negativo.

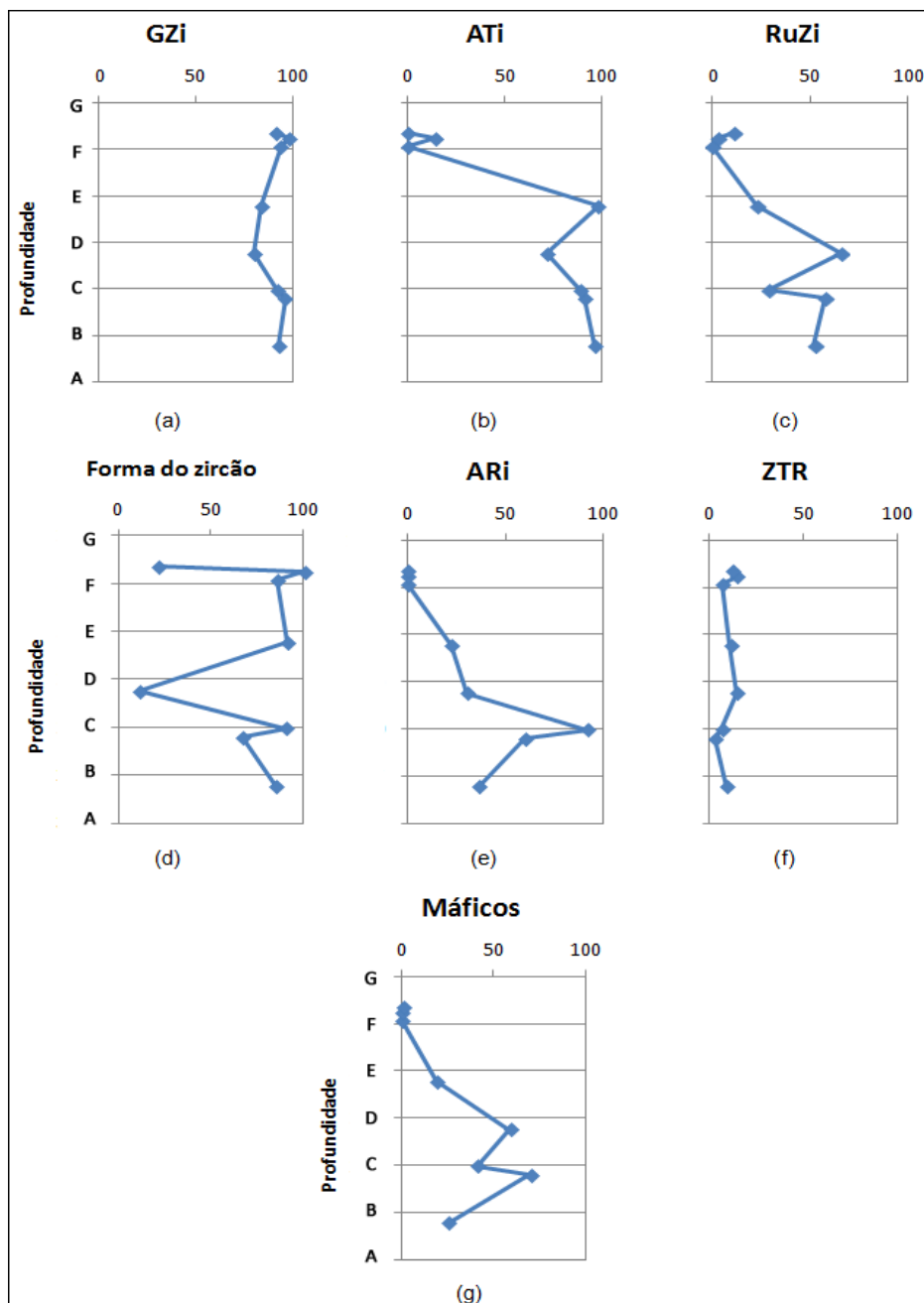


Fig. 41: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 12.

Poço 13

GRANADA – tamanho areia fina a muito fina, forma granular a moderadamente alongado, sub-arredondado a sub-anguloso, possui inclusões granulares a prismáticas translúcidas podendo ser orientadas ou não.

RUTILO – granulometria areia fina, prismático médio a curto, sub-arredondado a sub-anguloso, cor amarelo amarronado.

ZIRCÃO – areia fina a muito fina, prismático médio a curto, arredondado a sub-anguloso. Podem ocorrer inclusões prismáticas e granulares translúcidas ou opacas orientadas ou não.

APATITA – areia fina a muito fina, prismático médio a curto, arredondado a sub-arredondado.

HORNBLENDA – granulometria areia fina a muito fina, prismático curto a médio, sub-arredondado a sub-anguloso. Predominam cristais esverdeados e raros marrons.

AUGITA – areia muito fina, prismático curto, sub-arredondado, cor verde claro.

EPIDOTO – tamanho areia fina, prismático médio, sub-arredondado a sub-anguloso, cor verde amarelado.

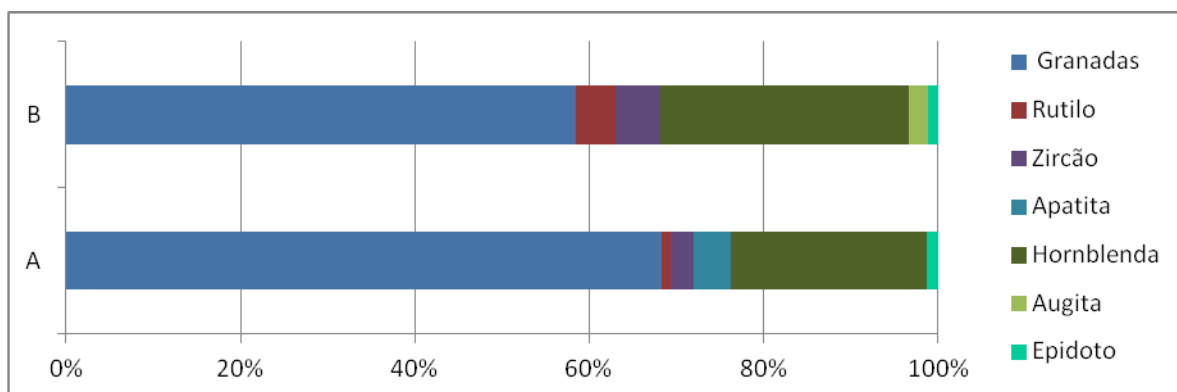


Fig. 42: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 13.

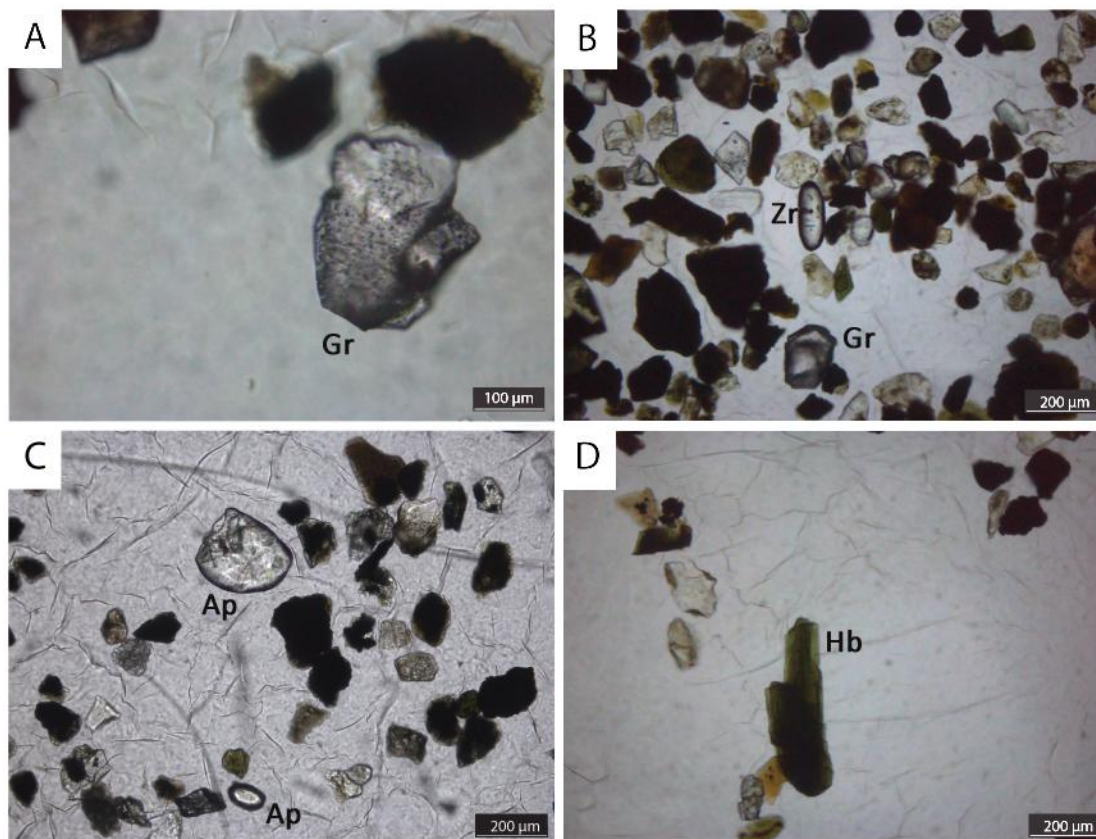


Fig. 43: (A) Granada com inclusões. (B) Grão de granada e zircão. (C) Grãos de apatitas. (D) Grão de hornblenda. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 13.

O GZi apresenta valores altos sem variações significativas.

ATi e ARi só possuem valores significativos na amostra mais profunda.

RuZi apresentam valores próximos a 50 e há uma diminuição com o aumento da profundidade.

Os máficos não possuem grandes alterações ao longo do poço.

