

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

KIMBERLYM TÁBATA PESCH VIEIRA

Faces do geossítio Bacia sedimentar de Curitiba: uma análise faciológica da
Formação Guabirotuba

CURITIBA

2018

KIMBERLYM TÁBATA PESCH VIEIRA

Faces do geossítio Bacia sedimentar de Curitiba: uma análise faciológica da
Formação Guabirota

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências à obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Luiz Alberto Fernandes
Coorientador: Fernando Antonio Sedor

CURITIBA

2018

AGRADECIMENTOS

À minha família, especialmente minha mãe Débora, minha avó Rosária (*in memoriam*) e meu avô Cândido, por darem todo o apoio que eu precisava.

Às minhas irmãs de coração: Georgea Prochmann, Manuella Prados, Mariana Kataoka e Victória Heloise, por me aguentarem por tanto tempo.

Ao meu orientador, Luiz Alberto Fernandes pela (des)orientação, amizade e demais peripécias geológicas. Além da oportunidade de desenvolver uma IC e participar do grupo de pesquisa em Geoconservação e patrimônio geológico.

Ao Fernando Antonio Sedor, pelas longas conversas, incentivo literário e científico. E ao Museu de Ciências Naturais da UFPR.

A todos os amigos que acompanharam as saídas de campo, especialmente ao Hugo Yamassaki que aceitou descrever sedimento embaixo de chuva fina.

Ao Laboratório de Análise de Minerais e Rochas – Lamir, e seus técnicos, pelas lâminas e análises realizadas. Também ao Luís Guilherme da Silva por emprestar um tempinho para matar uma curiosidade.

Aos professores que de alguma forma ajudaram na minha formação e crescimento, especialmente ao Eduardo Hindi, pelas longas conversas e passeios; Elvo Fassbinder, pela tutoria no tempo de PET e vários conselhos de corredor e Leonardo Lagoeiro pela oportunidade de IC.

Às amigas e aos amigos da pós que compartilharam a sala com muitos cafés, almoços e conversas. Principalmente à Camila Silveira por ser tão gente boa, Fernanda Xavier e Liliane Manzano pela ajuda no campo, Larissa Santos pelas dicas com as argilas e Sérgio Jaensch pelas sugestões na parte escrita e gráfica.

Aos gommos sempre presentes na minha jornada, especialmente Luiz Carlos Rischbieter (Luca), Geraldo Pougy, Andrea Guimarães e Gomminho Gomm.

Por último, mas não mesmo importante, aos meus amigos de turma, melhor GRR (2014), que compartilharam os dias de trabalho e distração na nossa segunda casa.

Meu muito obrigada!

"Curitiba, Curitiba
você é a única droga
que eu vou admitir
na minha vida"

(Marcos Prado, Antonio Thadeu Wojciechowski, Walmor Góes)

RESUMO

O geossítio Bacia sedimentar de Curitiba é um afloramento urbano de sedimentos da Formação Guabirota, unidade que preenche a Bacia de Curitiba. O sítio, localizado na região industrial da capital, recebeu notoriedade por ser berço das ocorrências fossilíferas, denominada Fauna Guabirota, que além de abranger alguns dos fósseis representantes do Paleógeno no país, permitiu definir uma idade relativa para o preenchimento da bacia. A análise faciológica do afloramento teve como objetivo refinar o conhecimento acerca dos depósitos sedimentares, almejando contribuir com futuros estudos tafonômicos e paleoambientais. Para tanto, utilizaram-se métodos de análise faciológica em três segmentos representativos do afloramento, nos quais foram reconhecidas oito fácies sedimentares, além de feições eodiagenéticas (calcretes) e rochas do embasamento. Para complementar a caracterização composicional dos sedimentos foram realizadas análises químicas e petrografia de seções delgadas de porções de interesse. Os levantamentos de campo apoiaram-se em seções obtidas de fotomontagens, onde foram identificadas e hierarquizadas as superfícies limitantes e elementos arquitetônicos. As associações faciológicas e elementos arquitetônicos descritos foram interpretados como de depósitos de canais rasos e planícies de inundação de sistemas fluviais distributários, contexto deposicional da Formação Guabirota. As fácies de areias e cascalhos, de depósitos de barras que preenchem feições acanaladas, foram interpretadas como correspondentes a porções proximais de leques, em que predominam depósitos de canais amalgamados, formados por avulsões frequentes. Esses depósitos, provenientes de oeste, ocorrem intercalados com associações de lamas, lençóis e pequenas lentes arenosas, caracterizadas como depósitos de espriamentos laterais de porções distais de rios que entraram na bacia provenientes da borda leste.

Palavras-chave: Bacia sedimentar de Curitiba; sistema fluvial distributário; Cenozoico.

ABSTRACT

The Curitiba sedimentary Basin geosite is an urban outcrop of the Guabirota Formation, an unit that fills the Curitiba Basin. The site is located in the Paraná state capital's industrial region, South of Brazil, and this outcrop received notoriety mainly due to the fossiliferous occurrences, called Guabirota Fauna. This occurrence represent one of the few fossils representing the Paleogene in the country and define a relative age for the fill of basin. The facies analysis of the outcrop aimed at refine the knowledge about the sedimentary deposits and thus to contribute with future taphonomic and paleoenvironmental studies. This techniques all owed the identification of three representative segments of the outcrop, in which eight sedimentary facies were recognized, as well as eodiagenetic features (calcrete) and bedrocks. To complement the study, the compositional characterization of the sediments were carried out chemical analyzes and petrology on portions of interest. The field surveys were based on sections obtained from photomontages in which the limiting surfaces and architectural elements were identified. The facies associations and architectural elements described were interpreted as shallow channel deposits and floodplains of distributary fluvial systems, as well as the last interpretations about the depositional context of the Guabirota Formation. The facies of sands and gravels, in bar deposits that fill channel features, were interpreted as proximal portions of fans, where deposits of channels amalgamated by frequent avulsion. These deposits, from the area west of the study site, are interspersed with associations of sludge, sheets and small sandy lenses, characterized as lateral spreading deposits of distal portions of rivers that entered the basin from the eastern border.

Keywords: Curitiba sedimentary Basin; Distributive fluvial system; Cenozoic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localização e contexto geológico da área de estudo	2
Figura 1.2 – Localização das seções no afloramento	3
Figura 2.1 – Contexto regional e localização das bacias do RCSB	7
Figura 2.2 – Evolução tectônica da bacia e sedimentação	8
Figura 2.3 – Perfil com a melhor exposição dos sedimentos	9
Figura 2.4 – Associações de fácies do preenchimento da Bacia de Curitiba	11
Figura 2.5 – Idade da Formação Guabirota	12
Figura 3.1 – Alguns litotipos de cascalhos encontrados no afloramento	16
Figura 3.2 – Cascalhos	17
Figura 3.3 – Imaturidade textural e composicional das areias	18
Figura 3.4 – Fácies arenosas	20
Figura 3.5 – Predomínio dos depósitos de lama	21
Figura 3.6 – Calcretes	22
Figura 3.7 – Texturas dos calcretes em campo	23
Figura 3.8 – Registros paleontológicos	24
Figura 3.9 – Camada tabular com laminação ondulada	26
Figura 3.10 – Carbonatos remobilizados associados a fraturas	27
Figura 3.11 – Embasamento, lente de cascalhos, areias e calcrete maciço	29
Figura 3.12 – Camada de areia maciça em meio ao calcrete maciço	30
Figura 3.13 – Fácies predominantes na seção SP	30
Figura 3.14 – Cristais de lantanita	31
Figura 3.15 – Detalhe da seção SP3	33
Figura 3.16 – Calcrete maciço da seção Saci Pererê	34
Figura 4.1 – Elementos arquitetônicos e variações dos depósitos	37
Figura 4.2 – Modelos esquemáticos com os elementos arquitetônicos observados	38
Figura 4.3 – Calcretes	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Descrições e interpretações de Lima (2010) para as associações	13
Quadro 3.1 – Fácies sedimentares descritas para o afloramento	14
Quadro 3.2 – Elementos arquitetônicos descritos para o afloramento	25
Quadro 4.1 – Correlação das seções com associações de fácies definidas por Lima (2010)	36

LISTA DE APÊNDICES

Fichas de descrição petrográfica	49
----------------------------------	----

LISTA DE ANEXOS

Difratogramas de raios X	54
Resultado analítico de fluorescência de raios X	58
Resultado analítico MEV-EDS	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	JUSTIFICATIVA	1
1.2	OBJETIVO	1
1.3	LOCALIZAÇÃO	2
1.4	MATERIAIS E MÉTODOS	2
1.4.1	<i>Pesquisa bibliográfica</i>	2
1.4.2	<i>Trabalhos de campo</i>	3
1.4.3	<i>Análise de fácies</i>	4
1.4.4	<i>Petrografia microscópica</i>	4
1.4.5	<i>Fluorescência e difratometria de raios X</i>	5
2	EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO DA BACIA DE CURITIBA	5
2.1	FORMAÇÃO	5
2.2	PREENCHIMENTO – FORMAÇÃO GUABIROTUBA	9
2.3	O GEOSSÍTIO BACIA SEDIMENTAR DE CURITIBA	12
3	RESULTADOS	14
3.1	PETROGRAFIA	14
3.1.1	<i>Cascalhos</i>	15
3.1.2	<i>Areias</i>	17
3.1.3	<i>Lamas</i>	20
3.1.4	<i>Calcretes</i>	22
3.1.5	<i>Registros paleontológicos</i>	23
3.2	SEÇÕES GEOLÓGICAS	25
3.2.1	<i>Seção Boitátá (BT)</i>	25
3.2.2	<i>Seção Curupira (CP)</i>	29
3.2.3	<i>Seção Saci Pererê (SP)</i>	33
4	DISCUSSÃO	36
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	43
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICES	49
	ANEXOS	54

1 INTRODUÇÃO

A capital paranaense e parte de sua região metropolitana cresceram sobre depósitos sedimentares e embasamento metamórfico da Bacia de Curitiba. A bacia formou-se em um sistema de riftes cenozoicos desenvolvidos paralelos à costa continental e posteriormente foi preenchida pelos sedimentos da Formação Guabirota. Esses depósitos sedimentares são conhecidos desde o começo do século passado, mas, devido à urbanização que avançou preferencialmente sobre os sedimentos, além da erosão natural, hoje são escassos os afloramentos do preenchimento da bacia curitibana. Entre eles está o geossítio Bacia sedimentar de Curitiba, localizado na Cidade Industrial de Curitiba, o qual recebe esse nome, baseado nos atuais conceitos de patrimônio geológico e geoconservação, por ser uma ocorrência *in situ* de elevado valor científico. Sua importância está relacionada, sobretudo, às descobertas paleontológicas de animais que habitavam a região no período Paleógeno e que possibilitaram estimar a idade para a deposição da Formação Guabirota, tema que há muito gerava controvérsias entre os pesquisadores, pelo desconhecimento, até então, de material fóssilífero ou vulcânico para a cronologia.

1.1 JUSTIFICATIVA

A pesquisa teve como justificativa a necessidade de refino do conhecimento sobre o contexto deposicional da Formação Guabirota e sua estruturação no geossítio Bacia sedimentar de Curitiba, dada a grande relevância paleontológica. O local constitui um complexo e diverso registro sedimentar, que em conjunto com informações paleontológicas, poderiam fornecer subsídios para estudos paleoambientais e tafonômicos.

1.2 OBJETIVO

Caracterizar o contexto deposicional dos sedimentos aflorantes no geossítio Bacia sedimentar de Curitiba, mediante descrição e interpretação de associações de fácies sedimentares.

1.3 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada na Cidade Industrial de Curitiba, no km 597 da BR 376, coordenadas UTM: 666700, 7177700 S22 (WGS84; Fig. 1.1). Encontra-se protegida pela Prefeitura Municipal de Curitiba como uma Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), categoria do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC).

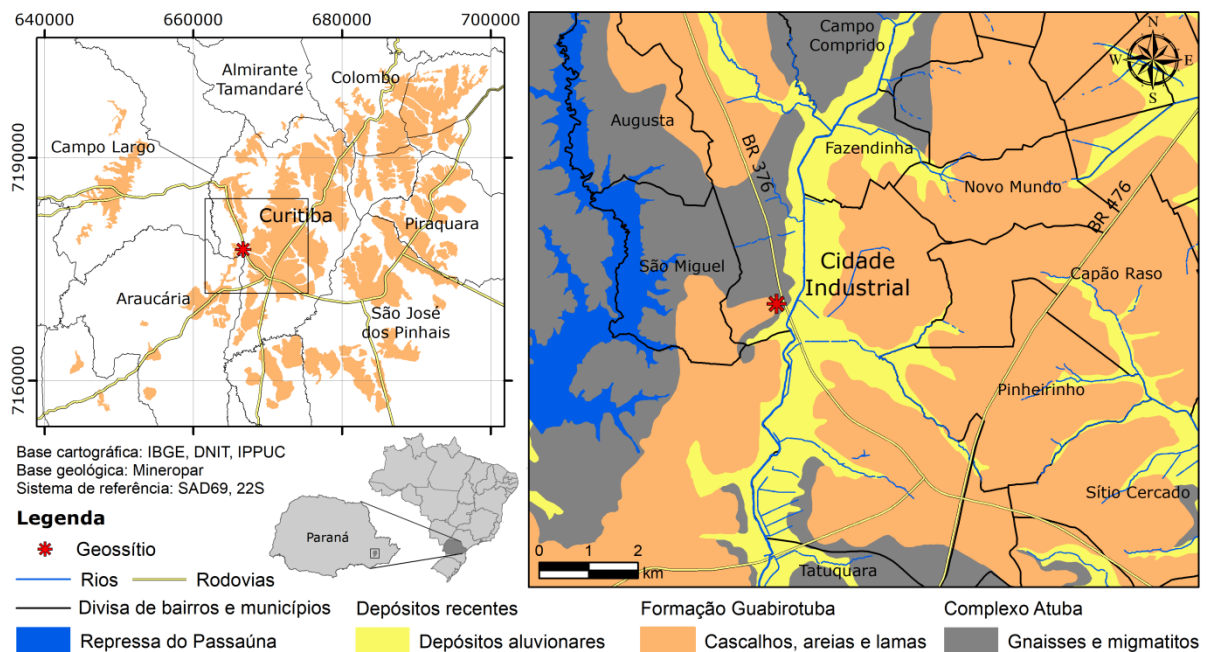


Figura 1.1 – Localização e contexto geológico da área de estudo.

1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

A execução da pesquisa pode ser dividida em: revisão bibliográfica; levantamentos de campo; avaliação de dados e discussão dos resultados.

1.4.1 Pesquisa bibliográfica

O levantamento bibliográfico realizado ao longo do trabalho consistiu na reunião de informações fundamentais acerca da Bacia de Curitiba, com maior atenção à Formação Guabirota, sua composição, distribuição, estruturas sedimentares e propostas para o contexto deposicional, com foco no afloramento em questão.

1.4.2 Trabalhos de campo

Para a caracterização dos sedimentos foram definidos três segmentos dos cortes que compõem o afloramento, denominados: Boitatá – BT, Curupira – CP e Saci Pererê – SP (Fig. 1.2).



Figura 1.2 – Localização das seções no afloramento (em vermelho). Seções: Boitatá (BT), Curupira (CP) e Saci Pererê (SP). Base fotográfica: Google (2018).

Os segmentos escolhidos foram fotografados para confecção de fotomosaicos para auxiliar na definição da estruturação das unidades sedimentares, descrever suas características composicionais, texturais e estruturais, para com isso distinguir as fácies e associações de fácies. Além da seção horizontal (obtida com o fotomosaico) foram elaborados perfis verticais para ilustrar a composição e variação dos depósitos sedimentares.

Nas seções também foram obtidas informações sobre sentido de fluxo de transporte (paleocorrentes), deformações tectônicas, ocorrência de fósseis e feições diagenéticas (calcretas). A amostragem de sedimentos foi realizada apenas para caracterização de parâmetros granulométricos e composicionais das fácies principais ou para confecção de lâminas para análise de petrografia microscópica complementar.

1.4.3 Análise de fácies

Para a individualização de fácies sedimentares foram consideradas as características composicionais, texturais e estruturais dos sedimentos, segundo a definição de Walker (1992), sendo as fácies caracterizadas por uma combinação de litotipo e estrutura diferente das adjacentes. As fácies foram definidas e identificadas por códigos seguindo o modelo de Miall (1977; 2006), sendo a primeira letra em maiúsculo correspondente ao tamanho do grão predominante (G=cascalho, S=areia, F=lama) seguida por mais uma ou duas letras minúsculas indicativa das texturas ou estruturas sedimentares encontradas nas fácies. As feições e estruturas diagenéticas (ex. cimentação carbonática - calcretes) não foram usadas para definição de fácies, pois referem-se a processos pós-deposicionais, portanto, não utilizados na discussão e caracterização do contexto deposicional, formador dos depósitos.

O agrupamento de fácies em associações de fácies foi baseado na relação espacial e variações laterais e verticais entre elas, com auxílio da análise dos elementos arquitetônicos, ambos coetâneos e geneticamente associados ao ambiente deposicional. Os elementos arquitetônicos foram reconhecidos com auxílio dos fotomosaicos e descrição de campo, definidos e classificados mediante caracterização das fácies e formas internas e externas (*internal geometry and external form*), seguindo o modelo de Miall (1985; 2006), com a definição das superfícies limitantes (*bounding surfaces*) de acordo com a classificação hierárquica de Miall (1991; 2006).

Após a definição das fácies e suas associações, foram realizadas interpretações acerca dos processos responsáveis pela deposição e levantadas sugestões para o contexto deposicional do afloramento, com a comparação ao que é definido para a unidade por trabalhos anteriores.

1.4.4 Petrografia microscópica

Como complemento às descrições macroscópicas, foram confeccionadas cinco lâminas com o objetivo de caracterizar microscopicamente a textura e composição do arcabouço, matriz e cimento, pelo laboratório de laminação do Laboratório de Minerais e Rochas (LAMIR/UFPR). As amostras escolhidas foram de

areias (TT e EW), calcretes (CP e DM) e de uma rizocrecção (RAIZ). As seções delgadas foram descritas com uso de microscópio petrográfico *Leica DM 2500P*, com a captura de fotomicrografias digitais a partir do *software Leica Application Suite V4*, no Laboratório de Pesquisa em Microscopia – LAPEM/UFPR. Para caracterização da forma e composição da matriz encontrada na lâmina TT, foram realizadas análises com microscópio eletrônico de varredura com espectroscopia por energia dispersiva (MEV-EDS) do LAMIR/UFPR. As descrições e resultados da análise de EDS encontram-se, respectivamente, em apêndice e anexo desse trabalho.

1.4.5 Fluorescência e difratometria de raios X

Para caracterizar a composição química e mineralógica, especialmente da fração argila, foram realizadas análises qualitativas de fluorescência (FRX) e difração de raio X (DRX), no LAMIR/UFPR. Foram analisadas: 1) duas amostras de cor esverdeada, argilosas, da parte inferior e intermediária do afloramento, respectivamente abaixo e acima do perfil SP (355/18-01 e 355/18-03); 2) uma amostra de argila avermelhada, mais do topo do afloramento, acima da seção CP (355/18-02); e 3) uma amostra de calcrete maciço encontrado na seção SP (255/18-02). A identificação dos argilominerais presentes na fração argila foi por comparação com o padrão da distância interplanar (Albers *et al.*, 2002). Os resultados das análises encontram-se em anexo nesse trabalho.

2 EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO DA BACIA DE CURITIBA

2.1 FORMAÇÃO

Desde o começo do século XX se conhece a *pequena bacia sedimentar* (Carvalho, 1934; Oliveira & Leonardos, 1943) que foi substrato do crescimento da capital paranaense. Assim fora descrita por Bigarella & Salamuni (1962), que mencionam que o marco zero da cidade, a Praça Tiradentes, está assentada sobre depósitos dessa bacia, além da expansão inicial da cidade estar prioritariamente sobre esses depósitos, sendo evitados assim os terrenos de rochas metamórficas.

A Bacia de Curitiba localiza-se no Primeiro Planalto Paranaense, com seus depósitos aflorantes ou em subsuperfície abrangendo o município homônimo e parte

da sua região metropolitana, com aproximadamente 1150 km² (Riccomini *et al.*, 2004).

Almeida (1976) incluiu a Bacia de Curitiba no *Sistema de Rifts da Serra do Mar*, região do sudeste brasileiro formada por vales, montanhas e bacias de origem tectônica, desenvolvido no final do Mesozoico, com estruturação influenciada pelo embasamento (Cinturão Ribeira) de direções ENE e NE. Melo *et al.* (1985), para a mesma região sob a denominação de *Sistema de bacias tafrogênicas continentais do Sudeste do Brasil*, não incluíram a Bacia de Curitiba alegando falta de conhecimentos para sustentá-la como tal.

Em 1989, Riccomini propôs o *Rift Continental do Sudeste Brasileiro (RCSB)*, definido como uma feição alongada e deprimida paralela e distando 70 km da linha de costa, entre os estados do Paraná e Rio de Janeiro. A Bacia de Curitiba foi localizada no segmento ocidental do RCSB, junto com os grábens de Guaraqueçaba, Sete Barras, Cananeia, assim como as áreas de exposição das formações Alexandra e Pariquera-Açu. O rifte teve sua origem e desenvolvimento associado a reativações de estruturas regionais do embasamento, relacionadas com ruptura continental e formação do oceano Atlântico Sul (Fig. 2.1; Riccomini *et al.*, 2004). Zalán & Oliveira (2005) definiram a mesma região como *Sistemas de Riftes Cenozoicos do Sudeste do Brasil*, constituído por grábens alongados, assimétricos e com assoalho mergulhando para NW, nucleados a partir de antigas estruturas dúcteis subverticais do Ciclo Brasileiro. Mesmo com evidências de controle estrutural nas bordas, os autores consideram que, na escala utilizada para o estudo, a Bacia de Curitiba não integra o sistema de riftes, sendo apenas uma depressão topográfica entre os grábens Ribeira e Marítimo.

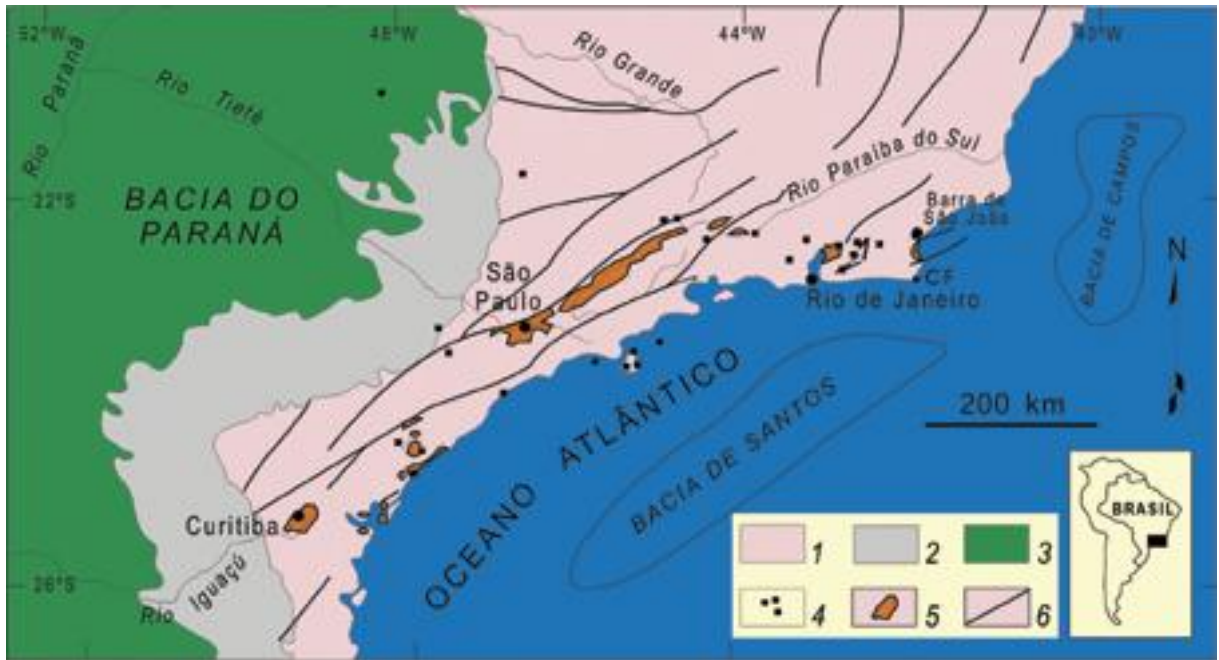


Figura 2.1 – Contexto regional e localização das bacias do RCSB. 1) embasamento; 2) Bacia do Paraná; 3) Formação Serra Geral; 4) rochas alcalinas; 5) bacias cenozóicas do *rift*; 6) zonas de cisalhamento. Fonte: Riccomini *et al.* (2004).

