



Litofácies e Mineralogia da Formação Estrada Nova no Estado de São Paulo
– **Brasil Visando Aplicação na Indústria Cerâmica de Revestimento**
Lithofacies and Mineralogy of the Estrada Nova Formation in the State
of São Paulo, Brazil, Aiming Application in the Ceramic Coating Industry

Sérgio Ricardo Christofoletti¹; Carolina Del Roveri² & Antenor Zanardo³

¹Instituto Florestal, Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade, Avenida
Navarro de Andrade S/N, 13500-970, Rio Claro, São Paulo, Brasil

²Universidade Federal de Alfenas, Instituto de Ciência e Tecnologia, Poços de Caldas-
MG, BR 267, km 533, 37701-970, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil

³Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas,
Avenida 24A, 1515, 13506-900, Rio Claro, São Paulo, Brasil

Emails: sergioricardoc@gmail.com; carolina.roveri@unifal-mg.edu.br; azanardo@unesp.br

Recebido em: 06/09/2019 Aprovado em: 17/02/2020

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2020_4_156_175

Resumo

O presente trabalho teve por objetivo principal caracterizar as litofácies e as composições minerais presentes nas rochas sedimentares da Formação Estrada Nova, na região Centro-Sul do estado de São Paulo. Os resultados mostraram que a descrição de fácies aliada à caracterização mineralógica mostrou-se uma ferramenta importante na avaliação preliminar destas rochas para uso como matéria-prima cerâmica. Foram identificadas cinco litofácies: no Membro Serra Alta (Folhelho siltico laminado, Siltito laminado e Siltito maciço) e no Teresina (Siltito intercalado e Ritmito arenoso). As litofácies do Membro Serra Alta de acordo com as suas características indicam deposição em ambiente plataformar profundo “*offshore*” em processo de decantação de baixa energia, às vezes ocorrendo processos de tração a qual propiciou a formação de camadas com laminações plano paralela composta de areia de granulometria fina. No Membro Teresina, observou-se que as litofácies apresentaram cor vermelha, granulometria grossa e um aumento das camadas de arenito com cimentação carbonática em direção ao topo formando estruturas rítmicas. A presença de camadas de arenito nas porções intermediárias e topo do Membro Teresina representam variações da maré, com retrabalhamento por ondas em ambiente “*lower shoreface*” e a cor vermelha indica a transformação de um ambiente redutor para oxidante. As análises dos difratogramas de raios X nas litofácies da Formação Estrada Nova mostraram baixa frequência do mineral feldspato do tipo albita e do argilomineral illita e elevada presença de calcita, especialmente no Membro Teresina. A baixa frequência dos minerais illita, albita e elevada do mineral calcita, em especial nas litofácies do Membro Teresina limitam a sua utilização como matéria-prima única na produção de revestimentos cerâmicos. No Membro Serra Alta, a granulometria mais fina e a presença mais frequente da illita indica seu aproveitamento cerâmico na composição de massas para a indústria cerâmica de revestimento e estrutural. Estudos de caracterização tecnológicas posteriores definirão os usos mais adequados destas rochas como matérias-primas cerâmica.

Palavras-chave: Formação Estrada Nova; Litofácies; Mineralogia

Abstract

The objective of this work is to characterize the sedimentary lithofacies and mineral composition of the Estrada Nova Formation, in the south-central region of the São Paulo State. The faciological description associated with the mineralogical characterization has proved to be an important tool in the preliminary evaluation of the rocks of the Estrada Nova Formation as raw material for the ceramic industry. Five lithofacies were identified: Laminated Siltstone Shales, Massive Siltstone, Laminated Siltstone, Intercalated Siltstone and Rhythm Sandy. The lithofacies of the Serra Alta Member according to their characteristics indicated deposition in a deep platformal environment offshore in the process of low energy sedimentation, sometimes combined with traction processes, which led to the formation of fine-grained sandstone beds with planar parallel laminations. In the Teresina Member, it was observed that the lithofacies presents red color, coarse lithology and an increase of sandstone layers with carbonate cementation toward the top forming rhythmic bedding. The presence of sandstone beds in the intermediate portions and top of the Teresina Member can be related with variations of the tides and reworking by waves in lower shoreface environment. The red color indicates the transition from a reducing to an oxidant environment. The high presence of carbonates indicates a shallow marine environment characterized by and reddish, an oxidizing environment in the formation of these lithofacies. The X - ray analyses showed the low frequency of the albite feldspar and the illite clay minerals and the high presence of calcite, especially in the Teresina Member. The low frequency of the illite, albite and elevated of the calcite mineral, especially in the lithofacies of the Teresina Member, limits its use as a single raw material in the production of ceramic coatings. In the Serra Alta Member, the general finer sediments and more frequent presence of the illite enables its use for ceramic coating and structural industry. Subsequent technological characterization studies will define the more suitable uses for these rocks as ceramic raw materials.

Keywords: Estrada Nova Formation; Lithofacies; Mineralogy

1 Introdução

O segmento da indústria cerâmica tradicional, em especial o setor de revestimentos cerâmicos tem crescido muito no Brasil nos últimos anos. Este crescimento gerou uma grande demanda de matérias primas adequadas para suprir as necessidades das empresas produtoras. Dentre os produtos fabricados, o porcelanato tem se destacado no mercado atual de revestimentos cerâmicos, sendo produzido principalmente em dois polos: o de Santa Catarina e o de Santa Gertrudes. Atualmente, as rochas do Grupo Passa Dois, em especial as da Formação Corumbataí representam as principais fontes de matérias-primas para a produção de revestimentos cerâmicos do país, sendo sua produção advinda do polo cerâmico de Santa Gertrudes.

O estudo da composição mineral aliada à descrição litofaciológica tornam-se cada vez mais importantes em diversas áreas da geociência, em especial nos estudos ambientais, geotécnicos e de mineração. Na mineração, estes estudos representam os principais parâmetros na avaliação preliminar de um depósito mineral visando seu aproveitamento econômico. Nas minerações de argila, esta tem se demonstrado importantíssima na avaliação preliminar destes depósitos no direcionamento do seu uso, seja na indústria cerâmica estrutural ou de revestimento. Diversos trabalhos realizados nas rochas da Formação Corumbataí e outros depósitos minerais utilizaram esta ferramenta Biondi & Furtado (1999), Christofoletti *et al.* (2006, 2015).

Os resultados deste estudo possibilitaram o conhecimento das rochas da Formação Estrada Nova (Grupo Passa Dois) na região Centro-sul do estado de São Paulo como fonte de matéria-prima cerâmica além de ter fornecido subsídios para estudos posteriores sobre o ambiente de deposição e redefinição estratigráfica desta unidade geológica.

A Formação Estrada Nova representa uma das unidades geológicas menos estudadas do ponto de estratigráfico, conteúdo fossilífero, sistema deposicional e idade no estado de São Paulo (Warren *et al.*, 2015).

Litologicamente, alguns autores estudaram esta unidade, dentre estes destacamos: Sousa (1985), que realizou o estudo das fácies das formações Corumbataí e Estrada Nova (Grupo Passa Dois) a qual distinguiu oito fácies e cinco subfácies baseadas principalmente na associação de unidades litológicas e estruturas sedimentares primárias, interpretando que a Formação Estrada Nova teria se originado a partir de sedimentos depositados em alto mar “*offshore*” e de planície de maré. Meghioratti (2006) realizou o estudo estratigráfico detalhado das formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto (Membro Serrinha) do Grupo Passa Dois na porção nordeste do estado do Paraná e Centro-Sul do estado de São Paulo com descrições

litofaciológicas, petrográficas, tafonômicas, correlações estratigráficas e discussões no âmbito da estratigrafia de seqüências.

Duque (2012) identificou e descreveu oito fácies carbonáticas e/ou evaporíticas na porção superior da Formação Teresina na borda centro-leste da Bacia do Paraná: *mudstone* com conchas de ostracóides, *mudstone* peloidal, *packstone* bioclástico, *wackstone* bioclástico, *boundstone* tabular, *packstone-grainstone* oolítico, brecha de *mudstone-chert* e *chert* enterolítico-nodular.

Bondioli (2014) estudou a dinâmica paleoambiental e paleoecológica dos depósitos da fácies de *offshore* Formação Serra Alta. Warren *et al.* (2015) realizaram um estudo detalhado de fácies da Formação Serra Alta no centro-leste do estado de São Paulo por meio de perfis em superfície e subsuperfície com a finalidade de caracterizar o sistema deposicional para a melhor compreensão dos padrões arquiteturais da Formação Serra Alta.

No estado de São Paulo, o primeiro estudo da composição mineralógica nas rochas do Grupo Passa Dois (Formação Corumbataí) no estado de São Paulo foi realizado por Ramos & Formoso (1975) que descreveram os argilominerais por meio da técnica de difração de raios X em amostras de poços tabulares profundos, onde a seqüência de argilominerais presentes compreendia montmorilonita, seguida da illita e clorita. Posteriormente, diversos estudos voltados para a identificação da composição mineral nas rochas da Formação Corumbataí foram realizados, especialmente voltados para a indústria cerâmica. De acordo com os autores Christofoletti (2003), Zanardo *et al.* (2017) e Roveri (2010), a illita representa o argilomineral dominante, seguida da caulinita, montmorilonita, clorita e interestratificados regulares e irregulares.

Estudos mineralógicos nas rochas da Formação Estrada Nova são escassos. Nomura (2013) descreveu a composição mineral das rochas da Formação Estrada Nova (Membro Teresina), por meio da difração de raios X, descrições petrográficas de seções delgadas de rochas e microscopia eletrônica de varredura com o objetivo de encontrar evidências hidrotermais dadas pela presença de minerais autigênicos e inclusões fluídas. Em relação à composição mineral do Membro Serra Alta da Formação Estrada Nova, este trabalho apresenta-se inédito.

2 Objetivos

- O presente trabalho teve como objetivos principais:
- Caracterização da composição mineral e descrição litofaciológica das rochas da Formação Estrada Nova como o intuito de descobrir novas reservas de matéria-prima para diferentes produtos para a indústria cerâmica de revestimento e estrutural;

- subsidiar informações para a contribuição dos conhecimentos sobre a estratigrafia e o ambiente de formação destes depósitos auxiliando a delimitação estratigráfica desta unidade no estado de São Paulo;
- apoiar o desenvolvimento cerâmico da região estudada por meio da disseminação de conhecimentos científicos.

3 Localização e Contexto Geológico

A área de estudo, localiza-se na região Centro-sul do estado de São Paulo, englobando os municípios de Saltinho, Laranjal Paulista, Tatuí, Pereiras, Cesário Lange, Guareí, Porangaba e Conchas. Os acessos principais para a área de estudo se dão pelas rodovias Marechal Rondon (SP-300), Cornélio Pires (SP-127) e Presidente Castelo Branco (SP-380). Na área encontram-se inúmeras empresas do setor cerâmico, especialmente voltadas para a produção de

cerâmica estrutural; dentre os principais produtos fabricados destacamos: tijolos, blocos, elementos vazados, lajes, telhas, revestimentos e tubos cerâmicos. Estas empresas utilizam como matéria-prima os siltitos da Formação Tatuí, porém algumas empresas também adicionam em sua composição os siltitos da Formação Estrada Nova (Membro Serra Alta) e argilas advindas de depósitos quaternários.

Geologicamente, a área de estudo está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, onde ocorrem as seguintes unidades litoestratigráficas: rochas do Supergrupo Tubarão (Subgrupo Itararé e da Formação Tatuí), do Grupo Passa Dois (Formação Irati e Formação Estrada Nova), rochas do Grupo São Bento (Formação Pirambóia), rochas intrusivas básicas da Formação Serra Geral, coberturas cenozoicas recentes e sedimentos quaternários. Perrota *et al.* (2005) (Figura 1). As rochas do Grupo Passa Dois, de acordo com Milani *et al.* (2007), pertencem à supersequência Gondwana I, abrangendo o intervalo Neocarbonífero-Eotriássico (Moscoviano-Olenekiano) que materializam grandes ciclos transgressivo-regressivos durante o Paleozoico.

