



**CARACTERIZAÇÃO FACIOLÓGICA E PETROGRÁFICA DA FORMAÇÃO SANTA
TECLA, RS**

ANA PAULA DE OLIVEIRA DANI

Porto Alegre, 2013

ANA PAULA DE OLIVEIRA DANI

**CARACTERIZAÇÃO FACIOLÓGICA E PETROGRÁFICA DA FORMAÇÃO SANTA
TECLA, RS**

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

Orientadora:

Profa. Dra. Karin Goldberg

Porto Alegre, 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Dani, Ana Paula de Oliveira

Caracterização faciológica e petrográfica da Formação Santa Tecla, RS . / Ana Paula de Oliveira Dani. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2013. [77 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2013.

Orientador: Karin Goldberg

Coorientador:

1. Paleoclimatologia. 2. Faciologia. 3. Petrografia. 4. Formação Santa Tecla. I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Alexandre Ribas Semeler CRB 10/1900

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 -
Porto Alegre - RS - Brasil CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6329 Fax: +55 51 3308-6337

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “**CARACTERIZAÇÃO FACIOLÓGICA E PETROGRÁFICA DA FORMAÇÃO SANTA TECLA, RS**”, elaborada por “ANA PAULA DE OLIVEIRA DANI”, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Profa. Dra. Ana Maria Pimentel Misuzaki

Prof. Dr. Cristianini Trescastro Bergue

Profa. Dra. Maria Luiza Camara da Rosa

AGRADECIMENTOS

- Agradeço primeiramente aos meus queridos pais e irmã, Norberto, Eugênia e Vanessa, que por todos esses anos estiveram ao meu lado e sempre me mostraram o verdadeiro significado das palavras, amor e carinho. Agradeço especialmente ao meu pai e professor Norberto Dani, que mesmo com toda a correria do dia a dia, sempre se dedicou a me ajudar com os desafios da vida acadêmica. Amo vocês!
- Agradeço a minha querida orientadora Profa. Dra. Karin Goldberg, que dedicou seu tempo para me ajudar a concretizar este trabalho, sempre com muito humor e paciência.
- Ao amor da minha vida, Lucas, meu muito obrigada por sempre estar ao meu lado e fazer de mim uma pessoa muito feliz. Sei que contigo a minha vida está mais completa e me considero muito sortuda por ter encontrado uma pessoa tão especial como tu. Eu te amo muito.
- Aos meus colegas de geologia, principalmente da minha turma de formandos, os quais eu considero grandes amigos. Muito obrigada pelo companheirismo e amizade.
- Á todos os colegas e amigos da sala 110: Gabriel, Gustavo, Thammy, Deise, Kelvyn e João. Muito obrigada por terem proporcionado um ambiente de trabalho agradável e pelos inúmeros momentos de descontração nesses últimos quatro anos.
- Á minha querida amiga de infância Greice, pela forma alegre, acolhedora e carinhosa que sempre me tratou.
- Ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que proporcionou todos os recursos necessários para a realização deste trabalho.
- Finalmente, espero ter lembrado de todos que foram importantes e que me auxiliaram durante esses cinco anos de graduação.

*“Viva como se fosse morrer
amanhã. Aprenda como se fosse
viver para sempre”.*

Mahatma Gandhi

RESUMO

Dentro do cenário geológico do Rio Grande do Sul, a Formação Santa Tecla se caracteriza pela carência de estudos sistemáticos, sendo desconhecida sua compartimentação vertical e distribuição lateral de fácies, bem como seu posicionamento estratigráfico. Sabe-se apenas que esta formação se encontra nos pontos mais elevados do relevo atual, na porção sul do Bloco São Gabriel do Escudo Sul Rio-Grandense, discordante sobre todas as outras unidades geológicas aflorantes, e na parte sudoeste deste bloco, sobre rochas granitoides pré-cambrianas. Recobre discordantemente as rochas sedimentares da Bacia do Paraná e da Bacia do Camaquã. O presente estudo envolveu o levantamento de perfis colunares detalhando as fácies da Formação Santa Tecla na região de Bagé, sudoeste do Rio Grande do Sul, visando à caracterização macroscópica e microscópica das pedofácies identificadas. Foi possível identificar três diferentes fácies compostas por: conglomerados maciços, matriz-suportado (fácies 1); arenitos finos a grossos com grânulos e seixos dispersos (fácies 2); e arenitos finos bem selecionados (fácies 3). Quatro pedofácies (A, B, C e D), definidas de acordo com os aspectos composicionais e texturais identificados em campo e em lâminas petrográficas, foram reconhecidas nos perfis estudados. As principais macrofeições identificadas foram a presença de pedotúbulos, cimentação nodular e textura maciça (encontradas nos calcretes e dolocrete) e crostas com diferentes graus de cimentação (silcretes). As microfeições incluem cimento e nódulos, deslocantes ou substitutivos, de calcita e/ou dolomita, preferencialmente com hábito microcristalino e mosaico fino. As fases silicosas são caracterizadas por cimentação, por vezes deslocante, de opala (amplamente recristalizada por calcedônia), calcedônia (fibro-radiada) e raramente quartzo. Técnicas de difratometria de raios-X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram utilizadas com o objetivo de obter maiores informações a respeito dos aspectos composicionais e texturais dos componentes mineralógicos da Formação Santa Tecla. A difratometria de raios-X forneceu fortes evidências da presença de paligorskita, um argilomineral fibroso normalmente associado à calcretes, indicativo de clima árido. Os resultados obtidos permitiram reconhecer depósitos aluviais submetidos a processos de pedogênese, com o desenvolvimento de paleossolos calcários (calcretes e dolocrete) e silicosos (silcretes) sob clima árido.

Palavras-chave: Formação Santa Tecla; faciologia; petrografia, paleoclimatologia.

ABSTRACT

Within the geological context of Rio Grande do Sul, the Santa Tecla Formation is characterized by the lack of systematic studies, being unknown its vertical partitioning and its lateral distribution of facies, as well as its stratigraphic position. It is only known that the Santa Tecla Formation occurs at the highest point of the present relief, at the south portion of São Gabriel Block of Sul Rio-Grandense Shield, discordantly overlying all the geological units that crop out in the region, and in the southwest portion of the block, overlying Precambrian granitic rocks. It covers sedimentary rocks of the Paraná and Camaquã basins. The present study involved the construction of vertical sections detailing the facies of the Santa Tecla Formation in Bage region, southwestern Rio Grande do Sul State, aiming at the macroscopic and microscopic characterization of the identified pedofacies. Three different facies were identified: massive, matrix-supported conglomerates (facies 1); fine- to coarse-grained sandstones with scattered granules and pebbles (facies 2); and well-sorted, massive sandstones (facies 3). Four pedofacies (A, B, C and D), defined according to compositional and textural features identified during field work and petrographic analysis, were recognized. The major macrofeatures identified were the presence of pedotubules, nodular and hardpan cementation (found in calcretes and dolocrete), and crusts with different degrees of cementation (silcretes). The microfeatures included displacive or substitutive, calcite and/or dolomite cement and nodules, preferentially with microcrystalline and fine mosaic habits. The siliceous phases are characterized by cementation, sometimes displacive, of opal (widely recrystallized by chalcedony), chalcedony (fibrous-radiated) and rarely quartz. X-ray diffraction (XRD) techniques and electron microscopy were used in order to obtain more information about the textural and compositional features of mineralogical components of Santa Tecla Formation. XRD analysis gave strong evidence of the presence of palygorskite, a fibrous clay mineral normally associated with calcretes, and indicative of an arid environment. The results obtained allowed to recognize alluvial deposits submitted to pedogenetic processes, with the development of calcareous (calcretes and dolocrete) and siliceous (silcretes) paleosols under arid climate.

Keywords: Santa Tecla Formation, faciology, petrography, paleoclimatology

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Localização da área principal do projeto e mapa geológico simplificado da zona de ocorrência da Formação Santa Tecla (RS). Modificado de CPRM (2006). Os pontos assinalados indicam as áreas visitadas no trabalho de campo. 17
- Figura 2 - Os oito elementos arquiteturais básicos em depósitos fluviais. Modificado de Walker & James (1992). 20
- Figura 3 - Variação dos padrões de canais aluviais. Os quatro principais estilos de canais são meandantes (7, 8, 12, 13), anastomosados (14), entrelaçados (3, 4, 5, 9, 10) e retos (1, 2, 6, 11). Modificado de Walker & James (1992). 23
- Figura 4 - Mecanismos de precipitação em calcretes. Modificado de Walker & James (1991). 27
- Figura 5 - Principais feições e características das assembleias alfa e beta. Modificado de Wright (2007). 30
- Figura 6 - Os seis estágios de formação de um perfil idealizado de calcrete pedogênico. Modificado de Alonso-Zarza & Wright (2010). 34
- Figura 7 - Fenômeno da difração de raios-X nos planos cristalinos. 38
- Figura 8 - Difrátômetro de raios-X Siemens modelo D5000 (Laboratório de Difração de Raios-X - Instituto de Geociências). 39
- Figura 9 - Desenho esquemático da geração do feixe de elétrons disparados na amostra em um MEV e representação da incidência deste feixe sobre a amostra (fonte: dados de pesquisa). 41
- Figura 10 - Aspectos macroscópicos das fácies identificadas. A) Fácies 1: Conglomerado, clasto-suportado, maciço, com grânulos e seixos de até 7 cm. Fácies 2: Arenito médio, maciço, com grânulos e seixos de 1 a 20 mm. B) Fácies 3: Arenito fino, maciço, bem selecionado. 44
- Figura 11 - Aspectos texturais, estruturais e composicionais das pedofácies da Formação Santa Tecla. A) Arenito médio, maciço, bem selecionado, subarcóseo, com cimento deslocante de calcita mosaico fino e crescimento de calcita circum-granular. Lâmina PBT – 50x1. Polarizadores descruzados (//P). B) Arenito médio, maciço, moderadamente selecionado, subarcóseo, com cimento de calcita microcristalina e porosidade móldica. Lâmina PBT – 51x6. (//P). C) Arenito médio, moderadamente selecionado, maciço, com cutículas de argila infiltrada e cimento de composição silicosa. Lâmina PBT – 51x8. Polarizadores cruzados (XP). D) Arenito médio, bem selecionado, subarcóseo, maciço, com cimento de calcita microcristalina. Lâmina PBT – 51x12. (XP). 45
- Figura 12 - Diagrama composicional de Folk (1968) da composição essencial original dos arenitos representativos das pedofácies da Formação Santa Tecla. 46
- Figura 13 - Composição essencial dos arenitos representativos das pedofácies da Formação Santa Tecla plotada no diagrama de Dickinson (1985), ilustrando a proveniência de blocos do interior cratônico soerguido e incipientemente reciclagem orogênica. 46

- Figura 14 - Seção levantada no Corredor dos leiteiros exibindo a localização das fácies e das pedofácies identificadas..... 48
- Figura 15 - Aspecto macroscópico da pedofácies A, Perfil Corredor dos Leiteiros. A) Em afloramento. B) Nódulos carbonáticos esbranquiçados/rosados. C) Pedotúbulos. D) Nódulos coalescentes formando lentes carbonáticas. 49
- Figura 16 - Principais feições e aspectos diagnósticos da pedofácies A. A) Cimento de calcita em mosaico fino deslocante. Lâmina PBT-50x1 (XP); B) Crescimento circum-granular de calcita. Lâmina PBT-50x1 (XP); C) Nódulos discretos de calcita microcristalina. Lâmina PBT-50x1 (//P); D) Nódulos de calcedônia fibro-radiada substituindo calcita em mosaico. Lâmina PBT-50x1 (XP). 50
- Figura 17 - Seção levantada na Fazenda Bela Vista exibindo a localização das fácies e das pedofácies identificadas..... 51
- Figura 18 - Aspecto macroscópico da pedofácies B, Perfil Fazenda Bela Vista. A) Em afloramento. B) Nódulos de coloração esbranquiçada/amarronada. 52
- Figura 19 - Principais feições e aspectos diagnósticos da pedofácies B. A) Cutícula contínua de argila infiltrada. Lâmina PBT – 51x6 (//P); B) Cimento de calcita parcialmente substitutivo. Lâmina PBT – 51x6 (XP); C) Nódulo deslocante de calcita microcristalina. Lâmina PBT – 51x6 (seta vermelha, //P); D) Porções não cimentadas, predominantemente circulares. Lâmina PBT – 51x2 (//P); E) Porosidade intergranular. Lâmina PBT – 51x4 (//P); F) Poros móldicos (seta vermelha, //P). Lâmina PBT – 51x6..... 53
- Figura 20 - Aspecto macroscópico da pedofácies C, Perfis Corredor dos Leiteiros e Fazenda Bela Vista. A) Em afloramento. B) Cimentação silicosa heterogênea. C) Porções completamente silicificadas. D) Geodo milimétricos..... 55
- Figura 21 - Principais feições e aspectos diagnósticos da pedofácies C. A) Cutícula contínua de argila infiltrada parcialmente substituída por sílica (seta vermelha). Lâmina PBT – 51x8 (XP); B) Cimento deslocante de calcedônia, como franjas e preenchimento de poros. Lâmina PBT – 51x8 (XP); C) Heterogeneidade do grau de cimentação silicosa. Lâmina PBT – 51x8 (//P); D) Nódulo deslocantes de calcedônia. Lâmina PBT – 51x8 (XP); E) Poro vugular parcialmente preenchido por opala. Lâmina PBT – 51x8 (seta vermelha, //P). F) Porosidade intergranular. Lâmina PBT – 50x6 (//P). 56
- Figura 22 - Aspecto macroscópico da pedofácies D, Perfil Fazenda Bela Vista. A) Em afloramento. B) Nódulo rosados/esbranquiçados. C) Cavidades milimétricas. D) Porções friáveis. 57
- Figura 23 - Principais feições e aspectos diagnósticos da pedofácies D. A) Prováveis argilominerais do grupo da paligorskita (seta vermelha). Lâmina PBT – 51x12 (XP). B) Cimento de dolomita microcristalina. Lâmina PBT – 51x12 (XP). C) Cimento de dolomita parcialmente substitutivo. Lâmina PBT – 51x12 (XP); D) Poro vugular parcialmente preenchido por dolomita romboédrica. (//P); E- F) Romboedro de dolomita parcialmente dissolvida em poro vugular (XP - //P). 59
- Figura 24 - Difratoograma múltiplo da seção Corredor dos Leiteiros revelando a presença dos picos pertencentes aos argilominerais do grupo das esmectitas e paligorskita e dos minerais de quartzo, calcita, feldspato e opala CT. 66

- Figura 25 - Difratoograma múltiplo da seção Fazenda Bela Vista revelando a presença dos picos pertencentes aos argilominerais do grupo das esmectitas e de paligorskita e dos minerais de quartzo, calcita, dolomita e feldspato..... 66
- Figura 26 - Detalhe do deslocamento (“*shift*”) da linha de difração mais intensa da calcita.. 67
- Figura 27 - Detalhe do deslocamento (“*shift*”) da linha de difração mais intensa da dolomita.
..... 67
- Figura 28 - Resultado da análise por EDS. A) Localização dos pontos analisados. B, C, D) Espectro e tabela composicional semi-quantitativa do ponto 1153, 1152 e 1154..... 70
- Figura 29 - Fotomicrografia exibindo a presença de feições onduladas e alongadas (setas vermelhas), podendo indicar a presença de argilominerais do grupo da paligorskita. 70
- Figura 30 - Resultado da análise por EDS. A) Localização do ponto analisado. B) Espectro e tabela composicional semiquantitativa do ponto 1150. 72
- Figura 31 - Resultado da análise por EDS. A) Localização do ponto analisado. B) Espectro e tabela semiquantitativa composicional do ponto 1156. 72
- Figura 32 - Resultado da análise por EDS. A) Localização do ponto analisado. B) Espectro e tabela composicional semiquantitativa do ponto 1158. 73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Elementos arquiteturas em depósitos aluviais. Modificado de Miall (1985)..... 21

Tabela 2: Tipos morfológicos de horizontes de calcretes. Modificado de Wright (1991)..... 27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICO	15
1.2 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO.....	16
2 REVISÃO CONCEITUAL	18
2.1 SISTEMAS ALUVIAIS	18
2.2 CALCCRETES	25
3 METODOLOGIA.....	35
3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
3.2 COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS	36
3.2.1 Etapa pré-campo	36
3.2.2 Etapa de campo.....	36
3.2.3 Etapa de laboratório.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1 PEDOFÁCIES.....	42
4.1.1 DISCUSSÃO GERAL DAS PEDOFÁCIES.....	60
4.2 COMPARAÇÕES DA FORMAÇÃO SANTA TECLA COM OS MEMBROS ECHAPORÃ E SERRA DA GALGA (FORMAÇÃO MARÍLIA, GRUPO BAURU)	62
4.3 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X	64
4.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	68
5 CONCLUSÕES	74
REFERENCIAS.....	76
ANEXOS	79

1 INTRODUÇÃO

A Formação Santa Tecla constitui uma unidade sedimentar que ocorre de forma expressiva na porção sudoeste do Escudo Sul-rio-grandense, aflorando como uma unidade de cobertura do relevo destacando-se e sustentando a topografia local. Esta formação carece de estudos sistemáticos e de dados geológicos básicos, como sucessão vertical de fácies, distribuição lateral e posicionamento estratigráfico, dificultando sua caracterização e sua individualização dentro do cenário geológico do Rio Grande do Sul.

A Formação Santa Tecla foi descrita primeiramente por Carvalho (1932) na Serra de Santa Tecla, a nordeste da cidade de Bagé. Carvalho (1932) identificou uma sequência formada por arenitos cavernosos, de cor branca, endurecidos por silicificação, ou friáveis e ferruginosos, contendo seixos de quartzo sobrepostos a folhelhos estratificados, fraturados, com cores variando do cinza ao amarelo. A esta sequência, Carvalho (1932) propôs a designação Formação Santa Tecla e a interpretou como um silcrete (Carvalho, 1932). Posteriormente Leinz (1941) descreveu a ocorrência de um pacote de 20 m de espessura composto por arenitos finos, conglomerados silicificados e calcificados a noroeste da cidade de Bagé, na Estação São Domingos. Beurlen & Martins (1956) atribuíram idade carbonífera à Formação Santa Tecla, pois a relacionaram com o Grupo Itararé da Bacia do Paraná.

Formoso e Willig (1966), trabalhando nas regiões de Bolena e Olhos D'Água na Serra do Arvorito, identificaram clara discordância erosiva entre arenitos e conglomerados da Formação Santa Tecla e os pelitos da Formação Palermo. Os autores também identificaram que os sistemas de falha de direção nordeste que atravessam as formações da Bacia do Paraná não afetaram os sedimentitos da Formação Santa Tecla.

Horbach *et al.* (1986) associou a Formação Santa Tecla a pequenas bacias localizadas e condicionadas por um clima quente, sugerindo classificá-la como uma unidade edafoestratigráfica. Justus *et al.* (1986) relacionam a deposição desta formação à instalação de uma proto drenagem, que surgiu a partir dos processos de aplainamento que moldaram a superfície cimeira Caçapava/Vacaria (Ab'Sáber, 1969; Justus, *op. cit.*), correlacionável com a superfície Japi (Almeida, 1967) ou Sul Americana (King, 1956). Posteriormente, durante uma fase de estabilidade tectônica, em ambiente de baixa energia, a parte superior da Formação Santa Tecla foi atingida por intenso processo de silicificação.

1.1 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICO

O presente trabalho tem como principal objetivo a obtenção de novos dados sobre a Formação Santa Tecla. O estudo consistiu no levantamento de perfis e seções estratigráficas, visando à análise faciológica e a interpretação dos ambientes deposicionais, além da coleta de amostras para os estudos petrográficos e para as análises de difratometria de raios-X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Os objetivos específicos foram:

- 1) Elaborar perfis estratigráficos determinando fácies, associações de fácies, ambiente deposicional e superfícies estratigráficas limítrofes.
- 2) Identificar em lâmina delgada os constituintes primários, diagenéticos e porosidade nas diferentes fácies definidas durante o estudo.
- 3) Em fragmentos de rocha e/ou diretamente sobre as lâminas delgadas, estudos mineralógicos e de fábrica através da microscopia eletrônica de varredura.
- 4) Estudos de difratometria de raios-X (XRD) nas amostras representativas do perfil, com o objetivo de complementar a caracterização da mineralogia e as informações obtidas nas etapas anteriores.

1.2 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO

A Formação Santa Tecla se encontra nos pontos mais elevados do relevo atual e está situada na porção sul do Bloco São Gabriel do Escudo Sul Rio-Grandense, sustentando a topografia nos locais em que ocorre. Esta unidade está depositada de forma discordante sobre todas as outras unidades geológicas aflorantes. Ocorre discordantemente sobre rochas granitoides pré-cambrianas, e recobrimo rochas sedimentares da Bacia do Paraná e da Bacia do Camaquã (Fig. 1).

A área principal do presente projeto está localizada no município de Bagé, situado a sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. Os afloramentos detalhados faciologicamente e petrograficamente estão representados pelos pontos 1 e 11 destacados em vermelho no mapa (Fig. 1). Esses dois pontos, designados Corredor dos Leiteiros (ponto 1) e Fazenda Bela Vista (ponto 11), foram escolhidos por serem representativos da Formação Santa Tecla na região estudada.

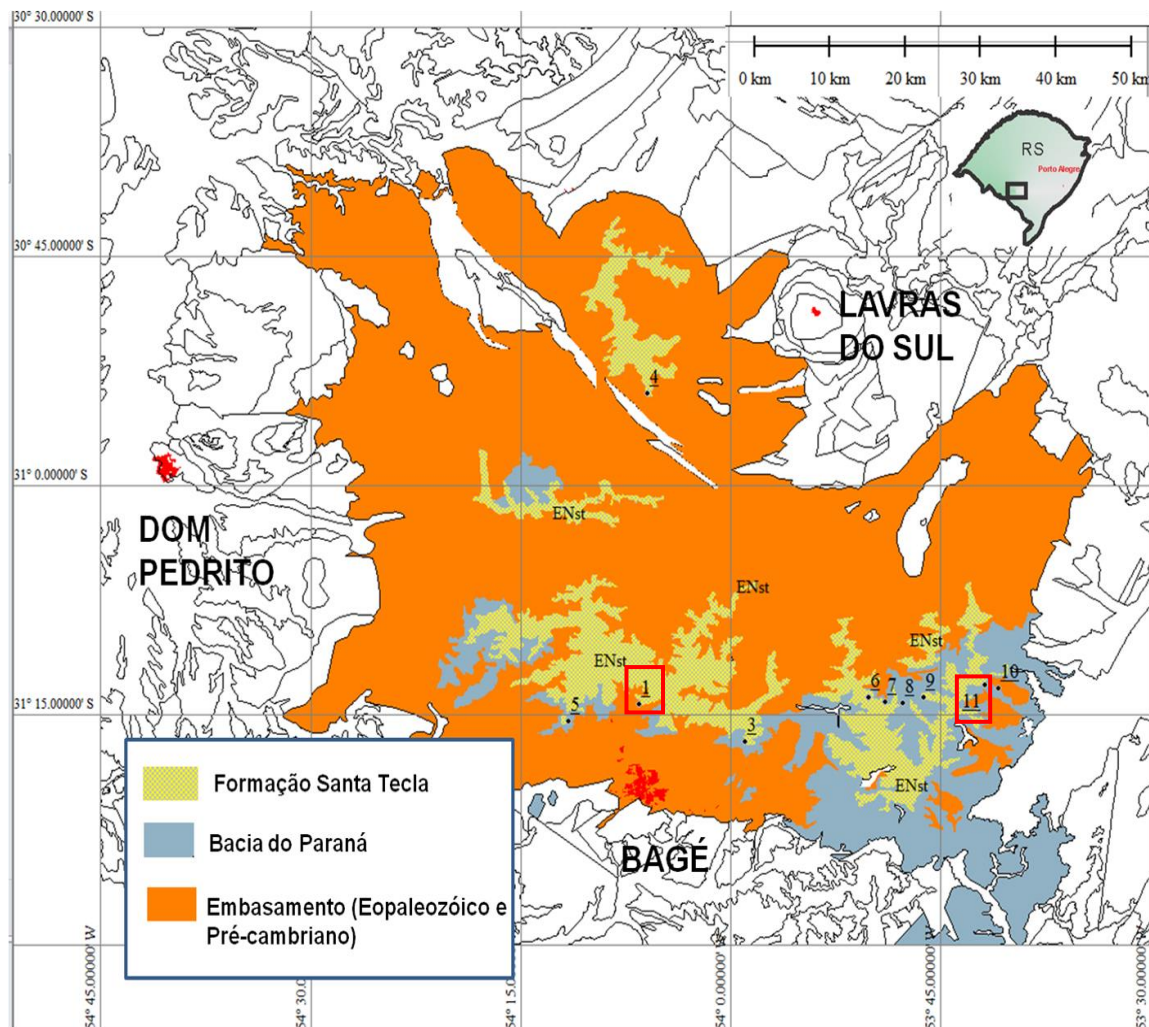


Figura 1 - Localização da área principal do projeto e mapa geológico simplificado da zona de ocorrência da Formação Santa Tecla (RS). Modificado de CPRM (2006). Os pontos assinalados indicam as áreas visitadas no trabalho de campo.