Ao estudar a estruturação da Bacia de Curitiba, Salamuni *et al.* (2003) relacionaram sua formação com a tectônica extensional, formadora do RCSB, com o registro de falhas normais e o desenvolvimento de um gráben, formando assim uma depressão alongada segundo NE-SW, que propiciou a deposição e preservação da Formação Guabirotuba (Fig. 2.2). São encontradas evidências de atividades tectônicas posteriores à deposição dos sedimentos, que estariam ligadas a evento de compressão com registros transtrativos nos sedimentos e transpressivos no embasamento.

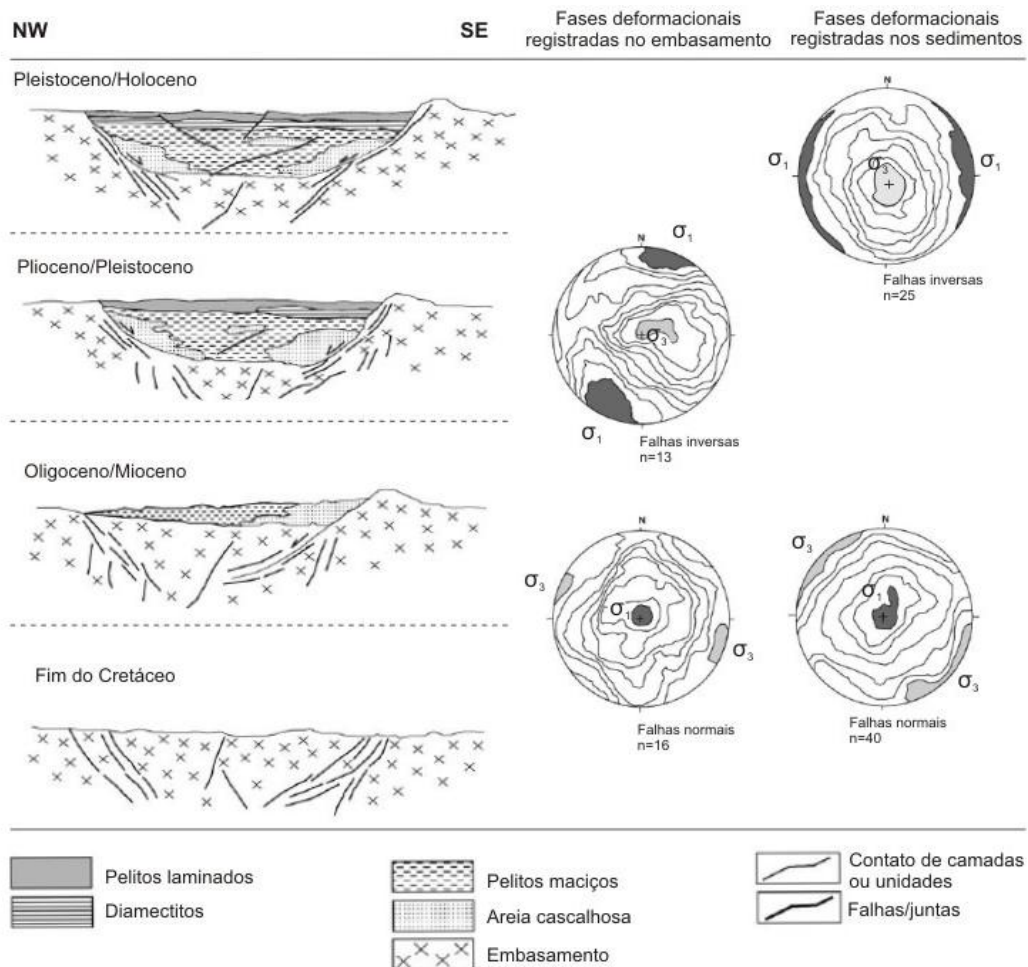


Figura 2.2 – Evolução tectônica da bacia e sedimentação. Fonte: Salamuni *et al.* (2003) modificado por Lima (2010).

O embasamento da bacia foi primeiramente descrito como sendo formado por *rochas metamórficas pré-cambrianas* (Bigarella & Salamuni, 1962). Tais rochas compreendem uma faixa alongada de direção NE-SW composta principalmente por gnaisses bandados, migmatizados, com intercalações de anfibolitos e xistos; em fácies anfibolito, integrantes do Complexo Atuba. É limitado a noroeste pelo contato com as sequências metassedimentares do Grupo Açungui e a leste pelos granitóides da Província Graciosa (Siga Jr. *et al.*, 1995).

O preenchimento da Bacia de Curitiba é constituído pelos sedimentos da Formação Guabirotuba, designação proposta por Bigarella & Salamuni (1962) para a unidade composta predominantemente por argilitos e arcósios, além de depósitos rudáceos e margas; e em menor parte pelos recentes depósitos (holocênicos) dos rios que retrabalham a unidade. Outras unidades litoestratigráficas foram propostas posteriormente, embora não haja consenso sobre a sua adoção: as formações Tinguis, considerada retrabalhamento de depósitos da Fm. Guabirotuba; e

Boqueirão, formada por areias e cascalhos de canais anastomosados, por Becker (1982); assim como a Fm. Piraquara, constituída por sedimentos de sistemas fluviais meandrantas, por Coimbra *et al.* (1996).

2.2 PREENCHIMENTO – FORMAÇÃO GUABIROTUBA

Em registro pioneiro, Siemiradzki (1898) registrou a existência de *camadas sedimentares assentadas sobre rochas cristalinas* no entorno da cidade de Curitiba. Tais sedimentos foram descritos inicialmente como cascalhos, argilas esverdeadas e, para o topo do depósito, avermelhadas, com intercalações de leitos grossos e finos e espessura que não excederia 40 m (Carvalho, 1934; Maack, 1947).

Ao definir a Formação Guabirota, que recebeu esse nome pela melhor exposição dos sedimentos encontrada no bairro homônimo (Fig. 2.3), Bigarella & Salamuni (1962) apresentaram-na como constituída por argilitos de tons cinza que alteram para avermelhado, com lentes de arcóseo, depósitos rudáceos nas margens da bacia e horizontes de impregnação calcária (caliche), com espessura total de 60 a 80 m.

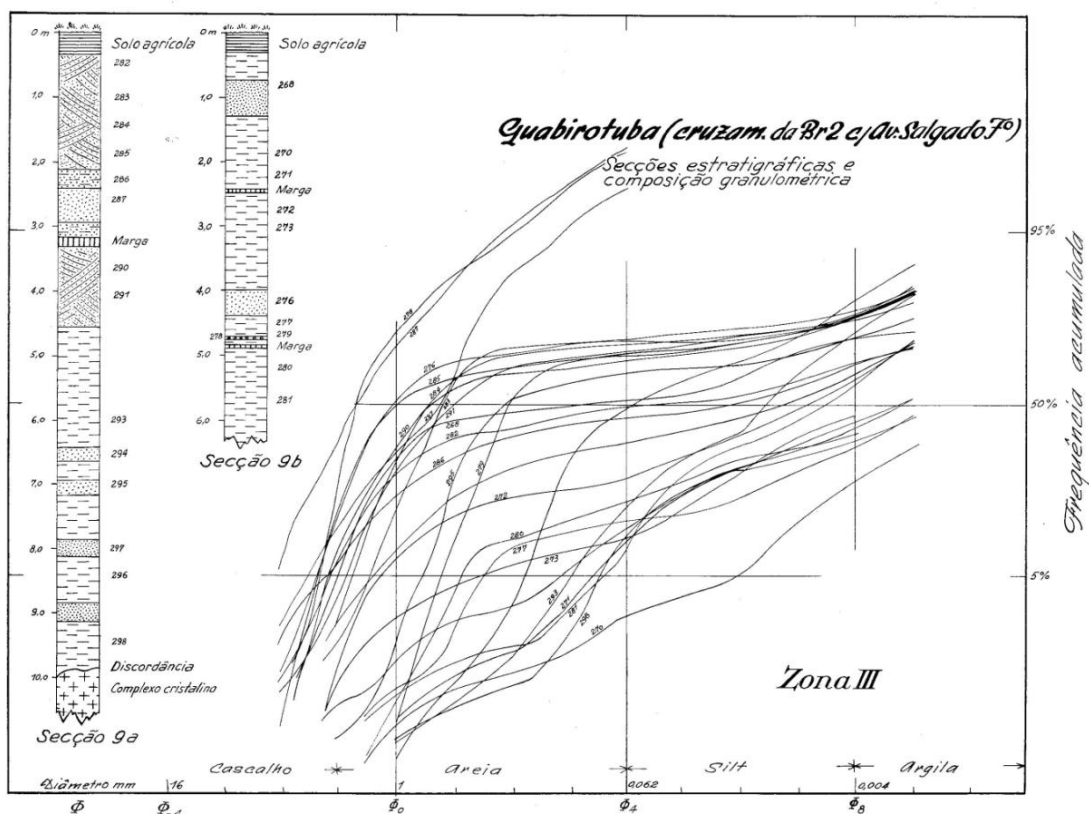


Figura 2.3 – Perfil com a melhor exposição dos sedimentos considerada na época, localizado no cruzamento da atual BR 476 com a avenida Senador Salgado Filho, no bairro Guabirota, e que emprestou seu nome à unidade. Fonte: Bigarella & Salamuni (1962).

Coutinho (1955) relatou a ocorrência de pequenos cristais de um mineral róseo geneticamente associado às camadas calcíferas, identificado como lantanita, um carbonato de elementos terras raras. Coimbra & Riccomini (1985) comparam tais ocorrências de *caliches* da Bacia de Curitiba com as de Taubaté e Resende, também integrantes do RCSB, e sugeriram que esses horizontes de calcário com formação de lantanita em meio a areias e lamas verdes indicariam sincronidade entre as bacias.

Ao descrever a unidade, Bigarella & Salamuni (1962) propuseram que a sedimentação ocorrera em clima semiárido, formando leques aluvionais que coalesciam para o centro da bacia em um ambiente *playa*-lacustre, o que explicaria a existência dos depósitos rudáceos na periferia e as camadas lenticulares de arcóseos intercaladas aos depósitos de lama na área central. Essa interpretação assemelha-se com a anteriormente proposta (Carvalho, 1934; Maack, 1947; Bigarella & Salamuni, 1959; Bigarella *et al.*, 1961), que interpretaram tais depósitos como fluviais e lacustres. Assim como os estudos que se seguiram que continuaram atribuindo um contexto sedimentar de leques aluviais coalescentes para lacustre (Becker, 1982; Salamuni *et al.*, 1999).

Lima (2010) e Lima *et al.* (2013) definiram seis associações de fácies para as lamas, areias imaturas e cascalhos da unidade, atribuindo-as a depósitos de sistemas distributários fluviais (Fig. 2.4), em clima úmido com alternância de períodos secos, que contribuíram na formação dos calcretes, considerados por Cunha (2011) como formados predominantemente por processos freáticos.

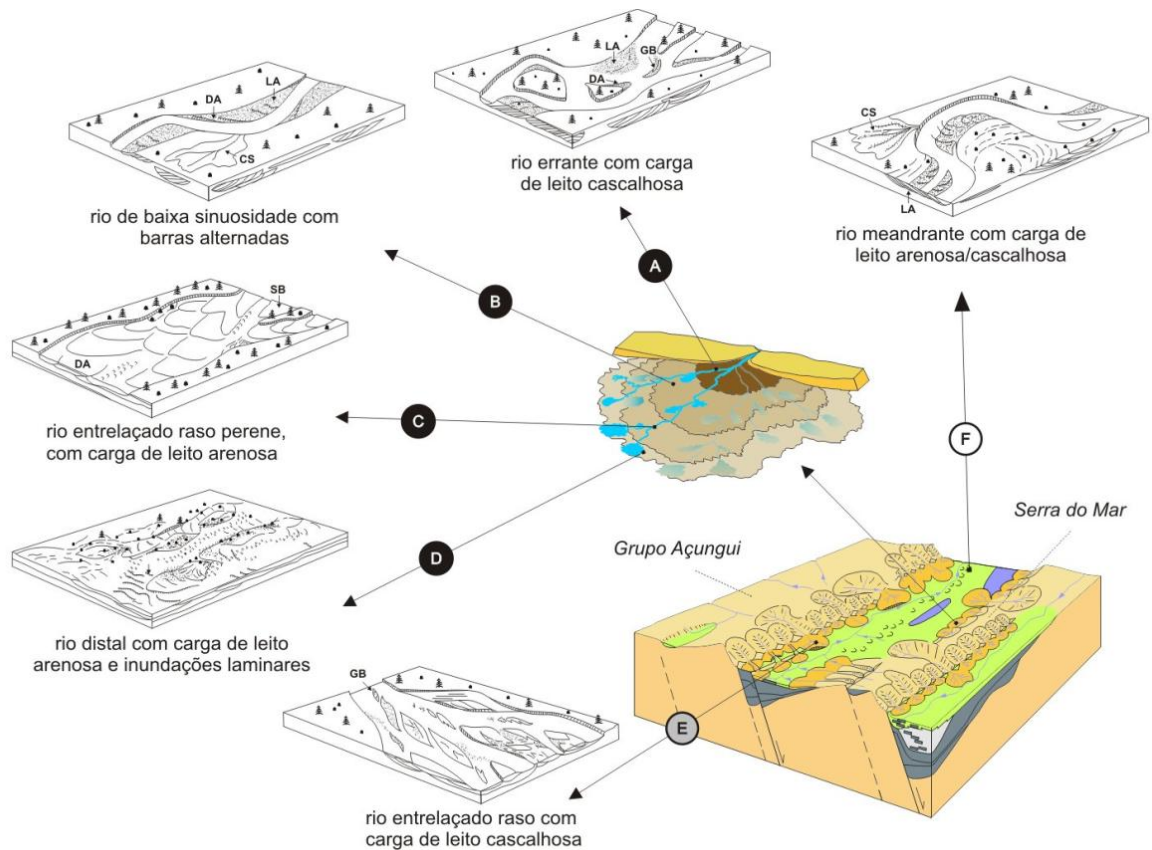


Figura 2.4 – Associações de fácies do preenchimento da Bacia de Curitiba. Fonte: Lima (2010).

Até recentemente a idade de sedimentação não era consenso, uma vez que a unidade era considerada afossilífera, sendo definida por relações geomorfológicas (pediplanos e pedimentos), comparação com outras bacias do RCSB e dados palinológicos, ao: Holoceno (Carvalho, 1934); Pleistoceno (Maack, 1947; Bigarella & Salamuni, 1958; Azevedo, 1981); Plio-Pleistoceno (Bigarella *et al.*, 1961; Bigarella & Salamuni, 1962); Plioceno (Oliveira, 1927; Becker, 1982; Garcia *et al.*, 2013); Mio-Plioceno (Salamuni, 1998; Salamuni *et al.*, 1999, Salamuni *et al.*, 2003); Oligo-Mioceno (Salamuni *et al.*, 2004).

A descoberta de fósseis na Formação Guabirota (Liccardo & Weinschütz, 2010) foi o início para demais pesquisas paleontológicas. Os estudos que se seguiram identificaram uma nova fauna paleógena, a fauna Guabirota, que entre outros é constituída por mamíferos, aves e répteis (Sedor *et al.*, 2014). Uma idade relativa à deposição da Formação Guabirota foi atribuída ao período Paleógeno, por meio da correlação dos fósseis de mamíferos encontrados no afloramento com unidades biocronológicas conhecidas como SALMAs - *South american land mammal ages*. A Fauna Guabirota está inserida no Barrancano (Fig. 2.5),

cronoestratigraficamente entre o Lutertiano e Bartoniano no Mesoeoceno (Sedor *et al.*, 2017a).

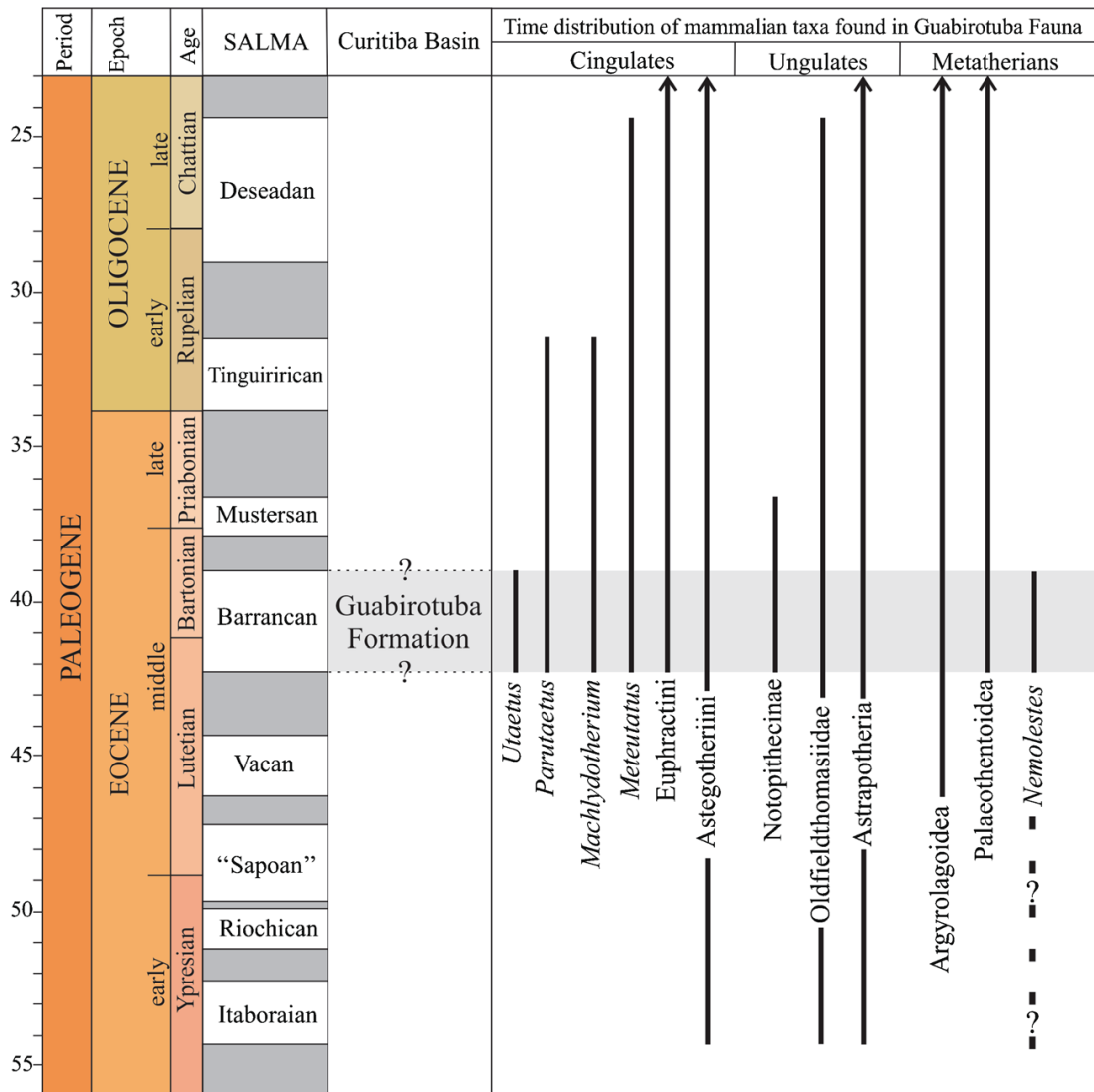


Figura 2.5 – Idade da Formação Guabirota baseada em descobertas paleontológicas recentes. Fonte: Sedor *et al.* (2017a).

2.3 O GEOSSÍTIO BACIA SEDIMENTAR DE CURITIBA

O afloramento estudado nesse trabalho situa-se no interior de área de 16 ha, designada *geossítio Bacia sedimentar de Curitiba* (Fernandes *et al.*, 2016; Sedor *et al.*, 2017b), proposto com base nos atuais conceitos de geoconservação e patrimônio geológico por seu elevado valor científico. Sua grande relevância paleontológica está historicamente atrelada à geológica, pois o geossítio, uma importante exposição da Formação Guabirota, é conhecido e visitado há muitos anos por alunos de graduação em cursos de Geociências, sobretudo, por ser um local representativo dos sedimentos que preenchem a bacia curitibana.

Devido à urbanização, locais didáticos como esse afloramento, que é usado para contar a história e evolução da região, vêm se tornando cada vez mais escassos. Esse foi um dos motivos, além da proteção ao registro paleontológico, para as medidas de geoconservação que vêm sendo discutidas, desde 2015 (Lima *et al.*, 2015), entre a Secretaria do meio ambiente de Curitiba e integrantes do Grupo de pesquisa em geoconservação e patrimônio geológico do CNPq/UFPR, Museu de Ciências Naturais da UFPR e Geodiversidade Soluções Geológicas Ltda. Tais iniciativas recentemente culminaram na criação de uma Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) o *Parque Paleontológico Formação Guabirotuba – Geossítio de Curitiba*, um parque municipal para conservar, garantir a pesquisa e divulgação científica no local (Decreto Municipal n.º 286/2018).

Ao descrever os sedimentos deste afloramento, Lima (2010) caracterizou-os como integrantes das associações D e E, respectivamente interpretadas como depositadas em rios rasos dominados por inundação laminar arenosa e rios entrelaçados de baixa sinuosidade, rasos e cascalhosos (Quadro 2.1), ambos em ambiente deposicional de leque aluvial, aquele distal proveniente da porção leste da bacia e este proximal, originado na borda oeste, com paleocorrentes respectivamente para norte e nordeste.

Quadro 2.1 – Descrições e interpretações de Lima (2010) para as associações encontradas no afloramento BC 03.

associação de fácies	fácies	processo	elemento arquitetônico	contexto no sistema deposicional
D	Sp	migração longitudinal de barra	forma de leito arenosa	canal
	Fh	abandono de canal	finos de planície de inundação	
	Si	fluxo gravitacional (?)	fluxo gravitacional	
	Fm, Fl	fluxo gravitacional lamoso	fluxo gravitacional	planície de inundação
	Sp, Sm, Sr	transbordamento do canal	Inundação laminar	
	Plc, Pnc	pedogênese	paleossolo	
E	Gmm, Gcm, Sp	migração longitudinal de barra	barra cascalhosa e arenosa	canal
	Sp	migração lateral de barra	barra arenosa	
	Fm	fluxo gravitacional lamoso	fluxo gravitacional	planície de inundação
	Sm	fluxo gravitacional arenoso	fluxo gravitacional	

Para as feições de cimentação carbonática (calcretes), Cunha (2011) caracterizou a ocorrência de dois tipos no afloramento estudado, calcrete nodular e calcrete laminar, ambos nas porções arenosas. As microtexturas descritas pela autora foram associadas à precipitação inorgânica de carbonato (tipo α), associadas à calcretes de origem freática, dentre elas: carbonato preenchendo fraturas de grãos ou formando franjas isópacas, grãos terrígenos com bordas corroídas e imersos em matriz micrítica homogênea.

Cunha (2016), em estudo paleoambiental e tafonômico, definiu duas fases de passagem gradual de deposição e preservação dos fósseis, a primeira caracterizada por rios entrelaçados de alta energia, em contexto fluvial distributário e a segunda, um sistema de planícies fluviais distais com rios efêmeros de baixa energia. A fauna Guabirota foi caracterizada como parautóctone, por apresentar características de curtas distâncias de transporte, com fósseis encontrados em todos os níveis estratigráficos, sem mudança do *habitat*.

Estudo de proveniência de minerais pesados, realizado por Machado (2009), constatou que os sedimentos do afloramento estudado apresentam assembleia de baixo zircão (20-61%), com provável área fonte as rochas do Complexo Atuba e Grupo Açungui.

3 RESULTADOS

Foram descritas detalhadamente três seções geológicas representativas do contexto sedimentar exposto no geossítio estudado, cujos resultados são apresentados de modo sintético a seguir.

3.1 PETROGRAFIA

Ao todo foram definidas oito fácies sedimentares, descritas no Quadro 3.1, com suas características gerais e outros dados complementares.