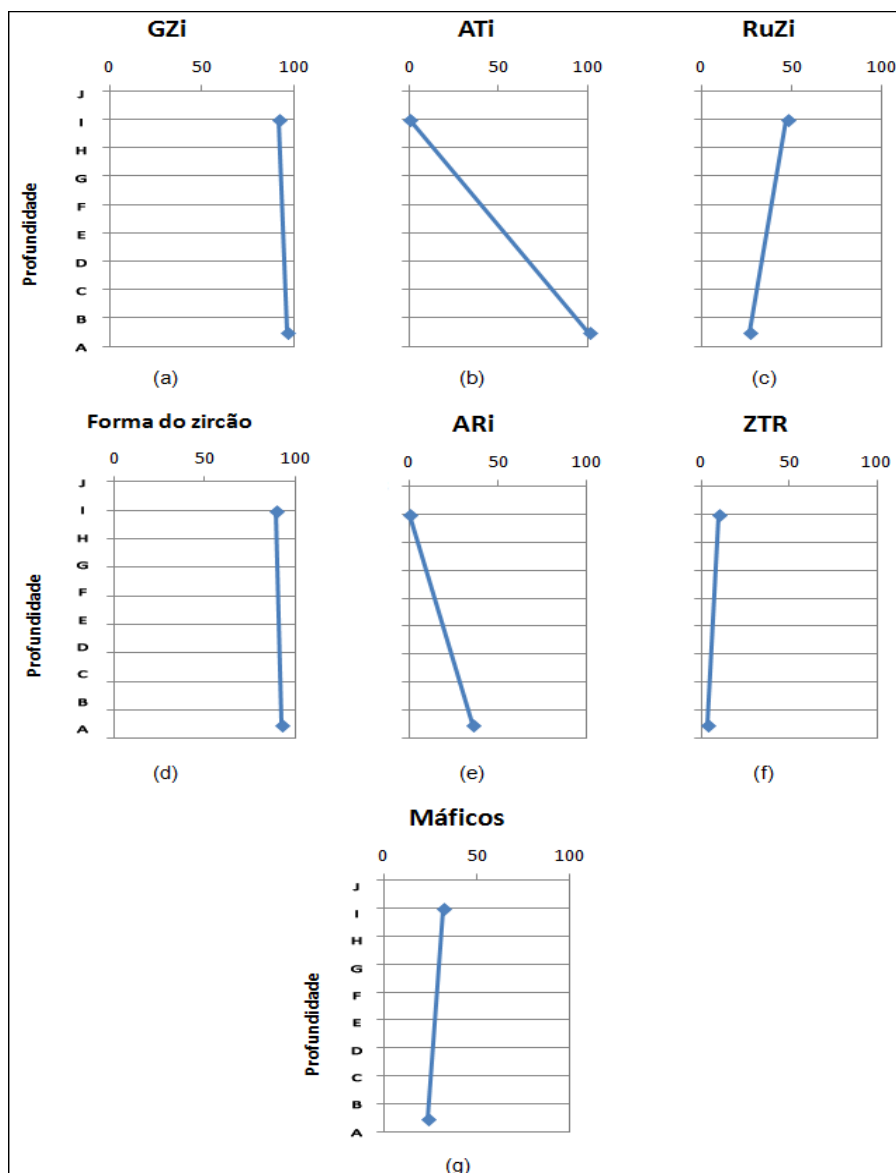


Fig. 44: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 13.

Poço 14

GRANADA – tamanho areia fina, forma granular a moderadamente alongado, sub-arredondadas a angulosas. Predominam granadas incolores, mas ocorre na cor rosa também. Ocorrem inclusões translúcidas globulares.

ZIRCÃO – tamanho areia fina domina o hábito prismático médio, grãos subédricos incolores, alguns quebrados. Alguns apresentam zonação concêntrica regular. Pode apresentar fraturas radiais no núcleo dos grãos.

APATITA – tamanho areia fina a muito-fina, prismático médio a curto, arredondada a sub-arredondada. Ocorre somente na amostra mais profunda.

HORNBLENDA – tamanho areia fina, prismático longo a curto, sub-arredondada a anguloso. Possui predominantemente hornblendas verdes e em alguns casos marrons.

Na profundidade I ocorre um predomínio de carbonatos e não alcançando o valor estatístico na contagem de minerais pesados. Apresentando somente granadas e algumas turmalinas.

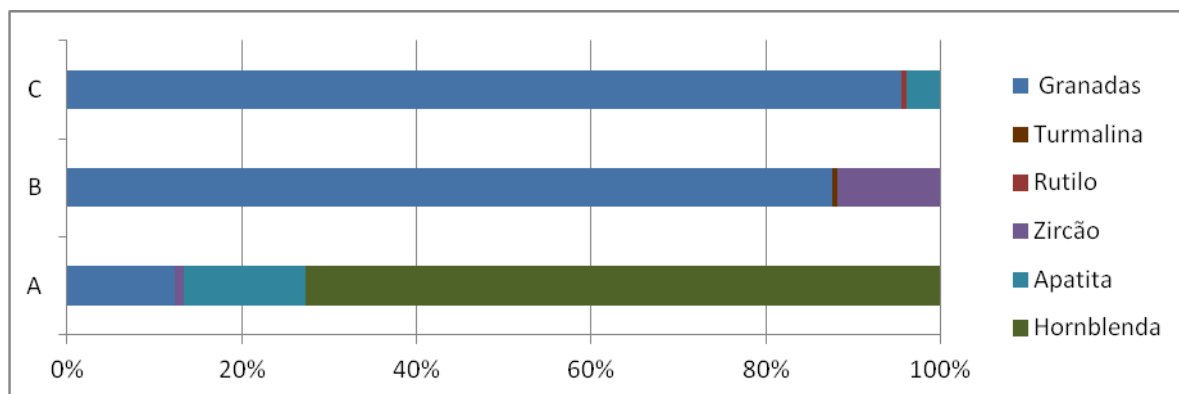


Fig. 45: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 14.

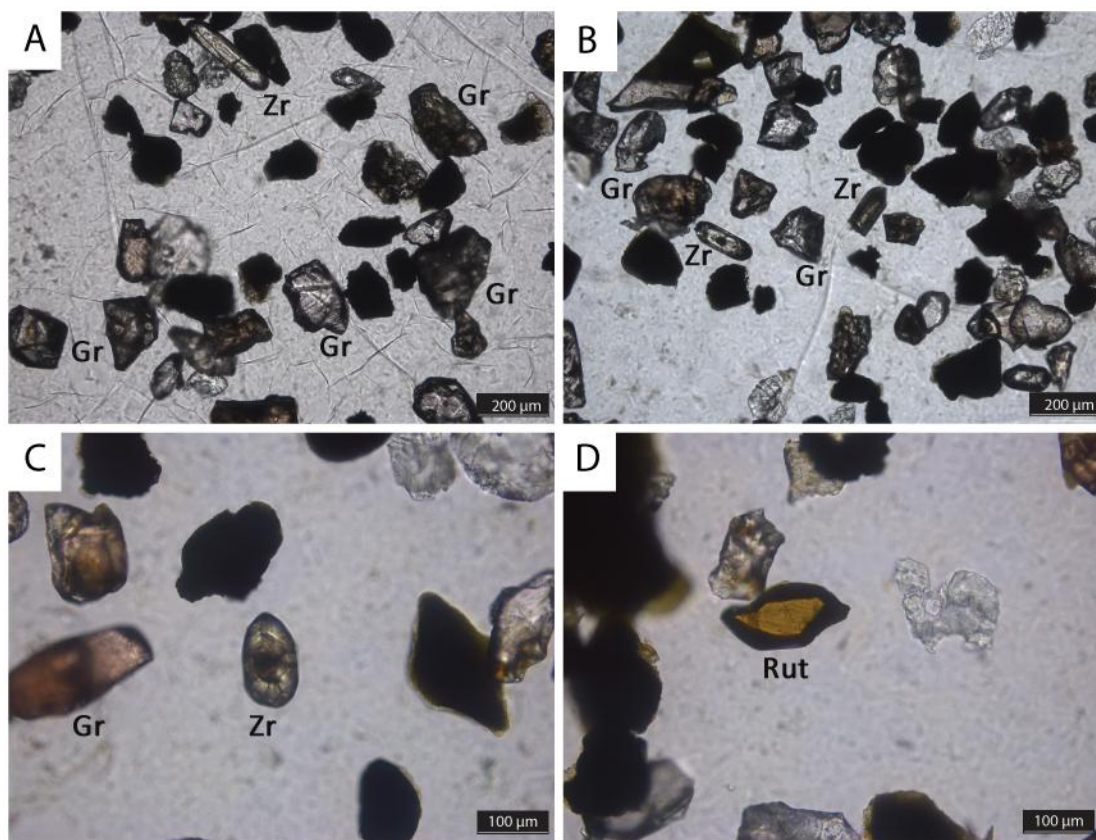


Fig. 46: (A) Grãos de granada e zircão. (B) Grãos de granadas e zircões. (C) Granada rosada e zircão zonado. (D) Grão de rutilo. Imagens de microscópio óptico em luz polarizada da amostra 14.

O GZi apresenta valores altos e um decréscimo na profundidade 2652 m.

O ATi possui valores elevados e com uma decaída na profundidade E.

O RuZi possui valor alto no topo do poço e decai para valores baixos com o aumento da profundidade.

O ARi somente possui valor na amostra mais profunda, nas outras é zero.

O ZTR possui valores baixos e um pico positivo em E.

Forma do zircão possui a amostra mais rasa com valor de zero, e as duas mais profundas apresentam valores altos.

O gráfico dos máficos possui valores baixos nas duas amostras mais rasas do poço, a amostra mais profunda aumenta o valor para 73.

OBS: as linhas pontilhadas no gráfico indica que os valores das profundidades E e I possuem pequena representatividade, pois apresentam poucos grãos quantificados devido a presença de muitos minerais alterados e carbonatos nas lâminas.

