



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

KAMILLA BORGES AMORIM

**MINERALOGIA E GEOQUÍMICA DOS PELITOS E
CARBONATOS DA FORMAÇÃO ALCÂNTARA,
CRETÁCEO SUPERIOR DA BACIA DE SÃO LUIS-
GRAJAÚ**

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM – PA

FEVEREIRO – 2010

KAMILLA BORGES AMORIM

**MINERALOGIA E GEOQUÍMICA DOS PELITOS E
CARBONATOS DA FORMAÇÃO ALCÂNTARA,
CRETÁCIO SUPERIOR DA BACIA DE SÃO LUIS-
GRAJAÚ**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia da
Universidade Federal do Pará – UFPA, em
cumprimento às exigências para obtenção do
grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões
Angélica.

Co-Orientador: Prof. Dr. Afonso César
Rodrigues Nogueira.

BELÉM
2010

KAMILLA BORGES AMORIM

**MINERALOGIA E GEOQUÍMICA DOS PELITOS E
CARBONATOS DA FORMAÇÃO ALCÂNTARA,
CRETÁCEO SUPERIOR DA BACIA DE SÃO LUIS-
GRAJAÚ**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia da
Universidade Federal do Pará – UFPA, em
cumprimento às exigências para obtenção do
grau de Bacharel em Geologia.

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica - Orientador
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Werner Truckenbrodt
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Membro:
Titulação:
Instituição:

Dedico este trabalho a minha mãe MARIA LÚCIA RIBEIRO BORGES pelo seu amor incondicional e esforço sobre-humano em tornar esse sonho realidade, a minha querida avó FRANCISCA RIBEIRO BROGES, ao meu pai LUIZ CARLOS PINTO e aos meus irmãos CARLA JOELMA BORGES PENHA e CARLOS VINICIUS BORGES PENHA pelo amor que lhes tenho.

AGRADECIMENTOS

A Deus por abençoar a mim e a minha família e por tornar possível a realização desse sonho.

A minha família por ser meu porto seguro e por ter tido muita paciência comigo durante esses 5 anos de graduação.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica pelos inúmeros ensinamentos, conversas e indispensável orientação que foram fundamentais na realização deste trabalho, além da confiança, motivação e amizade.

A ANP pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho e ao PRH-06 nas figuras do coordenador André Andrade e professora Renata Lourenço pela confiança e inúmeras oportunidades dadas a mim no decorrer dos dois anos trabalho.

Ao Prof. Dr. Afonso César Nogueira pelas inúmeras conversas e valiosas contribuições para o trabalho.

Ao Prof. Dr. Claudio Lamarão pelas valiosas análises de MEV, primordiais para o trabalho, pela amizade e inúmeras e divertidas conversas.

A amiga Joseanna que nesses quase cinco anos de convivência na geologia sempre esteve ao meu lado me dando força (literalmente, na preparação das minhas amostras para este trabalho), incentivo e companheirismo que me ajudam a crescer cada vez mais, além de me mostrar que a amizade verdadeira nasce do respeito e da troca de experiências.

A amiga Kellen Katucha pelo carinho, companheirismo, ajuda em vários momentos deste trabalho, incentivo e confiança, além dos momentos divertidos (muuuuuuuuu) que passamos juntas.

A Vivian e aos colegas da DRX Cristiane, Simone, Paulo, Liliane e Suziane pelas análises realizadas, fundamentais para este trabalho, e pela amizade.

Aos colegas do GSED Isaac, Joelson e Glauber pelas valiosas discussões das análises petrográficas.

A mais nova e divertida amiga Thicyana e aos colegas de curso da turma de 2006, Débora, Paulo Henrique (PH), Verena, Hudson, Raquel e Rafael pelos momentos de descontração, farras e valiosas conversas naquele lugar onde todo estudante vai pra relaxar (rsrsr), muito importantes para suportar a estafante rotina do curso de geologia e dos dias de trabalho neste TCC.

As colegas de turma Gisele e Aline pelos momentos descontraídos, conversas sérias (constatações de fatos importantíssimos), ajuda nos momentos em que o “quati” estava apertando (rsrsr) e por algumas farras e valiosas trocas de informações naqueles dias de teste.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A sucessão sedimentar inferior do Grupo Itapecuru, representada pela formação Alcântara, encontra-se bem exposta na região de Alcântara (MA). Esta formação é constituída por pelitos, arenitos e dolomitos. Esses litotipos representam uma sucessão progradacional de depósitos de leguna/*washover* e canal de maré sobrepondo-se a depósitos de *shoreface* gerados por processos de tempestade de grande intensidade. Nos últimos anos, os trabalhos realizados sobre a Formação Alcântara apresentaram como enfoque principal os estudos sedimentológicos e estratigráficos, visando a interpretação paleoambiental. O presente trabalho tem como enfoque principal à caracterização mineralógica e geoquímica dos argilominerais que ocorrem nos níveis pelíticos da Formação Alcântara, especialmente a palygorskita, além dos níveis carbonáticos associados e levantar proposições quanto a sua gênese. Para esse fim, foram descritos e amostrados dois perfis geológicos, um na Praia da Baronesa e outro na Ilha do Livramento, na cidade de Alcântara (MA). Foram coletadas 14 amostras, que após a preparação em laboratório, foram submetidas a análises mineralógicas e químicas por: Difração de Raios-X (DRX), Fluorescência de Raios-X (FRX), Análise Termodiferencial (ATD) e Termogravimétrica (TG), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Petrografia (duas amostras de dolomito). Os resultados mostraram que o perfil da Praia da Baronesa é composto por arenitos na base, seguido de pelitos dominantes, com intercalações de dolomitos. Nos pelitos, foram descritos uma ampla assembléia de argilominerais, em ambiente lagunar, com variações no conteúdo palygorskita, clorita, illita, esmectita e traços de caulinita. Observam-se ainda traços de dolomita, calcita e feldspatos. No perfil da Ilha do Livramento, dominam os arenitos depositados por processos de tempestade, com menores proporções de pelitos e sem dolomitos associados. No perfil da Praia da Baronesa os teores de palygorskita e dolomita (níveis dolomíticos) são acentuados, sugerindo que as condições climáticas durante o período de deposição foram áridas a semi-áridas, com alta evaporação, com salinidade relativamente elevada e pH alcalino no ambiente. Duas gerações de palygorskita foram descritas, uma na forma de bolsões ou acumulações macroscópicas, freqüentemente descritas na literatura, e outra na forma maciça, como o mineral dominante nos níveis pelíticos superiores do perfil da Praia da Baronesa. Essa segunda geração não era conhecida, podendo constituir em níveis métricos e que podem revelar interesse econômico.

Palavras-chaves: Palygorskita. Argilominerais. Pelito. Dolomito.

ABSTRACT

The lower sedimentological succession of the Itapecuru Group is represented by the Alcantara Formation, with several outcrops in the Alcantara region (Maranhão state, northern Brazil). This unit is mainly constituted by mudstones, sandstones and limestones. These lithotypes represent a progradational succession of lagoon/washover and tidal channel deposits that overlap huge shoreface deposits. In the last years, sedimentological and stratigraphical studies dealing with the Alcantara Formation were most related to paleoambiental interpretation. The main purpose of this work is to carry out a mineralogical and geochemical characterization of the clay minerals association related to the pelitic rocks of the Alcantara Formation, specially the known palygorskite occurrences. The Limestones were also investigated in order to evaluate their origin and the relationship with the clay minerals. Two geological profiles were sampled and described in the Alcantara city: at the Baronesa beach, and another one at the Livramento Island. Fourteen samples were collected in these two profiles. After laboratory preparation (drying and grinding) samples were submitted to mineralogical and chemical analysis by means of the following techniques: x-ray diffraction (XRD), x-ray fluorescence (XRF), differential thermal analysis (DTA) and thermal gravimetric analysis (DTG), scanning electron microscopy (SEM) and petrography (two samples of limestones). The results showed that the Baronesa Beach profile is mainly composed by sandstones at the base, followed by mudstones and intercalations of limestones. A wide clay mineral assemblage was described in a lagoon environment, with different contents of palygorskite, chlorite, illite, smectite and traces of kaolinite. Small amounts of dolomite, calcite and feldspars were also observed. In the Livramento Island, sandstones deposited by storm-processes are dominant, with minor proportion of mudstones and clearly without associated dolomites. In the Baronesa Beach profile, climatic conditions during the deposition period were arid to semi-arid, with high evaporation, and relatively high salinity and alkaline pH. Two generations of palygorskite were described: white macroscopic accumulations easily observed in the field and frequently described in the literature; and massive accumulation, as the dominant mineral, in the upper muddy levels of the Baronesa Beach profile. This second generation was still not known, and may constitute metric levels with potential economic interest.

Key Words:, Palygorskite, Clay minerals. Pelitic. Limestone.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 3.1 - Mapa de localização da área de estudo.....	16
FIGURA 4.1 - Mapa de localização da bacia de São Luís-Grajaú.....	17
FIGURA 4.2 - Coluna litoestratigráfica da Bacia da São Luis-Grajaú.....	18
FIGURA 4.3 - Seqüências deposicionais da Bacia de São Luis-Grajaú.....	19
FIGURA 7.1 - Falésia da Praia da Baronesa mostrando.....	30
FIGURA 7.2 - Perfil litológico da Praia da Baronesa, incluindo as amostras coletadas...	31
FIGURA 7.3 - Arenito fino esverdeado com laminação cruzada cavalgante.....	32
FIGURA 7.4 - Alternância dos níveis avermelhados e esverdeados nos pelitos.....	33
FIGURA 7.5 - Acumulações (em branco) de palygorskita nos pelitos esverdeados.....	33
FIGURA 7.6 - Nível dolomítico cinza-esbranquiçado.....	34
FIGURA 7.7 - Dolomito com feições semelhantes à macroporosidades.....	34
FIGURA 7.8 - Dolomito com bioturbações.....	35
FIGURA 7.9 - Raizes nos dolomitos.....	35
FIGURA 7.10 - Falésia da Ilha do Livramento.....	36
FIGURA 7.11 - Perfil litológico da falésia da Ilha do Livramento (Alcântara MA).....	36
FIGURA 7.12 - Estratificação cruzada do tipo <i>swaley</i>	37
FIGURA 7.13 - Laminação cruzada do tipo tangencial.....	37
FIGURA 7.14 - Laminações planas e cruzadas sigmoidais.....	38
FIGURA 7.15 - Clastos de arenito em matriz arenosa.....	38
FIGURA 7.16 - Pelitos avermelhados predominam em relação aos esverdeados.....	39
FIGURA 7.17 - Acumulações de palygorskita nos níveis pelíticos avermelhados.....	39
FIGURA 7.18 - Superposição dos difratogramas do perfil da Praia da Baronesa.....	41
FIGURA 7.19 - Detalhe do difratograma da amostra B1.....	42
FIGURA 7.20 - Difratogramas da lâmina orientada da amostra B-2.....	42
FIGURA 7.21 - Difratograma da amostra B-3 constituída por dolomita palygorskita.....	43

FIGURA 7.22 - Difratoograma da amostra B-5.....	44
FIGURA 7.23 - Difratoogramas da lâmina orientada da amostra B-6.....	44
FIGURA 7.24 - Difratoograma da amostra B7.....	45
FIGURA 7.25 - Difratoograma mostrando a mineralogia da amostra B-8.....	45
FIGURA 7.26 - Superposição dos difratogramas do perfil da Ilha do Livramento.....	46
FIGURA 7.27 - Difratoograma da amostra L-1.....	47
FIGURA 7.28 - Difratoograma da lamina orientada da amostra L-2.....	47
FIGURA 7.29 - Difratoograma da amostra L-3.....	48
FIGURA 7.30 - Difratoograma da amostra L-5.....	49
FIGURA 7.31 - Difratoograma da amostra l-6.....	49
FIGURA 7.32 - Detalhe da palygorskita associada a níveis pelíticos esverdeados.....	51
FIGURA 7.33 - Difratoograma da palygorskita de Alcântara.....	51
FIGURA 7.34 - Difratoogramas de comparação, palygorskita de Alcântara e a padrão.....	52
FIGURA 7.35 - Aspectos dos níveis de pelitos esverdeados e avermelhados.....	52
FIGURA 7.36 - Comparação das curvas de ATD da palygorskita.....	53
FIGURA 7.37 - Comparação das curvas da Análise Termogravimétrica (ATG).....	53
FIGURA 7.38 - Aspecto textural ao MEV da palygorskita dos bolsões/acumulações.....	55
FIGURA 7.39 - Aspecto textural ao MEV da palygorskita “maciça” da amostra B-6.....	56
FIGURA 7.40 - Figura 7.41 – Transformação clorita-palygorskita.....	57
FIGURA 7.41 - Diagrama de estabilidade palygorskita-clorita.....	58
FIGURA 7.42 - Laminações microbianas intercaladas com dolomicrito.....	60
FIGURA 7.43 - Laminações microbianas.....	60
FIGURA 7.44 - Pelóides envolvidos por dolomita micrítica e matéria orgânica.....	61
FIGURA 7.45 - Alternância de dolomita fina (micrítica) e “microesparítica”.....	61
FIGURA 7.46 - Dolomita micrítica preenchendo bioturbação (detalhe na seta).....	62
FIGURA 7.47 - Grão detrítico de quartzo.....	62
FIGURA 7.48 - Nódulos amarelados preenchidos por matéria orgânica.....	63

FIGURA 7.49 - Feições de dissolução.....	64
FIGURA 7.50 - Aspecto dos grãos detríticos.....	64
FIGURA 8.1 – Modelo deposicional da Formação Alcântara.....	71

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Resultados da análise química do Perfil da Praia da Baronesa.....	66
TABELA 02 - Resultados da análise química do Perfil da Ilha do Livramento.....	67
TABELA 03 - Comparação da palygorskita (PFL-1) com a de Alcântara (PA).....	68
TABELA 04 – Comparação dos teores dos elementos maiores das palygorskitas.....	69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
3	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
4	GEOLOGIA REGIONAL	17
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE PLYGORSKITA	21
5.1	ESTRUTURA E CONSTITUIÇÃO.....	21
5.2	GEOLOGIA E OCORRÊNCIAS.....	21
5.3	APLICAÇÕES.....	22
5.4	DADOS DE PRODUÇÃO.....	25
6	MATERIAIS E MÉTODOS	26
6.1	TRABALHOS DE CAMPO.....	26
6.2	TRABALHOS DE LABORATÓRIO.....	26
6.2.1	Preparação de amostras	27
6.2.2	Análises Petrográficas	28
6.2.3	Técnicas Instrumentais	28
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
7.1	GEOLOGIA LOCAL – DESCRIÇÃO DOS PERFIS.....	30
7.2	MINERALOGIA.....	41
7.2.1	Perfis	41
7.2.2	Palygorskita	50
7.3	PETROGRAFIA DOS DOLOMITOS.....	59
7.4	GEOQUÍMICA.....	66
7.4.1	Perfis	66
7.4.2	Palygorskita	68
8	CONCLUSÕES	70
	REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

A Formação Alcântara (Neoalbiano-Cenomaniano da Bacia de Grajaú) é constituída de arenitos, pelitos e carbonatos, segundo análise faciológica feita por Rossetti (1997). Representa uma sucessão progradacional com depósitos da laguna/*washover* e canal de maré sobrepondo-se a depósitos de *shoreface* gerados por processos de tempestade de grande intensidade.

Nos últimos anos, o Grupo de Pesquisa em Geologia Sedimentar da UFPA vem trabalhando nas bacias sedimentares paleozóicas e cretáceas da região norte e meio-norte do Brasil, especialmente na Bacia de São Luis-Grajaú e contribuíram de forma significativa para as conclusões de Rossetti op cit. Porém, a ênfase nesses estudos é sempre voltada ao estudo de fácies sedimentares e caracterização paleoambiental dos diferentes depósitos, muitas vezes sem maior significado econômico ou de caracterização mineralógica e geoquímica das rochas sedimentares.

Dessa maneira, trabalhos que tenham como objetivo a caracterização mineralógica dos litotipos desta formação são importantes, pois contribuem para um melhor entendimento geoquímico, que é de suma importância para determinar as condições de proveniência e ambiente de formação dos argilominerais, especialmente a palygorskita que ocorre na forma de acumulações esbranquiçadas, de níveis centimétricos, nos níveis pelíticos.

O presente trabalho, através de estudo de dois perfis, um na Praia da Baronesa e outro na Ilha do Livramento, teve como enfoque principal à caracterização mineralógica e geoquímica da assembléia de argilominerais presentes nos níveis pelíticos da Formação Alcântara, especialmente a palygorskita. Além disso, entender a associação deste mineral com os níveis dolomíticos, a fim de discutir a sua gênese e propor as condições de proveniência e ambiente de formação. No trabalho também foram realizadas comparações entre as características mineralógicas e químicas da palygorskita de Alcântara (PA), Guadalupe (PI) e os padrões de referência (PFI-1).

2 OBJETIVOS

O presente trabalho visa à caracterização mineralógica e geoquímica dos argilominerais que ocorrem nos pelitos da Formação Alcântara, tendo como objetivo discutir sua gênese e determinar as condições de proveniência e ambiente, assim como a possível associação com níveis dolomíticos que serão caracterizados através de estudos petrográficos, com o argilomineral palygorskita. Para tanto os objetivos específicos que determinaram esses padrões são:

- Caracterização Química e Mineralógica dos argilominerais e dos níveis carbonáticos associados aos pelitos da Formação Alcântara;
- Comparação das características químicas e mineralógicas da palygorskita estudada com depósitos deste bem mineral na Bacia do Parnaíba (Guadalupe-PI) e de padrões de Referência (PFI-1, da Flórida, USA).
- Discutir a gênese dessas ocorrências minerais e o seu significado paleoambiental.

3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na Bacia de São Luís-Grajaú, Estado do Maranhão, município de Alcântara, como mostra o mapa de localização (Figura 3.1)

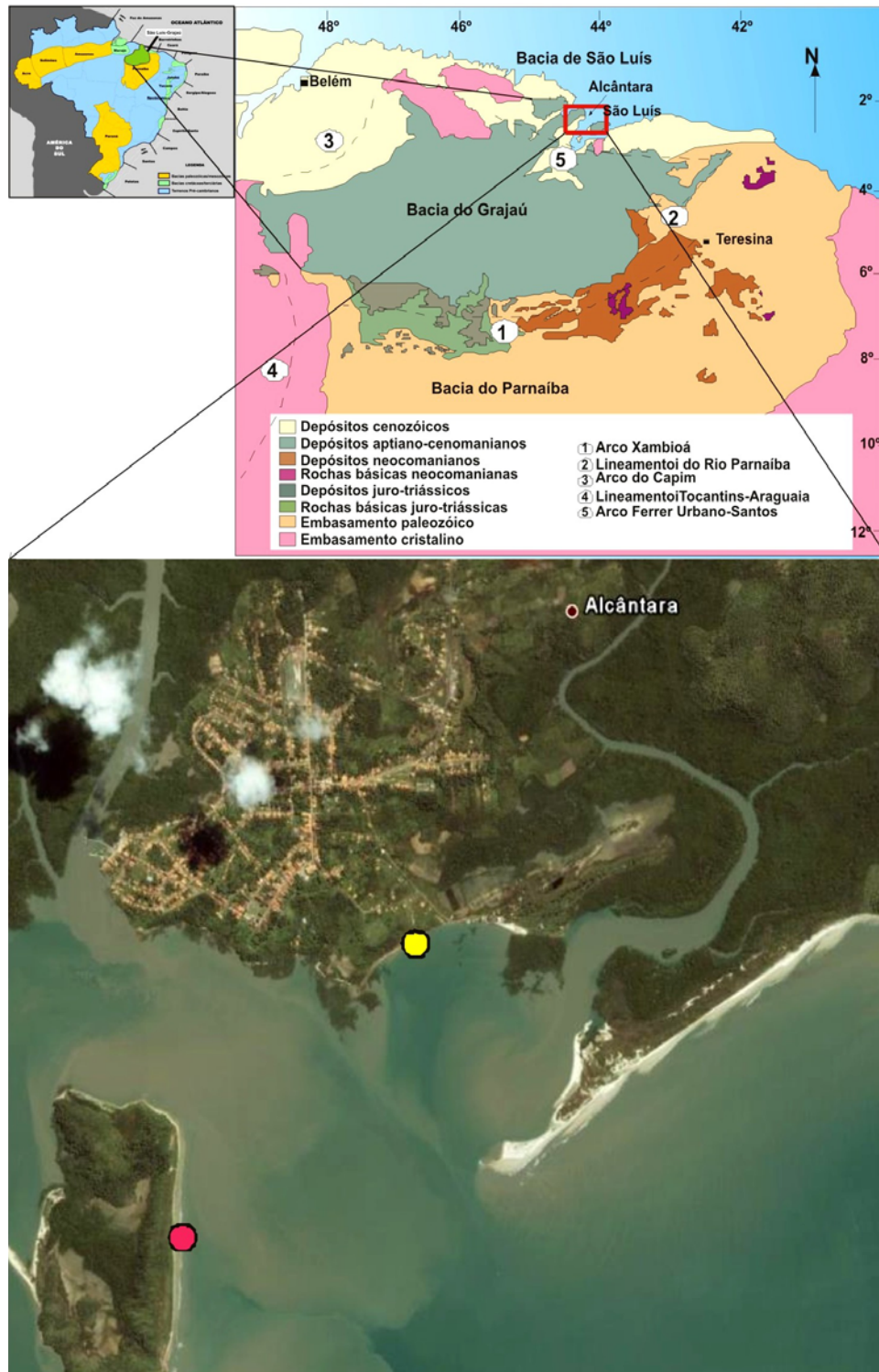


Figura 3.1- Mapa de localização da área de estudo.

● Perfil 1

● Perfil 2

4 GEOLOGIA REGIONAL

A Bacia de São Luís-Grajaú está localizada, em sua grande parte, no Estado do Maranhão, imediatamente a norte da Bacia paleozóica do Parnaíba, com a qual é limitada a sul pelo Lineamento Estrutural Xambioá (Figura 4.1). É limitada pelo Lineamento do Rio Parnaíba a leste, pelo Arco do Capim a noroeste e pelo Gráben de Ilha Nova a norte.

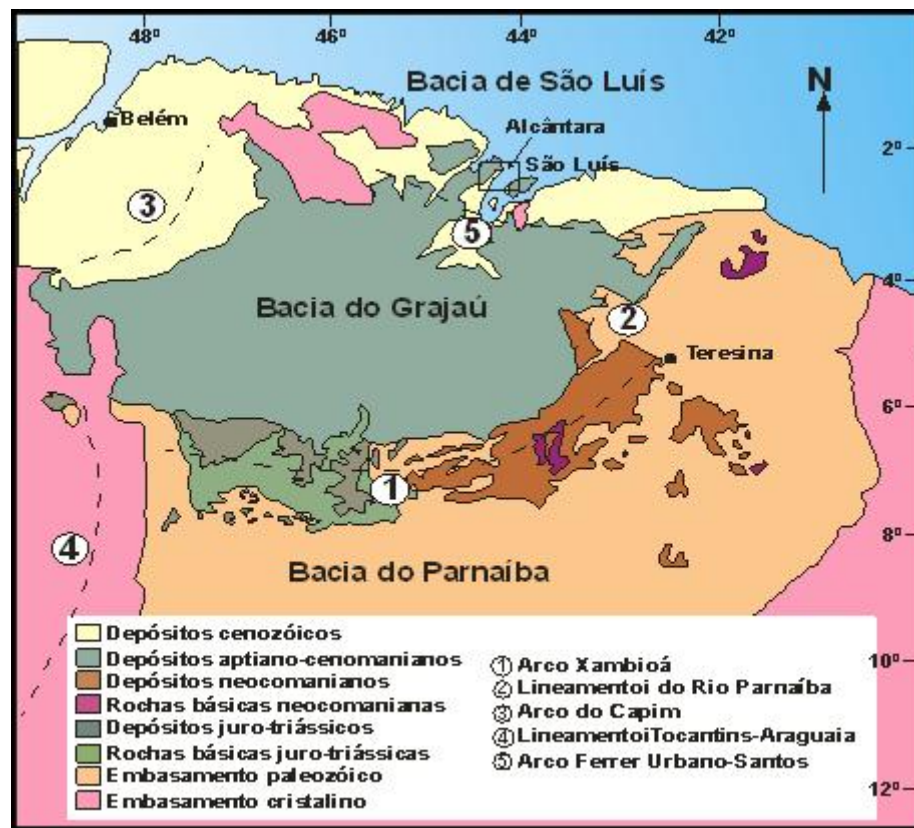


Figura 4.1 – Mapa de localização da bacia de São Luís-Grajaú na região meio-norte do Brasil. Fonte: Modificado de Rossetti (2001).