2 REVISÃO CONCEITUAL

Neste capítulo são apresentados conceitos básicos considerados elementares para a compressão e o entendimento do presente trabalho. Dentre os temas abordados, destacam-se:

2.1 SISTEMAS ALUVIAIS

Os depósitos aluviais ocorrem em uma grande diversidade de ambientes tectônicos e são importantes indicadores da ação de controles alogênicos, como tectonismo e mudanças no nível do mar, representando, portanto, um sistema de fundamental importância no registro estratigráfico (Walker & James, 1992). Este ambiente deposicional também abriga uma importante fonte de recursos não renováveis como carvão, petróleo, ouro e urânio.

Os sedimentos aluviais são predominantemente clásticos e apresentam uma ampla variedade no tamanho de grão, podendo variar de silte e argila a conglomerados. Sedimentos químicos e orgânicos como carbonatos, carvão e evaporitos ocorrem em proporções menores, em depósitos relacionados à planície de inundação.

Transporte de sedimentos

Nos rios os sedimentos são transportados basicamente por dois mecanismos: fluxos gravitacionais de sedimento e correntes trativas (Walker & James, 1992). Os grãos menores, incluindo a fração argila, são transportados em suspensão, depositando-se apenas em locais em que ocorra estagnação do corpo d'água e assentamento gravitacional das partículas, como em planícies de inundação ou em canais abandonados. Os grãos maiores são transportados por

fluxos gravitacionais ou por correntes trativas através de rolamento e deslizamento, ou ainda por saltação. A fração areia pode migrar na forma de marcas onduladas e/ou dunas, formando laminações e estratificações cruzadas que auxiliam na definição das diferentes fácies.

A eficácia do transporte de sedimentos em meio aquoso é representada por dois fatores: competência e capacidade. O nível de competência é determinado a partir da avaliação do tamanho de grão que o meio consegue transportar, estando relacionado com a força do fluxo (velocidade, tensão de cisalhamento). A capacidade é determinada a partir do volume total de sedimento que pode ser transportado, sendo um reflexo da magnitude da descarga (Walker & James, 1992).

Elementos arquiteturais

Os depósitos aluviais podem ser divididos em canais fluviais e áreas externas aos canais (Miall, 1985, 1988 *apud* Walker & James, 1992). Os canais fluviais são preenchidos por uma grande variedade de barras e formas de leito que podem exibir diversos tipos de estratificações. No entanto existem padrões comuns de composição e geometria de pacotes sedimentares (independente do estilo de canal) que possibilitam aos sedimentólogos o estabelecimento de classificações padronizadas dos tipos de depósitos. A análise dos diferentes tipos de fácies é utilizada na classificação dos tipos de depósitos, enquanto que em uma escala maior, diferentes assembleias de fácies são agrupadas em elementos arquiteturais, caracterizados por diferentes formas e geometrias internas, que representam os principais componentes de um sistema fluvial.

Quatro principais tipos de canais fluviais podem ser classificados a partir do reconhecimento das diferentes fácies e da subsequente interpretação da sucessão de fácies e dos elementos arquiteturais: canais fluviais retos, meandrantas, entrelaçados e anastomosados (com algumas variações entre esses principais tipos de canais fluviais).

Os canais e áreas externas ao canal são os elementos deposicionais básicos dos rios e podem ser divididos de acordo com os seus elementos arquiteturais (Allen, 1983; Ramos e Sopeña, 1983 *apud* Walker & James, 1992). Miall (1985, 1988 *apud* Walker & James, 1992) propôs oito tipos básicos de elementos arquiteturais (Fig. 2) que representam os efeitos cumulativos dos processos fluviais erosionais e deposicionais em períodos de dezenas de milhares

de anos (tabela 1). Estes oito elementos podem ser agrupados em assembleias de elementos arquiteturais para a determinação dos diferentes estilos de canais.

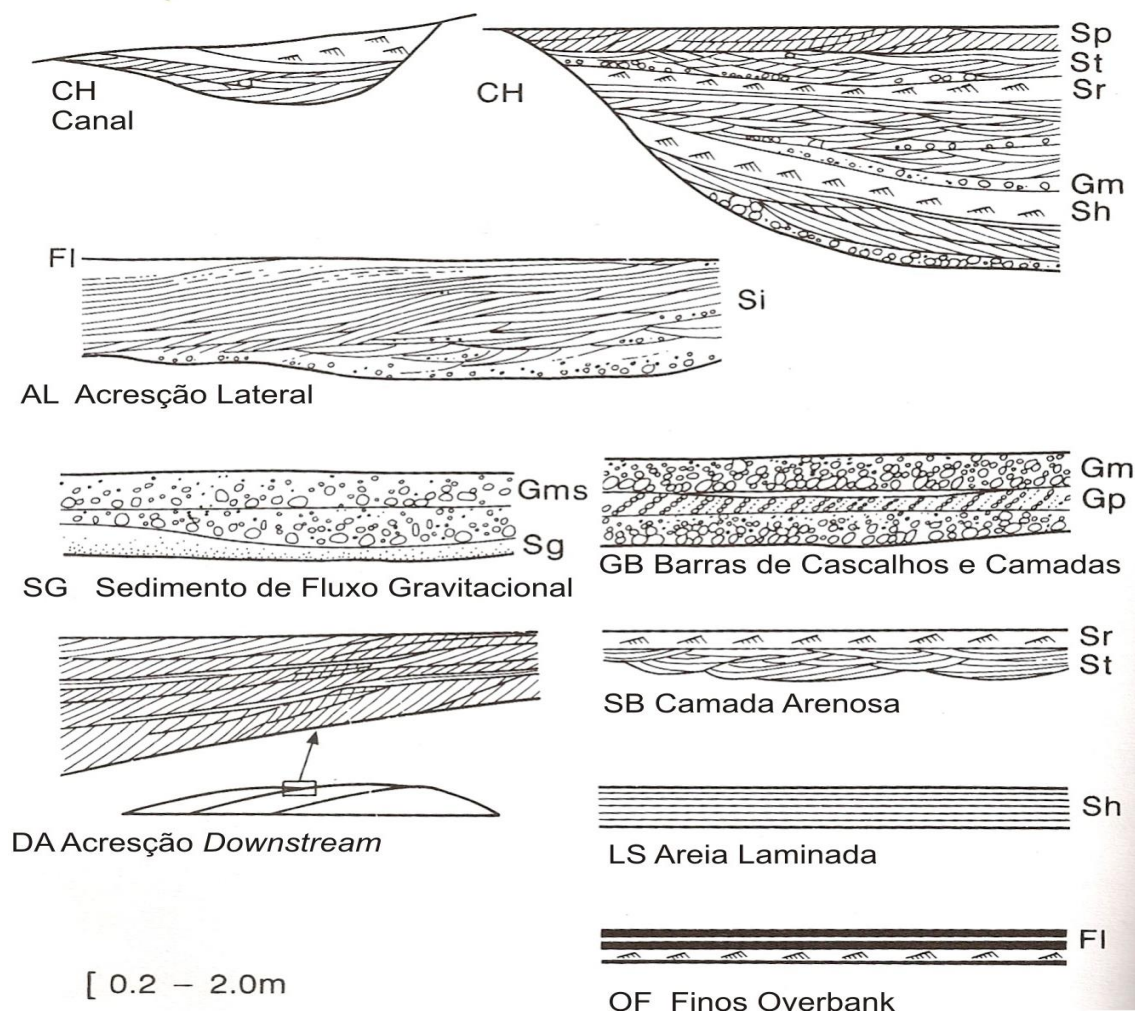


Figura 2 - Os oito elementos arquiteturais básicos em depósitos fluviais. Modificado de Walker & James (1992).

O elemento de acreção lateral (LA) varia de 2 m a 25 m de espessura e é assim denominado por apresentar o sentido de acreção de sedimentos em alto ângulo com o sentido principal do canal. Depósitos em barras de pontal são exemplos deste elemento arquitetural, típicos de canais meandrantés, desenvolvendo-se nas porções internas da curvatura do meandro, onde a velocidade do fluxo é reduzida. Com o decorrer desta acreção a sinuosidade do meandro pode aumentar, resultando na separação e abandono do meandro pelo canal principal.

Os depósitos de acreção frontal (*dowsntream* DA) são característicos dos sistemas fluviais entrelaçados. Este elemento apresenta como característica

fundamental a presença de vários *cosets*, depositados pela migração do leito do rio, dinamicamente relacionados entre si por uma hierarquia de superfícies internas delimitadoras.

O elemento CH pode ser interpretado como preenchimento de canais menores com escala altamente variada, depositados dentro de um cinturão de canais, limitados por superfícies côncavas. Os fluxos gravitacionais de sedimento (SG) são comuns em alguns leques aluviais proximais e são interpretados como amalgamações de sucessivos episódios de fluxo de detritos. As barras arenosas (SB) geralmente apresentam afinamento em direção ao topo e são formadas através de migração e cavalgamento de dunas subaquosas, exibindo, portanto, depósitos com geometria interna em lente ou em lençol. O elemento LS é formado durante um regime de fluxo superior (fluxos torrenciais em ambientes áridos) e é composto por corpos com geometria em lençol formados por complexos amalgamados de estratos plano-paralelos ou de baixo ângulo. Os fluxos gravitacionais de sedimento (OF) são altamente variáveis e suas características dependem essencialmente dos fatores climáticos. Em regiões mais áridas a alternância entre evaporação e infiltração de água pluvial concentra carbonatos e silicatos dissolvidos, levando a formação de calcretes nodulares e silcretes. Por último as barras arenosas (GB) são interpretadas como barras longitudinais cascalhosas e são constituídas por corpos tabulares ou em lentes formados por complexos amalgamados de *sets* de estratos cruzados.

Tabela 1: Elementos arquiteturais em depósitos aluviais. Modificado de Miall (1985).

Elemento	Símbolo	Principal assembleia de fácies (<i>Facies classification</i> de Miall, 1978b)	Geometria e relações
Canais	CH	Qualquer combinação	Geometria lenticular; base erosiva com concavidade para cima; escala e forma muito variável; presença comum de superfícies internas de erosão de terceira ordem com concavidade para cima.
Barras cascalhosas	GB	Gm, Gp, Gt	Geometria lenticular ou em lençol (<i>blanket</i>); corpos geralmente tabulares; comumente intercamadado com SB.

Barras arenosas	SB	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Geometria lenticular, em lençol (<i>blanket</i>), em cunha; ocorrem como preenchimento de canais, rompimento de canal (<i>crevasse splay</i>), secundariamente em barras.
Macroformas de acreção frontal (<i>downstream</i>)	DA	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Lentes depositadas em uma base plana ou em canal, com superfícies internas de erosão de terceira ordem convexas para cima e superfícies limítrofes superiores de quarta ordem.
Macroforma de acreção lateral	LA	St, Sp, Sh, Sl, Se, Ss, menos comum Gm, Gt, Gp	Geometria em cunha, em lençol (<i>sheet</i>), lobada; caracterizado por superfícies internas de acreção lateral de terceira ordem.
Fluxo gravitacional de sedimento	SG	Gm, Gms	Lobada, em lençol (<i>sheet</i>) tipicamente intercamadado com GB.
Camada de areia laminada	LS	Sh, Sl; secundariamente Sp, Sr	Geometria em lençol (<i>sheet</i>)
Finos de <i>overbank</i>	FF	Fm, Fl	Lençóis finos a espessos; comumente intercamadados com SB; pode preencher canais abandonados.

Variações nos estilos de canais e suas causas

Na natureza existe uma grande variedade de agentes que controlam o tipo de canal existente, sendo o clima, a quantidade e variabilidade de descarga, a granulometria do sedimento, a declividade do relevo e a taxa de subsidência os fatores controladores mais relevantes. Deste modo é possível imaginar a grande variedade de estilos deposicionais que compõem os sistemas fluviais (Fig. 3). Miall (1985 *apud* Walker & James, 1992), através de estudos da arquitetura fluvial atual, ilustrou doze estilos de canais fluviais, demonstrando que os mesmos não se limitam aos quatro principais tipos representados pelos canais anastomosados, meandranes, retos e entrelaçados. Ocorre, portanto, uma gama de variações entre esses quatro padrões principais. Para fins deste trabalho, esta revisão abordará

apenas os tipos de canais mais comuns, representados pelos padrões anastomosados, meandranter e entrelaçados acima citados. O canal do tipo reto é muito pouco significativo na natureza e, por este motivo, também não será detalhado nesta revisão.

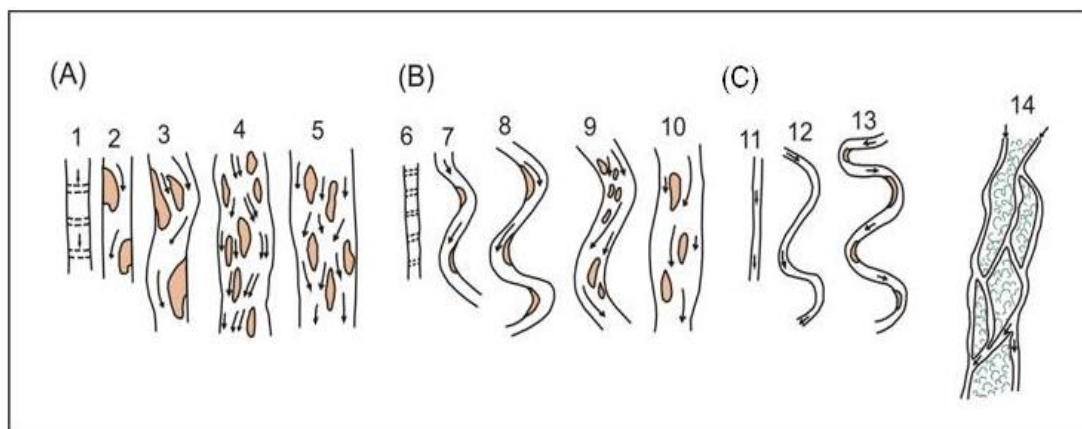


Figura 3 - Variação dos padrões de canais aluviais. Os quatro principais estilos de canais são meandranter (7, 8, 12, 13), anastomosados (14), entrelaçados (3, 4, 5, 9, 10) e retos (1, 2, 6, 11). Modificado de Walker & James (1992).

Os canais entrelaçados apresentam uma grande quantidade de barras e ilhas que representam um armazenamento sedimentar temporário em transportes corrente abaixo. Uma das causas deste armazenamento é a presença da grande quantidade de suprimento sedimentar transportada pelo rio, que resulta na suplantação de sua capacidade de transporte e na conseqüente acumulação do sedimento. A descarga altamente variável do canal é outro fator que favorece o padrão fluvial entrelaçado. Este processo ocorre durante um período de alta descarga do rio, ocasionando o aumento de sua capacidade e competência, porém este desempenho não é mantido. Ao cessar este evento, o acúmulo de barras e ilhas é favorecido.

Os rios anastomosados e meandranter transportam sedimentos de granulometria mais fina e ocorrem particularmente em terrenos com declive mais suave. No estilo de rio anastomosado, a quantidade de canais com sinuosidade variável é abundante, e ocorrem de forma amplamente estável em sua posição de origem, sem que haja migração lateral como nos rios meandranter. A vegetação é um importante controle do estilo de canal, uma vez que quando é abundante ao longo das margens estabiliza as mesmas, dificultando a formação de canais de estilo entrelaçado.

Nas bacias aluviais os rios proximais tendem a ser entrelaçados, enquanto que os rios mais distais, principalmente os formados em ambientes úmidos, tendem a desenvolver padrão meandrante. Os rios anastomosados também são formados preferencialmente nas porções distais, mas podem ser proximais quando este atravessa uma área submetida a suave soerguimento tectônico.

Leques aluviais e *fan* deltas

Um leque aluvial é um sistema fluvial distributário, formado quando os rios migram de um ambiente confinado (vale da montanha) para um ambiente aberto. Os leques se originam a partir de um canal alimentador e distribuem-se em uma série de distributários, embora apenas um ou dois canais fiquem permanentemente ativos (Walker e James, 1992). Um *fan* delta é um leque aluvial que prograda diretamente para dentro de um corpo d'água (mar ou lago; Nemec & Steel, 1988 *apud* Walker e James, 1992). Eventualmente podem ocorrer eventos de transbordamento de canais, normalmente durante um evento de alta descarga, que resulta na deposição de sedimentos em porções de declividade mais abrupta, promovendo a construção da forma lobada típica dos depósitos em leques.

Os depósitos de leque aluvial e *fan* delta, para muitos geólogos, estão diretamente vinculados à presença de sedimentos de granulação grossa depositados em canais entrelaçados. Esses sedimentos podem estar atribuídos a elementos arquiteturais do tipo GB, ocorrendo ou não intercamadado com depósitos de sedimentos de fluxo gravitacional (elemento SG). O elemento GB se desenvolve nestes ambientes através da formação de lençóis cascalhosos baixos e pela migração de formas de leito cascalhosas. No entanto, embora típicas deste ambiente de leques, as fácies cascalhosas não são as únicas representativas deste sistema deposicional. Existem muitos exemplos de leques, tanto recentes quanto antigos, que podem gradar de conglomerados grossos a montante para arenitos sílticos e lamosos na sua extremidade distal. Neste tipo de sistema também é comum a formação de lobos e lençóis SG, indicando a ocorrência de evento catastrófico de alto fluxo em áreas predominantemente pouco vegetadas, onde há poucos obstáculos capazes de conter as rápidas descargas formadas por fortes enxurradas.

Tectonismo e sistemas aluviais

Os depósitos aluviais são indicadores sensíveis de processos alogênicos, como tectonismo e mudanças no nível de base. Por este motivo, a análise destes controles é essencial durante o estudo de bacias preenchidas por depósitos fluviais. O processo tectônico é importante na formação dos depósitos aluviais e as sucessões mais espessas ocorrem em bacias do tipo rifte (inclusive aulacógenos), *forearc*, *retroarc*, *foreland* e *strike-slip*.

Os depósitos próximos à área fonte (proximais) podem atingir grande espessura e comumente são estruturalmente deformados e soerguidos, indicando que o tectonismo que atingiu a área fonte ainda estava ativo durante o processo deposicional. Os processos de soerguimento tectônico também podem promover a erosão dos sedimentos mais antigos da bacia que, mais tarde, podem ser novamente incorporados a um novo ciclo de preenchimento da bacia. Por este motivo é comum os depósitos proximais exibirem espessos ciclos deposicionais formados durante o tectonismo ativo. Os depósitos no centro da bacia (distais) não sofrem grandes influências dos processos tectônicos, porém estes podem ocorrer interdigitados com depósitos marinhos rasos ou lacustres que, indicam forte influência das flutuações do nível de base.

Nas bacias intracratônicas há registros de significativas acumulações que chegam a espessuras com mais de 4 km, como em bacias localizadas na Plataforma Russa (Proterozóico superior a Cenozóico) (Miall, 1999). A estratigrafia em plataformas e bacias cratônicas é dominada por sistemas deposicionais rasos e amplos, e é marcadamente afetada pelos padrões de ciclicidade regional e global.

2.2 CALCRETES

Calcrete é um termo geral dado a acumulações terrestres, formadas próximas à superfície, predominantemente compostas por carbonato de cálcio (Wright e Tucker, 1991). Estas acumulações, que ocorrem de várias formas (desde finas a nodulares, laminar a maciça) resultam da introdução de carbonato de cálcio em perfis de solo, consolidados ou não, onde as águas vadasas e subterrâneas tornam-se saturadas neste composto químico (Wright & Tucker, 1991 *apud* Wright, 2007). O termo dolocrete é usado quando a principal fase carbonática é constituída

por dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), cuja formação está em grande parte limitada a ambientes lacustres e solos (Colson & Cojan, 1996).

Existem várias classificações de calcrete, podendo ser baseada na morfologia, nos estágios de desenvolvimento ou no tipo de microestruturas (Wright & Tucker, 1991), porém uma distinção fundamental deve ser feita entre calcretes formados em perfis de solo (calcretes pedogênicos), dentro da zona vadosa, e os formados na zona de variação do lençol freático (calcretes freáticos), em profundidades que podem chegar a dezenas de metros (Wright, 2007). Os calcretes pedogênicos ocorrem em horizontes dentro de solos e paleossolos, especialmente os do tipo Aridissolos (solos desérticos), Vertissolos (solos argilosos) e Mollissolos (solos com vegetação gramínea) (Wright & Tucker, 1991). Os calcretes freáticos são formados em torno de franjas capilares do lençol freático ou abaixo desta zona, devido à migração lateral da água. O processo de formação desses calcretes ocorre a partir da precipitação de águas subterrâneas, ocasionalmente, sob a influência de plantas freatofíticas, daí o nome “calcrete freático” (Alonso-Zarza & Wright, 2010).

Os calcretes normalmente se desenvolvem em planícies de inundação de rios, mas também podem ocorrer em sistemas lacustres, eólicos, depósitos coluvionares, e em sedimentos carbonáticos marinhos expostos a ambientes subaéreos (Wright, 2007). Grande parte dos calcretes atuais se forma em áreas com baixas taxas de precipitação pluviométrica (entre 100-500 mm) e temperaturas que variam entre 16 °C e 20 °C, desenvolvendo-se, portanto, em solos com déficit de umidade, possibilitando a preservação do carbonato formado durante a estação seca, em períodos em que a precipitação excede a evaporação (Wright, 2007).

A fonte de CaCO_3 é variada e inclui água de origem pluvial e subterrânea, escoamento superficial, poeira, acúmulo de vegetação e alteração de corpos rochosos. Os principais mecanismos de precipitação deste carbonato estão relacionados aos processos de evaporação/evapotranspiração e degaseificação, porém, os formados através da atividade microbial e do efeito do íon comum também são muito importantes (Fig. 4).

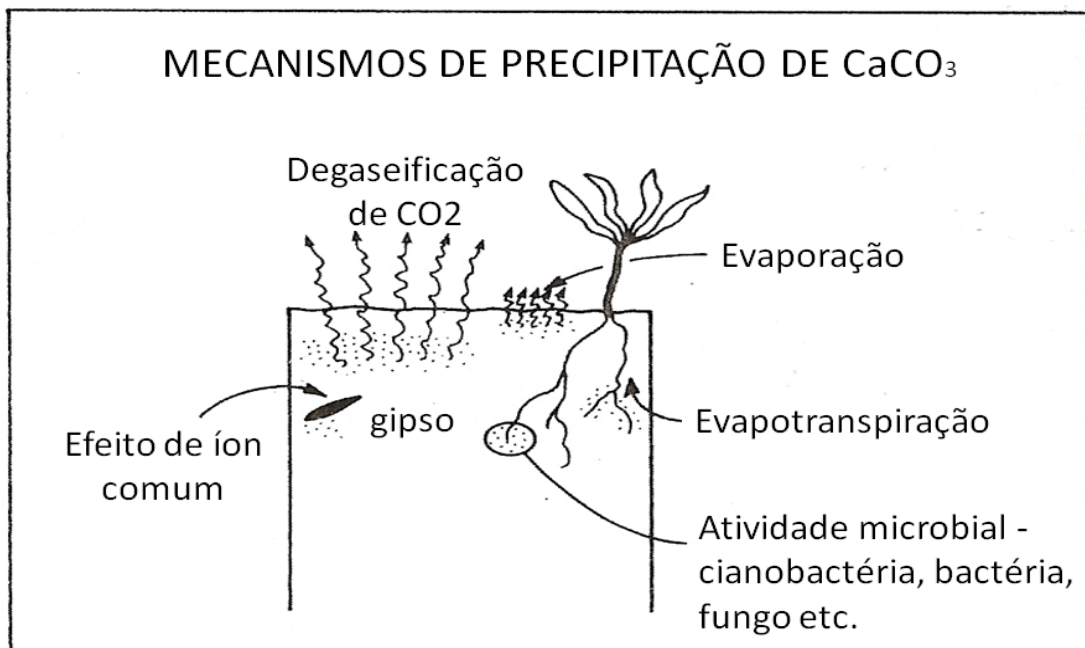


Figura 4 - Mecanismos de precipitação em calcretes. Modificado de Walker & James (1991).

Características macromorfológicas

Existem diferentes tipos de horizontes de calcrete reconhecidos. Muitos destes podem ocorrer dispostos em um perfil, ou separadamente. Os calcretes pedogênicos e freáticos partilham muitas similaridades com relação aos tipos morfológicos, porém, nos calcretes freáticos os horizontes prismáticos e pisolíticos aparentemente não ocorrem.

A sequência apresentada na tabela 2 segue a ordem observada em cronosequências típicas, ou em estágios de desenvolvimento de horizontes (Wright, 2007).

Tabela 2: Tipos morfológicos de horizontes de calcretes. Modificado de Wright (1991).