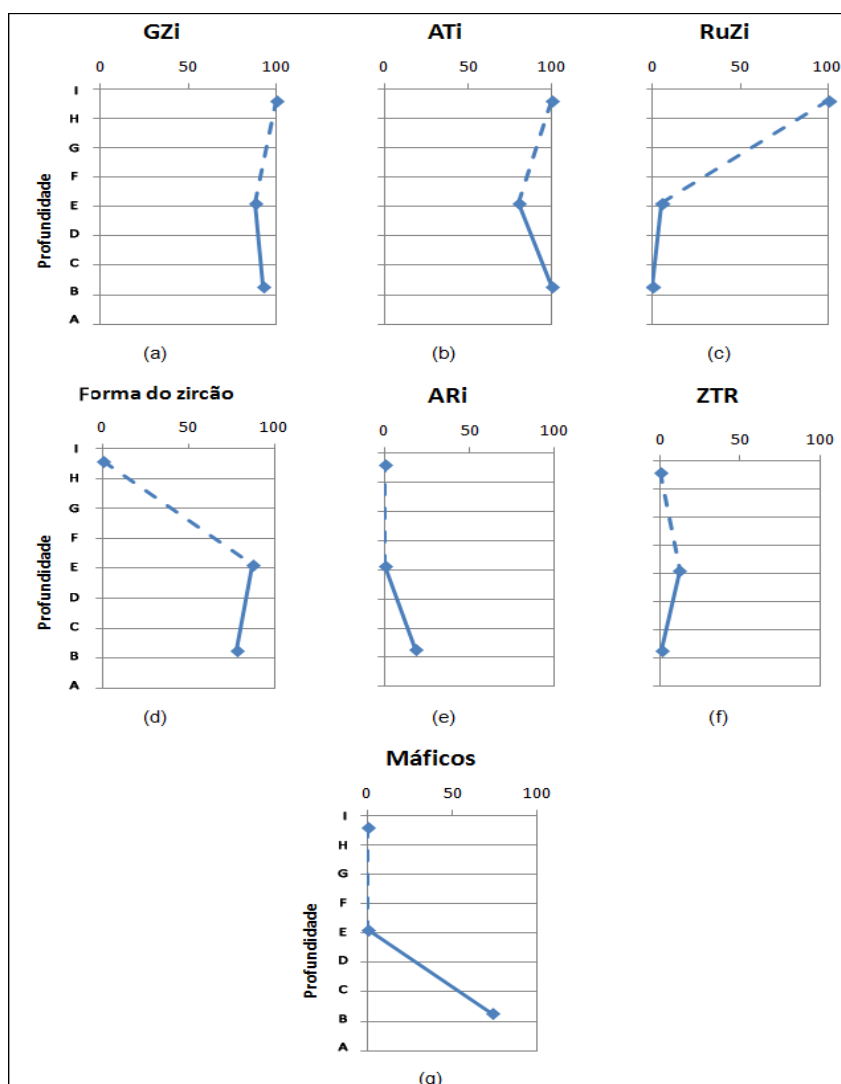


Fig. 47: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 14.

Poço 15

GRANADA – tamanho areia fina a muito fina, forma granular a alongado, sub-arredondado a anguloso, alguns grãos estão facetados. Podem apresentar inclusões granulares e prismáticas translúcidas orientadas ou não. Predominam cristais incolores, mas há raros grãos rosados.

TURMALINA – areia fina, prismático médio, sub-arredondado, grãos marrons.

RUTILO – tamanho areia fina, prismático médio a longo, sub-arredondado. Cor em tons amarelados.

ZIRCÃO – granulometria areia muito fina, prismático longo a curto, sub-arredondado a sub-anguloso, podem ocorrer inclusões granulares a prismáticas translúcidas não orientadas. Cristais são incolores.

APATITA – areia fina a muito fina, prismático curto a longo, arredondado a sub-arredondado.

HORBLENDA – tamanho areia fina a muito fina, prismático curto a médio, sub-arredondado a sub-anguloso. Cor varia em tons de verde.

AUGITA – areia fina, prismático longo a curto, sub-arredondado, cor verde a marrom claro.

EPIDOTO – areia muito fina, prismático curto a médio, sub-arredondado. Cor variando em tons verdes claros.

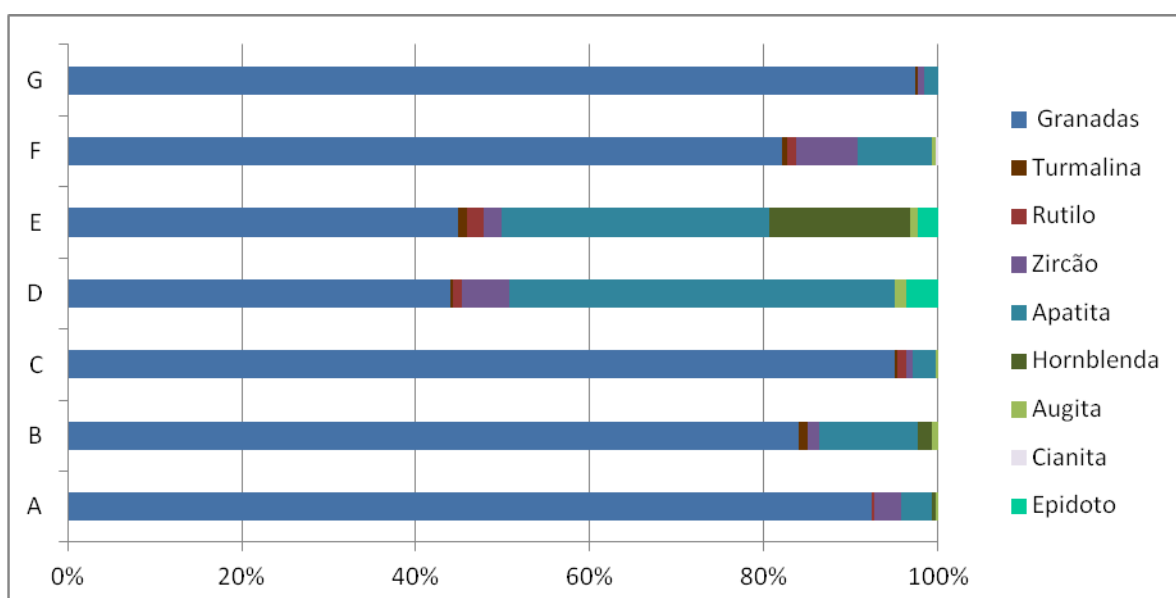


Fig. 48: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 15.

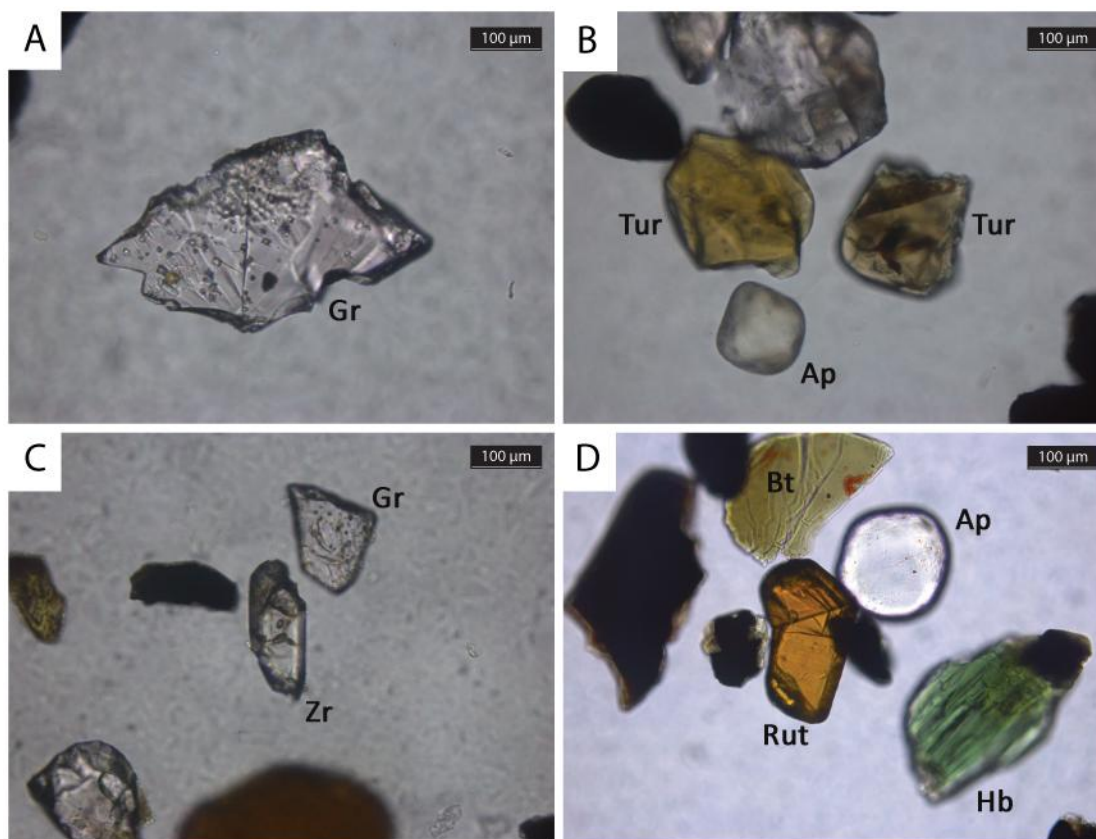


Fig. 49: (A) Grão de granada com inclusões granulares. (B) Apatita e turmalina. (C) Grão de zircão quebrado e granada com inclusões. (D) Apatita, rutilo, hornblenda e biotita. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 15.

O GZi apresenta valores altos com um pequeno decaimento na profundidade 3100 m e após volta a aumentar com o avanço da profundidade.

O ATi possui valores altos sofrendo um aumento pela profundidade E e após um decréscimo até a base do poço.

O RuZi possui valores baixos no topo do poço e aumenta gradualmente com o aumento da profundidade, a partir de D os valores diminuem.

O ARi inicia-se com valor baixo no poço, sofre um acréscimo seguido por uma diminuição gradual.

ZTR apresenta valores baixos sem variações significativas.

O índice da forma do zircão apresenta valores altos com algumas variações de acréscimo e decréscimo dos valores.

O índice dos máficos possuem valores próximos à zero, exceto na profundidade E onde há um pico no índice.

