

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**INTERAÇÕES ENTRE PALEOSSISTEMAS DEPOSICIONAIS
ALUVIAIS E EÓLICOS DA FORMAÇÃO PEDRA DAS
TORRINHAS (GRUPO GUARITAS, CAMBRIANO – RS):
ARQUITETURA DEPOSICIONAL E MODELAMENTO ANÁLOGO
DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA E HIDROCARBONETOS**

André Marconato

Orientador: Prof. Dr. Renato Paes de Almeida

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2007/07)

SÃO PAULO
2007

TF
M321
A.i

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024359

**Interações entre paleossistemas deposicionais aluviais e
eólicos da Formação Pedra das Torrinhas (Grupo Guaritas,
Cambriano - RS): arquitetura deposicional e modelamento
análogo de reservatórios de água e hidrocarbonetos**

TF-07/2007



Monografia de Trabalho de Formatura

2007

Aluno: André Marconato

Orientador: Prof. Dr. Renato Paes de Almeida

Agradecimentos

Neste espaço gostaria de agradecer sinceramente às pessoas que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho de formatura, e porque não, também às pessoas que me acompanharam ao longo do curso de geologia, pois reconheço que sem a cooperação e companhia destas, o caminho até aqui teria sido muito mais difícil.

Primeiramente quero agradecer a dedicação e paciência de meu orientador, o professor Renato (Ninguém), que foi um professor ímpar ao longo deste trabalho, sempre disposto a discussão nos mais variados temas, indo além da geologia. Quero agradecer também a Liliane Janikian pela ajuda nos preparativos para as saídas de campo, bem como pelo empréstimo de equipamentos fundamentais para a realização das atividades de campo.

Não posso deixar de agradecer a divertida e prestativa companhia em campo de Bizarro (Jorge), Borboleta (Maurício) e Lacraia (Rogerio), que encararam com bom humor o frio gaúcho e minhas trapalhadas.

Agradeço ao professor Andre (Frutinha), Bizarro (Jorge), Lacraia (Rogério) e Banherão (Felipe) pelas sugestões e discussões construtivas ao longo deste trabalho.

Vou sempre me lembrar da generosidade do proprietário da estância em que ficamos acampados, Mauro França, e de sua família: seu pai, Seu Liberato, sua esposa, Dona Neide e seus filhos Rômulo e Mário, que nos receberam com grande hospitalidade em sua estância, e nos presentearam com churrasco e jantares fartos.

A meus pais, Agostinho e Regina, certamente não haverá gratidão suficiente que iguale não só o imprescindível apoio, mas também a paciência que tiveram comigo e o incentivo que deram para que eu prosseguisse com meus estudos, não só durante este trabalho, mas também ao longo de toda minha graduação.

A Jussara agradeço o apoio e dedicação ao longo destes anos, assim como sua paciência, sempre levada aos limites com minhas crises de mau humor, e por sua compreensão com minhas ausências, cada vez mais freqüentes.

Aos amigos de teto, Intupido (Flávio) e João Paulo pela companhia e pelos bate-papos, e especialmente no caso do João, por não falar comigo de geologia.

Por fim, gostaria de agradecer a cada colega que dividiu comigo parte deste trajeto pela geologia – é certo que gostaria de fazer aqui uma lista com cada um dos nomes, mas seria de enorme injustiça se deixasse de lembrar de alguém. Então, sem mais complicações, muito obrigado a todos!

Sumário

1	Resumo	1
2	Abstract	1
3	Introdução	2
4	Objetivos	3
5	Revisão Bibliográfica	4
5.1	Revisão conceitual sobre os processos de interação eólico-aluvial	6
5.2	Trabalhos anteriores sobre as unidades eólicas	7
5.3	Trabalhos anteriores sobre as unidades de leques aluviais	8
6	Materiais e Métodos	8
6.1	Análise de fácies	9
6.2	Análise de elementos arquiteturais	9
6.3	Análise de paleocorrentes	10
6.4	Preparação de amostras para laminação	11
6.5	Petrografia sedimentar	11
6.5.1	Análise de imagens digitais	11
7	Desenvolvimento do Trabalho	13
8	Resultados Obtidos	14
8.1	Litoestratigrafia	14
8.2	Fácies Sedimentares	15
8.2.1	Associação de fácies de leques aluviais	15
8.2.2	Associação de fácies de campo de dunas eólicas	17
8.2.3	Associação de fácies fluviais de rios entrelaçados	19
8.3	Empilhamento vertical e variações laterais	21
8.4	Análise de elementos arquiteturais	21
8.5	Paleocorrentes	41
8.6	Análise de proveniência	41
8.7	Petrografia Sedimentar	42
8.7.1	Associação de campo de dunas eólicas	42
8.7.2	Associação de fácies de leques aluviais	47
8.7.3	Associação de fácies fluvial de rios entrelaçados	49

8.8 Análise de porosidade	50
9 Conclusões	55
Referências Bibliográficas	58

1. Resumo

O presente trabalho de formatura consiste no estudo de exposições da Formação Pedra das Torrinhas do Grupo Guaritas (Cambriano da Bacia do Camaquã), localizadas no município de Pinheiro Machado-RS, próximo à Zona de Falha das Encantadas, que define a borda da bacia. As sucessões estudadas compreendem depósitos de leques aluviais que passam lateralmente para depósitos eólicos, registrando processos de interação eólico-aluvial.

Foram realizados estudos de fácies sedimentares e elementos arquiteturais, acompanhados por análise petrográfica e análise de porosidade em lâmina petrográfica, visando inferências sobre a porosidade e sua distribuição espacial em escala de afloramento. O objetivo do trabalho foi o de aprimorar os modelos de distribuição espacial de porosidade em sistemas caracterizados por interação eólico-aluvial.

Os depósitos de leques aluviais identificados apresentam baixa maturidade textural, e conseqüentemente baixa porosidade (com média de 4,3%). Estes passam lateralmente para depósitos eólicos por intercalações com retrabalhamento mútuo. Os depósitos eólicos foram subdivididos em depósitos de dunas eólicas, com maior maturidade textural e maior porosidade (média de 8,4%), e depósitos de interdunas, com maturidade textural menor e porosidade (média de 3,36%).

Conclui-se que há relação entre os valores de porosidade e as fácies sedimentares, com as maiores porosidade relacionados aos depósitos de dunas eólicas, e os menores valores de porosidade relacionados aos depósitos de interdunas e de leques aluviais. Isto se deve principalmente controle dos depósitos sobre a porosidade primária, e em menor grau, à variação na cimentação. Desta maneira depósitos de dunas análogos a estes poderiam ser bons reservatórios de água e hidrocarbonetos, porém a presença de intercalações de depósitos de interdunas e de leques aluviais, de difícil identificação em estudos geofísicos, poderia prejudicar a porosidade total da unidade.

2. Abstract

This monograph presents a study of selected outcrops from the Pedra das Torrinhas formation of the Guaritas group (Cambrian, Camaquã Basin), which are localized in the Pinheiro Machado municipality, Rio Grande do Sul State, Southern Brazil, near the basin bordering Encantadas Fault Zone. The studied successions include alluvial fan deposits that pass laterally to eolian deposits, recording processes of alluvial-eolian interaction.

The applied methods included sedimentary facies and architectural element analysis, as

well as sedimentary petrography and microscopic porosity analysis, aiming to characterize the porosity of the deposits and its spacial distribution at the outcrop scale. The main objective was to contribute to a better understanding of the spacial distribution of the porosity in depositional systems characterized by alluvial-eolian interaction.

The identified alluvial fan deposits are poorly sorted, and consequently present low porosity values (mean of 4,3%). These deposits pass laterally to eolian deposits, showing interfingering and mutual sedimentary reworking. The eolian deposits comprise eolian dune facies, with better sorting and higher porosity (mean of 8,4%), and interdune facies, with poorer sorting and lower porosity (mean of 3,36%).

We conclude that there is a facies control on porosity values, with the higher porosity related to eolian dune deposits and lower to interdunes and alluvial fans. This can be attributed to depositional controls on primary porosity and, to a lesser degree, to varying degrees of cementation. Thus, analog dune deposits can become good reservoirs for water or hydrocarbons, but the presence of lenses of interdune or alluvial fan deposits, which would be difficult to identify through geophysical surveys, could significantly diminish the whole porosity of the unit.

3. Introdução

Em anos recentes, o estudo das variações espaciais de fácies em escala de afloramento vem ganhando importância devido a suas implicações para a distribuição das heterogeneidades de porosidade e permeabilidade em reservatórios de hidrocarbonetos e aquíferos (*e.g.* Miall, 1991). O objetivo de tais estudos é o estabelecimento de modelos para a previsão das geometrias e propriedades dos corpos litológicos (North & Prosser, 1993), com aplicações em projetos de prospecção de hidrocarbonetos e água e de recuperação de hidrocarbonetos em campos de exploração. Como as heterogeneidades em mesoescala não são observáveis em testemunhos de sondagem ou em linhas sísmicas convencionais, a abordagem que vem sendo desenvolvida baseia-se em modelos análogos, ou seja, no estudo de unidades com boas exposições em superfície, depositadas em condições semelhantes àsquelas dos reservatórios.