Previamente referida como Bacia do Alto Parnaíba e Bacia de Codó, a Bacia do Grajaú foi unida à Bacia de São Luís, ao norte, devido apresentarem afinidades quanto ao arcabouço estrutural e ao preenchimento sedimentar. Estudos relacionados aos conteúdos faciológico e estratigráfico realizados por Góes e Rossetti (2001), utilizando dados de superfície e subsuperfície, demonstraram que estas bacias apresentaram-se individualizadas somente até o Albiano, quando houve a transposição de altos estruturais (e.g., o Arco Ferrer Urbano-Santos) que serviam de barreira ao avanço da sedimentação para sul.

A Bacia de São Luis-Grajaú é quase que integralmente preenchida por rochas sedimentares cretáceas, que se estabeleceram sobre rochas graníticas, gnáissicas e metassedimentares pertencentes ao Cinturão de Dobramentos Gurupi e ao Cráton de São Luis, assim como das demais formações paleozóicas da Bacia do Parnaíba (CORDANI et al., 1984).

De acordo com Rossetti (2001) além desta característica, esta bacia apresenta evolução tectono-sedimentar associada a um sistema de *rift* continental abandonado, similar às demais bacias localizadas ao longo da margem continental brasileira. Portanto, o processo deposicional desta bacia pode ser resumido em três estágios: 1) *pré-rift* – Aptiano, caracterizado por adelgaçamento crustal seguido da formação de uma depressão por subsidência lenta; 2) *rift* – Albiano, intenso falhamento com formação de uma grande depressão, favorecendo o acúmulo de uma espessa sucessão sedimentar; e 3) *drift* –Albiano-Cenomaniano, fase de deriva continental com rápida ampliação do fundo oceânico associado a uma subsidência termal.

O conteúdo sedimentar desta Bacia está representado pelas Formações Codó, Grajaú, Unidade Indiferenciada, Alcântara e Cojupe, segundo a coluna litoestratigráfica abaixo.

Idade		Estratigrafia		
		Rossetti (2001)	Rossetti & Truckenbrodt (1997)	
CRETÁCEO	Cenomaniano/ Maastrichtiano	S3	GRUPO ITAPECURU	Formação Cujupe
				Formação Alcântara
	Albiano	S2		Unidade Indiferenciada
Meso				
	Eo			
	Aptiano	S1		Formações Codó e Grajaú

Figura 4.2 - Coluna litoestratigráfica da Bacia da São Luis-Graja
Fonte: Mendes e Truckenbrodt (2006).

As Formações supracitadas estão distribuídas em três seqüências deposicionais (Figura 4.3), estabelecidas por Rossetti (2001).

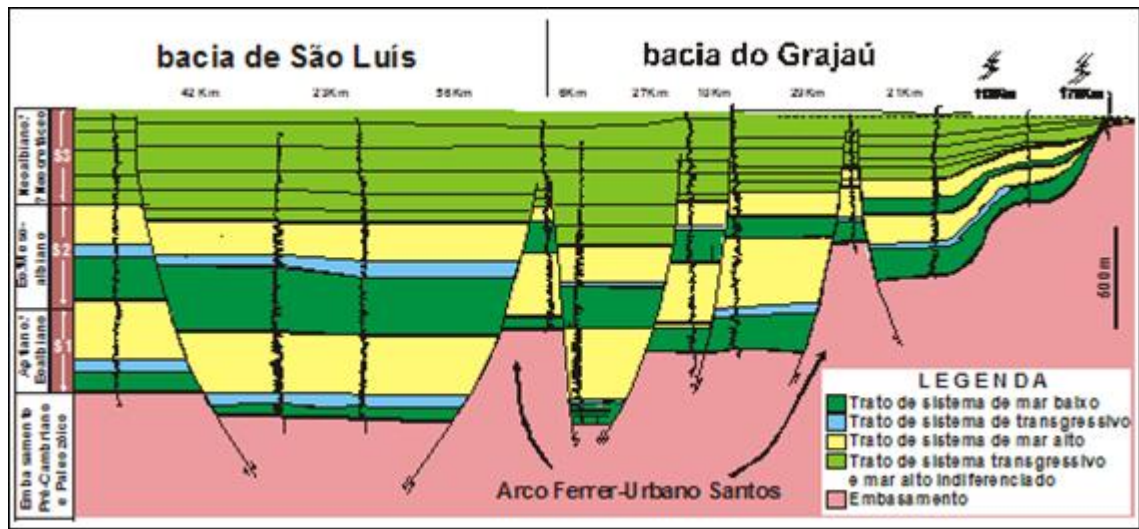


Figura 4.3: Seqüências deposicionais da Bacia de São Luis-Grajaú.
Fonte: Rossetti et al. (2001).

A deposição na Bacia de São Luis-Grajaú teve início com a seqüência deposicional S1 (Neoaptiana-Eoalbiense), constituída pelas Formações Codó e Grajaú, com sucessões sedimentares de espessura de aproximadamente 450 m. É subdividida em três unidades (S1a, S1b, S1c). No geral, consiste em arenitos, folhelhos, e subordinadamente, carbonatos, evaporitos, argilitos, com presença de dinoflagelados e foraminíferos. Apresenta ainda um intervalo argiloso, no qual se encontram dinoflagelados em abundância com uma rica fauna de briozoários, pelecípodes, ostracodes, e foraminíferos.

A seqüência deposicional S2 (Eo/Mesoalbiense) inclui a porção basal da Unidade Indiferenciada, pertencente ao Grupo Itapecuru (ROSSETTI; TRUCKENBRODT, 1999). Exibe cerca de 500 m de espessura e foi subdividida em três unidades (S2a, S2b e S2c). Apresenta camadas predominantemente arenosas, correspondendo à porção estratigráfica mais inferior. A porção intermediária possui composição mais argilosa e contém dinoflagelados. Na parte superior, sua composição é bastante arenosa. Esta seqüência foi investigada por meio de interpretações de perfis de raios gama e não está exposta de maneira adequada para estudos mais detalhados.

A seqüência deposicional S3 (Mesoalbiense-Neocretácica?) inclui a parte superior da Unidade Indiferenciada e as Formações Alcântara e Cojupe. A seqüência representa um intervalo com espessura média de 600m, podendo chegar a 800m. Ao contrário das seqüências deposicionais subjacentes, esta seqüência subdivide-se em seis unidades cíclicas

superpostas (S3a, S3b, S3c, S3d, S3e S3f), separadas umas das outras por superfícies de descontinuidade.

Segundo Rossetti (1997, 2001), a Formação Alcântara é constituída de pelitos, carbonatos e arenitos e apresenta idade neoalbiana-cenomaniana. Esses depósitos foram formados por processos de tempestade de grande intensidade e, subordinadamente correntes de maré, em ambientes de *shoreface* médio a superior, *foreshore*, canal de maré e laguna/*washover*. Tais depósitos configuram sistemas de ilhas barreira, caracterizado por mistura de fauna de água doce, marinha e salobra. As características anteriormente descritas, permitem levantar a possibilidade de conexão com um sistema estuarino do tipo dominado por onda. Esse provável estuário/ilha barreira teria se desenvolvido durante o trato de sistema de mar alto, quando a progradação destes tipos de sistemas deposicionais é favorecida pelo declínio na razão de elevação do nível do mar (ROSSETTI, 1997).

A Formação Cojupe é constituída por arenitos arcoseanos interdigitados por argilitos, que devido as suas características provavelmente foram depositados por processos de maré em sistema de vales estuarinos complexos (ROSSETTI, 1998).

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE PALYGORSKITA

5.1 ESTRUTURA E CONSTITUIÇÃO

A palygorskita é um argilomineral que pertence ao grupo das hormitas, classificado como um silicato complexo de magnésio, que apresenta uma estrutura em canal aberto formando cristais alongados geralmente com aspecto fibroso. Pode apresentar substituições isomórficas parciais do magnésio pelo alumínio e/ou ferro, caracterizando-se como uma estrutura cristalina ripiforme semelhante aos anfíbios. Essas substituições do magnésio nas camadas octaédricas dos minerais de argila resultam num excesso de cargas negativas, estas associadas a altas superfícies específicas tornam a palygorskita um potencial sorvente para algumas moléculas polares ou íons positivos (MURRAY, 2007). A capacidade de troca catiônica da palygorskita varia entre 20 e 50 miliequivalente por 100 g, o que não pode ser comparado com a esmectita, no entanto é maior do que a da caulinita. A fórmula ideal da palygorskita seria: $R_5S_8O_{20}(OH)_2(OH_2)_4.4H_2O$. Nesta, o R é o cátion Mg^{2+} que pode ser substituído pelo Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , na folha octaédrica da camada 2:1, o OH_2 representa água estrutural e H_2O representa água preenchendo os microcanais fibrosos do argilomineral. (MURRAY, op. cit.).

5.2 GEOLOGIA E OCORRÊNCIAS

Os sedimentos que são constituídos por palygorskita podem ser lacustres, marinhos ou salinos, e em geral esses depósitos podem ocorrer associados à esmectitas. Esses argilominerais apresentam características de sedimentação química alcalina, em ambiente lacustre (SOUZA SANTOS, O.; SOUZA SANTOS, H. 1984).

A Palygorskita ocorre em vários lugares do mundo e em alguns ela apresenta concentrações especiais como nos depósitos da Flórida e Geórgia, que têm a sua origem atribuída à alteração de detritos vulcânicos, resultantes da alteração diagenética da montmorilonita, proveniente de rochas cristalinas no continente, conforme citado por Murray (2000; 2007). A deposição desses sedimentos ricos em palygorskita ocorreu em águas rasas, caracterizadas pela flutuação de salinidade, além do fato de que em alguma época as lagoas formadas nessa região estiveram fechadas à circulação, de forma que a presença do Mg foi suficiente para formar a este mineral.

Outra ocorrência de palygorskita que merece destaque é na região de Guadalupe, Estado do Piauí, e de acordo com Resende (1997¹ apud LUZ; ALMEIDA, 2005) foi nessa região que surgiram as primeiras referências desse mineral no Brasil, e datam de 1982. Estas estão distribuídas por uma área aproximada de 70 km², em corpos que alcançam mais de 500 m de comprimento e espessuras de até 17m. A seqüência argilosa é constituída por camadas de palygorskita e argilas caulínicas. Cavalcante e Bezerra (1992), afirmam que a associação com nódulos de manganês, carbonatos, sílex e gastrópodos, sugere que a palygorskita de Guadalupe-PI foi neoformada em ambiente marinho, em condições possivelmente similares às ocorridas nas bacias de Togo, Dahoney, Senegal e Sudão Ocidental.

Estudos realizados por Hong et. al (2007) na Bacia de Linxia, província de Gansu, noroeste da China, mostraram que os sedimentos fluviais argilosos e lacustrinos, compostos principalmente por arenitos, siltitos e argilitos de fácies lacustrinos apresentaram conteúdos traços de palygorskita. Nesta Bacia a palygorskita é comumente encontrada em solos ricos em carbonato, indicando clima árido ou semi-árido, sendo que a sua origem é autigênia principalmente devido a ocorrência de partes corroídas de grãos detríticos de clorita e illita, crescendo e/ou cobrindo superfícies de cristais de clorita e calcita (HONG et al., 2007).

Além desses estudos anteriormente citados, a palygorskita também ocorre nos sedimentos do Atlas do Alto Marrakech. Segundo Daoudi (2004), a palygorskita, nesta região, ocorre em uma serie de rochas cretáceo-eocênica cujo ambiente deposicional é caracterizado por alta evaporação e fluxo periódico com água doce, resultando em flutuações rápidas da salinidade entre condições hipersalinas e de água doce. Além do ambiente, evidências texturais mostram que a palygorskita é autigênica e formada após a dolomitização dos carbonatos, com os quais a maior parte desse mineral encontra-se associada. A ocorrência de palygorskita sob condições similares a de Marrakech foi encontrada nas Bacias terciárias da África Ocidental e Oriente médio.

5.3 APLICAÇÕES

As aplicações da palygorskita são muito variadas, a sua forma alongada resulta em propriedades coloidais únicas, especialmente a resistência a altas concentrações de eletrólitos. As partículas alongadas variam no comprimento de cerca de 1 a 10µm de diâmetro. Esta

¹RESENDE, N. G. A. M. Argilas nobres e zeolitas na Bacia do Parnaíba. Relatório Final de Projeto, Superintendência Regional de Belém, 1997. 33p.

forma e o tamanho propiciam uma alta porosidade e superfície areal quando termalmente ativadas.

As aplicações da palygorskita foram divididas em duas grandes categorias, as coloidais e as não-coloidais. As propriedades coloidais resultam quando as partículas estão dispersas em um meio líquido para a extensão que as agulhas alongadas individuais são capazes de se mover mais ou menos independentemente uma em relação à outra. Nos casos não-coloidais, as agulhas estão unidas umas às outras para gerar partículas rígidas (MURRAY, 2007).

Os principais tipos de aplicações da palygorskita serão descritos a seguir, todos segundo Murray (2000, 2007) e Coelho, Santos e Santos (2007).

- Fluidos de Perfuração

A função é controlar a viscosidade da suspensão água argila. É usada em fluidos de perfuração que atravessam formações contendo sais de sódio, cálcio e magnésio, em substituição à bentonita. A palygorskita, ao saturar-se com esses sais, leva o fluido a flocular, perdendo as suas propriedades tixotrópicas. Este mineral pode também ser usado na perfuração de poços de petróleo, pois a própria água do mar pode ser usada a preparação do fluido sem que o mineral perca as suas propriedades tixotrópica.

- Cat Litter

A palygorskita, quando usada como cama de animais domésticos (*pet litter*), tem a particularidade de absorver a urina do animal, formando pequenas placas que são retiradas, periodicamente, e substituídas por um material novo. Esses minerais além de absorver os dejetos líquidos, diminuem as emanções de odores, que incomodam os próprios animais e seus proprietários.

- Carreadores na Agricultura

A alta capacidade sorvitiva da palygorskita a torna muito útil como carreador para pesticidas, inseticidas e herbicidas. Muitos destes produtos são líquidos ou pastas espessas que dificultam o modo de aplicação. A palygorskita quando impregnada é absorvida nos grânulos conferindo propriedades espessantes, suspensoras e tixotrópicas (gel) ao material suspensão. A viscosidade da suspensão pode ser manipulada através da concentração de sólidos, agitação e pH. Estas características, combinadas com a inércia química permitem que

os minerais do grupo das hormitas sejam usados como carreador de fertilizantes e defensivos agrícolas líquidos, bem como agentes suspensores de tintas e adesivos.

- *Pintura*

A palygorskita é usada para substituir coberturas orgânicas mais caras em emulsões de pintura, que resulta em um filme muito mais resistente de água e melhora a retenção da cor na lavagem, devido à insolubilidade da camada de argila. A mistura complexa de compostos químicos e pigmentos que constituem um sistema de pintura tende a floccular outros minerais em suspensão. As propriedades tixotrópicas da palygorskita oferecem fácil lavagem. Estes minerais também podem agir como estabilizantes de emulsões, servindo como um protetor de colóides. Outra propriedade é o seu plano liso melhora o brilho baixo na finalização de pinturas.

- *Abrosventes Industriais*

Os grânulos de palygorskita como material pulverizado são largamente comercializados, devido a sua alta capacidade absorventes tanto para óleo como para água. Durante etapas de processamentos industriais os grânulos e/ou poeiras podem ser espalhadas em água adsorvendo o óleo ou a gordura que posteriormente serão facilmente varridos e removidos.

- *Aplicações Farmacêuticas*

A palygorskita quando ativada tem uma capacidade de adsorção de 5 a 8 vezes maior para alcalóides (estricnina e quinina), bactérias e toxinas, justificando assim o seu uso na composição de produtos farmacêuticos.

- *Asfalto*

É usada como um emulsificante no asfalto. A propriedade positiva é que ela age como uma emulsão estabilizadora, servindo como um protetor para colóides. O asfalto, quando emulsificado, é muito mais fácil de aplicar e misturar com os agregados.

- *Barreiras Selantes*

A Palygorskita juntamente com bentonita sódica irá prevenir a dissecação de fendas formando barreiras através de ciclos úmidos e secos. Além disso, materiais que apresentem entre 30-40% de palygorskita resultam em uma boa barreira selante que pode ser usada em

depósitos de lixo tóxico. A palygorskita também tem uma afinidade para absorção de íons de metais pesados, mercúrio e urânio.

5.4 DADOS DE PRODUÇÃO

Os dados de produção sobre a palygorskita são muito escassos ou de difícil acesso. Pesquisas realizadas por Luz e Almeida (2008) divulgaram alguns dados sobre produção/exportação da palygorskita dos Estados Unidos (Flórida) e Brasil (Guadalupe- PI). Esses dados serão expostos a seguir que serão descritos a seguir.

Os Estados Unidos são maiores produtores de palygorskita, principalmente os estados da Flórida e da Geórgia. Segundo dados de 2006, este país produziu aproximadamente 262 mil toneladas de palygorskita, a um preço médio de US\$ 161,90/t.

No Brasil existem apenas duas minas em produção deste mineral, as minas do grotão do angico e boa vista, ambas no município de Guadalupe no Estado do Piauí. A produção anual de palygorskita fica em torno de 3.000 t e é comercializada por R\$ 750,00/t (US\$ 454,00/t).

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 TRABALHOS DE CAMPO

As atividades de campo foram realizadas em uma excursão com o curso de pós-graduação em sedimentologia, sob a responsabilidade do professor Afonso Nogueira e com o auxílio do professor Rômulo Angélica nos 28 de abril a 2 de maio de 2008, no município de Alcântara-MA.

Neste trabalho de campo foram confeccionados ao longo das falésias dois perfis, ambos no município de Alcântara. O primeiro na Praia da Baronesa, no qual foram coletadas oito amostras (B-1, B-2, B-3, B-4, B-5, B-6, B-7, B-8), e o segundo na Ilha do Livramento onde foram coletadas seis amostras (L-1, L-2, L-3, L-4, L-5, L-6). No geral, foram coletadas 14 amostras com peso médio de 3,5kg. Além destas, uma quantidade razoável de palygorskita foi retirada nos intervalos em que apareciam com maior frequência.

6.2 TRABALHOS DE LABORATÓRIO

Na fase de laboratório, as 14 amostras foram submetidas a análises por Difração de Raios-X (DRX), Fluorescência de Raios-X (FRX), Análises Termodiferencial (ATD) e Termogravimétrica (TG). Para análise de MEV e análises químicas foram selecionadas, as palygorskitas das amostras B-4, B-5 e B-6 (bolsões de palygorskita e pelitos maciços), e para as Lâminas Petrográficas foram selecionadas as amostras B-3 e B-8. Todos os laboratórios anteriormente citados fazem parte do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará.

No laboratório de DRX foi feita a secagem, o quarteamento e a pulverização de uma fração considerável de todas as amostras para análise de DRX, FRX, ATD-TG, IF, MEV e análises químicas (ACME). No laboratório de Sedimentologia foi feita a separação granulométrica das amostras, em que a fração argila obtida foi usada na preparação de lâminas orientadas.

As amostras de carbonatos (B-3 e B-8) foram escolhidas para a confecção de lâminas delgadas, que foram feitas na oficina de laminação do IG e estudadas sob o microscópio petrográfico nos laboratórios de petrografia.

6.2.1 Preparação de amostras

a) Tratamento Preliminar (secagem, desagregação, moagem.)

Aproximadamente 1 kg de cada amostra foi submetido à secagem, no Laboratório de Difração de Raios-x. Em seguida, as mesmas foram desagregadas em gral de ágata para posterior análise.

b) Separação da fração argila e confecção das lâminas orientadas

No laboratório de Sedimentologia foi realizada a separação granulométrica das amostras. A fração argila obtida foi usada na preparação de lâminas orientadas para análise de difração de raios-x. Primeiro, cerca de 12g do material foi peneirado em uma malha de 62 µm por via úmida. Depois a fração siltico-argilosa restante foi centrifugada para que essas duas frações fossem separadas. Em seguida, a argila foi pipetada sobre lâmina de vidro em condições de temperatura ambiente, até a secagem total. Neste momento a lamina passou por análise DRX, para então ser glicolada com etilenoglicol e em seguida ser aquecida a 550°C por duas horas. Após cada uma destas etapas, a amostra é novamente analisada por DRX.

c) Preparação de amostras para a DRX – Método do pó

Cerca de 500g de cada amostra foi submetido a um quarteamento para então ser efetuada uma pulverização em um grau de ágata de cerca de 20g de amostra e posteriormente submetidas a análises de DRX, pastilhas prensada e fundida (FRX), ATD-TG, e análises químicas.

d) Preparação de Pastilhas prensadas e fundidas para a FRX

Na preparação das pastilhas fundidas, foi utilizado 1g de amostra pulverizada, para 8g do fundente tetraborato de lítio ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$). Essa mistura é previamente submetida à homogeneização para melhor agregar a amostra. Em seguida essa mistura foi fundida a aproximadamente 1200°C em um cadinho de platina, obtendo-se assim um material não cristalino (material vítreo) próprio para análise da fluorescência.

Para a produção da pastilha prensada foi utilizado 3g da amostra previamente pulverizada (semelhante à pulverização pelo método do pó da DRX), em seguida foi

adicionado á amostra 0,6g de parafina para uma boa aglomeração, por fim essa mistura é submetida a uma homogeneizada e depois levada a uma prensa.

6.2.2 Análises Petrográficas

Os estudos petrográficos foram realizados em duas laminas delgadas (amostras B-3 e B-8), descritas com auxílio de microscópio petrográfico de luz polarizada ou transmitida do Laboratório de Petrografia da Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências (FAGEO/IG). As lâminas delgadas utilizadas neste trabalho para a realização de um estudo petrográfico detalhado foram confeccionadas no laboratório de laminação da FAGEO, a partir das amostras pertencentes à Formação Alcântara (MA). Para este estudo foi utilizada a classificação de Folk (1974).

6.2.3 Técnicas Instrumentais

a) Difração de Raios-X

O difratômetro utilizado foi o X'Pert Pro PANalytical, equipado com tubo de cobre e monocromador de grafite. Tensão e corrente foram ajustadas para 40 kV e 30 mA, respectivamente. Os registros foram realizados no intervalo de exposição de 5° a 75° 2 θ , steps de 2 θ com tempo de 5,55 min, fenda de 1/4 10s, para as amostras submetidas a DRX em amostra total e para as amostras analisadas sob forma de lamina orientada foi usado o programa Argila Spinner parado, com tempo de 2:53 min. Todos os resultados foram tratados de modo digital com softwares do próprio equipamento X'PERT HIGH SCORE e busca no banco de dados do PCPDFWIN (Powder Diffraction File – International Centre for Diffraction Data).

b) Fluorescência de Raios-X (FRX)

A fluorescência de raios X é uma técnica de análise química qualitativa e quantitativa de identificação dos elementos presentes numa amostra. A primeira expressa esses elementos em forma de óxidos e a segunda identifica a quantidade de cada elemento presente em uma determinada amostra.

A Fluorescência de raios x é constituída de quatro sistemas. O primeiro visa a produção de RX, o segundo promove a excitação da amostra, o terceiro é um sistema ótico e o

quarto é o que promove a detecção da radiação. A análise quantitativa é obtida através de medidas de intensidade das linhas do espectro característico de cada elemento existente na amostra.

Os dados foram adquiridos através do software *SuperQ Manager*, e o tratamento dos dados foi realizado pelo software *IQ+*, ambos da PANalytical. Para efeito de comparação, algumas amostras foram enviadas para análises químicas em laboratórios comerciais (Acme Analytical Laboratories, em Vancouver, Canadá), utilizando combinações de métodos como ICP-MS e FRX.

c) Análises Termodiferencial (ATD) e Termogravimétrica (TG)

Na análise termodiferencial, a curva gerada pelos dados da diferença de temperatura entre a amostra e o material de referência termicamente inerte, a cada minuto, em função da temperatura da amostra, apresenta picos de máximos e de mínimos, correspondentes à liberação de energia (reação exotérmica) ou absorção de energia (reação endotérmica), respectivamente.