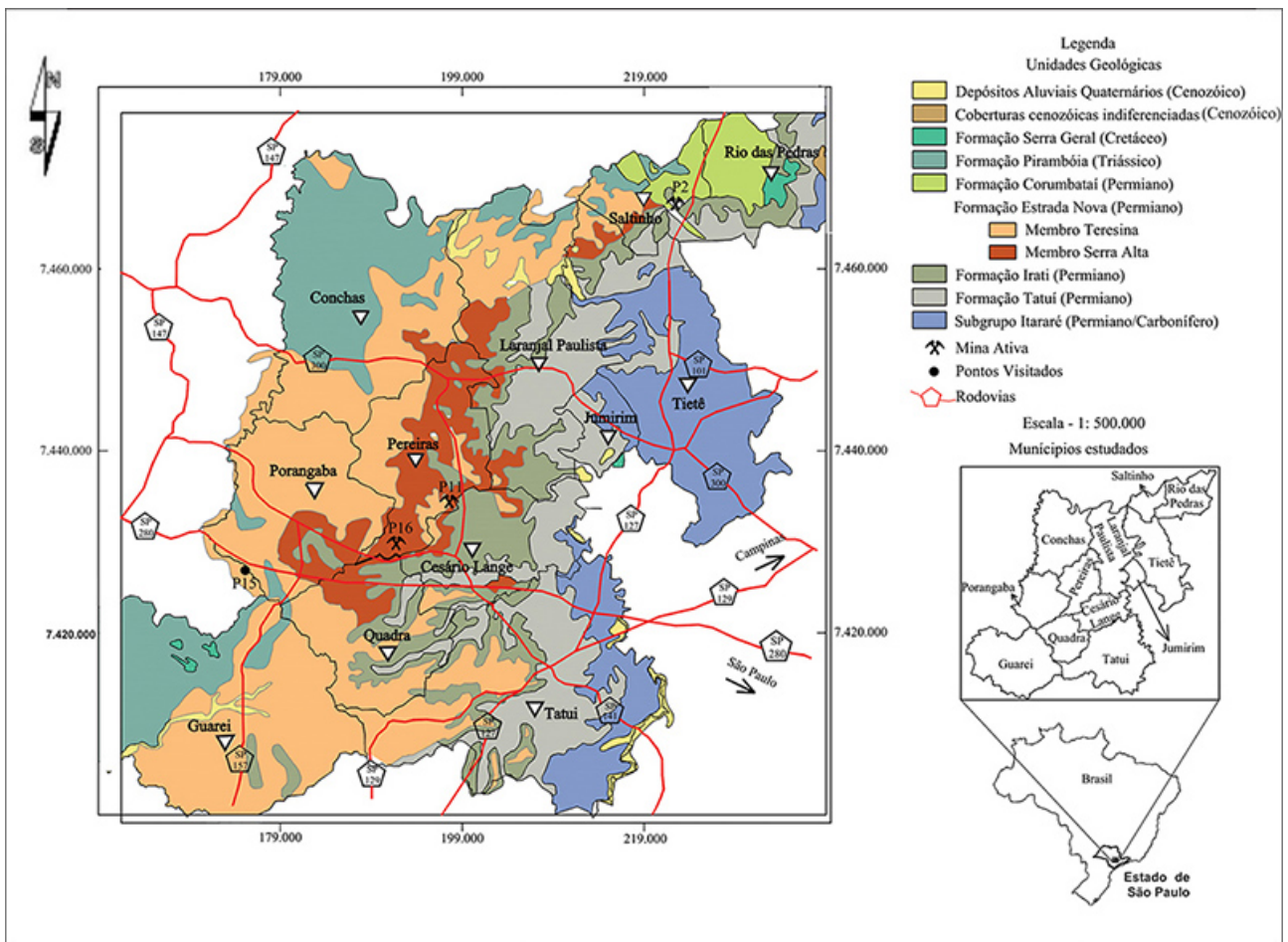


Figura 1 Mapa Geológico da área de estudo com a localização dos pontos. Modificado de Perrota *et al.* (2005).

Diversos estudos foram realizados no Grupo Passa Dois ao longo dos anos, porém ainda não existe uma delimitação estratigráfica clara para a sua porção superior no estado de São Paulo. Alguns autores definem o termo Serra Alta e Teresina como formações e outros como membros da Formação Estrada Nova o que gera muitas contradições. De acordo com Meghioratti (2006) pela ausência de estudos estratigráficos, genéticos e paleontológicos mais aprofundados, as designações Estrada Nova, Serra Alta, Teresina e Corumbataí estão sujeitas a muitas controvérsias em relação à nomenclatura, faltando critérios estratigráficos claros e ausência de estudos de fácies sedimentares consistente para a delimitação dessa unidade no Estado de São Paulo. Nos mapeamentos realizados pelo IPT (1981) e pelo CPRM em Perrota *et al.* (2005), a Formação Estrada Nova e seus respectivos membros Serra Alta e Teresina apareceria apenas a partir do Domo de Giboia, município de Rio das Pedras, centro leste de São Paulo.

Sousa (1985) distinguiu oito fácies e cinco subfácies nas rochas das formações Estrada Nova e Corumbataí, que levaram a caracterização de depósitos de alto mar “*offshore*”, de zona de transição entre *offshore* e *lower shoreface*, de planície de maré, de barra de maré e lagunar. “Os depósitos de alto mar, de acordo com a autora, são representados pelo sedimentos do Membro Serra Alta, enquanto os de planícies de maré representariam o Membro Teresina. Os depósitos de alto mar são caracterizados por siltitos argilosos e folhelhos silticos, cinzas, maciços e laminados, intercalados por delgadas lentes de arenito maciço e laminado. Já os depósitos de planície de maré encontram-se bem desenvolvidos nas regiões sudoeste e centro-sul do estado, compreendem siltitos, arenitos e calcários apresentando estruturas sedimentares cruzadas, marcas onduladas, acamamento *flaser*, ondulado e lenticular, gretas de contração e bioturbação.

Inicialmente, os pelitos localizados na porção superior da Formação Irati foram descritos por White (1908) de “Schistos Estrada Nova”. Moraes Rego (1930) conferiu a denominação Estrada Nova ao *status* de grupo e utilizou o termo Teresina referindo a lentes de calcário do Grupo Passa Dois. Almeida & Barbosa (1953) definiu “Série Passa Dois” composta pelas formações Irati e Estrada Nova nas quadriculas dos municípios de Piracicaba e Rio Claro. Barbosa & Gomes (1958) não empregaram o termo Corumbataí, alegando não haver diferença faciológica na Formação Estrada Nova que justificaria a utilização desta nomenclatura no estado de São Paulo, definindo formações ou fácies Irati, sendo os Membros Irati e Serra Alta (inferior) e Estrada Nova (superior). Mendes (1967), Landim (1970) e Fúlvaro (1970), subdividiu o Grupo Passa Dois no estado de São Paulo em Formação Irati (base) e Formação Estrada Nova/Corumbataí (topo). Vieira (1973)

subdividiu o Grupo Passa Dois nas formações Irati, Serra Alta e Teresina.

Um dos trabalhos clássicos foi elaborado por Schneider *et al.* (1974) que define o Grupo Passa Dois de rochas compostas pela Formação Irati (Membros Taquaral e Assistência) e Formação Corumbataí. Sousa (1985) descreve que a Formação Estrada Nova é constituída dos membros Serra Alta (inferior) e Teresina (superior) nas porções sudoeste e centro-sul do estado de São Paulo considerando a Formação Corumbataí indivisa no flanco nordeste do estado de São Paulo.

Diversos estudos em outros locais descrevem o termo Serra Alta como fácies basais da Formação Corumbataí. Alguns trabalhos, em especial Warren *et al.* (2015), definem claramente a existência desta formação na porção Centro-leste do estado de São Paulo nos municípios de Rio Claro, Limeira e Ipeúna propondo que os pelitos de coloração cinza, encontrados na porção inferior da Formação Corumbataí, sejam referidos como Formação Serra Alta e que os pelitos superiores encontrados na Formação Corumbataí sejam considerados correlatos lateralmente com os da Formação Teresina encontrados a norte do Domo de Giboia.

A Figura 2 mostra a cronologia da evolução dos conhecimentos sobre a estratigrafia do Grupo Passa Dois, de acordo com diversos autores.

A relação do contato basal entre o Membro Serra Alta com a Formação Irati conforme descrito por Maack (1947), Beurlen (1954), Castro *et al.* (1993), Hachiro (1996) e Araújo (2001) é transicional marcado pelo desaparecimento de folhelhos calcíticos/dolomíticos da Formação Irati e pelo aparecimento gradual de folhelhos/siltitos laminados de cor cinza escuro característicos do Membro Serra Alta. No entanto, para alguns autores, essa passagem é difícil de ser reconhecida pelas suas semelhanças litológicas, especialmente nos estados do Paraná e Santa Catarina (Mezzalira, 1980). Outros autores (Petri & Coimbra, 1982; Lavina, 1991; Warren *et al.*, 2015), referem-se à interdigitação do Serra Alta com o Irati.

Já a passagem do Membro Serra Alta para o Teresina conforme descrito por Rohn (2001) e Meghioratti (2006) é transicional e caracterizado pelo aumento significativo de rochas heterolíticas bioturbadas de cor cinza com acamamento *flaser*, ondulado e lenticular evidenciando condições ambientais gradativamente mais rasas, influenciadas por ondas.

O contato de topo da Formação Estrada Nova (Grupo Passa Dois) com as rochas da Formação Pirambóia (Grupo São Bento) de acordo com Matos & Coimbra (1997) representa um importante limite de sequências no registro da Bacia do Paraná, quando a antiga sequência marinha foi recoberta pela sequência continental. A sedimentação foi predominantemente marinha durante todo o Permiano e parte do Triássico, sendo então sucedida pela sedimentação

Idade	Divisão	Idade	Divisão	Idade	Divisão	Idade	Divisão	Idade	Divisão	Idade	Divisão	Idade	Divisão	Idade	Divisão
Permiano	Série Passa Dois	Triássico	Grupo Estrada Nova	Permiano inferior	Permiano médio	Permiano superior	Permiano	Permiano Superior	Permiano	Permiano	Permiano	Permiano	Permiano	Permiano	Permiano
	Grupo Irati		Grupo Estrada Nova												
Almeida & Barbosa (1953)	Formação Irati	Barbosa & Gomes (1958)	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati
Mendes (1967) SP Landin (1970) SP Fúlfaro (1970) Angatuba/SP	Formação Irati	Vieira (1973)	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati
Schneider et al. (1974)	Formação Irati	Mezzalira (1980)	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati
Sousa (1985)	Formação Irati	Warren et al. (2015)	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati	Formação Irati

Figura 2 Divisão estratigráfica do Grupo Passa Dois no estado de São Paulo. Modificado de Sousa (1985).

mesozoica continental eólica após a regressão marinha. De acordo com a gênese dos depósitos da camada Porangaba, o contato entre a Formação Pirambóia e o topo do Grupo Passa Dois marca uma descontinuidade que ocorre sob a forma de superfície abrupta e plana, sem evidência de erosão ou exposição prolongada.

Para melhor compreensão, utilizaremos a designação Formação Estrada Nova, tendo como membro inferior à designação Serra Alta e superior a Teresina, pois os mapas existentes atualmente definem a presença desta unidade geológica na área de estudo a partir do Domo de Jiboia no município de Rio das Pedras, estado de São Paulo.

4 Métodos

Foram realizadas descrições litofaciológica detalhadas por meio de seções colunares verticais em minerações ativas/inativas e em afloramentos procedida da coleta de amostras e registro fotográfico. A identificação das litofácies baseou-se no método elaborado por Miall (1994) onde os principais parâmetros avaliados em campo foram: cor, litologia, estruturas sedimentares, granulação e conteúdo paleontológico. Neste trabalho, foram selecionadas as amostras das seções colunares P2, P11, P15 e P16. Posteriormente, as amostras foram identificadas

e encaminhadas para o Laboratório de Cerâmica do Departamento de Petrologia da UNESP, *Campus* Rio Claro, onde foram moídas em moinho de martelo (Modelo CT-058) e posteriormente encaminhadas para o Laboratório de Petrologia para as análises da composição mineral através da difração de raios X. Algumas foram selecionadas para a análise petrográfica para a confecção de lâminas delgadas.