Quadro 3.1 – Fácies sedimentares descritas para o afloramento, de acordo com a classificação de Miall (1977; 2006).

código	litotipo	estruturas sedimentares	interpretações
Gh	cascalho com estratificação mal definida sustentado pelo arcabouço	acamamento horizontal	formas de leito longitudinais ou depósitos residuais (<i>lag</i>)

<i>Gm</i>	cascalho sustentado por matriz	fraca estratificação cruzada e gradação	preenchimento de canais, formas de leito transversais, migração e/ou crescimento de barras
<i>St</i>	areia fina a grossa, podendo conter cascalhos	estratificação cruzada acanalada	migração de dunas subaquosa de crista sinuosa, regime de fluxo inferior
<i>Sp</i>	areia fina a grossa, podendo conter cascalhos	estratificação cruzada tabular	migração de dunas subaquosa de crista reta, regime de fluxo inferior
<i>Sl</i>	areia fina a grossa, podendo conter cascalhos	laminação cruzada com baixo ângulo de mergulho (<15°)	estruturas de corte e preenchimento, dunas atenuadas (<i>humpback</i> ou <i>washedout dunes</i>) ou depositadas em superfícies com leve inclinação (<i>initially dipping surfaces</i>)
<i>Sm</i>	areia fina a grossa	maciça a fracamente estratificada	produto de sedimentação muito rápida (fluxos gravitacionais), modificações penecontemporâneas ou depósitos de preenchimento de suaves depressões
<i>Fl</i>	lama arenosa	laminação cruzada	depósitos de transbordamento, canais abandonados ou inundações durante estágios de baixa energia (<i>waning flood</i>)
<i>Fm</i>	lama, pode conter areia muito fina	maciça	depósitos de inundação, canais abandonados, depósitos de drapes, fluxos de detritos (<i>mud flow</i>)

3.1.1 Cascalhos

Os cascalhos, que formam os depósitos de menor quantidade no afloramento, são constituídos predominantemente por grânulos e seixos polimíticos (Fig. 3.1), com blocos em quantidade subordinada; e matriz de lama a areia grossa quartzo feldspática. O arcabouço é predominantemente mal selecionado, de baixa esfericidade e subarredondado, constituído por clastos de quartzo (de translúcido a leitoso esbranquiçado, acastanhado, preto), fragmentos de granitoide deformado, filito, xisto, quartzito, feldspato, além de calcrete retrabalhado e osso/bioclasto.

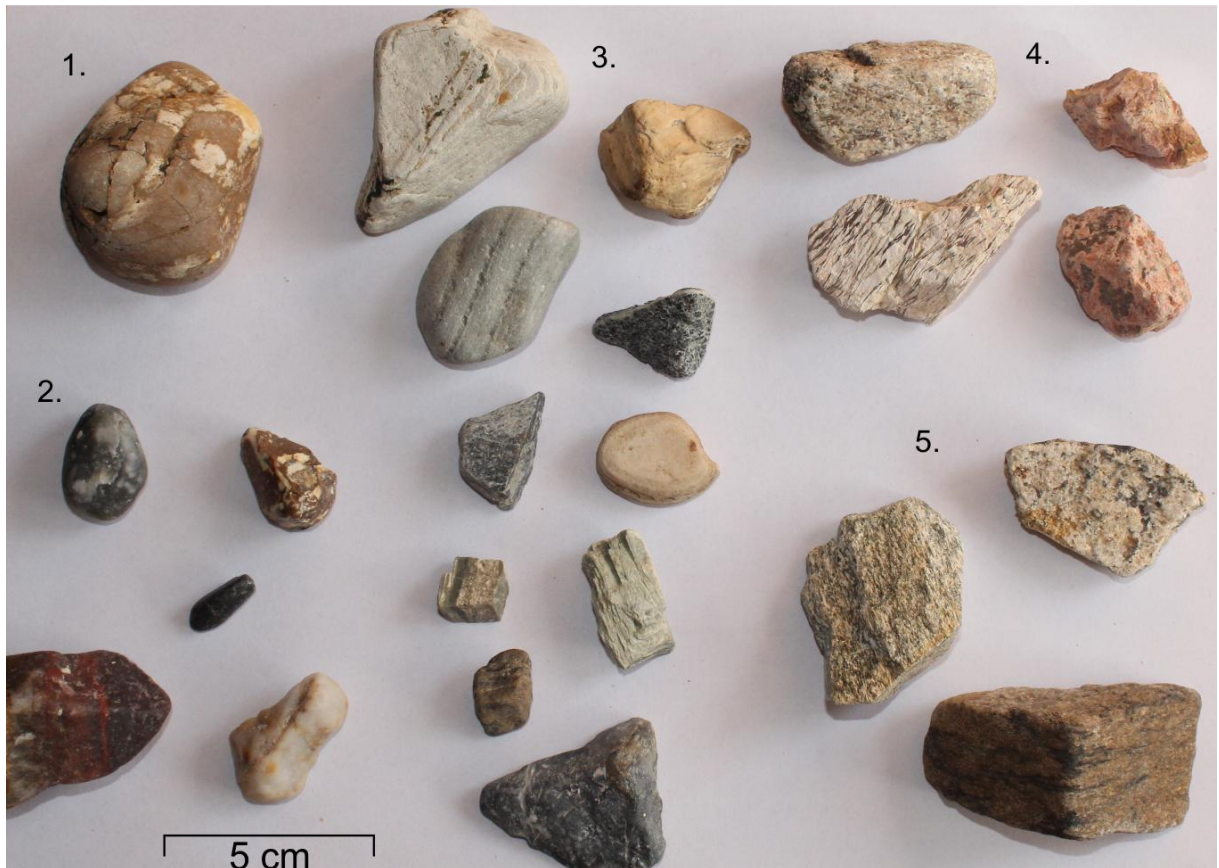


Figura 3.1 – Alguns litotipos de cascalhos encontrados no afloramento: 1. clasto de argila; 2. quartzo; 3. filito e quartzito; 4. granitoide; 5. xisto semelhante ao do embasamento.

Gh – cascalho sustentado pelo arcabouço

Fácies caracterizada por depósitos rudáceos sustentados pelo arcabouço de grânulos a blocos com matriz de lama arenosa (Fig. 3.2a). O arcabouço é muito mal selecionado, subanguloso a arredondado, de baixa esfericidade, com predomínio de clastos alongados a discóides, que definem um acamamento grosseiro. Ocorre como depósitos de forma lenticular (aprox. 0,4 x 5m) com contato inferior erosivo, geralmente variando lateralmente e verticalmente para a fácies Gm, com contato superior abrupto não erosivo com as fácies arenosas.

Gm – cascalho sustentado pela matriz

Fácies composta por grânulos a seixos, com poucos blocos, sustentada por matriz de areia lamosa (Fig. 3.2b). O arcabouço, mal selecionado, exhibe estratificação cruzada incipiente/mal definida evidenciada pelo alinhamento de grãos alongados e discreta gradação normal para o topo. Ocorre em camadas tabulares

com base côncava, que variam lateralmente para a fácies Gh e verticalmente com contato gradual para fácies arenosa.

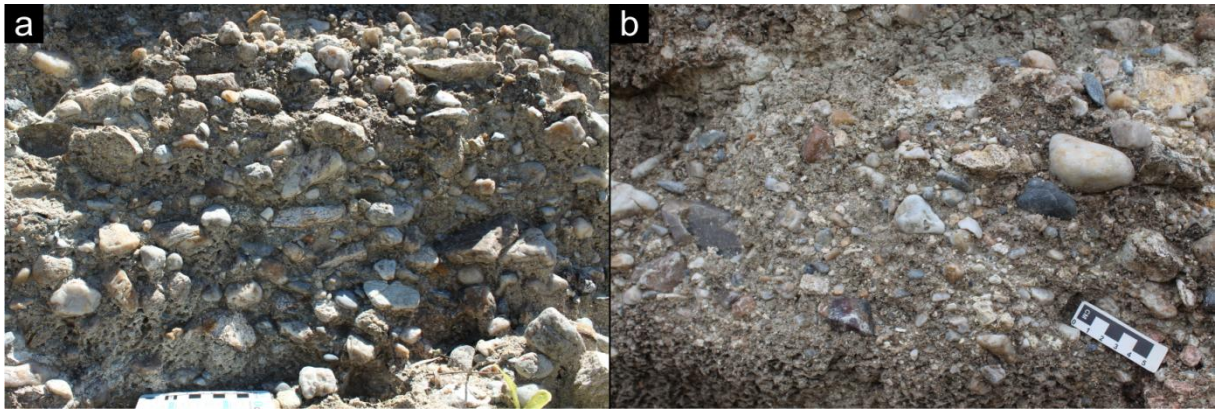


Figura 3.2 – Cascalhos. a) fácies Gh, cascalhos sustentando o arcabouço e matriz de lama arenosa. Notar os clastos mais alongados fracamente orientados; b) fácies Gm com estratificação cruzada incipiente, com matriz de areia lamosa sustentando grânulos, seixos e blocos.

3.1.2 Areias

As camadas de areia são constituídas predominantemente por grãos de quartzo e feldspatos de granulação areia muito fina a areia muito grossa com matriz de lama esverdeada e/ou cimentação carbonática. Por vezes contém grânulos e seixos - em menor quantidade blocos, de fragmentos líticos, argila, calcrete, bioclastos (fósseis) e grãos leves de material preto (com reação exotérmica quando em contato com H_2O_2).

Por meio da descrição petrográfica das lâminas TT e EW, respectivamente areias das fácies Sm e St, foi confirmada a imaturidade dos sedimentos, característica já observadas em campo, pela presença de matriz lamosa, má seleção e grãos de composição instável. Texturalmente as características de imaturidade observadas foram: matriz argilosa revestindo grãos (Fig. 3.3a, caracterizada como esmectita por MEV-EDS); lama carbonática parcialmente recristalizada (Fig. 3.3c); baixo grau de seleção e arredondamento de parte do arcabouço. Em relação à imaturidade composicional (mineralógica), foram encontrados, principalmente na fração mais grossa do arcabouço, grãos de materiais mais instáveis ao intemperismo, como por exemplo: feldspatos, minerais máficos, clastos de argila e fragmentos líticos (ex. granitoide; Fig. 3.3d). Também é frequente, nos grãos mais grossos, quartzo policristalino com contatos internos poligonais a interdigitados (quartzito; Fig. 3.3b).

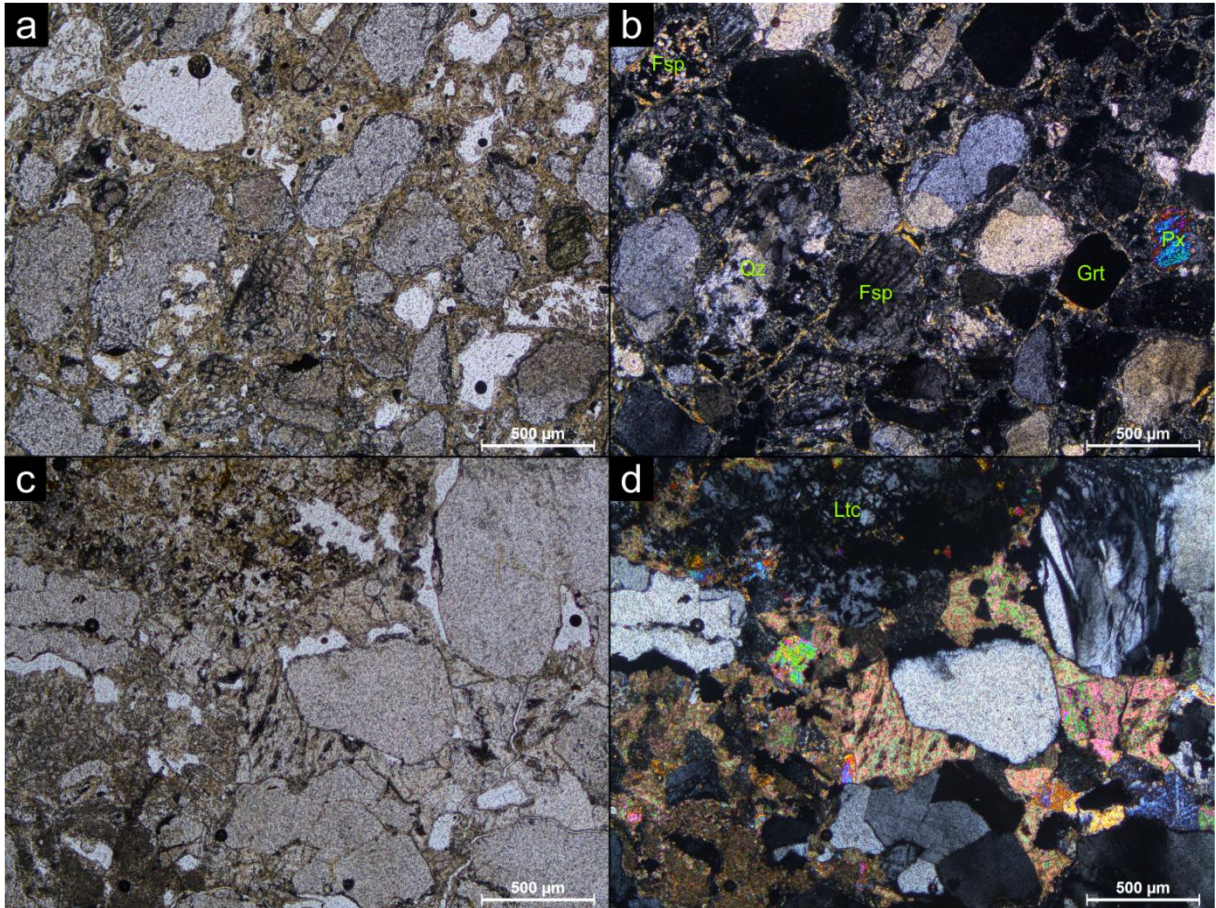


Figura 3.3 – Imaturidade textural e composicional das areias. a/b) cimento argiloso de cor acastanhada e cor de interferência cinza a amarela (1ª ordem) envolvendo os grãos. Fotomicrografias da lâmina TT com polarizadores descruzados e cruzados. Fsp=feldspato, Grt=granada, Px=piroxênio, Qz=quartzito; c/d) matriz carbonática micrítica em parte (lado direito) já recristalizada para esparita. Fotomicrografias da lâmina EW com polarizadores descruzados e cruzados. Ltc=fragmento lítico.

St – areia com estratificação cruzada acanalada

Areias de muito fina a muito grossa, predominantemente média a grossa, com matriz de lama, por vezes, carbonática. Em algumas porções contém até 15% de grânulos e seixos. O arcabouço é constituído por quartzo e feldspato, moderadamente selecionado, em que predominam grãos de alta esfericidade e subarredondados. A estratificação cruzada acanalada é evidenciada pelo alinhamento dos cascalhos com a laminação, na base dos estratos (Fig. 3.4a), ou pela intercalação de lâminas de até 1 cm de lamelas maciças (Fig. 3.4b). Ocorrem em camadas lenticulares ou tabulares de sets com até 1 m de altura, com contato inferior gradual com a fácies Gm ou abrupto com a Gh, e superior transicional com a fácies Fm.

Sp – areia com estratificação cruzada tabular

Fácies de granulação areia fina a média, com areia grossa e seixos subordinados, exibindo estratificação cruzada tabular, a qual, por vezes, é realçada pela cimentação carbonática. Em algumas camadas as laminações exibem leves ondulações (Fig. 3.4c). O arcabouço é composto por grãos de quartzo e feldspatos, moderadamente selecionados e predominantemente subarredondados e esféricos. Formam camadas lenticulares com base plana a côncava erosiva, com sets de aproximadamente 20 cm de altura (Fig. 3.4d). O contato superior é gradual, com fácies lamosas (Fm, Fl).

Sl – areia com laminação cruzada com baixo ângulo de mergulho

Nesta fácies, predomina areia fina a média, de seleção moderada e grãos subangulosos. Exibe laminação cruzada incipiente, com mergulhos $<15^\circ$, que é ressaltada pelo desenvolvimento de calcrete laminar paralelo à estruturação. Ocorrem em camadas tabulares com base plana erosiva, com espessura média de 20 cm e variação vertical gradual para fácies Fm (Fig. 3.4e).

Sm – areia maciça a fracamente estratificada

Fácies constituída por areia fina a grossa, moderadamente selecionada, que subordinadamente contém grânulos, seixos e fragmentos de argila dispersos ou concentrados em níveis lenticulares (Fig. 3.4d). Apresenta estrutura maciça predominante, por vezes, com estratificação incipiente. Ocorre em camadas lenticulares a tabulares com contato inferior abrupto ou não conformidade sobre o embasamento. Por vezes ocorre internamente ou em contato com os limites de calcrete maciço.

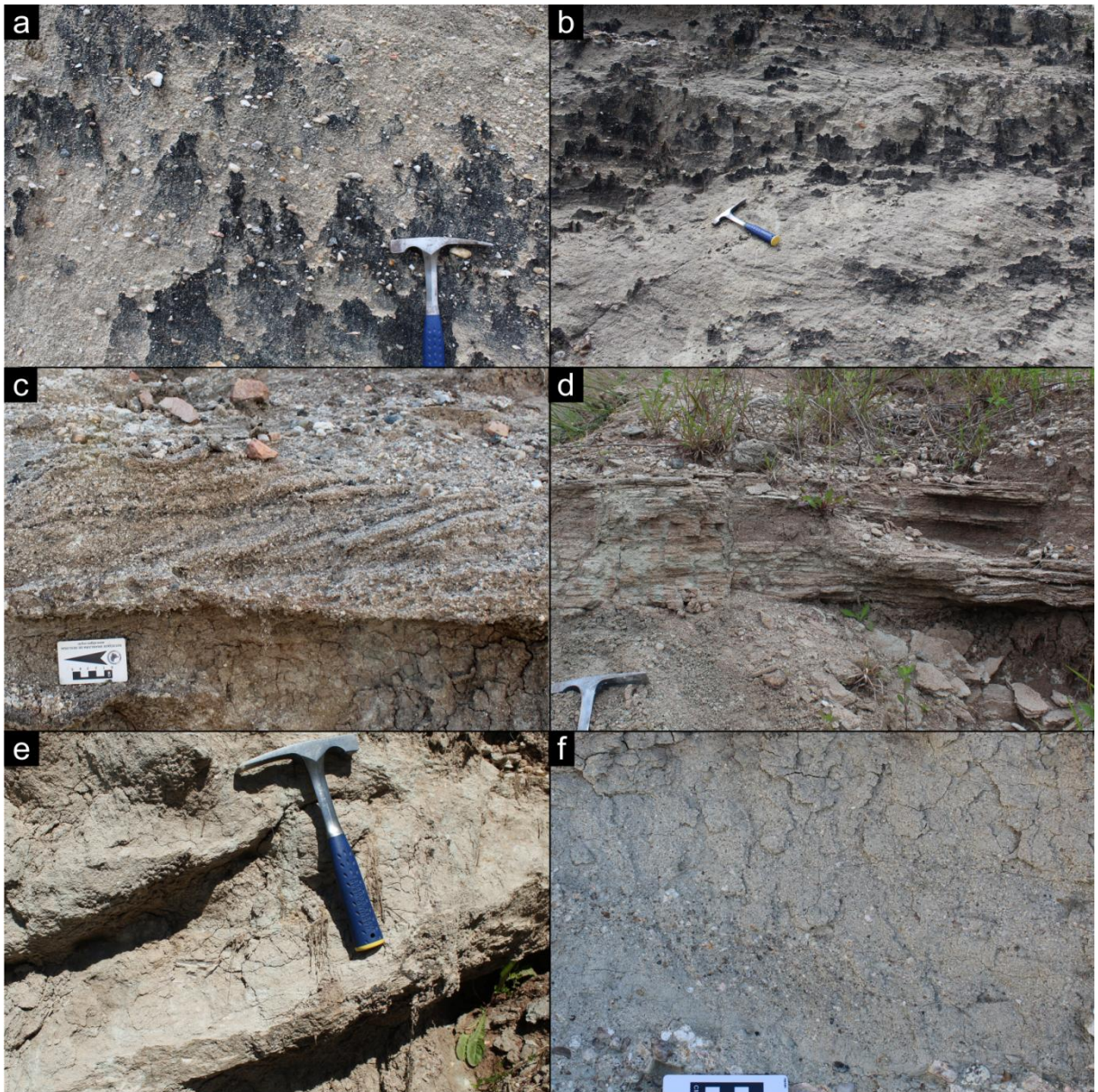


Figura 3.4 – Fácies arenosas. a) fácies St com estratificação realçada pela orientação dos cascalhos na base das laminações; b) fácies St com estratificação evidenciada pela intercalação de lâminas de granulação areia fina/lama e areia média/grossa; c) fácies Sp com estratificação cruzada tabular exibindo planos com ondulações suaves; d) estrato de Sp em contato erosivo com fácies Lm; e) fácies Sl realçada por cimentação carbonática com passagem gradual para Fm; f) areia maciça sobre fácies Gh com concentração de formato alongado de grânulos e seixos fracamente orientados.

3.1.3 Lamas

As fácies de lamas, depósitos que aumentam sua espessura para o topo do afloramento, apresentam predomínio da fração argila e exibem cor esverdeada (7/10BG *light greenish gray*), passando para tons avermelhados (2,5YR *red*) quando próximo ao solo/parte superior do afloramento (Fig. 3.5).



Figura 3.5 – Predomínio dos depósitos de lama (topo da seção estudada), com a passagem gradual da cor esverdeada a avermelhada ao topo. Visada para leste, da porção central do afloramento.

Análises de FRX e DRX indicaram o incremento da quantidade de Si, Al e Fe, e diminuição dos demais componentes para o topo, respectivamente amostras 355/18-01 a 03. As argilas identificadas pertencem ao grupo das esmectitas e illitas na base (355/18-01), com ocorrência de caulinita associada a esmectita (355/18-03) na porção intermediária, e apenas caulinita e illita na porção avermelhada, superior (355/18-04).

Fl – lama arenosa com laminação cruzada

Fácies composta por lama com proporções variadas de areia muito fina a fina, com fraco a moderado desenvolvimento de laminação cruzada. Integram camadas lenticulares a tabulares, com sets de cerca de 10 cm de altura, sendo que para a base passam gradualmente para fácies Sp, e ao topo para fácies Fm.

Fm – lama maciça

Fácies constituída predominantemente de argila, com silte e areia muito fina em menores proporções. São encontrados, em algumas camadas, grânulos a blocos dispersos, além de intercalações lenticulares de areias e cascalhos com contatos mal definidos. Formam camadas maciças tabulares de espessuras centimétricas a métricas. Ocorrem também como lentes de até 1 cm de espessura, associadas com fácies arenosas. O contato inferior geralmente é feito de modo gradual, para fácies arenosas.

3.1.4 Calcretes

Para a descrição petrográfica foram analisadas seções delgadas de duas amostras escolhidas de calcrete maciço, uma de arcabouço mais grosso, com grânulos e seixos, da seção CP, e outra mais fina, com predomínio de areia, da seção SP, respectivamente lâminas CP e DM. Ao microscópio, ambas apresentam mais da metade de sua área composta por lama carbonática micrítica maciça, na qual estão imersos grãos siliciclásticos muito mal selecionados de composição e texturas variadas, e nódulos de carbonato (Fig. 3.6a). Eventualmente o carbonato é esparítico formando cristais romboédricos nas bordas dos grãos (Fig. 3.6b).

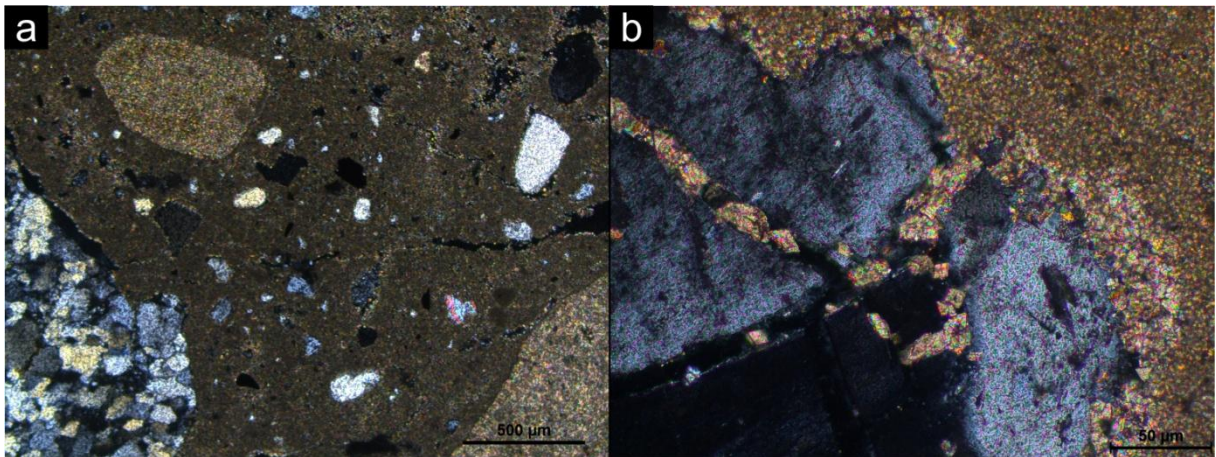


Figura 3.6 – Calcretes. a) arcabouço pobremente selecionado, com grãos siliciclásticos e nódulos (?) de carbonato. Fotomicrografia da lâmina CP com polarizadores cruzados; b) detalhe dos cristais romboédricos mais grossos da matriz, encontrados nas bordas dos grãos do arcabouço, por vezes, crescendo em fraturas. Fotomicrografia da lâmina CP com polarizadores cruzados.