Sistemas deposicionais eólicos e aluviais são responsáveis por importantes reservatórios de hidrocarbonetos e por aquíferos de grandes dimensões, tendo sido os alvos preferenciais para estudos de arquitetura deposicional em anos recentes. Modelos de fácies bastante detalhados foram desenvolvidos para os principais tipos de sistemas deposicionais aluviais (*e.g.* Collinson, 1996; Miall, 1996), e eólicos (*e.g.* Brookfield, 1992; Kocurek, 1996), porém

as particularidades e os tipos de interações entre os dois sistemas são menos documentados (*e.g.* Langford, 1989; Langford & Chan, 1989), com raras descrições da arquitetura deposicional resultante (*e.g.* Herries, 1993).

Os estudos realizados no âmbito deste trabalho de formatura apreciaram a presença de elementos de interação eólico-fluvial ainda pouco registrados na bibliografia. Tais elementos incluem fácies de inundação de áreas de interdunas por sistemas fluviais adjacentes, semelhantes às descritas por Stanistreet & Stollhofen (2002) em depósitos recentes no deserto da Namíbia, e o desenvolvimento de lençóis de areia e dunas eólicas associados a sistemas aluviais efêmeros e regiões distais de leques aluviais.

Dentro desse contexto, a presente monografia desenvolve modelos de fácies e de distribuição de propriedades condicionadoras da migração de fluidos em meios porosos para sistemas deposicionais caracterizados pela interação entre leques aluviais dominados por enchentes em lençol (Blair, 1999) e campos de dunas, caso pouco registrado na bibliografia, porém com grande potencial de ocorrência em bacias tipo rift. O alvo do projeto é a preparação de amostras para laminação de um conjunto de exposições da Formação Pedra das Torrinhas, junto à falha mestra que limita o rift em que se depositou o Grupo Guaritas. A área de estudos localiza-se no município de Pinheiro Machado (RS), com acesso por vias locais (Fig. 5.1).

4. Objetivos

Os principais objetivos da presente Monografia são:

1. Caracterização das fácies sedimentares e elementos arquiteturais dos depósitos da Formação Pedra das Torrinhas em sua localidade-tipo, à luz de descrições de sistemas deposicionais semelhantes, atuais ou antigos.
2. Estabelecimento de modelos de fácies e a caracterização dos processos e produtos de interação entre os sistemas deposicionais eólicos e de leques aluviais presentes na Formação Pedra das Torrinhas, com ênfase na determinação das geometrias tridimensionais das unidades genéticas.
3. Desenvolvimento de modelos de distribuição da heterogeneidade de porosidade e a interpretação dos fatores controladores de tal distribuição, visando aplicações na previsão das características de reservatórios de água subterrânea e hidrocarbonetos gerados por sistemas análogos.

5. Revisão Bibliográfica

A Bacia do Camaquã é composta por sucessões sedimentares do final do Neoproterozóico e início do Paleozóico, predominantemente siliciclásticas, que afloram na porção Centro-sul do Rio Grande do Sul (Fig. 5.1) e registram os eventos ocorridos ao final e imediatamente após o Ciclo Orogênico Brasileiro.

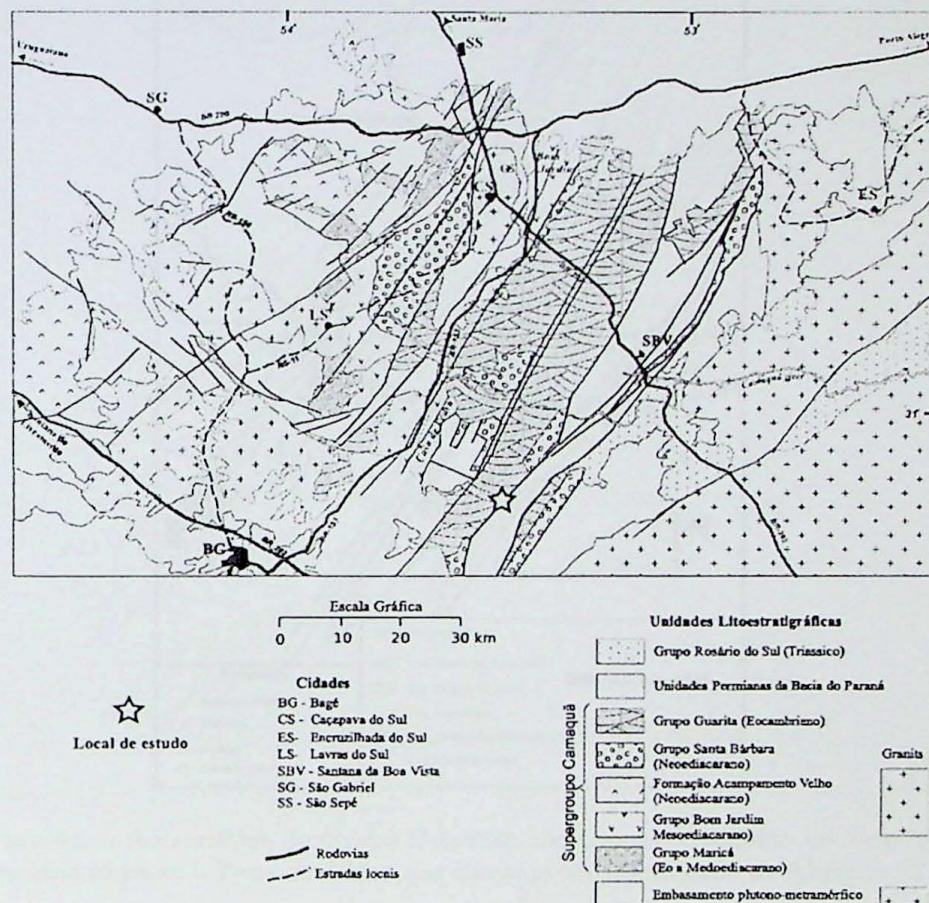


Figura 5.1: Mapa geológico esquemático da Bacia do Camaquã e áreas vizinhas. Modificado de Almeida (2005).

O objeto de estudo do presente projeto é uma série de afloramentos da Formação Pedra das Torrinhas, do Grupo Guaritas (Cambriano da Bacia do Camaquã, Rio Grande do Sul), em que predominam arenitos cólicos e arenitos e conglomerados de leques aluviais, com ocorrência subordinada de fácies pelíticas.

O Grupo Guaritas é composto por seis formações (Almeida, 2005), incluindo os

depósitos conglomeráticos de leques aluviais e deltaicos da Formação Pedra das Torrinhas, preservados principalmente junto aos limites tectônicos da bacia (Fig. 5.2), além de arenitos conglomeráticos e conglomerados de ambientes fluviais de rios entrelaçados (formações Guarda Velha e Serra do Apertado), arenitos bem selecionados com estratificações cruzadas de grande porte por migração de dunas eólicas (Formação Pedra Pintada) e arenitos, ritmitos e siltitos arenosos de sistemas aluviais efêmeros (Formação Varzinha).

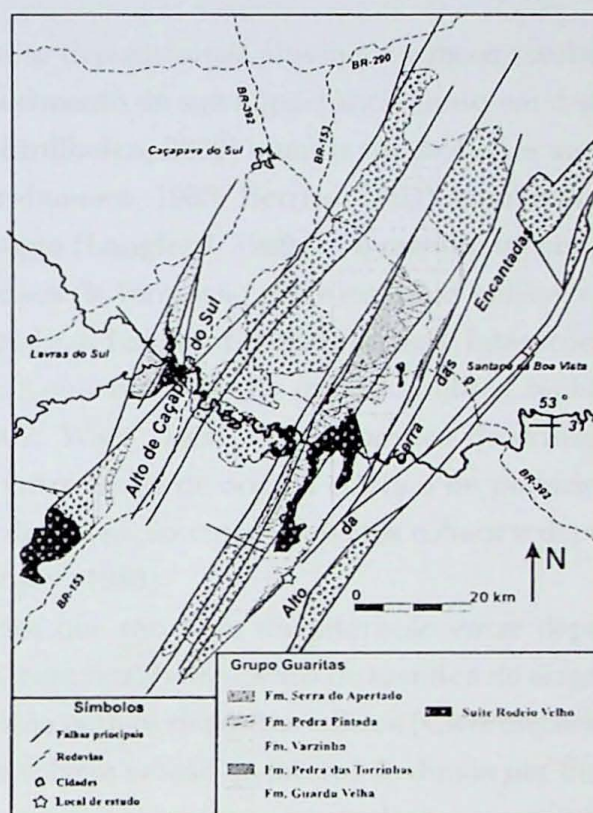


Figura 5.2: Mapa geológico esquemático do Grupo Guaritas, mostrando o contexto do local de estudo no Grupo Guaritas, localizado junto à Zona de falhas das Encantadas. Modificado de Almeida (2005).