Tipo de calcrete	Características
Solo calcáreo	Solo pouco ou não cimentado, com pequenas acumulações de carbonato como cobertura de grãos, pacotes de carbonato fino, incluindo calcita fibrosa ou acicular, fraturas preenchidas por carbonato e pequenos nódulos.
Solo calcificado	Solo friável até firmemente cimentado com nódulos espalhados; 10-50% de carbonato.
Fino ou "chalky"	Pó esparso e fino de carbonado como um corpo contínuo com pouco ou nenhum desenvolvimento de nódulos, constituído

	de micrita ou microesparita com grão de silicatos dissolvidos, pelóides e raízes, e microestruturas relacionadas com fungos. Comumente é uma zona transicional entre o solo calcário e horizontes nodulares.
Pedotúbulo	Todo ou quase todo carbonato secundário ocorre como incrustações ou calcificações em raízes, ou dentro de buracos, tendo uma estrutura predominantemente vertical.
Nodular	Termo sinônimo de globular, se refere a concreções fracas a fortemente endurecidas de carbonato, ou material hospedeiro concrecionado. As margens podem ser gradacionais ou abruptas e, internamente, os nódulos podem ser uniformes, ou mostrar lâminas concêntricas ou rachaduras e veios septarianos. Os nódulos podem ser esféricos ou alongados, e consistem tipicamente de micrita ou (menos comumente) microesparita. Ocorrem preferencialmente em hospedeiros siliciclásticos.
<i>"Honeycomb"</i>	Coalescência parcial de nódulos com material intersticial menos endurecido produzem um efeito de favo de mel.
Manchado	Equivalente ao tipo nodular onde o sedimento hospedeiro é dominado por carbonato. Consiste em manchas irregulares de carbonato tipicamente micrítico, cimentando e substituindo os grãos originais do sedimento hospedeiro.
Maciço ou crosta	Consiste em uma camada endurecida, tabular e tipicamente com topo abrupto e base gradacional para calcretes finos ou nodulares. Pode ser em blocos ou prismático. Essas camadas podem chegar a espessuras de mais de um metro em calcretes pedogênicos, e muitos metros em formas freáticas.
Em placas	Consiste em placas centimétricas (com dezenas de centímetros de diâmetro), comumente encontradas abaixo de camadas maciças ou de calcrete fino. As

	placas podem ter formas tabulares ou onduladas e podem exibir uma laminação fraca. Alguns são materiais de raízes fragmentados. Distinguem-se de calcrites laminares pela ausência de fortes laminações.
Laminar	Consiste em camadas de carbonato laminado, com lâminas em escalas milimétricas. Costumam capear camadas maciças, mas podem também ocorrer com camadas finas ou no sedimento/solo hospedeiro. Podem ser intercaladas com calcrites pisolíticas em escala centimétrica. Esse tipo de calcrite é extremamente poligenético.
" <i>Stringer</i> "	São camadas de carbonato normalmente com poucos centímetros de espessura, de forma vertical a subvertical, relacionadas com raízes que penetram hospedeiros ricos em carbonato. Podem ocorrer individualmente ou em múltiplas camadas com variadas orientações, se estendendo por metros e/ou se interceptando.
Pisolítico	Grãos milimétricos a centimétricos em camadas tipicamente com poucos centímetros de espessura na base de encostas. Pode se desenvolver em vários tipos de hospedeiros, mas é mais comum nos de granulação grossa. As lâminas são geralmente micríticas, e gradação inversa é comum. Ocorre tipicamente abaixo de calcrites laminares.
Brechado ou conglomerático	Crostas quebradas ou outras formas, que foram fraturadas devido aos processos mecânicos ou presença de raízes.

Características micromorfológicas

Uma grande quantidade de microtexturas está associada aos calcrites, porém, de uma forma geral, duas assembleias texturais podem ser definidas: as alfas e as betas (Fig. 5) (Wright & Tucker, 1991). As assembleias alfas são controladas pela composição da rocha hospedeira e exibem nove microestruturas principais (Wright, 2007): cimento de micrita-microspato, nódulos, fraturas, fraturas

circum-granulares, cristais rômnicos de calcita, cristais de calcita corroídos, grãos flutuantes de sedimento (corroídos), franjas de calcita fibrosa ao redor de grãos, calcita deslocante. O cimento de micrita-microespática ocorre muitas vezes de forma deslocante (calcita deslocante) e substitutivo, produzindo, desta forma, as microestruturas de grãos “flutuantes” que podem estar parcialmente ou totalmente substituídos pelo cimento carbonático. Os nódulos também podem ser constituídos por carbonatos deslocantes e/ou substitutivos, ocorrendo de forma discreta ou coalescente. As franjas fibrosas, que se desenvolvem ao redor dos grãos, podem apresentar espessura variada, podendo muitas vezes se desenvolver proporcionalmente ao tamanho de grão circundado. As fraturas podem estar presentes no cimento ou vinculadas ao desenvolvimento dos nódulos. Os cristais rômnicos de calcita se desenvolvem quando o grau de nucleação dos cristais é baixo, e muitas vezes ocorrem nas porções mais porosas do sedimento.

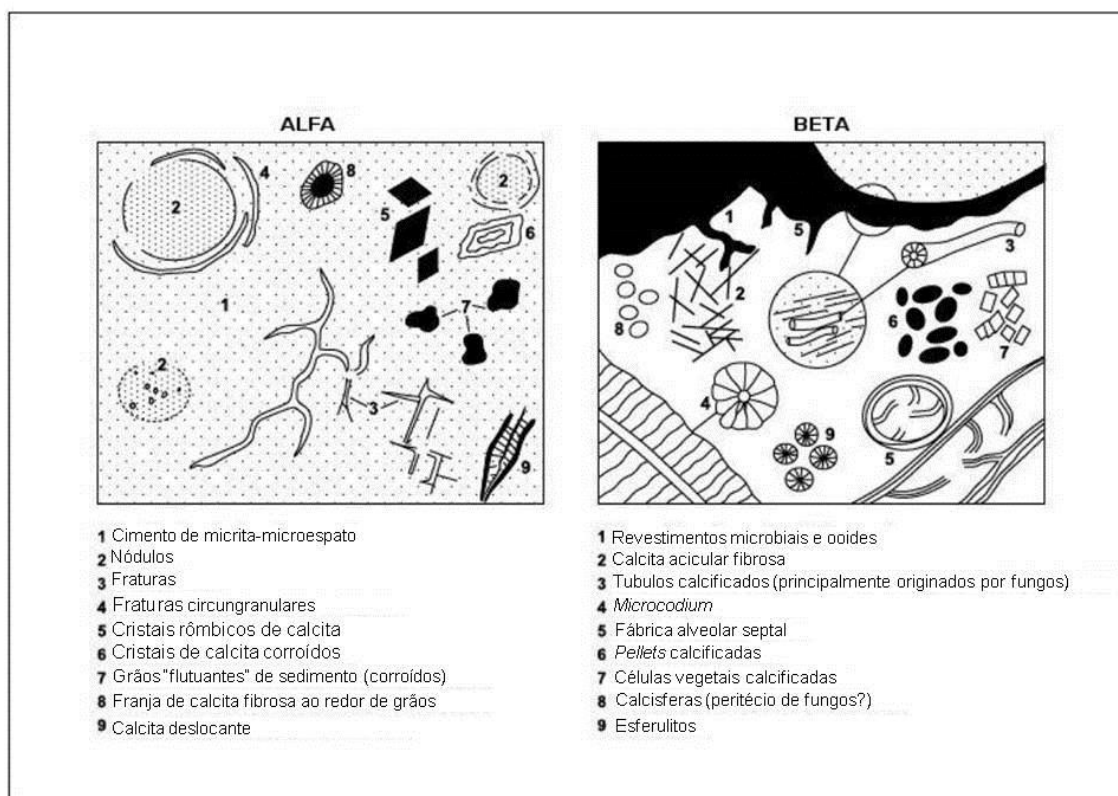


Figura 5 - Principais feições e características das assembleias alfa e beta. Modificado de Wright (2007).

As assembleias beta, mais comuns, exibem uma grande variedade de texturas de origem macro e microbiológica, relacionadas principalmente a atividade de fungos, bactérias e raízes. As principais texturas formadas nesta assembleia são:

Fábrica alveolar-septal: Formada pela atividade de fungos, são caracterizados por septos milimétricos micríticos arqueados nos poros (Adams, 1980 *apud* Alonso-Zarza & Wright, 2010), circundando vestígios de raízes (Klappa, 1980 *apud* Alonso-Zarza & Wright, 2010), ou intercalados entre lâminas micríticas (Alonso-Zarza, 1999 *apud* Alonso-Zarza & Wright, 2010).

Grãos revestidos: Controlados por raízes e microrganismos associados. O núcleo dos grãos pode ser formado por componentes remanescentes da rocha hospedeira. O revestimento pode ser simétrico ou assimétrico, e apresentar grande variação de tamanho.

Filamentos calcificados: Muito comuns em qualquer tipo de calcrete. São constituídos por tubos milimétricos, retos ou sinuosos. Esses filamentos aparentemente são formados principalmente por fungos, mas pode ter sua origem vinculada a outros microrganismo e raízes.

Rizólitos: Representados por raízes calcificadas e *Microcodium*. Estas texturas são muito comuns nos calcretes e estão, aparentemente, ligadas a processos de fixação de calcita nas raízes.

Cristais de calcita aciculares: São formados em função de supersaturação ou por atividade microbiana, e variam desde filamentos monocristalinos a cadeias policristalinas, exibindo morfologias variadas.

Esferulitos: Constituídos por policristais esferulíticos fibrorradiados de calcita, com baixo magnésio, que podem alcançar diâmetros superiores a 100 μm . Essa textura se forma preferencialmente no topo de calcretes laminares, na interface sedimento/atmosfera.

Micro-orifícios: Cavidades relativamente cilíndricas com cerca de 300 μm de comprimento e 1 μm de diâmetro. Essas cavidades podem ser vazias, cobertas por muco ou revestidas por cristais de calcita, e são similares em tamanho e morfologia à porosidade formada por filamentos de raízes.

Corpos esféricos a ligeiramente poligonais: Apresentam 0,521 μm de diâmetro e paredes de calcita de 0,1 μm de espessura. Essas paredes têm sido atribuídas a esporos e bactérias.

Outras texturas incluem aquelas resultantes das atividades biológicas do solo, como pellets fecais, restos de abelhas, vespas e cupins.

Calcretes freáticos

Os calcretes freáticos são carbonatos não pedogênicos, cuja formação está relacionada a sistemas aquíferos rasos (Netterberg, 1969; Mann & Horwitz, 1979 *apud* Alonso-Zarza & Wright, 2010), onde ocorre precipitação de carbonato principalmente na zona capilar. Os mecanismos responsáveis pela precipitação de carbonato são principalmente evaporação, evapotranspiração, degaseificação de CO₂ e efeito de íon comum (Wright & Tucker, 1991 *apud* Alonso-Zarza & Wright, 2010), e a mineralogia formada durante este processo é controlada pela composição química da água. Os dolocretes freáticos geralmente se formam em porções distais de bacias fechadas onde há um aumento de salinidade na água. Esses carbonatos exibem uma grande variação de tamanhos de cristais e incluem cristais zonados de dolomita (Spötl & Wright, 1992 *apud* Alonso-Zarza & Wright, 2010), bem como dolomita com núcleo turvo (Pimentel et al., 1996 *apud* Alonso-Zarza & Wright, 2010).

A formação desses calcretes não depende apenas da disponibilidade de água, mas também da permeabilidade do material em questão. A sua forma é controlada pela topografia da drenagem (Mann & Horwitz, 1979 *apud* Alonso-Zarza & Wright, 2010) e, em geral, variam de alguns centímetros a vários metros de espessura. Tipicamente esses carbonatos (calcrete e dolocrete) são micríticos e densamente cristalinos, podendo desenvolver formas nodulares a maciças e conter sílica autigênica, argilas (sepiolita, paligorskita) e gipsita. Durante a cimentação progressiva o perfil se torna coeso e promove o deslocamento lateral do fluxo, formando a geometria do tipo fita.

As características e morfologias desses calcretes são muito variadas, podendo se revelar difícil a diferenciação entre os pedogênicos e os freáticos (Alonso-Zarza & Wright, 2010). No entanto existem alguns critérios capazes de auxiliar o processo de diferenciação desses dois tipos de calcretes. Os calcretes freáticos geralmente apresentam contatos, basais e de topo, abruptos, e são mais comuns em sedimentos mais permeáveis. Estes calcretes comumente não apresentam restos de raízes e pedos (Mack *et al.*, 2000 *apud* Alonso-Zarza & Wright, 2010), de horizontes internos (corpos maciços) e de precipitações que tenham qualquer processo de formação vinculado a corpos d'água livres (Alonso-Zarza &

Wright, 2010). A micromorfologia desses calcretes é caracterizada pela ausência de feições biogênicas, tendendo, deste modo, a formação de microfábricas do tipo alfa.

A formação dos calcretes freáticos é controlada pelo clima, ocorrendo geralmente em regiões áridas a semi-áridas. O clima controla sua formação de três maneiras (Mann & Horwitz, 1979 *apud* Alonso-Zarza & Wright, 2010): (1) condições de umidade contínua favorecem a dissolução dos carbonatos, não a concentração; (2) fortes chuvas intermitentes tendem a formar sistemas freáticos melhores (por ser mais eficaz o processo de infiltração) do que chuvas mais fracas que permanecem por um grande período de tempo; e (3) altas taxas de evaporação e evapotranspiração, essenciais para a precipitação química dos carbonatos.

Calcretes pedogênicos

Os calcretes pedogênicos tipicamente exibem distintos perfis dentro do sedimento hospedeiro. Gile *et al.* (1966 *apud* Alonso-Zarza & Wright, 2010) propõem que a morfologia dos solos calcários pode ser interpretada como uma sequência de estágios morfológicos que refletem diferentes graus de desenvolvimento do solo (tempo relativo de desenvolvimento). Gille *et al.* (1966 *apud* Alonso-Zarza & Wright, 2010) e Machette (1985 *apud* Alonso-Zarza & Wright, 2010) propuseram um modelo idealizado (perfil clássico) de desenvolvimento de um calcrete pedogênico através de estágios de formação (Fig. 6). O modelo proposto pelo primeiro autor estabelece o desenvolvimento em três estágios, enquanto que o modelo sugerido pelo segundo autor apresenta seis. Os três primeiros estágios são idênticos em ambos os modelos e a granulometria dos sedimentos hospedeiros tem forte influência sobre o comportamento nestes estágios. Em solos com granulometria grossa, o estágio I é caracterizado por um revestimento fino e descontínuo em torno dos grãos, no estágio II o revestimento é contínuo e varia em espessura. Acumulações maciças entre grãos totalmente cimentados estão incluídas no estágio III. Em solos com granulometria mais fina, o estágio I exibe poucos filamentos e leves revestimentos nas superfícies do solo. Nódulos pouco desenvolvidos, com 5-40 mm de diâmetro, são indicadores do estágio II, enquanto que a presença de nódulos coalescentes caracteriza o estágio III. O estágio IV é caracterizado por lâminas ricas em carbonato com menos de 1 cm de espessura. Lâminas mais espessas e pisolitos são indicadores do estágio V, enquanto que o estágio VI é caracterizado por múltiplas fases de brechação, formação de pisólitos e recimentação.

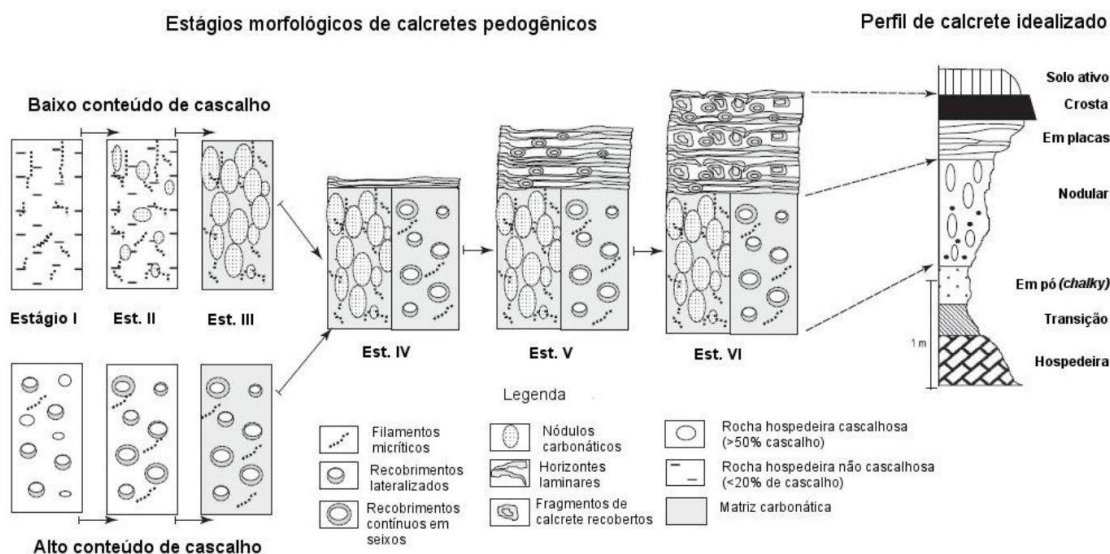


Figura 6 - Os seis estágios de formação de um perfil idealizado de calcrete pedogênico. Modificado de Alonso-Zarza & Wright (2010).

Baseada em inúmeras observações, Esteban e Klappa (1983 *apud* Alonso-Zarza & Wright, 2010) descreveram um perfil de calcrete idealizado, em que os estágios de formação dos diferentes horizontes são similares aos propostos por Gile et al. (1966 *apud* Alonso-Zarza & Wright, 2010) e Machette (1985 *apud* Alonso-Zarza & Wright, 2010). O perfil inclui, juntamente com o material hospedeiro, os horizontes transicional, fino (*chalky*), nodular, em placas (ou laminar), maciço e pisolítico (tabela 2).

3 METODOLOGIA

Este capítulo consiste na apresentação da metodologia utilizada. Serão abordadas, detalhadamente, as principais etapas técnicas adotadas para a resolução dos problemas propostos e o desenvolvimento do projeto.

A metodologia do presente trabalho foi constituída, essencialmente, por quatro etapas principais: a revisão bibliográfica, o trabalho de campo com a montagem e descrição de perfis estratigráficos e coleta de amostras, integração e avaliação da sequência deposicional e estudos petrográficos com contagem de pontos em lâmina petrográfica complementada por outros métodos de determinação mineralógica. Entretanto, neste trabalho serão abordadas somente as duas últimas etapas, referentes aos métodos aplicados na avaliação da faciologia da unidade, e as técnicas instrumentais utilizadas na caracterização química e mineralógica das amostras.

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica ocorreu durante o decorrer de todo o projeto, tendo como principal objetivo a leitura de livros e artigos relacionados com os objetivos do projeto (sedimentologia, estratigrafia, petrografia sedimentar, difratometria de raios-X, MEV), e material bibliográfico específico sobre a identificação e caracterização de calcretes, bem como sobre a Formação Santa Tecla e formações geológicas similares, que serviram como análogos ou possíveis correlatos (por exemplo, o Grupo Bauru nos estados de São Paulo e Minas Gerais).

3.2 COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS

A coleta e processamento de dados se deram em três etapas: Etapa pré-campo, etapa de campo e etapa de laboratório.

3.2.1 Etapa pré-campo

Nesta etapa foi efetuada a análise de fotografias aéreas e anaglifos que auxiliaram na delimitação da área a ser percorrida durante o trabalho de campo. A aplicação das técnicas de interpretação do terreno por fotografias aéreas, que está fundamentada na análise das diferentes tonalidades do terreno, dos padrões de drenagem e da forma de relevo, proporcionou a identificação das exposições potencialmente favoráveis para os trabalhos de campo. As imagens de satélite do software Google Earth® também foram utilizadas para localizar os melhores acessos aos afloramentos.

3.2.2 Etapa de campo

O trabalho de campo ocorreu entre os dias 23 a 26 de maio de 2013, no município de Bagé. Durante esta atividade dois perfis mais significativos foram selecionados, Corredor dos Leiteiros (porção oeste) e Fazenda Bela Vista (porção leste), com o objetivo de:

- (1) Efetuar o levantamento de seções estratigráficas em escala 1:50 buscando a identificação das diferentes fácies através da observação da geometria, da litologia (cor, textura e composição do sedimento) e das estruturas sedimentares primárias dos corpos sedimentares;
- (2) Determinar fácies, associações de fácies e ambiente deposicional dos perfis estudados;
- (3) Elaborar seções estratigráficas com correlação lateral das associações de fácies;
- (4) Coletar amostras para confecção de lâminas petrográficas e para as subsequentes análises por difratometria de raios-X e por microscopia eletrônica de varredura.

3.2.3 Etapa de laboratório

Após a coleta de dados de campo, a etapa de laboratório foi realizada com o objetivo de caracterizar os aspectos texturais, estruturais e composicionais através das seguintes atividades:

Petrografia qualitativa e quantitativa

As 20 amostras coletadas nos afloramentos Corredor dos Leiteiros e Fazenda Bela Vista foram primeiramente descritas macroscopicamente em lupa binocular (cor, estrutura, textura e mineralogia básica). Posteriormente, essas mesmas amostras foram laminadas para descrição petrográfica ao microscópio óptico de luz polarizada. As lâminas foram preparadas a partir de amostras impregnadas com resina epoxy azul. A determinação da composição dos carbonatos presentes foi feita através do tingimento das lâminas com uma solução de Alizarina e Ferricianeto de Potássio (Tucker, 1988) e posteriormente verificadas com o detector EDS ao microscópio eletrônico de varredura.

A análise petrográfica qualitativa e quantitativa das lâminas delgadas permitiu a identificação dos aspectos estruturais e texturais (estratificação, bioturbação, granulometria, grau de seleção, forma geral e arredondamento das partículas, fábrica, empacotamento, arranjos das partículas e tipos de contatos), além de aspectos composicionais (constituintes primários, diagenéticos e a porosidade). Todos os aspectos texturais, estruturais e composicionais identificados nesta etapa, foram fotografados com o objetivo de ilustrá-los e documentá-los. Os dados levantados nesta etapa, juntamente com os levantados durante o trabalho de campo, permitiram a identificação de quatro pedofácies (A, B, C e D) que foram posteriormente analisadas quantitativamente.

As amostras PBT 50x1, PBT 51x6, PBT 51x8 e PBT 51x12 consideradas as mais representativas das quatro pedofácies identificadas, foram quantificadas através da contagem de 300 pontos por lâmina utilizando o método Gazzi-Dickinson (Zuffa, 1985). Este método consiste na contagem de grãos maiores que silte (0,0625 mm) como constituintes separados, identificando o tipo de fragmento de rocha ao qual pertence (por exemplo, ortoclásio em fragmento de rocha plutônica). Os fragmentos com textura fina são contados como fragmentos de rocha (por exemplo, fragmento de rocha vulcânica). Esse método é útil para evidenciar a composição primária do grão visando estudos de proveniência, independente da

granulometria do grão estudado. Os dados de petrografia quantitativa foram coletados utilizando o software Petroledge® (De Ros *et al.*, 2007). Este consiste em um sistema de captura, armazenamento e processamento de dados petrológicos de rochas siliciclásticas e carbonáticas em um banco de dados, o que facilita sobremaneira a consulta e integração dos dados.

Difratometria de raios-X (DRX)

A técnica de DRX pode ser utilizada para a identificação das diferentes fases minerais que não podem ser determinadas por microscopia óptica, como argilominerais e óxidos de ferro e também para complementar as informações obtidas pelo estudo petrográfico. Neste trabalho, as análises foram realizadas, justamente, com o objetivo de complementar os dados petrográficos.

A análise por difratometria consiste em utilizar raios X que, ao atingirem o material de estudo, espalham-se elasticamente, sem perda de energia ou mudança de fase. Se a distância entre os planos cristalinos forem próximas ao comprimento de onda da radiação incidente e os átomos do alvo estiverem ordenados em uma estrutura cristalina, a difração dos fótons de raios X formará frentes de onda que amplificam o sinal emitido por interferência construtiva (Fig. 7). Como cada substância tem um conjunto de distância distinta entre os planos cristalinos (distância interplanar), todas as substâncias cristalinas podem ser identificadas e diferenciadas por este método.

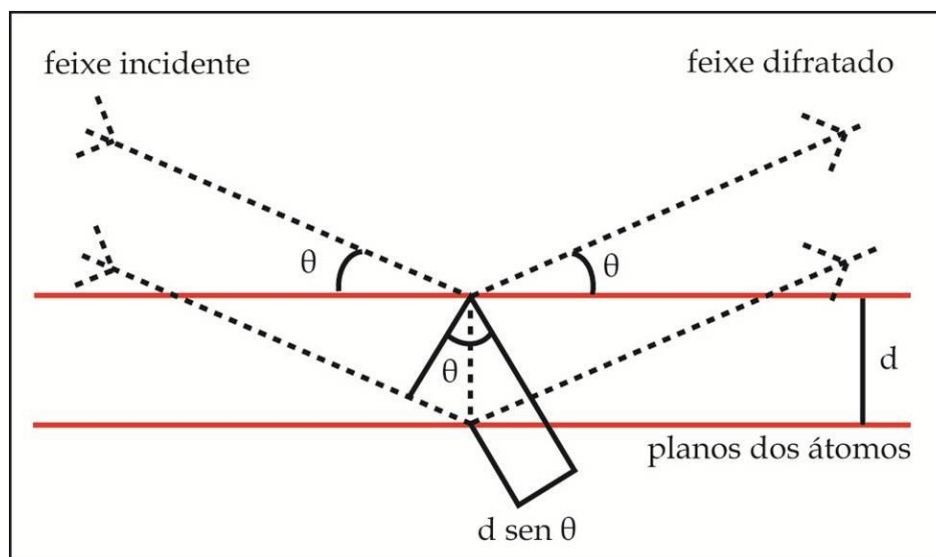


Figura 7 - Fenômeno da difração de raios-X nos planos cristalinos.