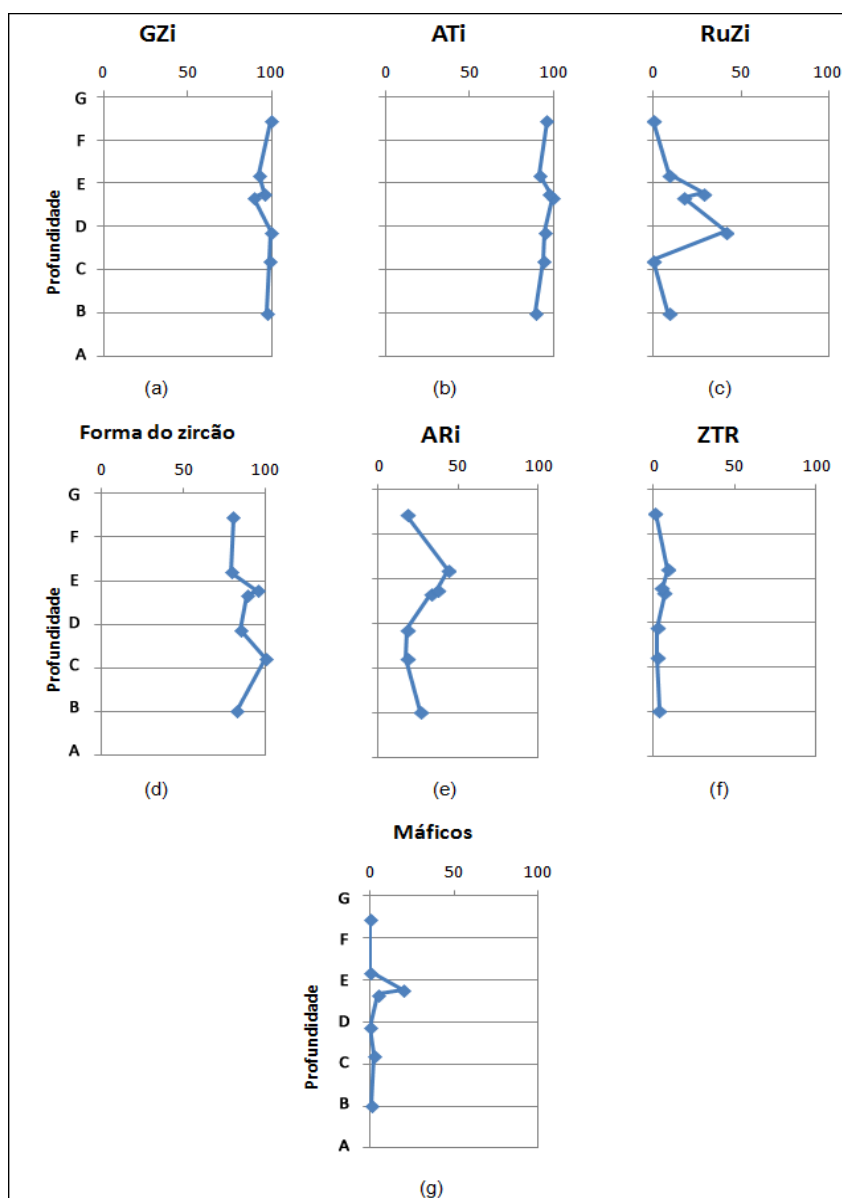


Fig. 50: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 15.

Poço 16

GRANADA – tamanho preferencial areia fina, forma granular, anguloso a sub-anguloso, os grãos estão facetados. Ocorrem raros casos de inclusões opacas orientadas e não orientadas.

TURMALINA – tamanho areia fina, prismático curto, sub-anguloso, amarronado

RUTILO – prismático longo sub-angulosos, apresenta tons amarelos

ZIRCAO – geralmente tamanho areia muito fina e alguns areia fina, prismático médios e comprido sub-arredondados. Alguns grãos apresentam zoneamento interno. Geralmente são incolores e alguns raros marrons.

APATITA – tamanho areia fina a muito fina, prismático médio arredondados a sub-arredondados. Alguns possuem inclusões prismáticas translúcidas não orientadas.

ESTAUROLITA – tamanho areia fina, prismático curto e sub-anguloso. Possui pleocroísmo em tons amarelados.

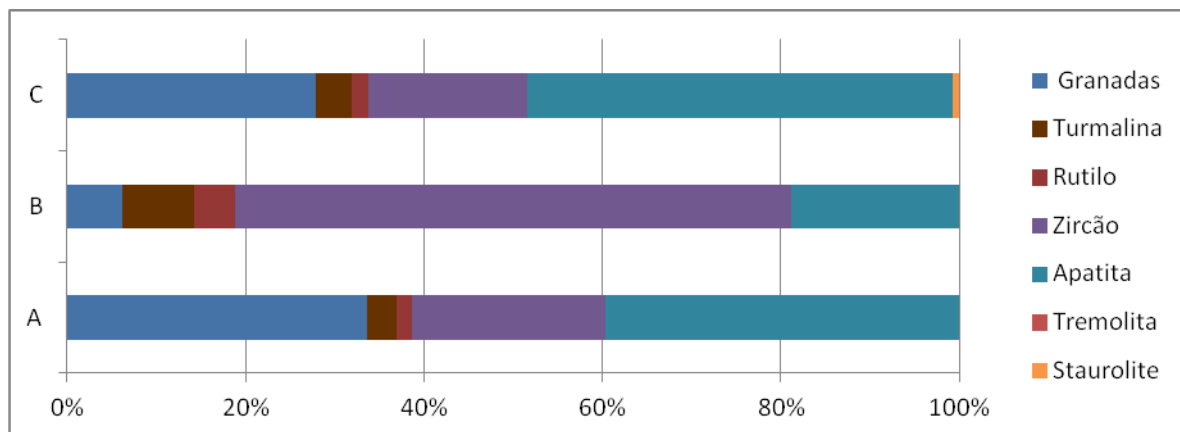


Fig. 51: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 16.

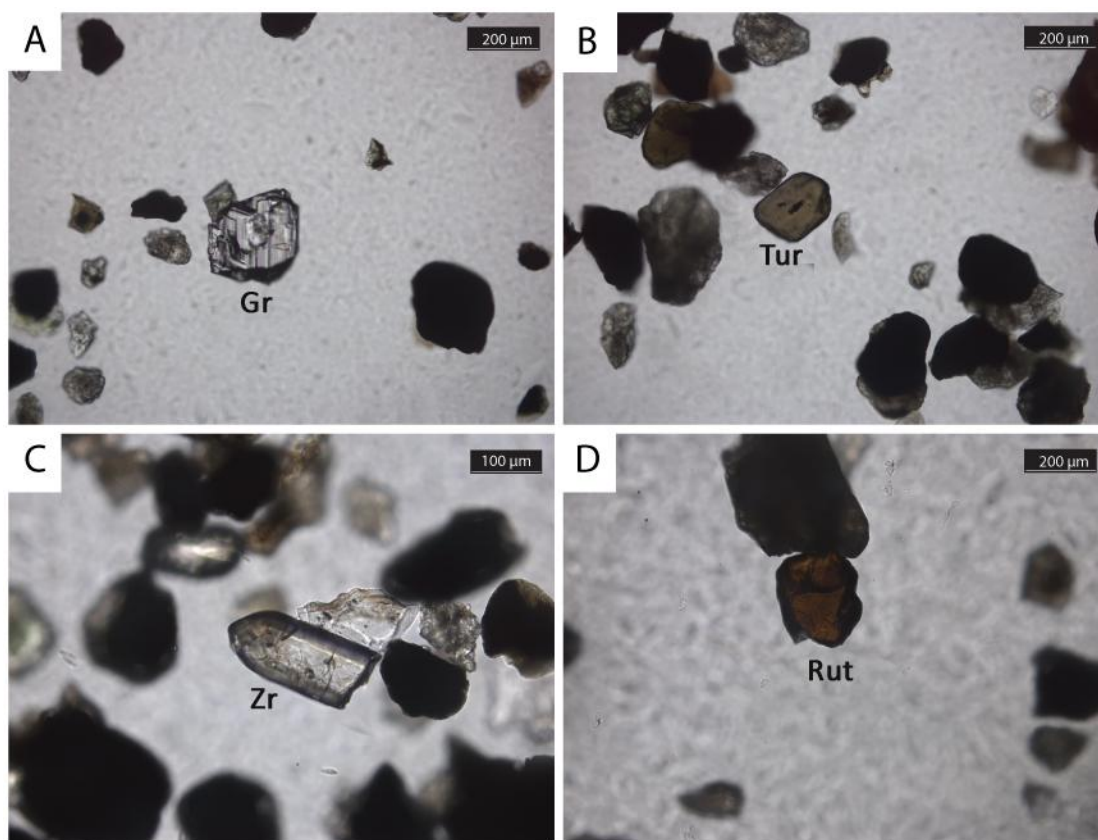


Fig. 52: (A) Granada facetada. (B) Grão de turmalina. (C) Grão de zircão. (D) Grão de rutilo. Imagens de microscópio óptico em luz polarizada da amostra 16.

O índice GZi possui valores na faixa dos 60 e um pico negativo na profundidade entre B e C.

O ATi apresenta valores altos com um decaimento na profundidade entre B e C.

O RuZi possui valores baixos sem mudanças significantes.

O índice ARi apresenta valores próximos dos 35 e um pico negativo na profundidade entre B e C.

O ZTR apresenta valores próximos dos 25 um pico positivo na profundidade entre B e C.

O gráfico da forma do zircão apresenta valores altos com um aumento gradacional com o avanço da profundidade.

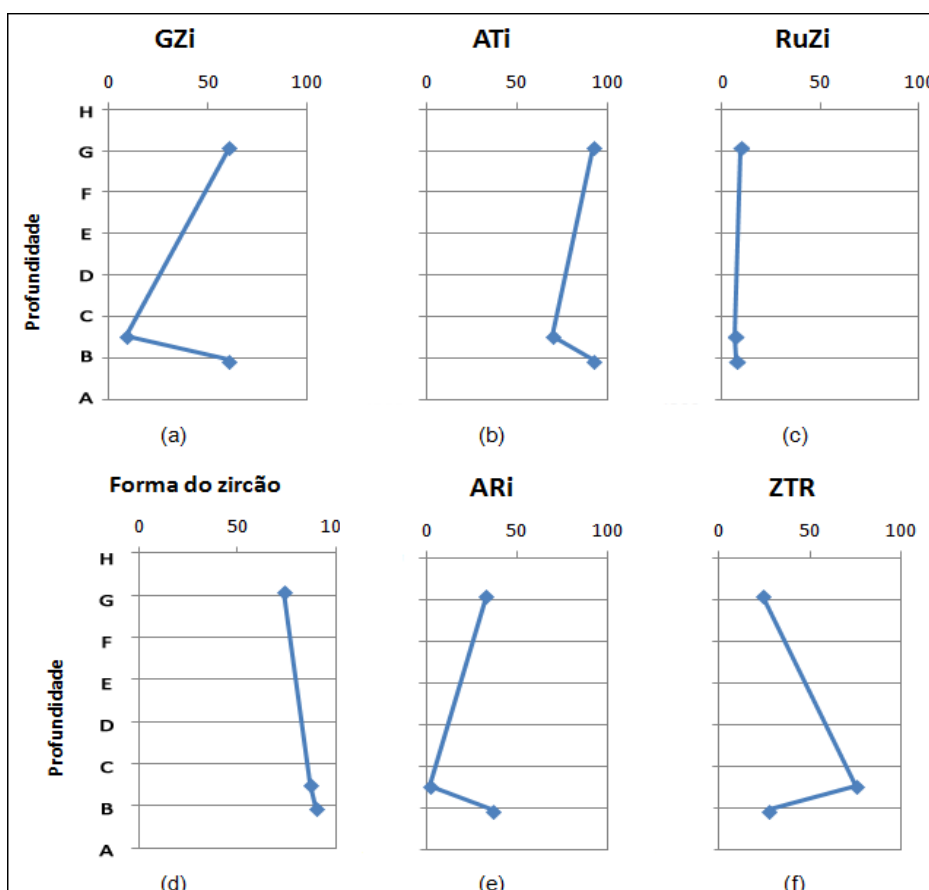


Fig. 53: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 16.