Na análise termogravimétrica, a perda de massa é acompanhada pela curva decrescente com o aumento da temperatura a cada instante.

A análise de ATD/TG foi realizada através de um equipamento modelo *PL Thermal Science* com analisador térmico simultâneo STA1000/1500, da *Stanton Redcroft Ltda*, com forno cilíndrico vertical, conversor digital acoplado a um microcomputador, utilizando uma faixa de temperatura entre a ambiente e 1100 °C.

d) Microscopia Eletrônica de varredura (MEV)

O desenvolvimento de novos materiais tem exigido um número de informações bastante detalhado das características microestruturais só possível de ser observado no MEV. A análise microestrutural é muito importante, pois permite entender as correlações microestrutura - defeitos - propriedades.

As imagens morfológicas dos materiais em estudo foram obtidas por um microscópio eletrônico de varredura, da marca Zeiss, modelo LEO 1430. As amostras foram, primeiramente, metalizadas com ouro para permitir condutividade elétrica necessária no processo de formação das imagens, no equipamento Edwardes S 150.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 GEOLOGIA LOCAL – DESCRIÇÃO DOS PERFIS

A sucessão sedimentar da Formação Alcântara encontra-se bem exposta em afloramentos na porção central e norte da bacia, exatamente na região de desenvolvimento deste trabalho, no município de Alcântara (MA). Dois perfis foram descritos, sendo um na Praia da Baronesa e outro na Ilha do Livramento.

Na falésia da Praia da Baronesa (primeiro ponto de estudo), é encontrada uma das principais exposições da Formação Alcântara, em que se observa uma alternância de pelitos, arenitos e dolomitos, ressaltadas pelas variações de cores bem acentuadas que estão apresentadas na Figura como mostra a Figura 7.1.

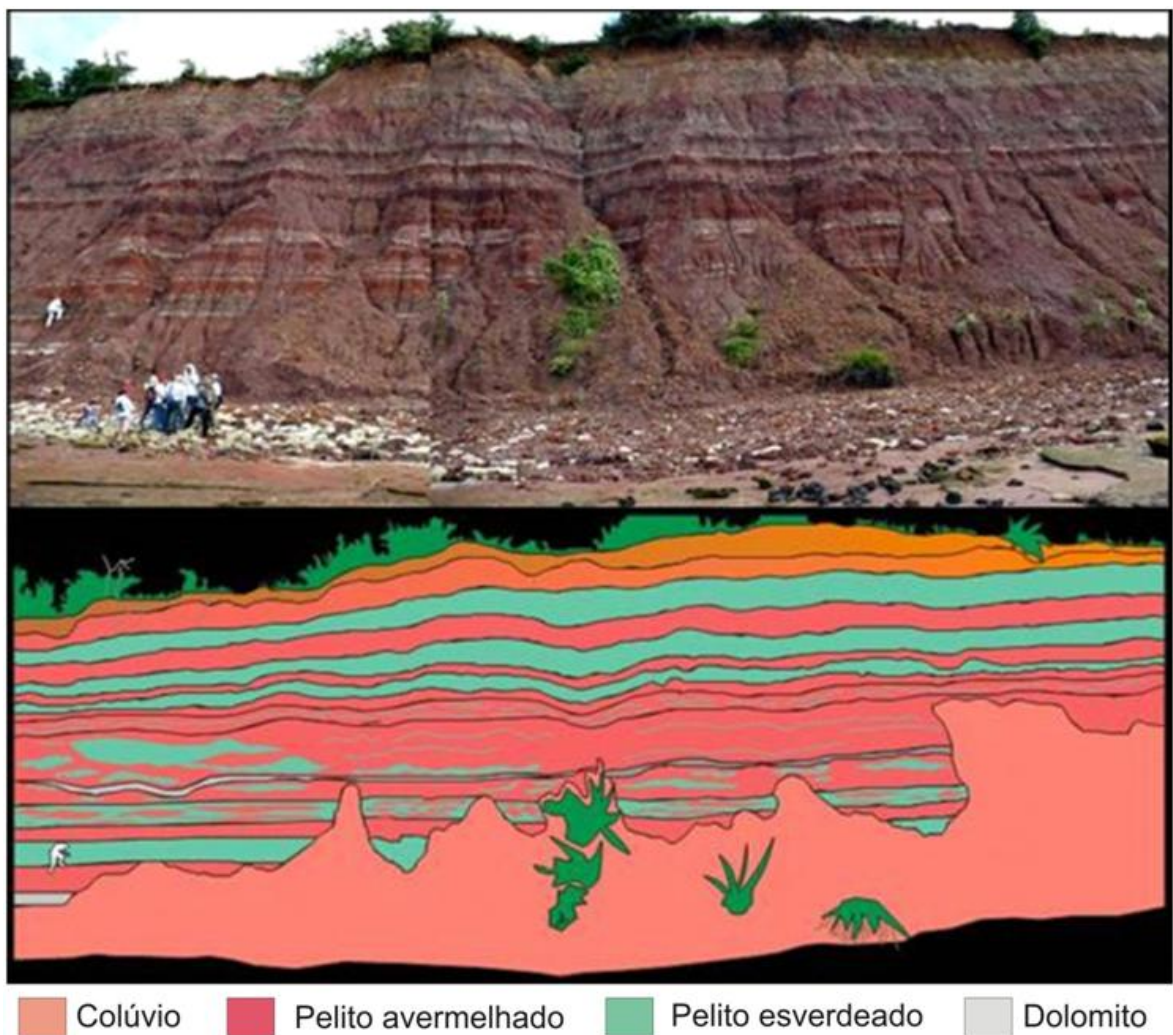


Figura 7.1 – Falésia da Praia da Baronesa mostrando a intercalação de cores nos pelitos.

A descrição detalhada do perfil da Praia da Baronesa, incluindo a posição das amostras coletadas, para análise mineralógica detalhada, está apresentada na Figura 7.2.

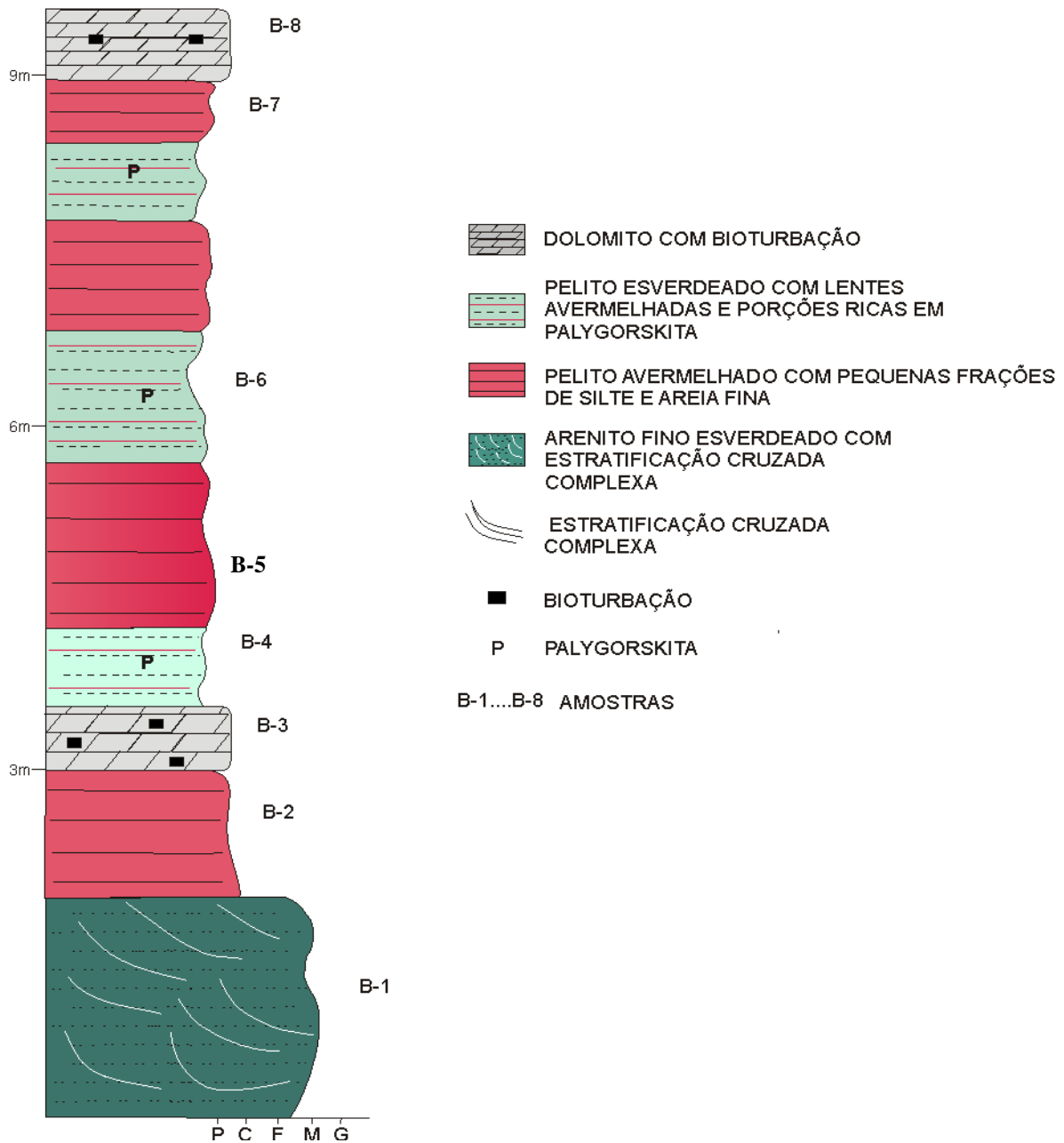


Figura 7.2 – Perfil litológico da Praia da Baronesa, incluindo as amostras coletadas.

Na base deste perfil são encontrados arenitos finos (Amostra B-1) de coloração esverdeada, grãos bem arredondados, esfericidade alta e bem selecionados. Apresentam estratificação cruzada complexa de pequeno e grande porte, com estruturas internas como laminações cruzadas cavalgantes, recobertas por filmes de argila (Figura 7.3).

Acima do arenito, e ao longo de todo o perfil, ocorrem alternâncias de níveis de pelitos com porções ricas em silte e areia muito fina. Os pelitos apresentam variações de coloração esverdeada (B-4 e B-6) e avermelhada (amostras B2, B-5 e B7), que é uma das feições mais características desse afloramento, como mostra a Figura 7.4. Esses pelitos apresentam um argilomineral esbranquiçado, que ocorrem distribuídos praticamente todo o perfil, na forma de concentrações esbranquiçadas (Figura 7.5) e pequenas lentes. Esse mineral foi descrito como palygorskita, o que depois foi confirmado por DRX, conforme será descrito a seguir. Trabalhos de Rossetti (1997, 2001), já descreveram a ocorrência deste mineral, como concreções dispersas em horizontes de paleossolo ou formando lâminas paralelas ao acamamento de depósitos argilosos.



Figura 7.3 – arenito fino esverdeado com laminação cruzada cavalgante.

Níveis dolomíticos, que variam de 70 a 80 cm, (amostras B3 e B8) ocorrem intercalados aos pelitos. Estes dolomitos são finos, de coloração branca a acinzentada, que apresentam uma espécie de macroporosidade preenchida por argila e estruturas de bioturbações (Figuras 7.6, 7.7, 7.8). Também exibem feições de superfícies microcarsticas, raízes (Figura 7.9) e micro brechas por ressecamento, que sugerem períodos em que provavelmente ocorreu emergência de água meteórica e pedogênese (ROSSETTI; TRUCKENBRODT, 1999).



Figura 7.4 – Alternância dos níveis avermelhados e esverdeados nos pelitos.



Figura 7.5 – acumulações (em branco) de palygorskita nos pelitos esverdeados.



Figura 7.6 – Nível dolomítico cinza-esbranquiçado.



Figura 7.7 – Dolomito com feições semelhantes a macroporosidades preenchidas por argilito.



Figura 7.8 – Dolomito com bioturbações.



Figura 7.9 – Raízes nos dolomitos.

Na Ilha do Livramento (segundo ponto de estudo), os litotipos da Formação Alcântara afloram ao longo de falésias contínuas de extensão quilométrica (Figura 7.10). Neste perfil predominam arenitos e pelitos de coloração avermelhada. A descrição dos litotipos deste perfil, assim como a posição das mostras coletadas, está apresentada na Figura 7.11.



Figura 7.10 – Falésia da Ilha do Livramento mostrando a predominância do tom avermelhado tanto nos pelitos quanto nos arenitos.

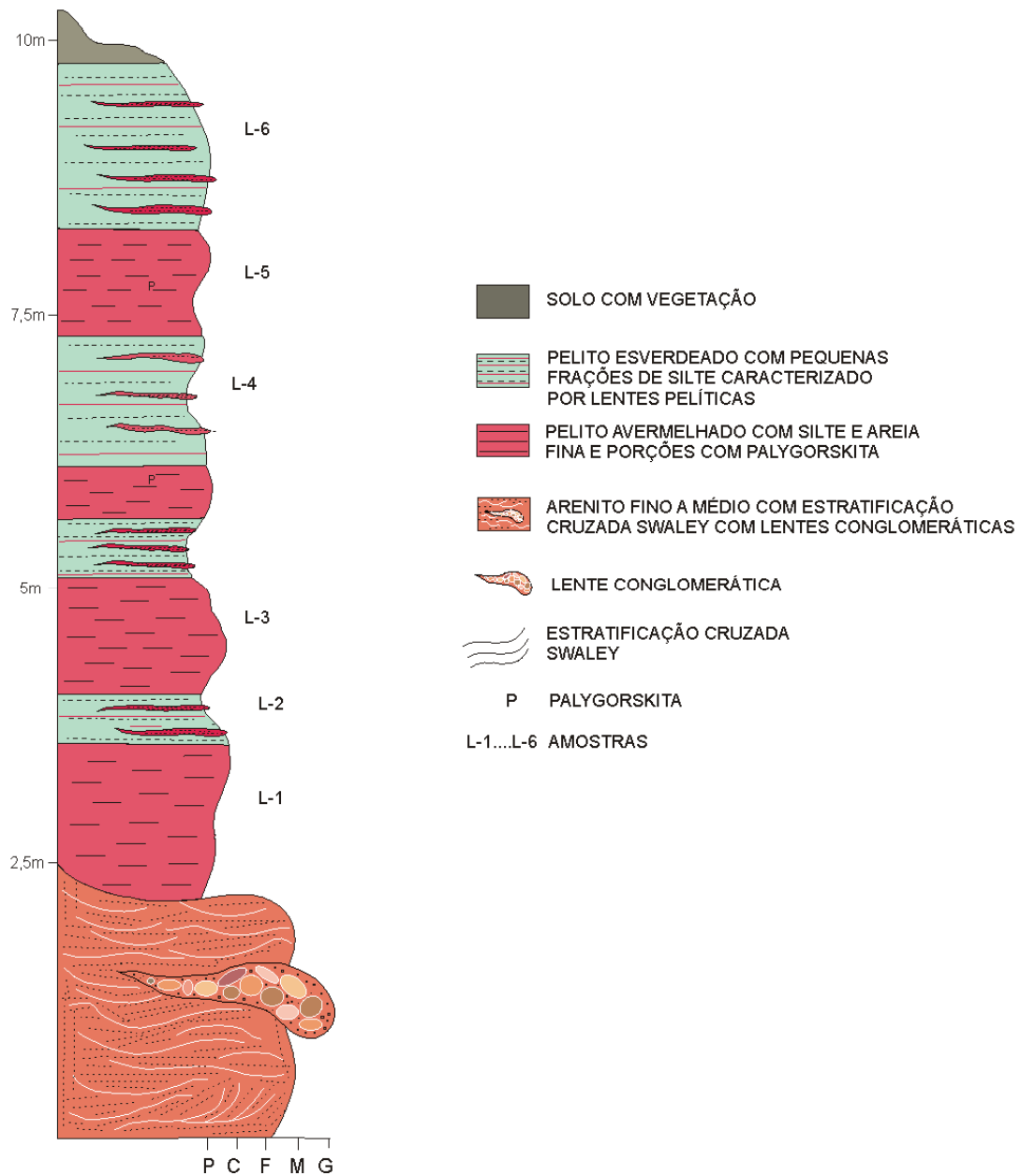


Figura 7.11 – Perfil litológico da falésia da Ilha do Livramento (Alcântara-MA), mostrando a posição das amostras coletadas.

O perfil apresenta na base arenitos de cor avermelhada, de granulação fina a média, grãos bem selecionados, com esfericidade alta e bem arredondados. Estes arenitos exibem estruturas como estratificação cruzada do tipo *swaley* (Figura 7.12), laminação cruzada do tipo tangencial intercalada com laminação plana paralela (Figura 7.13), laminações planas e cruzadas sigmóidais (Figura 7.14), e clastos de arenito em matriz arenosa formando lentes de conglomerados (Figura 7.15).



Figura 7.12 – Estratificação cruzada do tipo *swaley*.



Figura 7.13 – Laminação cruzada do tipo tangencial.



Figura 7.14 – Laminações planas e cruzadas sigmoidais.



Figura 7.15 – Clastos de arenito em matriz arenosa.

Acima do nível arenítico anteriormente descrito, e ao longo do perfil, ocorrem alternâncias nos níveis de pelitos, com algumas porções ricas em silte e areia fina. Os pelitos apresentam variações de coloração avermelhada e esverdeada. Nos pelitos esverdeados, a ocorrência de lentes avermelhadas é muito marcante, e por esse motivo o tom avermelhado é bem mais acentuado neste perfil, em comparação com o Perfil da Baronesa, como mostra a

Figura 7.16. Esses pelitos apresentam palygorskita, que ocorre em algumas porções do perfil, na forma de acumulações esbranquiçadas como mostra a Figura 7.17.



Figura 7.16 – Pelitos avermelhados predominam em relação aos esverdeados.



Figura 7.17 – Acumulações de palygorskita nos níveis pelíticos avermelhados.

Segundo estudos realizados por Rossetti (1997), a ocorrência em larga escala de pelitos (perfil da praia da baronesa) indica que prevaleceu um ambiente de baixa energia com deposição por suspensão. A ocorrência de lentes de arenitos, com laminações cruzadas cavalgantes e laminação cruzada complexa, na fácies pelítica reportam a episódios de influxos de areia, através de processos de *washover* durante períodos de maior energia (tempestade). No perfil da ilha do livramento a ocorrência de estruturas como estratificação cruzada do tipo *swaley* assim como as laminações tangenciais que ocorrem no nível arenítico da base do perfil, indica deposição em um ambiente de alta energia alta energia, provavelmente dominado por tempestade, como sugerido por Nichols (2009).

As análises realizadas por Rossetti (1997, 1999, 2001), na região de Alcântara (local de realização deste trabalho) sugerem que esses depósitos foram gerados por processos de tempestade e maré e acumularam-se em ambiente de *shoreface*, canal de maré e laguna/*washover*.

7.2 MINERALOGIA

7.2.1 Perfis

A Figura 7.18 apresenta a superposição de todos os difratogramas de raios-X com a composição mineralógica das amostras analisadas do Perfil da Praia da Baronesa.

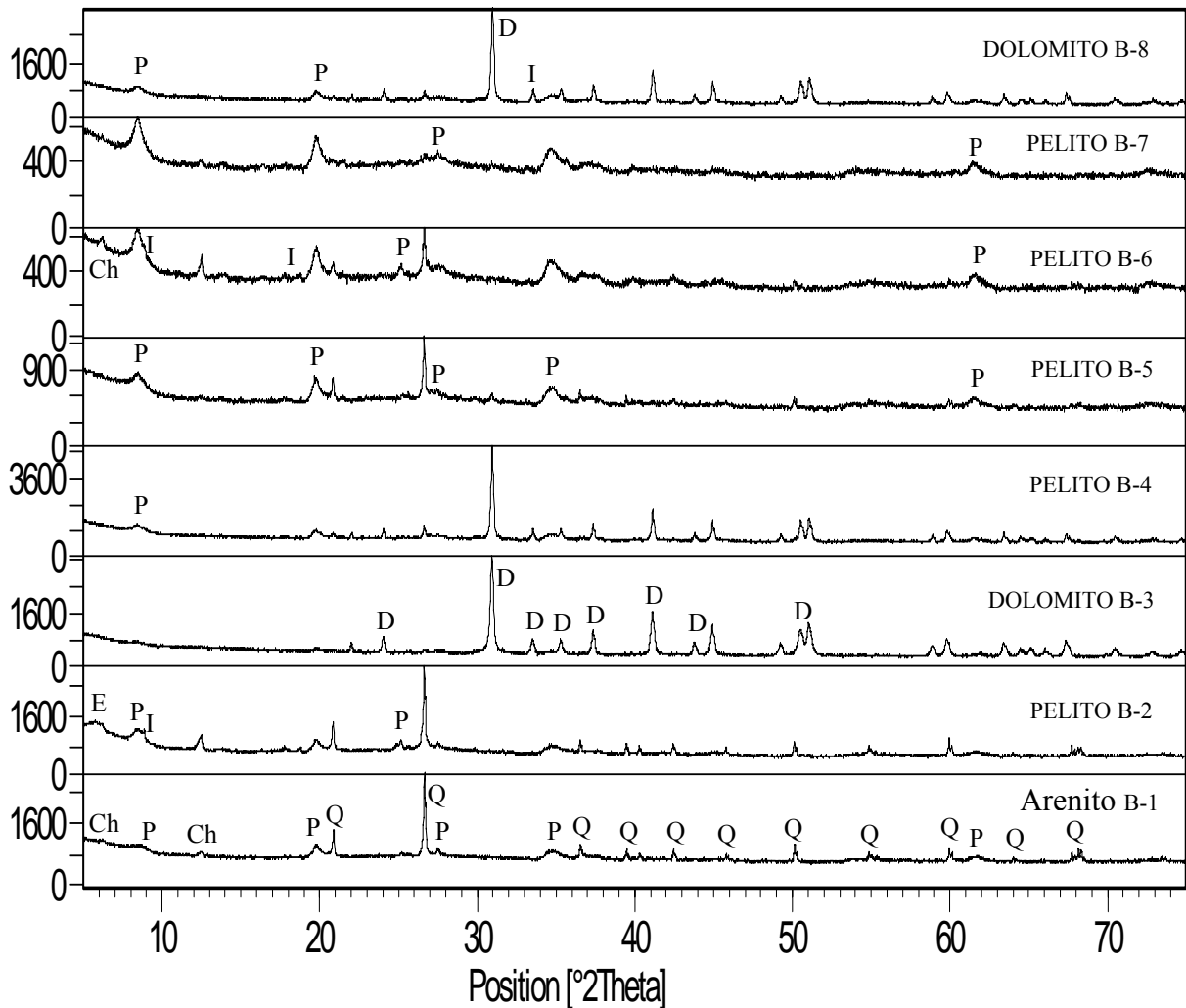


Figura 7.18 – Superposição dos difratogramas do perfil da Praia da Baronesa: palygorskita (P), esmectita (E), illita (I), quartzo (Q), dolomita (D) e clorita (Ch).

A amostra B-1 é composta quase que exclusivamente de quartzo, mineral dominante do arenito fino da base do perfil. Porém, mesmo em pequenas quantidades, observa-se a presença do pico principal ou até mesmo mais de uma reflexão dos seguintes minerais: clorita, mica, palygorskita, caulinita e feldspato (Figura 7.19).