A fim de verificar todos os minerais que compõem o material, foi efetuada primeiramente uma análise de varredura em rocha total. Nesta etapa as amostras foram analisadas em lâminas não orientadas com o material montado na forma de esfregaço (pasta densa da amostra moída com água). Durante a confecção da lâmina, o material de interesse é misturado em meio aquoso para, posteriormente, ser alocado em uma lâmina de vidro onde secará em um local protegido de poeira e contaminação. Quando secas, as amostras foram analisadas no laboratório de difratometria de raios-X, do Instituto de Geociências, pelo difratômetro Siemens D5000 (Fig. 8) com as seguintes condições analíticas:

- Fonte de radiação de Cu, radiação $K\alpha$ de 1,5409Å;
- Filtro de níquel;
- Corrente de filamento de 25 mA;
- Voltagem e aceleração dos elétrons de 40 kV.



Figura 8 - Difratômetro de raios-X Siemens modelo D5000 (Laboratório de Difração de Raios-X - Instituto de Geociências).

Como os difratogramas obtidos por fração total acusaram a presença de argilominerais, o próximo passo no uso da técnica de difratometria de raios-X seria

a realização da caracterização detalhada dos mesmos. Para isto é necessário, primeiramente, efetuar a separação da fração $< 2\mu\text{m}$, a fim de concentrar estes argilominerais, para em seguida confeccionar as lâminas orientadas e suceder a análise sob três condições analíticas: natural, glicolado e calcinado. O primeiro método identifica o argilomineral em condições naturais, ou seja, sem submetê-lo a nenhum tipo de tratamento térmico ou químico. A análise por método glicolado permite identificar a existência de argilominerais expansivos, sendo necessário manter o material em contato com o etileno glicol por um período de aproximadamente 12h em um dessecador, para que a expansão do mesmo aconteça. O último método consiste em expor as amostras a uma temperatura de aproximadamente 550°C para avaliar a resistência térmica do material, já que alguns tipos de argilominerais ao perderem voláteis têm a sua camada interfoliar colapsada, reduzindo a distância entre os planos cristalinos.

Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura foi utilizada no presente projeto, com o objetivo de identificar o hábito e a composição das diferentes fases minerais identificadas em lâmina petrográfica, especialmente a dos carbonatos e a dos argilominerais.

A análise foi efetuada no Laboratório de Geologia Isotópica (LGI) que faz parte do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq) do Instituto de Geociências da UFRGS com o microscópio eletrônico de varredura da marca Jeol, modelo JSM – 6610LV.

A lâmina analisada (PBT – 51x13) passou primeiramente por um processo de metalização efetuado com a deposição de carbono, para que haja a condução de elétrons pelo material.

Durante a análise (Fig. 9) um feixe de elétrons é emitido por um filamento de tungstênio, por meio da aplicação de uma diferença de potencial que pode variar de 0,5 a 30 kV. Para que a amostra possa ser atingida pelo feixe de forma coesa e sem interferências, é preciso colimá-lo e, ao atingi-la, os elétrons dos elementos são arrancados e atraídos por um campo elétrico gerando a imagem de elétrons secundários, formados por colisões inelásticas, e a imagem de elétrons retroespalhados, formados por colisões elásticas com o feixe. Como os elementos com número atômico menor exigem uma menor energia para a atração dos

elétrons, a imagem gerada será em tons de cinza mais escuro do que as formadas por elementos com número atômico maior. Portanto, a imagem formada se dá em função da variação do contraste que ocorre devido à diferença na quantidade de elétrons emitido pelos elementos.

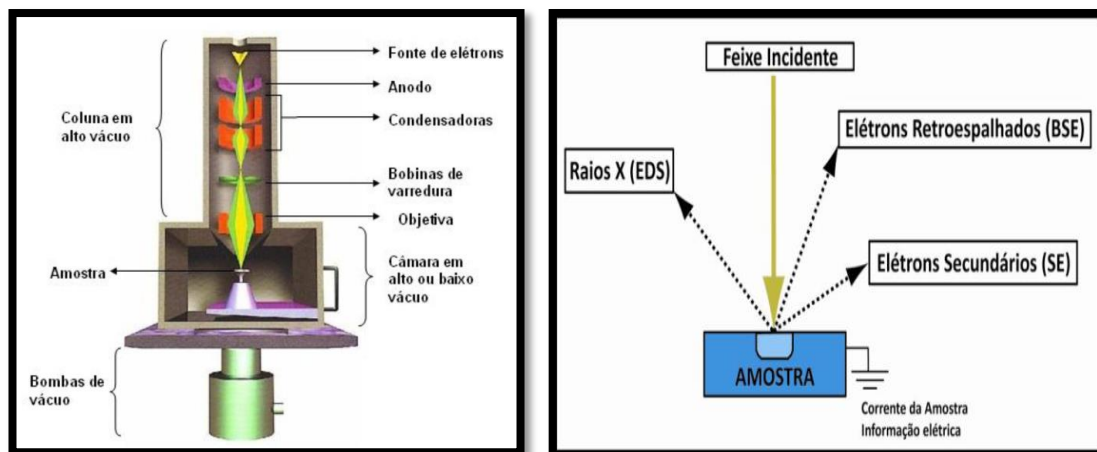


Figura 9 - Desenho esquemático da geração do feixe de elétrons disparados na amostra em um MEV e representação da incidência deste feixe sobre a amostra (fonte: dados de pesquisa).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir da realização das etapas de trabalho de campo e de laboratório, propostas na metodologia do trabalho. Serão apresentadas inicialmente, as fácies e pedofácies que compõem a Formação Santa Tecla, seguida de uma discussão a respeito dos tipos de calcretes encontrados nesta unidade, assim como, a comparação com os calcretes do Grupo Bauru. Por último será apresentado os resultados obtidos através das técnicas de difratometria de raios-X e microscopia eletrônica de varredura. Todos os resultados, além de serem fornecidos, também serão discutidos, com o objetivo de compreendê-los e justificá-los.

4.1 PEDOFÁCIES

As três feições mais importantes na definição entre paleossolos e outros tipos de rochas são marcas de raízes, horizontes de solo e estruturas de solo (Pierini & Misuzaki, 2007). Nos dois perfis estudados não foram constatadas estruturas de solo, no entanto foi identificada a presença de horizontes de solo, representados por acumulações carbonáticas (calcretes e dolocrete) e crostas silicosas (silcretes), que compõem os perfis. As marcas de raízes também foram observadas no perfil Corredor dos Leiteiros. Em razão dessas constatações é possível concluir que os sedimentos da Formação Santa Tecla passaram por processos pedogenéticos e, portanto, é admissível caracterizar os perfis de acordo com suas diferentes pedofácies.

A Formação Santa Tecla é formada por ciclos granodécrescentes ascendentes, com conglomerados e arenitos conglomeráticos na base, superpostos por arenitos finos a grossos no topo. No topo dos ciclos comumente ocorre uma

crosta silicosa (Figuras 14 e 17 – Perfis Corredor dos Leiteiros e Fazenda Bela Vista). A composição destas rochas é predominantemente quartzo-feldspática, com contribuição de litoclastos graníticos e sedimentares. Os conglomerados, de coloração bege, são clasto-suportados, maciços, com grânulos e seixos de até 7 cm, angulosos e com baixa esfericidade (Fácies 1) (Fig. 10A). Os arenitos finos a grossos (predominantemente arenitos médios) são maciços ou têm estratificação cruzada, com grãos angulosos a subangulosos, de baixa a alta esfericidade, com grânulos e seixos de 1 a 20 mm (Fácies 2) (Fig. 10A). Podem ocorrer níveis centimétricos a decimétricos ricos em intraclastos argilosos com até 2 cm. A crosta silicosa possui até 1 m de espessura, e em algumas regiões se encontra parcialmente dissolvida e ferruginosa. Esta silicificação se desenvolveu predominantemente sobre arenitos finos, maciços, bem selecionados (Fácies 3) (Fig. 10B). Estas fácies são interpretadas como depósitos fluviais/aluviais desenvolvidos em ambiente continental de clima árido, localmente com pedogênese de solos calcários e silicosos. A ferruginização localizada desta sucessão provavelmente está relacionada a um processo de alteração intempérica posterior, sob clima úmido.

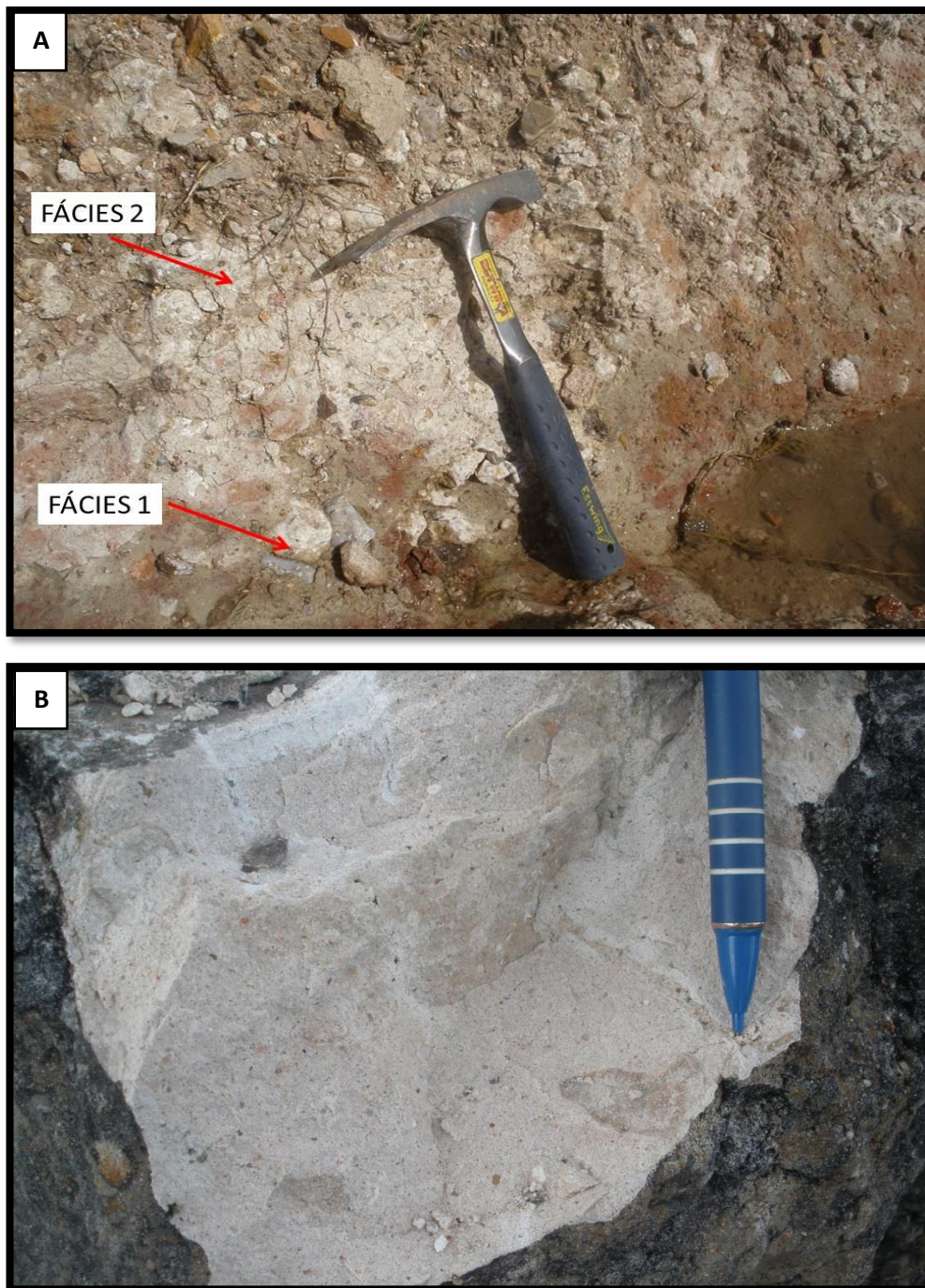


Figura 10 - Aspectos macroscópicos das fácies identificadas. A) Fácies 1: Conglomerado, clasto-suportado, maciço, com grânulos e seixos de até 7 cm. Fácies 2: Arenito médio, maciço, com grânulos e seixos de 1 a 20 mm. B) Fácies 3: Arenito fino, maciço, bem selecionado.

Ao todo foram identificadas quatro pedofácies (A, B, C e D), que foram diferenciadas através da análise macroscópica e microscópica dos aspectos texturais, composicionais e morfológicos observados em campo e em lâminas petrográficas. Os aspectos característicos de cada pedofácies estão descritos abaixo.

Petrograficamente os arenitos representativos das quatro pedofácies da Formação Santa Tecla possuem granulometria fina a grossa, moderadamente a bem selecionados, e estrutura maciça (Fig. 11). A composição primária essencial é quartzo-feldspática, sendo classificados como subarcóseos *sensu* Folk (1968), com composição média $Q_{85}F_{11}L_4$ (Fig. 12).

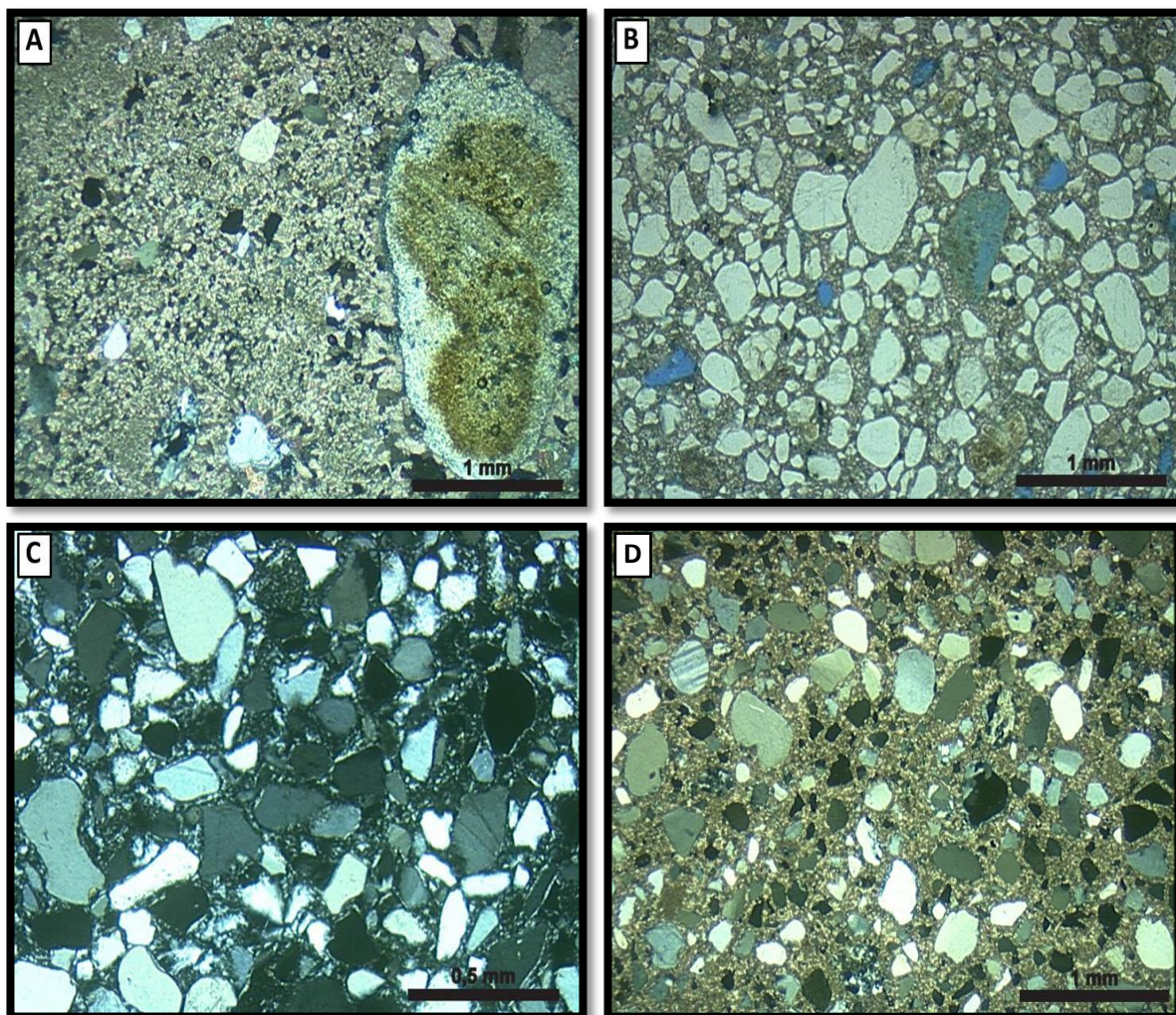


Figura 11 - Aspectos texturais, estruturais e composicionais das pedofácies da Formação Santa Tecla. A) Arenito médio, maciço, bem selecionado, subarcóseo, com cimento deslocante de calcita mosaico fino e crescimento de calcita circum-granular. Lâmina PBT – 50x1. Polarizadores descruzados (//P). B) Arenito médio, maciço, moderadamente selecionado, subarcóseo, com cimento de calcita microcristalina e porosidade móldica. Lâmina PBT – 51x6. (//P). C) Arenito médio, moderadamente selecionado, maciço, com cutículas de argila infiltrada e cimento de composição silicosa. Lâmina PBT – 51x8. Polarizadores cruzados (XP). D) Arenito médio, bem selecionado, subarcóseo, maciço, com cimento de calcita microcristalina. Lâmina PBT – 51x12. (XP).

Dentre os grãos de quartzo há predomínio de grãos monocristalinos de origem predominantemente plutônica (média: 28%), com grãos policristalinos metamórficos muito subordinados (média: 1,8%). Os feldspatos detríticos são em grande parte caracterizados como ortoclásio (média: 2,7%), mas também é comum

a presença de microclínio e plagioclásio. Os fragmentos líticos são de tipos plutônicos, metamórficos e vulcânicos, mas normalmente ocorrem em quantidades menores que 1%.

A composição essencial dos arenitos estudados corresponde a uma proveniência de blocos continentais de interior cratônico soerguido e incipientemente reciclagem orogênica (pedofácies A) (*sensu* Dickinson 1985; Fig. 13).

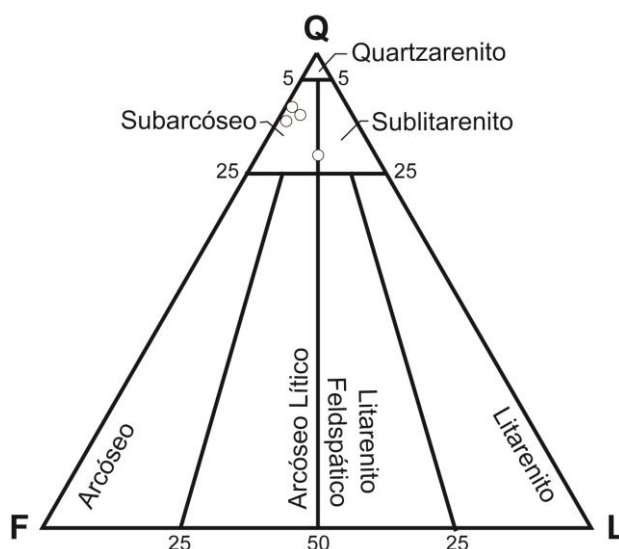


Figura 12 - Diagrama composicional de Folk (1968) da composição essencial original dos arenitos representativos das pedofácies da Formação Santa Tecla.

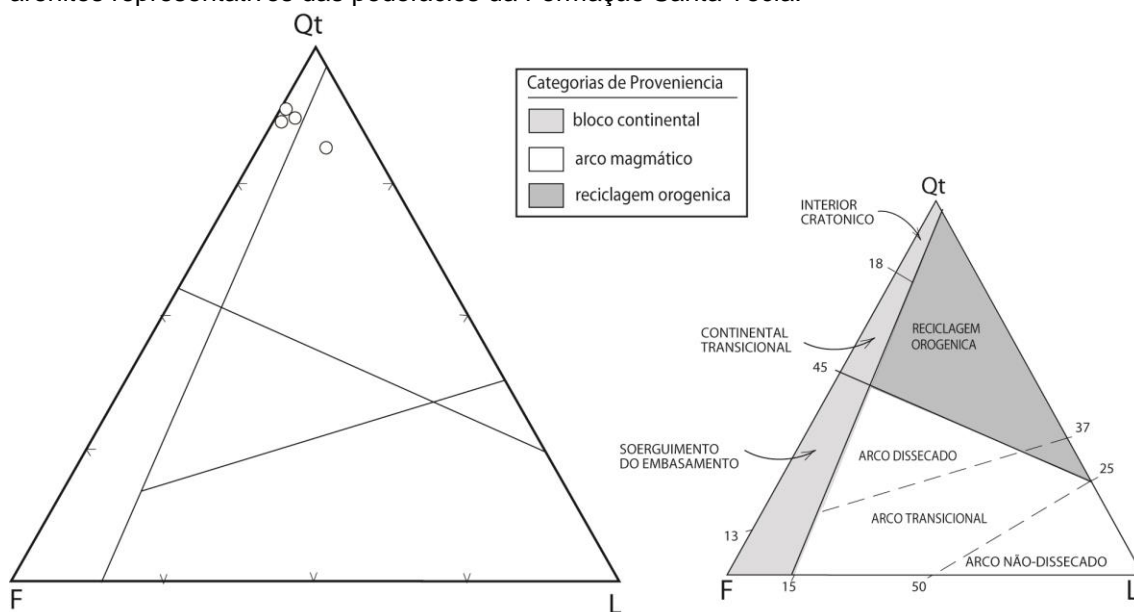


Figura 13 - Composição essencial dos arenitos representativos das pedofácies da Formação Santa Tecla plotada no diagrama de Dickinson (1985), ilustrando a proveniência de blocos do interior cratônico soerguido e incipientemente reciclagem orogênica.

Pedofácies A

As amostras analisadas da pedofácies A são PBT-50x1, PBT-50x2, PBT-50x4 e PBT-50x5 da seção levantada no Corredor dos Leiteiros (Fig. 14).

Macroscopicamente esta pedofácies é caracterizada por conglomerados e arenitos esbranquiçados, com manchas avermelhadas (Fig. 15A), com cimentação carbonática nodular esbranquiçada/rosada de 0,1 cm a 4 cm (Fig. 15B), e presença de pedotúbulos que podem atingir aproximadamente 0,5 cm de diâmetro (Fig. 15C). Localmente ocorrem lentes carbonáticas de cor rosada (Fig. 15D).

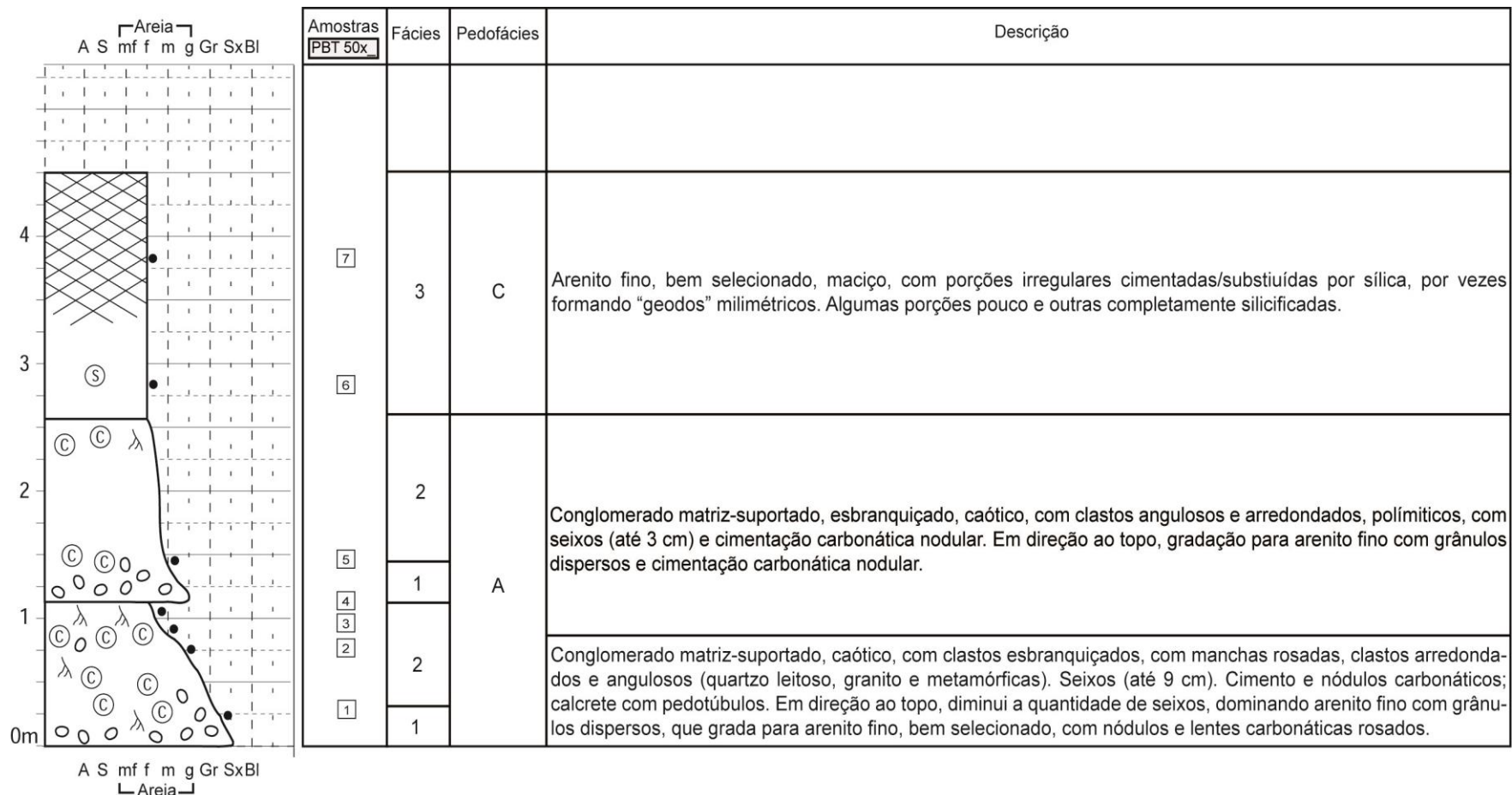


Figura 14 - Seção levantada no Corredor dos leiteiros exibindo a localização das fácies e das pedofácies identificadas.