Em afloramento os calcretes foram descritos com texturas que variam de nodular e laminar a maciço. Os componentes terrígenos são compostos por grãos de granulação lama a cascalho. O calcrete maciço, se comparado aos demais, reage pouco ao HCl 10% sendo constituído por dolomita e calcita (255/18-02). Ocasionalmente fragmentos de calcrete maciço retrabalhados constituem parte dos clastos do arcabouço.

A seção BT exhibe calcrete de feição nodular na porção inferior (Fig. 3.7a) e laminar nas camadas mais arenosas (Fig. 3.7b). Na seção CP predomina a feição maciça do calcrete, formando uma camada de aproximadamente 3 m com contato inferior irregular, levemente ondulado (Fig. 3.7c). Acima dessa camada são encontrados apenas calcretes nodulares. Na porção inferior da seção SP são

encontrados 'domos' de calcrete maciço, além de pequenos bolsões deles entre as fácies Fm e Gh ou na fácies St, deformando as laminações (Fig. 3.7d).

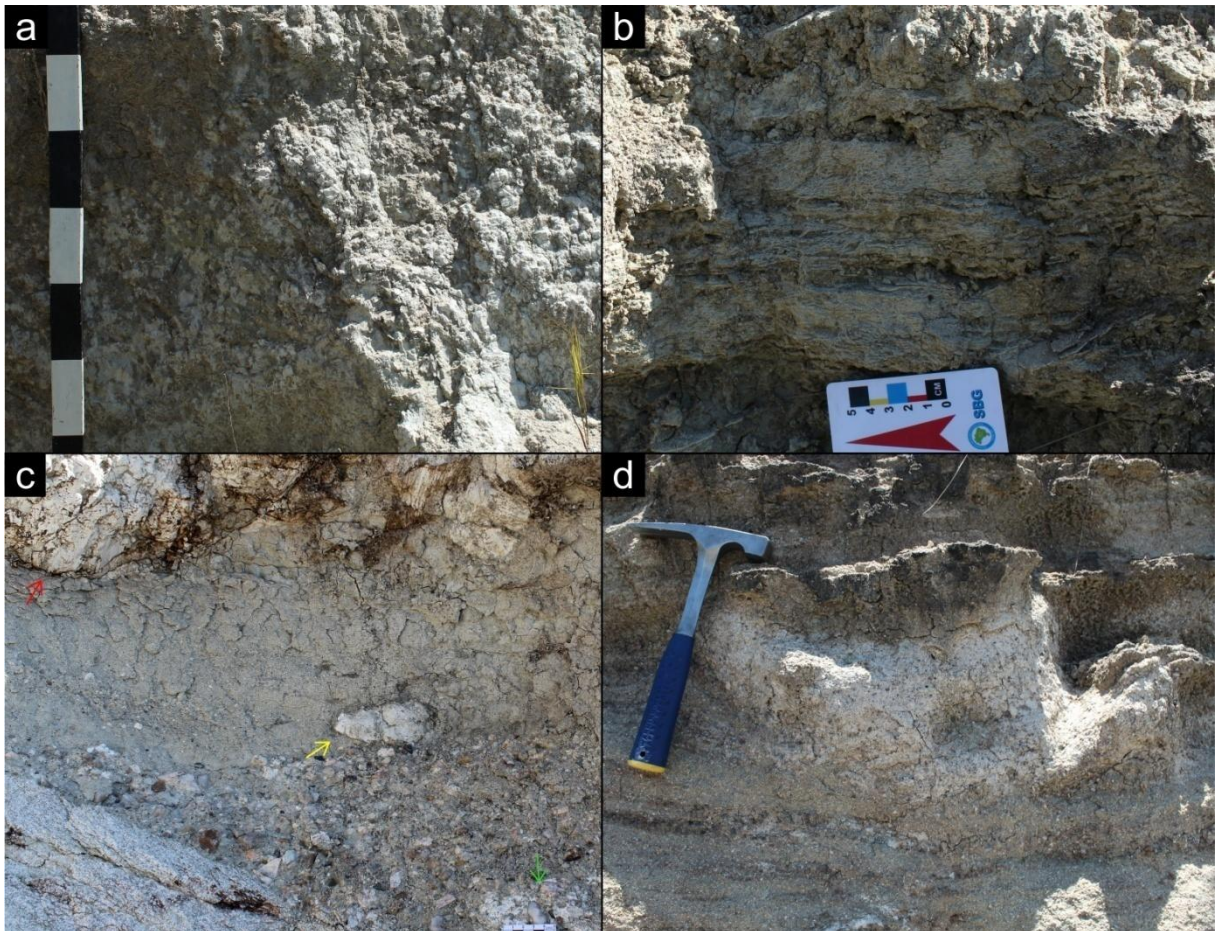


Figura 3.7 – Texturas dos calcretes em campo: a) calcrete nodular encontrado no canto inferior esquerdo da seção BT, na fácies Fm. Escala 10 cm por segmento de barra; b) calcrete laminar ressaltando a porção mais grossa da camada, fácies Sl da seção BT; c) contato abrupto ondulado da camada de calcrete maciço com areia da fácies Sm (seta vermelha), nódulos de calcrete na fácies Sm (seta amarela) e Gh (seta verde) na base da seção CP; d) bolsão de calcrete na fácies St que deforma levemente as lentes de argilas (fácies Fm) que evidenciam a laminação, porção leste da seção SP.

3.1.5 Registros paleontológicos

Durante as visitas ao afloramento, especialmente nas realizadas em conjunto com pesquisadores do Museu de Ciências Naturais da UFPR, foram encontrados e coletados fósseis da *fauna Guabirotuba* (depositados no museu) e reconhecidas estruturas biogênicas como galerias (icnofósseis) e rizocreções.

Os fósseis ocorrem principalmente fragmentados com evidências de abrasão e retrabalhamento. Algumas peças mais completas, menos desarticuladas, são encontradas nas fácies mais finas (Fig. 3.8a), enquanto peças maiores são

encontradas em depósitos mais grossos (Fig. 3.8b). Aparentemente os fósseis ocorrem dispersos em todas as fácies, sem níveis ou intervalos preferenciais.

As rizocreções ocorrem nas fácies Fm, em tamanhos que variam de aproximadamente 5 a 30 cm de comprimento (Fig. 3.8c). A análise microscópica não revelou vestígios ou estruturas de preenchimento, variações granulométricas, de grau de compactação, cimentação diferencial ou restos orgânicos, apenas preenchimento da porção interna por sedimentos finos e cimentação por carbonato de textura micrita a espático.

Os icnofósseis foram reconhecidos principalmente na forma de galeria, melhor preservados nas fácies arenosas (Fig. 3.8d), com ou sem preenchimento, e eventualmente em fácies mais finas.

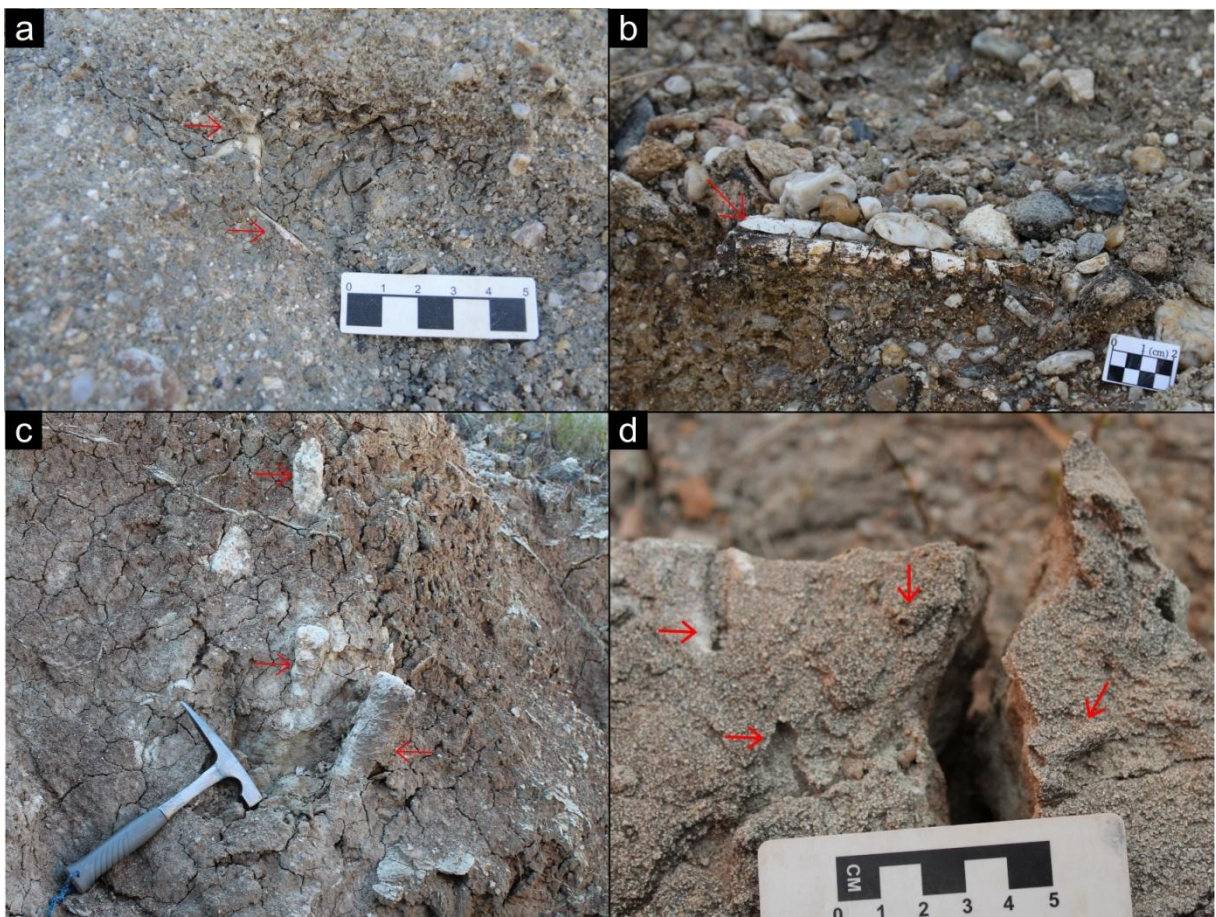


Figura 3.8 – Registros paleontológicos. a) osso de cintura pélvica e fragmento de carapaça de quelônio em uma lente argilosa em meio à camada da fácies St da seção SP. Foto: Fernando A. Sedor; b) fragmento de osso longo (epífise) em meio a cascalhos da fácies Gmm, seção SP; c) rizocreções verticais em camada de lama da fácies Fm com vênulas de carbonato, seção SP; d) galerias sem preenchimento em camada arenosa de calcrete laminar da seção BT.

3.2 SEÇÕES GEOLÓGICAS

A partir da identificação (traçado) e hierarquização das superfícies limitantes (*bounding surfaces*) sobre os fotomosaicos das seções, foram identificados os elementos arquitetônicos e as fácies associadas a eles (Quadro 3.2).

As camadas espessas de lama com clastos dispersos foram identificadas como sedimentos de fluxo de gravidade (SG), assim como as camadas mais delgadas associadas a lençóis de areia (LS) foram identificadas como sedimentos de transbordamento (FF). Para as barras (SB) não foram distintas as formadas por migração lateral das formadas por migração a jusante, por falta de condições de obter informações sobre rumo/direção das calhas de antigos canais.

Quadro 3.2 – Elementos arquitetônicos descritos para o afloramento, de acordo com a classificação de Miall (1985; 2006).

elemento	código	fácies	forma e relações
canal	CH	qualquer combinação	cunha, lente ou camada alongada; base erosiva com concavidade para cima; dimensões e formas variadas; superfície interna de 3ª ordem (concavidade para cima) é comum
barra cascalhosa	GB	Gm, Gh	lente, manta, usualmente camada tabular; comumente intercalada com SB
barra arenosa	SB	St, Sp	lentes, lençol, manta, cunha; ocorrem como preenchimento de canais, depósitos de rompimento de dique marginal e barras menores
sedimento de fluxo de gravidade	SG	Sm, Fm	lobo, lençol; tipicamente intercalado com GB
lençol de areia laminado	LS	Sl, menos comum Sp	lençol (<i>sheet, blanket</i>)
sedimento de transbordamento	FF	Fm, Fl	camada tabular delgada a espessa; comumente intercalada a SB; pode preencher canais abandonados

3.2.1 Seção Boitató (BT)

A seção BT é constituída por intercalações de camadas tabulares das fácies Fm (FF e/ou SG) e Sl (LS). Sua base é composta por lamas com desenvolvimento de calcrete maciço a nodular. Para o topo passam a ocorrer intercalações com camadas tabulares de areia predominantemente fina a média da fácies Sl, que passam gradualmente para fácies de lama arenosa maciça. As areias são salientadas no afloramento pelo desenvolvimento de calcrete laminar, que, por vezes, oblitera as estruturas internas.

As camadas tabulares de areia, com contato inferior abrupto erosivo, possuem ambos os limites, inferior e superior, ondulados, como a camada superior do perfil BT2 (Fig. 3.9), a qual apresenta ondulação de perfil aparentemente simétrico, com comprimento de onda de 40 cm, amplitude de 2 cm e eixo de crista de direção N350.



Figura 3.9 – Camada tabular com laminação ondulada, de areia fina a média (fácies SI) sobre lama arenosa maciça (Fm). Local: porção superior do perfil BT2.

A seção apresenta na sua porção intermediária uma continuidade lateral que possibilitou a divisão em parte inferior e superior, as quais apresentam diferentes rumos de paleocorrentes, na parte inferior para sudoeste e na parte superior para nordeste, ambas com mergulhos variando de 5 a 20°.

Além das diversas atitudes de vênulas de carbonato de cálcio, que ocorrem principalmente no perfil BT2 (Fig. 3.10a), foram encontrados muitos planos associados com deposição de carbonato remobilizado, que seccionam obliquamente as camadas de calcrete laminar e apresentam mergulhos de cerca de 50° (Fig. 3.10b). Esses planos apresentam limites difusos, com espessura em média de 5 cm, pouco penetrativos e concentrados principalmente na parte esquerda da seção. Já na parte central do afloramento foi identificado um plano bem definido de atitude 050/45 e com carbonato exibindo estrias *down dip*.

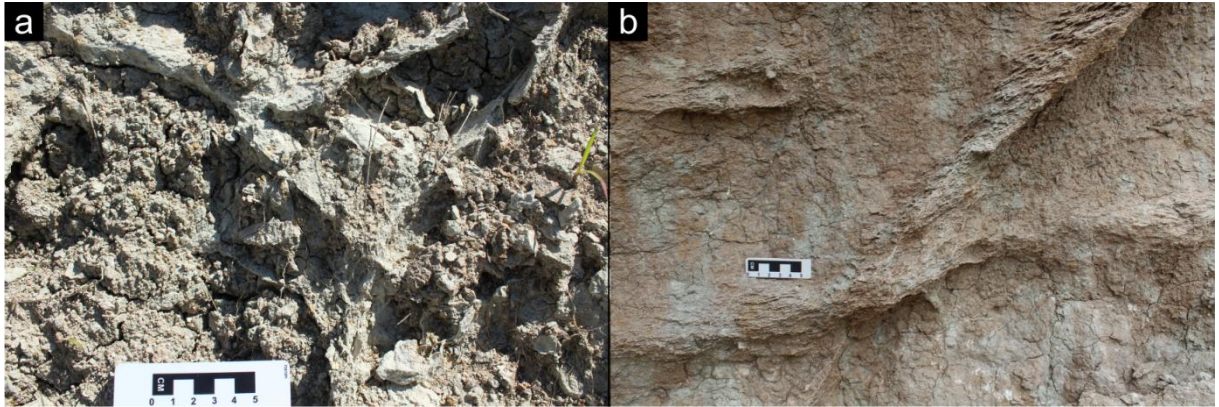
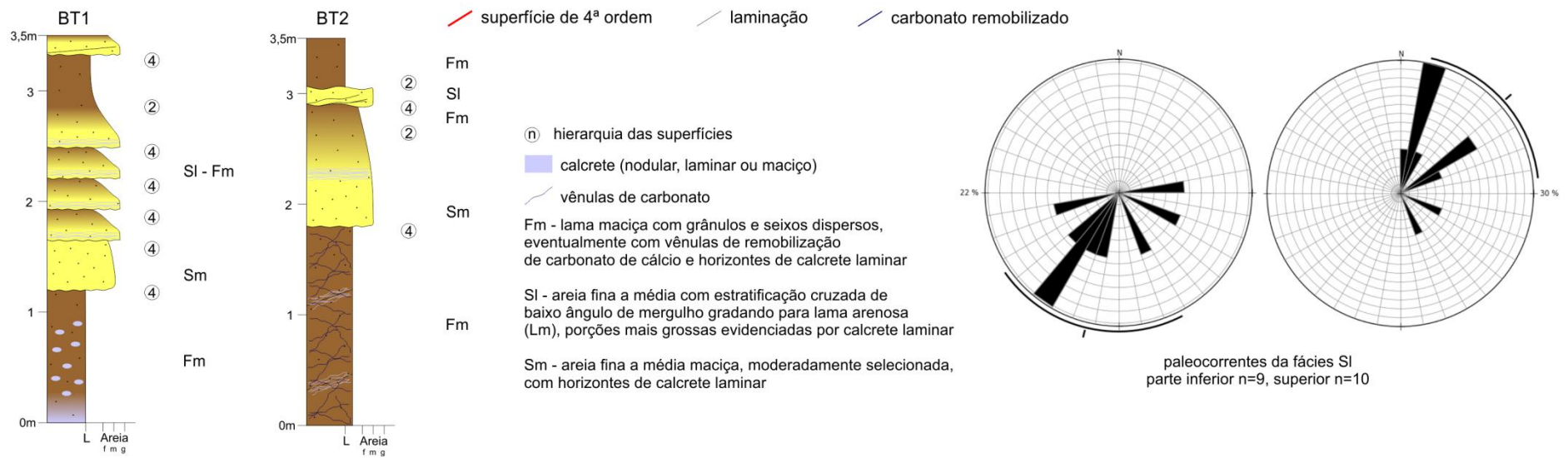
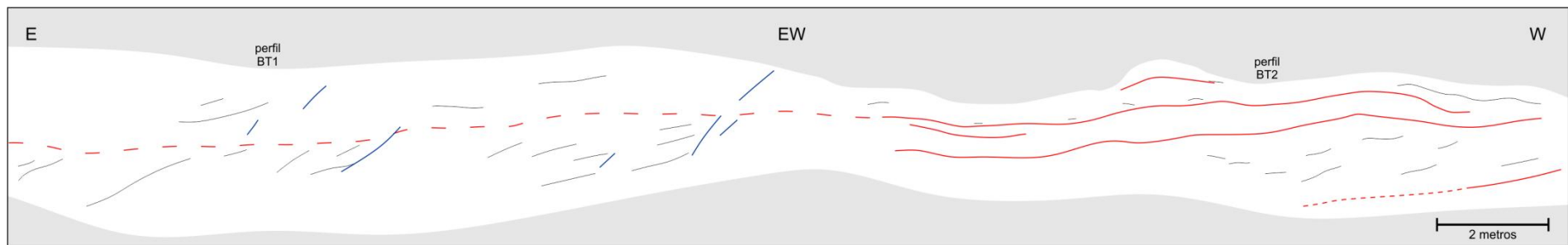
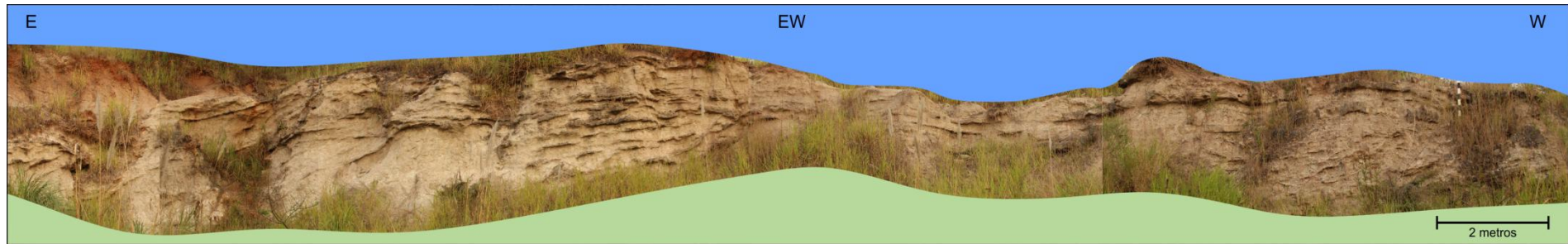


Figura 3.10 – Carbonatos remobilizados associados a fraturas: a) vênulas de carbonato de cálcio na fácies Fm, porção inferior do perfil BT2; b) plano de atitude 100/50, com carbonato seccionando camada de calcrete laminar na porção intermediária do perfil BT1.



Seção BT – Seção obtida com fotomosaico com principais estruturas, perfis e rosetas com rumos de paleocorrentes.

3.2.2 Seção Curupira (CP)

A seção CP apresenta predomínio da fácies Fm (FF e/ou SG), com camadas lenticulares, não mais de 1 m de espessura, preenchidas por sedimentos das fácies Sp e FI (CH/SB).

Na base da seção aflora o embasamento, constituído por xistos dobrados com foliação 15/30, com superfície de erosão ondulada, onde jazem, em não conformidade, cascalhos da fácies Gh sobrepostos por areias (Sm) e com contato ondulado sobre essas, a base da camada de calcrete maciço com grãos de areia e cascalhos dispersos (Fig. 3.11).



Figura 3.11 – Embasamento de xisto, canto inferior esquerdo, lente de cascalhos (Gh) com contato abrupto com areias (Sm) e calcrete maciço ao topo. Local: base do perfil CP1.

A camada de calcrete tem a base ondulada, com a superfície lisa, e de aspecto polido, e por vezes, com estrias. Internamente são encontradas porções não impregnadas por carbonato de areia média a grossa com grânulos, as quais são delimitadas por superfícies com argilas castanhas em contato abrupto e estriado com o calcrete (Fig. 3.12). Foi encontrada fratura preenchida por cristais euédricos de até 2 mm de calcita, com direção 200/25.



Figura 3.12 – Camada de areia maciça em meio ao calcarete maciço. A porção de Sm não reage ao HCl 10%, e tem seus limites marcados por argilas maciças em contato abrupto (tectônico?) com o calcarete (setas vermelhas). Local: porção inferior do perfil CP1.

As areias ocorrem como intercalações em meio às lamas arenosas com a fácies Sp passando gradualmente para a fácies FI, ou como Sm com grânulos e seixos com orientação incipiente. As camadas possuem formato lenticular com espessura de até 1 m e largura de não mais de 4 m. A base tende a ser plana a convexa para cima, com contato inferior erosivo e superior gradual a abrupto com a fácies Fm (Fig. 3.14a). Já as lamas maciças, fácies de maior volume na seção, são encontradas em camadas contínuas, eventualmente com pequenas intercalações de FI (Fig. 3.14b). Frações de areia de fina a grossa e cascalhos de grânulos a seixos, dispersos, além de nódulos de calcarete, são comuns na fácies Fm, nesta seção.