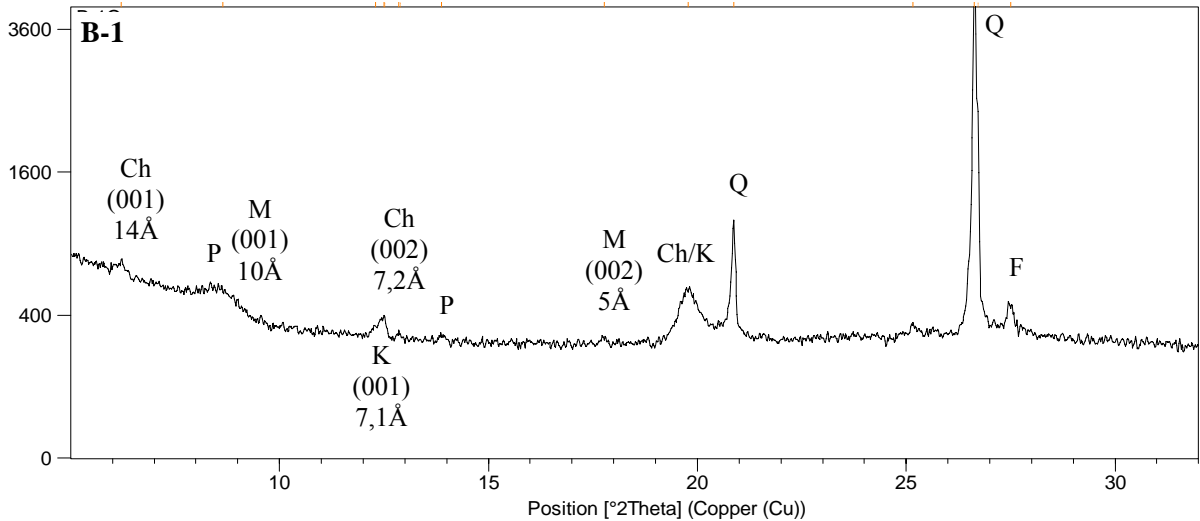


Figura 7.19 – Detalhe do difratograma da amostra B1: clorita (Ch), palygorskita (P), caulinita (K), feldspato (F), quartzo (Q) e mica (M).

Os pelitos apresentam-se em dois grupos: avermelhados (amostras B2 e B7) e esverdeados (B-4, B-5 e B-6). Os avermelhados apresentam composições mineralógicas distintas.

A amostra B2 apresenta uma composição semelhante ao arenito da base, com menor teor de quartzo e maior conteúdo dos argilominerais já descritos na amostra B1. Como a principal diferença está no conteúdo dos argilominerais, na Figura 7.20 são apresentados os difratogramas da lâmina orientada dessa amostra B2 (fração argila), com as corridas realizadas na amostra seca ao ar, glicolada e aquecida. É interessante notar a presença dominante de esmectita, que só ocorre neste nível do perfil.

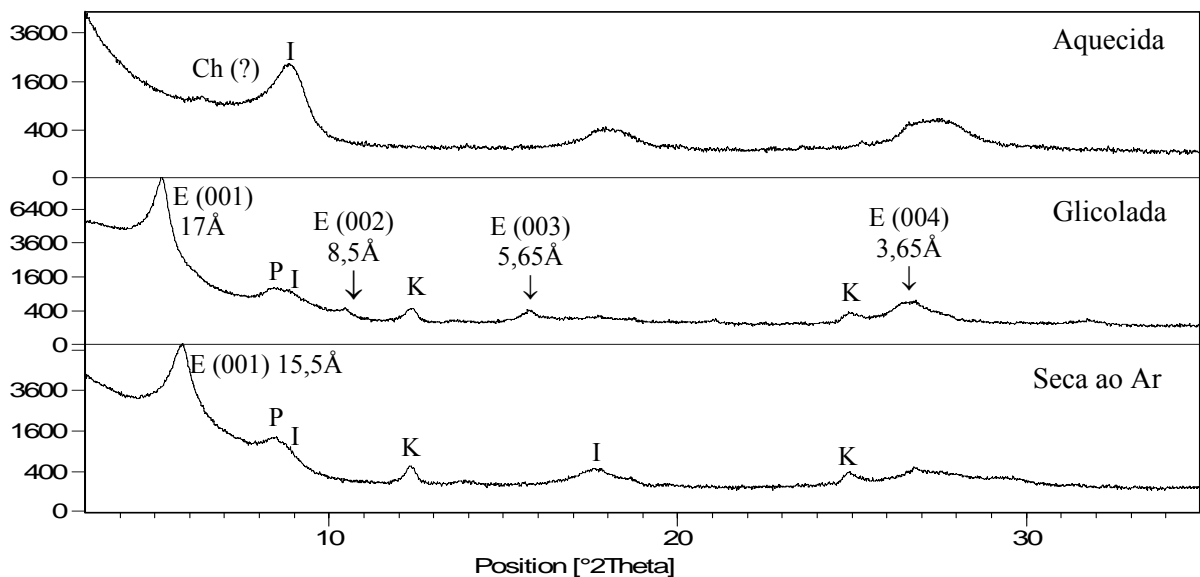


Figura 7.20 – Difratogramas da lâmina orientada da amostra B-2. clorita (Ch), esmectita (E), palygorskita (P), illita (I) e caulinita (K).

A esmectita caracteriza-se pela reflexão principal em 15,5 Å (001), na lâmina seca ao ar, que após a glicolagem expande para 17 Å. Ao glicolar os demais picos da esmectita se tornam perceptíveis, sendo o segundo pico de reflexão 8,5 Å (002), o terceiro pico 5,65 Å (003) e o quarto pico 3,65 Å (004), como mostra a Figura 7.20. Adicionalmente, observa-se a presença em menores quantidades de palygorskita, illita e caulinita. Clorita também pode estar presente, como traço, sendo evidenciada apenas na lâmina aquecida, quando do colapso do pico principal da esmectita.

A amostra B-3 corresponde ao primeiro nível de dolomito que ocorre intercalado aos pelitos basais. É constituído basicamente por dolomita, que é a fase dominante. A palygorskita ocorre como fase acessória, como mostra o difratograma da Figura 7.21.

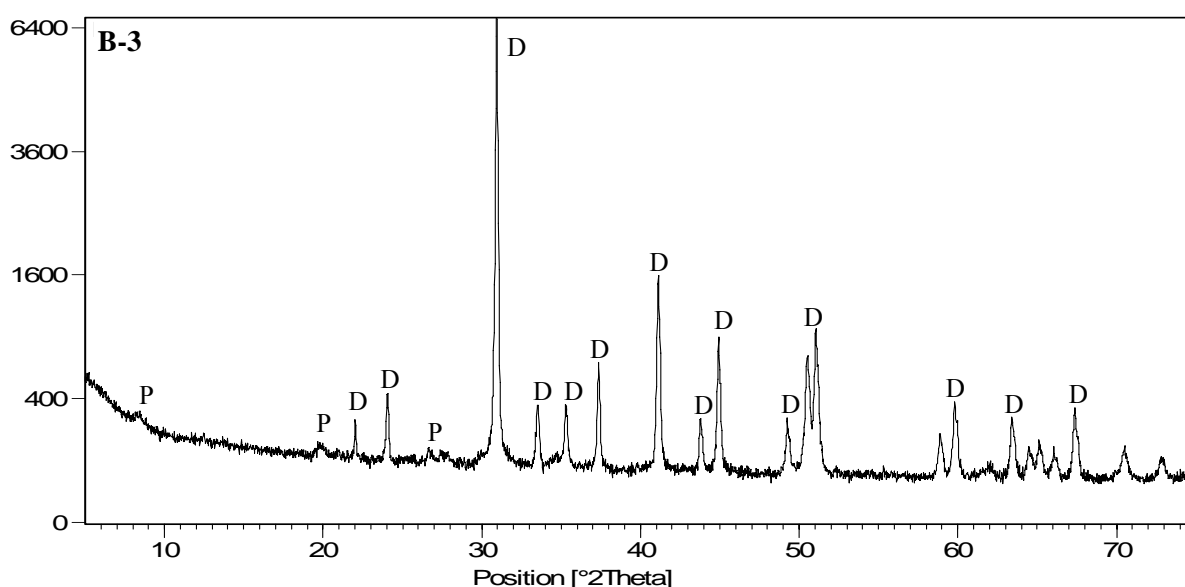


Figura 7.21 – Difratograma da amostra B-3 constituída por dolomita (D) e palygorskita (P).

A amostra B-4, pelito esverdeado, por encontrar-se sobrejacente ao nível dolomítico B-3, apresenta dolomita como fase dominante, seguida de palygorskita e quartzo, além de traços de mica e feldspato.

Já as amostras B-5 (pelito avermelhado) e B-6 (pelito esverdeado) são muito semelhantes. A amostra B-5 apresenta a palygorskita em grande proporção, seguida de quartzo, illita, dolomita e traços de feldspato, como mostra a Figura 7.22. E a amostra B-6 apresenta apenas a clorita como mineral diferente.

A Figura 7.23 apresenta as lâminas orientadas da amostra B6. É muito interessante ressaltar a ausência de esmectita na mesma, mostrando que os argilominerais dominantes nos pelitos são palygorskita e mica (illita). Observam-se traços de caulinita que não foram detectados na amostra total.

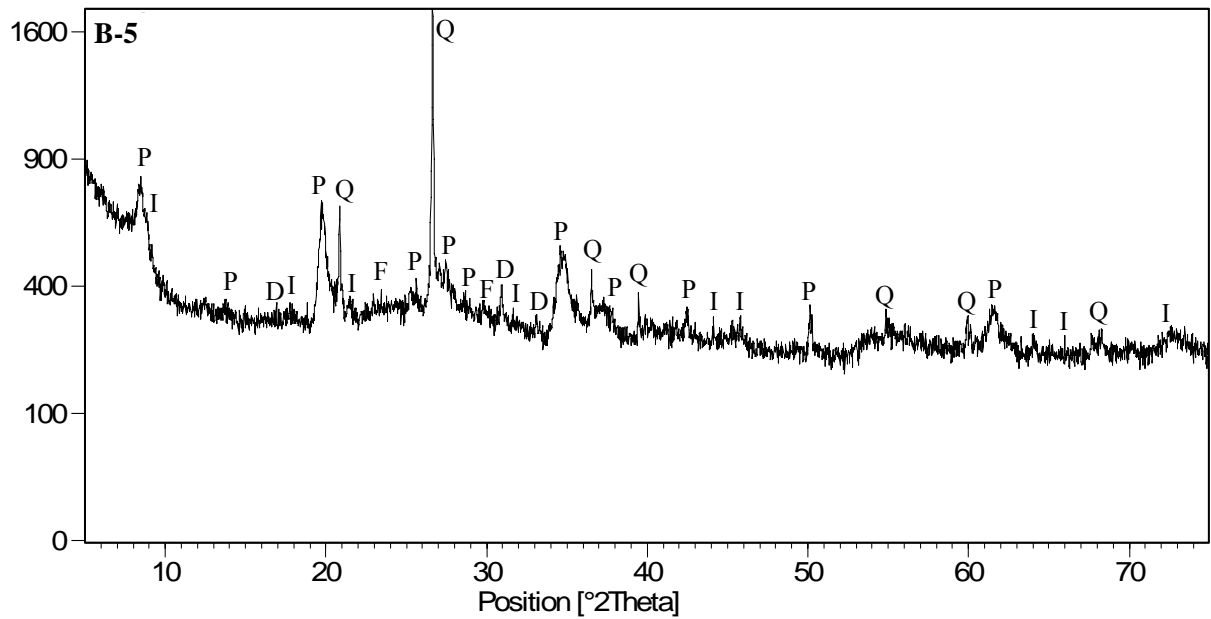


Figura 7.22 – Difratoograma da amostra B-5: palygorskita (P), illita (I), dolomita (D), quartzo (Q) e traços de feldspato (F).

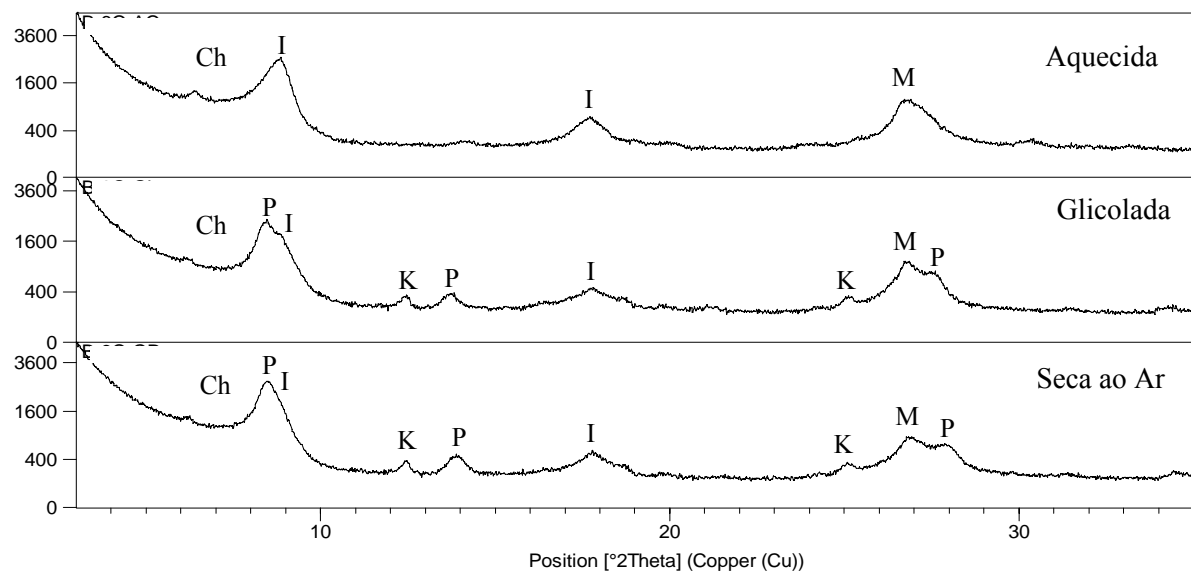


Figura 7.23 – Difratoogramas da lâmina orientada da amostra B-6: clorita (Ch), palygorskita (P), illita (I) e caulinita (K).

É de suma importância ressaltar que ambas as amostras apresentam a palygorskita como fase dominante, com a notável ausência de argilominerais do grupo da esmectita que, admitia-se, seriam os argilominerais dominantes desses pelitos. Ou seja, a palygorskita não ocorre somente como as acumulações ou eflorescências esbranquiçadas observadas em afloramento, sendo a fase dominante da massa pelítica aflorante na falésia da Praia da Baronesa.

A amostra B7 é constituída quase que exclusivamente de palygorskita, além de traços de quartzo, illita, caulinita e hematita. O pico principal da hematita está indicado na Figura

7.24. O mesmo é de pequena intensidade e, a princípio, seria o mineral responsável pela coloração avermelhada desses pelitos. Porém, admite-se que outros óxidos ou hidróxidos de ferro de baixa cristalinidade devam estar presentes, em pequenas quantidades, suficientes para “mancharem” o pelito da cor avermelhada, mas insuficientes para serem detectados pela DRX.

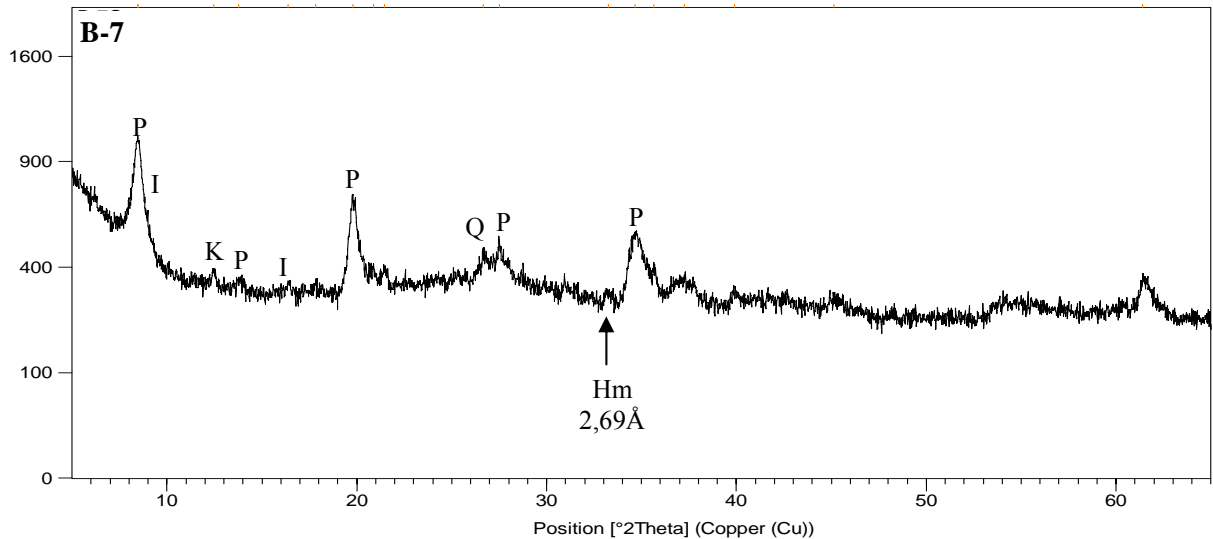


Figura 7.24 – Difratograma da amostra B7: palygorskita (P), quartzo (Q); Illita (I), hematita (Hm) e caulinita (K).

Os dolomito B-8 que ocorre no topo do perfil, é semelhante ao dolomito B-3 da base. Apresenta em sua constituição a dolomita como fase mineral dominante, e a palygorskita ocorre como fase acessória como mostra a Figura 7.25.

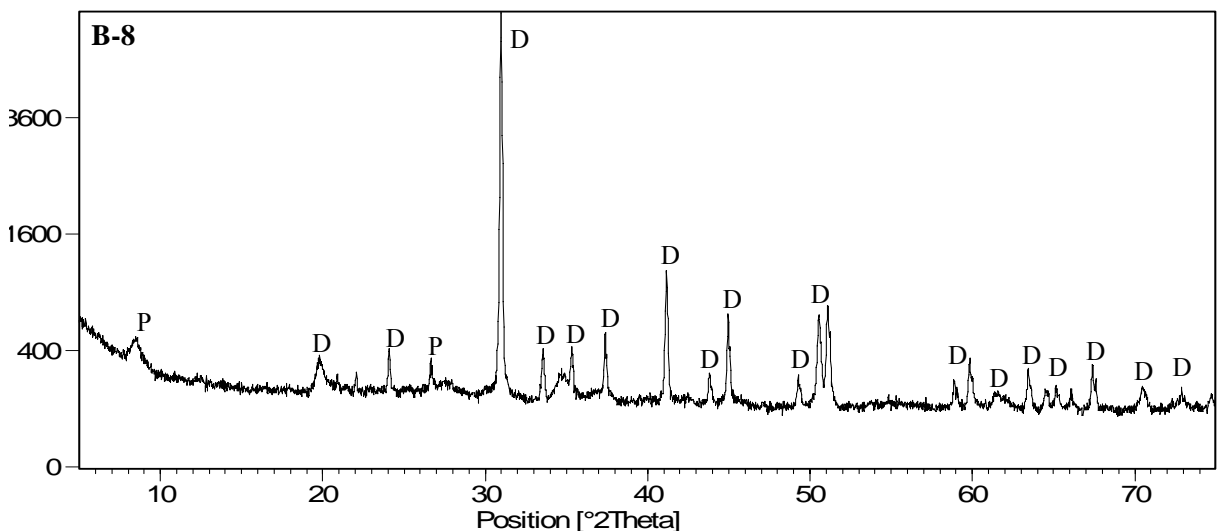


Figura 7.25 – Difratograma mostrando a mineralogia da amostra B-8, composta por dolomita (D) e palygorskita (P).

A Figura 7.26 mostra a superposição de todos os difratogramas de raios-X com a composição mineralógica das amostras analisadas do Perfil da Ilha do Livramento. As amostras foram coletadas dos níveis pelíticos, que foram divididos em dois grupos: avermelhados (amostras L-1, L-3 e L-5) e esverdeados (L-2, L-4 e L-6).

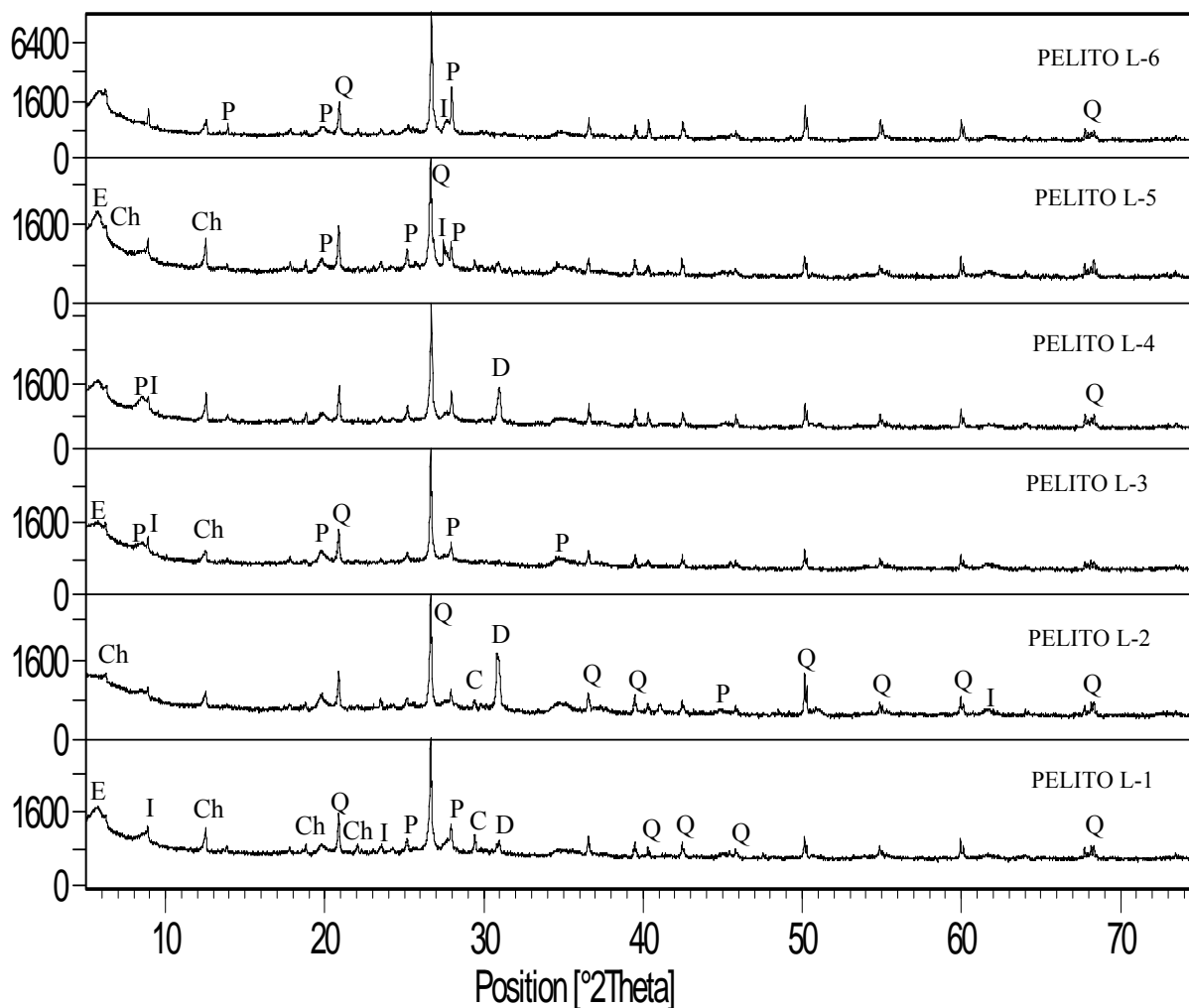


Figura 7.26 – Superposição dos difratogramas mostrando a constituição mineralógica geral do perfil da Ilha do Livramento: quartzo (Q), palygorskita (P), illita (I), esmectita (E), calcita (C), clorita (Ch) e dolomita (D).

A amostra L-1 exibe uma expressiva quantidade de quartzo, uma vez que faz contato direto com os arenitos da base do perfil. Observa-se ainda a presença de picos de alguns minerais como a esmectita, que ocorre de forma abundante, illita, calcita e clorita, em quantidades consideráveis, além de dolomita e palygorskita, como frações moderadas (Figura 7.27).