Poço 17

GRANADA – tamanho areia fina a muito fina, forma granular a moderadamente alongado, sub-arredondado a sub-anguloso. Em alguns cristais observam-se inclusões prismáticas translúcidas não orientadas. Grãos rosados e incolores.

TURMALINA – tamanho areia fina, prismático curto a médio sub-arredondado de cor marrom.

RUTILO – areia fina, prismático curto a longo, sub-arredondado, possui cor amarela.

ZIRCÃO – tamanho areia fina a muito fina, prismático curto a longo, sub-arredondado, cristais incolores. Alguns possuem inclusões aciculares translúcidas não orientadas.

APATITA – tamanho areia fina a muito fina, prismático curto a médio, predomina grãos arredondados, porém apresenta poucos grãos sub-angulosos.

MONAZITA – tamanho areia fina, prismático curto a médio sub-arredondado, coloração amarela.

ESTAUROLITA – tamanho areia muito fina, prismático curto, anguloso, apresenta cor amarela.

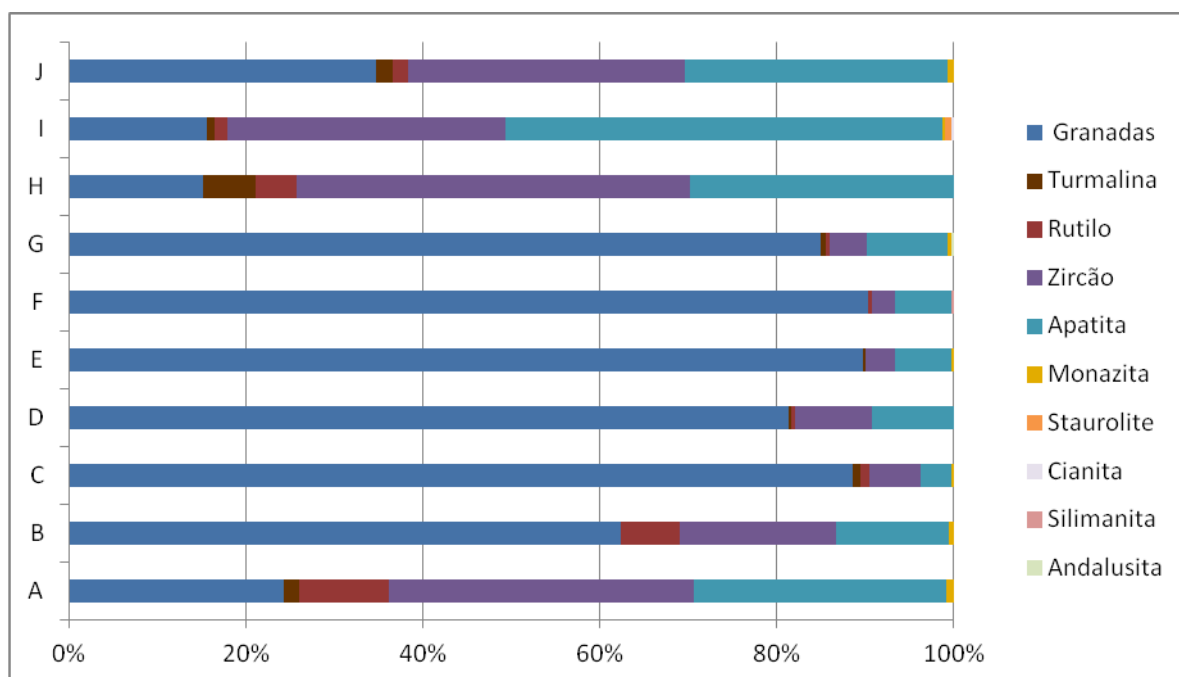


Fig. 54: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 17.

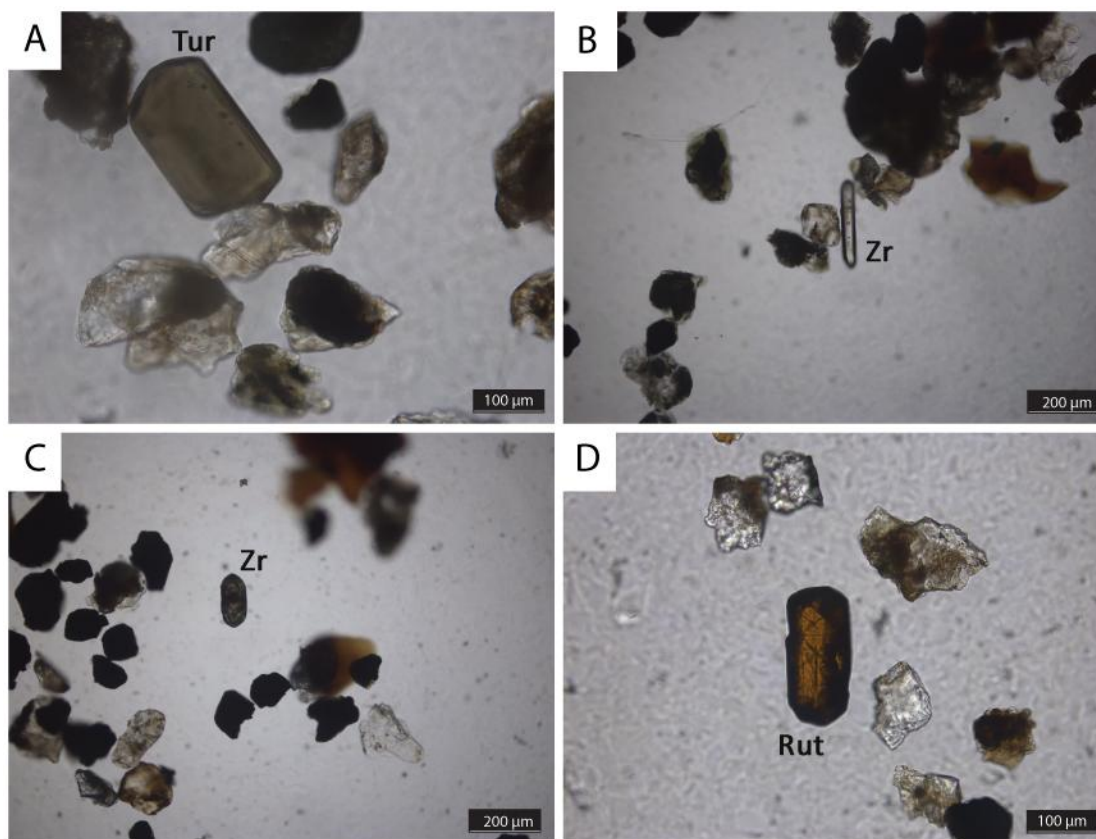


Fig. 55: (A) Grão de turmalina. (B) Grão de zircão. (C) Zircão com zonação. (D) Grão de rutilo. Imagens de microscópio ótico em luz polarizada da amostra 17.

O GZi inicia-se com valores medianos e decaindo, seguido por um aumento próximo aos 100 e diminui gradativamente para valores próximo a 70 na base do poço.

O índice ATi apresenta valores elevados com picos negativos nas profundidades H e próximo a D.

O RuZi possui valores baixos com um aumento gradual com o incremento da profundidade.

O ARi possui valores no topo do poço próximo a 45, com o acréscimo da profundidade sofre um decaimento e volta a aumentar até os 45, as amostras abaixo dessa profundidade apresentam uma diminuição gradual até 0.

O índice ZTR apresenta valores próximo a 35 no topo do poço e sofre um aumento, com o avanço da profundidade esses valores regridem, os valores mais profundos retornam a aumentar.

O índice da forma do zircão indica um aumento gradativo nas amostras do topo do poço, de 75 para 94, seguido por um decaimento e um aumento, com o avanço da profundidade há um retrocesso novamente e tornam a aumentar.

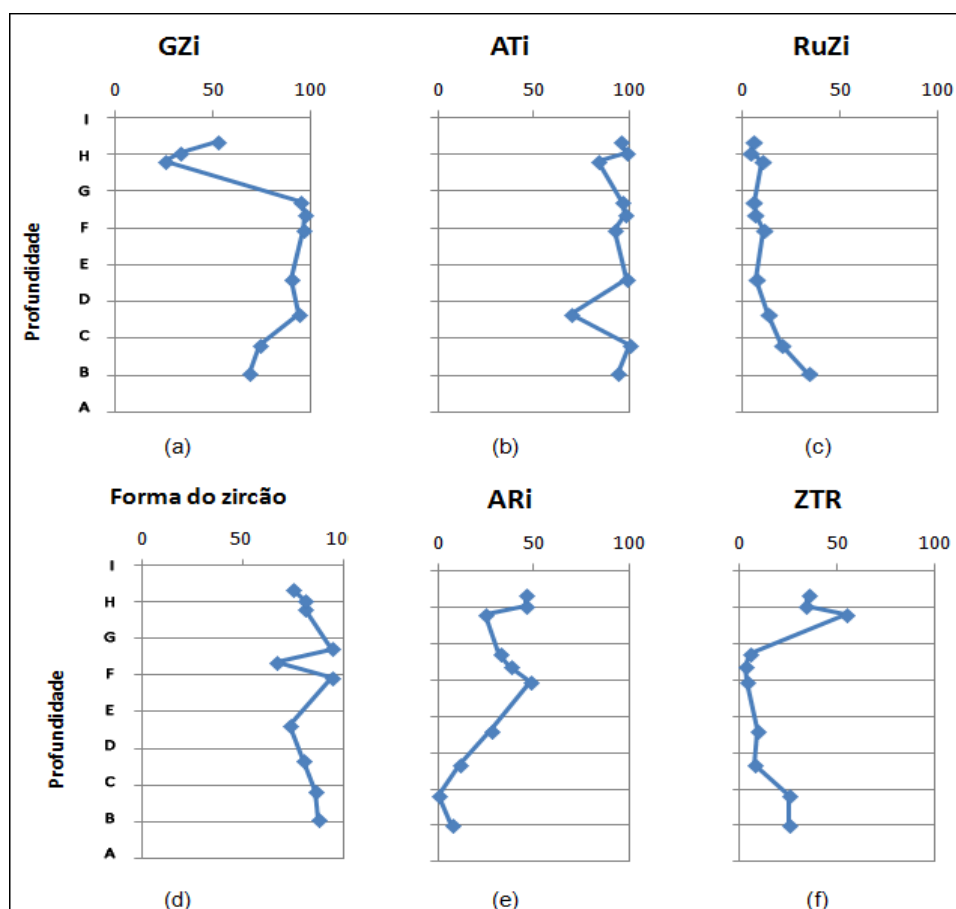


Fig. 56: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 17.