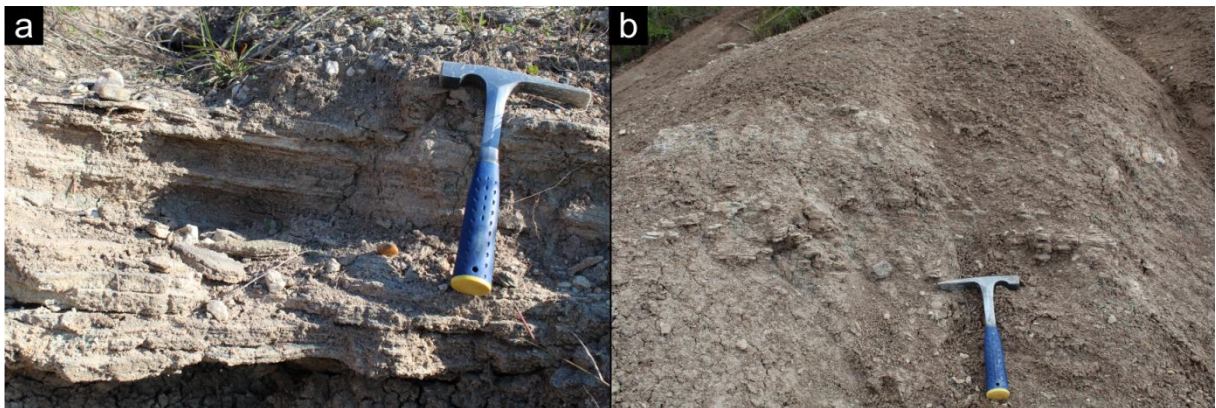


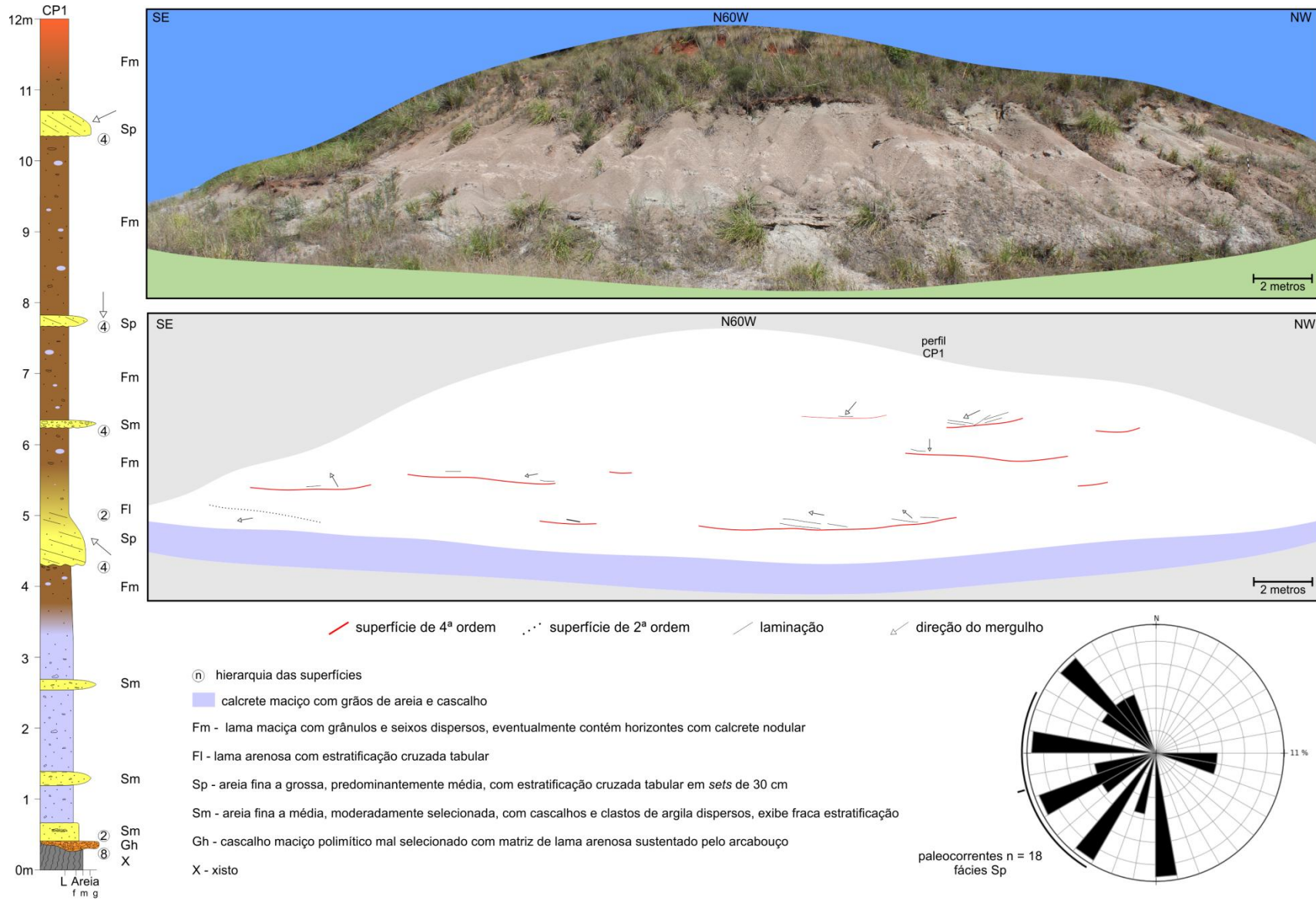
Figura 3.13 – Fácies predominantes na seção SP. a) Areia com estratificação cruzada tabular em discordância erosiva com Fm, porção média do perfil CP1; b) camada contínua de Fm com ocorrências de lentes de FI na porção superior da seção CP.

O rumo preferencial obtido para as paleocorrentes, obtido de atitudes de mergulho de estratificações cruzadas das lentes da fácies Sp, indicam transporte predominante para oeste, com mergulhos variando de 5 a 25°.

Próximos à transição das argilas esverdeadas para avermelhadas, que acontece na parte superior da seção, são encontrados cristais lamelares róseos (Fig. 3.15), descritos como lantanita, um carbonato de lantânio e neodímio. A identificação do mineral foi comprovada por análise de fluorescência de raios X pelo professor Daniel Atencio, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Os cristais, de até 3 cm, são encontrados com hábitos placoide, em forma de roseta ou anédricos formando crostas, sempre próximo a superfície, por vezes incrustando porções de sedimento.



Figura 3.14 – Cristais de lantanita encontrados na porção superior da seção CP.



Seção CP – Seção obtida com fotomosaico com principais estruturas, perfis e rosetas de rumos de paleocorrentes.

3.2.3 Seção Saci Pererê (SP)

Na seção SP predominam depósitos arenosos da fácies St, além de Gm (SB e GB) em camadas acanaladas, com eventuais cascalhos na base (Gh) marcando níveis de erosão sobre espessos depósitos de lamas maciças (FF ou SG). Para o topo ocorrem, intercaladas na fácies Fm (FF), camadas mais delgadas com passagem gradual da fácies Sp para FI e Fm (CH).

Na parte inferior da seção encontram-se porções de afloramento do embasamento e sobre eles uma camada de calcrete maciço (perfil SP3) que lateralmente passa para uma camada espessa de aproximadamente 3 m de lamas com rizocrecções, nódulos de calcrete e vênulas de carbonato.

Sobre as lamas maciças (Fm) da base da seção, que por vezes contém blocos dispersos e porções arenosas, são encontradas camadas de base acanalada com pequenas lentes de cascalhos (Gh), sobrepostos a cascalhos sustentados por matriz, com incipiente estratificação cruzada, evidenciada pela orientação de clastos alongados. Passam, rumo ao topo, para areia com cascalhos (fácies St), que diminui gradualmente a quantidade de cascalho e dá lugar a lâminas mais finas com lama (Fig. 3.17). Os depósitos de barras são sucedidos por intercalações de depósitos de lamas (FF) e lençóis delgados de areia, fácies Sp (LS).



Figura 3.15 – Detalhe da seção SP3, porção inferior de lama maciça (SG) com topo em contato erosivo com cascalhos, fácies Gh/Gm (GB), com passagem gradual para areias da fácies St (SB). Escala: 1 m, local: porção média do perfil SP3.

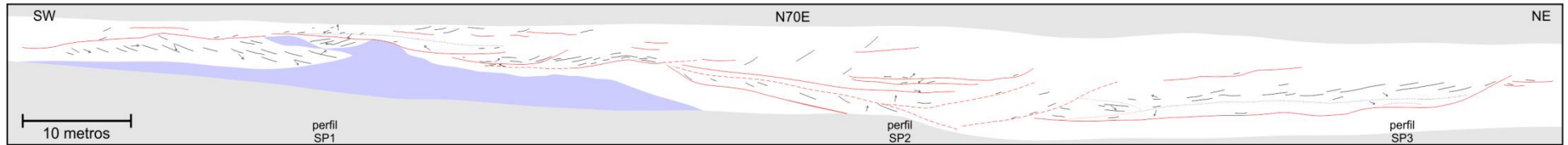
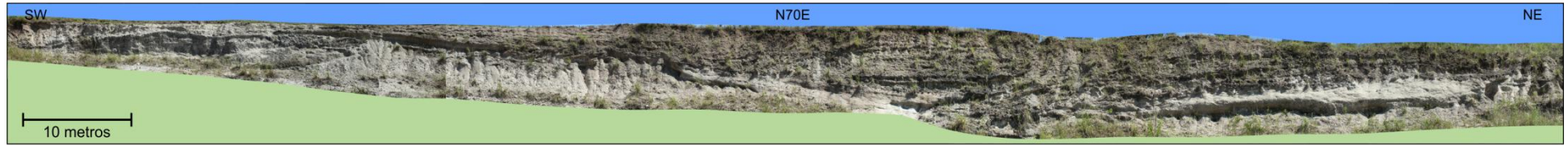
As barras arenosas e cascalhosas têm rumo de mergulho das estratificações preferencialmente para SE-SW, enquanto que as lentes de areia com estratificação cruzada tabular exibem predomínio de paleocorrentes para NW.

Foram identificadas fraturas com preenchimento de carbonato de cálcio, de espessuras milimétricas a centimétricas, possivelmente remobilizado dos horizontes de calcretes. Esses planos eventualmente são contínuos ou paralelos a fraturas no embasamento. Possuem atitude média 220/35, por vezes com mergulho subvertical.

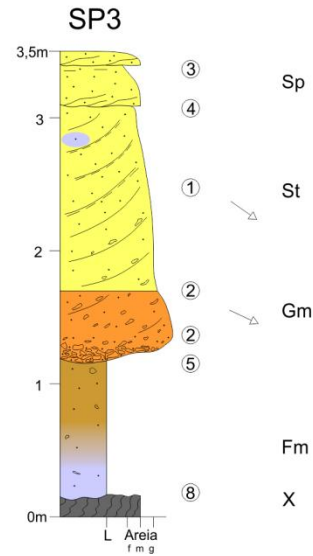
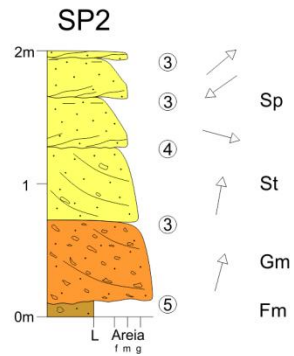
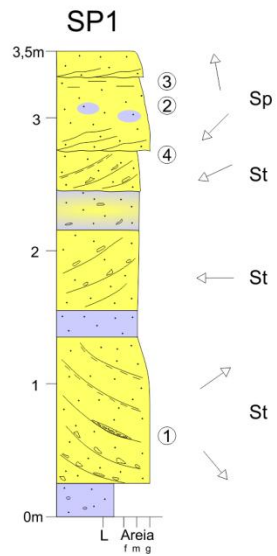
Os calcretes ocorrem: em camadas maciças; como nódulos centimétricos, por vezes deformando laminações da fácies St; ou no contato entre as fácies Fm e Gh, cimentando ambas. Na porção oeste (perfil SP1) o calcrete maciço deforma fracamente as camadas superiores e, lateralmente, apresenta formato em cunha entre sets de estratificações com caimentos diferentes (Fig. 3.18).



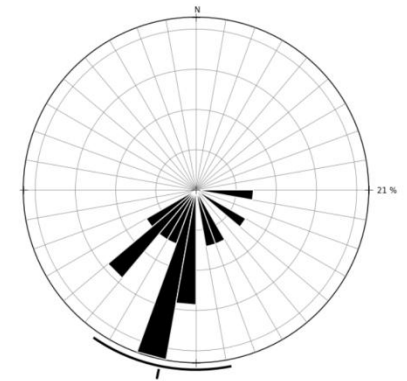
Figura 3.16 – Calcrete maciço (preenchido em azul) com forma em cunha desenvolvido no limite entres sets. Local: porção esquerda da seção Saci Pererê.



—— superfície de 5ª ordem
 -.- superfície de 4ª ordem
 -.-.- superfície de 2ª ordem
 / laminação
 / carbonato remobilizado
 ↗ direção do mergulho



(n) hierarquia das superfícies
 calcrete maciço com grãos de areia e cascalho
 Fm - lama maciça com grânulos e blocos dispersos
 Sp - areia fina a média com estratificação cruzada tabular gradando para lama arenosa (Lm), exibe nódulos de calcrete deformando as estruturas
 St - areia média a grossa, mal selecionada, com estratificação cruzada acanalada evidenciada pela orientação de grânulos e seixos na base e lentes de lama maciça para o topo
 Gh - cascalho polimítico mal selecionado com matriz de lama arenosa, clastos sustentado pelo arcabouço com fraco acamamento horizontal
 Gm - cascalho polimítico mal selecionado sustentado pela matriz com fraca estratificação cruzada evidenciada pela orientação dos clastos alongados
 X - xisto



paleocorrentes n = 14
fácies St, perfil SP3

Seção SP – Seção obtida com fotomosaico com principais estruturas, perfis e rosetas de rumos de paleocorrentes de barra arenosa.

4 DISCUSSÃO

Contexto deposicional

As fácies e elementos arquitetônicos identificados foram inicialmente comparados às associações definidas por Lima (2010) para a Formação Guabirota (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 – Correlação das seções com associações de fácies definidas por Lima (2010).

seção	elementos arquitetônicos	fácies	contexto no ambiente	porções do sistema fluvial distributário	associação de fácies
SP	GB, SB	Gh, Gm, St, Sp, Fm	canal	proximal	E
	LS+FF, SG	Fm			
BT	LS+FF, SG	Sl, Fm	planície de inundação	distal	D
CP	CH, LS+FF, SG	Sp, Fl, Sm, Fm			

O autor atribuiu a origem da unidade a depósitos de sistemas fluviais distributários, que são caracterizados pela distribuição radial de canais e depósitos associados, gerados a partir do momento que um rio confinado a um vale adentra uma bacia sedimentar (Fig. 4.1). O termo distributário refere-se ao padrão formado pelos ramos que fluem para longe do canal principal e não se reencontram, assim como a tendência a avulsão do canal principal pela planície de inundação (Davidson *et al.*, 2013). Tais sistemas são registrados, nos dias atuais, em bacias endorréicas e exorréicas, e em todos ambientes tectônicos e climáticos. A principal diferença para os tributários é o padrão radial de dispersão dos canais, a diminuição do canal e do tamanho dos sedimentos a montante, assim como a ausência de confinamento lateral dos canais em vales (Weissmann *et al.*, 2010).

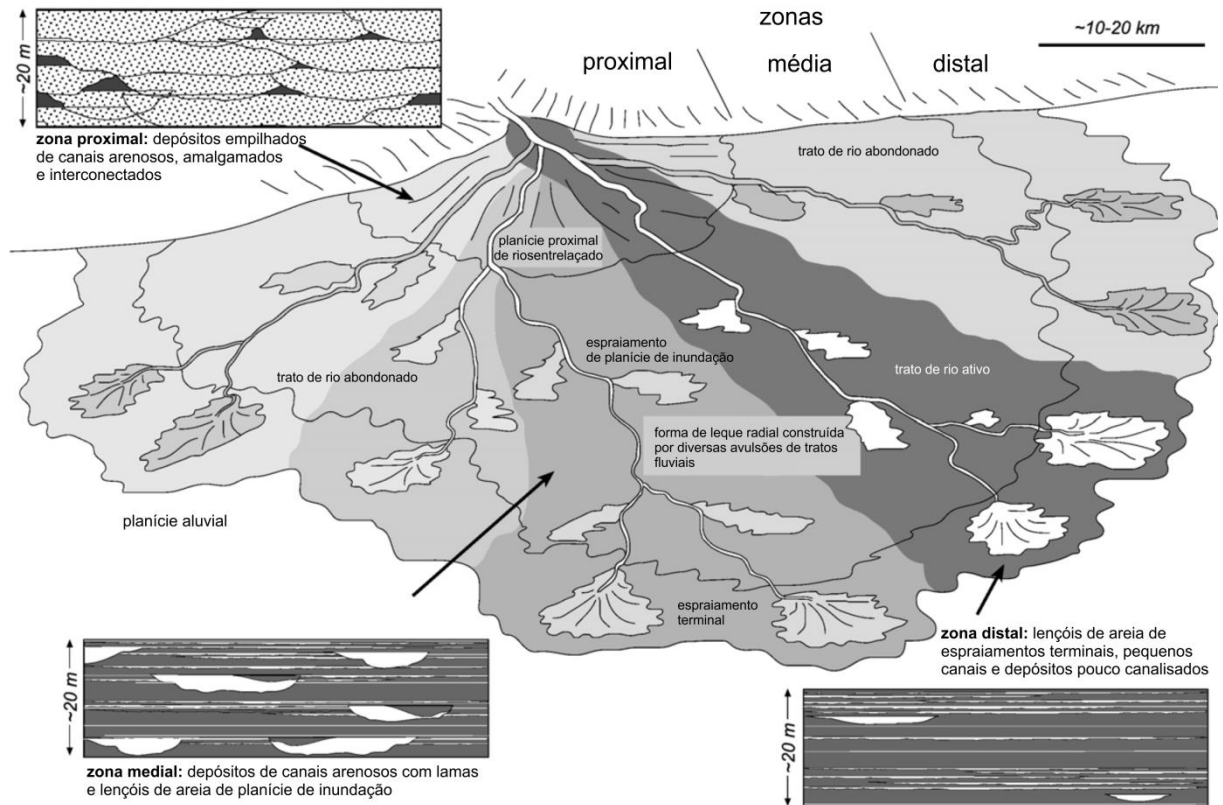


Figura 4.1 – Elementos arquitetônicos e variações dos depósitos de canal e planície de inundação em um sistema fluvial distribuído. Traduzido de Nichols & Fisher (2007).

A porção intermediária do segmento SP (Fig. 4.2a), representada pelos depósitos de canal (CH), muito se assemelha às feições encontradas nas zonas proximais do sistema fluvial distribuído, descrita por Nichols & Fisher (2007), como caracterizada por barras com preenchimento de fácies arenosas (SB) ou cascalhosas (GB) com clastos imbricados e estratificações cruzadas, indicando depósitos de rios entrelaçados. Os autores também descrevem a preservação de depósitos de canais amalgamados, indicando alta mobilidade, migração lateral e ausência de depósitos de planície aluvionar (*overbank*) devido ao retrabalhamento pelas repetidas avulsões.

As seções BT e CP (Fig. 4.2b e c) correspondem a espessos depósitos de lammas maciças (SG), intercaladas com pequenas lentes ou lençóis de areia (LS), características similares as descritas por Fisher *et al.* (2007), para porções mais distais do sistema distribuído, onde predominam camadas espessas e contínuas de lammas maciças depositadas por fluxos subaéreos desconfinados, de baixa energia. Junto a essas lammas são encontrados delgados depósitos de preenchimento de canais, lentes e lençóis de areia formados principalmente por espraimento lateral e

terminal de canais, que por vezes podem estar interdigitados (*interfinger*) com depósitos de lagos rasos e efêmeros.

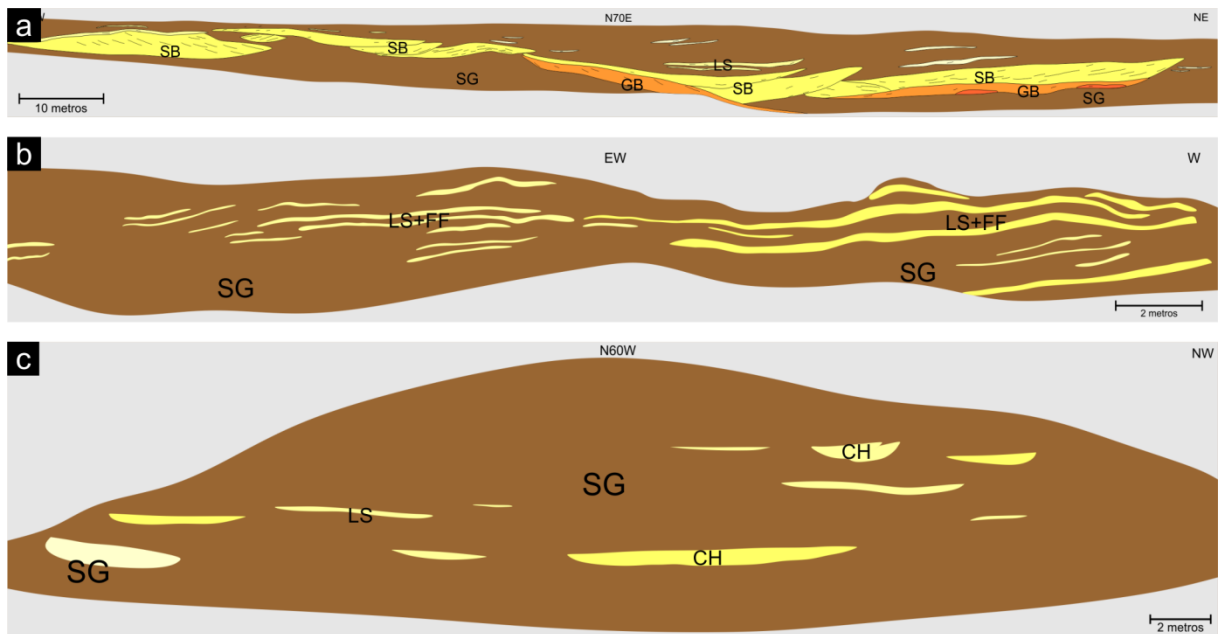


Figura 4.2 – Modelos esquemáticos com os elementos arquitetônicos observados, nas seções: a) SP, b) BT, e c) CP.

As camadas tabulares de areia (LS) da seção BT, com seus limites superiores exibindo ondulações simétricas, são similares ao descrito por Fisher *et al.* (2007), para os depósitos distais do sistema fluvial distributário da bacia de Ebro, Espanha, as quais são interpretadas como depositados por fluxos desacelerantes (*decelerating flow*), desembocado em um lago raso e posteriormente retrabalhado por ação de ondas. Tal feição também poderia ser interpretada como acomodações atectônicas posteriores a deposição, de sobrecarga ou por pequenos movimentos gravitacionais, ou até respostas a esforços compressivos direção EW (Salamuni *et al.*, 2003), que formam estruturas de orientação NS, condizente com o eixo das ondulações.

Integrando as feições encontradas nas seções e suas possíveis correlações dentro de um sistema fluvial distributário é provável que, assim como descrito por Lima (2010), nessa porção da bacia o preenchimento se deu por depósitos distais de proveniência da borda leste (associação D) e proximais provenientes do oeste (associação E), que se intercalaram, resultando na ocorrência, neste local de estudo de depósitos de fácies de barras fluviais com sedimentos grossos preenchendo

canais, e de extensas camadas de sedimentos essencialmente pelíticos depositados por fluxos desconfinados.

Além dos clastos de quartzo - de diversas cores e texturas, e feldspatos, os cascalhos apresentam grande variedade de litoclastos predominantemente metamórficos: filito, xisto, quartzito e granitoide deformado. Essa composição é condizente com a área fonte da porção oeste da bacia, fornecedora de sedimentos provenientes da alteração do embasamento exposto nas bordas da bacia, de rochas do Complexo Atuba, e do Grupo Açungui, como apontado por estudo de proveniência de Machado (2009).

Composicional e texturalmente predominam sedimentos imaturos, com grãos de material instável (feldspatos, fragmentos líticos), mal selecionados, de baixa esfericidade e arredondamento. Essas características podem resultar da rápida deposição e/ou pouco transporte, uma vez que a tectônica teve papel importante na criação de espaço de acomodação, provavelmente em um curto período. Além disto, como sistemas fluviais distributários têm padrão agradacional predominante, os depósitos formados tendem a ser pouco retrabalhados, contribuindo para a preservação dos minerais e fragmentos líticos instáveis.

Também podem ser fatores que contribuíram para tal imaturidade a geração, transporte e deposição de sedimentos em ambiente com intemperismo químico brando evidenciado pela presença de matriz e argilas expansivas (esmectita) e desenvolvimento de calcretes. Atualmente, nas porções mais expostas dos sedimentos, os grãos de material instável estão sendo alterados, como indica a presença de cristais tabulares esbranquiçados, e os argilominerais, neoformados, transformados em caulinita.