Associada ao Grupo Guaritas ocorre uma suíte composta por diversos corpos intrusivos rasos de composição basáltica a andesítica, denominada Suíte Intrusiva Rodeio Velho (Membro Rodeio Velho de Ribeiro *et al.*, 1966), datada por (Almeida, 2005) em 535 Ma.

O presente trabalho aborda a interação entre os sistemas de leques aluviais da Formação Pedra das Torrinhas e depósitos eólicos, possivelmente relacionados à Formação Pedra Pintada. Uma abordagem de análise de elementos arquiteturais para análogos de reservatórios foi realizada por (Paim & Scherer, 2003) nas exposições da Formação Pedra Pintada na

região das Minas do Camaquã (município de Santana da Boa Vista), porém sem relação com depósitos de leques aluviais. Abaixo são discutidos aspectos conceituais sobre a interação entre depósitos aluviais e eólicos e é descrita a evolução dos conhecimentos sobre as unidades eólicas e a unidade de leques aluviais do Grupo Guaritas.

5.1. Revisão conceitual sobre os processos de interação eólico-aluvial

Interações entre sistemas deposicionais aluviais e eólicos receberam maior atenção nos últimos anos, com reconhecimento de sua importância tanto em depósitos modernos (Langford, 1989; Stanistreet & Stollhofen, 2002) quanto em depósitos antigos (Langford & Chan, 1989; Clemmensen & Abrahamsen, 1983; Herries, 1993), com detalhamento das fácies presentes neste tipo de interação (Langford, 1989), e o empilhamento estratigráfico resultante (Herries, 1993). Os processos de Interação entre sistemas eólicos e aluviais ocorrem geralmente em margens de *ergs* (*e.g.* Langford, 1989), embora interações entre sistemas fluviais de rios efêmeros que adentram o campo de dunas também tenham sido descritos (Stanistreet & Stollhofen, 2002; Ward, 1988). Os depósitos descritos na literatura em geral compreendem interações entre fácies de origem eólica e de planícies aluviais (*e.g.* Herries, 1993), com raro exemplo de interação entre depósitos eólicos e depósitos de leques aluviais (Clemmensen & Abrahamsen, 1983).

As associações de fácies que resultam da interação entre depósitos eólicos e aluviais incluem depósitos fluviais, com retrabalhamento de arenitos de origem eólica (Herries, 1993) e fornecimento de sedimentos para os depósitos eólicos (Clemmensen & Abrahamsen, 1983), depósitos de dunas, que envolvem erosão da lateral de dunas por fluxos de água adjacente e formação de barragens naturais, que provocam inundações e posterior estagnação de corpos de água (Langford, 1989; Stanistreet & Stollhofen, 2002), e depósitos de interdunas, que merecem especial atenção por serem a principal associação de fácies que contém depósitos resultantes de interação entre os sistemas em questão, como deposição de finos (Langford, 1989; Ahlbrandt & Fryberger, 1981; Langford & Chan, 1989; Stanistreet & Stollhofen, 2002), deposição de arenitos com marcas onduladas cavalgantes (Ahlbrandt & Fryberger, 1981) e até mesmo formação de pequenos deltas (Stanistreet & Stollhofen, 2002), além de feições indicativas de inundação por elevação de lençol freático, sem a invasão direta de fluxos de água, onde predominam depósitos evaporíticos (Ahlbrandt & Fryberger, 1981; Herries, 1993; Ward, 1988).

Existem diferentes modelos propostos para interação entre sistemas eólicos e aluviais.

Alguns modelos envolvem a coexistência entre estes sistemas (Langford & Chan, 1989; Clemmensen & Abrahamsen, 1983), sem que a atividade de um implique na estagnação do outro, enquanto outros interpretam variações causadas por ciclos de aumento de aridez (Scherer & Lavina, 2005) ou aumento de umidade (Herries, 1993), implicando no término da atividade do campo de dunas com aumento da atividade fluvial. Em geral, os autores atribuem o controle destes ciclos a mudanças climáticas.

A importância deste tipo de interação para previsão de barreiras de permeabilidade em reservatórios de hidrocarbonetos e sua extensão é reconhecida especialmente pela variação dos valores de permeabilidade para depósitos cólicos e aluviais (Herries, 1993), e pela diminuição da permeabilidade em depósitos de interdunas afetadas por inundações (Ahlbrandt & Fryberger, 1981).

5.2. Trabalhos anteriores sobre as unidades eólicas

As exposições de arcósios com estratificações cruzadas de grande porte do Grupo Guaritas, interpretados como depósitos de dunas eólicas, foram responsáveis por equívocos nas colunas estratigráficas e nos mapas da década de 1960. A definição inicial da Formação Guaritas, formalizada por Robertson em manuscrito inédito até 1966, porém conhecido da comunidade geológica local desde 1961 (Robertson, 1966), excluía os depósitos eólicos, que foram cartografados como parte da então designada Formação Santa Bárbara por Ribeiro *et al.* (1966). Após o reconhecimento da origem cólica das camadas pelos Dr. Renato Rodolfo Andreis e Dr. Gerardo Bossi em 1979, o primeiro trabalho em que consta a interpretação de origem eólica para rochas da Formação Guaritas resultou de mapeamento geológico na região do Passo do Tigre, no extremo sudoeste da bacia (Becker & Fernandes, 1982).

Fragoso-Cesar (1984); Fragoso-Cesar *et al.* (1984) e Fragoso-Cesar *et al.* (1985) registraram a presença de depósitos eólicos na região das Minas do Camaquã, atribuídos a dunas barcanas. O mesmo grupo de trabalho (Lavina *et al.*, 1985) distinguiu depósitos de dunas e interdunas com base em critérios sedimentológicos, sendo os primeiros caracterizados pelos padrões de estratificação descritos por Hunter (1977, 1981) e os segundos por camadas horizontais e intercalações de pelitos gretados.

Faccini *et al.* (1987) identificaram a presença de abundantes fácies de marcas onduladas, interpretadas como de fluxo oscilatório em ambiente praias, intercaladas às sucessões cólicas.

Paim (1994) realizou detalhados estudos nas principais exposições de sucessões eólicas do Grupo Guaritas, contando com uma completa revisão bibliográfica sobre processos, fácies e arquitetura deposicional de sucessões eólicas e descrições e interpretações detalhadas do caso da unidade. O autor dividiu a sucessão eólica em três associações de fácies: (i) arenitos com estratificações cruzadas, (ii) depósitos horizontais heterolíticos finos e (iii) depósitos horizontais heterolíticos espessos.

Paim *et al.* (1995) e Paim (1996) publicaram parcialmente os resultados dos estudos longamente descritos na tese de doutoramento (Paim, 1994). Paim *et al.* (1995) discutiram a subdivisão aloestratigráfica de toda a Bacia do Camaquã, com breves considerações acerca da sucessão eólica. Paim (1996) destacou a importância das fácies de interdunas úmidas para a interpretação paleoambiental da sucessão eólica, caracterizada como um sistema eólico úmido.

Paim & Scherer (2003) detalharam as interpretações de sistemas deposicionais e de evolução estratigráfica da seção tipo da Formação Pedra Pintada, caracterizando associações de fácies flúvio-lacustre, de dunas eólicas e de interdunas, com a divisão, suas descrições e interpretações corroboradas por Almeida (2005).

5.3. Trabalhos anteriores sobre as unidades de leques aluviais

Fácies conglomeráticas de leques aluviais ocorrem junto às bordas da Sub-Bacia do Camaquã Central, destacadamente na borda leste, nos níveis estratigráficos equivalentes às formações Varzinha, Pedra da Arara e Pedra Pintada, não tendo sido reconhecidas nos níveis das formações Guarda Velha e Serra do Apertado (Almeida, 2005). Esses conglomerados e brechas foram atribuídos a leques aluviais (“fanglomerados”) por Ribeiro & Lichtenberg (1978), que os consideraram como variações laterais das Camadas Guarda Velha. Tais depósitos alcançam de centenas de metros a poucos quilômetros de distância da borda leste do Grupo Guaritas, tendo sido reunidos nos Ruditos Pedra das Torrinhas de Fragoso-Cesar (1991), posteriormente redefinidos como Formação Pedra das Torrinhas por Almeida (2005).