A composição mineral foi identificada pelo método de difratometria de raios X e pela análise petrográfica por meio da microscopia ótica. Para a análise de difração de raios X, as amostras foram analisadas na sua constituição total e na fração argila (<2 µm). Para a análise da amostra total, uma fração da amostra moída foi disposta em um suporte e analisada pelo difratômetro de raios X. Para a obtenção da fração argila (<2 µm), 10 g da amostra previamente moída, foi inserida em uma proveta de 1000 ml, onde iniciou-se o processo de separação por meio da sedimentação obedecendo a Lei de Stokes, onde uma partícula esférica de densidade (dp) e diâmetro (a) quando colocada em um líquido de densidade (dL) e viscosidade baixa (η) momentaneamente acelera e a seguir cai com uma velocidade constante (Reed, 1995). Para as amostras que apresentaram dificuldade de sedimentação foram adicionadas quatro gotas do defloculante hexametáfostato de sódio. A suspensão da fração argila foi obtida após decantação durante 24h recuperando aproximadamente 900ml, sendo esta operação realizada uma única vez. A fração argila em suspensão foi recuperada por centrifugação.

Para a identificação dos argilominerais, foi necessário que a fração < 2 µm fosse analisada pelo difratômetro de raios X em três condições específicas (natural, glicolada e aquecida). Na condição natural a fração < 2 µm foi disposta em lâmina de vidro na forma orientada e analisada. Para a obtenção da lâmina glicolada, esta foi submetida ao tratamento com etilenoglicol em sistema fechado por 48 h com o objetivo de determinar os argilominerais expansivos e na condição aquecida a lâmina foi obtida com o aquecimento em forno mufla à temperatura de 500°C durante duas horas. As análises foram realizadas em difratômetro de raios X da marca *PANalytical Empyrean*, utilizando radiação $CuK\alpha$ (WL=1,54056 Å), e filtro de Ni e módulo flat, com leitura contínua do goniômetro e detector X'Celerator. O ângulo 2θ de início foi de 3° e de término foi de 65°, com contagem de 3,8" s/passos e tamanho do passo de 0,008° 2θ (velocidade de *scan* de 0,27°/s). O tempo total de análise foi de 3'52", e a corrente empregada de 30 mA a uma voltagem de 40 kV.

A interpretação dos difratogramas e a frequência semiquantitativa dos minerais foi realizada com base na altura do pico através do *software X'Pert HighScore Plus da Panalytical*.

Para as análises petrográficas, quatro amostras com características menos friáveis foram coletadas e

encaminhadas para o LAGEA-Laboratório de geoquímica ambiental pertencente ao Departamento de Planejamento da Geografia da UNESP Rio Claro, onde estas passaram pelo processo de corte e impregnação com resina. Posteriormente, foram encaminhadas para o Laboratório de Laminação da Universidade de São Paulo para a preparação de lâminas delgadas, com aproximadamente 30 µm de espessura, para análise petrográfica com microscópio óptico. As análises foram realizadas com Microscópio Óptico monocular Leitz (Wetzlar, Sm – Lux Pol, com aumentos de até 100 vezes) e com Microscópios Binoculares Olympus D1600 e Zeiss XT200. O método utilizado foi o de luz transmitida e em alguns poucos casos, em função da presença significativa de fases não transparentes, utilizou-se também luz refletida.

5 Resultados

5.1 Geologia e Faciologia

A Formação Estrada Nova composta pelos membros Serra Alta e Teresina apresentou ampla exposição na área estudada. A passagem da Formação Irati para o Membro Serra Alta apresentou-se marcante nas minerações ativas de calcários na área de estudo e ocorreu de forma transicional. Já o contato de topo da Formação Estrada Nova (Membro Teresina) foi observado apenas na rodovia Castelo Branco km 167, sentido capital-interior, onde a camada Porangaba descrita por Matos & Coimbra (1997) marca a superfície de contato com os arenitos da Formação Pirambóia apresentando estruturas cruzadas de grande porte.

Nas seções colunares estudadas em minerações e afloramentos foram reconhecidas cinco litofácies na Formação Estrada Nova definidas especialmente pelos seus aspectos litológicos e pelas suas estruturas sedimentares:

Folhelho siltico laminado (Fsl) Ocorre predominantemente nas porções basais das frentes de lavra das minerações e dos afloramentos do Membro Serra Alta. Litologicamente, são representadas por folhelhos/siltitos finos de cores acinzentadas, intensamente pastilhado apresentando estrutura sedimentar laminada com laminações milimétricas de areia de granulação muito fina. Em alguns locais observou-se a presença de concreções, nódulos e fragmentos ou camadas de fósseis (*bone beds*). Nesta litofácies, o contato de topo com a litofácies laminada é marcado pela presença de uma camada de arenito carbonático (calcarenito) de granulação média a grossa (Figuras 3 e 6).

Siltito maciço (Sm) Ocorre na porção basal e de topo do Membro Serra Alta e corresponde a siltitos de granulação fina a média de coloração cinza claro com estrutura maciça.

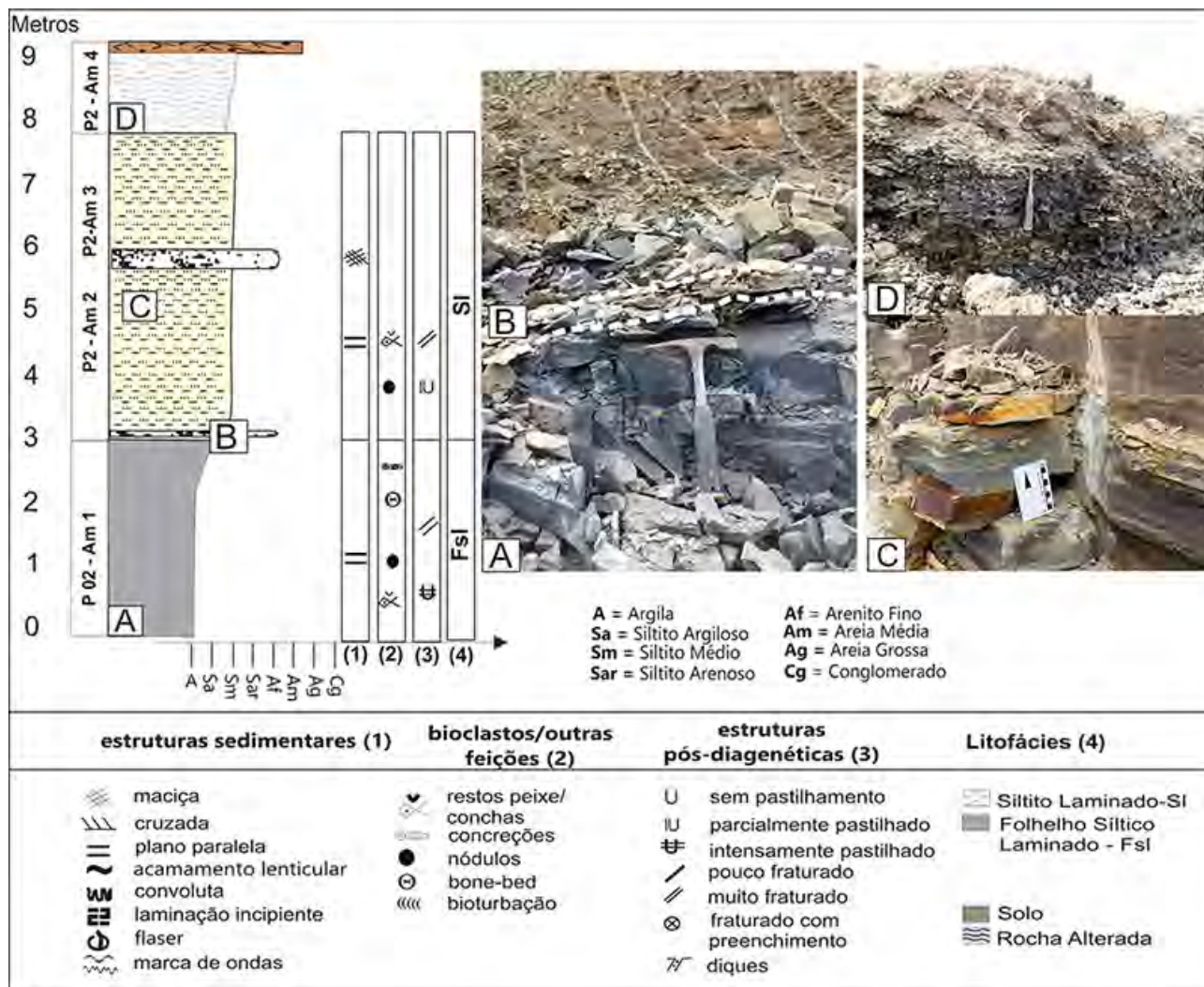


Figura 3 Seção colunar P2 (Membro Serra Alta); A. Litofácies Folhelho siltico laminado em contato com a litofácies Siltito laminado; B. Linha tracejada representa camada de arenito carbonático; C. Litofácies Siltito laminado e D. Rocha alterada.

Siltito laminado (SI) Presente nas porções intermediárias a basais das seções estudadas apresentou cores que variaram de cinza a esverdeadas. Corresponde a siltitos de granulação fina a média com laminações plano-paralelas compostas de areia muito fina. Em algumas vezes apresentou camadas centimétricas de siltitos arenoso/argilosos de granulação fina e estrutura maciça.

Siltito intercalado (Si) Ocorre nas porções intermediárias a topo das seções colunares estudadas. Corresponde a intercalações entre siltitos de granulação média a grossa com camadas de siltitos grossos e ou arenito, às vezes apresentando carbonato em sua matriz. Estas camadas apresentaram espessuras variando de 5 a 40 cm de espessura.

Ritmito arenoso (Ra) Ocorre nas porções de topo do Membro Teresina. Corresponde a intercalações entre

arenitos de granulação média a grossa com camadas de siltitos arenosos com presença de carbonato em sua matriz. Apresenta estrutura rítmica onde observou-se nas camadas de arenitos a presença de estruturas cruzadas. As camadas de arenitos apresentaram espessuras variando de 0,3 a 0,6 m de espessura.

Nas porções de topo das seções estudadas ocorrem rochas alteradas em estágio avançado de alteração sem estruturas sedimentares preservadas e cor variando de branco e vermelho claro.

De acordo com os resultados encontrados nas seções colunares (Figuras 3, 4, 5 e 7), observou-se nas litofácies da Formação Estrada Nova uma variação da granulação da base (Membro Serra Alta) em direção ao topo (Membro Teresina) marcando um padrão granocrescente ascendente.