Processos atuais de intemperismo e pedogênese sobre os sedimentos expostos seriam responsáveis, assim como descrito por Bigarella & Salamuni (1962), pela cor das argilas em tons avermelhados no topo do afloramento, condizente com as análises químicas que mostram a passagem de esmectita para caulinita, concentração de sílica e lixiviação dos elementos maiores nas argilas avermelhadas. Assim como a ocorrência de illita que pode ser explicada pelo intemperismo dos feldspatos. Em campo, muitas vezes grãos angulosos de feldspato mantêm seu hábito, mas se apresentam transformados em argila. Essas

porções superiores avermelhadas têm descrição semelhante aos depósitos da Formação Tinguis de Becker (1982), que para a autora seriam depósitos de retrabalhamento da Fm. Guabirota. Pela ausência de limites erosivos e o fato de que a passagem das argilas esverdeadas para avermelhadas é gradual, excluiu-se a possibilidade de tal correlação, como discutiu Lima (2010), adotando-se a interpretação de origem por intemperismo das argilas avermelhadas superiores.

Paleocorrentes

O estudo de rumos de paleocorrentes para os depósitos de barras da seção SP, as areias Sp da seção CP e a parte inferior da seção BT, apontam fluxo preferencial para sul. Entretanto, as lentes de Sp da seção SP e a parte superior da seção BT têm rumo preferencial para nordeste. Tais resultados concordam, em parte, com os obtidos por Lima (2010), que apontou sentido de transporte para norte-nordeste para as duas associações que discriminou no afloramento, associações D e E, respectivamente. Isso pode ser explicado pela possível diferença na porção de afloramento amostrada, como também pela dispersão característica de depósitos de fluxos fluviais de alta carga sedimentar, ou resultado da interação de eventos deposicionais de posições proximais e distais. Outra justificativa para tal discordância parcial de rumos de transporte pode estar relacionada com o grau de acuidade da análise, posto que o estudo de Lima (2010) é de escala regional. Mesmo assim indicam, como descrito pelo autor e aqui confirmado, sobreposição de depósitos de diferentes partes de sistemas fluviais distributários provenientes das bordas oeste e leste da bacia.

Calcretes

A cimentação carbonática (calcrete), na forma de horizontes e crostas duras, de várias texturas, foi processo comum. Sua gênese é associada à acumulação de carbonatos próxima à superfície, por influência de processos de desenvolvimento de solo (calcrete pedogenético) ou associado às variações e saturação do nível freático (calcrete freático, Fig. 4.3a). Ambas as formas de desenvolvimento dos calcretes podem desenvolver perfis similares, que apresentam texturas nodular, laminar e maciço/crosta dura (Alonso-Zarza & Wright, 2010; Fig. 4.3b).

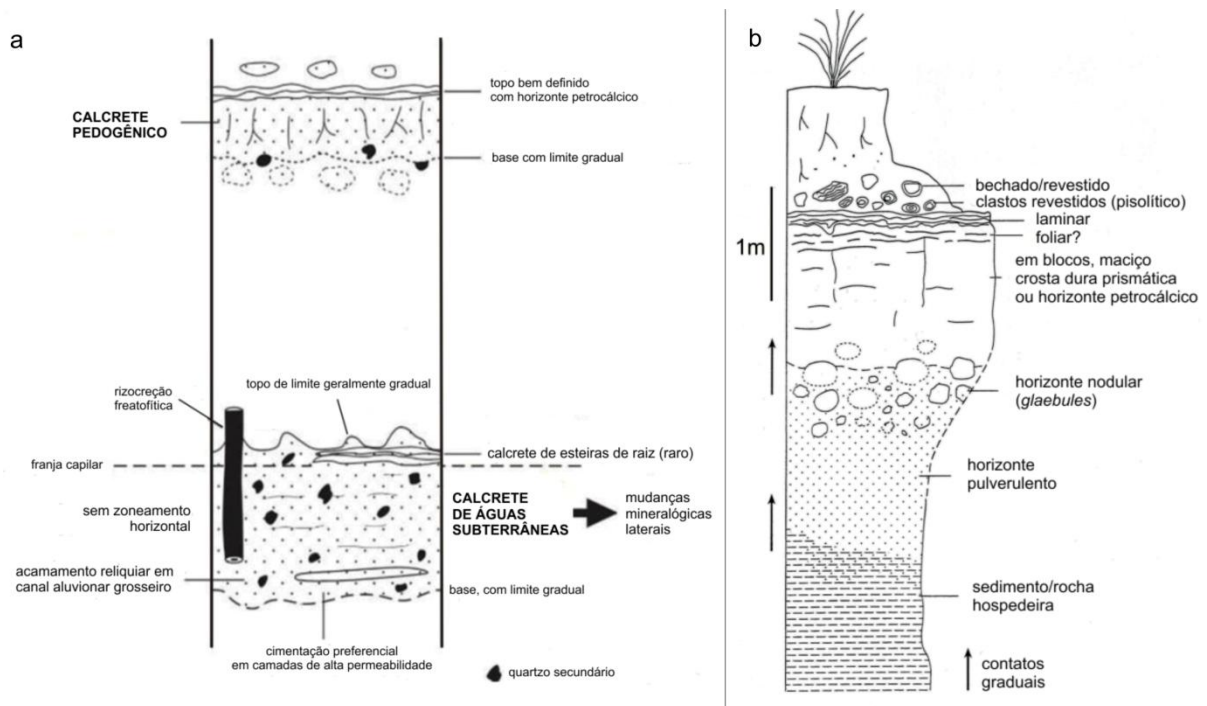


Figura 4.3 – Calcretes. a) características gerais e localização esquemática dos níveis de calcrete pedogenético e freático; b) perfil ideal exibindo as principais macroformas de calcretes. Traduzido de Wright (2007).

No afloramento estudado, os intervalos nodulares e laminares estão associados às fácies finas com predomínio de lamas e algumas camadas de areias (seção BT e CP). Provavelmente formaram-se em partes mais calmas do ambiente, onde haveria condições adequadas para o desenvolvimento de vegetação, mesmo que temporariamente, com a formação de perfis imaturos de solo, e fixação do carbonato induzida por processos biológicos (produtos metabólicos, biofilmes e raízes). A ocorrência de rizocrecções e icnofósseis nessas fácies ratificam a hipótese da origem edáfica na formação desses intervalos de calcrete.

Calcretes de textura maciça são encontrados na forma de estratos espessos associados às fácies arenosas, com contatos superior e inferior abruptos, por vezes até deformando as camadas e/ou formando feições dômicas (seção SP e CP). Tais camadas são compostas por calcita e dolomita que microscopicamente apresenta textura micrítica sustentando componentes siliciclásticos, com cristais maiores de forma romboédrica envolvendo os grãos. Essas são características da microtextura do *tipo alfa* (Wright, 1990). Ambas as descrições, macro e microscópicas, condizem com as características descritas para calcretes de origem freática (*groundwater calcrete*) descritas por Alonso-Zarza & Wright (2010).

Considerando que as rochas do Grupo Açungui que incluem os mármore dolomíticos da Formação Capiru, são área fonte de sedimento e de íons, provavelmente forneceram Ca e Mg em solução nas águas superficiais e de subsuperfície que, em condições químicas adequadas (evaporação e saturação), precipitaram carbonatos de cálcio e magnésio devido a variações e pela própria migração do freático, formando assim as camadas de calcrete maciço freático. Essas camadas espessas são encontradas próximas ao topo do embasamento (CP e SP), que poderia ter atuado como barreira para circulação da água e contribuído para a concentração de íons e precipitação dos carbonatos nas camadas mais porosas e permeáveis dos sedimentos, em geral situadas logo acima do contato basal da unidade.

A partir da observação das formas, macro e microtexturas identificadas, constatou-se que os dois tipos de calcrete, pedogenético e freático, conforme proposto por Cunha (2011), podem ter-se desenvolvido em diferentes estágios, eventualmente se superimpondo. O calcrete maciço foi aqui considerado como de origem freática e as demais ocorrências, como de origem pedogenética.

Deformação

Nas três seções geológicas analisadas foram encontradas evidências de deformação rúptil, como planos de fratura, por vezes preenchidos por calcita remobilizada dos sedimentos. A atitude preferencial destes planos é N40-70W, com mergulhos entre 25 e 45° para nordeste. Tais estruturas possuem atitudes condizentes e podem estar associadas à deformação transpressiva descrita por Salamuni *et al.* (2003), e registrada nos sedimentos como falhas transcorrentes de direção NE e, secundariamente, transcorrentes e normais de direção NW.

As fraturas geraram espaços, ou ao menos planos preferenciais para passagem de fluidos que, possivelmente enriquecidos ao lixivarem porções com carbonato (calcretes), foram responsáveis pela remobilização de íons e formação de vênulas e camadas de carbonato que cortam as estruturas primárias encontradas nas seções.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- ◆ Os cortes analisados constituem exposição representativa e didática dos sedimentos da Formação Guabirota. Nas três seções descritas predominam depósitos de areias com estratificação cruzada, lamias maciças e subordinadamente cascalhos. Foram reconhecidas várias formas de depósitos (acanalados, lenticulares e tabulares), cujas associações, conforme já previamente interpretado para esta unidade, indicam a deposição em ambiente fluvial. Também podem ser observados no geossítio exposições do contato com o embasamento da bacia (superfície de não conformidade), fósseis da *Fauna Guabirota* e feições de cimentação eodiagenética (calcretes).
- ◆ Por meio da análise faciológica foram definidas oito fácies, as quais, integradas aos elementos arquitetônicos delimitados correspondem a associações de depósitos fluviais de sistemas distributários em porções proximal e distal. Os depósitos da porção proximal são constituídos por barras arenosas e cascalhosas preenchendo feições de canal, parcialmente sobrepostos lateralmente (amalgamados). Já os depósitos de porção distal são constituídos por estratos de lama de espessura métrica intercalados com lentes e lençóis de areia, associação correspondente a depósitos de fluxos desconfinados, na planície de inundação/espraiamentos. Essas associações, proximal e distal encontram-se sobrepostas e, assim como observado nas medidas de paleocorrente representam a sobreposição de depósitos de leques provenientes das bordas leste e oeste da bacia.
- ◆ A imaturidade dos sedimentos pode ser resultado de diversos fatores, tais como os climáticos, intemperismo químico brando com formação de argilas expansivas e preservação de parte dos feldspatos; assim como deposicionais, pouco transporte e rápida deposição, característicos de bacias do tipo rifte, pois indicam instabilidades tectônicas que criam espaço e proximidade de áreas-fonte soerguidas.
- ◆ Os calcretes descritos foram considerados como de origem pedogenética, para os horizontes nodulares a laminares; e freática para os estratos maciços ou crostas duras. Recomenda-se estudo mais aprofundado destes depósitos

para compreender melhor a formação e desenvolvimento dos carbonatos. Por exemplo: 1) para verificar se existiu preferência de fácies sedimentar para formação de horizontes maciços; 2) se apenas o crescimento/precipitação do carbonato seria o responsável pela deformação em escala de afloramento, encontrada na seção SP; 3) se a formação de carbonato com cálcio e magnésio (dolomita) está associada apenas a razão Ca/Mg na água ou teria alguma influência biológica; e 4) se as vênulas dispersas pelo afloramento são realmente remobilizações desses carbonatos associadas a deformações tectônicas pos-sedimentares.

- ◆ Algumas deformações, sobretudo da estratificação, encontradas nos depósitos sugere associação com a distribuição e/ou forma de ocorrência dos calcrites, não necessariamente tectônicas como as fraturas observadas, por vezes preenchidas por carbonato de cálcio remobilizado dos sedimentos. Entretanto, planos estriados encontrados com certa frequência nos contatos de estratos de calcrite maciço, assim como seu caráter abrupto e às vezes imbricado nos sedimentos, poderiam sugerir deformações por esforços relacionados à tectônica transpressiva reconhecida na evolução da bacia, após sedimentação e desenvolvimento dos calcrites.
- ◆ Um estudo mais detalhado da matriz/cimento das areias é necessário para caracterizar possíveis processos diagenéticos de recristalização da lama carbonática, de micrita para esparita, e a possível neoformação das argilas orientadas ao redor dos grãos, ambas as feições reconhecidas na descrição microscópica.

REFERÊNCIAS



- ALBERS A.P.F., MELCHIADES F.G., MACHADO R., BALDO J.B., BOSCHI A.O. 2002. Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. *Cerâmica*, 48(305):34-37.
- ALMEIDA F.F.M. 1976. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48(suplemento):15–26.
- ALONSO-ZARZA A.M., WRIGHT V.P. 2010. Calcretes. In: ALONSO-ZARZA A.M., TANNER L.H. (Eds.) *Developments in Sedimentology*, Elsevier, 61:225-267.
- AZEVEDO F.F. 1981. Thecamoebianas e organófitas na Formação Guabirotuba. In: 3º Simpósio Regional de Geologia. Curitiba, Atas, v. 2, p. 226-242.
- BECKER R.D. 1982. Distribuição dos sedimentos cenozóicos na Região Metropolitana de Curitiba e sua relação com a estrutura geológica e morfológica regional. Tese de Doutorado. Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 237p.
- BIGARELLA J.J., SALAMUNI R. 1958. Consideração sobre o paleoclima da bacia de Curitiba. *Boletim do Instituto de História Natural*, 1:1-10.
- BIGARELLA J.J., SALAMUNI R. 1959. Notas complementares à planta geológica da cidade de Curitiba e arredores. *Boletim do Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas*, 40:1-14.
- BIGARELLA J.J., SALAMUNI R. 1962. Caracteres texturais dos sedimentos da Bacia de Curitiba. *Boletim da Universidade Federal do Paraná*, 7:1-164.
- BIGARELLA J.J., SALAMUNI R., AB'SÁBER A.N. 1961. Origem e ambiente de deposição da Bacia de Curitiba. *Boletim Paranaense de Geografia*, 4/5:71-81.
- CARVALHO P.F. 1934. Geologia do município de Curitiba. *Boletim DNPM-SGM*, 82:1-21.
- COIMBRA A.M., RICCOMINI C. 1985. Considerações paleoambientais sobre as ocorrências de caliche nas bacias de Curitiba (PR), Taubaté (SP), Resende (RJ). *Anais da Academia brasileira de ciências*, 57:517-518.
- COIMBRA A.M., RICCOMINI C., SANT'ANNA L.G., VALARELLI J.V. 1996. Bacia de Curitiba: estratigrafia e correlações regionais. In: 39º Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, Anais, v. 1, p. 135-137.
- COUTINHO J.M.V. 1955. Lantanita de Curitiba, Paraná. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*. 13:119-126.
- CUNHA P.V.C. 2011. Gênese de calcretes da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba, Paraná. Dissertação de mestrado, Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, 74p.
- CUNHA R.F. 2016. Contexto Paleambiental e Tafonomia da Assembléia Fóssil da Formação Guabirotuba, Bacia De Curitiba, Paraná. Dissertação de mestrado, Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, 120p.

- DAVIDSON S.K., HARTLEY A.J., WEISSMANN G.S., NICHOLS G.J., SCUDERI L.A. 2013. Geomorphic elements on modern distributive fluvial systems. *Geomorphology*, 180-181:82-95.
- FERNANDES L.A., LIMA F.F., SEDOR F.A., VARGAS J.C., DIAS E.V. 2016. Geossítio Bacia Sedimentar de Curitiba: conservação de patrimônio geológico de excepcional relevância científica em área urbana. In: 48º Congresso Brasileiro de Geologia. Porto Alegre, Resumos.
- FISHER J.A., NICHOLS G.J., WALTHAM D.A. 2007 Unconfined flow deposits in distal sectors of fluvial distributary systems: Examples from the Miocene Luna and Huesca Systems, northern Spain. *Sedimentary Geology*, 195:55–73.
- GARCIA M.J., LIMA F.M., FERNANDES L.A., MELO M.S., DINO R., ANTONIOLI L., MENEZES J.B. 2013. Idade e palinologia da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba, PR, Brasil. In: XXIII Congresso Brasileiro de Paleontologia/I Simpósio de Paleontologia Brasil-Portugal. Gramado, Boletim de resumos, v. 1, p. 125-125.
- GOOGLE. 2018. Google Earth Pro, v. 7.3. Imagem: CNES/Airbus. Disponível em: <https://www.google.com.br/earth/>. Acesso em: novembro de 2018.
- LICCARDO A., WEINSCHÜTZ L.C. 2010. Registro inédito de fósseis de vertebrados na bacia sedimentar de Curitiba. *Revista Brasileira de Geociências*, 40:330-338.
- LIMA F.M. 2010. Faciologia e ambientes deposicionais da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba, PR. Dissertação de mestrado, Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, 103 p.
- LIMA F.M., FERNANDES L.A., MELO M.S., GÓES A.M., MACHADO D.A.M. 2013. Faciologia e contexto deposicional da Formação Guabirotuba, Bacia de Curitiba (PR). *Brazilian Journal of Geology*, 43(1):168-184.
- LIMA F.F., SEDOR F.A., FERNANDES L.A., VARGAS G.C., DIAS E.V., SILVA D.D. 2015. Guabirotuba geosite, Curitiba Basin, Brazil: exceptional geological heritage at risk in an urban área. In: VIII International ProGEO symposium. Reykjavík, Programme and abstracts, p. 86-87.
- MAACK R. 1947. Breves Notícias Sobre a Geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, 2:63-154.
- MACHADO D.A.M. 2009. Proveniência de sedimentos da Bacia de Curitiba por estudo de minerais pesados. Dissertação de mestrado, Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, 67p.
- MELO M.S., RICCOMINI C., HASUI Y., ALMEIDA F.F.M., COIMBRA A.M. 1985. Geologia e evolução do Sistema de Bacias Tafrogênicas Continentais do Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 15:193–201.
- MIALL A.D. 1977. A review of the braided-river depositional environment. *Earth-Science Reviews*, 13:1-62.
- MIALL A.D. 1985 Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Science Reviews*, 22:261-308.

- MIALL A.D. 2006. The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 4ed., 582p.
- NICHOLS G.J., FISHER J.A. 2007. Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits. *Sedimentary Geology*, 195:75-90.
- OLIVEIRA E.P. 1927. Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná. Serviço geológico e mineralógico do Brasil: Rio de Janeiro, 172p.
- OLIVEIRA A.I., LEONARDOS O.H. 1943. Geologia do Brasil. Serviço de informação agrícola/Ministério da agricultura: Rio de Janeiro, 813p.
- RICCOMINI C. 1989. O rift continental do sudeste do Brasil. Tese de doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo São Paulo, 256p.
- RICCOMINI C., SANT'ANNA L.G., FERRARI A.L. 2004. Evolução Geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: MANTESSO NETO V., BARTORELLI A., CARNEIRO C.D.R., NEVES B.B.B. (eds) Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Beca Editora, São Paulo, 383–405p.
- SALAMUNI E. 1998. Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR). Tese de Doutorado, Pós-graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, 214p.
- SALAMUNI E., EBERT H.D., HASUI, Y. 2004. Morfotectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(4):469-478.
- SALAMUNI E., SALAMUNI R., EBERT H.D. 1999. Contribuição à geologia da Bacia Sedimentar de Curitiba. *Boletim Paranaense de Geociências*, (47):123-142.
- SALAMUNI E., EBERT H.D., BORGES M.S., HASUI Y., COSTA J.B.S., SALAMUNI R. 2003. Tectonics and sedimentation in the Curitiba Basin, south of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 15:901–910.
- SEDDOR F.A., DIAS E.V., FERNANDES L.A., LIMA F.F., VARGAS J.C., SILVA D.D. 2017b. Geossítio Bacia sedimentar de Curitiba (Formação Guabirota): características, importância paleontológica e conservação. In: IV Simpósio brasileiro de patrimônio geológico & II Encontro luso-brasileiro de patrimônio geomorfológico e geoconservação. Ponta Grossa, Anais, p. 152-156.
- SEDDOR F.A., OLIVEIRA E.V., SILVA D.D., FERNANDES L.A., CUNHA R.F., RIBEIRO A.M., DIAS E.V. 2014. A new South American Paleogene fauna, Guabirota Formation (Curitiba, Paraná State, south of Brazil). In: IV International Palaeontological Congress. Mendoza, Abstract, p. 614.
- SEDDOR F.A., OLIVEIRA E.V., SILVA D.D., FERNANDES L.A., CUNHA R.F., RIBEIRO A.M., DIAS E.V. 2017a. A New South American Paleogene Land Mammal Fauna, Guabirota Formation (Southern Brazil). *Journal of Mammalian Evolution*, 24(1):39-55.
- SIGA JR O., BASEI M.A.S., REIS NETO J.M., MACHIAVELLI A., HARARA O.M. 1995. O Complexo Atuba: um cinturão Paleoproterozóico intensamente retrabalhado no Neoproterozóico. *Boletim IG-USP Série Científica*, 26: 69–98.

- SIEMIRADZKI J. 1898. Geologische reisebeobachtungen in Süd-brasilien. Aus der Kaiserlich-königlichen hof-und staatsdruckerei, 107(1): 23-40.
- WALKER R.G. 1992. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: WALKER R.G. & JAMES N.P. (Eds.), Facies models: response to sea level changes. Stittsville, Geol. Assoc. Can, p. 1-14.
- WEISSMANN G.S., HARTLEY A.J., NICHOLS G.J., SCUDERI L.A., OLSON M., BUEHLER H., BANTEAH R. 2010. Fluvial form in modern continental sedimentary basins: Distributive fluvial systems. *Geology*, 38(1):39-42.
- WRIGHT V.P. 1990. A micromorphological classification of fossil and recent calcic and petrocalcic microstructures. *Developments in soil science*, 19:401-407.
- WRIGHT V.P. 2007. Calcretes. In: NASH D.J., MCLAREN S.J. (Eds.) *Geochemical Sediments and Landscapes*. Blackwell Publishing Ltd, p. 10-45.
- ZALÁN P.V., OLIVEIRA J.A.B. 2005. Origem e evolução do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 13:269-300.

APÊNDICES

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – ID: TT		
<p>Características macroscópicas: Sedimentos pouco consolidados de cor esverdeada. Arcabouço de granulação predominantemente areia média, mal selecionado de areia fina a grossa com alguns grânulos. Composto por grãos de quartzo (incolor, opaco, castanho), feldspato e minerais pretos (pesados). Matriz argilosa (não reage a HCl 10%) textura maciça sustentado pelo arcabouço.</p>		
<p>Característica microscópicas: Arcabouço: 75% Matriz: 20% Cimento: - Porosidade: traço. Interpartícula não conectados Granulação: areia fina a média Seleção: moderadamente selecionado Esfericidade: baixa a alta Arredondamento: subarredondado-arredondado Arranjo: maciço. Pontualmente aparenta ter uma leve orientação dos grãos alongados e variação da granulação formando uma laminação incipiente Contatos: pontual a linear entre grãos, por vezes, com uma película de argila mais cristalina entre eles</p>		
Arcabouço	75%	Descrição
Quartzo	65	Grãos monocristalinos (45%) com extinção ondulante e policristalinos com contatos internos poligonais a interdigitados (20%). Esfericidade alta, subarredondados a arredondados, com granulometria de 0,15 a 1 mm.
Feldspatos	25	Grãos de feldspato alcalino sem macla ou com geminação em grade (10%) e plagioclásios com geminação polissintética - andesina (15%). Esfericidade baixa a alta, subarredondados, com granulometria de 0,3 a 0,75 mm.
Outros	5	Opacos (0,2mm), piroxênio com pleocroísmo verde claro (0,3mm), granada (0,3mm), zircão (0,1mm), litoclasto: muito alterado com ripas de sericitas sem orientação (0,5mm); ou com cristais de quartzo e plagioclásio deformados (0,7mm); ou com mica brancas orientadas (0,3mm).
Matriz	20%	Descrição
Argila	20	Argila de cor castanho pálido (turvos?). Ocorre recobrimdo os grãos (<i>coating</i> , 0,01mm) aparentemente orientadas paralelamente as borda dos grãos; e preenchendo poros, com textura maciça. Cor de interferência cinza na para a maciça e amarela (1 ordem) até azul (2 ordem) quando ao redor dos grãos e em ripas.
Maturidade textural: imaturo		
Maturidade composicional: submaturo		
Observações: Argilas aparentemente mais cristalinas revestindo os grãos seriam neoformadas?		
		
Amostra escolhida para confecção de lâmina.		Areia com matriz argilosa. Fotomicrografia com polarizadores descruzados.