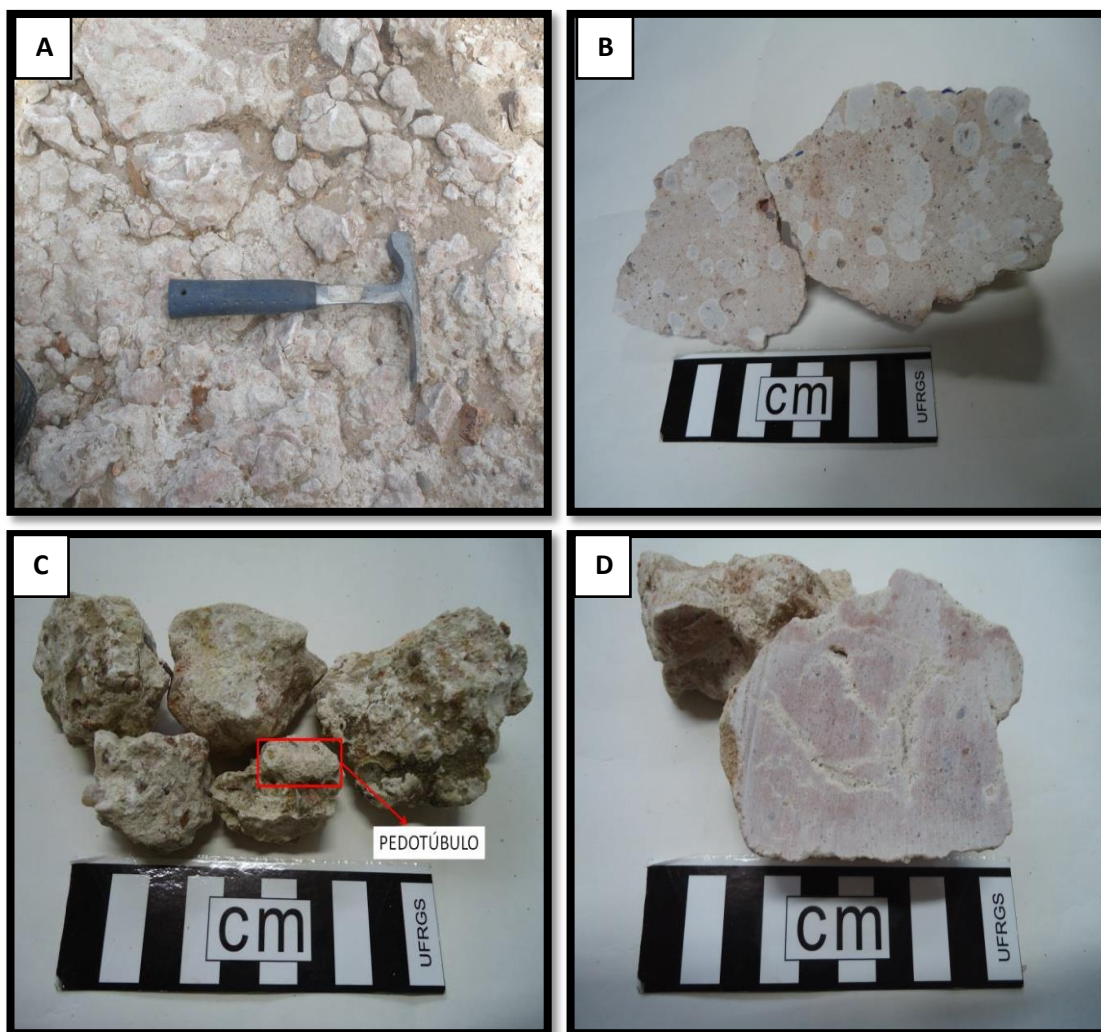


Figura 15 - Aspecto macroscópico da pedofácies A, Perfil Corredor dos Leiteiros. A) Em afloramento. B) Nódulos carbonáticos esbranquiçados/rosados. C) Pedotúbulos. D) Nódulos coalescentes formando lentes carbonáticas.

Microscopicamente estes arenitos possuem cutículas contínuas de argila infiltrada e são caracterizados por cimento **nodular deslocante** de calcita microcristalina e mosaico fino (Fig. 16A). É comum a presença de crescimento circum-granular de calcita, que varia de espessura proporcionalmente com o tamanho do grão circundado, e de nódulos discretos de calcita microcristalina com 0,2 a 0,4 cm (Fig. 16B-C). Esta pedofácies também exhibe a presença de nódulos (0,05 cm a 0,3 cm) dispersos de calcedônia fibro-radiada (Fig. 16D) e porosidade de fratura. Em porções menos cimentadas, com porosidade intergranular, as cutículas de argila infiltrada são muito abundantes, podendo estar, por vezes, descoladas.

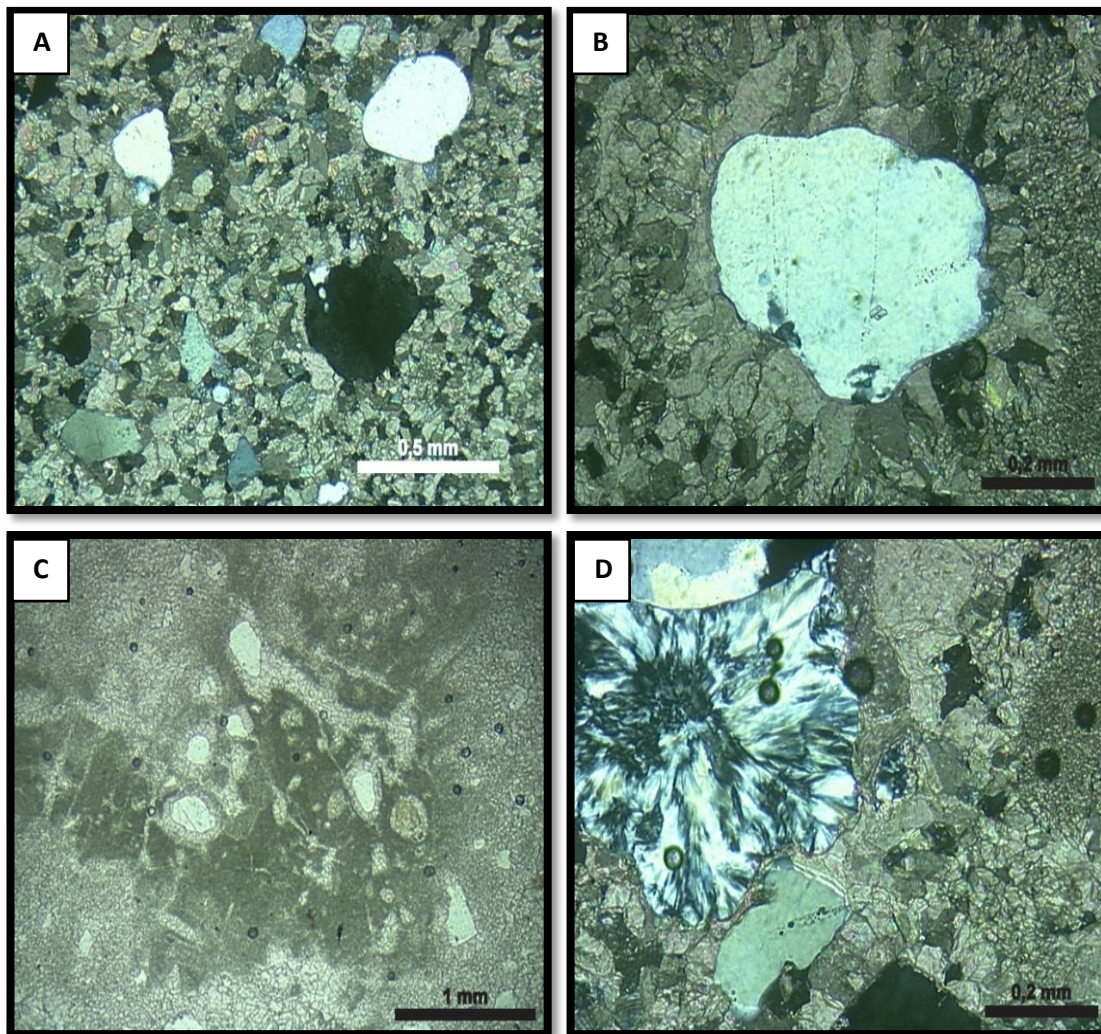


Figura 16 - Principais feições e aspectos diagnósticos da pedofácies A. A) Cimento de calcita em mosaico fino deslocante. Lâmina PBT-50x1 (XP); B) Crescimento circum-granular de calcita. Lâmina PBT-50x1 (XP); C) Nódulos discretos de calcita microcristalina. Lâmina PBT-50x1 (//P); D) Nódulos de calcedônia fibro-radiada substituindo calcita em mosaico. Lâmina PBT-50x1 (XP).

Pedofácies B

As amostras analisadas da pedofácies B são PBT-51x2, PBT-51x3, PBT-51x5 e PBT-51x6 da seção levantada na Fazenda Bela Vista (Fig. 17).

Macroscopicamente esta pedofácies é caracterizada por arenitos finos com cimentação carbonática nodular (Fig. 18A), com nódulos variando de 0,1 cm a 1,7 cm, de coloração esbranquiçada/amarronada (Fig. 18B).

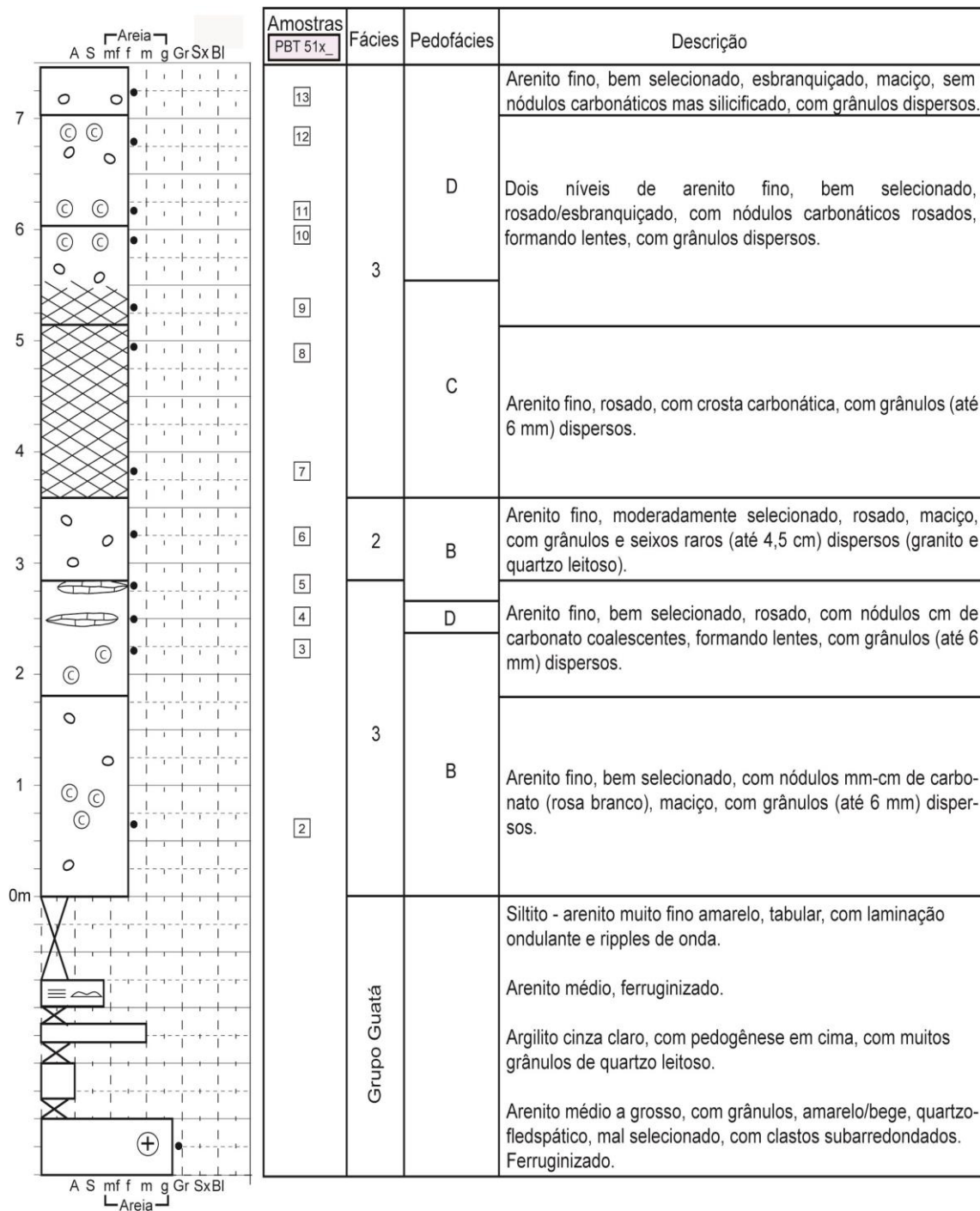


Figura 17 - Seção levantada na Fazenda Bela Vista exibindo a localização das fácies e das pedofácies identificadas.

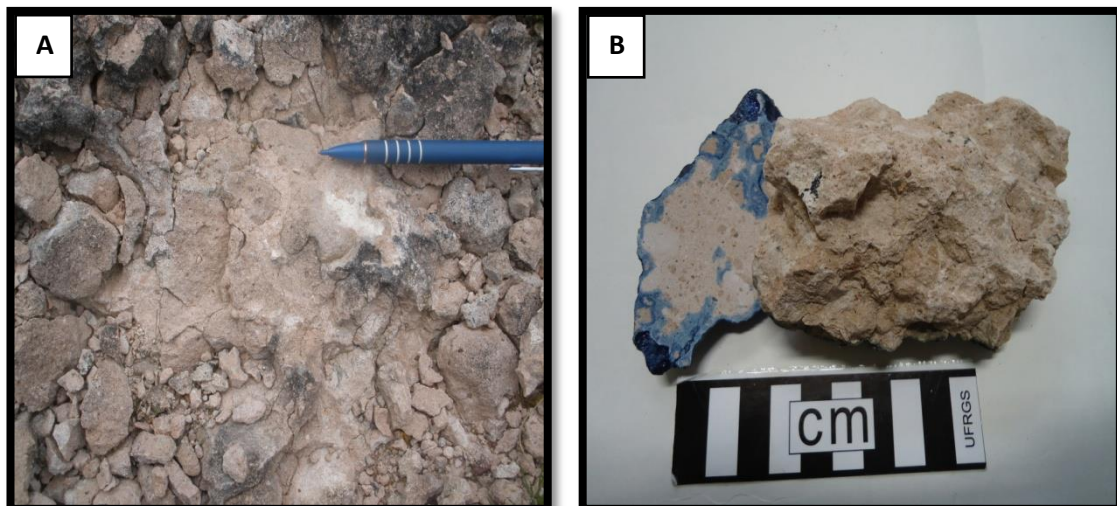


Figura 18 - Aspecto macroscópico da pedofácies B, Perfil Fazenda Bela Vista. A) Em afloramento. B) Nódulos de coloração esbranquiçada/amarronada.

Microscopicamente estes arenitos possuem cutículas contínuas de argila infiltrada (Fig. 19A) e são caracterizados por cimento **parcialmente substitutivo** (Fig. 19B) e nódulos discretos de calcita em mosaico fino e microcristalina (Fig. 19C), respectivamente. Os nódulos discretos (0,2 cm a 1,7 cm) são compostos por calcita deslocante e apresentam crescimento circum-granular, sendo importante salientar que estas duas feições estão restritas aos nódulos. É comum a ocorrência de porções não cimentadas, predominantemente circulares (0,2 cm a 1,4 cm) (Fig. 19D), onde a precipitação de calcita é mínima e há presença dominante de cutículas contínuas de argila infiltrada. Os tipos de porosidades presentes são intergranular (Fig. 19E), móldica (Fig. 19F), intragranular e de encolhimento.

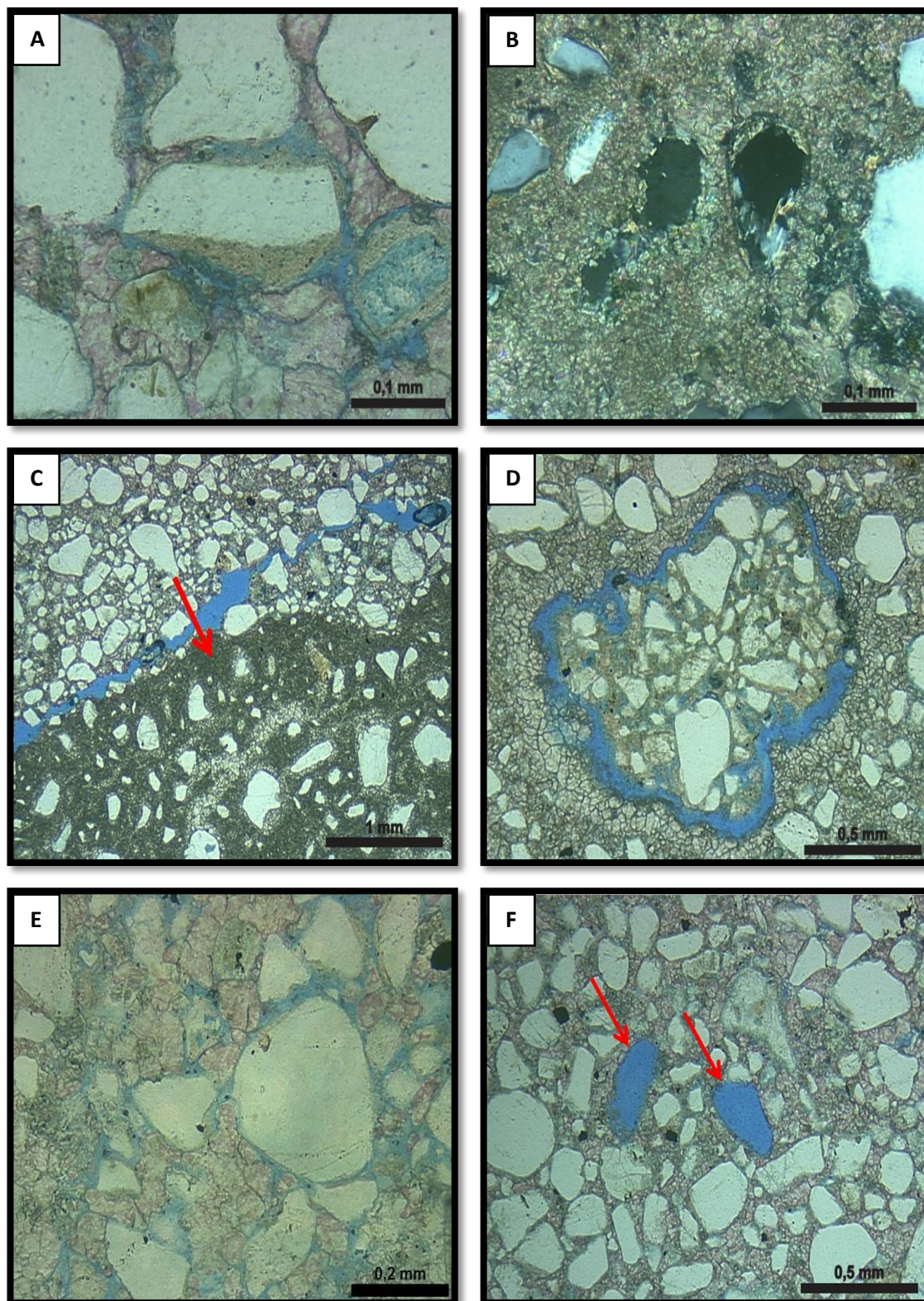


Figura 19 - Principais feições e aspectos diagnósticos da pedofácies B. A) Cutícula contínua de argila infiltrada. Lâmina PBT – 51x6 (//P); B) Cimento de calcita parcialmente substitutivo. Lâmina PBT – 51x6 (XP); C) Nódulo deslocante de calcita microcristalina. Lâmina PBT – 51x6 (seta vermelha, //P); D) Porções não cimentadas, predominantemente circulares. Lâmina PBT – 51x2 (//P); E) Porosidade intergranular. Lâmina PBT – 51x4 (//P); F) Poros móldicos (seta vermelha, //P). Lâmina PBT – 51x6.

Pedofácies C

As amostras analisadas da pedofácies C são PBT-50x6 e PBT-50x7 da seção do Corredor dos Leiteiros, PBT-51x7, PBT-51x8 e PBT-51x9 da seção na Fazenda Bela Vista (Fig. 14 e 17).

Macroscopicamente esta pedofácies é caracterizada por arenitos finos cimentados irregularmente por sílica (Fig. 20A). Algumas porções são pouco silicificadas (Fig. 20B) e outras completamente silicificadas (exibindo elevado grau de dureza) (Fig. 20C), sendo a última mais representativa da crosta silicosa no topo das camadas. As partes silicificadas ocorrem com coloração rosada/esbranquiçada, podendo por vezes apresentar cor amarronada. Em razão da heterogeneidade da cimentação, é possível observar a presença de cavidades alongadas (0,3 cm a 1 cm) nas porções menos silicificadas e, ocasionalmente, a formação de geodos milimétricos nas partes mais silicificadas. (Fig. 20D).

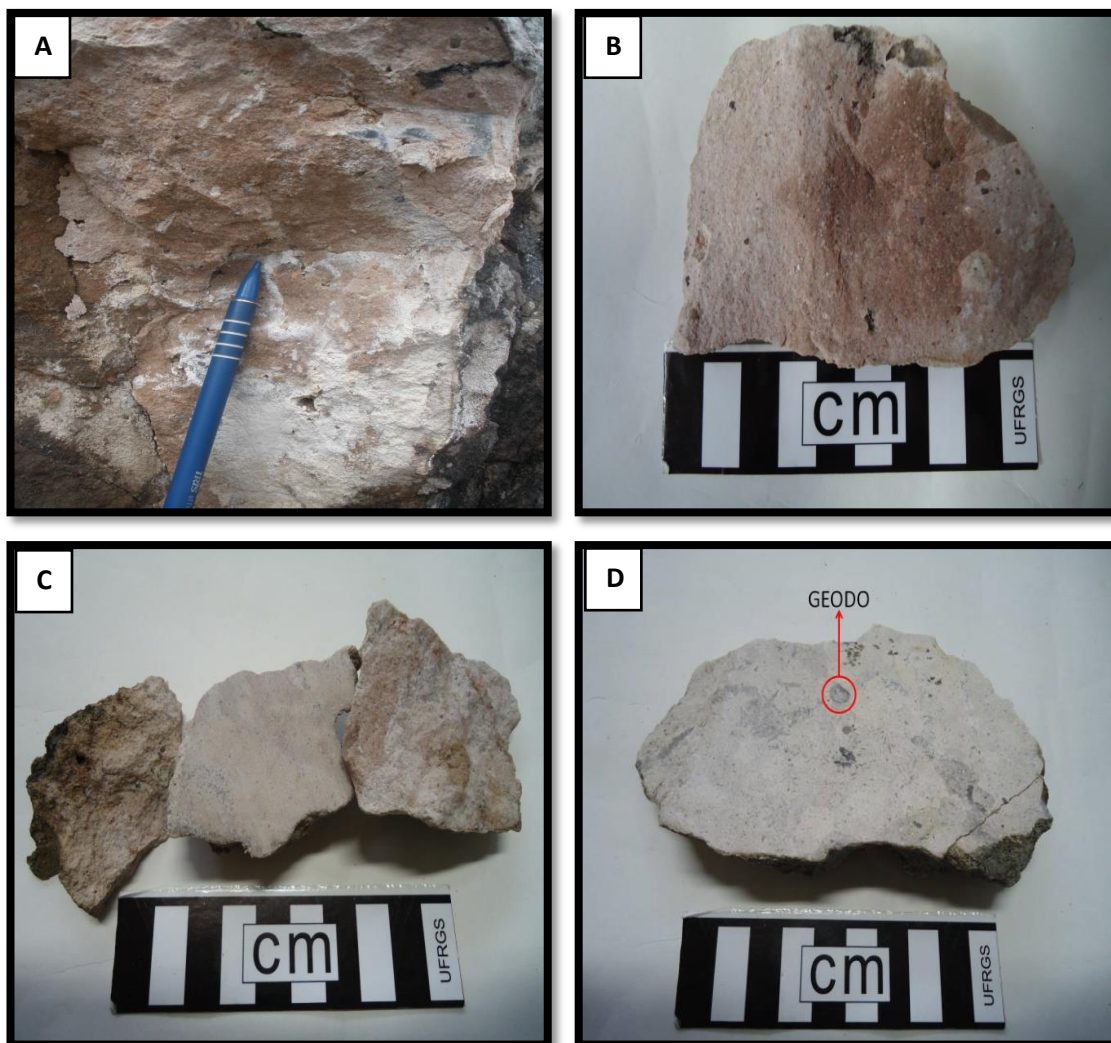


Figura 20 - Aspecto macroscópico da pedofácies C, Perfis Corredor dos Leiteiros e Fazenda Bela Vista. A) Em afloramento. B) Cimentação silicosa heterogênea. C) Porções completamente silicificadas. D) Geodo milimétricos.