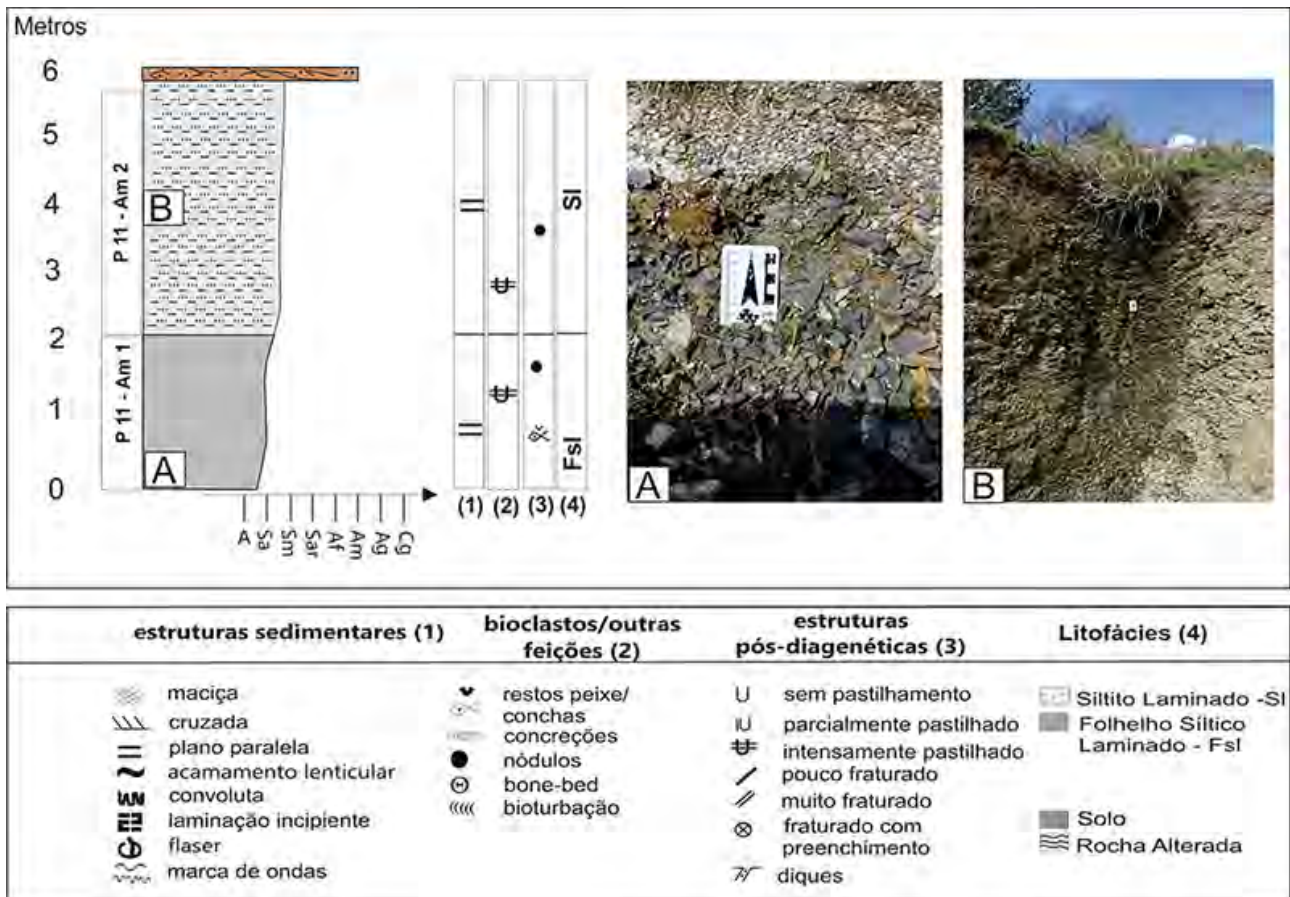


Figura 4 Seção colunar P11 (Membro Serra Alta); A. Litofácies Folhelho siltico laminado; B. Litofácies Silito laminado.

O Membro Serra Alta, representado neste trabalho pelas seções P2, P11 e P16, apresentou na sua porção basal a litofácies Folhelho siltico laminado em contato basal transicional com os folhelhos pirobetuminosos da Formação Irati. Esta litofácies apresentou cor cinza escuro, laminação plano paralela incipiente, presença de veios de composição calcítica e sílico carbonáticos, nódulos de composição carbonática e ferrosa e restos de fragmentos fósseis individualizados ou formando leitos “bone beds”. (Figuras 3 e 5).

Observou-se que na passagem da litofácies Folhelho siltico laminado para a Silito laminado ocorreu à presença de uma camada de arenito carbonático (calcarenito) de granulação média a grossa de cor branca.

A litofácies Silito laminado apresentou cores variando de cinza clara a esverdeado, laminação plano paralela e camadas de siltitos arenoso de granulação média

a grossa com espessuras de 10 a 30 cm. Na seção colunar P16 e em outros pontos estudados observou-se a presença de diques de diabásio perpendiculares à estratificação com espessura centimétrica (Figura 5 e 6).

O contato do Membro Serra Alta com o Teresina de acordo com vários autores é transicional marcado principalmente pela presença de fácies heterolíticas bioturbadas e pela cor avermelhada das rochas (Rohn, 2001; Ronh *et al.*, 2003; Meghioratti, 2006).

Mendes (1984) sugere que houve mudança gradual de ambiente profundo pouco oxigenado para ambiente de águas cada vez mais rasas e agitadas. Nas seções estudadas, o contato do Membro Serra Alta com o Membro Teresina não foi observado, porém a presença da coloração avermelhada nos sedimentos, o aumento da presença de camadas de arenitos carbonáticos e de estruturas sedimentares cruzadas de pequeno porte são marcantes.

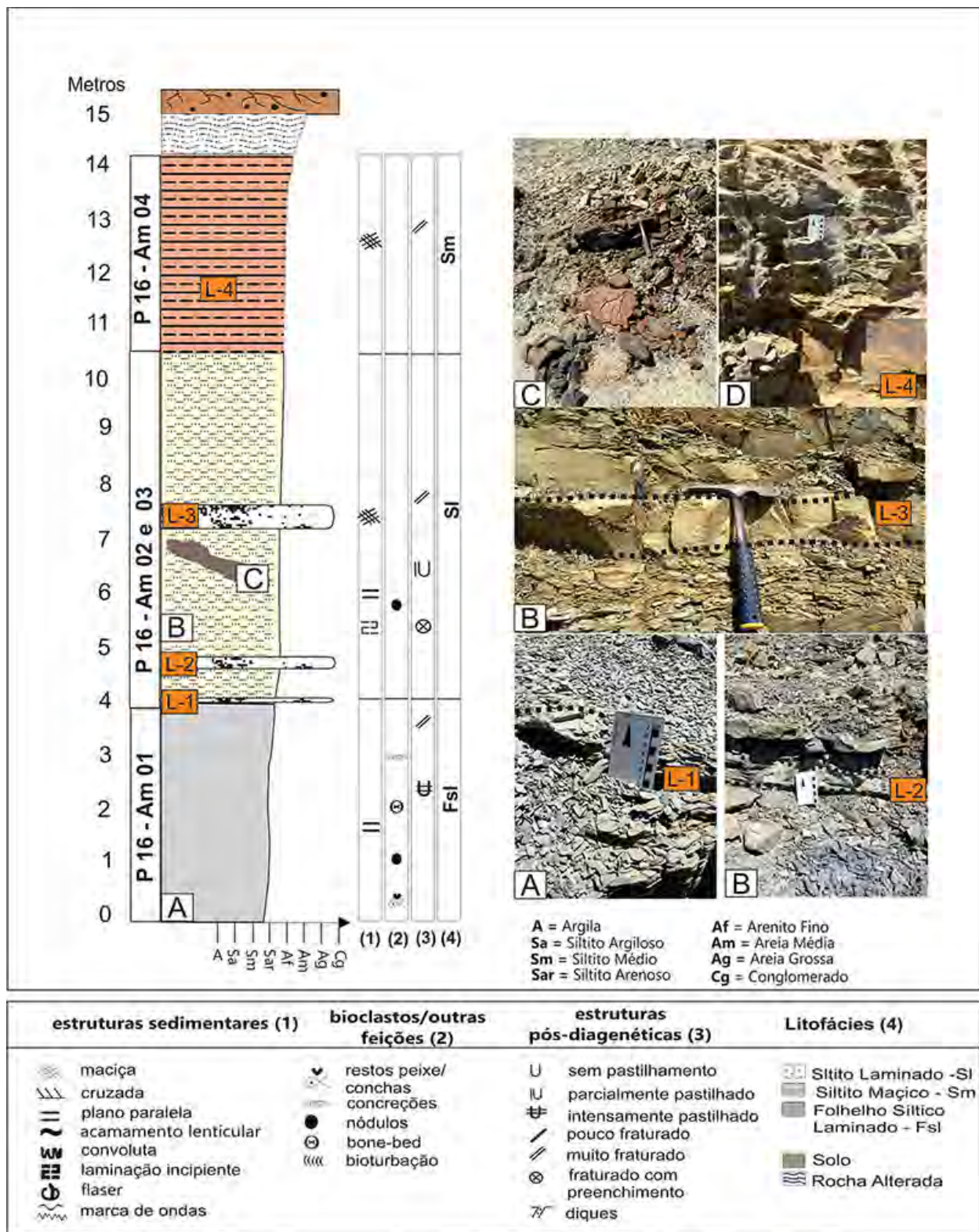


Figura 5 Seção colunar P16 do (Membro Serra Alta); A. Litofácies Folhelho siltítico laminado. Observa-se a esquerda camada de arenito carbonático marcando a passagem para a litofácies Siltito laminado; B. Litofácies Siltito laminado apresentando camada de arenito; C. Dique de diabásio; D. Litofácies Siltito maciço. As nomenclaturas L1, L2, L3 e L4 encontradas nas seções representam as posições onde as amostras foram retiradas para a confecção de lâminas petrográficas.

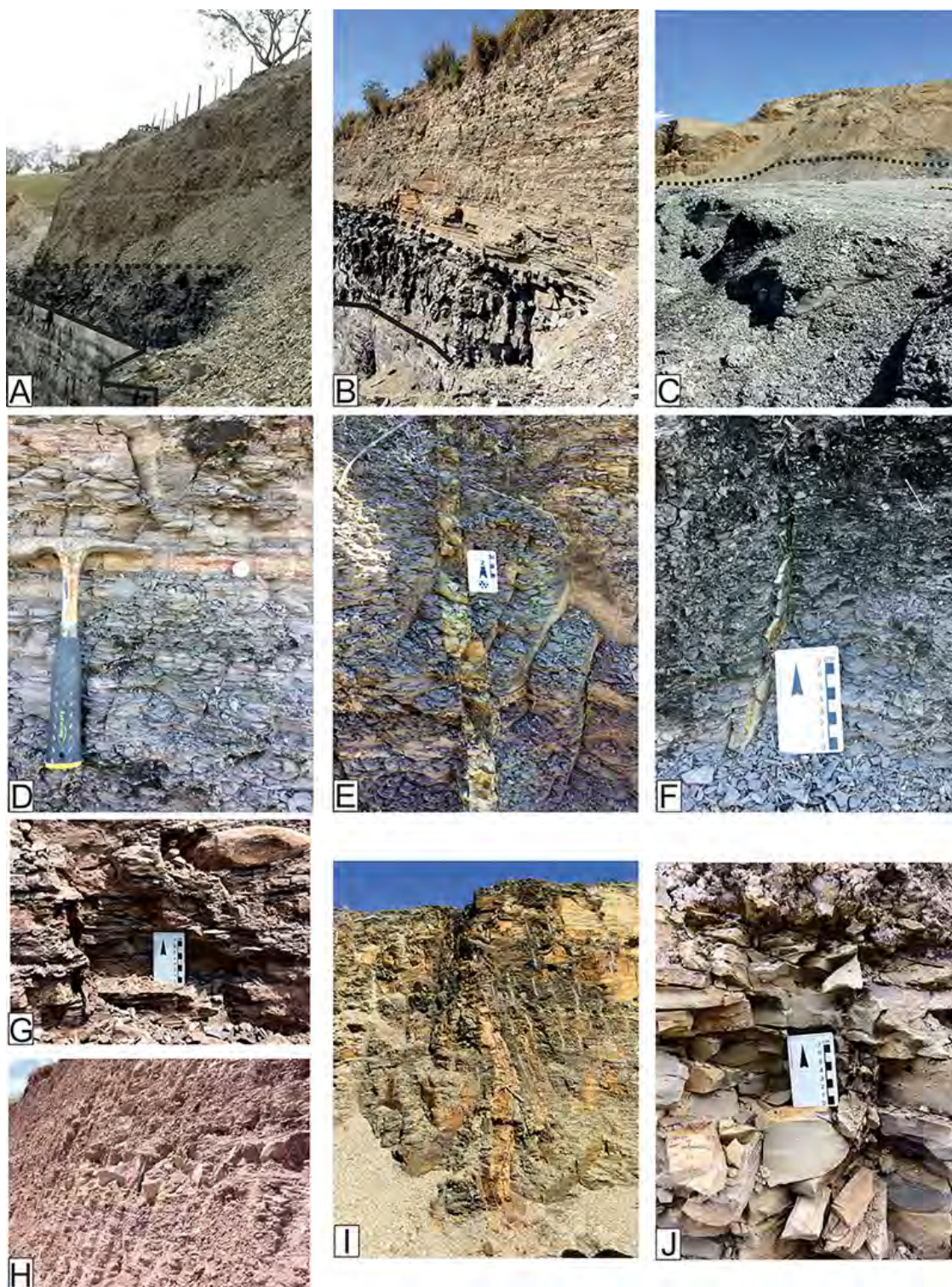


Figura 6 Detalhes das litofácies do Membro Serra Alta (Formação Estrada Nova); A, B e C. A linha sólida marca o contato da Formação Irati com o Membro Serra Alta (Formação Estrada Nova); a linha tracejada marca a passagem da litofácies Folhelho siltico laminado para a litofácies Siltito laminado; D. Litofácies Siltito laminado com lentes ferruginosas paralelas ao acamamento; E. Veios sílico-carbonático pós-deposicional; F. Fraturas perpendiculares ao acamamento preenchidas por calcita; G. Nódulos de material arenito carbonático silicificado; H. Litofácies Siltito laminado com camadas de arenito; I. Intrusão basáltica pós-diagenética perpendicular ao acamamento; J. Litofácies Siltito maciço.