6. Materiais e Métodos

Os métodos utilizados compreendem: estudos detalhados de fácies e elementos arquitetais em grandes exposições naturais da Formação Pedra das Torrinhas em sua área-tipo

e análises petrográficas das fácies identificadas, visando inferências sobre a porosidade, compactação e diagênese.

6.1. Análise de fácies

O procedimento adotado na interpretação dos sistemas deposicionais foi a análise de fácies e elementos arquiteturais, aplicados de acordo com Reading (1986), Walker (1992) e Miall (1990, 2000). Segundo Miall (2000) a análise de fácies compreende o estudo e a interpretação de texturas, estruturas sedimentares, fósseis e associações litológicas de rochas sedimentares em escala de afloramentos, testemunhos de sondagem ou pequenas porções de uma bacia. A análise de fácies consiste no agrupamento dos litotipos com estruturas semelhantes ou outras feições características representativas de processos particulares, de forma que através da classificação possa-se compreender a relação entre os vários tipos de depósitos e reconstituir as características dos ambientes deposicionais.

A interpretação dos processos de sedimentação a partir da descrição das fácies e associações de fácies é realizada através da comparação com depósitos atuais, naturais ou gerados em laboratório, com causas conhecidas ou, na ausência desses, pela comparação com fácies semelhantes descritas em ambientes antigos interpretados com elementos seguros.

A partir do reconhecimento das fácies mais importantes de uma determinada exposição, foram caracterizadas as associações de fácies recorrentes, representativas de processos geneticamente ou cronologicamente associados e, com o auxílio da análise de elementos arquiteturais, estabelecidos os modelos de fácies. As associações de fácies são representadas em seções colunares medidas nos afloramentos mais importantes.

6.2. Análise de elementos arquiteturais

A análise de elementos arquiteturais foi desenvolvida em estudos de ambientes deposicionais aluviais, sendo o procedimento formalizado por Miall (1985, 1996) que define elemento arquitetural como: *“(...) um componente de um sistema deposicional equivalente em tamanho ou menor do que o preenchimento de um canal [fluvial] e maior do que uma unidade de fácies individual, caracterizado por uma assembléia de fácies distintiva, geometria interna, forma externa e, em alguns casos, variação vertical [de fácies]”*.

O procedimento baseia-se na identificação e hierarquização de superfícies que representam modificações ou interrupções dos processos de deposição e limitam corpos com geome-

tria definida e significado genético (*e.g.* canais fluviais, planícies de inundação, interdunas). A adaptação do método a ambientes eólicos incorpora a classificação e hierarquização de superfícies proposta por Brookfield (1977).

Esse procedimento é de grande utilidade para a análise de sistemas deposicionais pois permite o reconhecimento de geometrias e a caracterização de processos não identificados pela simples análise de fácies em perfis verticais. Permite também o agrupamento de associações de fácies segundo um critério descritivo, baseado no reconhecimento e hierarquização das superfícies observadas em afloramento de acordo com as escalas temporais dos processos associados.

Os elementos arquiteturais são descritos e interpretados com base em fotomosaicos de exposições de grandes dimensões (Miall & Tyler, 1991), preferencialmente em mais de um corte, visando a elaboração de modelos tridimensionais de distribuição de fácies.

6.3. Análise de paleocorrentes

Um dos principais elementos que podem ser adquiridos através de trabalhos de campo para a caracterização da paleogeografia de bacias sedimentares é a análise de paleocorrentes. Esse tipo de análise baseia-se no reconhecimento e na medição sistemática de estruturas sedimentares que refletem as condições hidrodinâmicas em que foram geradas, de forma a se reconstituir a direção e o sentido da corrente responsável pelo depósito. A análise de paleocorrentes é de grande importância para a compreensão das relações espaciais entre os diversos elementos de um sistema deposicional, permitindo uma reconstituição mais rigorosa da paleogeografia e uma melhor interpretação dos elementos arquiteturais.

Para o estudo de paleocorrentes em depósitos aluviais, as principais estruturas indicadoras do sentido do transporte, e por isso as mais freqüentemente medidas, são estratificações cruzadas em arenitos e conglomerados. A interpretação do paleofluxo para tais estruturas considera que o transporte foi paralelo ao maior mergulho nas estratificações cruzadas tabulares e tangencial e paralelo ao mergulho do eixo em estratificações cruzadas acanalahadas. Nos depósitos eólicos o sentido dos paleoventos foi obtido a partir da reconstituição da morfologia das dunas, considerando-se a geometria da frente das dunas registrada nas atitudes dos estratos cruzados e sua relação espacial com as superfícies limitantes de séries de estratificações cruzadas, de acordo com Rubin & Hunter (1983).

6.4. Preparação de amostras para laminação

As amostras recolhidas para a laminação foram coletadas com perfuratriz rotativa portátil, que permitiu obter um conjunto de amostras razoavelmente preservadas da alteração intempérica. As amostras passaram por processo de impregnação conforme rotina do Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (Processo FAPESP 1998/7959-0). Para tal as amostras foram reduzidas a tamanhos aproximados de 1,00 cm³, e em então acondicionadas em estufa por cerca de 24 horas para retirada de umidade.

A resina utilizada na impregnação foi preparada segundo a seguinte proporção: 50g de resina epoxiglass 1204 (XGY 11), 5g de endurecedor epoxiglass, 7g de álcool etílico (C₂H₆O) e 1g de corante azul de tornassol. A impregnação é realizada em vácuo (aproximadamente 200 mbar), dentro de frasco de borracha Struers de 30 mm de diâmetro, e após 15 minutos de repouso no aparelho é iniciado o gotejamento da resina. Após o fim do gotejamento, a amostra é retirada do vácuo e deixada em descanso durante cerca de 2 horas, para então ser acondicionada em estufa para solidificação da resina.

6.5. Petrografia sedimentar

A análise petrográfica foi realizada visando a complementação de informações acerca de processos de transporte, deposição e diagênese da unidade estudada. As análises de porosidade foram feitas de forma a obter-se um quadro representativo da distribuição de porosidades dentro do contexto de elementos arquiteturais, com a descrição de conjuntos de lâminas petrográfica de cada uma das associações de fácies descritas. A quantificação da porosidade foi realizada em lâminas delgadas impregnadas com resina colorida, com auxílio do programa de análise de imagens disponível no Laboratório de Petrografia Sedimentar do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (Processo FAPESP 97/10669-0).

6.5.1 Análise de imagens digitais

A avaliação da porosidade por meio de análise digital de imagens foi realizada no microscópio petrográfico Carl-Zeis Axioplan 2, acoplado a câmera compacta digital (CCD) Sony 3CCD, com as imagens captadas e editadas no programa Leica Qwin 550, com objetivo de gerar arquivos binários de saída (Fig. 6.1), que servem de base para que o programa calcule os dados estatísticos pertinentes.

As fotomicrografias foram obtidas com aumento de 50x (objetiva de 5x de aumento)

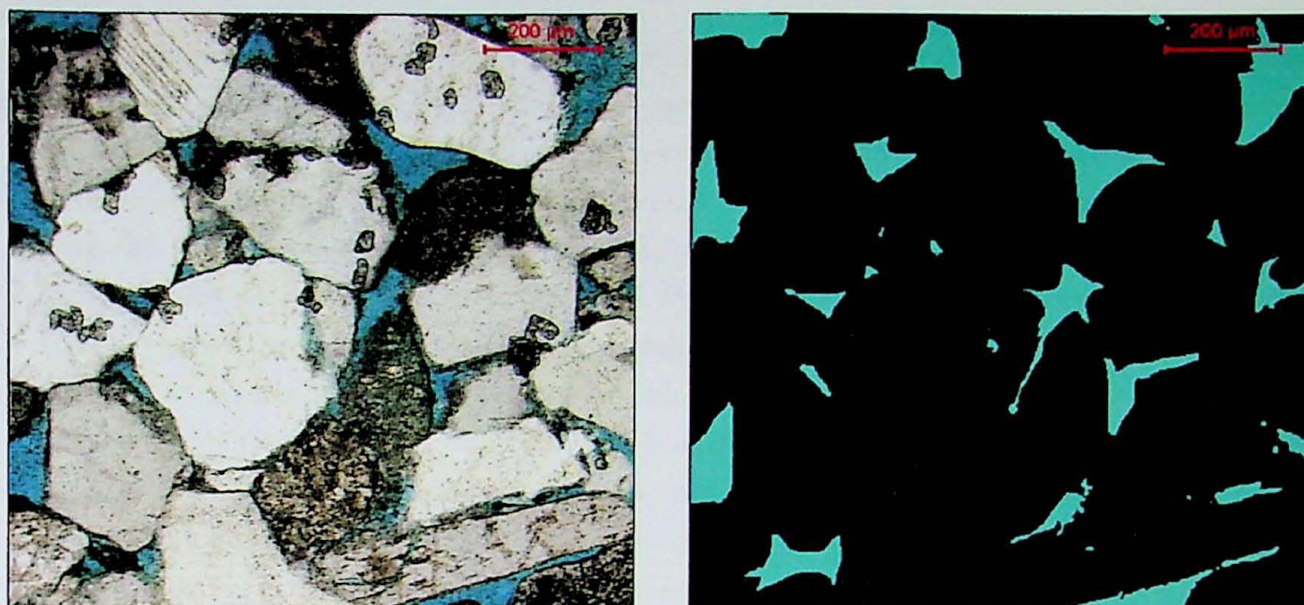


Figura 6.1: Exemplo de fotomicrografia e seu respectivo binário de saída, já corrigido manualmente. A fotomicrografia é de um arenito de depósitos de dunas eólicas (APT08e), obtida com aumento de 50x.