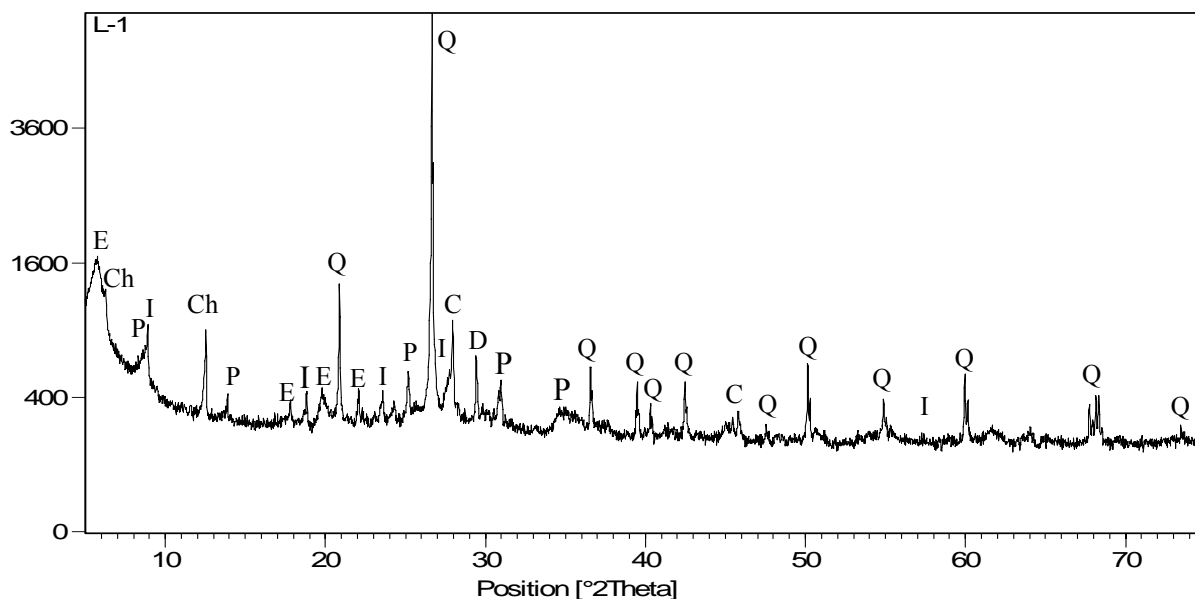


Figura 7.27 – Difratoograma da amostra L-1: quartzo (Q) e esmetita (E), além de clorita (Ch), illita (I), calcita (C), dolomita (D) e palygorskita (P).

A amostra L-2 é composta basicamente por quartzo, que ocorre em grande quantidade. A dolomita aparece como uma das fases dominantes, seguida de illita, calcita e palygorskita. A esmetita e a clorita ocorrem de forma menos expressiva se comparada com a amostra anterior. Ao analisar o difratograma das lâminas orientadas desta amostra, nota-se a presença de caulinita (Figura 7.28), que não é observada no difratograma da amostra total, e que foi originada provavelmente por intemperismo de alguns feldspatos, que são observados como traços pela DRX.

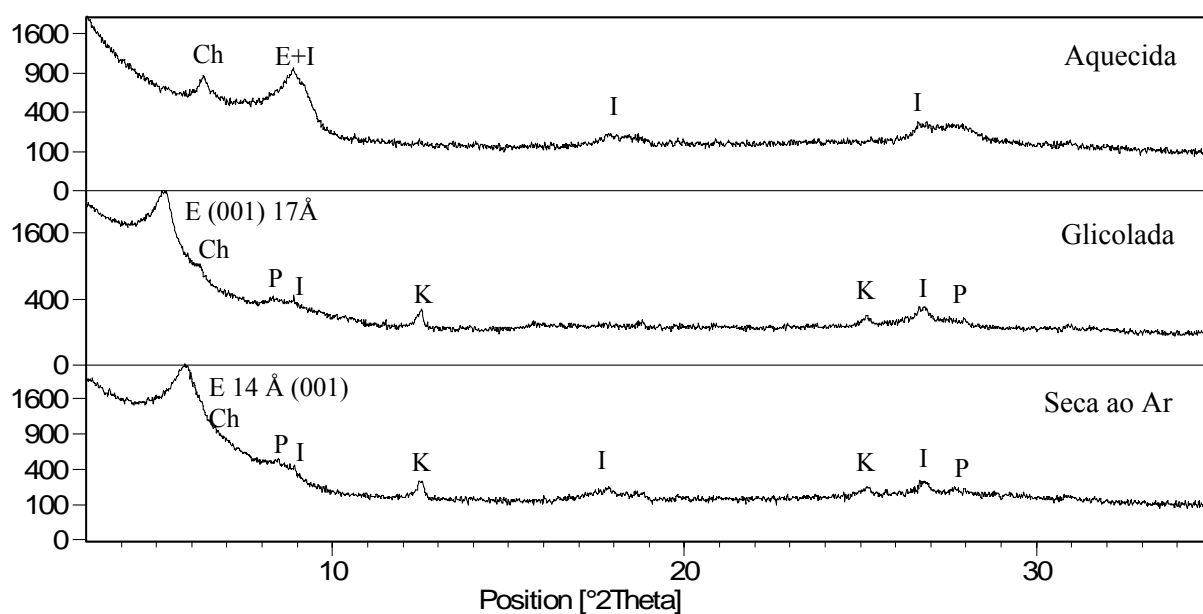


Figura 7.28 – Difratoograma da lamina orientada da amostra L-2: esmetita (E), palygorskita (P), illita (I), clorita (Ch) e caulinita (K).

A amostra L-3 apresenta mineralogia um pouco diferenciada em relação as amostras já descritas, devido ao fato de a dolomita e a calcita estarem ausentes neste nível. Porém os outros minerais como palygorskita, illita, esmectita, quartzo e clorita estão presentes como mostra o difratograma na Figura 7.29.

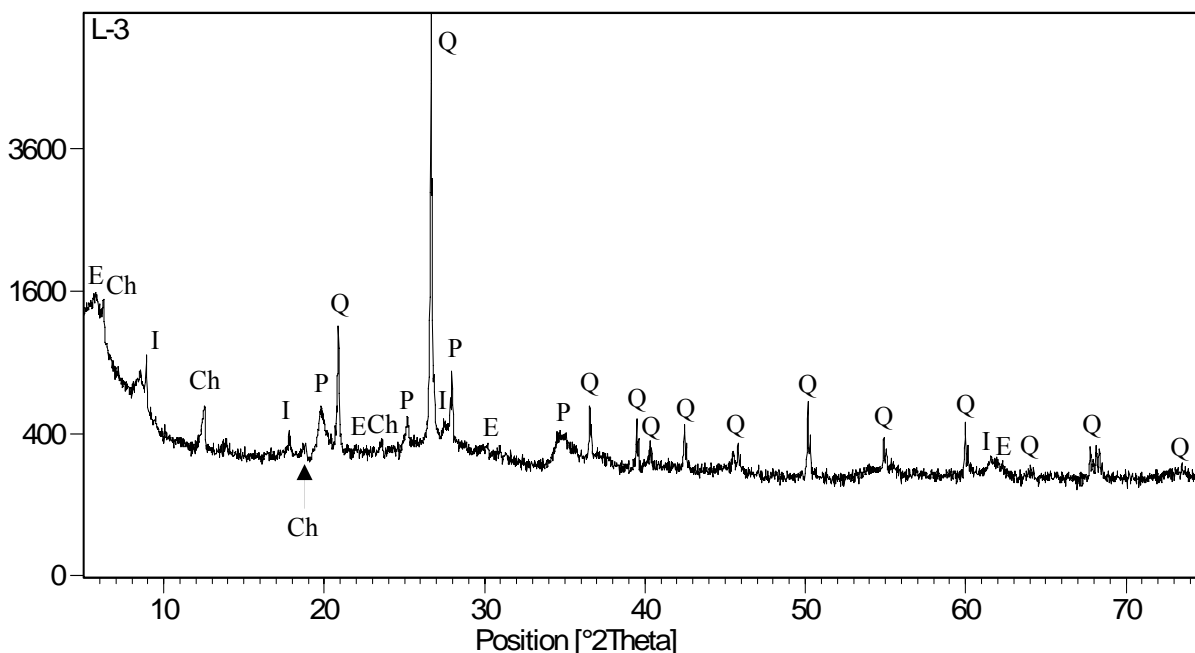


Figura 7.29 – Difratograma da amostra L-3 mostrando a sua composição mineralógica: palygorskita (P), quartzo (Q), illita (I), clorita (Ch), esmectita (E).

O pelito L-4 é constituído pelos mesmos minerais da amostra anteriormente descrita, como palygorskita, quartzo, clorita, esmectita e illita. Porém a dolomita e a calcita voltam a aparecer.

A amostra L-5 é muito semelhante à amostra supracitada, possui e mesma mineralogia. No entanto o teor de calcita e dolomita é muito pequeno, enquanto o teor de palygorskita e esmectita é relativamente acentuado, como mostra a Figura 7.30.

No topo encontra-se amostra L-6 que é constituída por palygorskita, em quantidade pequena se comparada aos demais níveis já descritos. Ocorrem ainda quartzo, illita, clorita e esmectia, como mostra a Figura 7.31. Porém a principal característica desta amostra é a ausência de calcita e dolomita, que foram descritos em quantidades significantes nas duas primeiras amostras (L-1 e L-2). Em seguida desapareceram na amostra L-3 e reapareceram nas amostras L-4 e L-5.

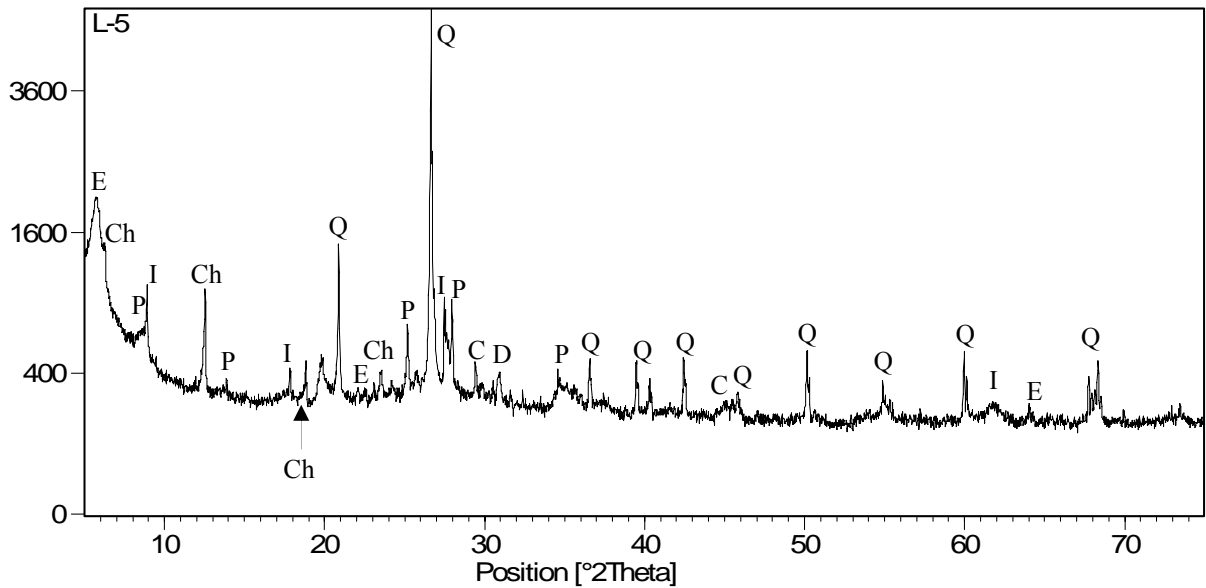


Figura 7.30 – Difratoograma da amostra L-5: calcita (C) e dolomita (D); palygorskita (P), quartzo, clorita (Ch), esmetita (E), illita (I).

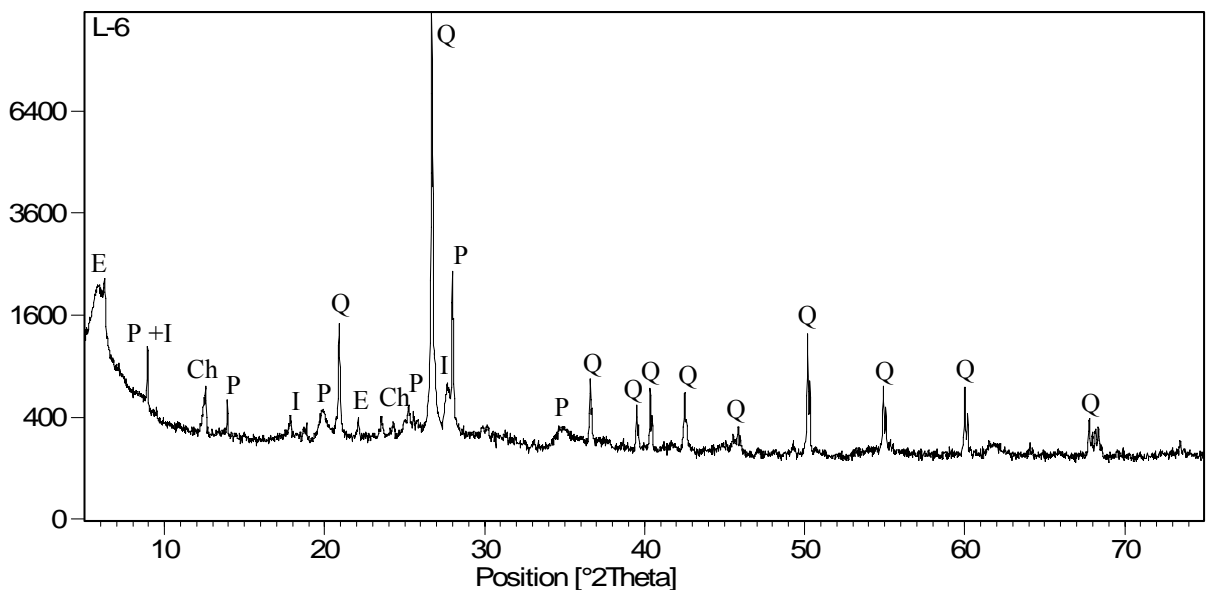


Figura 7.31 – Difratoograma da amostra L-6 mostrando a sua constituição mineralógica com ausência de calcita e dolomita.

A análise mineralógica mostrou que o perfil da Praia da Baronesa é composto basicamente de quartzo, palygorskita e dolomita, subordinadamente ocorrem illita, clorita, caulintia e esmetita. O quartzo ocorre em praticamente todas as amostras, mostrando que os níveis pelíticos apresentam incursões de lentes arenosas, provavelmente oriundas do leque de *washover*, que ocorrem como lobos nos depósitos pelíticos lagunares. A disponibilidade de dolomita está relacionada à ocorrência de níveis de dolomicritos, que serão descritos posteriormente. Outro mineral que ocorre em todas as amostras, como uma das fases

dominantes, é a palygorskita. Como descrito anteriormente este mineral não ocorre somente como as acumulações ou eflorescências esbranquiçadas observadas em afloramento, sendo a fase dominante da massa pelítica aflorante nas porções superiores da falésia da Praia da Baronesa. Dessa forma, a palygorskita pode se apresentar em duas formas principais de ocorrência, descritas a seguir:

- **Palygorskita I** – maciça associada aos pelitos (principalmente, os esverdeados) e identificada apenas através da DRX.

- **Palygorskita II** – acumulações esbranquiçadas, visíveis a olho nu, que se admite que sejam posteriores, formadas como eflorescências.

A reduzida ocorrência de illita, clorita e caulinita no primeiro perfil mostram que o aporte terrígeno foi relativamente baixo, e podem sugerir uma redução na intensidade do intemperismo químico sob clima seco, segundo Chamley (²1989 APUD DAOUDI, 2007).

O perfil da Ilha do Livramento é composto, mineralogicamente, por quartzo, esmectita, palygorskita, illita, clorita. Calcita, dolomita, caulinita e feldspatos ocorrem de maneira subordinada. O quartzo ocorre de forma acentuada devido à maior influência de lentes arenosas nos pelitos deste perfil. A ocorrência acentuada de esmectita e clorita (ambas de boa cristalinidade), associada a uma queda relevante das quantidades de palygorskita, indicam maior influência de um ambiente marinho (*shoreface*), que também pode ser sugerido devido à ocorrência, mesmo que restrita, de calcita. A presença moderada de caulinita e illita sugerem uma pouca atuação do intemperismo químico como exposto anteriormente.

7.2.2 Palygorskita

A Palygorskita é um argilomineral que ocorre com frequência nos níveis pelíticos estudados tanto nos perfis da Praia da Baronesa e quanto no da Ilha do Livramento. Aparece também associada aos níveis dolomíticos. Sua forma de ocorrência é como finas lentes intercaladas aos pelitos ou, mais frequentemente, como bolsões ou acumulações centimétricas, nitidamente visíveis em afloramento, e cuja feição diagnóstica principal é a coloração branca e semelhança a um papel molhado, como mostra o detalhe da Figura 7.32.

A análise mineralógica dessas acumulações de palygorskita, tanto da Praia da Baronesa quanto da Ilha do Livramento, mostra que esse mineral é a fase dominante (praticamente monomineralica), indicando somente traços de dolomita, como mostra o difratograma na Figura 7.33.

² CHAMLEY, H. Clay Sedimentology. Springer-Verlag. 1989. 623p.



Figura 7.32 – detalhe da palygorskita associada a níveis pelíticos esverdeados da Praia da Baronesa.

A Figura 7.34 mostra a comparação da palygorskita da formação Alcântara (PA) com a palygorskita padrão (PF1-1), do Banco de Amostras da Clay Minerals Society. A primeira, como descrito anteriormente, apresenta somente palygorskita e traços de dolomita, enquanto a segunda apresenta palygorskita, quartzo e esmectita. Isso mostra que a palygorskita da Formação Alcântara é mais pura que a amostra padrão.

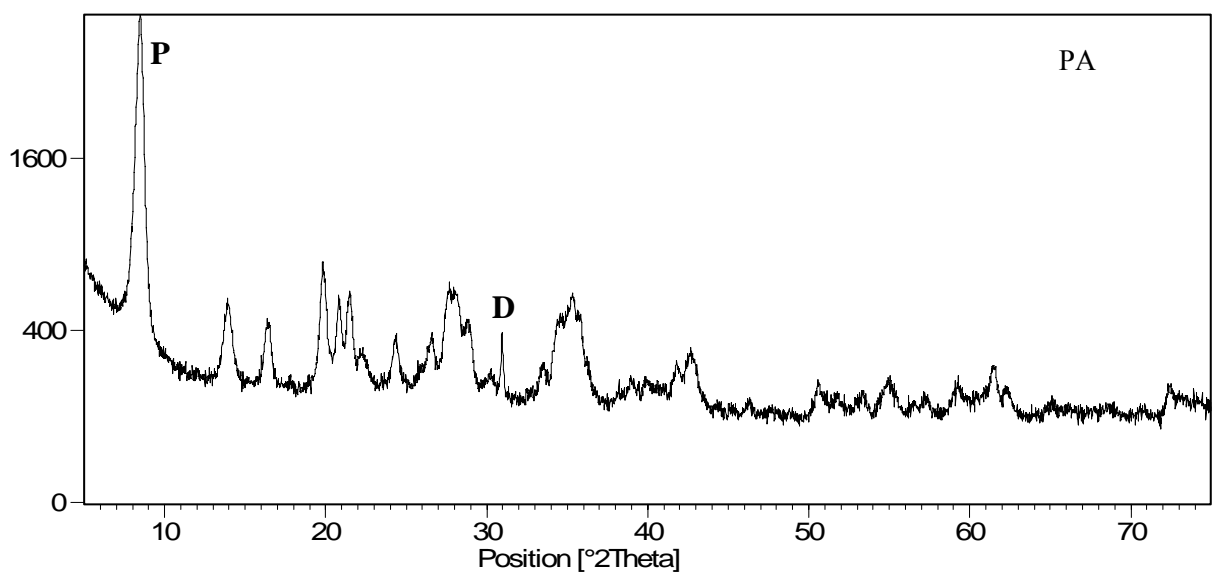


Figura 7.33 – Difratoograma da palygorskita de Alcântara: palygorskita (P), dolomita (D).

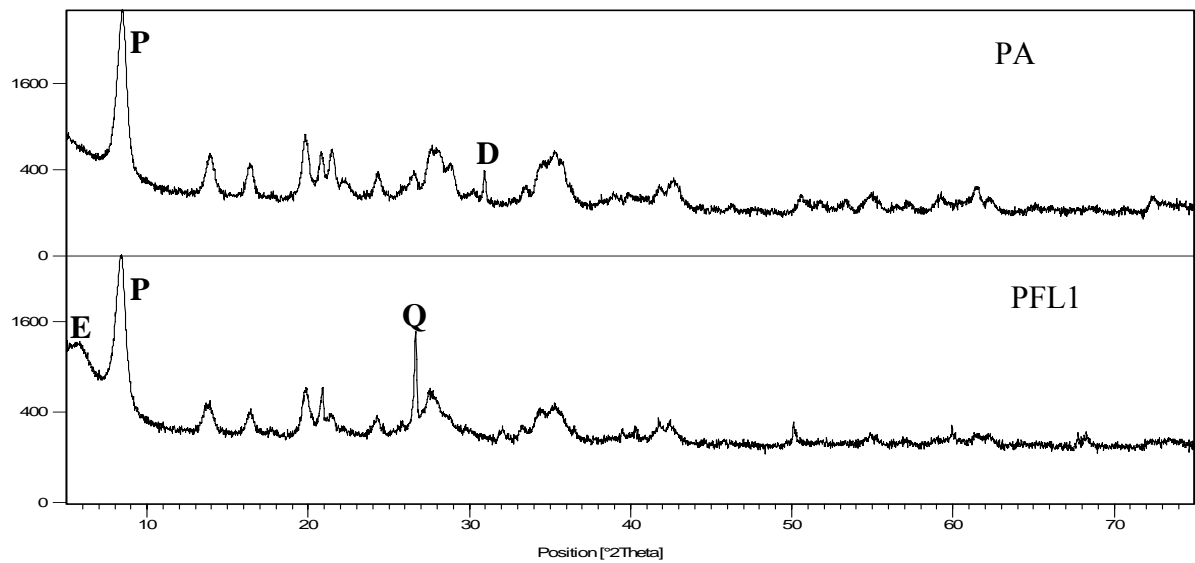


Figura 7.34 – Difratoformas de comparação, palygorskita de Alcântara (Paly-Alc) e amostra padrão (PFL1). P (palygorskita); Q (quartzo); D (dolomita); E (esmectita).

Um fator importante a ser considerado é a relação entre as cores dos pelitos e a preservação das acumulações da palygorskita. A Figura 7.35 mostra essa relação em que se definiu, primeiramente, que as acumulações e as ocorrências deste mineral, em geral, estavam restritas aos níveis pelíticos esverdeados. Porém, a palygorskita também ocorre nos pelitos avermelhados, como foi comprovado pela DRX. Portanto, a relação entre a coloração e a ocorrência deste mineral, a princípio, não é relevante.



Figura 7.35 – Aspectos dos níveis de pelitos esverdeados e avermelhados com palygorskita.

As curvas das análises termodiferencial e termogravimétrica da Palygorskita de Alcântara (curvas vermelhas) e da Palygorskita de referência PFL-1 (curvas verdes), estão apresentadas nas Figuras 7.36 e 7.37, respectivamente.