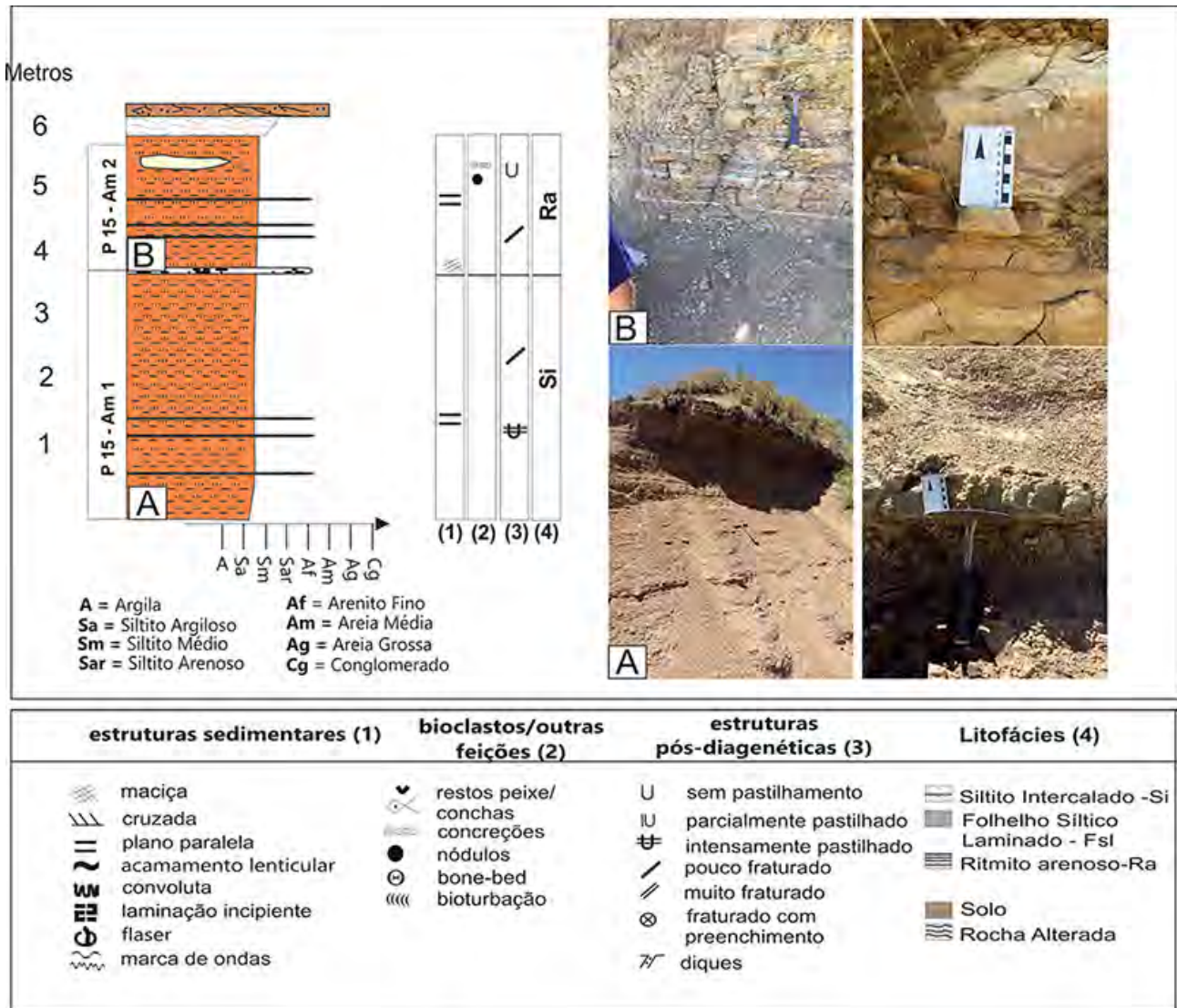


Figura 7 Seção colunar P15 (Membro Teresina); A. Litofácies Siltito intercalado, representada por siltitos médios com laminação plano paralela de coloração vermelha intercaladas por camadas de arenito carbonático no topo; B. Litofácies Ritmito arenoso apresentando estruturas rítmicas entre siltito arenosos e níveis de camadas de arenito carbonático e do lado direito lente de arenito silicificado.

O mineral calcita ocorreu com mais frequência nas litofácies Laminada do Membro Serra Alta na forma de veios *beef* conforme descrito por Rodrigues *et al.* (2009) ou na forma de veios de composição sílico-carbonático pós-diagenéticos (Figura 6). No Membro Teresina, a calcita ocorreu com maior frequência nas litofácies Ritmito arenoso com laminação heterolítica, conforme descrito por Nomura (2013), ou na forma de nódulos e concreções de dimensões centimétricas a decimétricas (Figura 8) ou cimentando as camadas de siltito arenoso. Estas concreções apresentaram seu eixo principal paralelo ao acamamento indicando que tais estruturas são sindeposicionais e formadas durante a diagênese precoce (Raiswell, 1971, Seilacher, 2001;

Thomka & Lewis, 2013) *apud* Bondioli (2014). De acordo com Sousa (1985), estas concreções teriam origem epigenéticas, e interrompendo em algumas vezes diques clásticos de arenito.

O Membro Teresina na área de estudo é composto predominantemente pelas litofácies Siltito intercalado e Ritmito arenoso (Figuras 7 e 8). Na seção colunar P15 na sua porção basal ocorre a presença da litofácies Siltito intercalado composta por siltitos apresentando laminações plano-paralelas, coloração vermelha clara a arroxeada e granulação variando de média com intercalações dadas por camadas de siltitos ou arenito carbonático.

Litofácies e Mineralogia da Formação Estrada Nova no Estado de São Paulo –
Brasil Visando Aplicação na Indústria Cerâmica de Revestimento
Sérgio Ricardo Christofoletti, Carolina Del Roveri & Antenor Zanardo



Figura 8 Litofácies do Membro Teresina; A e B. Litofácies Ritmito arenoso. Detalhe da camada de arenito com cimentação carbonática de coloração esbranquiçada com estratificação cruzada; C. Litofácies Siltito intercalado apresentando estrutura rítmica; D. Camada de silexito; E. Litofácies Siltito intercalado com camadas de calcita paralela ao acamamento; F. Afloramento mostrando o contato entre a litofácies Intercalada e Ritmito arenoso. Em detalhe, camada de siltito arenoso.

Na porção superior, ocorre a litofácies Ritmito arenoso, onde predominam estruturas rítmicas apresentando camadas de arenitos sob as de siltitos arenosos de cor predominantemente clara, granulação média a grossa com cimentação carbonática e espessuras que podem variar de 1 cm na sua base até 0,6 m nas porções de topo. Nestas camadas de arenito carbonático, observou-se a presença de estruturas sedimentares cruzadas de pequeno porte (Figura 8). Observou-se nestas litofácies a presença de arenitos silicificados pós-deposicionais na forma de bolsões/lentes e camadas de silexitos paralelas ao acamamento na porção superior deste membro.

5.2 Mineralogia

5.2.1 Difração de raios X

Dentre os minerais identificados por difração de raios X, o quartzo representou o mineral de silício predominante, ocorrendo em todos os difratogramas com seu pico de maior intensidade em $d=3,34 \text{ \AA}$ e o de segunda maior intensidade dois picos de $4,25$ e $1,82 \text{ \AA}$, seguido do feldspato sódico albita com pico de maior intensidade de $d_1 3,19 \text{ \AA}$ e do feldspato potássico microclíneo com $d_1 3,24 \text{ \AA}$. Dentre os minerais não silicatados, a calcita ocorreu apresentando seu pico de maior intensidade em $d_1=3,04 \text{ \AA}$ e de segunda maior intensidade $2,29 \text{ \AA}$. A hematita representou o óxido presente com ocorrência significante apenas na amostra P2-A1 com pico principal de $d_1=2,70 \text{ \AA}$ e dentre os carbonatos a calcita ocorreu na amostra P15-A2 com $d_1=3,00$. Tabela 1

O argilomineral mais frequente no Membro Serra Alta foi a ílita, apresentando distância interplanar d_1 de 10

 \AA na condição natural e quando submetida ao aquecimento (500°C) e ao tratamento com etilenoglicol, não se alterou mantendo o pico de 10 \AA . Apresentou $d_2=5,02 \text{ \AA}$ e d_3 de $3,34 \text{ \AA}$. Já no Membro Teresina, o argilomineral vermiculita foi o mais frequente, encontrado nas amostras P15-A1 e P15-A2 com pico principal de $d_1 14 \text{ \AA}$ na condição natural e glicolada e quando submetida a queima desapareceu. O segundo argilomineral mais frequente nas seções estudadas foi a caulinita. A caulinita apresentou d_1 de $7,17 \text{ \AA}$ na condição natural e quando submetida ao aquecimento (500°C) o pico desapareceu. O d_2 foi de $3,58 \text{ \AA}$ e $d_3 = 4,37 \text{ \AA}$. Observou-se nas amostras das seções P2 e P11 a formação de estruturas expansivas que tendem a formar argilominerais expansivos do grupo das esmectitas. Os minerais do grupo das esmectitas apresentaram seu pico principal em 15 \AA e quando foram submetidos ao tratamento com etilenoglicol expandiu para 17 \AA . Também foi identificada a clorita na amostra P16-A1 com pico $d_1 14 \text{ \AA}$ nas três condições a qual foi submetida no tratamento (Tabela 1).

A relação entre a composição mineralógica identificada por meio da difração de raios X com as litofácies identificadas serão retratadas nas discussões dos resultados.

5.2.2 Petrografia

De acordo com os estudos petrográficos por meio de microscópio ótico foi possível confirmar a presença de alguns minerais identificados na análise de difração de raios X e nas descrições litofaciológicas realizadas em campo. Também possibilitou verificar as suas dimensões, porcentagens e sua relação de contato entre os grãos,

Altura Relativa do picos d_i em \AA									
Amostras	15 \AA	10 \AA	7 \AA	3,34 \AA	3,24 \AA	3,19 \AA	3,00 \AA	2,88 \AA	2,70 \AA
P2-A1		**		****	**	**			*
P2-A2	**	***		****	**	**	*		
P2-A3	**	***	*	****	**	**	*		
P2-A4	*	***		****					
P15-A1	****	*		****	***	****	*		
P15-A2	**			****	***	**	****	*	
P11-A1	*	***	***	****	**	**	*		
P11-A2		**		****	**	**	*		
P16-A1	**	**	**	****	**	**	*	*	
P16-A2	****	****	*	****	**	**	*	*	
P16-A3	****			****	**	**	*	*	
P16-A4	*	**	*	****	**	**	*	*	

Tabela 1 Quantificação relativa dos minerais presentes por Difração difração de raios X.