no caso de arenitos de granulação média, e com aumento de 25x (objetiva de 2,5x de aumento) no caso de arenitos de granulação grossa, com resolução de 512x512 pixels, que representa um campo de visão microscópica (CVM) de 32 mm² de área para a objetiva de 5x, e um campo de 116 mm² de área para a objetiva de 2,5 vezes. Para garantir que não houvesse sobreposição de CVMs, procurou-se manter um espaçamento de 2,0 mm entre pontos quando a objetiva utilizada era de 5x de aumento, e de 3,0 mm quando o aumento utilizado fosse de 2,5x de aumento. Para se efetuar uma análise representativa da seção, foram obtidas 20 CVMs por lâmina, segundo critérios definidos por Ehrlich *et al.* (1991). Dessa forma a área de cobertura para amostras variou de aproximadamente 7% a 13% para amostras sob objetiva de 5x, e entre 25% e 33% para amostras analisadas em lente de 2,5x de aumento.

As atividades tanto de captura quanto de análise das imagens foram realizadas mediante rotinas pré-estabelecidas no programa Leica Qwin 550.

A rotina de captura de imagens consiste de escolha da objetiva (objetivas de 5x e de 2,5x) e do tipo de luz (no caso transmitida). A seguir a imagem é tratada por um processo de realce pré-definido, no caso o *sharpen 4*, disponível em uma lista no ícone *setup* da janela de tratamento. Por fim a imagem é salva no formato TIFF (*.tif).

A rotina para quantificação da porosidade utilizada é uma adaptação de uma rotina contida no banco de dados do *software* Qwin, disponível para uso no banco de dados do

Laboratório de Petrografia (Processo FAPESP 97/10669-0), chamada *porosidade-library-color-v-3.1*. A rotina de quantificação de porosidade é iniciada com a abertura do arquivo de imagem, que possui 512x512 pixels, seguida de uma correção automática da imagem (*Image Amend*), com o objetivo de suavizar ruídos produzidos por impurezas na seção delgada. O próximo passo foi a detecção manual dos tons de cor presentes nos poros impregnados de resina, neste caso o azul. Para tanto foi utilizado o histograma de matiz (*hue*), por ser preciso na distinção de pixels referentes a poros, arcabouço e cimento. A seguir, são realizadas automaticamente pelo software sucessivas etapas de correção, com objetivo de suavização dos contornos do binário, que posteriormente podem ser editados manualmente com auxílio do *mouse*, mediante uso de ferramentas específicas de desenho, afim de corrigir imprecisões das fases anteriores de detecção. Por fim é realizado o cálculo de parâmetros estatísticos utilizando o binário de saída, dos quais a porcentagem de área detectada é a que representa a porosidade.

. Os parâmetros estatísticos obtidos de cada imagem da lâmina são agrupados em uma planilha digital, com o objetivo de se calcular a média das áreas fornecidas pelo arquivo binário, que representará a porosidade, bem como outros parâmetros, como desvio padrão, valor mínimo, mediana e valor máximo.

7. Desenvolvimento do Trabalho

As atividades de campo foram realizadas em duas etapas, cada uma com cerca de seis dias de duração (de 22 a 27/01/2007 e de 05 a 10/05/2007). Durante estes trabalhos foram levantadas 07 seções colunares, acompanhadas por descrições de fácies sedimentares e associações de fácies. Fotomosaicos foram obtidos para posterior análise de elementos arquiteturais e foram coletadas amostras, com auxílio de perfuratriz adaptada de moto-serra. Ainda durante os trabalhos de campo, foram obtidos dados de paleocorrentes, em um total de 143 medidas de estratificações cruzadas aluviais e eólicas, além de dados de proveniência de seixos, em um total de 07 estações de contagem, com aproximadamente 100 seixos cada.

Após a fase de coleta de dados de campo, foram realizadas descrições petrográficas de 41 amostras, acompanhadas por avaliação quantitativa da porosidade com auxílio de analisador de imagens (Leica Qwin 550). Desta forma, foram analisadas 31 lâminas, com a medição do espaço poroso preenchido por resina em 20 imagens por lâmina. De forma complementar, foi realizada avaliação do espaço intergranular por estimativa visual em 41

lâminas, com o objetivo de comparar o espaço poroso medido com o volume intergranular, cimentado ou não.

Durante a fase de trabalhos de gabinete, foram realizadas interpretações de 06 foto-mosaicos para análise de elementos arquiteturais, além de tratamento gráfico de mapas e seções colunares e tratamento estatístico dos dados de proveniência, paleocorrentes e porosidade. O cronograma de execução do projeto consta da Fig. 7.1.

	2007									
	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	
Análise de fácies e elementos arquiteturais										
Revisão Bibliográfica										
Tratamento dos dados										
Petrografia Sedimentar										
Elaboração de modelos de fácies e de arquitetura deposicional										
Elaboração da Monografia										
Publicação dos resultados										

Figura 7.1: Cronograma de atividades realizadas

8. Resultados Obtidos

8.1. Litoestratigrafia

Na área de estudo, foram caracterizadas três associações de fácies, sendo as duas inferiores pertencentes às formações Pedra das Torrinhas e Pedra Pintada, e a superior à Formação Serra do Apertado. As duas associações de fácies inferiores foram interpretadas respectivamente como depósitos de leques aluviais e de campo de dunas eólicas, tendo sido identificada passagem lateral da primeira associação para a segunda com o distanciamento da falha de borda da bacia. A terceira associação de fácies recobre as anteriores por discordância erosiva, tendo sido interpretada como de ambiente fluvial de rios entrelaçados.

8.2. Fácies Sedimentares

As fácies sedimentares reconhecidas na área de estudo foram agrupadas em três associações de fácies, com características distintas, cujos padrões de empilhamento e arquitetura deposicional serão apresentados mais adiante no texto.

As fácies de leques aluviais encontradas junto à falha de borda da bacia caracterizam-se por baixa maturidade mineralógica e textural, sendo encontrados seixos e calhaus angulosos, de tipos litológicos variados, geralmente imbricados, além de arcósios de granulação média a grossa e freqüentemente com grânulos.

As sucessões com predomínio de arenitos bem selecionados encontradas na região da Pedra das Torrinhas apresentam um conjunto de feições que permitem identificá-las como cólicas, porém não se encontram nelas a granulação fina e alta maturidade textural e mineralógica comuns neste tipo de depósito sedimentar, sendo compostas essencialmente de arcósios, com a granulação que varia de fina a média.

No topo dos morros são encontrados depósitos conglomeráticos de rios entrelaçados da terceira associação de fácies, com maturidade textural em geral superior à encontrada nos depósitos de leques aluviais, porém com baixa maturidade mineralógica.

8.2.1 Associação de fácies de leques aluviais

Ci – Conglomerados com seixos imbricados – Conglomerados maciços de clastos angulosos imbricados, de até 25 cm de diâmetro. Os níveis de conglomerados têm de 15 a 30 cm de espessura e podem ocorrer como camadas tabulares métricas ou preenchendo estruturas de corte e preenchimento (*cut and fill*) (Fig. 8.1a) em arenitos relacionados, com proveniência de granitos miloníticos, quartzo milonitos, granitos e riolitos além de raros clorita xistos. Quando há maior abundância de milonitos o conglomerado ganha aspecto de brecha (Fig. 8.1b). São interpretados como depósitos de fluxo não canalizado de tipo enchentes em lençol (Blair & McPherson, 1994).

Al – Arenitos laminados – Arenitos com laminação plano-paralela, de granulação média a grossa, com grânulos esparsos. Ocorrem como séries de 10 a 20 cm de espessura, eventualmente interrompidas por estruturas de corte e preenchimento de **Ci**. São interpretados como depósitos de leito plano gerados por correntes rasas e rápidas, em regime de fluxo superior (Fig. 8.1c).