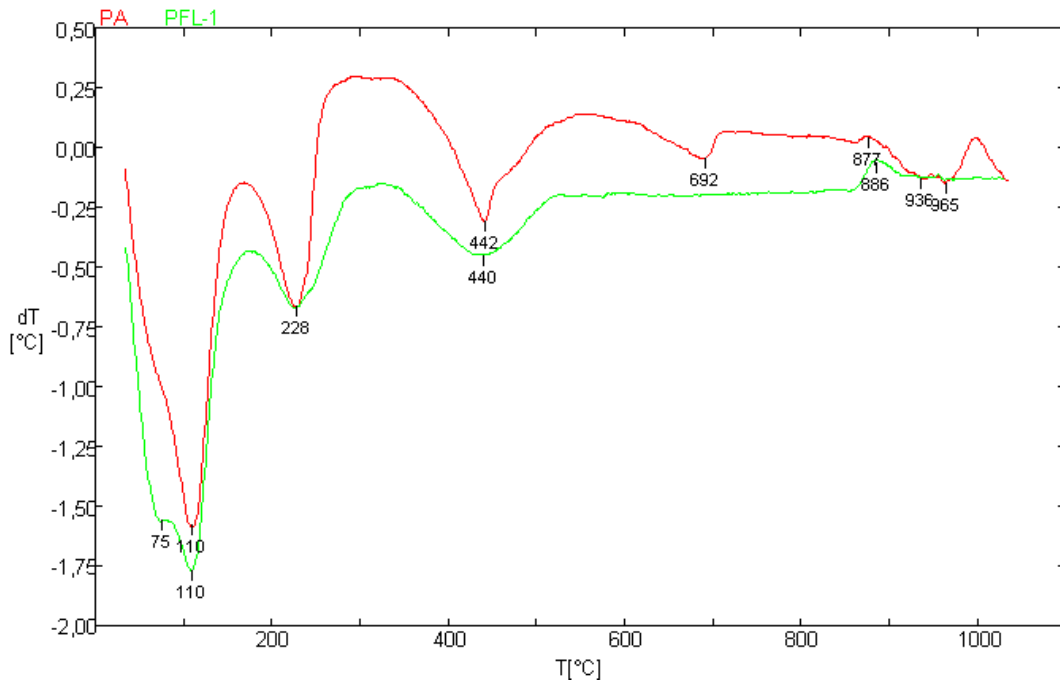


Figura 7.36 – Comparação das curvas da Análise Termodiferencial (ATD) da Palygorskita de Alcântara (curva vermelha) e da Palygorskita de referência PFL-1 (curva verde).

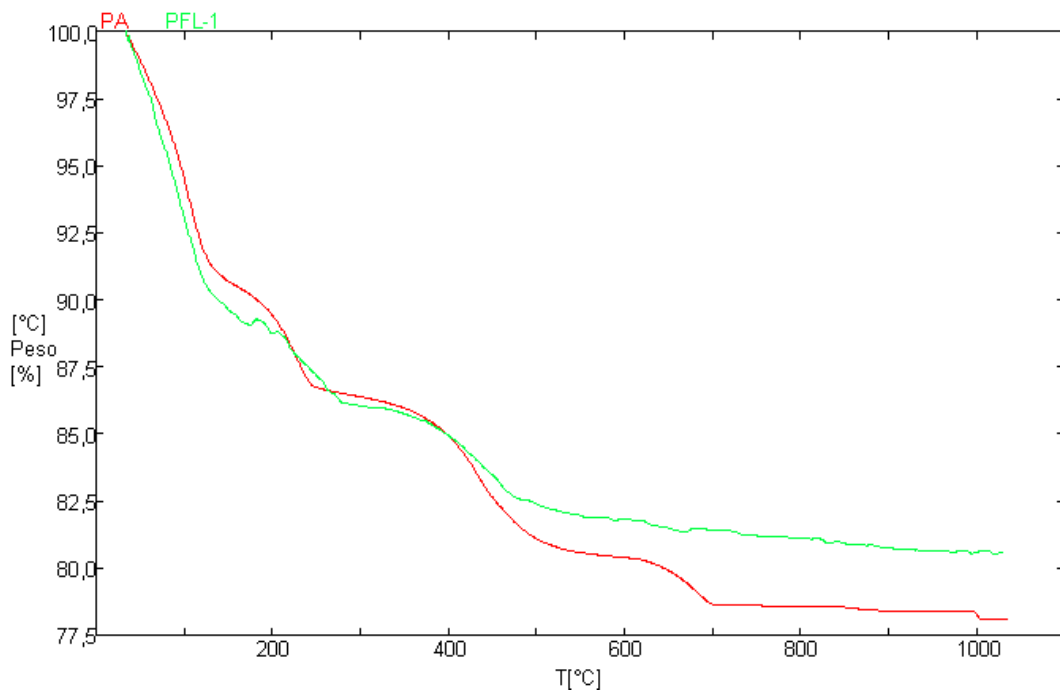


Figura 7.37 – Comparação das curvas da Análise Termogravimétrica (ATG) da Palygorskita de Alcântara (curva vermelha) e da Palygorskita de referência PFL-1 (curva verde).

De um modo geral, em ambas as figuras, as curvas apresentam certa semelhança entre si, e ao que é descrito na literatura, como por exemplo, em livros textos sobre análises térmicas aplicadas a mineralogia (SMYKATZ-KLOSS, 1982).

Na curvas de ATD, a posição dos principais picos endotérmicos é, praticamente, coincidente com a diferença principal no alargamento dos mesmos (mais abertos na PFL-1), o que pode estar relacionado a um tempo maior de reação nesta amostra.

O pico endotérmico principal acontece em torno de 110° C, relacionado a água adsorvida, e característico de outras Palygorskitas descritas na literatura (POST & CRAWFORD, 2007). Na amostra PFI-1, é nítida a presença de dois picos, como que representando dois estágios de perda de água, um a 75° C (humidade ?) e outro a 110° C (água adsorvida, propriamente dita), enquanto na amostra PA esta separação não é tão bem delineada.

Outras características das curvas de ATD são picos endotérmicos mais fracos, em 230° C e 440° C, também descritos na literatura e relacionados à desidroxilação, além de outros picos endotérmicos mais fracos, em temperaturas mais elevadas. Neste último caso, apenas a PA apresenta um pico endotérmico fraco em 692° C. Acima desta temperatura, Post & Crawford (2007) descrevem picos exotérmicos de pequena intensidade, que aparecem de forma mais clara apenas na PFI-1 (em 886° C). Na PA estes picos não são claros, podendo, inclusive, se tratar de picos endotérmicos, relacionados a pequena quantidade de dolomita presente na amostra.

As curvas de ATG também são bastante semelhantes entre si, cujos pontos principais de inflexão refletem os picos endotérmicos principais descritos anteriormente. A diferença principal (o afastamento das duas curvas), se dá a partir de ~ 450° C. A partir deste ponto, a PFL-1 apresenta uma maior tendência a linearidade, com pouca perda de massa, chegando a cerca de 18% de perda de massa total. Já a PA, continua o processo de perda de massa, a inflexão em torno de 700° C confirma o pico endotérmico descrito anteriormente na ATD, uma última aparente inflexão em torno de 1000° C e perda de massa total, ao final, em torno de 23%.

Além da caracterização mineralógica por DRX e Análises térmicas, tanto as acumulações (bolsões) de palygorskita (Palygorskita II), quanto os níveis maciços desse mineral (Amostras B5, B6 e B7 – Palygorskita I), anteriormente descritos, foram submetidos à análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), para uma melhor observação das suas características micromorfológicas e microtexturais, e com isso buscar evidências quanto à sua gênese e seu ambiente de formação.

Ao MEV, a palygorskita II, dos bolsões, ocorre como material fibroso e em pacotes, formando cristais levemente encurvados e alongados, como mostra a Figura 7.38 A e B. Em outras porções, ela ocorre como finas fibras formando uma espécie de teia, na qual os cristais encontram-se entrelaçados, como mostra a Figura 7.38 C e D.

No caso da palygorskita I (“maciça”), dos níveis pelíticos (Figura 7.40A), é muito interessante observar que, de fato, trata-se de níveis maciços. Porém, após a obtenção de um grande aumento ao microscópio eletrônico, foi possível observar o hábito acicular característico desse mineral (Figura 7.39B), em dimensões extremamente reduzidas (nanométricas), finamente entrelaçadas, que conferem essa característica maciça (Figura 7.39C). Portanto, a diferença principal entre os dois tipos de palygorskita, do ponto de vista micromorfológico, está na dimensão dos cristais aciculares, extremamente fino no nível pelítico/macioso (Palygorskita I, Figura 7.39D).

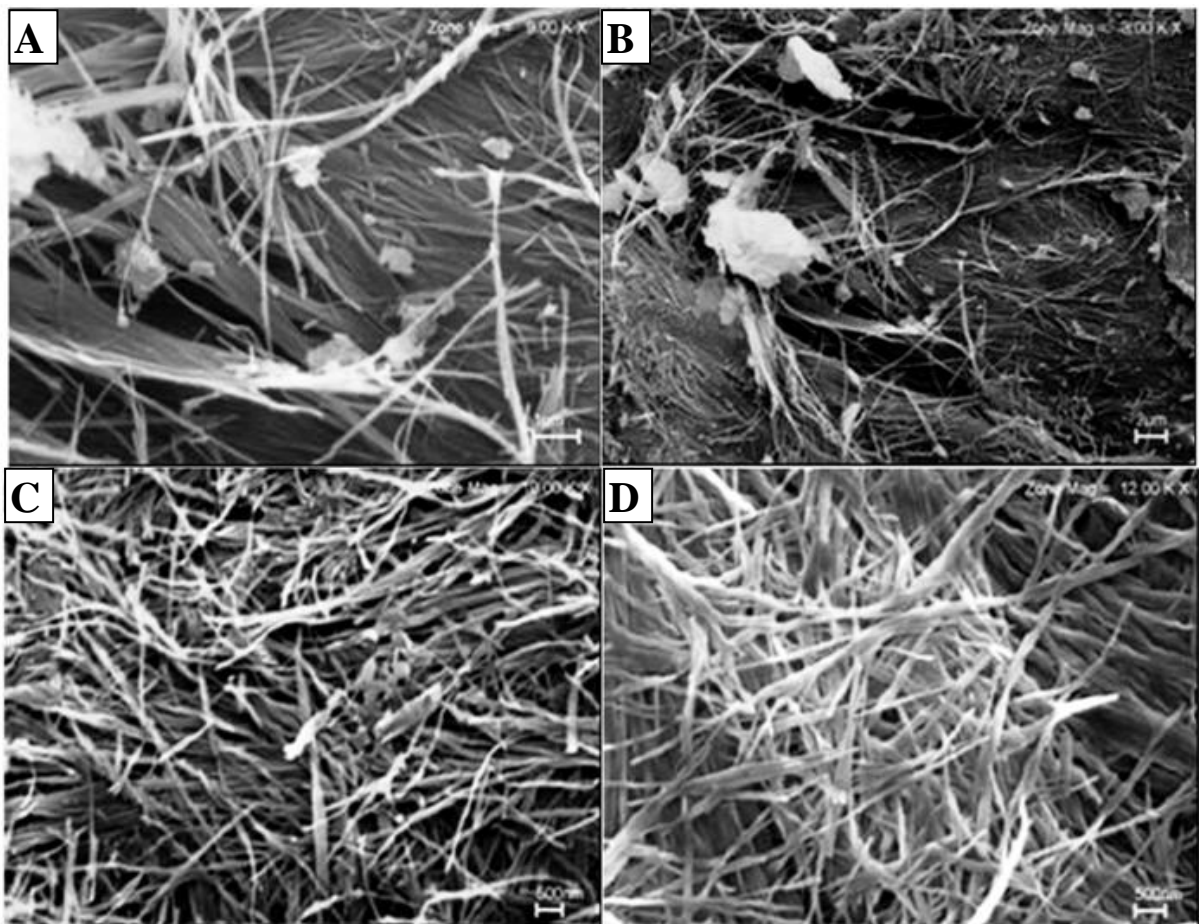


Figura 7.38 – Aspecto textural ao MEV da palygorskita dos bolsões/acumulações: cristais fibrosos e alongados levemente encurvados (A e B); cristais fibrosos entrelaçados formando uma teia (C e D).

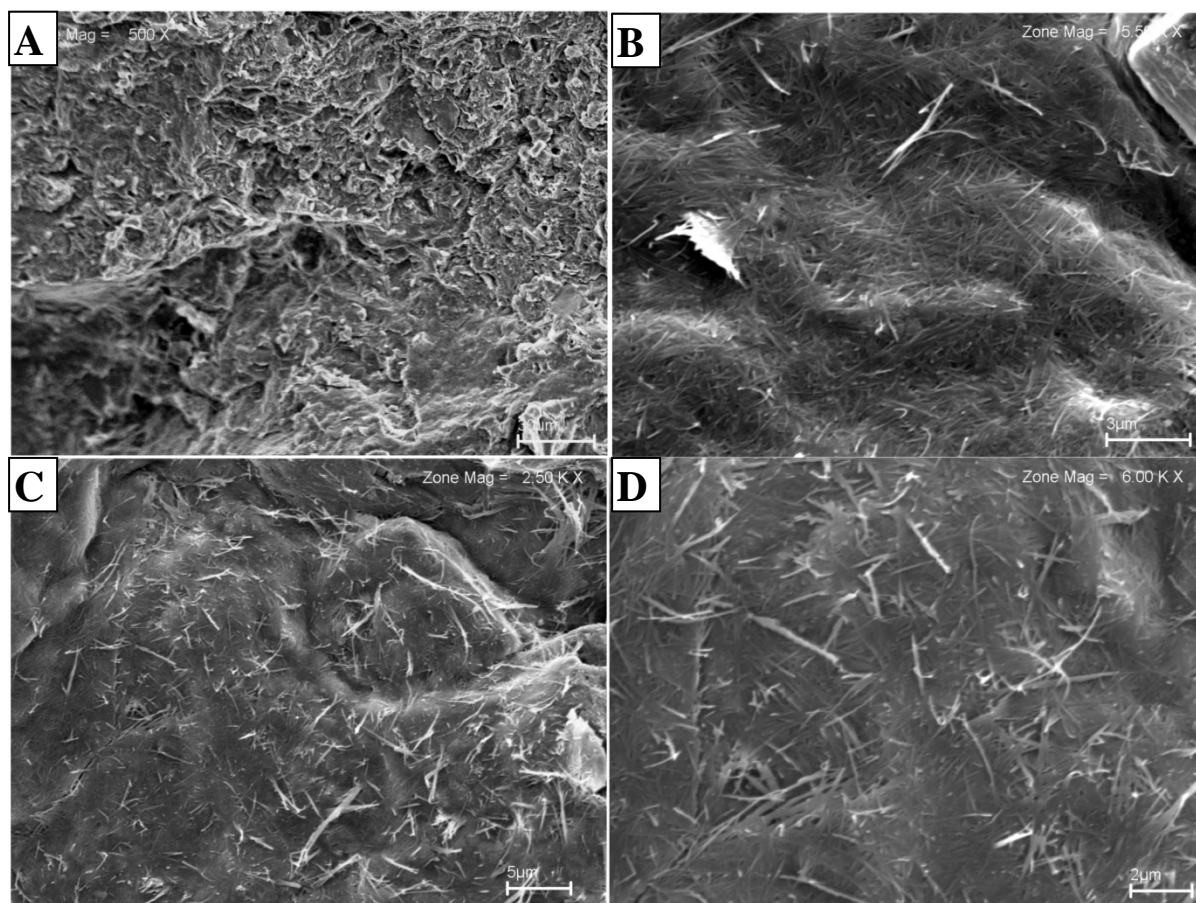


Figura 7.39 – Aspecto textural ao MEV da palygorskita “maciça” da amostra B-6: A) Pelito maciço; B) cristais aciculares compondo a massa pelítica; C) acículas finamente e entrelaçadas; D) acículas muito finas na massa pelítica.

As finas e delicadas fibras de palygorskita dos perfis analisados, das duas gerações (I e II), sugerem que a formação/deposição deste mineral não foi detrítica e sim autigênica, semelhante ao modelo proposto por Daoudi (2004), na bacia do Atlas, no Marrocos.

Várias possibilidades para a origem da palygorskita são descritas na literatura. Para este trabalho, duas hipóteses principais serão apresentadas, baseadas nos trabalhos de Daoudi (2004), modelo I, e Hong et al. (2007), modelo II, que trabalharam em contextos geológicos e paleoambientais semelhantes aos da Formação Alcântara.

Segundo o modelo proposto por Daoudi (2004), trabalhando em rochas cretáceo-eocênicas do Atlas Alto Marrakech, (Marrocos), o mesmo sugere que a palygorskita pode se formar por precipitação direta de soluções ricas em Mg. Esse modelo sugere que em condições de alta atividade de Mg e Si, aliada a um pH básico (próximo de 8), além da associação com dolomita, é possível a formação de palygorskita. Esse processo poderia ocorrer em um ambiente deposicional caracterizado por alta taxa de evaporação e fluxos periódicos de água fresca, resultando em flutuações rápidas de salinidade entre condições

hipersalinas a próximas da água doce. Esse modelo de formação pode ser aplicado para as palygorskitas analisadas neste trabalho, pois o fato de a mesma coexistir com a dolomita levanta a possibilidade de que as concentrações de magnésio provavelmente foram adequados para propiciar a formação deste mineral. Além disso, estudos realizados por Rossetti, Truckenbrodt e Santos Júnior (2001) na área deste trabalho, sugerem que este mineral se depositou em condições de aridez em que provavelmente a salinidade era alta e o pH básico, sendo, portanto, condições paleoclimáticas condizentes com as expostas no modelo descrito acima.

Estudos realizados por Hong et al. (2007) na Formação Liushu,, na China, sugerem que a ocorrência de palygorskita, em pacotes de argilito alternados por siltitos e concreções calcáreas, associada a grãos detríticos de clorita e illita, pode indicar precipitação deste mineral diretamente a partir da dissolução de argilas detríticas, especialmente a clorita. Imagens de MEV do trabalho de Hong et al. (2007), (Figura 7.40 A e B) mostram o crescimento de finas fibras de palygorskita nas bordas dos cristais de clorita, indicando que a mesma foi submetida a um intenso processo de dissolução.

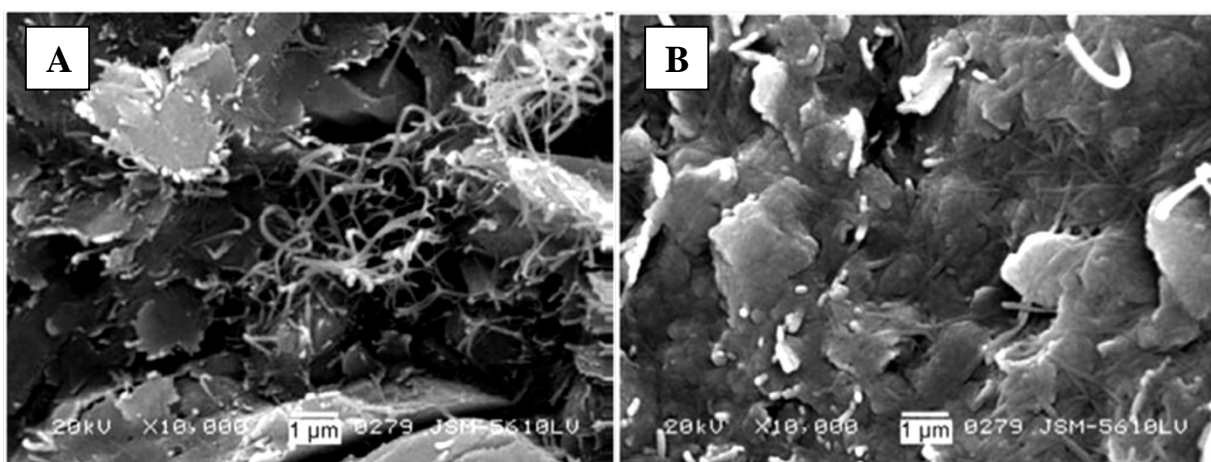
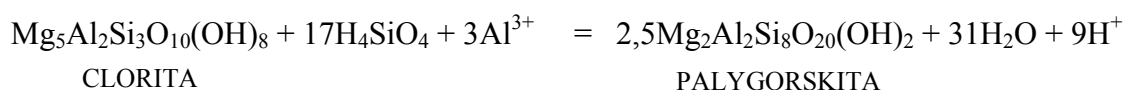


Figura 7.40 – Transformação clorita-palygorskita. A) Fibras de palygorskita nas extremidades da clorita; B) Fibras de palygorskita sobre os grãos de clorita.

Fonte: Hong et al. (2007).

Ainda segundo Hong et al. (2007), os dois minerais, clorita e palygorskita, teoricamente, apresentam composições químicas ideais, sendo possível o estabelecimento de uma relação de equilíbrio mútuo entre esses eles, no qual, um poderia se originar a partir do outro, através de uma reação de hidrólise, como descritos a seguir:



A reação acima mostra que a formação da palygorskita é favorecida em detrimento da clorita, tanto pelo aumento de $[Al^{3+}]$, como do pH ou do $[H_4SiO_4]$. Quando as concentrações forem de $10^{-2,6}$, ocorrerá solubilidade devido a saturação de sílica amorfa, a clorita permanecerá estável e a palygorskita não se formará em $pH < 5$. Altas concentrações de Al^{3+} ($> 10^{-0,05}$ mol/l), associada a uma concentração de $10^{-3,6}$ mol/l de Si, próximo à média encontrada em solos normais, favorecerão a formação de palygorskita. A clorita se tornará instável e a palygorskita se formará com pH acima de 6,9 ou com concentrações de Al acima de $10^{-0,35}$ mol/l. Em uma concentração de Si de $10^{-4,1}$ mol/l (a solubilidade de saturação do quartzo), a clorita irá se decompor e a palygorskita se formará a um $pH > 7,8$ ou concentrações de Al $> 10^{-0,10}$ mol/l, como mostra o diagrama de estabilidade palygorskita-clorita da Figura 7.41.

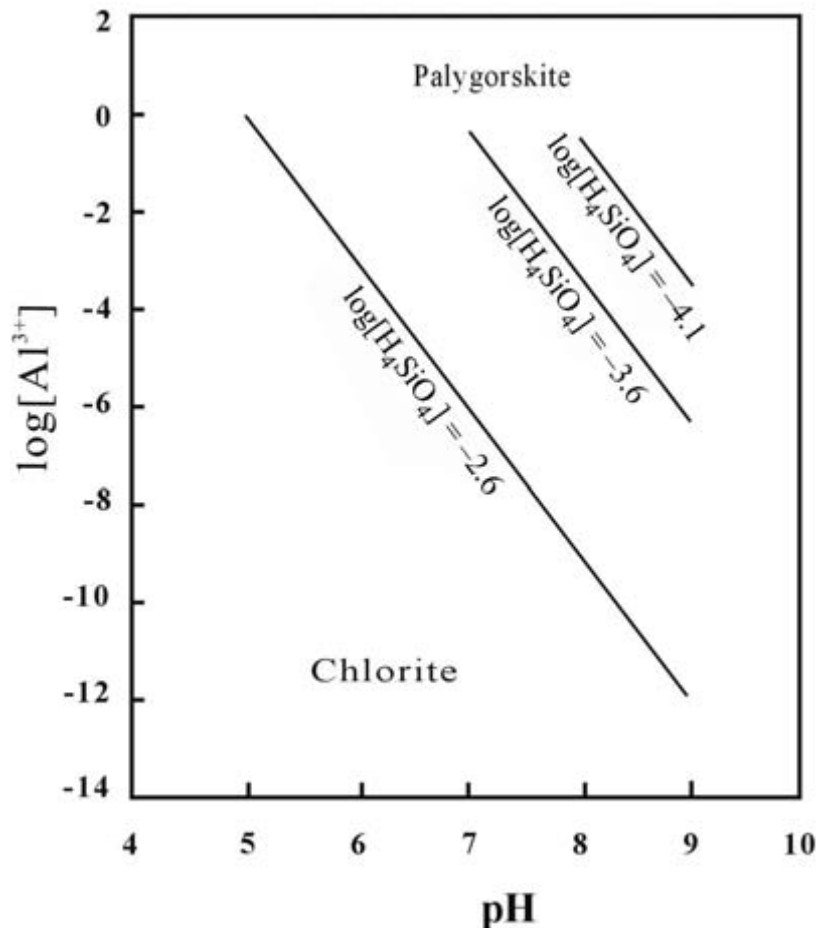


Figura 7.41 – Diagrama de estabilidade palygorskita-clorita.

Fonte: Hong et al. (2007).

A hipótese descrita anteriormente pode ser aplicada para as palygorskitas da Formação Alcântara, uma vez que os dois minerais (palygorskita e clorita) aparecem

associados em praticamente todas as amostras analisadas. Porém, infelizmente não foram obtidas imagens ao MEV dessa relação de transformação clorita → palygorskita.