Obs. 15 \AA (grupo das esmectitas), 10 \AA (ílita), 7 \AA (caulinita), $3,33 \text{ \AA}$ (quartzo), $3,24 \text{ \AA}$ (microclíneo), $3,19 \text{ \AA}$ (albita), $3,00 \text{ \AA}$ (calcita), $2,88 \text{ \AA}$ (dolomita) e $2,69 \text{ \AA}$ (hematita). Frequência: (*muito baixa), (**baixa), (***)media), (****alta). Espaços vazios ausência.

aspectos importantes para estudos da evolução petrográfica e genética e no entendimento para uso como matéria prima cerâmica. Cabe ressaltar que pela fragilidade das amostras encontradas nas seções estudadas, foram priorizadas coletas de amostras mais resistentes, especialmente camadas de siltitos e arenitos. De acordo com as descrições petrográficas, observou-se na análise modal ora predomínio do arcabouço formado pelo filossilicatos ilita, muscovita e outros menos abundantes perfazendo 60 a 85%, ou pelo mineral quartzo com proporções aproximadas de 70 a 75% das lâminas analisadas. Ocorreu também a presença da calcita, dos feldspatos albita e microclínio, dos óxidos e hidróxidos de ferro, em especial a hematita, fragmentos fósseis, minerais traços (zircão e titanita) e opacos (Figura 9).

A amostra P16-L1 classificada de calcarenito apresentou-se estratificada com textura granular e granulação grossa composta essencialmente de quartzo, feldspato, calcita e elevada quantidade de fragmentos fósseis. Esta camada marca o contato da litofácies Folhelho siltico laminado para a Siltito laminado encontrada em diversas minerações na área de estudo (Figura 9).

A amostra P16-L2 representou uma camada de siltito arenoso encontrada nas litofácies Siltito laminado. Na descrição petrográfica esta camada apresentou textura granular e estrutura laminada compostas por intercalações de bandas argilosas e quartzosas. Estas laminações ricas em filossilicatos (ilita e muscovita) ocorreram intercaladas com camadas de grãos de quartzo e feldspato, com tamanho médio de 0,5 mm. Nas faixas laminadas foram encontrados fragmentos fósseis alongados com comprimento médio de 2 a 3 mm, que provavelmente são carapaças calcárias. Na análise modal os filossilicatos, em especial a ilita perfizeram aproximadamente 60%, seguida do mineral quartzo com 25%, óxido e hidróxido de ferro 10%, feldspatos 3% (Figura 9).

A amostra P16-L3, localizada na parte superior da seção, corresponde a uma camada de arenito. Nas descrições petrográficas, observou-se nesta um arcabouço composto de grãos de quartzo, calcita e feldspato e por uma matriz formada por ilita. A calcita ocorreu na forma de massas compondo o cimento. A presença de cristais de quartzo grandes e bem formados, além da orientação da ilita indicam um processo de recristalização possivelmente dada pela proximidade de corpos intrusivos ou fluidos quentes. Observou-se também a presença de cristais de ilita e calcita neoformadas.

A amostra P16-L4 apresentou estrutura maciça e textura granular uniforme e foi classificada petrograficamente de siltito maciço, confirmando as descrições realizadas em campo. Os filossilicatos ilita e muscovita perfizeram aproximadamente 80% da composição modal e encontraram-se alterados, em meio a cristais de quartzo e feldspatos anedrais (13%). A hematita e a goethita ocorreram associadas encobrendo grãos de quartzo e perfizeram 7%.

6 Discussão

De acordo com os estudos realizados nas rochas da Formação Estrada Nova, as litofácies seguiram a mesma tendência das descritas por Christofoletti *et al.* (2006, 2015) aflorantes na Formação Corumbataí no flanco nordeste do estado de São Paulo, onde as litofácies de topo da Formação Corumbataí seriam equivalentes às da Formação Estrada Nova, exceto pela elevada presença de carbonato.

A descrição e interpretação dos dados obtidos nos trabalhos de campo permitiu a identificação de cinco litofácies na Formação Estrada Nova: Folhelho siltico laminado, Siltito maciço, Siltito laminado, Siltito intercalado e Ritmito arenoso. O aumento da granulação de areia em direção ao topo nas seções estudadas formam padrões de granocrescência ascendente.

Nas seções colunares descritas, o Membro Serra Alta, inicia-se com a litofácies Folhelho siltico laminado de cor cinza apresentando estrutura sedimentar laminada com laminações milimétricas de areia muito fina em contato basal com as rochas da Formação Irati. A litofácies Folhelho siltico laminado passa continuamente para as litofácies Siltito laminado e Siltito maciço. As características litofaciológicas destas indicam que a sedimentação ocorreu em ambientes de baixa energia, abaixo do nível de base das águas em condições de plataforma marinha profunda “*offshore*”. Em direção as porções intermediárias e topo das seções ocorreu um aumento da quantidade de areia onde começou a predominar a litofácies Siltito intercalado de cores esbranquiçadas apresentando estrutura plano-paralelas composta por areia de granulação fina, e camadas de siltitos arenosos ou arenito fino com estrutura sedimentar maciça. De acordo com Sousa (1985), a presença de intercalações delgadas de arenitos finos a muito finos indicam o aparecimento momentâneo de processos de tração em ambiente de baixa energia associado a grandes quantidades de material em suspensão.

Na porção superior da Formação Estrada Nova (Membro Teresina), observou-se um aumento nas intercalações das camadas de arenito com cimentação carbonática de granulação média a grossa em meio a siltitos laminados de granulometria média de coloração avermelhada. As espessuras das intercalações aumentaram em direção ao topo desta unidade chegando até 0,6 m. Essas intercalações são interpretadas como depósitos produzidos por variações da maré, com retrabalhamento por ondas em ambiente de “*shoreface inferior*”. As correntes produzidas pela subida e descida das marés geram fluxos capazes de transportar areia das porções rasas para as mais profundas formando depósitos arenosos. Para Reineck & Sing (1972), Walker (1979) as estruturas cruzadas em sedimentos interlaminados formariam-se a partir da decantação de material em suspensão, provenientes da erosão das partes

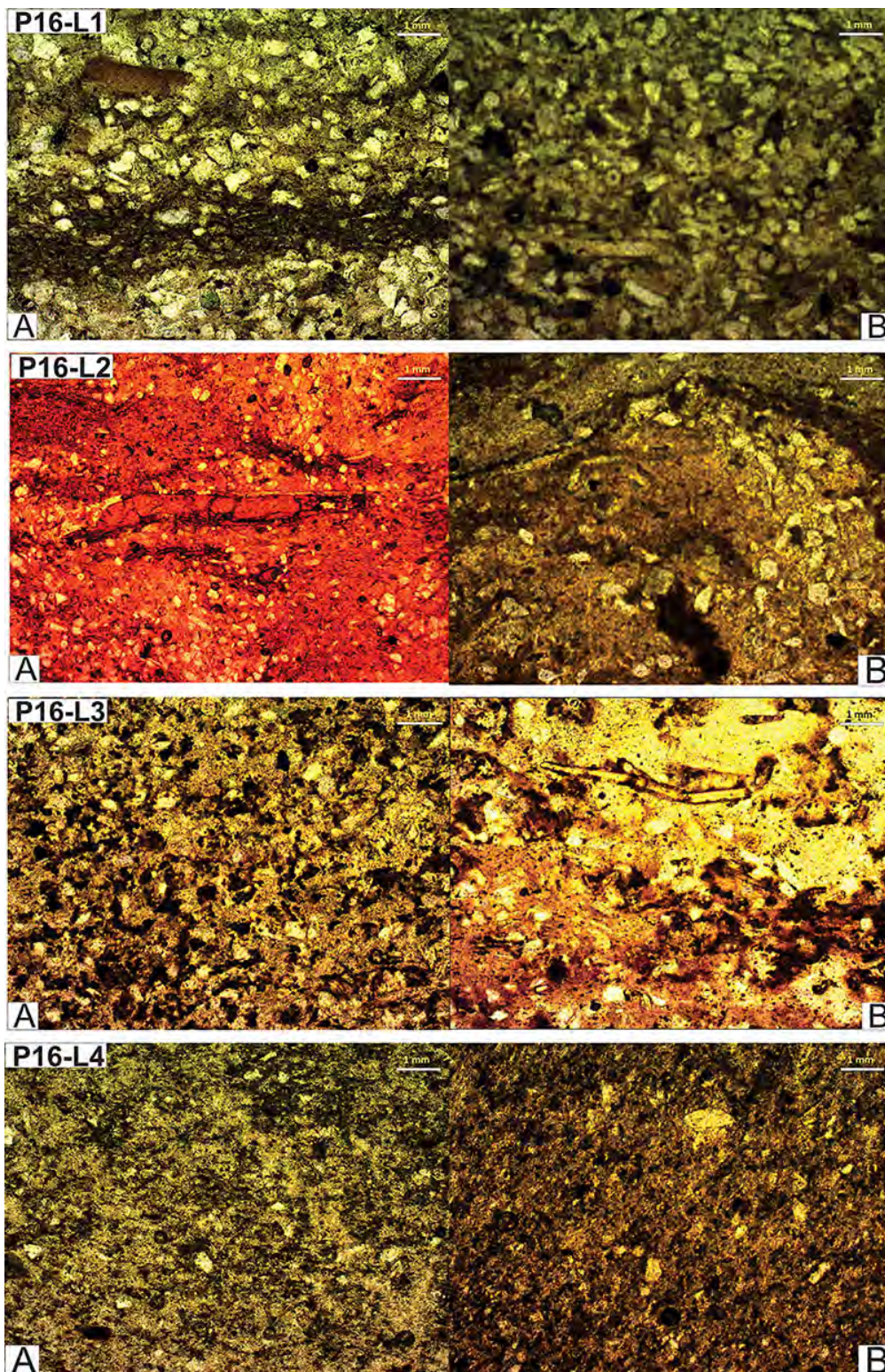


Figura 9 Fotomicrografia da seção P16, Membro Serra Alta. P16-L1. Calcarenito; A. Agregados de filossilicatos recobertos por hematita; B. Fragmentos fósseis arredondados em meio à cristais de quartzo e calcita. P16-L2. Siltito arenoso; C. Detalhe de fragmento fóssil recoberto por óxido de ferro; D. Detalhe de agregado de filossilicatos envolto por cristais de quartzo. P16-L3. Arenito; E. Arcabouço formado por grãos de quartzo e feldspato em matriz de ilita; F. Fragmentos fósseis alongados e concentração de calcita na forma de cimento, recoberta por hematita. P16-L4. Siltito maciço; G e H. Argilominerais em meio a cristais de quartzo.

mais rasas da costas em período de tempestade na parte inferior do “*shoreface*”.

A litofácies Ritmito arenoso encontrada no topo do Membro Teresina indicou um aumento da energia na deposição dos sedimentos, corroborado com a presença de estruturas plano-paralelas, cruzadas indicando fluxos intermitentes com diminuição de energia que davam lugar à decantação. Essas condições sugerem ambiente de “*shoreface*” inferior a intermediário de acordo com Dalrymple (2010).

Concordamos com Warren *et al.* (2015) que descreve que os pelitos/siltitos de cores cinza encontrados na porção basal da Formação Corumbataí no flanco nordeste do estado de São Paulo sejam referidos como Formação Serra Alta, propondo que a Formação Corumbataí seja correlata da Formação Teresina a norte do Domo de Jiboia nas proximidades do município de Rio das Pedras.

Para uso na indústria cerâmica, algumas características encontradas nas descrições litofaciológica aliada a composição mineral identificada por difratometria de raios-X, limitam seu uso como matéria-prima cerâmica. Observou-se nas litofácies Siltito laminado do Membro Serra Alta a presença elevada de feições pós deposicionais tais como: fraturas preenchidas por carbonato, diques de material silico carbonático e diabásio bem como de nódulos, concreções carbonáticas e silexitos.