At – Arenitos com estratificação cruzada tabular – Arenitos com estratificação cruzada tabular de baixo ângulo, com granulação que varia de média a grossa e com grânulos esparsos. Ocorrem como séries de 10 a 20 cm de espessura, em camadas tabulares que

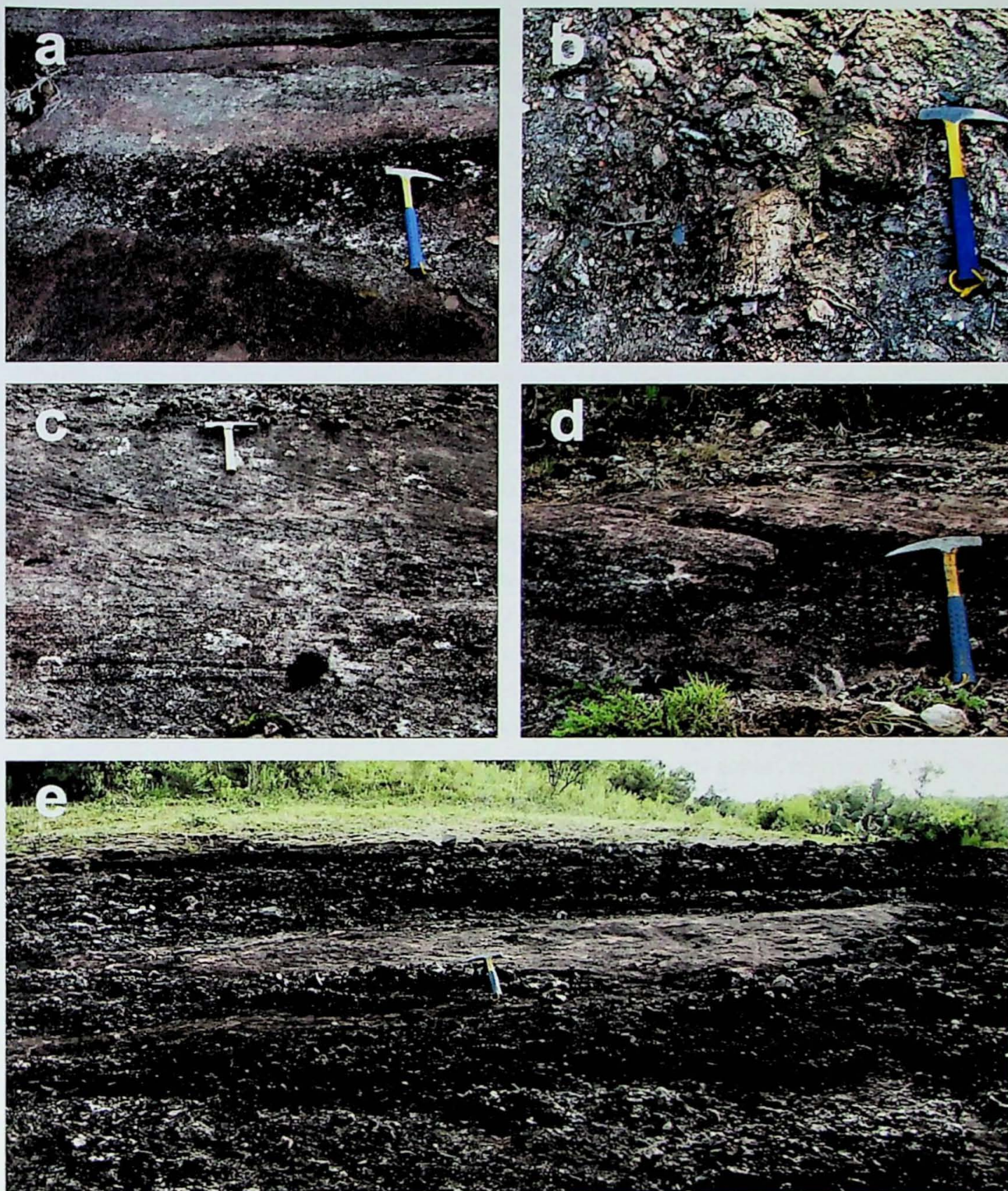


Figura 8.1: Fotos de fácies encontradas na associação de fácies de leques aluviais da Formação Pedra das Torrinhas: a - Fácies Ci em estrutura de corte e preenchimento (Notar base côncava e topo plano) intercalado a arenitos de fácies At e Aa na associação de fácies de leques aluviais, b - Fácies Ci, com detalhe para o aspecto de brecha da fácies, com baixa maturidade textural e pobre seleção, com clastos que variam de seixos a calhaus grandes; c - Associação de fácies de leques aluviais, com fácies Al na base, seguida de duas séries de fácies Aa, com lentes de Ci intercaladas e no topo das séries, d - Fácies At, sobre estreito nível de conglomerado, com estratificação tabular de baixo ângulo; e - Associação de fácies de leques aluviais, com destaque no centro para forma lenticular de série da fácies Aa, intercalado a depósito de Ci.

chegam a ter extensão métrica, interrompidas por estruturas de corte e preenchimento da fácies Ci ou, mais raramente, como lentes de dimensões métricas. São interpretados como depósitos de dunas subaquáticas de cristas retas ou pouco sinuosas geradas por correntes unidirecionais em regime de fluxo inferior (Fig. 8.1d).

Aa – Arenitos com estratificação cruzada acanalada – Arenitos com estratificação cruzada acanalada, com granulação média a grossa, com grânulos esparsos. Ocorrem como séries de 10 a 20 cm de espessura, em camadas tabulares e também como lentes intercaladas à fácies Ci (Fig. 8.1e), chegando a alcançar dimensões métricas. São interpretados como depósitos de dunas subaquáticas de cristas sinuosas, em parte geradas como retrabalhamento de sedimentos eólicos por correntes unidirecionais em regime de fluxo inferior (Fig. 8.1c).

8.2.2 Associação de fácies de campo de dunas eólicas

Aap – Arenitos com estratificação acanalada e laminação *pin-stripe* – Arenitos com estratificação cruzada acanalada de médio a grande porte, com truncamentos de alto ângulo e laminação do tipo *pin-stripe* (*sensu* Fryberger & Schenk, 1988). A granulação varia de fina a média, com baixa maturidade mineralógica, sendo a composição arcoseana. As séries individuais variam de 40 cm até a 5 m de espessura, sendo que as maiores espessuras de séries ocorrem em depósitos mais distantes da Zona de falhas das Encantadas. A feição diagnóstica mais marcante destes depósitos é a laminação *pin-stripe*, resultante da alteração diferencial da intercalação de depósitos de queda de grãos (*grain fall*) e de fluxo de grãos (*grain flow*), descritas por (Hunter, 1977).

A fácies **Aap** é interpretada como depósitos de migração de dunas eólicas, com estratificação formada predominantemente por alternância entre lâminas milimétricas de chuva de grãos e de fluxo de grãos. A geometria acanalada, demonstrada pelos padrões festonados em cortes frontais das dunas, indica que os depósitos têm origem em dunas barcanas ou de cristas barcanóides (McKee, 1966). (Fig. 8.2b).

Atp – Arenitos com estratificação cruzada tabular e laminação *pin-stripe* – Arenitos com estratificação cruzada tabular de baixo ângulo, com laminação *pin-stripe*. A granulação varia de fina a média, com características texturais e mineralógicas idênticas ou muito semelhantes as que ocorrem na fácies **Aap**, ocorrendo em séries que raramente alcançam dimensões métricas. São interpretados como depósitos de dunas eólicas, formadas pelos mesmos processos que a fácies **Aap**, porém com preservação apenas parcial da base da duna, ou por possuírem dimensões menores, devido a restrição de disponibilidade