Microscopicamente estes arenitos possuem cutículas de argila infiltrada parcialmente substituídas por sílica (Fig. 21A) e são caracterizados por **cimento silicoso** deslocante de opala, calcedônia (Fig. 21B) e raramente quartzo preenchendo poros. O grau de cimentação é muito heterogêneo, alternando entre porções completamente cimentadas a porosas (Fig. 21C). A calcedônia ocorre nos poros, em franjas fibro-radiadas, substituindo preferencialmente o cimento de opala. A calcedônia fibro-radiada também ocorre como nódulos deslocantes (0,1 mm a 0,7 mm) (Fig. 21D). É comum a presença de poros vugulares (Fig. 21E), parcialmente preenchidos por opala e calcedônia, formados pela dissolução da sílica. Outros tipos de poros são os intergranulares, intragranulares e móldicos (Fig. 21F).

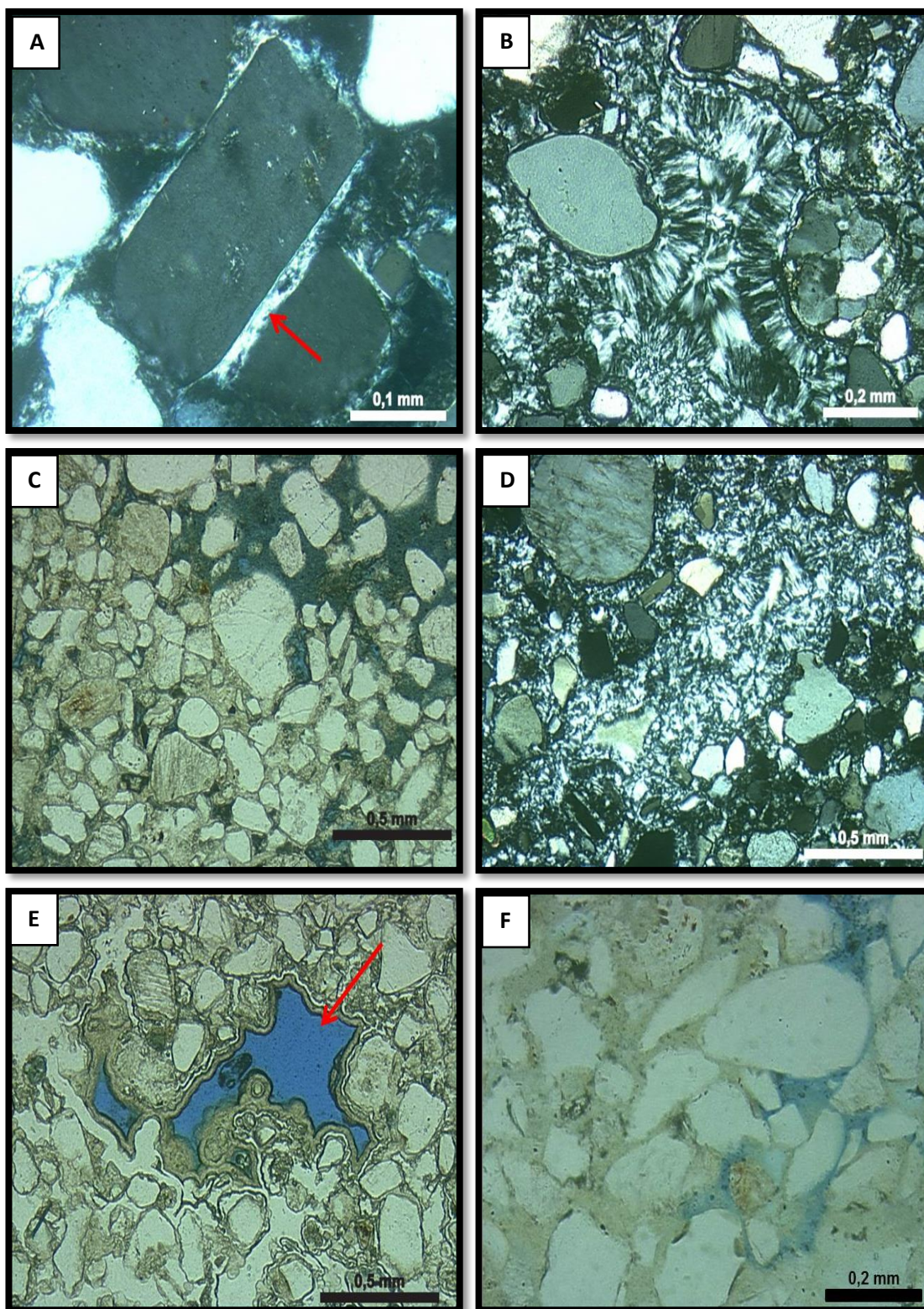


Figura 21 - Principais feições e aspectos diagnósticos da pedofácies C. A) Cutícula contínua de argila infiltrada parcialmente substituída por sílica (seta vermelha). Lâmina PBT – 51x8 (XP); B) Cimento deslocante de calcedônia, como franjas e preenchimento de poros. Lâmina PBT – 51x8 (XP); C) Heterogeneidade do grau de cimentação silicosa. Lâmina PBT – 51x8 (//P); D) Nódulo deslocantes de calcedônia. Lâmina PBT – 51x8 (XP); E) Poro vugular parcialmente preenchido por opala. Lâmina PBT – 51x8 (seta vermelha, //P). F) Porosidade intergranular. Lâmina PBT – 50x6 (//P).

Pedofácies D

As amostras analisadas da pedofácies D são PBT-51x4, PBT-51x10, PBT-51x11, PBT-51x12 e PBT-51x13 da seção na Fazenda Bela Vista (Fig. 17).

Macroscopicamente esta pedofácies é caracterizada por arenitos com nódulos carbonáticos, de 0,2 cm a 1,5 cm, rosados/esbranquiçados (Fig. 22A-B). Algumas porções apresentam cimentação heterogênea que ocasionam a formação de cavidades milimétricas e porções friáveis (Fig. 22C-D). Esta pedofácies é muito semelhante à pedofácies B macroscopicamente. Sua caracterização como uma pedofácies distinta se deu com base nas características microscópicas, devido à presença de dolomita, conforme descrito abaixo.

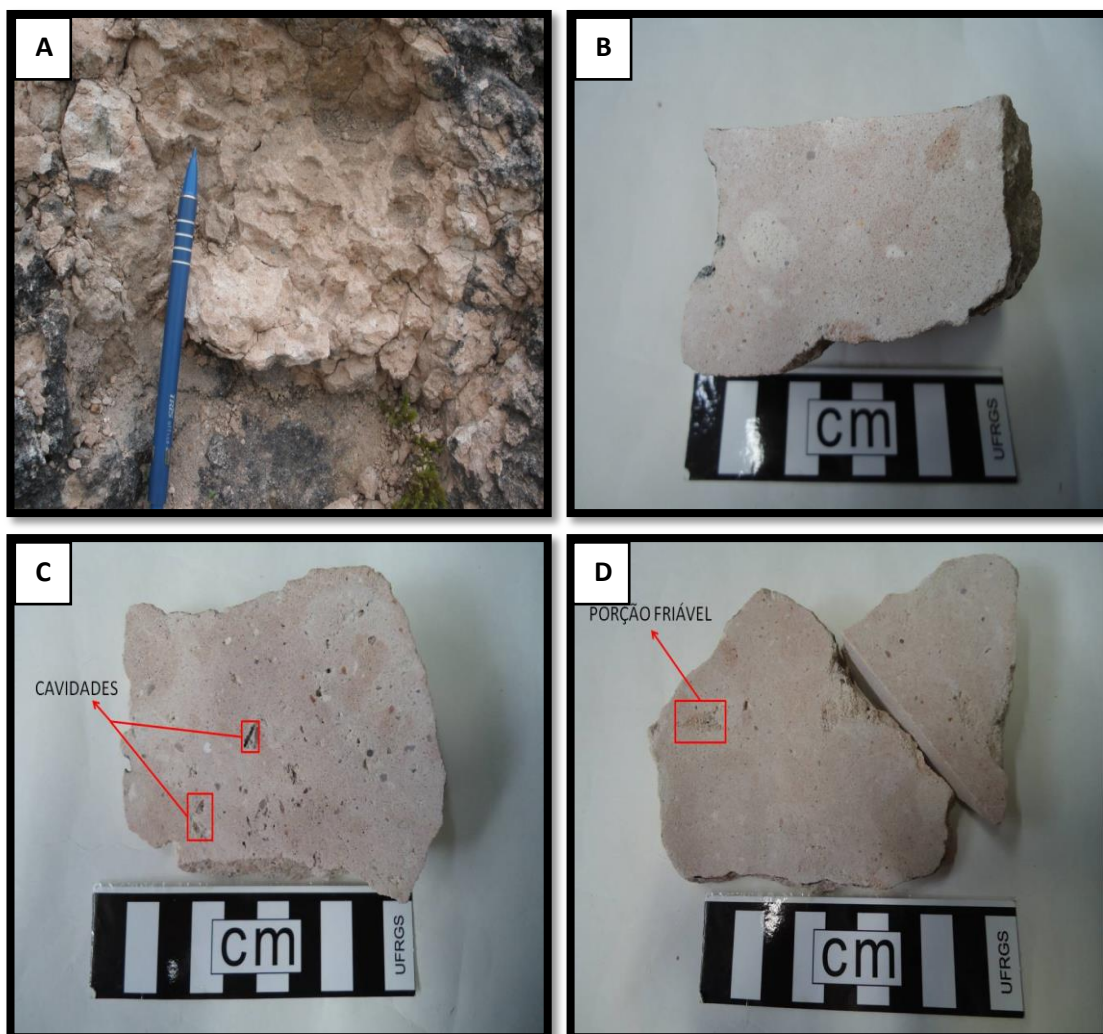


Figura 22 - Aspecto macroscópico da pedofácies D, Perfil Fazenda Bela Vista. A) Em afloramento. B) Nódulo rosados/esbranquiçados. C) Cavidades milimétricas. D) Porções friáveis.

Microscopicamente estes arenitos possuem cutículas contínuas de argila infiltrada parcialmente ou totalmente substituídas por argilomineral de birrefringência moderada (provável argilomineral do grupo da paligorskita) (Fig. 23A) e são caracterizados pela **cimentação dolomítica** predominantemente microcristalina (Fig. 23B), ocorrendo também em mosaico fino e raramente mosaico grosso. O cimento é raramente deslocante, e muitas vezes substitui parcialmente os grãos (Fig. 23C) e a argila infiltrada. É comum a presença de porções porosas, onde se observa essencialmente cutículas de argila infiltrada e cristais discretos de dolomita, e também de cavidades (0,1 cm a 0,2 cm) parcialmente preenchidas por **romboedros grandes** de dolomita (Fig. 23D). Nessas cavidades é possível identificar dois estágios de dissolução: o primeiro foi responsável pela formação de poros vugulares, e o segundo, pela dissolução parcial dos romboedros grandes de dolomita que preencheram parcialmente estes poros vugulares (Fig. 23E-F). Ocorre ainda a presença de nódulos de **calcita** microcristalina substitutiva (com até 1,1 cm), localmente deslocante. Porosidade móldica e intergranular também são comuns nesta pedofácies.

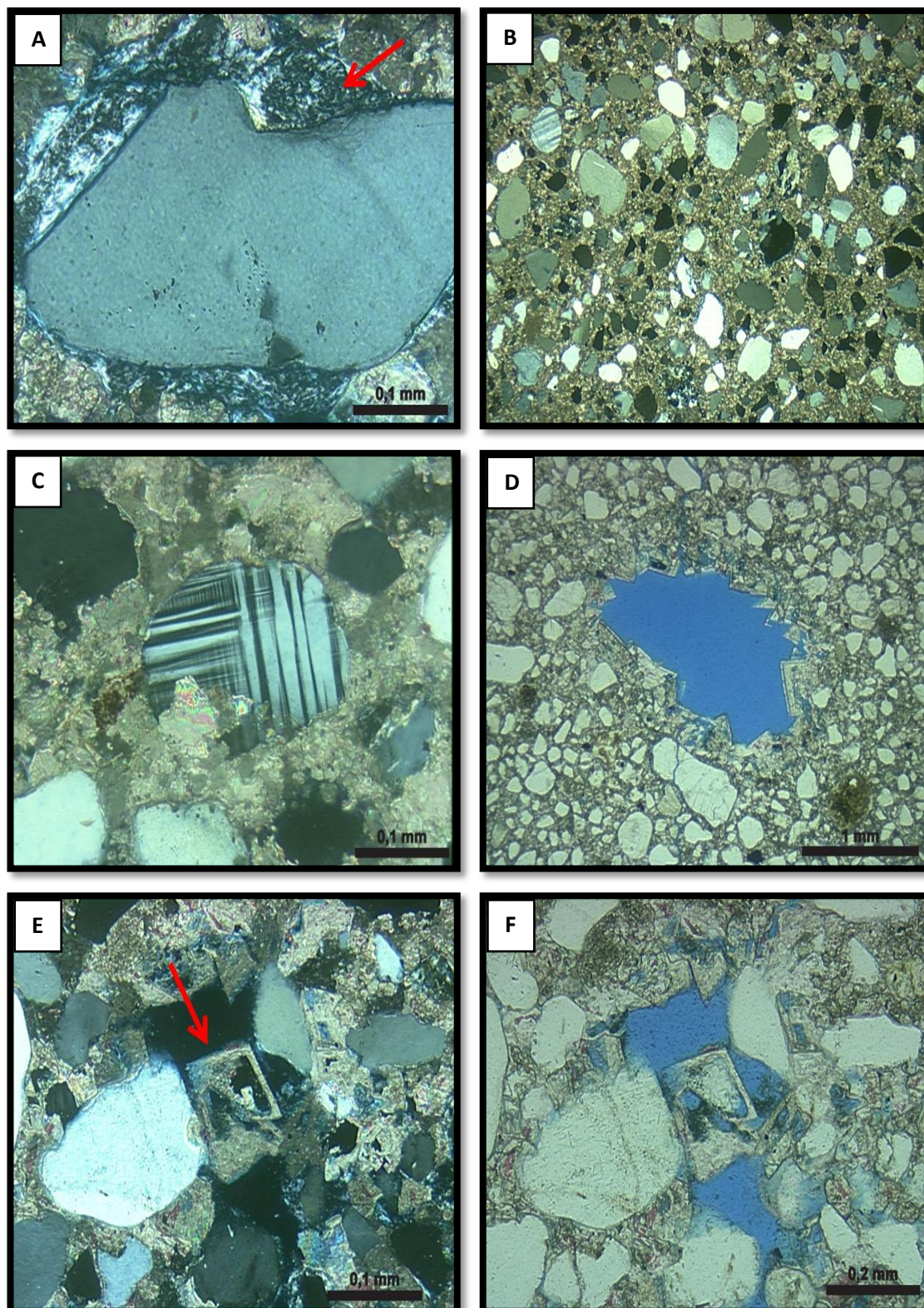


Figura 23 - Principais feições e aspectos diagnósticos da pedofácies D. A) Prováveis argilominerais do grupo da paligorskita (seta vermelha). Lâmina PBT – 51x12 (XP). B) Cimento de dolomita microcristalina. Lâmina PBT – 51x12 (XP). C) Cimento de dolomita parcialmente substitutivo. Lâmina PBT – 51x12 (XP); D) Poro vugular parcialmente preenchido por dolomita romboédrica. (//P); E- F) Romboedro de dolomita parcialmente dissolvida em poro vugular (XP - //P).

4.1.1 Discussão geral das pedofácies

Os calcretes e dolocretes da Formação Santa Tecla podem ocorrer, macroscopicamente, como nódulos, pedotúbulos ou crostas. Os nódulos, concêntricos e maciços, podem ter de 0,1 cm a 4 cm de espessura e, por vezes, devido a coalescência, formarem lentes. Os pedotúbulos ocorrem como concreções alongadas e podem atingir aproximadamente 0,5 cm de diâmetro. As crostas ocorrem como camadas tabulares endurecidas, chegando a espessuras de aproximadamente 0,5 m no perfil Fazenda Bela Vista.

Microscopicamente, os calcretes e dolocretes analisados são constituídos por cimento, normalmente nodular, de calcita e dolomita deslocante e/ou parcialmente substitutiva, com hábito microcristalino, mosaico fino e, raramente, mosaico grosso. Os nódulos analisados podem chegar a 1,7 cm e são compostos, predominantemente, por calcita microcristalina deslocante, por vezes, substitutiva e com crescimento circum-granular. A dolomita (restrita a pedofácies D) pode ocorrer também como romboedros grandes em poros vugulares ou em porções porosas.

As feições identificadas (cimento de calcita microcristalina, nódulos, fraturas circum-granulares, grãos flutuantes, franjas de calcita ao redor dos grãos, calcita deslocante) foram formadas por precipitação inorgânica e são características de calcretes e dolocretes do tipo alfa, cuja formação está relacionada a sistemas aquíferos rasos (Alonso-Zarza & Wright, 2010).

O desenvolvimento dos calcretes e dolocretes ocorre, principalmente, por cimentação e deslocamento. Este comportamento é claramente evidenciado pela abundante presença de sedimento siliciclástico flutuante no cimento de composição carbonática. Outro processo atuante nas amostras analisadas é a substituição, evidenciada pela presença de grãos de quartzo e feldspato parcialmente corroídos. Esses minerais de feldspato podem até ter sido uma fonte de Ca para a precipitação de calcita. A formação dos minerais de dolomita pode estar relacionada com mudanças químicas das águas subterrâneas que proporcionaram um acréscimo na razão de Mg/Ca (Alonso-Zarza & Wright, 2010).

Os calcretes e dolocretes pedogênicos e freáticos possuem características e morfologias muito variadas e, por este motivo, pode ser difícil diferenciá-los. As macromorfologias identificadas (nodular, pedotúbulos e crosta) nos perfis

estudados, não podem ser consideradas por si só características, pois essas três morfologias ocorrem tanto nos carbonatos pedogênicos quanto nos freáticos (Wright & Tucker, 1991). Porém há outras evidências que podem contribuir para a classificação desses calcretes e dolocretes. A primeira dela consiste no fato de que todas as micromorfologias identificadas pertencem à assembleia do tipo alfa, típica de calcretes freáticos. Outra importante evidência está relacionada com o fato de existir calcrete, dolocrete e silcrete em um mesmo perfil, demonstrando que houve uma mudança composicional das águas intersticiais no sistema, sendo este comportamento típico de acumulações freáticas (Alonso-Zarza & Wright, 2010). Outra constatação se baseia no fato de que normalmente os calcretes pedogênicos exibem o perfil com um conjunto ordenado de horizontes, e nos dois afloramentos analisados foram identificados apenas dois horizontes: o nodular e o maciço. De acordo com essas evidências, é possível classificar os calcretes e dolocretes da Formação Santa Tecla como freáticos, apesar de não ser possível descartar que houve contribuição de processos pedogênicos durante o desenvolvimento dos perfis estudados.

Os silcretes analisados apresentam estreita associação com as acumulações carbonáticas identificadas e ocorrem como crostas centimétricas a métricas, localizadas tipicamente no topo dos perfis. Essas crostas silicosas provavelmente foram desenvolvidas após a formação dos calcretes e dolocretes, durante flutuações no nível freático, mudanças de pH e de temperatura. Microscopicamente esses silcretes são formados por cimento deslocante de opala, calcedônia e raramente quartzo preenchendo poros. A calcedônia apresenta hábito fibro-radiado e, de acordo com a evolução do perfil, ocorre substituindo preferencialmente o cimento de opala. Com base nos dados estruturais e texturais microscópicos (Summerfield, 1938a, b) é possível classificar os silcretes da Formação Santa Tecla como flutuantes e suportado por grão. O primeiro ocorre em porções mais cimentadas, desenvolvendo um crescimento deslocante da sílica, enquanto que o segundo ocorre nas porções menos cimentadas. Todas as microfeições identificadas influenciam nos aspectos mesoscópicos das rochas e se refletem na variedade de tonalidades externas e graus de endurecimento por cimento silicoso. Em algumas lâminas, também foi possível observar diferentes formas e tamanhos dos cristais de sílica. Este comportamento pode indicar variações nas condições do meio, na taxa de aporte de sílica e no tipo de cavidades existentes (Silva & Menegotto, 2002).

A identificação de acumulações calcárias (calcrete, dolocrete) e silicosas (silcrete) nos perfis da Formação Santa Tecla representa uma importante evidência paleoclimática, sugerindo uma condição com um clima semi-árido, elevadas taxas de evaporação e um sistema poro/fluidos com elevada alcalinidade e ascensão por capilaridade, que dependendo da sua composição poderão promover a precipitação de carbonatos ou da sílica (Summerfield, 1983a).

4.2 COMPARAÇÕES DA FORMAÇÃO SANTA TECLA COM OS MEMBROS ECHAPORÃ E SERRA DA GALGA (FORMAÇÃO MARÍLIA, GRUPO BAURU).

O Grupo Bauru (Cretáceo da Bacia do Paraná) está depositado em uma bacia do tipo intracratônica e possui uma ampla área de distribuição (aproximadamente 370.000 km²), ocorrendo nos estados de São Paulo, extremo oeste de Minas Gerais, sul de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e nordeste do Paraná. Este Grupo corresponde a depósitos de trato de sistemas de clima semi-árido, formado por leques aluviais marginais, lençóis de areia atravessados por sistemas fluviais efêmeros e zona endorrêica paludial, que alimentaram o deserto interior correspondente ao Grupo Caiuá (Milani *et al.*, 2007). As formações correspondentes a este grupo são Uberaba, Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Marília, além de rochas vulcânicas alcalinas intercaladas, os Analcimitos Taiúva (Milani *et al.*, 2007). A Formação Marília subdivide-se nos membros Ponte Alta, Serra da Galga, e Echaporã (Milani *et al.*, 2007). Os membros Serra da Galga e Echaporã apresentam alguns aspectos composicionais, texturais e estruturais semelhantes aos identificados na Formação Santa Tecla. Assim sendo, é possível estabelecer algumas comparações entre os processos ocorridos nessas três unidades.

De acordo com Milani *et al.* (2007) o Membro Echaporã ocorre como platôs tabulares interdigitados maciços, e é composto por arenitos finos a médios, com frações grossas e grânulos em quantidades subordinadas, e litofácies conglomeráticas de poucos centímetros de espessura exibindo raramente estratificação cruzada de médio porte. Este membro, segundo o mesmo autor, formou-se como depósitos de lençóis de areia, onde se desenvolveram calcretes freáticos e pedogenéticos. Essas constatações feitas por Milani *et al.* (2007) vão de encontro às identificadas nos perfis estudados da Formação Santa Tecla, que

apresentam aspectos texturais, composicionais e, inclusive, geomorfológicos muito parecidos com os encontrados no Membro Echaporã.

O Membro Serra da Galga, de acordo com Ribeiro (2001), exhibe uma história diagenética caracterizada por uma grande variedade e complexidade de fases, favorecida em parte pelas condições climáticas em vigor na época de deposição desta unidade (Ribeiro & Gomes 1996; Ribeiro 1997 *apud* Ribeiro, 2001). Na eodiagênese os processos identificados por Ribeiro (2001) foram infiltração mecânica de argila, formação de calcretes, palicretes e silcretes, compactação mecânica e crescimento secundário de quartzo. Desses seis processos, três foram também identificados na Formação Santa Tecla, quais sejam: infiltração mecânica de argila, e a formação de calcretes e silcretes. Apesar de não ter sido identificado até o momento a presença de palicretes, os resultados da difração de raios-X sugerem a presença de paligorskita também nos arenitos da Formação Santa Tecla (Fig. 24 e 25).