Poço 18

GRANADA – grãos tamanho areia fina, forma granular a moderadamente alongado, sub-arredondados a angulosos, possuem inclusões granulares e prismáticas podendo ser orientadas e não orientadas. Os cristais são incolores e rosas.

TURMALINA – areia muito fina, prismático curto, sub-arredondado, cor marrom.

ZIRCÃO – ocorre raramente, tamanho areia muito fina, prismático médio, arredondado a sub-arredondado. Cristais incolores.

APATITA – granulometria areia fina, prismático curto a médio, arredondados a sub-arredondados.

MONAZITA – tamanho areia fina, prismático médio a curto, arredondado a sub-arredondado. Grãos em tons amarelos.

HORNBLENDA – areia fina, prismático longo a médio, sub-arredondado a sub-anguloso. Possui pleocroísmo em tons de verdes.

AUGITA – tamanho areia fina, prismático médio a curto, sub-anguloso a sub-arredondado, cores verde e outras marrom claro.

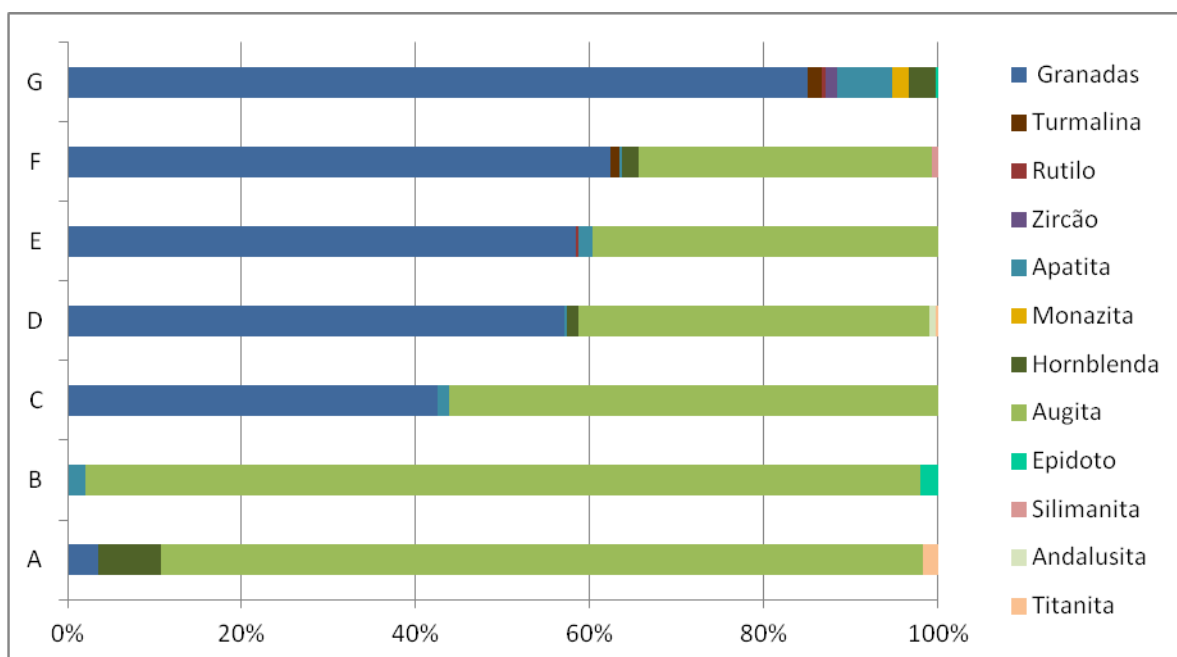


Fig. 57: Gráfico da assembleia de minerais pesados do poço 18.

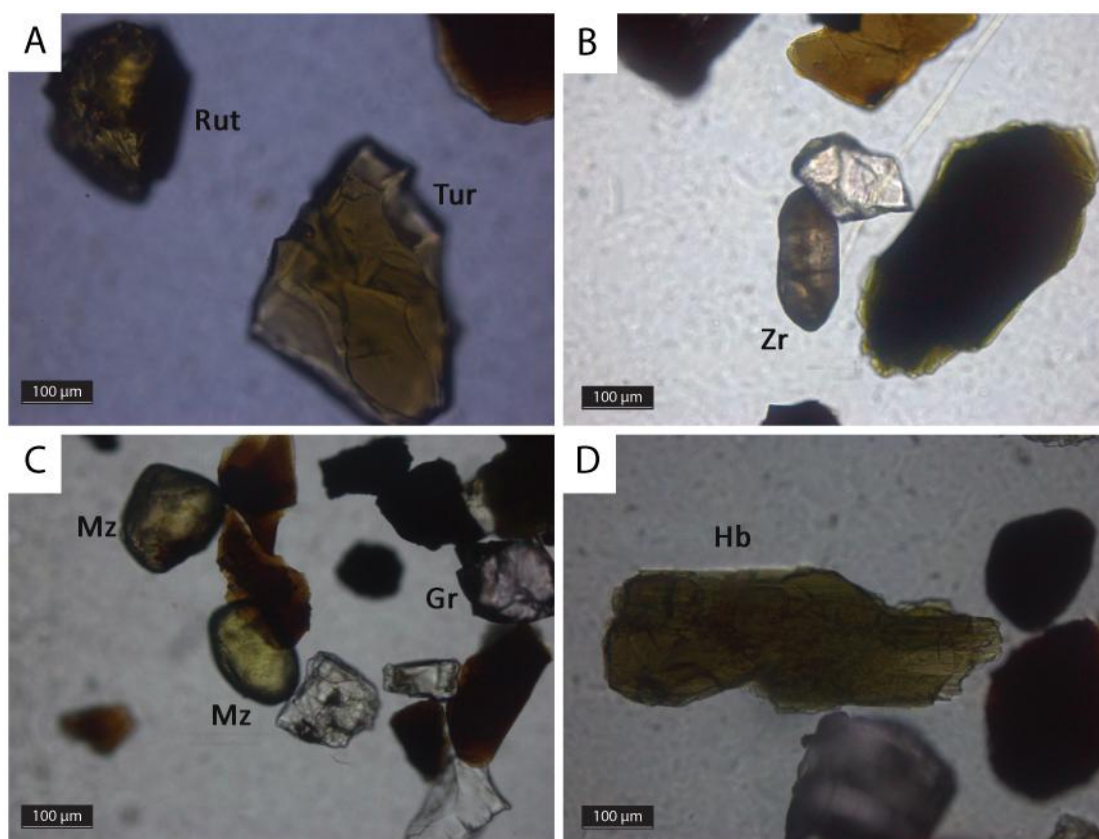


Fig. 58: (A) Grão de rutilo e turmalina. (B) Grão de zircão. (C) Grãos de monazitas e granada. (D) Grão de hornblenda. Imagens de microscópio óptico em luz polarizada da amostra 18.

O GZi possui valores elevados no topo do poço, diminuindo e aumentando novamente nas amostras mais profundas.

O índice ATi inicia-se com valor próximo a 80 e após há um decaimento seguido por uma elevação nos valores e na amostra mais profunda o valor é zero.

O RuZi apresenta valor de 30 na amostra mais rasa, seguido por uma diminuição, com o avanço da profundidade o valor aumenta para 100 e após diminui para zero.

O ARi inicia-se com 30 e após há um pico de 100, com o aumento da profundidade as amostras possuem valor zero.

O ZTR apresenta valores baixos e sem variações significativas.

O índice dos máficos possui valores baixos no topo do poço e vai aumentando gradativamente para as amostras mais profundas.

OBS: as linhas pontilhadas no gráfico indicam que os valores dessas amostras possuem pequena representatividade, pois apresentam poucos grãos quantificados devido a presença de muitos minerais alterados e carbonatos nas lâminas.

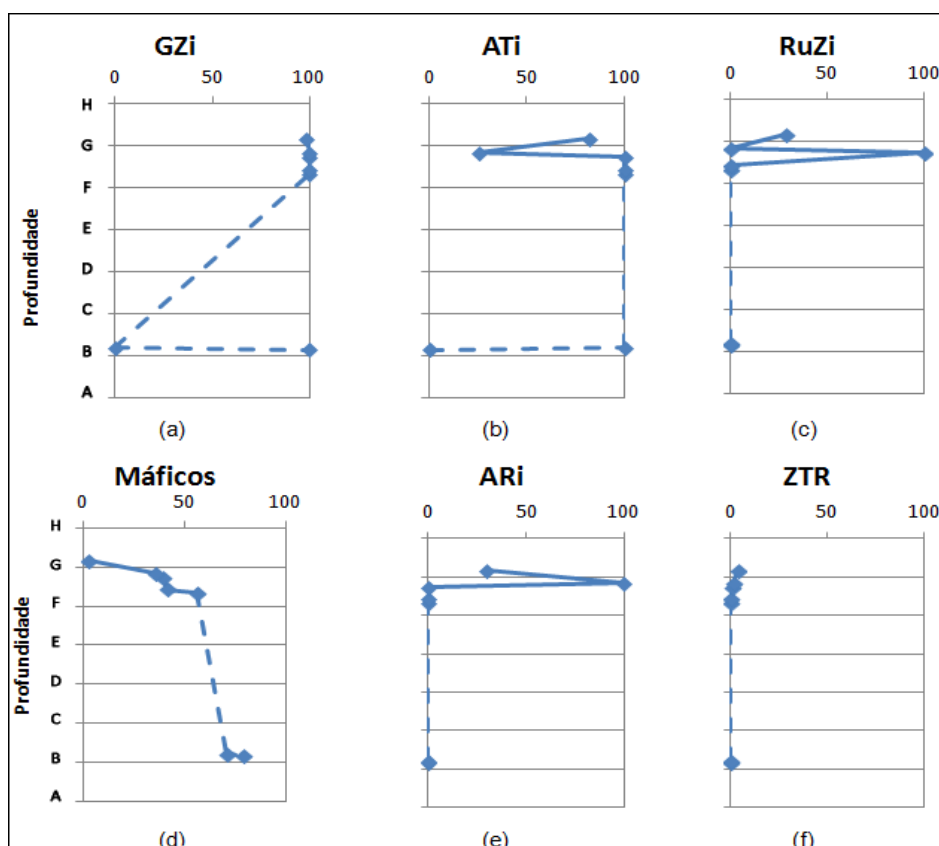


Fig. 59: Diagrama de índices de minerais pesados do poço 18.