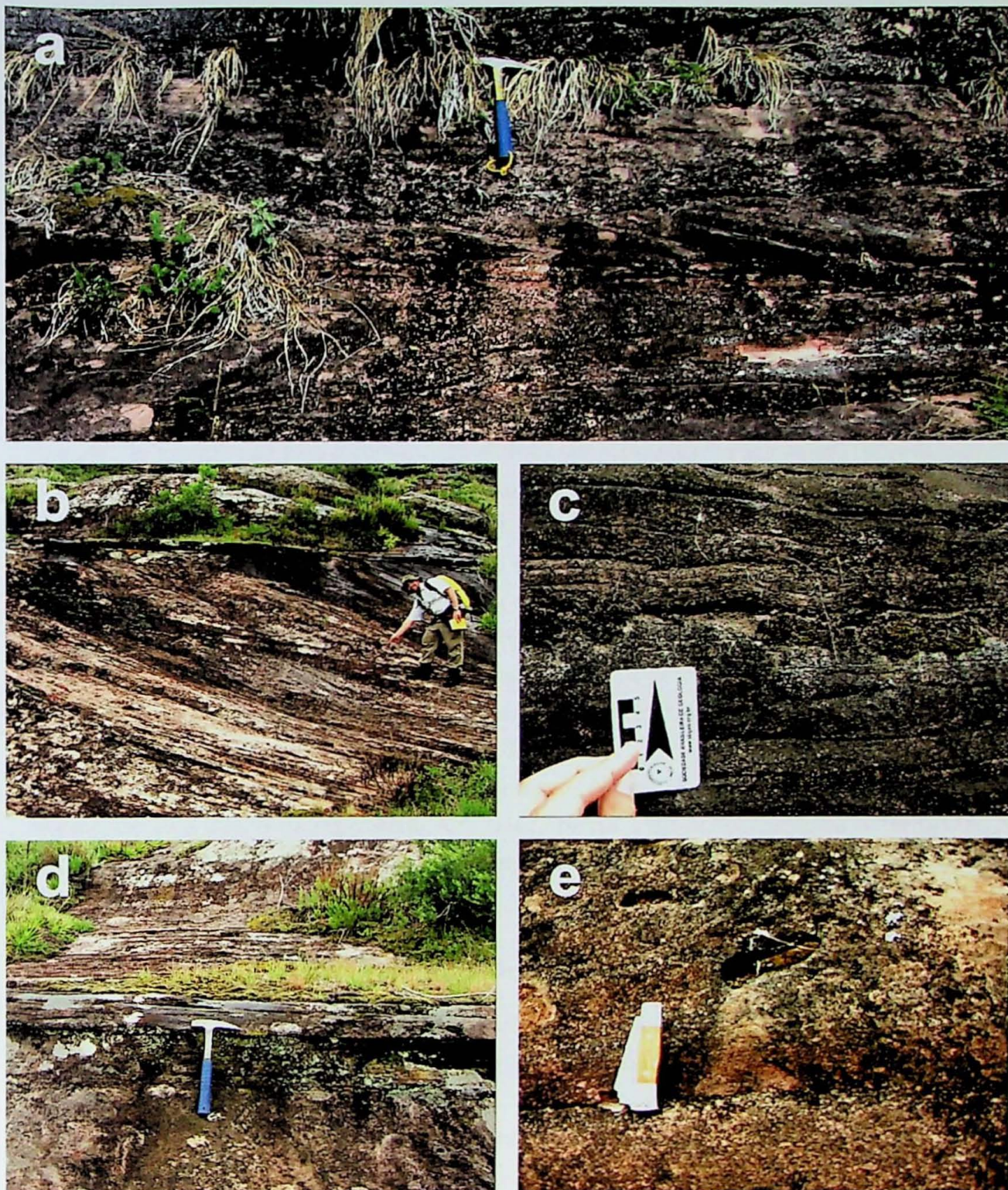


Figura 8.2: Fotos de fácies encontradas na associação de fácies de campos de dunas: **a** - Fácies **Atp** cortada por lente de fácies **Ci** (no centro da foto, abaixo do martelo), intercaladas a séries de fácies **Atp**, com estratificação tabular de baixo ângulo; **b** - Fácies **Aap**, com destaque para superfície de 2ª ordem, relacionada a *draas*. No topo da série ocorrem depósitos de fácies **Al**, provavelmente relacionados a interduna; **c** - Fácies **Ao**, com marcas onduladas cavalgantes a aproximadamente 90°. Lateralmente passam a fácies **Al**; **d** - Fácies **Al**, com laminação plano-paralela de baixo ângulo, em séries de espessura métrica; **e** - Detalhe de moldes relacionados a intraclastos de siltito em meio a depósitos de fácies **Al**.

de sedimento ou por dificuldades de preservação, de maneira semelhante a apontada por Clemmensen & Abrahamsen (1983) em fácies de dunas intercaladas a depósitos de leques aluviais (Fig. 8.2a).

Ao – Arenitos com marcas onduladas – Arenitos com marcas onduladas simétricas, cavalgantes a ângulos altos, de até 90 ° (Fig. 8.2c), de granulação fina a média. Frequentemente passam lateralmente para fácies a fácies Al. São interpretados como depósitos de correntes trativas em regime de fluxo inferior, com preservação da forma de marcas onduladas por cavalgamento supercrítico causado por altas taxas de deposição de material em suspensão. A relação com as fácies cólicas sugere um contexto interdunas inundadas por fluxo de água.

Al – Arenitos laminados - Arenitos com laminação plano-paralela ou inclinada de baixo ângulo, de granulação fina a média, em séries com espessuras que variam de centimétricas a métricas (Fig. 8.2d). Podem ocorrer intraclastos de siltito (Fig. 8.2e) e pavimentos residuais (*lags*) de deflação eólica (Fig. 8.3a), com níveis de grânulos a seixos. São interpretados como depósitos de interdunas, com deposição dominada por queda de grãos e retrabalhamento por correntes trativas em enchentes fluviais.

Sg – Siltitos gretados - Níveis milimétricos e raramente centimétricos de siltitos com gretas de contração. São interpretados como depósitos de decantação em interdunas inundadas, seguidos por exposição subárea, com posterior gretação e preenchimento das fendas por areia transportada pelo vento (Fig. 8.3b e 8.3c).

Ci – Conglomerados de seixos imbricados – Níveis de conglomerados de grânulos a seixos, de 10 a 20 cm de espessura, com base erosiva e granodecrescência ascendente. São interpretados como depósitos de barras conglomeráticas em sistemas fluviais de interdunas (Fig. 8.2a).

8.2.3 Associação de fácies fluviais de rios entrelaçados

Ci – Conglomerados de seixos imbricados – Depósitos de conglomerado de clastos arredondados e imbricados, que variam de seixo a matacão, que ocorrem em séries com espessura que variam de 20 a 50 cm (Fig. 8.3a), em estruturas de corte e preenchimento ou em lentes (Fig. 8.3e e 8.3f). São interpretados como depósitos de barras longitudinais conglomeráticas, geradas por correntes subaquáticas em rios entrelaçados.

At – Arenitos com estratificação cruzada tabular – Arenitos com estratificação cruzada tabular, de granulação média a grossa, com grânulos esparsos. Ocorrem em séries de 20 a 50 cm, na forma de lentes. São interpretados como depósitos de dunas subaquáticas de