A mineralogia dos calcretes do Membro Serra da Galga é constituída, basicamente por calcita microcristalina/micrítica com teor relativamente alto em Mg e, localmente, por calcita em mosaico (Ribeiro, 2001). Os calcretes da Formação Santa Tecla também são constituídos principalmente por calcitas microcristalinas e mosaico fino, porém essas calcitas também podem ocorrer de forma deslocante e se desenvolver em nódulos milimétricos a centimétricos. A partir das análises realizadas por difratometria de raios-X (DRX), é possível afirmar que as calcitas da Formação Santa Tecla também apresentam Mg em sua composição, pois os picos analisados deste mineral apresentam um leve deslocamento (“*shift*”) de sua posição angular teórica, indicando a presença do Mg em sua estrutura (Fig. 26).

Conforme ocorre na Formação Santa Tecla, os silcretes do Membro Serra da Galga apresentam estreita associação com os calcretes e ocorrem como níveis e camadas horizontais com espessura milimétrica a métrica, posicionando-se geralmente na parte superior dos afloramentos. A mineralogia dos silcretes do Membro Serra da Galga constitui-se por fases de sílica, nas quais predominam o chert/sílex, seguido pela calcedônia (fibrosa e radial), opala-CT e quartzo (Ribeiro, 2001). Na Formação Santa Tecla a mineralogia é constituída essencialmente por opala, calcedônia e raramente quartzo, não havendo registro de chert/sílex nas lâminas analisadas.

A partir dessas similaridades nos aspectos composicionais, estruturais e texturais das três unidades abordadas, é possível afirmar que a Formação Santa Tecla é semelhante à Formação Marília do Grupo Bauru em relação aos processos deposicionais e diagenéticos. A idade da Formação Santa Tecla é indefinida, devido à inexistência de relações desta com as rochas mesozóicas da Bacia do Paraná, sendo considerada genericamente como uma unidade cretácea a terciária (Ribeiro, 2001). A semelhança deposicional e diagenética da Formação Santa Tecla com o Grupo Bauru pode apontar para uma possível correlação entre estas unidades na Bacia do Paraná.

4.3 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X

As análises realizadas pela técnica de difratometria de raios-X foram aplicadas nas amostras PBT-50x1, PBT-50x4, PBT-50x5 (pedofácies A), PBT-51x2, PBT-51x3, PBT-51x6 (pedofácies B), PBT-50x6, PBT-50x7 (pedofácies C), PBT-51x12 e PBT-51x13 (pedofácies D). O processo de preparação para análise por difratometria de raios-X teve início a partir de um exame com auxílio de lupa binocular das amostras. Os materiais separados foram moídos, homogeneizados e montados numa base de vidro utilizando a técnica do esfregaço em amostra total (meio aquoso com alta densidade de amostra para atenuar a segregação dos minerais). O programa utilizado para as análises por difratometria foi determinado de acordo com a seguinte configuração: radiação monocromática $\text{CuK}\alpha$, faixa de varredura angular = $3^\circ - 40^\circ 2\theta$; step size = 0.04° ; step time = 3s.

Os difratogramas das amostras pertencentes às pedofácies A, B e D revelaram a presença de calcita em todas as amostras, sendo que nas amostras PBT-50x1, PBT-50x5, PBT-51x2, PBT-51x3 e PBT-51x6 a maior intensidade das linhas definidoras da calcita indicam que a quantidade deste mineral é mais elevada (Fig. 24 e 25). Outro aspecto importante dos difratogramas destas pedofácies é o deslocamento (“*shift*”) das linhas características da calcita e da dolomita (Fig. 26 e 27), possivelmente relacionado com a participação de Ca e Mg na composição desses carbonatos. Este comportamento indica que essas calcitas apresentam uma composição mais magnesiânica, e que as dolomitas apresentam uma composição mais cálcica. Os picos de dolomita aparecem apenas nas amostras correspondentes as pedofácies B e D, porém com maior intensidade nos difratogramas das amostras equivalentes a pedofácies D, indicando que esta

pedofácies apresenta uma maior quantidade de dolomita (Fig. 25), conforme constatado também na análise petrográfica. Os difratogramas de todas as amostras exibiram a presença de linhas características na faixa angular e com distâncias interplanares correspondentes aos minerais de quartzo e aos argilominerais do grupo das esmectitas (Fig. 24 e 25).

Outra informação importante revelada pela análise por DRX é a possível identificação de minerais do grupo da paligorskita, típicos de ambientes de clima árido. Os picos correspondentes a este grupo estão localizados a aproximadamente $8,4^\circ 2\theta$, com $d = 10.5$, referente ao plano atômico $\{110\}$ (Fig. 24 e 25). Outras linhas importantes do mineral identificadas localizam-se a $6,34\text{\AA}$ e $4,47\text{\AA}$ (Brindley & Brown, 1982) (Fig. 24 e 25). É importante ressaltar que a técnica utilizada ainda não é completamente conclusiva devido ao modo que as amostras foram preparadas. O processo de identificação deverá passar pela separação da fração argila das amostras. De qualquer forma, o comportamento do mineral paligorskita é identificado em todas as amostras analisadas. No perfil da Fazenda da Bela Vista ocorre adicionalmente esmectitas (principalmente na base da seção), minerais detríticos (quartzo e feldspato), calcita (dominantemente na base da seção) e dolomita (no topo da seção) (Fig. 25). No perfil do Corredor dos Leiteiros (Fig. 24), as pedofácies são texturalmente mais grosseiras, identificando-se apenas a calcita, que é mais comum na base do perfil. Com exceção da porção mais basal desta seção e diferentemente que no perfil da Fazenda Bela Vista, identifica-se nas amostras a presença marcante da opala-CT.

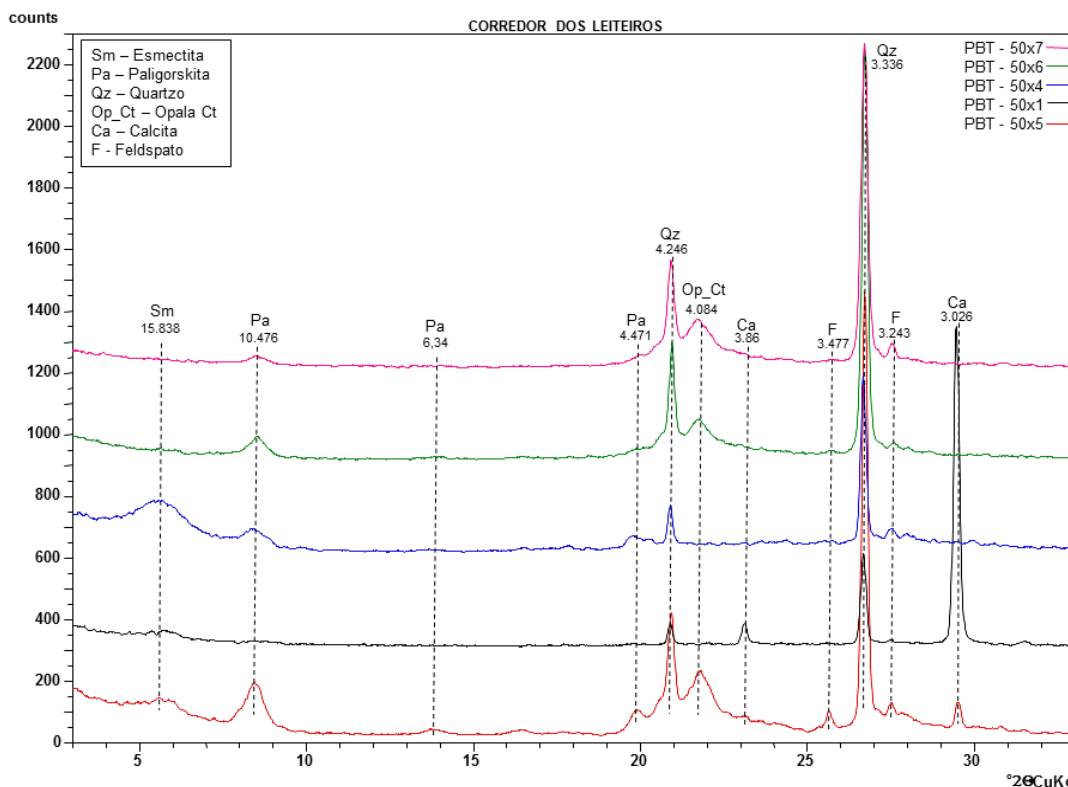


Figura 24 - Difratoograma múltiplo da seção Corredor dos Leiteiros revelando a presença dos picos pertencentes aos argilominerais do grupo das esmectitas e paligorskita e dos minerais de quartzo, calcita, feldspato e opala CT.

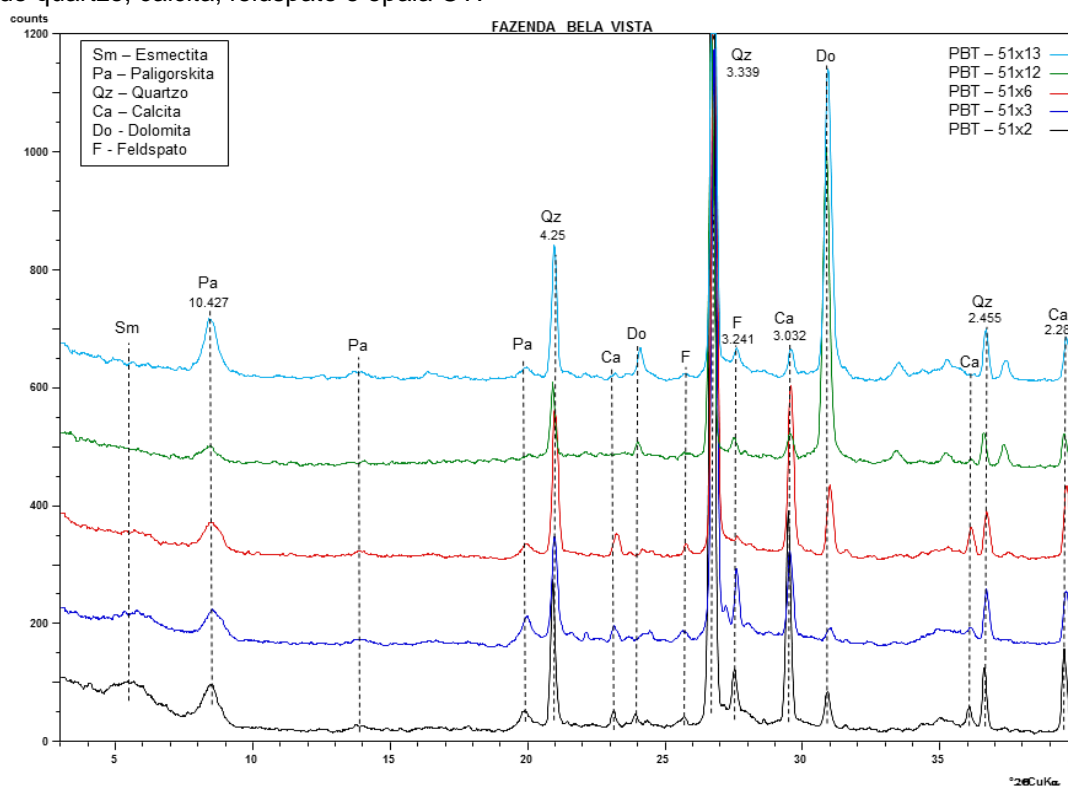


Figura 25 - Difratoograma múltiplo da seção Fazenda Bela Vista revelando a presença dos picos pertencentes aos argilominerais do grupo das esmectitas e de paligorskita e dos minerais de quartzo, calcita, dolomita e feldspato.

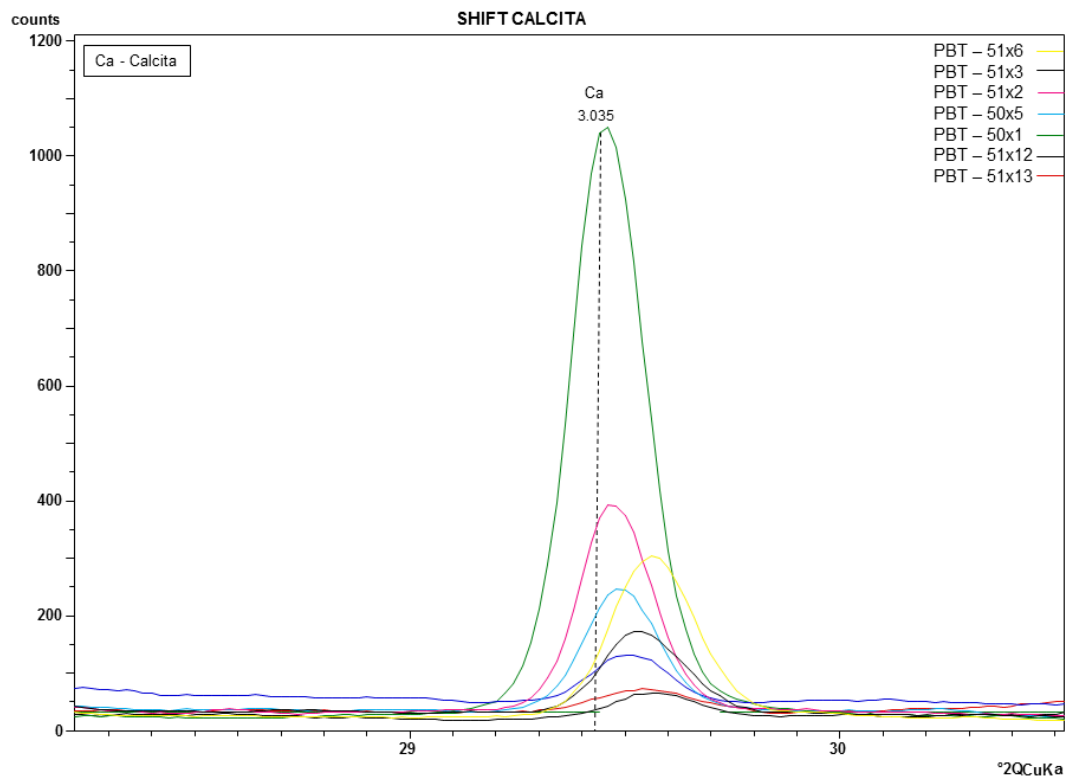


Figura 26 - Detalhe do deslocamento ("shift") da linha de difração mais intensa da calcita.

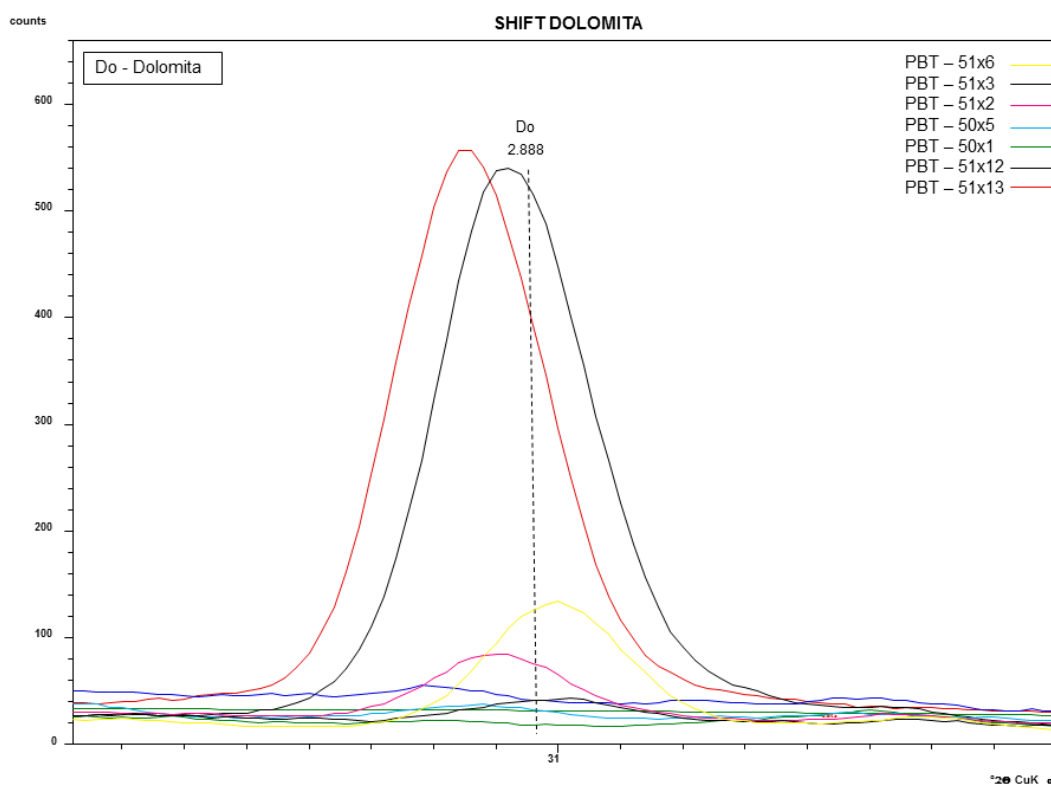


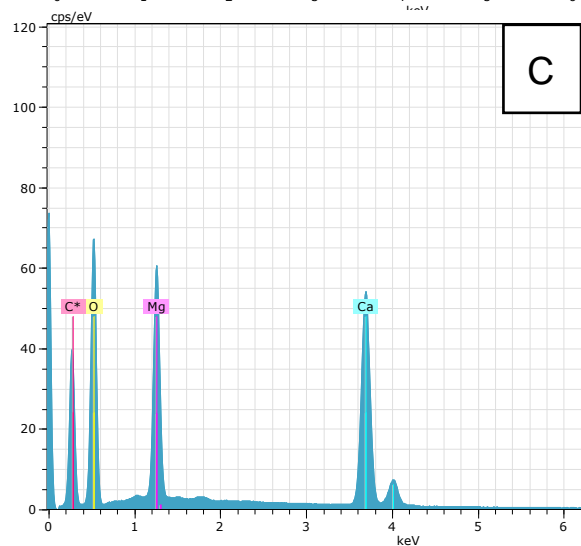
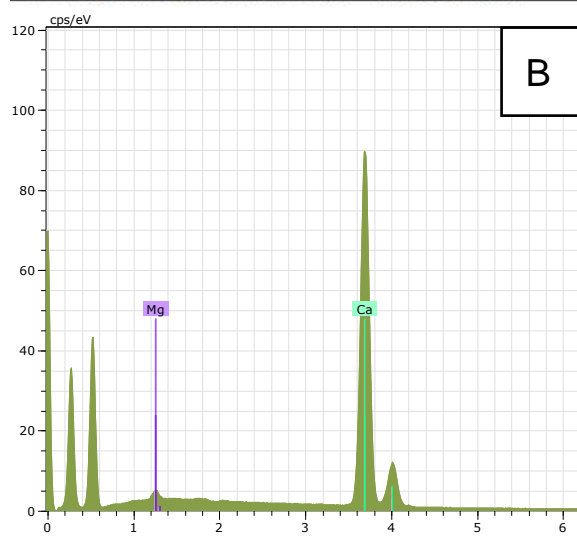
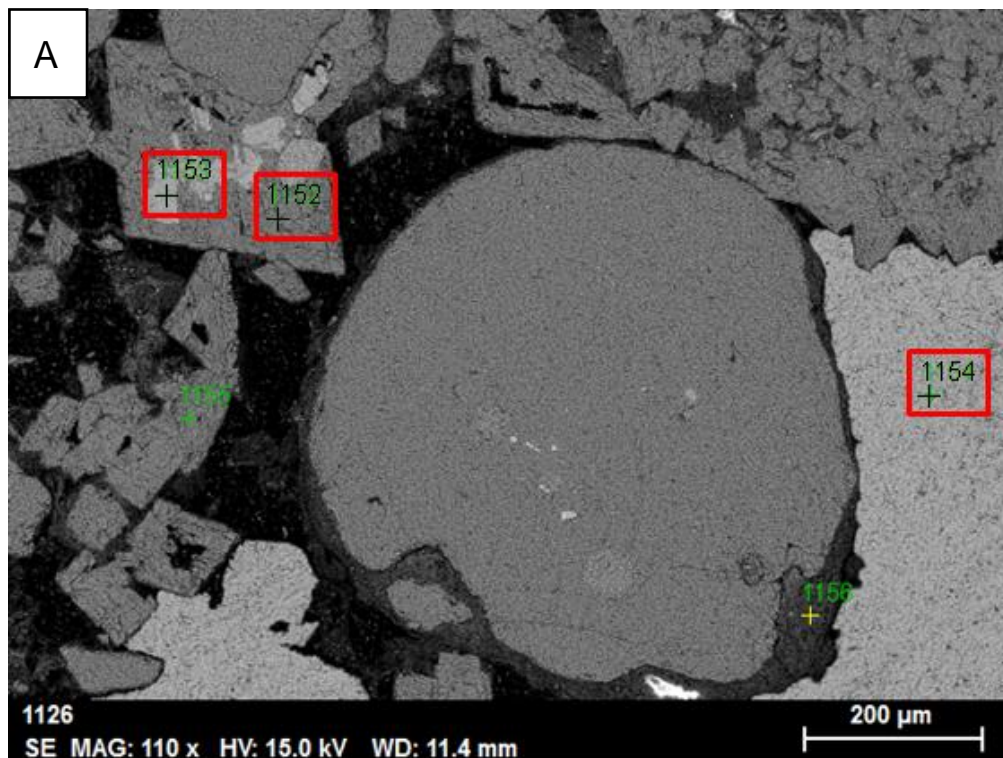
Figura 27 - Detalhe do deslocamento ("shift") da linha de difração mais intensa da dolomita.

4.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A análise por microscopia eletrônica de varredura foi realizada com o objetivo de complementar as informações mineralógicas e composicionais através do analisador EDS. A lâmina petrográfica escolhida foi a PBT – 51x13, por pertencer à seção em que foi observado no microscópio petrográfico a presença de dolomita, calcita e cutículas com argilominerais que poderiam estar relacionados com as esmectitas, porém, com propriedades óticas anômalas (indicativas de minerais do grupo da paligorskita, identificados através da difratometria de raios-X).

Antes de proceder a verificação, a lâmina a ser analisada passou por um processo de metalização por carbono. A análise foi realizada no microscópio eletrônico de marca JEOL modelo JSM-6610LV, com voltagem de aceleração de 15.0 kV. A faixa de magnificação utilizada durante a análise variou de 110x a 3.000x.

Através da análise por EDS foi possível observar que alguns cristais de dolomita romboédrica apresentam núcleo composto predominantemente por cálcio (~75%) e subordinadamente por magnésio (~2 a 3%) (Fig. 28 B), mostrando que esta dolomita apresenta uma porção central composta por calcita. A quantidade de Mg aumenta em direção às bordas da dolomita, chegando a aproximadamente 25% da composição total do mineral (Fig. 28 C). A partir da análise por EDS também foi possível identificar que a calcita não ocorre restrita aos minerais de dolomita, mas também está presente como cimento de hábito microcristalino (Fig. 28 D).



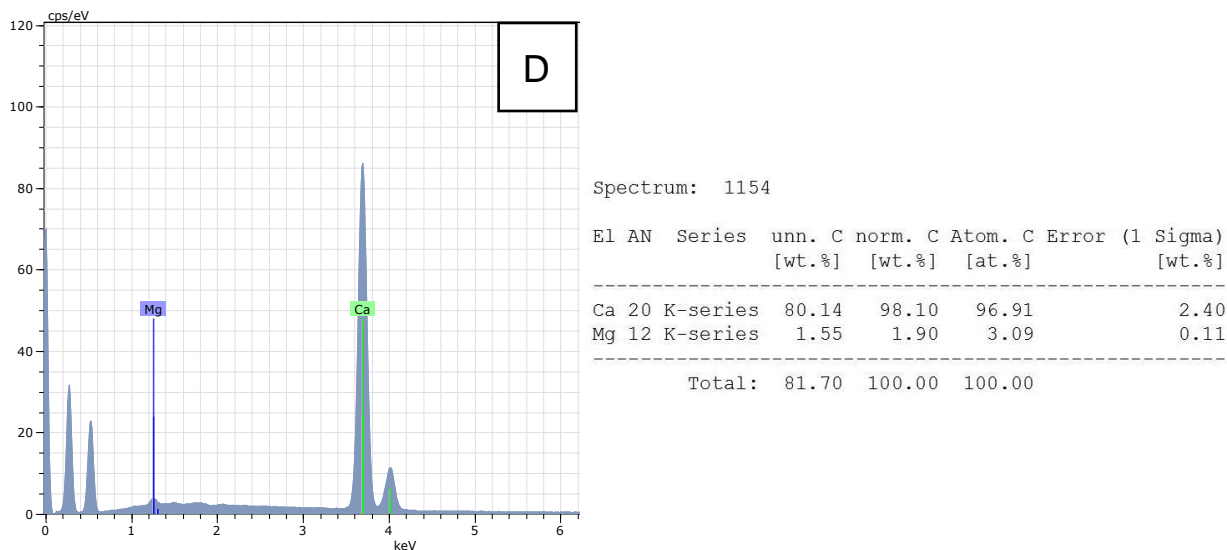


Figura 28 - Resultado da análise por EDS. A) Localização dos pontos analisados. B, C, D) Espectro e tabela composicional semi-quantitativa do ponto 1153, 1152 e 1154.