A presença elevada de camadas de arenito/siltito apresentando cimentação carbonática nas litofácies do Membro Teresina pode diminuir a resistência mecânica e gerar defeitos durante o processo cerâmico quando esta for utilizada como matéria-prima na produção de revestimento cerâmico.

A litofácies Siltito maciço pela sua granulação fina, homogeneidade e ausência de feições pós deposicionais demonstrou ser a mais adequada para ser aproveitada como matéria-prima pela indústria de revestimento cerâmico. De acordo com as litofácies e sua composição mineral, as rochas da Formação Estrada Nova do Membro Serra Alta mostraram-se mais adequadas para serem utilizadas como matéria-prima na produção de cerâmica. Os principais produtos que poderão ser obtidos de acordo com a codificação dos grupos de absorção de água em função dos métodos de fabricação ABNT (1997) são: revestimento “poroso” por meio do processo de moagem “via seco” ou na composição de massa na produção de “grés e porcelanato” pelo processo de moagem via úmida. Também poderão ser utilizadas na composição de massas na produção de produtos da indústria cerâmica estrutural.

6.1 Mineralogia

De acordo com os resultados obtidos pela técnica de difratometria de raios X, as amostras da Formação

Estrada Nova apresentaram composição mineral semelhante as das rochas da Formação Corumbataí descritas por Christofolletti *et al.* (2006), Roveri (2010). Os principais minerais identificados pertencem aos seguintes grupos: tectossilicatos, carbonatos, óxidos e filossilicatos. Os tectossilicatos representaram os minerais mais frequentes nas litofácies da Formação Estrada Nova, sendo o quartzo o dominante, seguido dos feldspatos albita/microclínio ocorrendo em todas as litofácies identificadas. Nas litofácies Folhelho siltico laminado, Siltito laminado, Siltito Maciço e Siltito intercalado do Membro Serra Alta ocorrem o predomínio do mineral quartzo, seguido pelo feldspato albita e do argilomineral illita. Nas litofácies Siltito Intercalado e Ritmito arenoso do Membro Teresina, o quartzo representa o mineral dominante seguido da calcita e do feldspato albita tendo como argilomineral mais frequente a vermiculita.

O quartzo ocorreu em todas as seções estudadas na maioria das vezes na forma disseminada na rocha, compondo a matriz ou na forma de veios ou diques clásticos discordantes ao acamamento da rocha. Na forma detrítica ocorreu disseminado na rocha compondo parte da matriz dos siltitos e folhelhos e no arcabouço dos arenitos. Na forma de veios, o quartzo foi provavelmente precipitado por fluidos hidrotermais que preencheram falhas e fraturas. O quartzo e os demais silicatos perfizeram aproximadamente 60 a 70% de SiO₂ das amostras analisadas. De acordo com Nomura (2013) a cimentação por sílica atuou de forma pervasiva por todo o Membro Teresina. A silicificação teria ocorrido de forma mais intensa durante o início da compactação mecânica, na fase eodiagenética, após cimentação precoce da calcita. Observou-se nas litofácies Ritmito arenoso do Membro Teresina a presença de silexitos paralelos ao acamamento. De acordo com Matos (1995), estas camadas de silexitos teriam origem pós deposicional originada por precipitação química, substituindo porções ou preenchendo poros da rocha hospedeira.

O mineral albita foi o principal feldspato encontrado na Formação Estrada Nova ocorrendo em todas as seções estudadas em proporções semelhantes sempre associado ao microclínio. Do ponto de vista de proveniência, é possível aventar que a área fonte de sedimentos tenha sofrido mudança durante a evolução deposicional da unidade, fornecendo mais feldspatos potássico para o sistema nos estágios intermediários a tardios de sedimentação.

Em relação aos minerais dos grupos dos carbonatos e óxidos, estes ocorreram em menores frequências representados pelos minerais calcita, dolomita e hematita. A calcita ocorreu com maior presença nas seções do Membro Teresina, com destaque para a amostra P15-A1; geralmente associada ao mineral dolomita. Nas descrições petrográficas os carbonatos formaram a matriz em conjunto com outros minerais ou na forma de massa compondo o cimento (Figura 9). É provável que a presença de carbonatos esteja

relacionada a condições climáticas mais secas, quando o suprimento de siliciclastos à bacia era reduzido e as águas se tornavam, provavelmente, mais salgadas, alcalinas e rasas (Rohn, 1994, 2001; Meglhioratti, 2006). De acordo com Nomura (2013) a silicificação dos calcários da Formação Teresina teria ocorrido durante a Eodiagênese e estaria associada a eventos termais. Veios de calcita paralelos ao acamamento (veios *beefsensu* Rodrigues *et al.*, 2009) ocorrem em fácies heterolíticas da Formação Teresina e nos siltitos da Formação Corumbataí.

Nas descrições petrográficas os óxidos e hidróxidos de ferro ocorreram recobrando os filossilicatos e demais minerais (Figura 9). Por difração de raios-X, apenas na amostra P2-A1 foi identificada hematita (Tabela 1).

A precipitação de óxido de ferro, de acordo com Milani *et al.* (1994), teria se originado a partir de um evento pós-deposicional associado à exposição dos estratos superiores da Formação Corumbataí em condições oxidantes durante o amplo ciclo regressivo que se seguiu à deposição da Formação Serra Alta e culminou na superfície erosiva do Eotriássico.

Com relação ao grupo dos filossilicatos ocorreu o domínio de ilita, seguida da montmorilonita, vermiculita e caulinita. Observou-se nas descrições petrográficas, em especial nas camadas de siltitos arenoso e arenitos a presença de muscovita na formação do arcabouço. Zanardo *et al.* (2016) discorre que a presença da muscovita e a biotita ocorrem na Formação Corumbataí, porém na forma detrítica e em pequenas quantidades.

A ilita ocorreu com mais frequência nas porções basais e intermediárias e a caulinita e esmectitas nas porções superiores originadas pela alteração supérgena. A muscovita identificada nas análises microscópicas deve ter origem detrítica que associada aos minerais quartzo, albina e microclínio sugerem origem de alteração de rochas granitoides. A ilita provavelmente tenha origem diagenética e sofreu modificação por processos diagenéticos ou efeitos termais por intrusivas básicas. De acordo com Costa (2006) a ilita representa o principal componente da matriz das rochas da Formação Corumbataí, constituindo em média 50% em volume. Roveri (2010) acredita que o principal argilomineral primário é a montmorilonita do grupo da esmectita, que sofreu ilitização ou cloritização com o decorrer da diagênese.

Nas análises petrográficas com o auxílio do microscópio ótico, observou-se nas camadas de siltitos arenosos/argilosos e arenitos encontradas nas litofácies Siltito laminado, Siltito intercalado e Ritmito arenoso da Formação Estrada Nova a predominância ora de arcabouço formado por filossilicatos (ilita e muscovita), ora formado por grãos de quartzo, feldspato e calcita. A maioria das amostras apresentaram textura granular e estruturas maciça, laminar e estratificada. Os grãos de quartzo e feldspato

apresentaram-se anedrais e detríticos. Os óxido e hidróxido de ferro e manganês ocorreram na forma de concreções e coloides recobrando os filossilicatos e demais minerais. Ocorreram também traços de zircão e titanita, fragmentos fósseis e micro inclusões de apatita em cristais de quartzo, ilita e calcita.

7 Conclusão

Os estudos litofaciológicos e mineralógicos das rochas da Formação Estrada Nova (Membro Serra Alta e Teresina) mostraram que as litofácies identificadas bem como sua composição mineral apresentaram-se semelhantes às encontradas na Formação Corumbataí em outras regiões no estado de São Paulo por Christofoletti *et al.* (2006, 2015). O empilhamento das litofácies da Formação Estrada Nova assemelhou-se a Formação Corumbataí, onde sua porção basal representada pelo Membro Serra Alta apresentou uma granulometria mais fina sendo o argilomineral dominante a ilita; o que tende a apresentar um comportamento cerâmico mais adequado. Já nas porções superiores representadas pelo Membro Teresina, as litofácies apresentaram-se mais heterogêneas, arenosas e carbonáticas o que inviabiliza seu aproveitamento na indústria cerâmica.

Deve-se ressaltar a existência de uma variação lateral regional das rochas aflorantes do Grupo Passa Dois (Formação Corumbataí e Estrada Nova) no estado de São Paulo, resultante dos processos de formação genética diferentes destes depósitos e da localização da sua área fonte, do grau de alteração, das suas características físico-química e geomorfológica, o que torna um fator determinante para seu aproveitamento econômico como matéria-prima cerâmica.

Foram identificadas cinco litofácies: Folhelho siltico laminado, Siltito maciço, Siltito laminado, Siltito intercalado e Ritmito arenoso. A presença da litofácies Folhelho siltico laminado na base do Membro Serra Alta em contato com a Formação Irati não foi observada nas rochas da Formação Corumbataí nos trabalhos descritos por Christofoletti *et al.* (2006, 2015). As litofácies do Membro Teresina apresentaram camadas de arenito como matriz carbonática, o que não é comum nas litofácies de topo da Formação Corumbataí. As estruturas sedimentares das litofácies Folhelho siltico laminado, Siltito maciço e Siltito laminado, sugerem origem por decantação de argila em ambiente redutor relativamente profundo e de águas calmas.

A presença de estruturas sedimentares cruzadas, bem como o aumento da presença de camadas arenosas na porção superior do Membro Serra Alta em contato com o Membro Teresina e mudança marcante na coloração dos pelitos de cinza/pretos para rosa/vermelhos de acordo Warren *et al.* (2015), Rohn (2001) e Sousa (1985) indicam a transformação de um ambiente redutor para oxidante.

Essa mudança na coloração se deu por alteração supérgena através da circulação de fluidos durante a diagênese.

A individualização da Formação Estrada Nova, e sua divisão em Formação Teresina e Formação Serra Alta como uma unidade geológica indivisa carece de estudos faciológicos, estratigráficos, paleontológicos e genéticos mais detalhados. De acordo com os levantamentos litofaciológicos sugere-se que as litofácies do Membro Serra Alta na região Centro-sul sejam correlatas com as da Formação Serra Alta a norte do Domo de Jiboia no flanco nordeste do estado de São Paulo e as do Membro Teresina correlatas com as da Formação Corumbataí. Deve destacar a presença elevada de carbonato nas litofácies de topo do Membro Teresina a qual não ocorre na Formação Corumbataí.

A composição mineral das rochas da Formação Estrada Nova é composta essencialmente por tectossilicatos (quartzo, albita e microclínio) e filossilicatos (ilita, muscovita, caulinita, vermiculita, clorita e esmectita). O quartzo constituiu o mineral dominante nas rochas da Formação Estrada Nova. Dois tipos de feldspato foram identificados (albita e microclínio), ocorrendo em proporções semelhantes de acordo com a altura relativa dos picos. A ilita ocorreu como o argilomineral mais presente no Membro Serra Alta, enquanto no Membro Teresina foi a vermiculita. O carbonato encontrado está na forma do mineral calcita e o óxido no mineral hematita.

As análises da microscopia ótica complementaram a composição mineral obtida por meio da técnica de difração de raios X, onde foi possível visualizar a relação de contato entre os grãos, estabelecendo parâmetros diagenéticos. Também foram importantes para confirmar as descrições litofaciológicas realizadas em campo.

A baixa frequência do mineral feldspato albita e do argilomineral ilita nas litofácies da Formação Estrada Nova restringe seu aproveitamento como matéria-prima única na fabricação de revestimento cerâmico. Estes minerais são considerados fundentes e desempenham uma importante função na aceleração do processo de sinterização durante a queima na produção de revestimento cerâmico. A presença de carbonato em excesso encontrado na forma disseminada compondo a matriz das litofácies aliada a presença elevada de feições sin e pós-deposicionais (veios, nódulos e concreções) prejudicam seu aproveitamento como matéria-prima para a produção de revestimentos cerâmicos.

De acordo com as litofácies e sua composição mineral, as rochas da Formação Estrada Nova mostraram-se mais adequadas para serem utilizadas como matéria-prima na produção de cerâmica de revestimento do tipo “porosa” ou na composição de massa na produção de “grés e porcelanato”.