4. DISCUSSÕES

Os minerais pesados mais abundantes nas amostras dos arenitos estudados são: granada, zircão, rutilo, apatita, augita, epidoto e hornblenda. Outras espécies ocorrem raramente, tais como titanita, turmalina, estauroлита, tremolita, actinolita, monazita, silimanita, andaluzita e cianita. Esta assembleia de minerais pesados indica proveniência de áreas-fonte constituídas por rochas metamórficas, notadamente metapelitos (granada, silimanita, andaluzita, cianita, estauroлита e rutilo) e rocha ígneas ácidas (zircão, monazita e turmalina). A ocorrência de minerais máficos: hornblenda, augita e epidoto, indica a presença de litologias máficas na área-fonte, incluindo metabasitos, hornblenda gnaisses e rochas ígneas básicas (basaltos, diabásio e gabro).

O GZi é alto (média = 80,61) devido a abundância de granada, em praticamente todos poços, onde poucos apresentam variações importantes. Esse GZi alto pode indicar contribuição de rochas metamórficas e de granitos tipo S, originados de fusão crustal, frequentemente ligados a episódios sin-colisionais.

Os poços 07, 08, 11 e 15 possuem granadas facetadas indicando que os processos intempéricos e diagenéticos foram mais acentuados nesses locais.

O ATi em geral é alto (média = 82,36) indicando que as condições físico-químicas dos processos intempéricos na área-fonte não foram agressivos o suficiente para atacar e dissolver a apatita.

Por outro lado, a turmalina é um mineral ultra-estável e, o fato da pequena abundância nos poços estudados, quando comparado com outros minerais com estabilidade semelhante (rutilo e zircão), indica que a área-fonte é empobrecida neste mineral.

O RuZi pode apresentar valores baixos (média = 24,70) e sem mudanças consideráveis ou até mesmo apresentar variações entre 2 a 60 em certos poços (poços 9 e 12, por exemplo) indicando uma mudança de proveniência.

O índice da forma do zircão em geral é alto (média = 83,29), mostrando que predominam grãos prismáticos compridos (elevada razão axial comprimento / largura) tipicamente provenientes de rochas ígneas. Poucos poços apresentam valores baixos (mínimo = 11), relacionado ao comprimento curto do zircão (hábito bipiramidado), típico de rochas metamórficas ou grantóides alcalinos, cristalizados em altas temperaturas.

O ARI em geral é baixo (média = 21,20), porém apresenta valores maiores (>50) em algumas profundidades. O ARI baixo indica que a abrasão foi pequena e que não houve transporte por grandes extensões. Poucas amostras com valores altos (amostras dos poços 9, 11 e 12 apresentam picos positivos) indicam que houve períodos de maior transporte até o sítio de deposição do sedimento na bacia. Isto poderia estar relacionado a eventos tectônicos na área-fonte, causando mudanças no curso e possivelmente um aumento na distância de percurso dos rios.

O índice ZTR em geral é baixo (média = 13,23), pois raros poços apresentam valores elevados do ZTR (34 a 75). O baixo ZTR indica que os sedimentos que alimentaram a bacia são de primeiro ciclo e em consequência, a ausência ou pouca expressividade de rochas sedimentares policíclicas na área-fonte.

A média do índice dos máficos é de 23,16, um valor relativamente alto para minerais instáveis, indicando contribuição de sedimentos de primeiro ciclo, corroborando com os baixos valores do índice ZTR. Alguns poços apresentam uma diminuição do índice de máficos indicando que nessas profundidades não ocorreu ou foi pequena a contribuição de sedimentos máficos em determinados intervalos.

Os minerais máficos são relativamente abundantes na maioria dos poços estudados (12 poços com anfibólio variando entre 0,8 a 72%; 11 poços com epidoto variando entre 0,3 a 36%; 12 poços com augita variando entre 0,7 a 72%), diferentemente dos polimorfos de aluminossilicatos que, apesar de serem pouco mais estáveis em relação aos máficos, são mais raros nos sedimentos estudados (< 1%). Uma possível explicação para isso é que o fluido diagenético estaria saturado em ferro, magnésio e cálcio a ponto de não dissolver os minerais máficos e corroer a cianita, silimanita e andaluzita. Outra possibilidade para explicar a abundância relativa de máficos é da re-alimentação do sistema sedimentar pela recorrência de clastos de rochas básicas, derivados de derrames de basaltos intrabaciais contemporâneos.

5. CONCLUSÕES

Conclui-se que a área-fonte dos arenitos estudados era proximal, devido à abundância de minerais instáveis e ARi baixo na maioria das amostras. A paragênese dos minerais pesados encontrada nos arenitos estudados indica que as áreas-fonte com maior potencial são rochas metamórficas de médio a alto grau, granitos e máficas pertencentes ao Arco Magmático Rio Negro, Terreno Oriental no Orógeno Ribeira e Domínio Tectônico Cabo Frio.

O Terreno Oriental possui uma série de rochas ricas em anfibólio, tais como anfibolitos, hornblenda-biotita gnaisses e rochas cálcio-silicáticas, essas rochas tiveram forte destaque para a contribuição de hornblenda na bacia.

As augitas podem ter proveniência dos basaltos intrabaciais e das rochas portadoras de piroxênio do terreno Cabo Frio. Os dioritos e gabros do Arco Magmático Rio Negro, poderiam ter fornecido esse mineral à Bacia de Campos.

As granadas ocorrem em praticamente todas as litologias do Terreno Oriental, notadamente nos metassedimentos de alto grau, assim como em diversos granitóides do Orógeno Araçuaí (G1, G2, G3, G4 e G5).

O epidoto pode ser oriundo de um retrometamorfismo ou produto de alteração hidrotermal/metassomática. Esse último tipo ocorre nos anfibolitos do *Klippe* de Italva/Domínio Costeiro onde desenvolve-se bordas de reação entre os mármore e as rochas máficas, gerando epidoto e biotita.

Apesar de não apresentar abundância de cianita, a pequena presença já é um indício de área-fonte composta por meta-pelitos aluminosos de alta temperatura e média pressão. O Domínio Tectônico Cabo Frio é uma possível área-fonte dessas cianitas devido à proximidade da bacia. Outras áreas-fontes potenciais, localizadas no Domínio Ocidental, são constituídas por xistos de graus médio do Gr. Rio Doce, porém esses se encontram em sítios bem mais distais.

6. REFERÊNCIAS

- Almeida, F. D. (1977). O cráton do São Francisco. *Brazilian Journal of Geology*, 7(4), 349-364.
- Almeida, F. D. (1981). O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco. simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas marginais, 1, 1-10.
- Allen, P. A., & Mange-Rajetzky, M. A. (1992). Sedimentary evolution of the Devonian–Carboniferous Clair Field, offshore northwestern UK: impact of changing provenance. *Marine and Petroleum Geology*, 9, 29-52.
- Alkmim, F. F., Pedrosa-Soares, A. C., Noce, C. M., & Cruz, S. C. P. (2007). Sobre a evolução tectônica do orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. *Revista Geonomos*, 15(1).
- Arai, M., Hashimoto, A. T., & Uesugui, N. (1989). Significado cronoestratigráfico da associação microflorística do Cretáceo Inferior do Brasil. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 3(1/2), 87-103.
- Campos Neto, M. D. C., Basei, M. A. S., Vlach, S. R. F., Caby, R., Szabó, G. A. J., & Vasconcelos, P. (2004). Migração de orógenos e superposição de orogêneses: Um esboço da colagem Brasileira no sul do Cráton do São Francisco, SE-Brasil. *Geologia USP. Série Científica*, 4(1), 13-40.
- Dias, J. L. (2005). Tectônica, estratigrafia e sedimentação no Andar Aptiano da margem leste brasileira. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 13, 7-25.
- Dias-Brito, D., Uesugui, N., & Hashimoto, A. T. (1987). Uma Reflexão histórica em torno do andar Alagoas, importante e problemática unidade cronoestratigráfica do Cretáceo Inferior do Brasil. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 1(1), 111-115.
- Dickinson, W. R. (1985). Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In *Provenance of arenites* (pp. 333-361). Springer Netherlands.
- Féboli, W.L. ; Drumond, J.B.V. ; Ribeiro, J.H. ; Leal, A.d.S. ; Padilha, A.V. ; Souza, A.A. ; Souza, C.J.M.d. ; Barreto, E.L. & Signorelli, N. (1993). Texto Explicativo da Folha SF.24-V-A-VI - Piúma. Escala 1:100.000. Brasília, DNPM/CPRM. 114 p.
- Fontanelli, P. D. R. (2007). PROVENIÊNCIA DOS ARENITOS-RESERVATÓRIO DE ÁGUA PROFUNDA DO CAMPO DE JUBARTE, BACIA DE CAMPOS, MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA (Doctoral dissertation, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL).
- Fontanelli, P. D. R., De Ros, L. F., & Remus, M. V. D. (2009). Provenance of deep-water reservoir sandstones from the Jubarte oil field, Campos Basin, Eastern Brazilian Margin. *Marine and Petroleum Geology*, 26(7), 1274-1298.
- Gradstein, F. M., Agterberg, F. P., Ogg, J. G., Hardenbol, J., Veen, P., Thierry, J., & Huang, Z. (1994). A Mesozoic time scale. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978–2012), 99(B12), 24051-24074.
- Grassi, A., Castro, A. H. A., & Albertão, G. A. (2004). Bacia de Campos. *PHOENIX*, 65(6), 1-6.
- Heilbron, M., Mohriak, W. U., Valeriano, C. M., Milani, E. J., Almeida, J., & Tupinambá, M. (2000). From collision to extension: the roots of the southeastern continental margin of Brazil. *Atlantic rifts and continental margins*, 1-32.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A. C., Campos Neto, M. D. C., Silva, L. D., Trow, R. A. J., & Janasi, V. (2004). Província Mantiqueira. *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, 203-235.