7.3 PETROGRAFIA DOS DOLOMITOS

A descrição e classificação das laminações petrográficas foram baseadas em Folk (1974)

A avaliação petrográfica da amostra B-3 classifica a rocha como um dolomicrítico com laminação microbiana. O mesmo é composto por dolomita micrítica (60%) com níveis pouco espessos de dolomita microesferítica (10%), grãos detríticos de quartzo (2%), matéria orgânica biologicamente depositada (25%) e pelóides (3%).

A principal feição desta amostra são laminações microbianas semelhantes a laminações estromatolíticas, rica em matéria orgânica como mostra a Figura 7.42. As laminações apresentam formas irregulares com raros grãos detríticos (Figura 7.43). Estas podem estar truncadas por feições de bioturbação que se apresentam na forma de tubos de escavações preenchidos por lama (micrito dolomítico ?).

As laminações microbianas apresentam acumulação de matéria orgânica. A essas porções estão associados pelóides do tamanho de areia fina (Figura 7.44). Entre as laminações microbianas ocorrem alternâncias de dolomita micrítica com dolomita “microesferítica”, como mostra a Figura 7.45.

As feições de bioturbação observadas compreendem túneis de escavações orgânicas, preenchidos por dolomita micrítica (Figura 7.46). Como descrito anteriormente essas feições, em algumas porções da lâmina, aparecem truncando as laminações microbianas.

Os grãos terrígenos são representados por quartzo de tamanho areia fina, sub-arredondados a sub-anguloso e de alta esfericidade, como mostra a Figura 7.47.

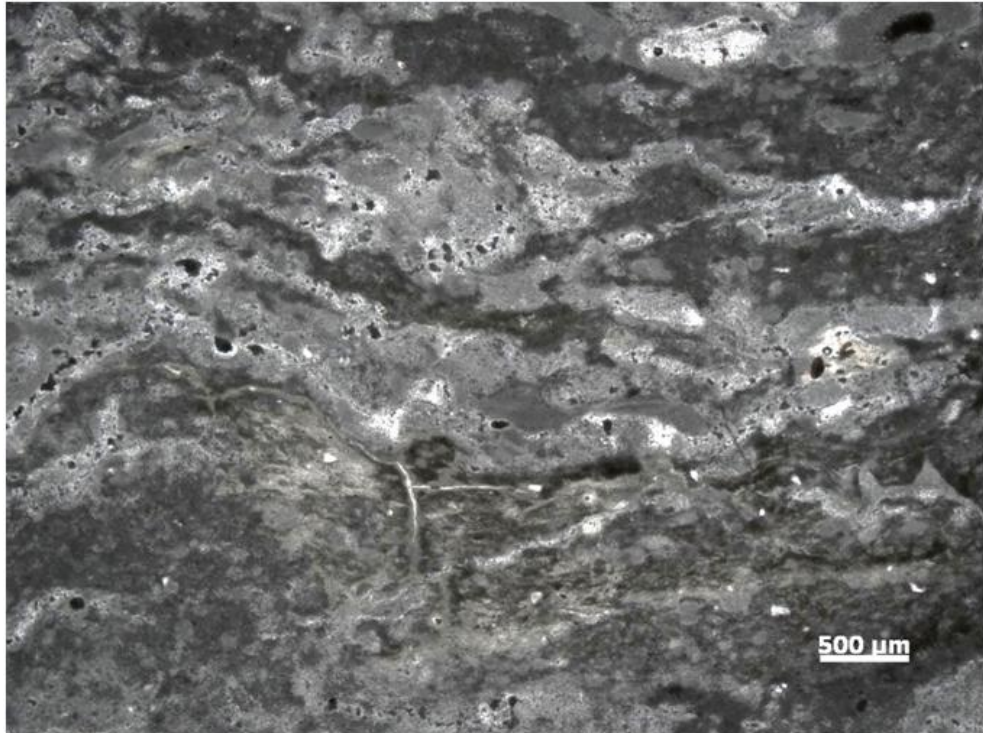


Figura 7.42 – Laminações microbianas intercaladas com dolomicrito.

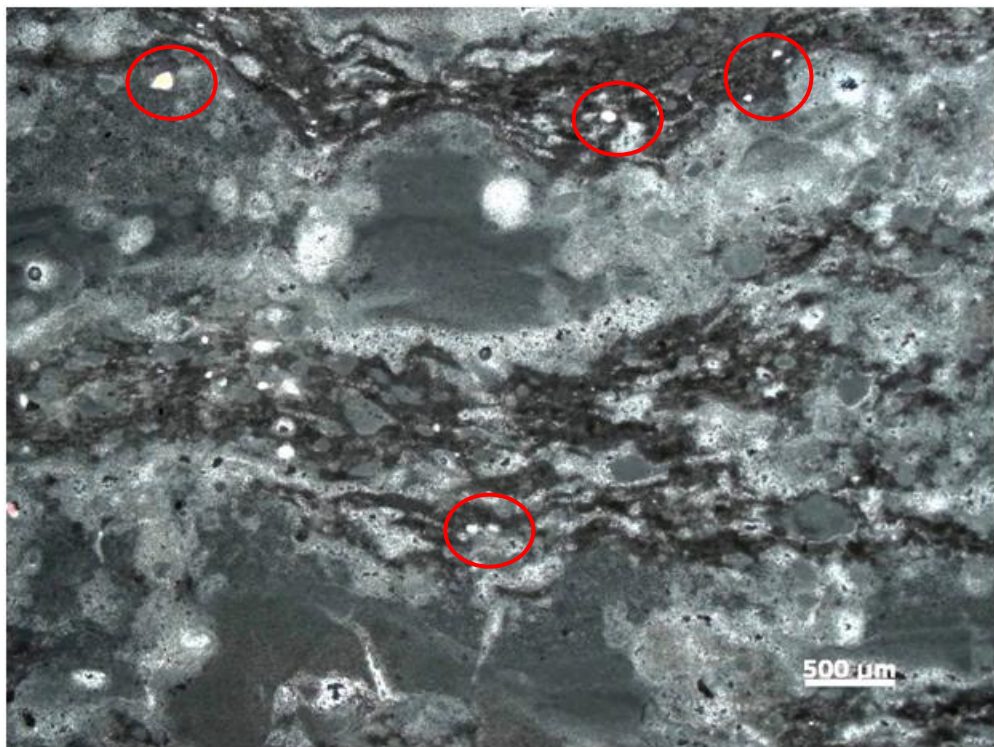


Figura 7.43 – Laminações microbianas. Observar a irregularidade das laminações com raros grãos de terrígenos (detalhe nos círculos).

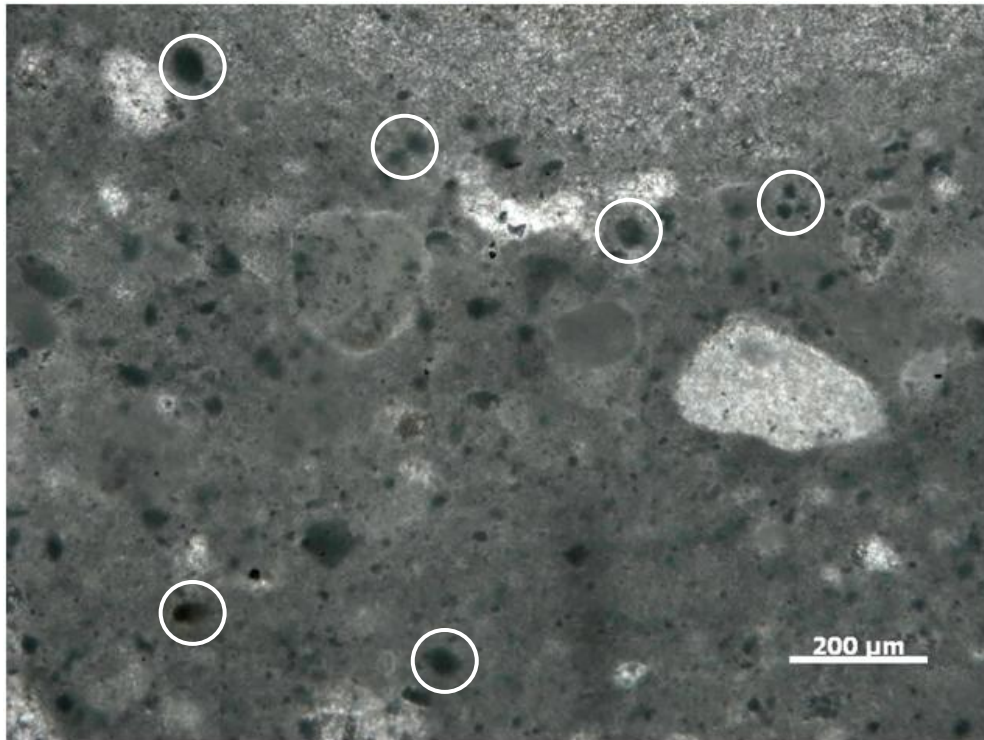


Figura 7. 44 – Pelóides (círculos) envolvidos por dolomita micrítica e matéria orgânica.

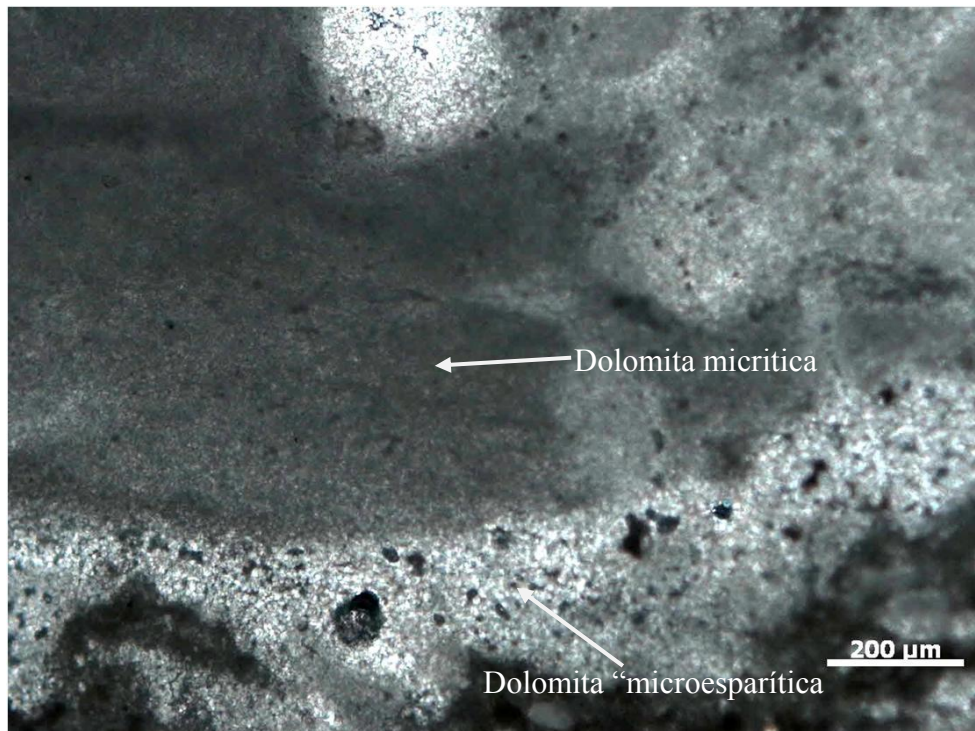
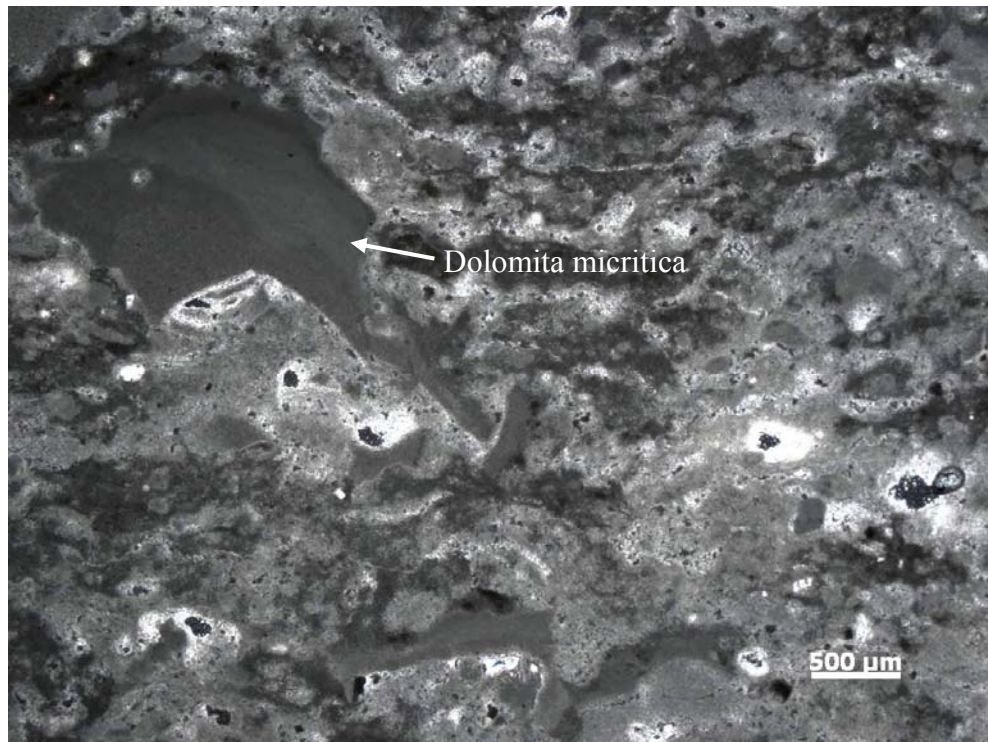


Figura 7.45 – Alternância de dolomita fina (micrítica) e "microesparítica".



-arredondados a sub-

Figura 7. 46 – Dolomita micrítica preenchendo bioturbação (detalhe na seta).

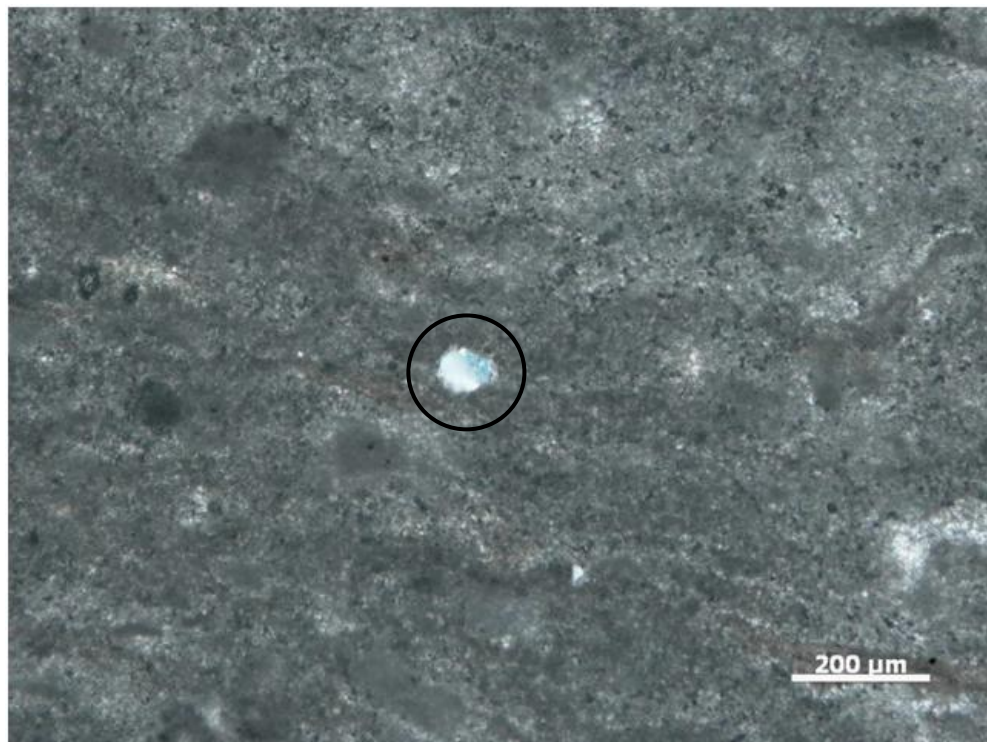


Figura 7.47 – Grão detrítico de quartzo (detalhe no círculo preto).

A petrografia da amostra B-8, classifica a mesma como um dolomicrito, composto por dolomita micrítica (80%), matéria orgânica (15%) envolvida por nódulos amarelados de dissolução de dolomita pela atividade biogênica, grãos terrígenos de quartzo e minerais pesados (5%).

A lâmina apresenta estrutura maciça, com predomínio de dolomita micrítica. Entre a massa de dolomita ocorrem acumulações de matéria orgânica na forma de “esferas” amarronzadas, como mostra a Figura 7.48. Ao redor da matéria orgânica ocorre uma borda amarelada semelhante a feições de dissolução da dolomita por atividade biogênica (Figura 7.49).

Os grãos terrígenos, ocorrem de forma acentuada, especialmente os grãos de quartzo, que apresentam tamanho de areia fina, são sub-arredondados e mal selecionados, com esfericidade baixa, como mostra a Figura 7.50.

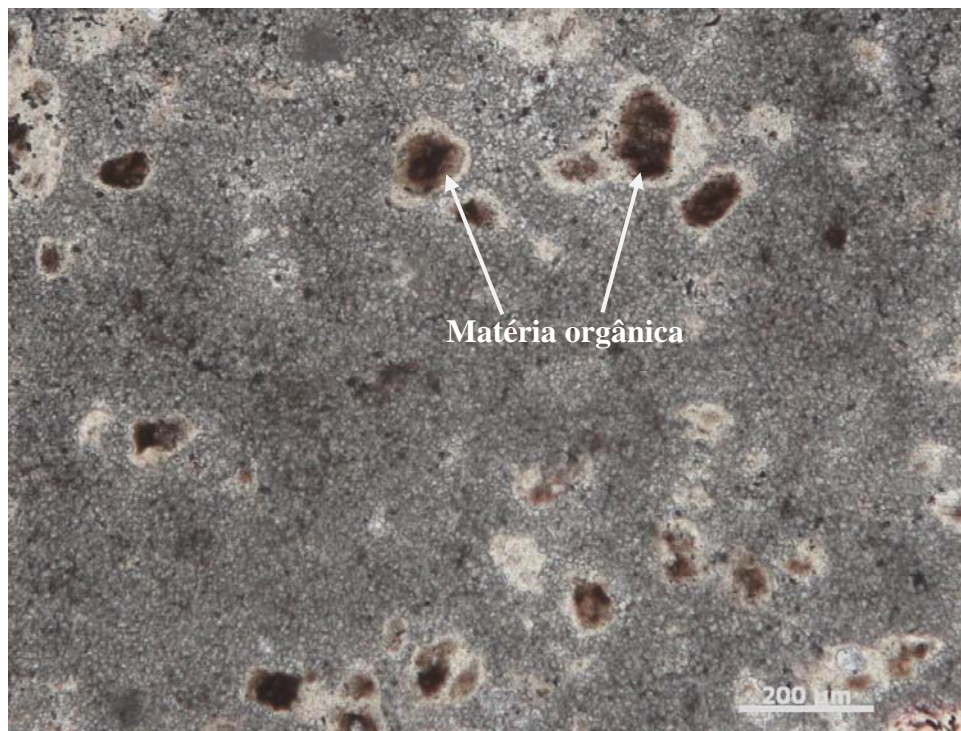


Figura 7.48 – Nódulos amarelados preenchidos por matéria orgânica.

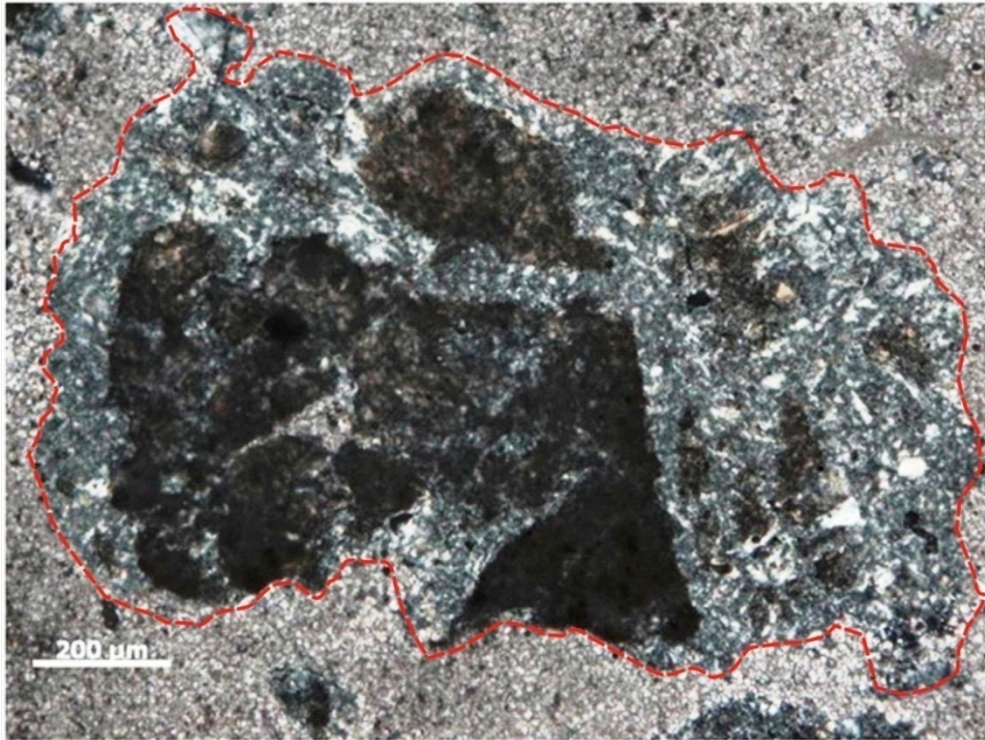


Figura 7.49 – Feições de dissolução demarcadas por traços vermelhos.



Figura 7.50 – Aspecto dos grãos detríticos.

Dos minerais descritos da difração de raios-x, apenas a palygorskita não foi identificada, naturalmente por tratar-se de material microcristalino. Adicionalmente, vale ressaltar a ausência de calcita, tanto na DRX quanto nessas análises petrográficas.

A interpretação feita a seguir, baseada na análise das lâminas petrográficas descritas anteriormente está, em grande parte, baseada em livros texto de sedimentologia, como o Tucker (1991, 2003), Folk (1974) e apostilas de sedimentologia³ que serão citadas ao longo do texto.

Em relação à amostra B-3, a ocorrência de dolomita micrítica indica deposição em ambiente relativamente calmo, de baixa energia, com ausência de correntes fortes. A pequena quantidade de grãos terrígenos também indica um ambiente de baixa energia, em que a deposição por suspensão foi predominante.

A grande quantidade de matéria orgânica associada às laminações microbiais indica que ocorreu uma forte atividade biogênica, confirmada também pelas ocorrências de pelóides, *pellets* fecais de vermes ou de outros invertebrados (WARREN, 2000; TUCKER, 2003).

A alternância entre as laminações de dolomita micrítica e microesparítica sugere neomorfismo incipiente durante a eodiagenese ou mesodiagenese.

Segundo Tucker op. cit as feições anteriormente descritas indicam deposição em ambientes marinho raso ou em plataformas protegidas caracterizadas por deposição em ambientes lagunares.

De acordo com Nogueira (⁴2010, informação verbal) a recorrência dos níveis de dolomicrito, amostra B-8, entre os níveis pelíticos, pode indicar momentos durante a sedimentação em que o influxo de terrígenos pode ter sido mínimo, favorecendo a atividade biogênica representada por bactérias que teriam secretado a lama dolomicrítica proporcionado a deposição desta rocha.

A presença de dolomita micrítica, associada à ausência de feições de dolomitização (neoformação), levanta uma importante questão quanto a origem da dolomita, se primária ou secundária, sendo, portanto necessário um estudo mais aprofundado para a definição quanto a origem deste mineral

³ TRUCKENBRODT, W. Apostilas de sedimentologia – Petrografia de carbonatos.

⁴ NOGUEIRA, A.C. Informação verbal. 2010.