A posterior caracterização tecnológica cerâmica das rochas da Formação Estrada Nova direcionará sua

aplicação na indústria cerâmica, seja para a cerâmica estrutural, na indústria de revestimento na produção de poroso ou na composição de massa para a produção de grés ou porcelanatos.

8 Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), processo nº 2016/03055-9.

9 Referências

- ABNT. 1997. Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13817. Placas cerâmicas para revestimento – Classificação. Rio de Janeiro.
- Almeida, F.F.M. & Barbosa, O. 1953. Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*, 143:1-96.
- Araújo, L.M. 2001. *Análise da expressão estratigráfica dos parâmetros de geoquímica orgânica e inorgânica nas seqüências Irati*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Tese de Doutorado, 301p.
- Barbosa, O. & Gomes, F.A. 1958. Pesquisa de petróleo na Bacia do Rio Corumbataí, estado de São Paulo. *Boletim da Divisão de Geologia e Minas - DNPM*, 171: 1-40.
- Beurlen, K. 1954. Horizontes fossilíferos das camadas Serra Alta do Paraná. *Boletim da Divisão de Geologia e Minas - DNPM*, 152: 1-30.
- Biondi, J.C. & Furtado, L.I. 1999. Geologia e gênese dos depósitos de caulim Floresta e Cambuí (Formação Campo Alegre – SC): 1. Faciologia e mineralogia das rochas e minérios. *Revista Brasileira de Geociências*, 29(2): 151-156.
- Bondioli, J.G. 2014. *Dinâmica sedimentar, tafonomia e paleoambientes da fácies de offshore da Formação Serra Alta, Permiano, Bacia do Paraná: um estudo de caso no Estado de São Paulo, Brasil*. Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Dissertação de Mestrado, 130p.
- Castro, J.C.; Maciel, U.; Alves, C.F.C. & Grecchi, R.C. 1993. O Grupo Guatá na margem nordeste da Bacia do Paraná: uma revisão. In: SIMPÓSIO SOBRE A CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1, Rio Claro, 1993. *Boletim de Geociências*, Rio Claro, p. 55-56.
- Christofolletti, S.R.; Batezelli, A. & Moreno, M.M.T. 2006. Análise de fácies da Formação Corumbataí (Grupo Passa Dois-Bacia do Paraná, Neopermiano), com vista ao emprego na indústria de revestimento cerâmico. *Revista Brasileira de Geociências*, 36: 115-126.
- Christofolletti, S.R. 2003. *Um modelo de classificação geológico-tecnológica das argilas da Formação Corumbataí utilizadas nas indústrias do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes*. Programa de Pós-graduação em Geologia Regional, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Doutorado. 330p.

**Litofácies e Mineralogia da Formação Estrada Nova no Estado de São Paulo –
Brasil Visando Aplicação na Indústria Cerâmica de Revestimento**
Sérgio Ricardo Christofoletti, Carolina Del Roveri & Antenor Zanardo

- Christofoletti, S.R.; Batezelli, A. & Moreno, M.M.T. 2015. Caracterização geológica, mineralógica, química e cerâmica da Formação Corumbataí nos municípios de Tambaú, Porto Ferreira e Santa Rosa do Viterbo-SP, visando aplicação e diversificação de produtos no Polo Cerâmico de Santa Gertrudes. *Geociências*, 34(4): 24-33.
- Costa, M.N.S. 2006. *Diagênese e alteração hidrotermal em rochas sedimentares da formação Corumbataí, Permiano Superior, Mina Granusso, Cordeirópolis/SP*. Programa de Pós-graduação em Geologia Regional, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Doutorado. 140p.
- Dalrymple, W.R. 2010. Interpreting Sedimentary Successions: Facies, Facies Analysis and Facies Models. In: JAMES, N.P. & DALRYMPLE, R.W. (eds). *Facies Models 4*. Geological Association of Canada, St. John's Nfld, p. 3-18.
- Duque, J.M. 2012. *Fácies carbonáticas da Formação Teresina na borda Centro-leste da Bacia do Paraná*. Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Dissertação de Mestrado. 71p.
- Fúlfaro, V.J. 1970. Contribuição à geologia da região de Angatuba, Estado de São Paulo. Divisão de Geologia e Mineralogia/ Departamento Nacional da Produção Mineral. 120p.
- Hachiro, J. 1996. *O Subgrupo Irati (Neopermiano) da Bacia do Paraná*. São Paulo, São Paulo. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Dissertação de Mestrado. 130p.
- IPT. 1981. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Mapa geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:250.000. Relatório IPT nº 28.545.
- Landim, P.M.B. 1970. O Grupo Passa Dois (P) na Bacia do Rio Corumbataí (SP). *Boletim da Divisão Geologia e Mineralogia, DNPM*, 252: 103p.
- Lavina, E.L. 1991. *Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopermiano e Eotriássico (intervalo Kazaniano – Citiano) da Bacia do Paraná*. Programa de Pós Graduação do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Tese de Doutorado. 332p.
- Maack, R. 1947. Vestígios pré-devonianos de glaciação e a sequência de camadas devonianas no Estado do Paraná. Curitiba, Arquivos de Biologia e Tecnologia (IBPT), V-VI: 197-230.
- Matos, S.L.F. 1995. *O contato entre o Grupo Passa Dois e a Formação Pirambóia na borda leste da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo*. Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Dissertação de Mestrado. 129p.
- Matos, S.L.F. & Coimbra, A.M. 1997. Sucessão de fácies na camada Porangaba, Grupo Passa Dois, estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 27(4): 377-386.
- Meghioratti, T. 2006. *Estratigrafia de seqüências das formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto (Permiano da Bacia do Paraná) na porção nordeste do Paraná e centrosul de São Paulo*. Rio Claro: Programa de Pós-graduação em Geologia Regional, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Doutorado. 134p.
- Mendes, J.C. 1967. The Passa Dois Group. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ESTRATIGRAFIA E PALEONTOLOGIA DO GONDWANA, 1, Curitiba, Problems in Brazilian Gondwana, Curitiba, Universidade Federal do Paraná, p. 119-166.
- Mendes, J.C. 1984. Sobre os paleoambientes deposicionais do Grupo Passa Dois. *Revista do Instituto Geológico*, 5(1-2): 15-24.
- Mezzalira, S. 1980. Bioestratigrafia do Grupo Passa Dois no Estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, 1(1): 15-34.
- Miall, A.D. 1994. *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. Springer-Verlag, New York, 490 p.
- Milani, E.J.; França, A.B. & Schneider, R.L. 1994. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8(1): 69-82.
- Milani, E.J.; Melo, J.H.G.; Souza, P.A.; Fernandes, L.A. & França, A.B. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2): 265-287.
- Moraes Rego, L.F. 1930. A geologia do petróleo no Estado de São Paulo. *Boletim do Serviço Geológico e Mineral Brasileiro*, Rio de Janeiro, 110p.
- Nomura, S.F. 2013. *Hidrotermalismo na Formação Teresina evidenciado por minerais autigênicos e inclusões fluídas*. Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Dissertação Mestrado. 146p.
- Perrota, M.M.; Salvador, E.D.; Lopes, R.C.; D'Agostino, L.Z.; Peruffo, N.; Gomes, S.D.; Sachs, L.L.B.; Meira, V.T.; Garcia, M.G.M. & Lacerda, J.V.F. 2005. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*. Escala 1:750.000. Programa Geologia do Brasil, CPRM, São Paulo.
- Petri, S. & Coimbra, A.M. 1982. Estruturas sedimentares das formações Irati e Estrada Nova (Permiano) e sua contribuição para a elucidação dos seus paleoambientes geradores, Brasil. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 5, Actas 2, 353p.
- Raiswell, R. 1971. The growth of Cambrian Liassic concretions. *Sedimentology*, 17: 147-171.
- Ramos, A.N. & Formoso, M.L.L. 1975. *Argilominerais das rochas sedimentares da Bacia do Paraná*. Rio de Janeiro, Petrobrás, 47p.
- Reed, J.S. 1995. *Principles of Ceramics Processing*. New York, John Wiley & Sons, 658p.
- Reineck, H.E. & Singh, I.B. 1972. Genesis of laminated sand and graded rhytmities in storm-sand layers of shell mud. *Sedimentology*, 18: 123-126.
- Rodrigues, N.; Cobbold, P.R.; Loseth, H. & Ruffeth, G. 2009. Widespread bedding parallel veins of fibrous calcite (beef) in mature source rock (Vaca Muerta Fm, Neuquén Basin, Argentina): evidence for overpressure and horizontal compression. *Journal of the Geological Society of London*, 166(4): 695-709.
- Rohn, R. 1994. *Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná*. Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Tese de Doutorado. 250p.
- Rohn, R. 2001. A estratigrafia da Formação Teresina (Permiano, Bacia do Paraná) de acordo com furos de sondagem entre

**Litofácies e Mineralogia da Formação Estrada Nova no Estado de São Paulo –
Brasil Visando Aplicação na Indústria Cerâmica de Revestimento**
Sérgio Ricardo Christofolletti, Carolina Del Roveri & Antenor Zanardo

- Anhembi (SP) e Ortigueira (PR). In: MELO, J.H.G. & TERRA, G.J.S. (eds.). *Correlação de sequências Paleozóicas Sul-Americanas*. Ciência-Técnica-Petróleo. Seção: Exploração de Petróleo, 20, p. 209-218.
- Rohn, R.; Lourenço A.T.A. & Meghioratti, T. 2003. As formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto no furo de sondagem SP-23-PR (Permiano, Grupo Passa Dois, Borda Leste da Bacia do Paraná). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, II, 2003. Resumos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p.40.
- Roveri, C.D. 2010. *Petrologia Aplicada da Formação Corumbataí (Região de Rio Claro, SP) e Produtos Cerâmicos*. Programa de Pós-graduação em Geologia Regional, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Doutorado. 200p.
- Schneider, R.L.; Muhlmann, H.; Tommasi, E.; Medeiros, R.A.; Daemon, R.F. & Nogueira, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1. Porto Alegre, 1974. Anais, Porto Alegre, SBG, p. 41-65.
- Seilacher, A. 2001. Concretion morphologies reflecting diagenetic and epigenetic pathways. *Sedimentary Geology*, 143(1): 41-57.
- Sousa, S.H.M. 1985. *Fácies sedimentares das Formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo*. Programa de Pós-graduação em Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Dissertação Mestrado, 142p.
- Thomka, J.R. & Lewis, R.D. 2013. Siderite concretions in the Copan crinoid Lagerstätten (Upper Pennsylvanian, Oklahoma): implications for interpreting taphonomic and depositional processes in mudstone successions. *Palaaios*, 28: 697-709.
- Vieira, A.J. 1973. Geologia do centro e nordeste do Paraná e centro-sul de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27. Aracaju, 1973. Anais. Aracaju, SBG, p.259-277.
- Walker, R.G. 1979. *Facies models*. Geological Association of Canada, *Newfoundland*, St. John's, 211p.
- Warren, L.V.; Assine, M.L.; Simões, M.G.; Riccomini, C. & Anelli, L.E. 2015. A Formação Serra Alta, Permiano, no centro-leste do Estado de São Paulo, Bacia do Paraná, Brasil. *Brazilian Journal of Geology*, 45(1): 109-126.
- White, D. 1908. Relatório sobre as “Coal Measures” e rochas associadas do sul do Brasil. Rio de Janeiro, (Relatório Final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil parte I). 300p.
- Zanardo, A.; Navarro, G.R.B.; Montibeller, C.C.; Rocha, R.R.; Moreno, M.M.T.; Roveri, C.D. & Azzi, A.A. 2016. Formação Corumbataí na região de Rio Claro/SP: Petrografia e implicações genéticas. *Geociências*, 35: 322-345.
- Zanardo, A.; Navarro, G.R.B.; Montibeller, C.C.; Rocha, R.R.; Moreno, M.M.T.; Roveri, C.D. & Azzi, A.A. 2017. Geoquímica da Formação Corumbataí na Região de Rio Claro/SP. *Geociências*, 36: 30-47.