- Heilbron, M., & Machado, N. (2003). Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic–Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*, 125(1), 87-112.
- Johnsson, M. J. (1993). The system controlling the composition of clastic sediments. *Geological Society of America Special Papers*, 284, 1-20.
- Leite, C.A.S. ; Souza, J.D. ; Kosin, M. ; Silva, L.C. ; Silva, S.L. ; Vieira, V.S. ; Camozzato, E. ; Paes, V.J.C. ; Netto, C. ; Ramgrab, G.E. & Junqueira, P.A. (2004b). Folha SE.24-Rio Doce. Brasília, CPRM. Escala 1:1.000.000. 1 CD-ROM.
- Machado, N., & Gauthier, G. (1996). Determination of $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages on zircon and monazite by laser-ablation ICPMS and application to a study of sedimentary provenance and metamorphism in southeastern Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60(24), 5063-5073.
- Machado, N., Valladares, C., Heilbron, M., & Valeriano, C. (1996). U-Pb geochronology of the central Ribeira belt (Brazil) and implications for the evolution of the Brazilian Orogeny. *Precambrian Research*, 79(3), 347-361.
- Mange, M. A., & Maurer, H. F. (1992). *Heavy minerals in colour* London: Chapman & Hall. 147, p. 145.
- Mange, M. A., & Wright, D. T. (Eds.). (2007). *Heavy minerals in use* (Vol. 58). Elsevier.
- Marshak, S., Alkmim, F. F., Whittington, A., & Pedrosa-Soares, A. C. (2006). Extensional collapse in the Neoproterozoic Araçuaí orogen, eastern Brazil: a setting for reactivation of asymmetric crenulation cleavage. *Journal of Structural Geology*, 28(1), 129-147.
- McDonald, D. A., & Surdam, R. C. (Eds.). (1984). *Clastic diagenesis*. American Association of Petroleum Geologists.
- Mc Bride, E. F. (1985). Diagenetic processes that affect provenance determinations in sandstone. In *Provenance of arenites* (pp. 95-113). Springer Netherlands.
- Moraes, R. ; Fuck, R.A. ; Duarte, B.P. ; Barbosa, J.S.F. & Leite, C.d.M.M. (2004). Granulitos do Brasil. In: Mantesso-Neto, V. ; Bartorelli, A. ; Carneiro, C.D.R. & Neves, B.B.d.B., (eds). *Geologia do Continente sul-americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Primeira Edição ed. São Paulo, Beca. p 647.
- Morton, A. C. (1985). A new approach to provenance studies: electron microprobe analysis of detrital garnets from Middle Jurassic sandstones of the northern North Sea. *Sedimentology*, 32(4), 553-566.
- Morton, A. C., & Hallsworth, C. (1994). Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 90(3), 241-256.
- Morton, A. C., & Hallsworth, C. R. (1999). Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 124(1), 3-29.
- Morton A.C. & Smale D. (1991). The effects of transport and weathering on heavy minerals from the Cascade River, New Zealand. *Sed. Geol.*, 68:117-123.
- Nalini Jr, A., Bilal, E., Paquette, J. L., Pin, C., & Rômulo, M. (2000). Geochronologie U–Pb et géochimie isotopique Sr–Nd des granitoides neoproterozoïques des suites Galileia et Urucum, vallée du Rio Doce, Sud-Est du Brésil. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science*, 331(7), 459-466.
- Noce, C. M., Macambira, M. J. B., & Soares, A. C. P. (2008). Chronology of Neoproterozoic-Cambrian granitic magmatism in the Araçuaí Belt, Eastern Brazil, based on single zircon evaporation dating. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1), 025-029.

- Noce, C. M., Pedrosa-Soares, A. C., Piuzana, D. A. N. I. E. L. L. E., Armstrong, R., Laux, J. H., Campos, C., & Medeiros, S. (2004). Ages of sedimentation of the kinzigitic complex and of a late orogenic thermal episode in the Araçuaí orogen, northern Espírito Santo State, Brazil: Zircon and monazite U-Pb SHRIMP and ID-TIMS data. *Revista Brasileira de Geociências*, 349(4), 587-592.
- 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 Gondwanaland assembly. *Precambrian research*, 110(1), 307-323.
- Pedrosa-Soares, A. C., Noce, C. M., Silva, L. C., Cordani, U., Alkmim, F. F., & Babinski, M. (2005). Orógeno Araçuaí: Estágio atual do conhecimento geotectônico. *SBG, Simpósio do Cráton do São Francisco*, 3, 243-246.
- Pedrosa-Soares, A. C., Alkmim, F. F., Tack, L., Noce, C. M., Babinski, M., Silva, L. C. D., & Martins-Neto, M. A. (2008). Similarities and differences between the Brazilian and African counterparts of the Neoproterozoic Araçuaí-West Congo Orogen. *Geological Society, London, Special Publications*, 294(1), 153-172.
- Pedrosa-Soares, A.C., Wiedmann-Leonardos, C.M., (2000). Evolution of the Araçuaí Belt and its connections to the Ribeira Belt. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*, pp. 265–288
- Pettijohn, F. J., Potter P. E., Siever R. (1973). *Sand and sandstone*. Springer-Verlag, Nova York, 618p.
- Picard, M. D., & McBride, E. F. (2007). Comparison of river and beach sand composition with source rocks, Dolomite Alps drainage basins, northeastern Italy. *Geological Society of America Special Papers*, 420, 1-12.
- Rangel, H. D., Martins, F. A. L., Esteves, F. R., & Feijó, F. J. (1994). Bacia de Campos. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 8(1), 203-217.
- Regali, M. S., & Viana, C. F. (1989). Sedimentos do neojurássico-eocretáceo do Brasil: idade e correlação com a escala internacional. *Petróleo Brasileiro SA, Serviço de Desenvolvimento de Recursos Humanos, Centro de Desenvolvimento de Recursos Humanos Sudeste*.
- Remus, M. V. D., Souza, R. S., Cupertino, J. A., Ros, L. F. D., Dani, N., & Vignol-Lelarge, M. L. (2008). Proveniência sedimentar: métodos e técnicas analíticas aplicadas. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(2), 166-185.
- Schaller, H. (1969). Revisão estratigráfica da bacia de Sergipe/Alagoas. *Boletim técnico da Petrobras*, 12(1), 21-86.
- Schmitt, R. S. (2000). Um evento tectono-metamórfico Cambro-Ordoviciano caracterizado no domínio tectônico Cabo Frio, Faixa Ribeira-sudeste do Brasil. Tese de doutorado, IG/UFRJ, Rio de Janeiro, pp 273.
- Schmitt, R. (2001). A orogenia Búzios-caracterização de um evento tectonometamórfico cambro-ordoviciano no Domínio Tectônico Cabo Frio, sudeste da Faixa Ribeira (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro).
- Schmitt, R. S., Trouw, R. A., Van Schmus, W. R., & Pimentel, M. M. (2004). Late amalgamation in the central part of West Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian collisional orogeny in the Ribeira Belt (SE Brazil). *Precambrian Research*, 133(1), 29-61.
- Silva, L. C., & Cunha, H.C.S. (2001). *Geologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geológico do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília: CPRM,, 1-12.

- Silva, L.C. ; McNaughton, N.J. ; Hartmann, L.A. & Fletcher, I.R. (2003). Zircon U-Pb SHRIMP dating of the Serra dos Órgãos and Rio de Janeiro gneissic granitic suites: implications for the (560 Ma) Brasiliano/Pan-African collage. *Revista Brasileira de Geociências*, 33(2):237-244.
- Silva, L. C., McNaughton, N. J., Armstrong, R., Hartmann, L. A., & Fletcher, I. R. (2005). The Neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon-based U–Pb geochronologic subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens. *Precambrian Research*, 136(3), 203-240.
- Söllner, F., Lammerer, B., Weber-Diefenbach, K., & Hansen, B. T. (1987). The Brasiliano orogenesis: age determination (Rb-Sr and U-Pb) in the coastal mountain region of Espírito Santo, Brazil. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, 1.
- Söllner, F., Lammerer, B., Weber-Diefenbach, K., & Hansen, B. T. (1989). Brasiliano age of a charnoenderbitic rock suite in the Complexo Costeiro (Ribeira Mobile Belt), Espírito Santo, Brazil: evidence from U-Pb geochronology on zircons. *Zbl. Geol. Paläont*, 1(5/6).
- Trouw, R. A. J., Heilbron, M., Ribeiro, A., Paciullo, F., Valeriano, C. M., Almeida, J. C. H., ... & Andreis, R. R. (2000). The central segment of the Ribeira Belt. *Tectonic Evolution of South America*, 31, 287-310.
- Tupinamba, M., Teixeira, W., & Heilbron, M. (2008). Neoproterozoic western gondwana assembly and subductionrelated plutonism: the role of the Rio Negro Complex in the Ribeira Belt. *Brazilian Journal of Geology*, 30(1), 007-011.
- Tupinambá M., Duarte B.P., Eirado L.G., Nogueira J.R., Heilbron M., Almeida C.G. (2003a). Geologia das Folhas Leopoldina e Pirapetinga. In: A.C. Pedrosa Soares, C.M. Noce, R. Trouw, M. Heilbron (coord.). Projeto Sul de Minas, Belo Horizonte, COMIG/SEME, v. 2, p. 320-404.
- Tupinambá M., Duarte B., Eirado, L.G., Nogueira J.R., Heilbron M., Guia C. (2003b). Geologia da região entre Leopoldina e Além Paraiba, MG. In: SBG-MG, Simp. Geol. M.G., 12, 105.
- Tupinambá, M., Heilbron, M., Duarte, B. P., Nogueira, J. R., Valladares, C., Almeida, J., ... & Ludka, I. (2013). Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: estado da arte e conexões com a Faixa Araçuaí. *Revista Geonomos*, 15(1).
- Valladares, C. S., Souza, S. F. M., & Ragatky, D. (2003). The Quirino Complex: a Transamazonian magmatic arc of the central segment of the Brasiliano/Pan-African Ribeira Belt, SE Brazil. *Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra*, 22, 49-61.
- Winter, W. R., Jahnert, R. J., & França, A. B. (2007). Bacia de Campos. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 15(2), 511-529.
- Zuffa, G. G., & Serra, F. (2007). Effects of hydrothermal fluids on the heavy mineral assemblage of a late Pleistocene succession deposited in an oceanic ridge valley (Escanaba Trough, Juan De Fuca Plate). *Developments in Sedimentology*, 58, 263-276.