A análise por MEV também foi utilizada com o objetivo de registrar e analisar composicionalmente os possíveis argilominerais do grupo da paligorskita. Esses argilominerais podem exibir crescimento de hábito fibroso e estão localizados, na amostra em questão, nas cutículas de argila infiltrada. Entretanto não foi possível observar com clareza este hábito, pois a metalização por carbono não é a ideal para a obtenção de imagens de alta resolução, necessária para a observação da paligorskita. Porém, foi possível observar dentro da limitação representada pelo aumento permitido no método de metalização, que as cutículas analisadas apresentavam feições onduladas e alongadas, sugerindo a possível presença de mineral de hábito fibroso (Fig. 29).

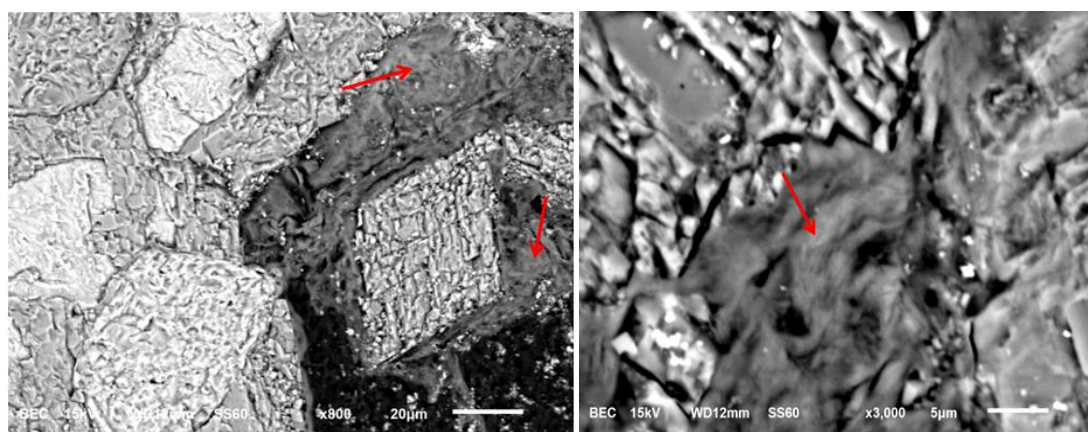
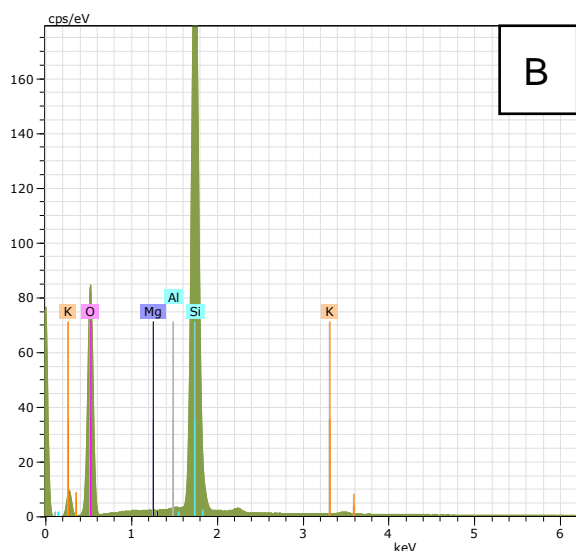
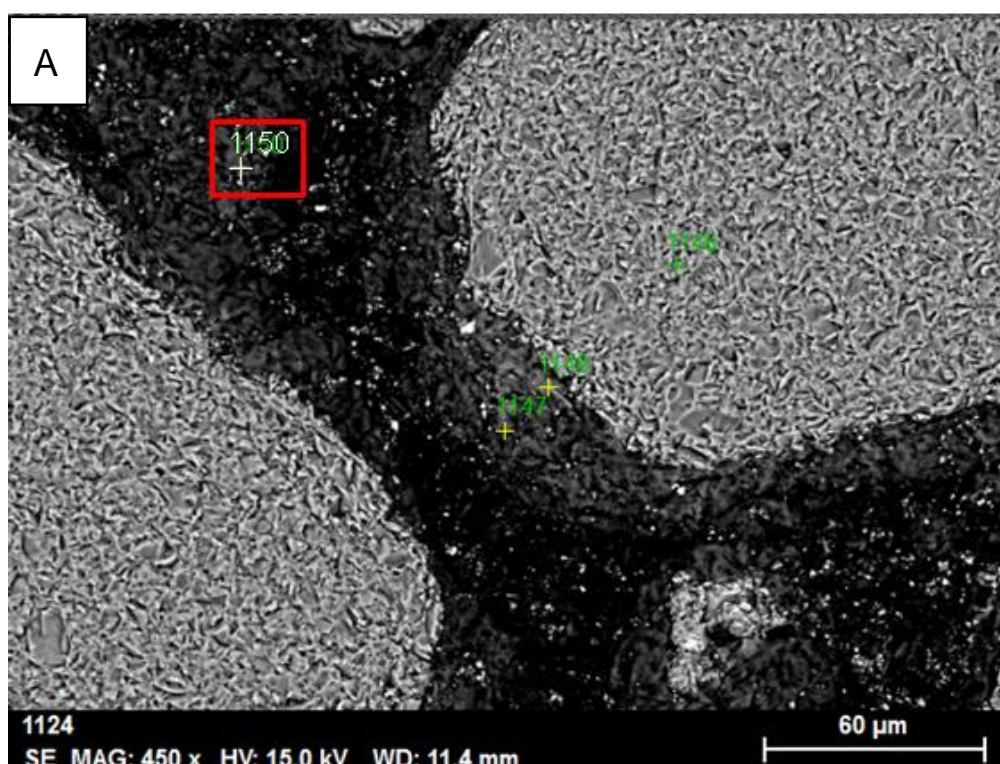


Figura 29 - Fotomicrografia exibindo a presença de feições onduladas e alongadas (setas vermelhas), podendo indicar a presença de argilominerais do grupo da paligorskita.

A partir das análises por EDS foi possível deduzir que essas porções são compostas predominantemente por Si (em torno de 27 a 28%), Mg (aproximadamente 6 a 7%), Al (4,45% em média) e Fe (em média 2,8%) (Fig. 30, 31 e 32). Admitindo esta composição como adequada, observa-se que a proporção Al/Mg dos minerais analisados é de aproximadamente 0,65. Em uma esmectita convencional ($[(\text{Na,Ca})_{0,3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n(\text{H}_2\text{O})]$), de acordo com dados composicionais de Deer *et al.* (1992), a relação Al/Mg é maior que quatro, enquanto que em uma paligorskita ($[(\text{Mg,Al})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH}) \cdot 4(\text{H}_2\text{O})]$) esta relação apresenta valor menor que 1. Portanto o valor encontrado nos minerais analisados condiz com o encontrado na relação Al/Mg da paligorskita.



Spectrum: 1150

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Si	14	K-series	26.31	44.91	37.07	1.12
O	8	K-series	17.48	29.83	43.23	1.97
Mg	12	K-series	5.82	9.94	9.48	0.33
Al	13	K-series	4.38	7.48	6.43	0.23
Fe	26	K-series	2.94	5.02	2.08	0.12
K	19	K-series	1.19	2.03	1.20	0.06
Cl	17	K-series	0.46	0.78	0.51	0.04
Total:			58.58	100.00	100.00	

Figura 30 - Resultado da análise por EDS. A) Localização do ponto analisado. B) Espectro e tabela composicional semiquantitativa do ponto 1150.

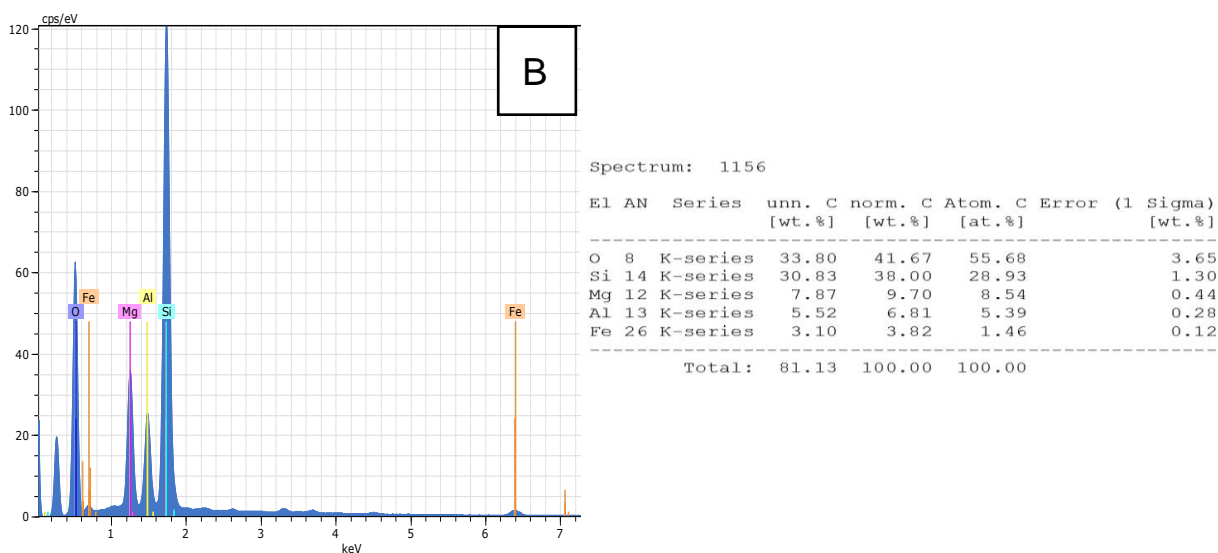
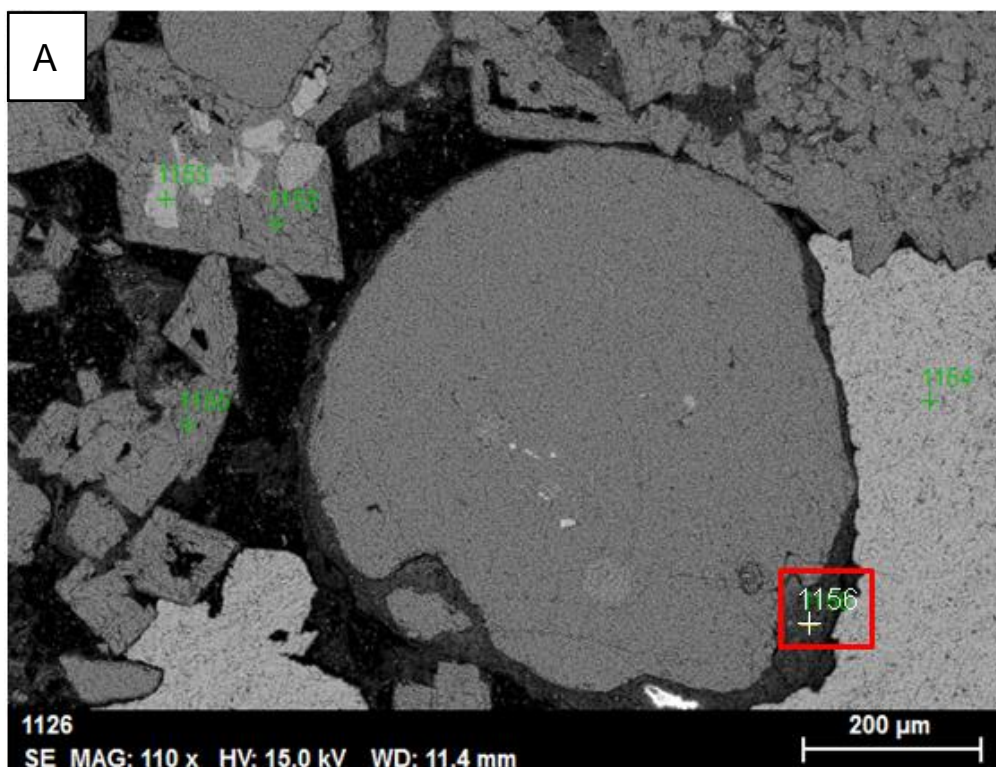
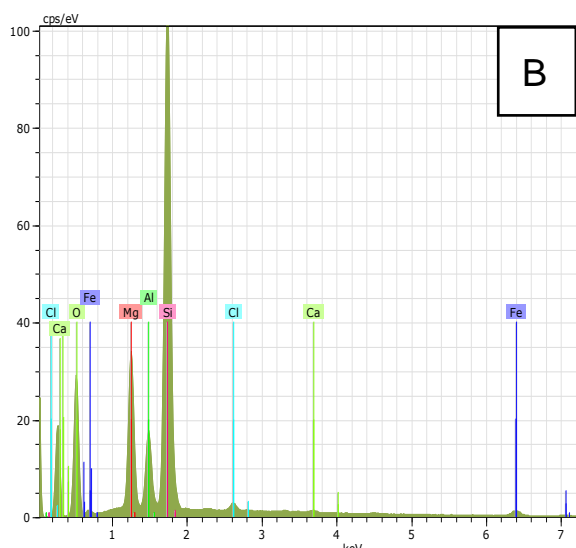
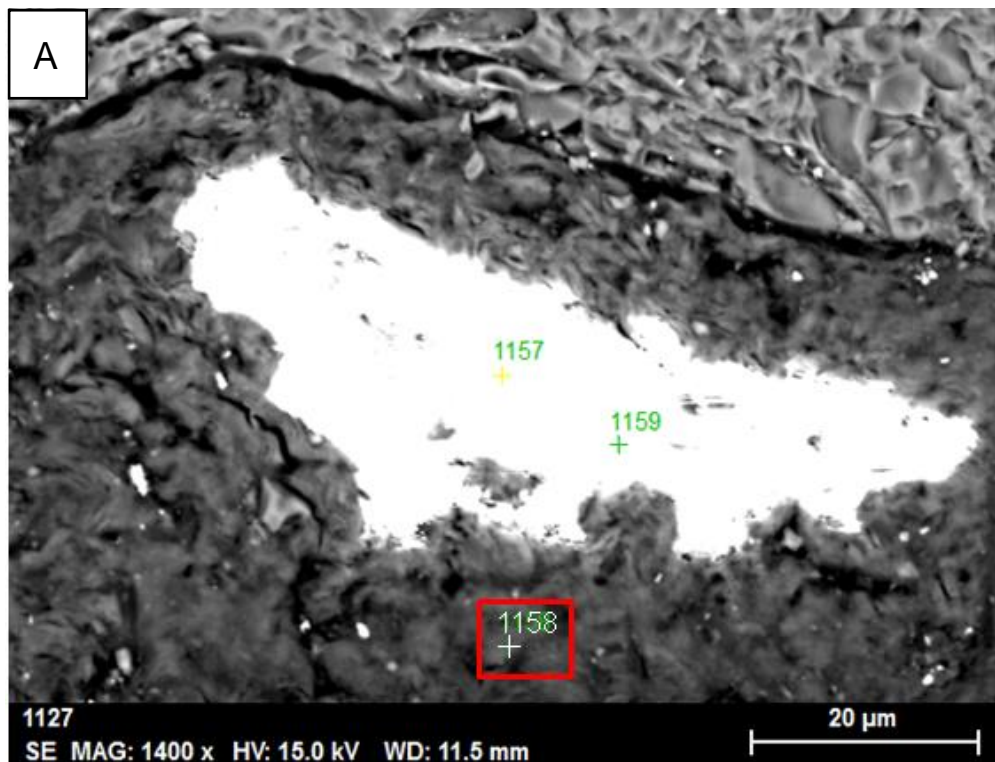


Figura 31 - Resultado da análise por EDS. A) Localização do ponto analisado. B) Espectro e tabela semiquantitativa composicional do ponto 1156.



Spectrum: 1158

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Si	14	K-series	26.49	46.34	37.75	1.12
O	8	K-series	17.37	30.39	43.46	1.95
Mg	12	K-series	6.84	11.97	11.26	0.39
Al	13	K-series	3.46	6.06	5.14	0.19
Fe	26	K-series	2.38	4.16	1.70	0.10
Cl	17	K-series	0.61	1.07	0.69	0.05
Total:			57.15	100.00	100.00	

Figura 32 - Resultado da análise por EDS. A) Localização do ponto analisado. B) Espectro e tabela composicional semiquantitativa do ponto 1158.

5 CONCLUSÕES

A partir dos dados levantados com este trabalho, e com base nas informações bibliográficas, foi possível concluir que:

1. A Formação Santa Tecla é formada por ciclos granodécrescentes ascendentes, com conglomerados e arenitos conglomeráticos na base, superpostos por arenitos finos a grossos no topo. A composição destas rochas é predominantemente quartzo-feldspática, com contribuição de litoclastos graníticos e sedimentares.
2. As três fácies identificadas nos perfis estudados foram depositadas em sistemas fluviais/aluviais desenvolvidos em ambiente continental de clima árido, localmente com pedogênese de solos calcários e silicosos.
3. A partir da determinação da composição essencial dos sedimentos estudados, pela análise petrográfica quantitativa, foi possível determinar que os arenitos e conglomerados provêm de blocos continentais de interior cratônico soerguido e subordinadamente de reciclagem orogênica (pedofácies A) (*sensu* Dickinson 1985).
4. Os perfis estudados são constituídos por acumulações carbonáticas, (calcretes e dolocretes) e silicosas (silcretes localizados no topo dos perfis), sendo os calcretes e silcretes encontrados em ambos os perfis e o dolocrete apenas na seção Fazenda Bela Vista.
5. Com base na observação em campo e em laboratório das feições, da composição e da mineralogia dessas acumulações carbonáticas e silicosas foi possível identificar quatro pedofácies. A pedofácies A foi identificada apenas no perfil Corredor dos Leiteiros e microscopicamente apresenta, como característica diagnóstica, cimento nodular deslocante de calcita microcristalina e mosaico fino. A pedofácies B ocorre apenas no perfil

Fazenda Bela Vista e é caracterizada microscopicamente por cimento de calcita mosaico fino parcialmente substitutiva. A pedofácies C é composta por cimento silicoso deslocante de opala, calcedônia e raramente quartzo preenchendo poros. Já a pedofácies D é caracterizada pela cimentação dolomítica predominantemente microcristalina.

6. Não é possível determinar apenas com as macrofeições identificadas (nodular, pedotúbulos e crosta), se os calcretes e dolocretes presentes são de origem pedogênica ou freática. Porém outras evidências levantadas no presente trabalho como mudanças composicionais dos perfis, identificação de microfeições típicas de assembleia alfa e número reduzido de horizontes nos perfis corroboraram com a ideia de que esses calcretes e dolocretes são de origem freática, porém não se descarta a ideia de alguma contribuição pedogênica.
7. Os silcretes da Formação Santa Tecla ocorrem preferencialmente no topo dos perfis e sua origem pode estar relacionada com flutuações no nível do lençol freático e mudanças de pH e temperatura.
8. O uso da análise por difratometria de raios-X contribuiu com as análises previamente realizadas por microscopia óptica e oportunizou a possível identificação de minerais do grupo da paligorskita.
9. A similaridade litológica e diagenética da Formação Santa Tecla e da Formação Marília (Grupo Bauru, Cretáceo da Bacia do Paraná) abre a possibilidade de que estas unidades sejam correlatas. Neste sentido, o presente trabalho terá contribuído para o posicionamento estratigráfico da Formação Santa Tecla, cuja relação com a Bacia do Paraná não tinha sido proposta até o momento.

REFERÊNCIAS

- Ab'Sáber, A. N. 1969. Participação das superfícies aplainadas nas paisagens do Rio Grande do Sul. *Geomorfologia*, São Paulo, n. 11, p. 1-17,.
- Almeida, F.F.M. 1967. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro, DNPM/ DGM. 36p. (Boletim 241).
- Alonso-Zarza, A.M., Wright, V.P., 2010. Calcretes. *In: Alonso-Zarza, A.M., Tanner, L.H. (Ed.), Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments, and Processes*, Amsterdam, Elsevier, p. 225-267.
- Beurlen, K. & Martins, E. A. 1956. O escudo Sul-rio-grandense: Conceito Geológico e Paleogeográfico. *Boletim do Museu Nacional*, RJ, 23: 1-25.
- Brindley, G.W. & Brown, G.1980. *Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification*. Mineralogical Society, 41 Queen's Gate, London SW7 5HR. 495 pp.
- Carvalho, P. F. 1932. Reconhecimento geológico efetuado no município de Caçapava, Brasil. Relatório Anual do Diretor de Serviço Geológico, Rio de Janeiro, p. 41-45.
- Carvalho, P. F. Reconhecimento geológico no Estado do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro: IGMB, 1932. 72 p. (Boletim, 66).
- Colson, J. & Cojan, I. 1996. Groundwater dolocretes in a lake-marginal environment: an alternative model for dolocrete formation in continental settings (Danian of the Provenance Basin, France). *Sedimentology*, 43: 175-188.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul* Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. escala 1:750.000
- De Ros, L. F., Goldberg, K., Abel, M., Victoretti, F., Mastella, L., Castro, E. 2007. Advanced Acquisition and Management of Petrographic Information from Reservoir Rocks Using the PETROLEDGE® System. Expanded Abstracts. **AAPG Annual Convention and Exhibition**, April 1-4, 2007, Long Beach, CA, USA. Long Beach, CA, **Abstracts Volume**, p.1.
- Deer, W. A.; Howie, R. A.; Zussman, J. 1992. *An introduction to the rock-forming minerals*. 2. ed. Harlow, Longman. 696 p.
- Dickinson, W. R. 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. *In: Zuffa, G.G. (Ed.). Provenance of arenites* NATO-ASI Series C. D. Reidel Pub. Co., Dordrecht, The Netherlands, p.333-361.
- Folk, R. L. 1968. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Hemphill's, 182p.
- Formoso, M.L.L. & Willig, C. 1966. A discordância Palermo-Santa Tecla. *Notas e Estudos da Escola de Engenharia da UFRGS*. Porto Alegre, 1(2): 83-91.

Horbach, R. *et al.* (1986). *Geologia*. In: Projeto RADAMBRASIL. Folha SH-22 - Porto Alegre e parte das folhas SH-21 – Uruguaiana e SI-22 – Lagoa Mirim, Rio de Janeiro. (Levantamento de Recursos Naturais, v.33), p. 29-312.

Justus, J. O., Machado, M. L. A., Franco, M. S. M. 2004. Geomorfologia. In: Mantesso-Neto, V, Bartorelli, A., Carneiro, C. D. R., Brito-Neves, B. B. (Eds). *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca, 647p.

Leinz, V., Barbosa, A. F. & Teixeira, E. A. 1941. Mapa Geológico Caçapava-Lavras. *Boletim da Diretoria da Produção Mineral*, 90: 1-39, Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio, Porto Alegre.

Miall, A. D. 1985. Architectural-element: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Science Reviews*, 22: 261-308.

Miall, A. D. 1999. *Principles of sedimentary basin analysis*. Berlin, Springer-Verlag, 628p.

Milani, E. J., Melo J. H. G., Souza, P. A., Fernandes, L. A. & França, A. B. 2007. Bacia do Paraná. In: Milani, E. J., Rangel, H. D., Bueno, G. V., Stica, J. M., Winter, W. R., Caixeta, J. M. & Pessoa Neto, O. C. (Eds.). *Bacias Sedimentares Brasileiras - Cartas Estratigráficas*. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, 15(2): 265-287.

Pierini, C. & Mizusaki, A. M. P. 2007. Significados paleoambientais e paleoclimáticos dos paleossolos: uma revisão. *Pesquisas em Geociências (UFRGS)*, 34 (1): 45-61.

Ribeiro, D. T. P. 2001. Diagênese das rochas do Membro Serra da Galga, Formação Marília, Grupo Bauru (Cretáceo da Bacia do Paraná), na região de Uberaba, Minas Gerais. *Revista brasileira de Geociências*, (31)1: 7-12.

Silva, J. L. & Menegotto, E. 2002. Aspectos mineralógicos de silicificações em rochas sedimentares mesozoicas no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(3): 317-326.

Summerfield M.A. 1983a. Silcrete as a Palaeoclimatic Indicator: Evidence From Southern Africa. *Palaeog. Palaeoc. Palaeoeco.*, 41:65-79.

Summerfield M.A. 1983b. Petrography and Diagenesis of Silcrete From The Kalahari basin and Cape Coastal Zone, Southern Africa. *Jour. Sed. Pet.*, 53: 895-909.

Tucker, M.E. 1988. *Techniques in Sedimentology*. Oxford, Blackwell Sci. Publ, 391p.

Walker, R.G.; James, N.P. (eds.) 1992. *Facies Models: response to sea level change*. Geological Association of Canada, 409 p.

Wright, V. P. 2007. Calcrete. In: Nash, D. J.; McLaren, S. J. *Geochemical sediments and landscapes*. [s.l.] Blackwell. p.10-45.

Wright, V.P., Tucker, M.E., 1991. Calcretes: an introduction. *In: Wright, V.P., Tucker, M.E. Calcretes. las reprint series 2.* Oxford, Blackwell Scientific Publications, p.1–22.

Zuffa, G.G. 1985. Optical analyses of arenites: influence of methodology on compositional results. *In: Zuffa, G.G. (Ed.) Provenance of arenites NATO-ASI Series,148, p. 165-189.*

ANEXOS

- 1 CD-ROM