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – ID: EW

Características macroscópicas: Sedimento acinzentado com arcabouço de quartzo (translúcido, opaco, castanho), feldspato, grãos de argila, minerais escuros (pesados), e grãos escuros e leves (matéria orgânico+lama). Granulação areia média a grânulo/seixo, muito mal selecionado, sustentado pelo arcabouço. Reage intensamente ao HCl 10% - cimento/matriz carbonática.

Característica microscópicas:

Arcabouço: 75%

Matriz/Cimento: 25%

Porosidade: traço

Granulação: areia média a grânulo

Seleção: mal selecionado

Esfericidade: baixa

Arredondamento: subanguloso-subarredondado

Arranjo: maciço, com fraca orientação dos grãos alongados

Contatos: pontuais, por vezes, separados por carbonato micrítico

Arcabouço		75%	Descrição
Quartzo	55		Grãos policristalinos com contatos internos poligonais a serrilhados (quartzitos; 40%) e monocristalinos, por vezes, com extinção ondulante intensa (15%). Grãos subarredondados, eventualmente parecendo exibir bordas corroídas pelo cimento. Granulometria de 0,15 a 5mm.
Feldspatos	10		Plagioclásio (andesina) e feldspato alcalino com pertita, por vezes, intensamente alterados e fraturados. Esfericidade baixa, arredondados e de granulometria 0,25 a 3mm.
Outros	10		Grãos arredondados de carbonato micrítico (traço, 0,7 a 5mm); grãos de argila maciça com cor acastanhada (traço, 0,7mm); e litoclastos de composição quartzofeldspática (10%, 2 a 5mm); zircão (0,15mm).
Matriz/cimento		25%	Descrição
Carbonato	25		Carbonato esparítico equigranular com proporções micríticas, principalmente entre contatos de grãos.

Maturidade textural: submaturo

Maturidade composicional: maturo

Observações: Crescimento de carbonático afastando grãos (*displacive*). Porções micríticas e esparíticas poderiam ser evidência de recristalização de lama carbonática.



Amostra escolhida para confecção de lâmina.



Grãos de quartzo, granada e litoclastos envolvidos por carbonato esparítico. Fotomicrografia com polarizadores cruzados.

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – ID: CP

Características macroscópicas: Rocha cinza esbranquiçada com arcabouço composto por quartzo, (translúcido, castanho, fumê), feldspato, granitóide róseo, grãos de argila e carbonato. Granulação variando de areia muito fina a grânulo, muito mal selecionado. Os grãos maiores exibem melhor arredondamento e esfericidade baixa. Os grãos são sustentados pela matriz/cimento que reage moderadamente ao Hcl 10%. Na face serrada para laminação é possível observar uma borda mais clara ao redor dos grãos.

Característica microscópicas:

Arcabouço: 40%

Matriz/Cimento: 60%

Porosidade: traço (fraturas)

Granulação: areia muito fina a grânulos

Seleção: muito mal selecionado

Esfericidade: baixa a alta

Arredondamento: anguloso a subarredondado

Arranjo: maciço, com porções que aparentam

Contatos: sem contato, sustentado pelo carbonato

Arcabouço	40%	Descrição
Quartzo	20	Grãos predominantemente policristalinos com contato interno poligonal a serrilhado e extinção ondulante (15%) e monocristalinos, principalmente os de menor granulação (5%). Esfericidade alta a baixa, angulosos a subarredondados, de granulometria 0,05 a 3mm.
Feldspatos	10	Plagioclásio e feldspato alcalino, predominantemente de baixa esfericidade. Granulometria 0,15 a 0,8mm.
Outros	10	Intraclastos de quartzo com cimento carbonático esparítico (0,40 a 7mm; traço); grãos arredondados de carbonato micrítico; litoclastos compostos por quartzo, feldspato alcalino e piroxênios com feições de deformação (1,5mm; 10%); opacos (0,1mm), zircão (0,05mm) e granadas (0,2mm; traços).
Matriz/cimento	60%	Descrição
Carbonato	60	Carbonato micrítico maciço, próximo as bordas dos grãos exibe cristais mais grossos com formato rômboico.

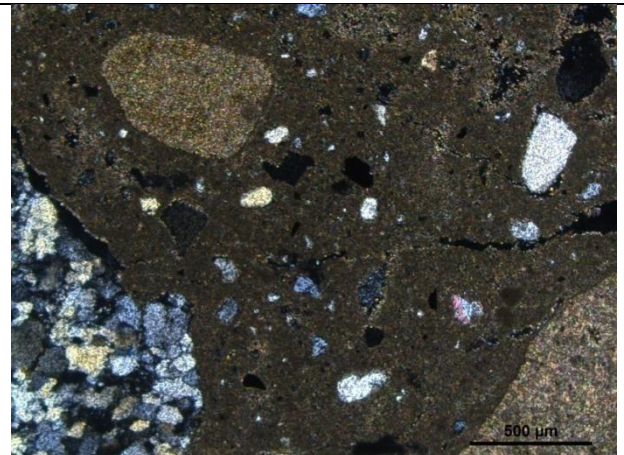
Maturidade textural: submaturo

Maturidade composicional: imaturo


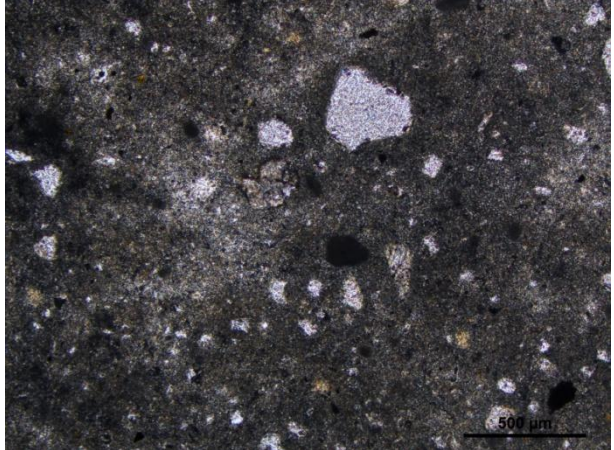
Observações: calcrete



Amostra escolhida para confecção de lâmina.



Grãos de quartzo e carbonato em imersos em matriz micrítica. Fotomicrografia com polarizadores cruzados.

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – ID: DM		
Características macroscópicas: Rocha esbranquiçada com arcabouço escasso de granulação areia fina a grossa, predominando areia fina, composta por grãos de quartzo e feldspato. O arcabouço é sustentado pela matriz/cimento que reage fracamente ao HCl 10%.		
Característica microscópicas: Arcabouço: 10% Matriz/Cimento: 90% Porosidade: - Granulação: areia fina a média Seleção: moderadamente selecionado Esfericidade: baixa a alta Arredondamento: subanguloso-subarredondado Arranjo: maciço Contatos: sem contatos, imersos na matriz		
Arcabouço	10%	Descrição
Quartzo	5	Grãos policristalinos e monocristalinos com extinção ondulante. Esfericidade baixa a alta, angulosos a subarredondados e granulometria 0,05 a 1mm.
Feldspatos	5	Plagioclásio e feldspato alcalino. Esfericidade baixa, subangulosos e granulometria 0,2 a 0,5mm.
Outros	tr	Opacos (0,1mm); zircão (0,05mm); grãos de argila (0,01mm; fragmentos líticos alterados?); biotita (0,1mm).
Matriz/cimento	90%	Descrição
Carbonato	90	Carbonato micrítico a microesparítico de textura maciça.
Maturidade textural: submaturo		
Maturidade composicional: imaturo		
Observações: calcrete		
		
Amostra escolhida para confecção da seção delgada.	Grãos imersos em carbonato micrítico. Fotomicrografia com polarizadores descruzados.	

FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA – ID: RAIZ

Características macroscópicas: Estrutura com formato alongado de raiz e vênulas cortando transversalmente ao comprimento. A porção externa e interna apresentam grãos de granulação areia fina a média imersos na matriz/cimento carbonático.

Características microscópicas:

Arcabouço: 20%

Matriz/cimento 80%

Porosidade: -

Granulação: areia muito fina a grossa

Seleção: mal selecionado

Esfericidade: baixa a alta

Arredondamento: anguloso-arredondado

Arranjo: maciço. Com vênulas de carbonato

Contatos: cristais imersos em carbonato

Arcabouço		20%	Descrição
Quartzo		15	Predominantemente os grãos de menor granulação são monocristalinos com fraca extinção ondulante (15%) e os grãos maiores policristalinos (5%). Esfericidade alta a baixa, angulosos a arredondados e granulometria 0,05 a 0,8mm.
Feldspatos		5	Feldspato alcalino com pertita e plagioclásios (andesina). Esfericidade baixa, subarredondados e de granulometria 0,3 a 0,7mm.
Outros		tr	Opacos (0,1mm); granada (0,2mm); piroxênio (0,2mm).
Matriz/cimento		80%	Descrição
Carbonato		80	Carbonato microesparítico a esparítico equigranular.

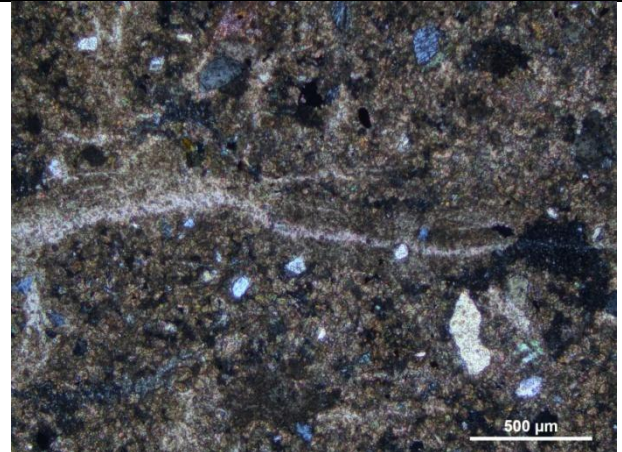
Maturidade textural: submaturo

Maturidade composicional: submaturo

Observações: carbonato mais grosso (esparítico) paralelo ao comprimento da lâmina e cortado transversalmente por vênulas maciças. Percolação de opaco paralelamente ao comprimento da lâmina.

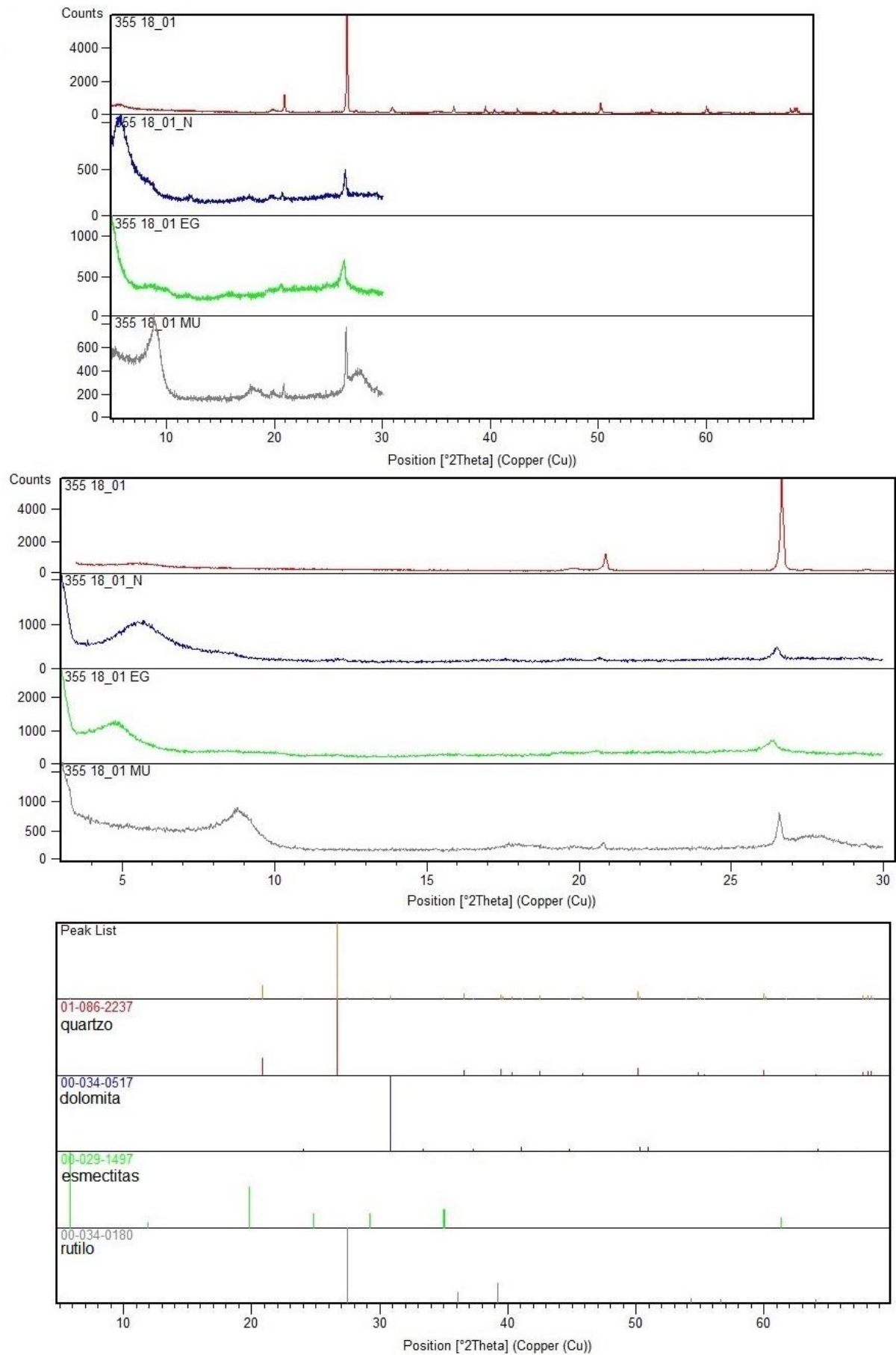


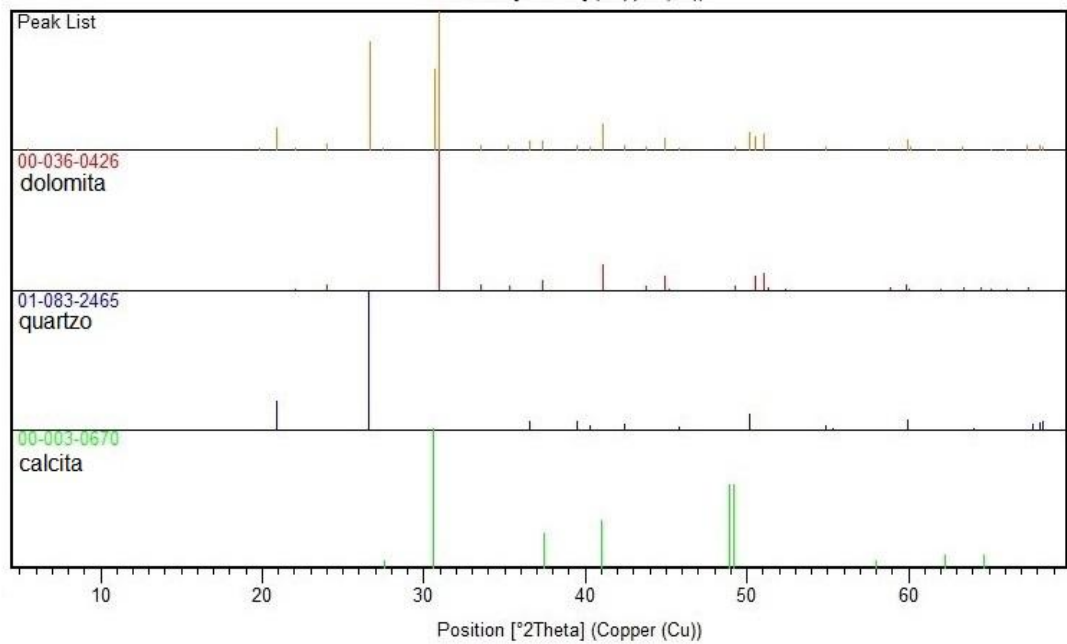
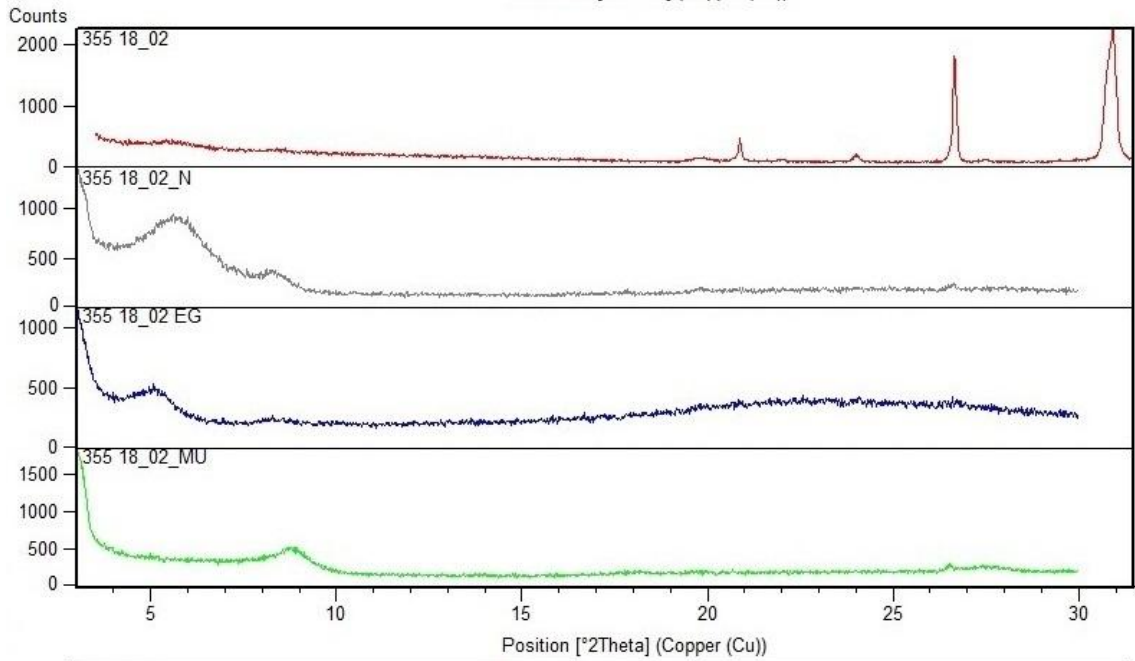
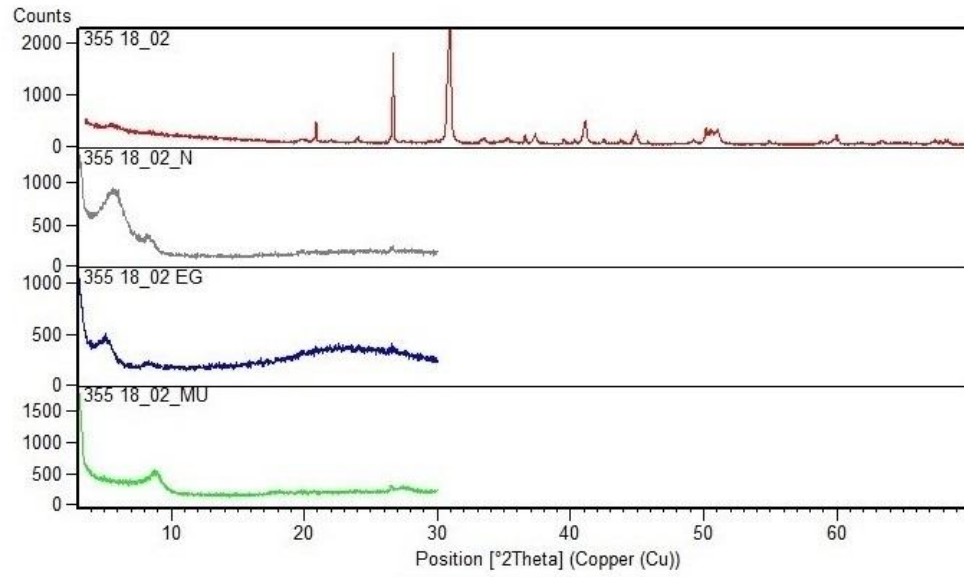
Amostra escolhida para laminação e após impregnação e corte longitudinal.

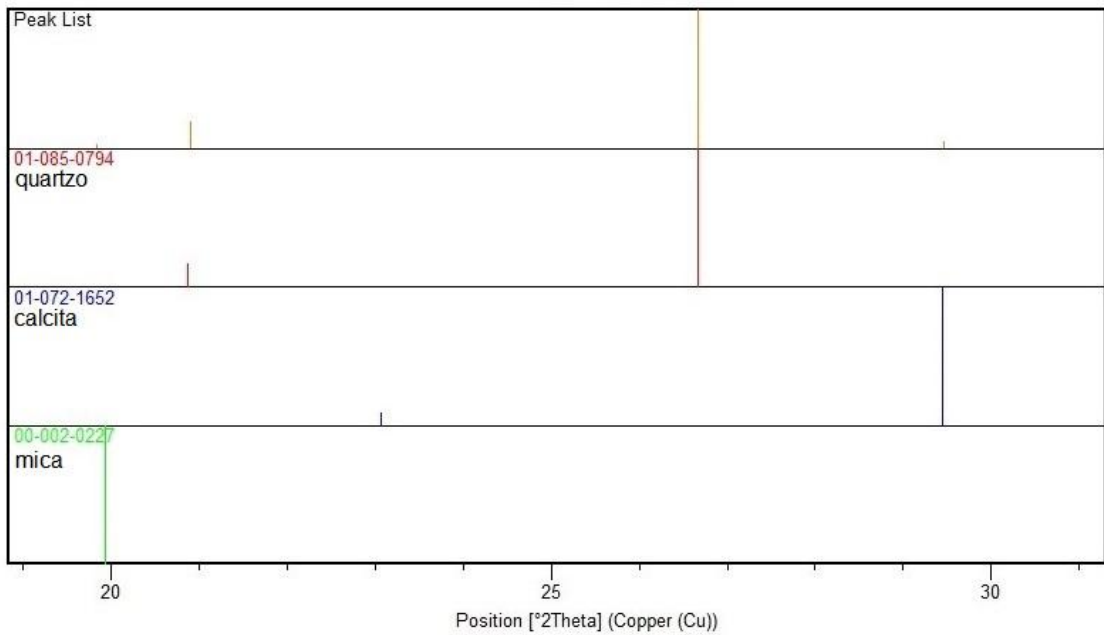
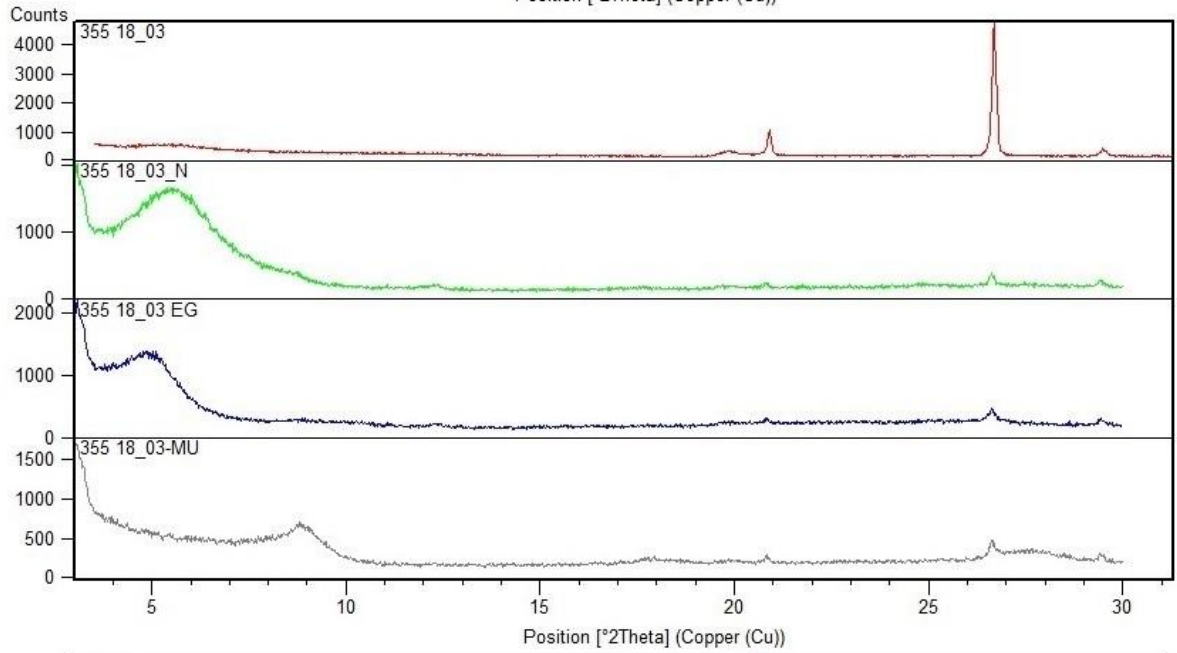
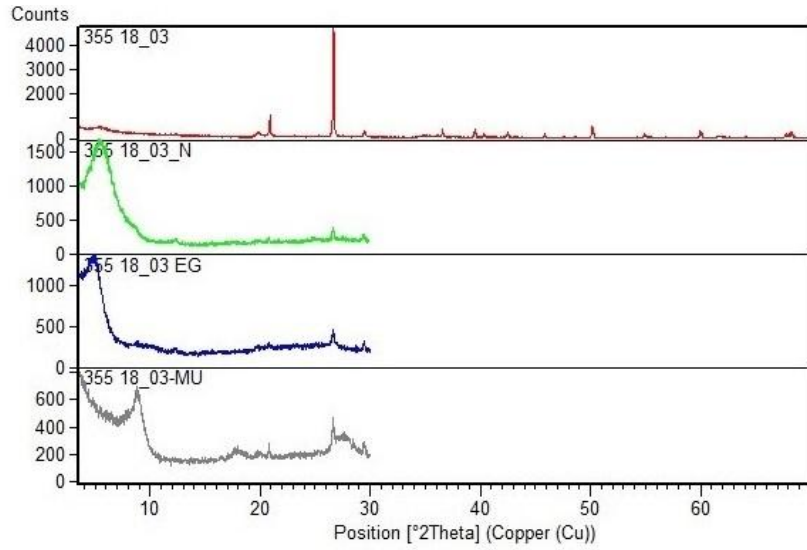