7.4 GEOQUÍMICA

7.4.1 Perfis

Todas as amostras coletadas neste trabalho foram submetidas à análise química por FRX, na forma de pastilhas prensadas e fundidas, para análise química total dos elementos maiores. Neste trabalho, serão utilizados os resultados das análises das pastilhas fundidas, pois é a melhor forma de detecção dos elementos maiores. Os resultados das análises das amostras da Praia da Baronesa estão apresentados na Tabela 01.

Tabela 01 – Resultados da análise química por FRX do Perfil da Praia da Baronesa.

Óxidos (%) Amostra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	P.F	TOTAL
B-8	23,18	0,24	7,14	2,79	14,83	0,10	17,22	0,46	1,77	0,10	31,98	99,81
B-7	50,96	0,52	15,67	7,51	5,90	0,07	0,69	0,22	3,56	0,16	14,73	99,99
B-6	52,46	0,62	15,48	6,34	6,09	0,29	0,54	0,22	3,45	0,20	14,31	100
B-5	53,56	0,76	15,06	7,83	4,08	0,30	0,67	0,39	4,14	0,16	13,05	100
B-4	25,81	0,31	7,41	3,12	13,65	0,02	15,94	-	1,93	0,10	31,40	99,69
B-3	7,01	-	2,02	0,78	20,08	0,09	26,96	-	0,46	0,04	42,33	99,77
B-2	61,24	0,64	13,52	4,22	4,59	0,06	0,58	-	2,59	0,16	12,35	99,95
B-1	61,31	0,60	13,17	5,91	3,84	0,10	0,37	0,65	3,03	0,14	10,84	99,96
Teor [#]	58,43	-	6,20	-	14,70	-	-	-	-	-	19,71	99,04

* Composição Química Teórica da Palygorskita

De um modo geral, as amostras apresentam valores elevados de SiO₂ (50,96% a 61,31%), mostrando a sua presença na maioria dos minerais identificados por DRX (palygorskita e quartzo, principalmente, além de illita, caulinita e clorita, em menores proporções). As amostras também apresentam teores elevados de MgO, que juntamente com o Al₂O₃, podem ser o segundo ou terceiro elementos mais abundante. O MgO desempenha um papel importante neste ambiente, pois também está relacionado a mineralogia dominante, identificada, dos argilominerais e da dolomita. Este mineral também é responsável pelos teores elevados de CaO nas amostras B-3, B-4 e B-8. Vale lembrar que não foi detectada calcita nestas amostras. Os teores de Fe₂O₃ são relativamente elevados, na maioria das amostras, devido à presença de hematita, identificada nas análises mineralógicas por difração

de raios-x. A presença de K_2O em quantidades relevantes pode estar associada à ocorrência de feldspatos e de caulinita em praticamente todas as amostras deste perfil. Os demais óxidos ocorrem em proporções menos significativas (teores inferiores a 1%), como mostra a Tabela 01.

Os resultados das análises do perfil da Ilha do Livramento estão apresentados na tabela 02.

O fato mais marcante nos resultados desse perfil, em comparação com o anterior, é a uniformidade dos resultados, para a maioria dos elementos, o que reflete litologicamente, no domínio de pelitos bastante arenosos e ausência dos níveis dolomíticos anteriormente descritos.

Tabela 02 – Resultados da análise química por FRX do Perfil da Ilha do Livramento.

Óxidos (%) Amostra	SiO ₂	TiO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O	P.F	TOTAL
L-6	62,90	0,79	12,70	5,06	3,50	0,04	0,63	0,89	2,19	0,09	11,19	99,98
L-5	62,10	0,79	12,66	5,19	3,82	0,08	1,33	0,63	2,19	0,11	11,02	99,92
L-4	60,33	0,63	11,96	4,72	4,69	0,08	1,83	0,82	2,21	0,14	12,49	99,07
L-3	61,65	0,64	13,06	5,76	4,20	0,09	0,74	0,65	2,23	0,10	10,84	99,96
L-2	60,76	0,85	11,35	3,37	3,90	0,09	3,99	0,94	2,20	0,13	12,35	99,93
L-1	61,99	0,56	12,31	5,10	3,43	-	2,38	1,04	2,15	0,11	10,82	99,89

Em geral as amostras apresentam teores elevados de SiO₂ refletindo a grande quantidade de quartzo que ocorre em todas as amostras. Os teores elevados de Al₂O₃ refletem a ocorrência de illita, esmectita e clorita que ocorrem de forma mais acentuada neste o perfil. Os teores constantes de MgO são devido à palygorskita que foi identificada em todas as amostras nas análises mineralógicas por DRX. A quantidade relevante de Fe₂O₃ provavelmente reflete a ocorrência de óxidos de ferro, os quais são os prováveis responsáveis pelo predomínio da coloração avermelhada na maioria das amostras. Teores relevantes de CaO são perceptíveis nas amostras da base do perfil e estão associados a presença de calcita e dolomita que ocorrem dispersos nos pelitos. Os demais elementos estão presentes em proporções menos significativas nas amostras deste perfil.

Ao comparar os resultados das análises dos dois perfis, nota-se que as amostras do primeiro apresentam maior variação nos teores de alguns óxidos que as amostras do segundo perfil. Essa variação está relacionada ao conteúdo litológico dos mesmos, pois na praia da

baronesa foram analisados três litotipos distintos (pelitos, dolomitos e arenitos) enquanto na ilha do livramento as amostras analisadas foram apenas de pelitos.

7.4.2 Palygorskita

Da mesma forma como nas análises mineralógicas, foram realizadas análises químicas totais apenas da palygorskita dos bolsões centimétricos, já que o entendimento é que poderiam se tratar de amostras praticamente puras ou monominerálicas.

Os resultados estão apresentados na Tabela 03. Nesta, estão os resultados da Palygorskita deste trabalho (PA) obtidos por FRX nos laboratórios do IG-UFPA, e os resultados de uma alíquota da mesma amostra enviada ao laboratório Canadense ACM, para efeitos de comparação. Adicionalmente, também para efeitos de comparação, estão os resultados da Palygorskita de referência da CMS (PFL-1), de três tipos de Palygorskita da mina de Guadalupe, no Piauí (⁵BALTAR, C, OLIVEIRA, BALTAR, L. 2003, APUD LUZ, ALMEIDA 2005), além da composição química teórica deste mineral.

Tabela 03 – Comparação da composição da palygorskita padrão (PFL-1) com a palygorskita de Alcântara (PA), analisada pelo ACME e por FRX, e de Guadalupe- PI.

Amostra/ Óxidos(%)	PA (UFPA)	PA (ACME)	PFL-1 ¹	GUADALUPE (PI) ²			Teórica
				S.P. CLARA	S.P ESCURA	BOA VISTA	
SiO ₂	49,23	46,85	60,35	68,5	66,7	57,9	58,43
TiO ₂	0,09	0,06	0,48	0,7	0,6	0,61	-
Al ₂ O ₃	10,21	10,48	11,13	10,3	9,1	12,1	6,20
Fe ₂ O ₃	0,93	0,59	3,74	4	3,7	7,2	-
MnO	0,06	0,02	-	0,12	1,1	0,5	-
MgO	11,27	11,25	10,58	5,6	7,4	4,9	14,70
CaO	5,05	4,81	1,89	0,17	0,17	0,1	-
Na ₂ O	0,32	0,04	0,05	0,1	0,11	0,14	-
K ₂ O	0,36	0,39	0,87	1,2	0,83	2,2	-
P ₂ O ₅	0,02	0,01	0,92	0,02	0,02	0,047	-
P.F	22,47	25,30	9,52	9,5	11,06	13,37	19,71
TOTAL	100	99,80	99,53	100	100	99,06	100

Fonte: Mermut e Cano¹ (2001); ² Luz e Almeida (2005).

De um modo geral, as diferenças observadas na Tabela 03 refletem as variações mineralógicas do conteúdo de palygorskita (mineral principal), em todas as amostras, com as

⁵ BALTAR, C. A. M.; LUZ, A. B.; OLIVEIRA, C. H. e BALTAR, L. M. (2003). Caracterização mineralógica e tecnológica de atapulgitas de Piauí. In: Insumos minerais para a perfuração de poços de petróleo. UFPE/CETEM, Rio de Janeiro. p 85-102.

fases acessórias. Inicialmente, a comparação interlaboratorial realizada mostra que os resultados obtidos nos laboratórios da UFPA, admitindo-os, de caráter semi-quantitativo, estão muito bons e próximos aos obtidos em laboratório comercial (ACME). As principais diferenças estão justamente nos resultados dos dois elementos/óxidos mais abundantes, SiO₂ e P.F, que é justamente onde são observadas as maiores fontes de erro, por tratar de análises gravimétricas (caso da PF) e elementos muito leves para a FRX (caso da SiO₂). Ou seja, a diferença dos resultados entre esses dois elementos/óxidos é em torno de 2,5% para mais (SiO₂ na UFPA) ou para menos (P.F. na ACME).

Em termos da comparação geral entre as amostras, a Palygorskita desse trabalho (PA) apresenta os maiores teores de MgO, que associados aos mais baixos teores de SiO₂, demonstram tratar-se de amostras mais enriquecidas em palygorskita. Vale ressaltar que parte desses teores elevados de MgO estão relacionados a dolomita, assim como os de CaO, que também são os mais elevados dentre as amostras das palygorkitas da Tabela 3. Os teores mais elevados de SiO₂, das outras amostras, estão relacionados a maior quantidade de quartzo, principalmente. No caso do Al₂O₃, os teores na PA também são mais elevados das amostras estudadas, e bem acima do valor teórico de 6,20%, o que atesta que grande parte desse alumínio está na estrutura da illita, descrita nos difratogramas de raios-x.

De forma complementar, a tabela 04 mostra a composição química de outras palygorskitas, indicando que ocorrem variações relevantes nos elementos constituintes desse mineral.

Tabela 04 – Comparação dos teores dos elementos maiores das palygorskitas da vários lugares do mundo.

Amostra/ Óxidos(%)	Nizhnii Novgorod	Taodeni (Argélia)	Nerchinsk Sibéria	Attapulgius Georgia	Padrão CMS Flárida	Padrão OECD Flárida
SiO ₂	51,17	54,71	46,67	55,03	60,9	75,2
Al ₂ O ₃	13,73	13,48	9,84	10,24	10,4	9,7
Fe ₂ O ₃	1,86	2,1	2,15	3,53	3,4	3,1
MgO	6,4	5,44	8,94	0,49	10,2	8,35
CaO	2,89	2,79	8,36	-	1,98	2,03
Na ₂ O	-	-	-	-	0,06	0,14
K ₂ O	-	-	-	0,47	0,8	0,74
H ₂ O	10,29	8,65	8,29	9,73	-	-
TOTAL	86,94	97,17	84,25	79,49	87,74	99,26

Fonte: Luz e Almeida (2008).

Essa variação no teor dos óxidos constituintes da palygorskita pode estar relacionada ao ambiente em que esse mineral se formou, assim como a assembléia mineral que ocorre associada à mesma (LUZ E ALMEIDA, 2008; CRAWFORD E POST, 2007).

8 CONCLUSÕES

No presente trabalho, dois perfis geológicos foram estudados, e relacionados a diferentes ambientes sedimentares, no contexto da Formação Alcântara.

O perfil da ilha do Livramento está relacionado a resquílios de depósitos lagunares com grande influência dos depósitos de canal de maré e *shoreface* (depósitos de tempestade) descritos em trabalhos anteriores (ROSSETTI, 1997, 2001). A mineralogia deste é representada por quartzo, esmectita, clorita, palygorskita, illita, calcita, dolomita e caulinita. A presença acentuada de quartzo, principalmente na base do perfil, sugere que os pelitos apresentam maior conteúdo arenoso, portanto maior influência dos arenitos depositados por processo de tempestade/canal de maré. Devido à caulinita e illita apresentarem-se de forma mais restrita, conclui-se a pouca atuação do intemperismo químico sob clima seco.

O perfil da Praia da Baronesa apresenta forte associação com ambiente lagunar, pois os seus principais litotipos descritos são pelitos e dolomicritos. O seu conteúdo mineralógico é representado por quartzo, palygorskita, dolomita, clorita, esmectita, illita, caulinita, calcita e feldspatos. A grande quantidade de quartzo, assim como o resultado das análises químicas, reflete as incursões arenosas (*washover*) no ambiente durante a deposição dos pelitos.

O modelo geológico (Figura 8.1) mostra a relação dos minerais com o ambiente deposicional. Este mostra que no perfil da ilha do livramento ocorre maior abundância de esmectita e clorita, revelando, portanto, uma maior influência do ambiente marinho. Já o perfil da praia da baronesa apresenta o predomínio de palygorskita e dolomita, indicando que prevaleceu um ambiente mais fechado, provavelmente com condições climáticas áridas a semi-áridas, grande disponibilidade de Mg e elevada taxa de evaporação que seriam idéias para a formação desses dois minerais, típicos de lagunas.

As análises químicas confirmam o conteúdo mineralógico, identificados por DRX, dos litotipos da área de estudo. Além disso, as análises químicas da palygorskita de Alcântara, em comparação aos padrões de referência, mostraram que a mesma apresenta os maiores teores de MgO. Vale ressaltar que parte desses teores elevados de MgO estão relacionados a dolomita, assim como os de CaO.

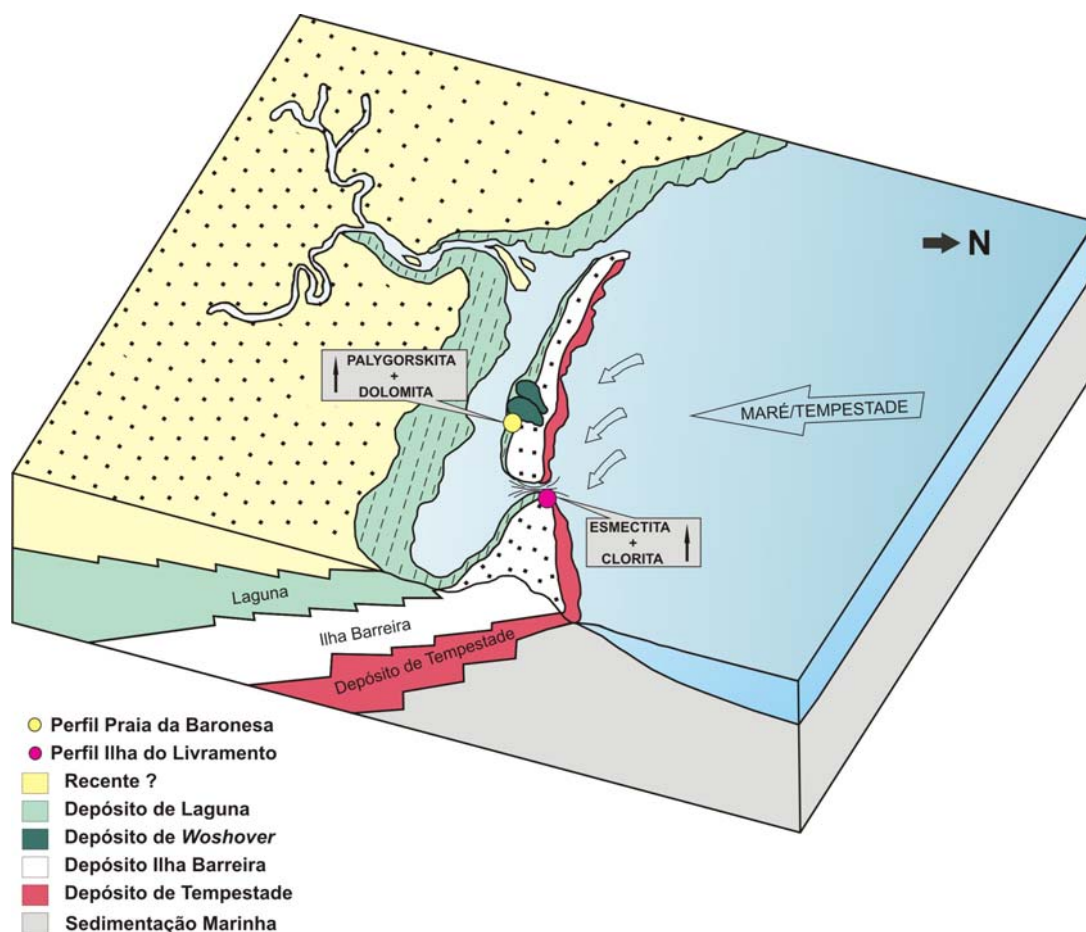


Figura 8.1 – Modelo geológico da Formação Alcântara, modificado de Rossetti (1997).

A palygorskita ocorre de forma bastante acentuada, principalmente na praia da baronesa, e com relação à sua gênese, existem duas possibilidades. A primeira pode ser associada ao modelo I, proposto por Daoudi (2004), e sugere que a palygorskita pode se formar por precipitação direta de soluções ricas em Mg associada a alta atividade de Si, sob condições de pH básico em um ambiente com alta taxa de evaporação e fluxos periódicos de água doce. Isto resultaria em flutuações rápidas de salinidade entre condições hipersalinas a próxima da água doce. A segunda possibilidade poderia seguir o modelo II, proposto por Hong *et al.* (2007), que mostra a formação de palygorskita a partir do consumo de argilas detriticas, especialmente clorita. Isso seria possível, pois palygorskita e clorita apresentam composições químicas ideais, e, portanto, estabeleceriam uma relação de equilíbrio mútuo, em que o segundo poderia originar o primeiro através de uma reação de hidrólise.

Além dos novos resultados químicos e mineralógicos apresentados, considera-se que o presente trabalho trás duas importantes contribuições ao conhecimento geológico da região:

- 1) A descrição de duas gerações de palygorskita, mostrando que a mesma não ocorre apenas como os bolsões ou acumulações esbranquiçadas, já conhecidos, e de fácil observação em campo, mas como constituinte principal de alguns níveis pelíticos. Dessa forma, conclui-se que existem dois tipos de ocorrência deste mineral:

Palygorskita I – maciça associada aos pelitos e identificada apenas através da DRX;

Palygorskita II – acumulação esbranquiçada, visível a olho nu, admitidas como formações posteriores, ocorrendo como eflorescências;

Devido a esse fato, os níveis maciços descritos podem representar em possível aproveitamento econômico, em função da espessura métrica (?) dos pacotes e relativa extensão lateral, sugerindo trabalhos prospectivos futuros.

- 2) A questão da gênese dos níveis dolomíticos. As laminações microbiais indicam uma provável acumulação de matéria orgânica que se originou devido uma forte atividade biogênica. A alternância entre as laminações de dolomita micrítica e microesparítica sugere neomorfismo incipiente durante a eodiagênese ou mesodiagênese (TUCKER, 1991; NOGUEIRA, INFORMAÇÃO VERBAL, 2010). A recorrência dos níveis de dolomicrito, entre os níveis pelíticos, pode indicar momentos em que o influxo de terrígenos teria sido mínimo durante a sedimentação. Isso poderia favorecer a atividade biogênica, representada por bactérias, que teriam secretado a lama dolomicrítica, proporcionando a deposição desta rocha. Porém a análise petrográfica de apenas duas lâminas, associadas à ausência de feições de dolomitização, levantam dúvidas quanto à origem da dolomita, se primária ou secundária, sendo, portanto necessário um estudo mais aprofundado para a definição da origem deste mineral.

REFERÊNCIAS

- CAVALCANTE, V.M.M.; BEZERRA, A.T. Depósito de atapulgita de Guadalupe, Piauí. In: DNPM; CPRM. **Principais Depósitos Minerais do Brasil. Rochas e Minerais Industriais**. 1997, v 4, parte B. p 173-192.
- COELHO, A C. V.; SANTOS, P. S. Argilas Especiais: o que são, caracterização e propriedades. **Química Nova**, v. 30. p 146-152. 2007.
- CORDANI, U. G.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A.; PORTO, R.; THOMAZ, F. A.; CUNHA, F. M. **Estudo preliminar da integração do Pré-Cambriano com eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras**. Seção Exploração de Petróleo, 1984. v 15. 70p. Série Ciência-Técnica-Petróleo.
- DAOUDI, L. Palygorskite in the uppermost cretáceos-eocene rocks from Marrakech High Atlas, Morocco. **Journal of African Earth Sciences**, v 39. p 353-358. 2004.
- FOLK, R. L. **Petrology of Sedimentary Rocks**. Texas: Hemphill, 1974. 179p.
- GÓES, A.M.; ROSSETTI, D.F. Gênese da Bacia de São Luiz-Grajaú, Meio- Norte do Brasil. In: GÓES, A.M.; ROSSETTI, D.F; TRUCKNENBRODT, W. **Cretáceo da Bacia de São Luis-Grajaú**, Belém, 2001. p 15-29. Coleção Friedrich Katzer.
- HONG, H.L. et al. Authigenic palygorskite in Miocene sediments in Lixinia basin, Gansu, northwestern China. **Clay Minerals**. v 42. p 45-58. 2007.
- LUZ, A.B.; ALMEIDA, S.L.M. Atapulgita e Sepeiolita. In: CETEM/MCT. **Rochas e Minerais Industriais. Usos e especificações**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. p 201-215.
- LUZ, A.B.; ALMEIDA, S.L.M. Argila - Atapulgita e Sepeiolita. In: CETEM/MCT, **Rochas e minerais industriais. Usos e especificações**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p 223-238.
- MENDES, A.C.; TRUCKNEDBROD, W. **Minerais pesados em depósitos albianos do Grupo Itapecuru, borda leste da Bacia de São Luis-Grajaú (MA)**. 2006 (Relatório final de iniciação científica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2006. 41p.
- MERMUT, A.R.; CANO, A.F. Baseline studies of the clay minerals society source clays: chemical analyses of major elements. **Clays and Clay Minerals**, v 49. p 381–386. 2001.
- MURRAY, H. H. Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview. **Applied Clay Science**. v 17. p 207–221. 2000.

MURRAY, H.H. **Applied Clay Mineralogy: occurrences, processing and application of kaolins, bentonites, palygorskite-sepiolite, and common clays.** Amsterdam: Elsevier, 2007. 179p.

NICHOLS, G. Processes of transport and sedimentary structures, In: **Sedimentology and Stratigraphy.** Oxford: Wiley-Blackwell, 2009. p 44-69. 1 CD-ROM.

POST, J.L.; CRAWFORD, S. Varied forms of palygorskite and sepiolite from different geologic systems. **Applied Clay Science**, v 36. p 232-244. 2007.

ROSSETTI, D.F. Facies Analyses of the Lower Succession of the Upper Itapecuru Formation, São Luis Basin, Northern Brazil. In: COSTA, M.L.; ANGÉLICA, R.S. **Contribuições à Geologia da Amazônia.** Belém. 1997. p 241-284.

ROSSETTI, D.F. Facies architecture and sequential evolution of an incisive-valley estuarine fill: the Cojupe Formation (Upper Cretaceous to ? Lower Tertiary), São Luis Basin, northern Brazil. **J. Sediment. Res.** v 68. p 299-310. 1998.

ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W. Nomenclatura Estratigráfica de Depósitos Cretáceos expostos na Bacia de São Luis (MA). In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5. **Boletim.** Rio Claro. 1999. p 485-489.

ROSSETTI, D.F. Arquitetura Depositional da Bacia de São Luis-Grajaú. In: GÓES, A.M.; ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W. **O Cretáceo da Bacia de São Luis-Grajaú.** Belém, 2001. p 32-34. Coleção Friedrich Katzer.

ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W.; SANTOS JÚNIOR, A.E. Clima do Cretáceo no Meio-Norte brasileiro. In: GÓES, A.M.; ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W. **O Cretáceo da Bacia de São Luis-Grajaú.** Belém, 2001. p 67-76. Coleção Friedrich Katzer.

SANTOS, S.P.; SANTOS, S.H. Ocorrências brasileiras de argilas contendo argilominerais do grupo das hormitas (palygorskita-atapulgita-sepiolita). **Cerâmica**, São Paulo, v.30. p 319-36. 1984.

SMYKATZ-KLOSS, W. **Applications of differential thermal analysis in mineralogy.** Berlin: Springer-Verlag, 1982. 152 p.

TUCKER. M. E. **Sedimentary Petrology: an introduction the origem of sedimentary rocks.** Oxford: Blackwell Science, 1991. 260p.

TUCKER. M. E. **Sedimentary Rocks in the Field.** Oxford: Wiley, 2003. 229p

WARREN, J. Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. **Earth-Science Reviews.** v 52. p 1-81. 2001.