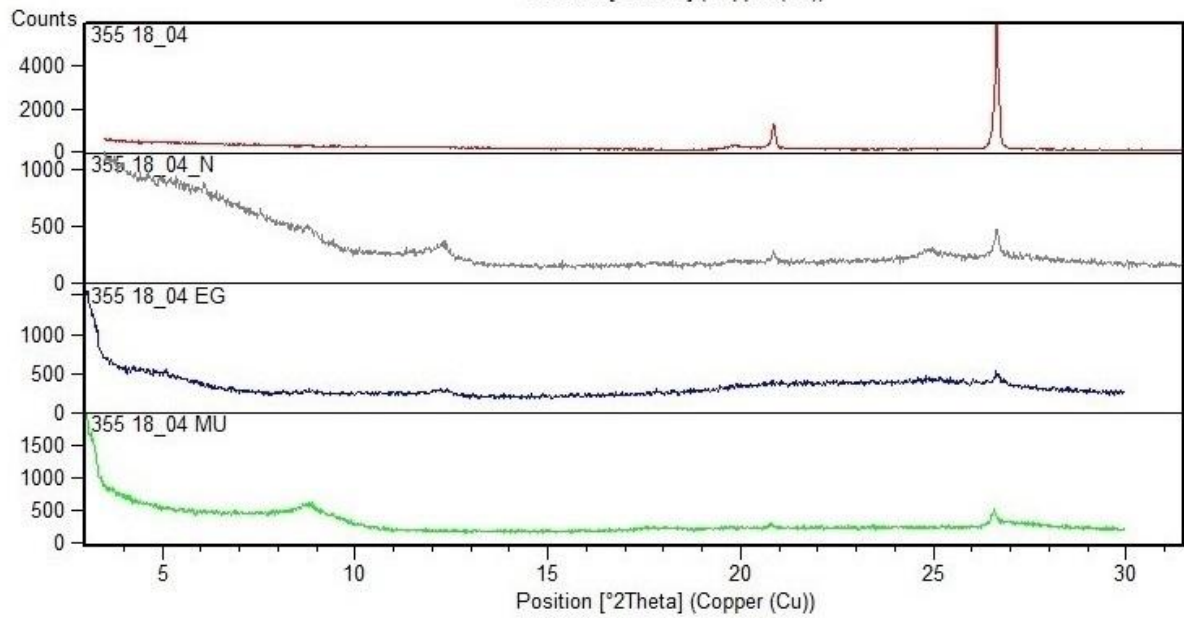
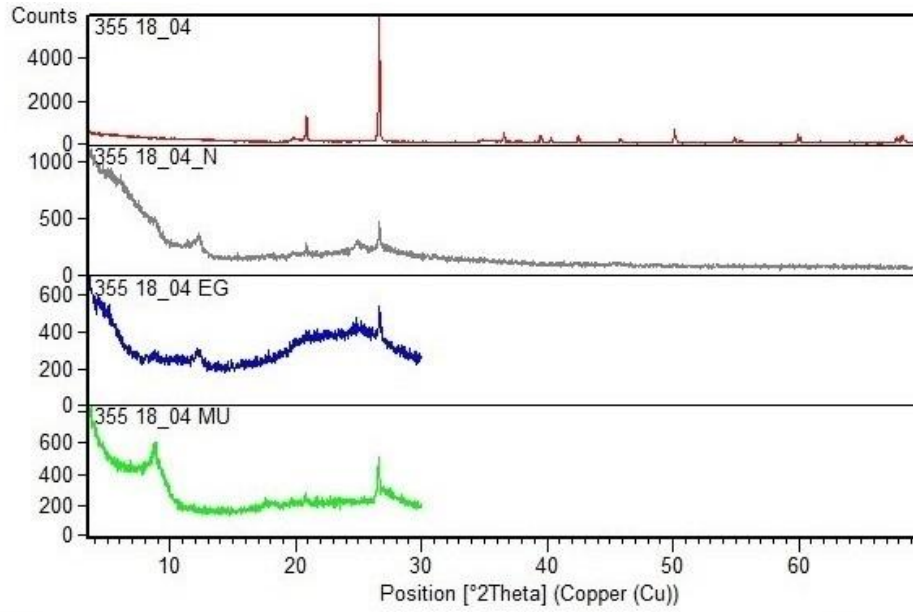
Grãos imersos em carbonato microesparítico e vênula de carbonato. Fotomicrografia com polarizadores cruzados.

ANEXOS









Peak List	
01-085-1053 quartzo	
00-002-0227 mica	
00-008-0415 C	

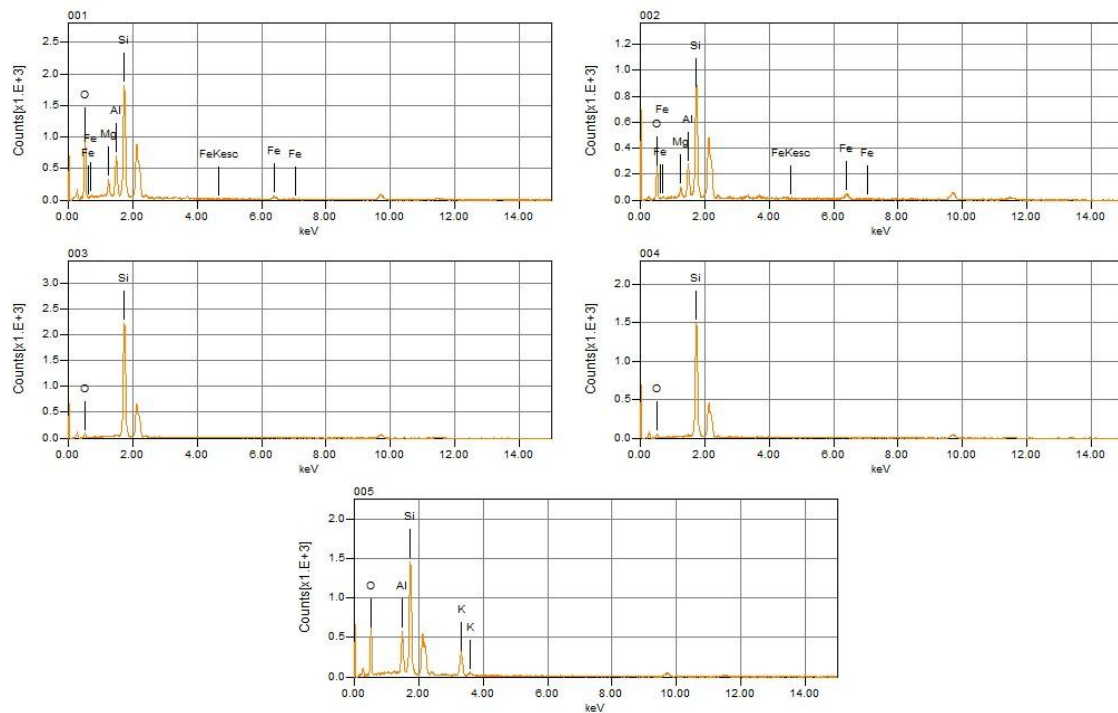
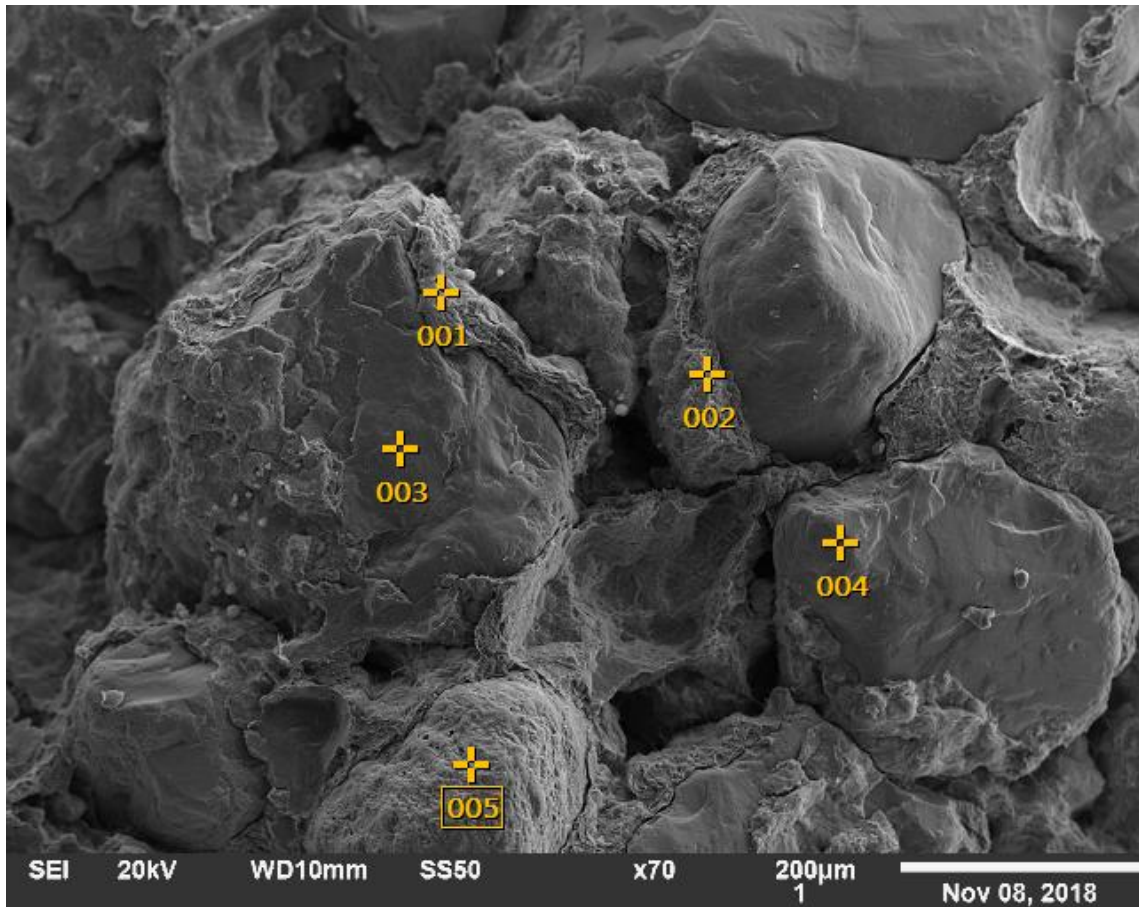
Position [°2Theta] (Copper (Cu))

Composição Química:

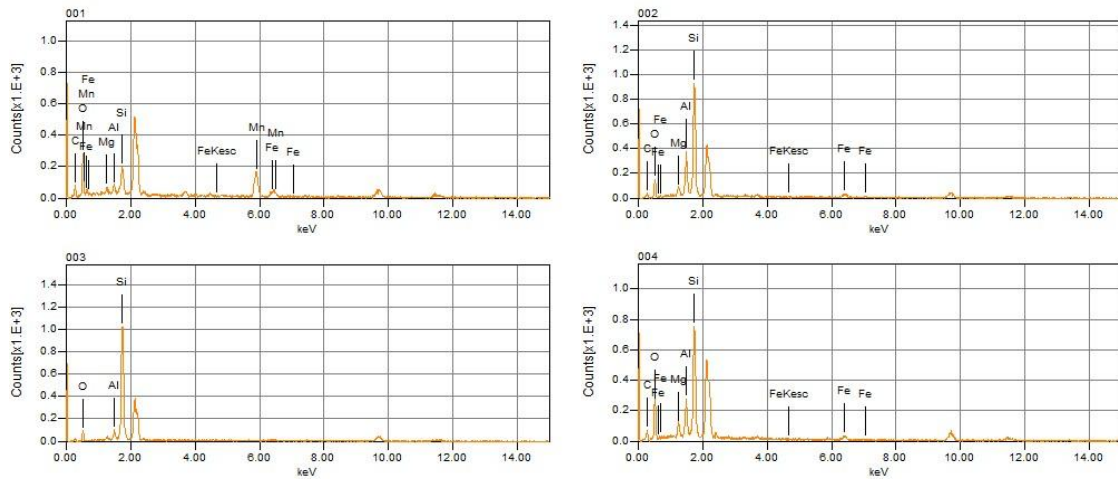
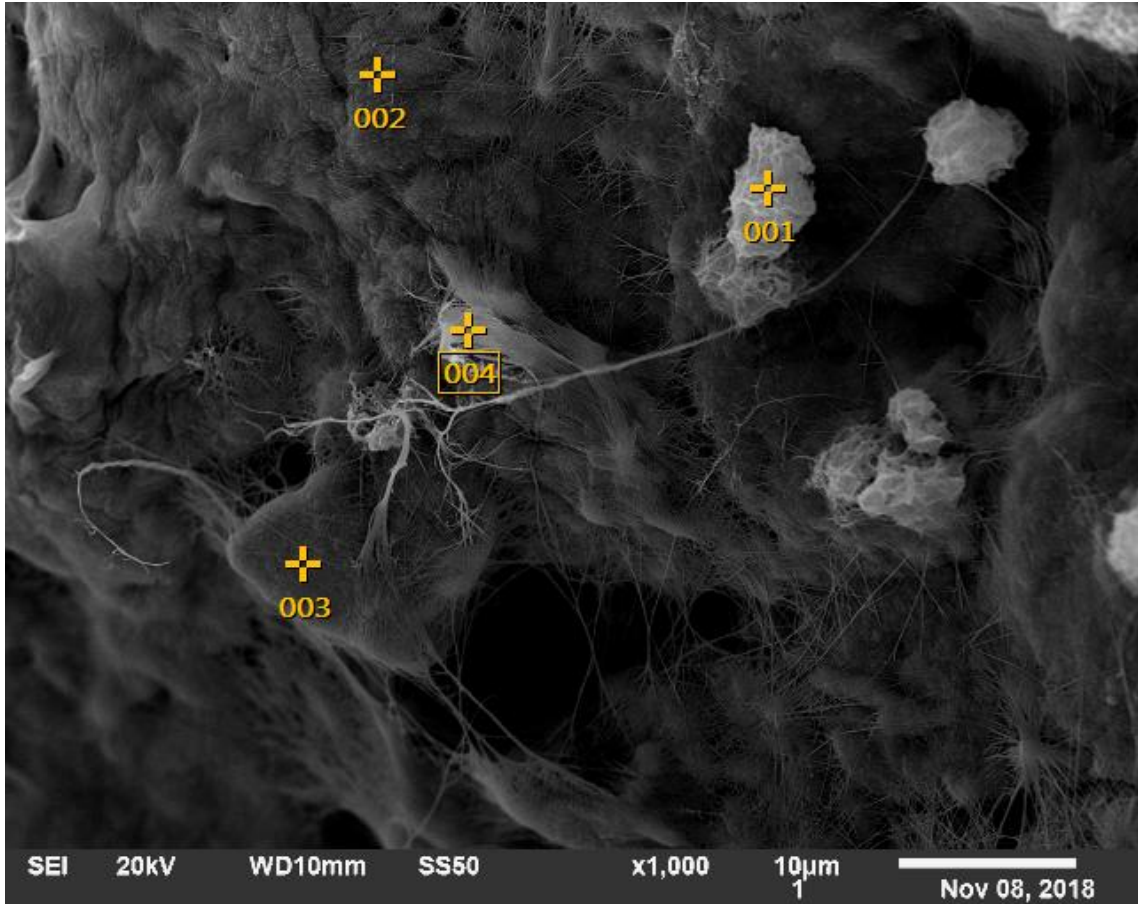
Amostra	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	MnO (%)	P ₂ O ₅ (%)	P.F. (%)	Soma (%)
355/18-01	67,13	8,91	3,96	4,24	3,22	1,18	0,05	0,84	0,05	0,12	10,53	100,24
355/18-03	66,16	11,16	4,92	3,64	1,68	1,12	0,03	1,14	0,25	0,06	9,55	99,72
355/18-04	69,97	13,48	5,35	0,21	0,91	0,89	0,02	1,55	0,23	0,07	7,00	99,69

Amostra	CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	SrO (%)	TiO ₂ (%)	MnO (%)	P ₂ O ₅ (%)	P.F. (%)	Soma (%)
355/18-02	20,76	13,63	25,85	3,86	1,85	< 0,01	0,42	0,02	0,44	0,11	0,06	32,83	99,83

*P.F. = Perda ao fogo (ensaio realizado a 1.000°C por duas horas)

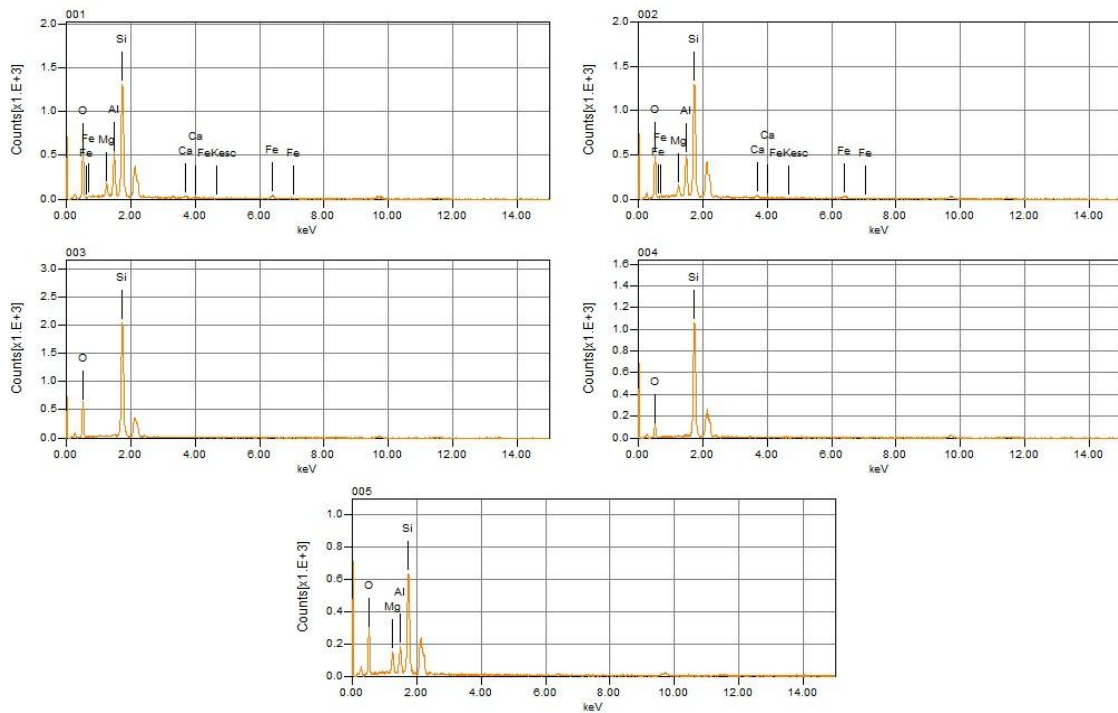
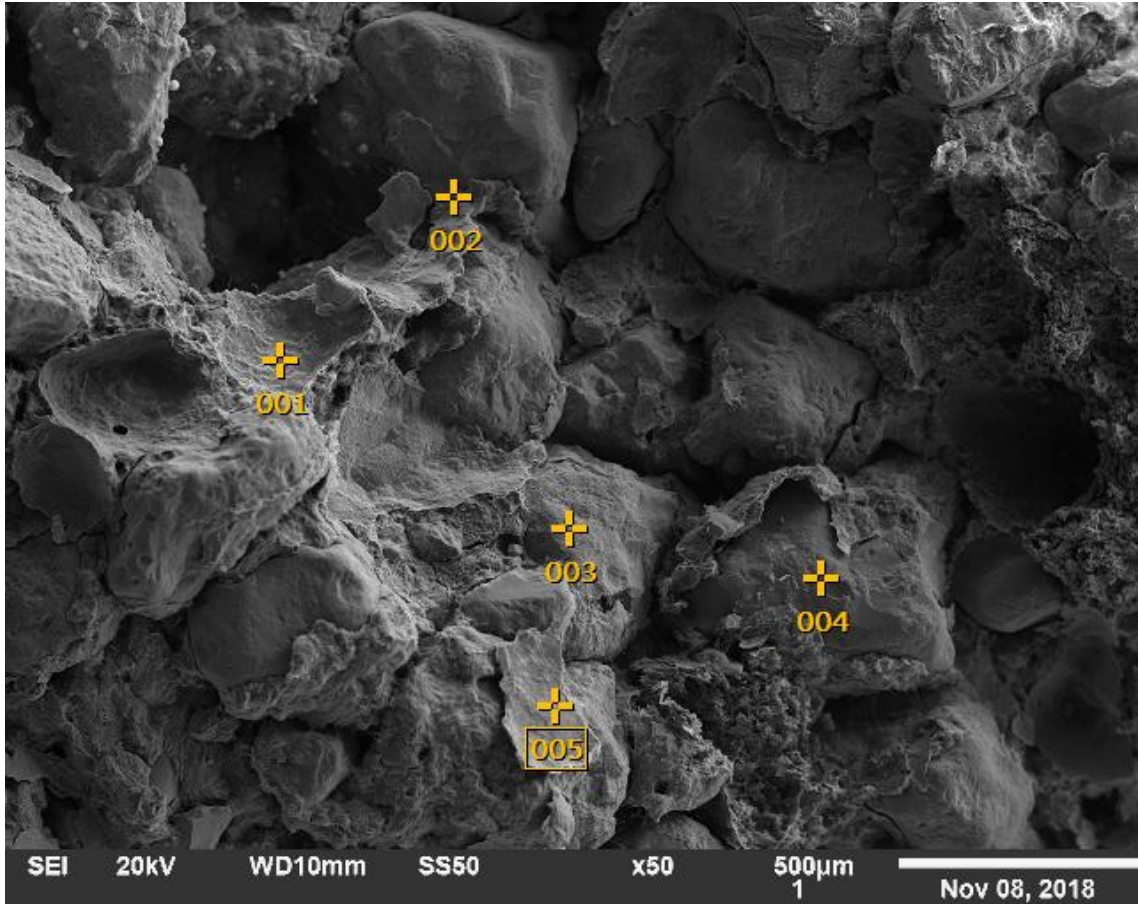


	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	FeO
001	10.86	16.77	62.90		9.47
002	6.81	14.65	62.13		16.41
003			100.00		
004			100.00		
005		14.78	58.25	26.97	



	C*	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	FeO
001	33.06	4.12	3.02	7.75	42.45	9.60
002	37.35	4.28	11.10	38.51		8.76
003			5.23	94.77		
004	50.78	5.44	7.94	29.87		5.97

*valores superestimados de C



	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	FeO
001	1.64	8.84	17.23	60.25	12.05
002	2.98	7.40	16.44	63.61	9.56
003				100.00	
004				100.00	
005		18.34	13.10	68.56	