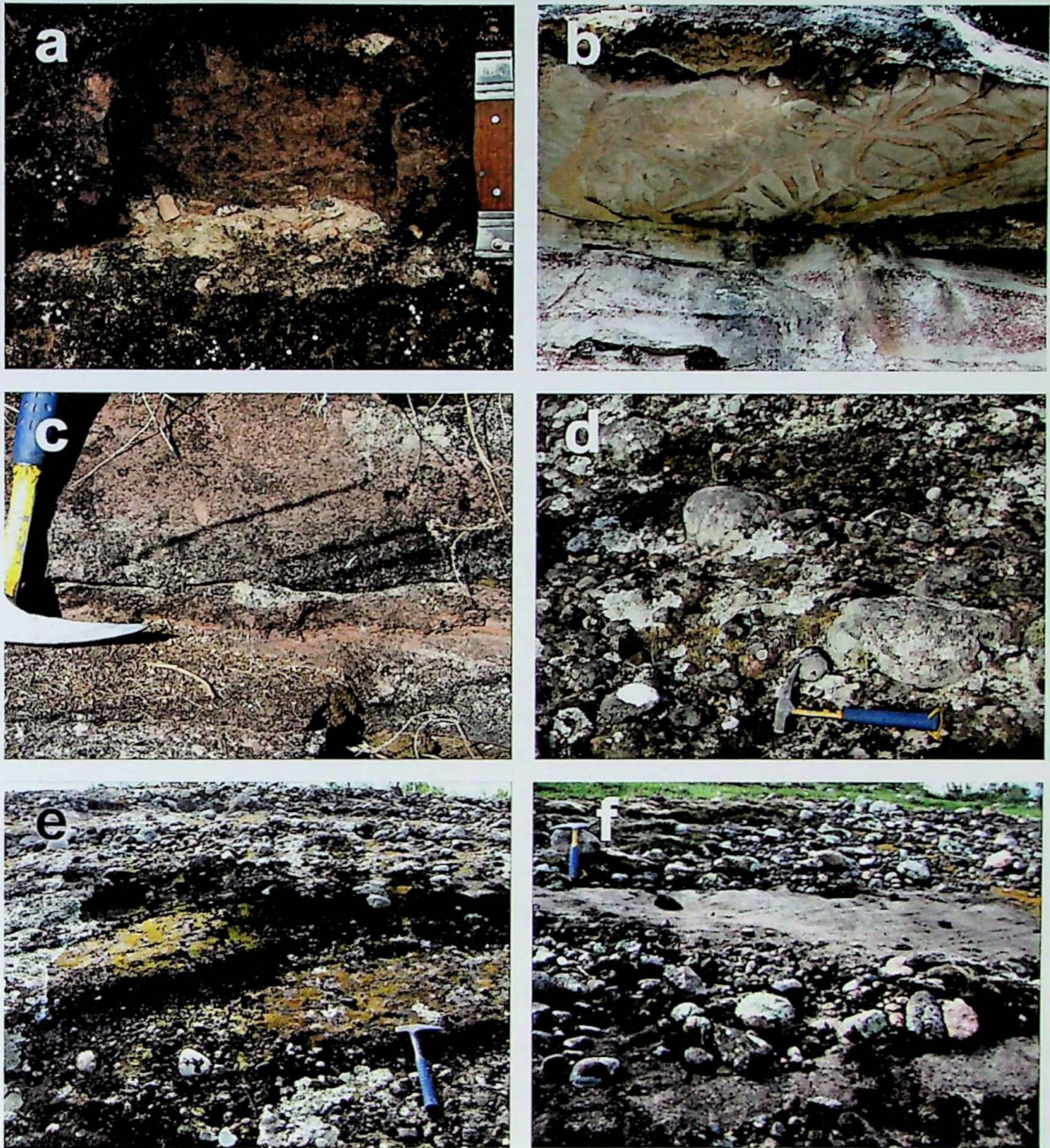


Figura 8.3: Fácies encontradas na associação de fácies de campos de dunas (8.3a, 8.3b e 8.3c) e fácies da associação de fácies fluviais de rios entrelaçados (8.3d, 8.3e, 8.3f): **a** - Detalhe em *lag* de deflação eólica, em fácies Al, com grânulos angulosos; **b** - Afloramento em lage de fácies Sg, com gretas de contração, com formas que fogem do padrão poligonal mais comum. Estão intercaladas a fácies Al; **c** - Aspecto em corte da fácies Sg, com gretas recurvadas; **d** - Apecto geral da fácies Ci da associação de fácies fluviais de rios entrelaçados. Notar clastos arredondados que variam de seixos a matacões; **e** - Aspecto da fácies At, com estratificação cruzada tabular e grânulos a seixos esparsos, intercalados a lentes de Ci; **f** - Lente de arenito, com espessura de cerca de 20 cm e extensão lateral limitada, da fácies Aa em meio a lentes e estruturas em corte da fácies Ci.

cristas retas a levemente sinuosas, em correntes trativas unidirecionais em regime de fluxo inferior (Fig. 8.3e).

Aa – Arenitos com estratificação acanalada – Arenitos com estratificação cruzada acanalada, de granulação média a grossa, com grânulos a seixos esparsos, intercaladas às fácies Ci e At. Ocorre em séries de 30 a 50 cm, na forma de lentes ou em estruturas de corte e preenchimento. São interpretados como depósitos de dunas subaquáticas de cristas sinuosas, em correntes unidirecionais em regime de fluxo inferior (Fig. 8.3f).

8.3. Empilhamento vertical e variações laterais

Foram realizados levantamentos de 7 seções colunares (Fig. 8.4), sendo que cinco delas foram levantadas em conjuntos de afloramentos mais próximos da falha de borda da bacia (Figs. 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.9, 8.10 e 8.15), enquanto que duas foram levantadas em posições distais da falha (Figs. 8.11 e 8.12 e Figs. 8.13 e 8.14).

Nas cinco seções mais próximas à borda da bacia nota-se variação lateral de fácies, ora com franco predomínio de fácies de leque aluvial e fácies eólicas subordinadas, ora com maior participação de fácies eólicas, enquanto que nas seções mais distantes da falha observa-se maior importância de depósitos eólicos. Todas as seções têm sua porção superior marcada pelo contato erosivo da formação Serra do Apertado. O padrão de variação vertical das fácies é caracterizado pela passagem de um predomínio de depósitos de leques aluviais na base, uma transição caracterizada por fácies de interdunas (planície interdunar) e um predomínio de depósitos de dunas eólicas no topo. O padrão de variação lateral das fácies mostra rápido afinamento dos depósitos de leques aluviais para o centro da bacia, a partir da falha de borda, com consequente aumento da espessura de depósitos eólicos (Fig. 8.16).

8.4. Análise de elementos arquiteturais

A relação espacial entre as associações de fácies de dunas e interdunas-planícies de inundação pode ser melhor compreendida pela aplicação das técnicas de análise geométrica ou análise de elementos arquiteturais, com a hierarquização das superfícies e delimitação das associações de fácies em fotomosaicos de grandes exposições. Esta hierarquização seguiu os critérios de Brookfield (1977) e Kocurek (1988). Foram designadas como superfícies de primeira ordem aquelas que representam o cavalgamento de dunas simples sobre outras dunas, com espessuras variáveis de depósitos de interdunas, resultando em superfícies com mergulho contrário ao das superfícies deposicionais. Superfícies de segunda ordem são

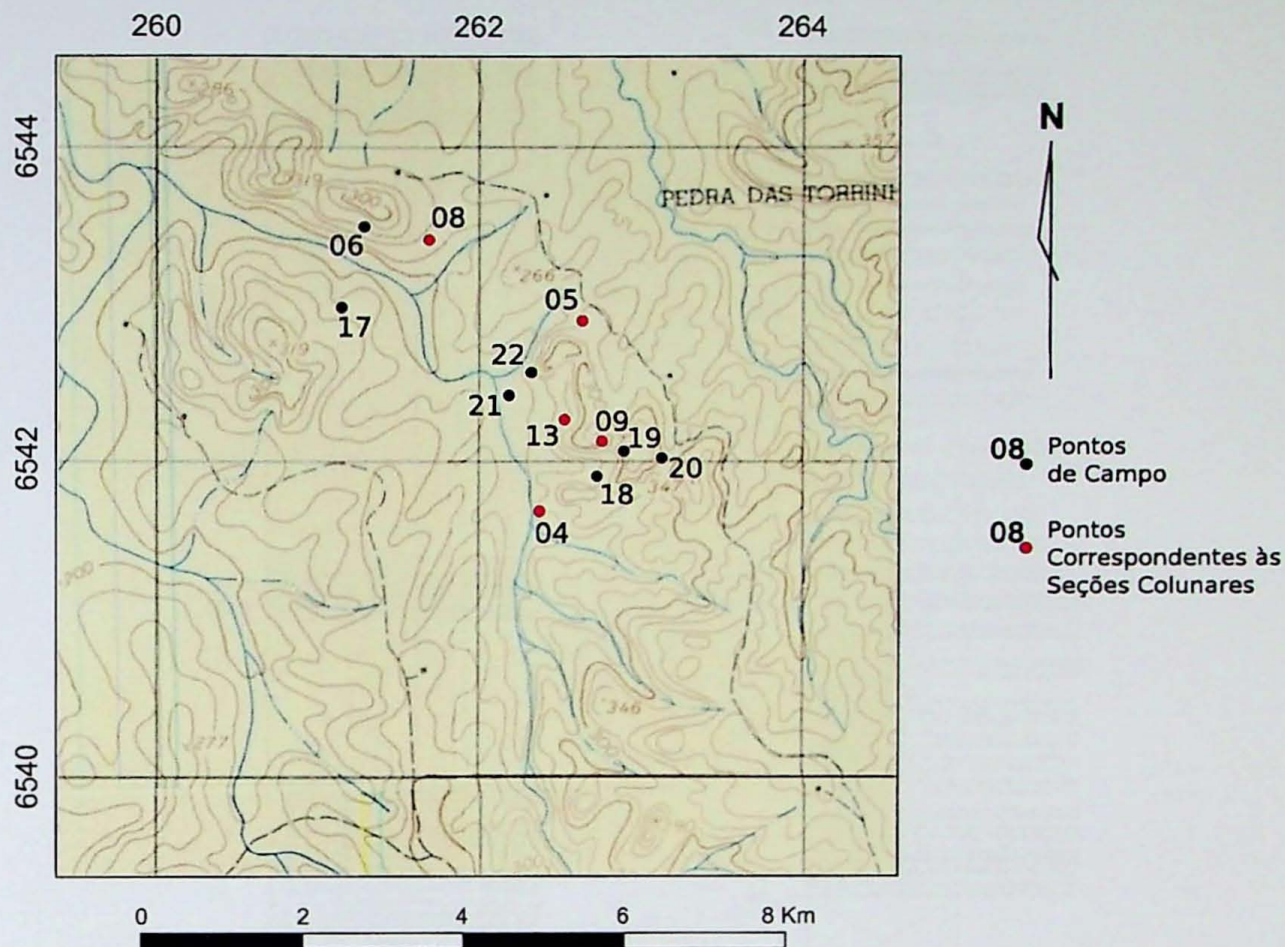


Figura 8.4: Mapa com localização da base das seções levantados durante a primeira etapa de campo, com as quatro seções mais a leste próximas da Zona de falhas das Encantadas.

aquelas que separam séries de estratificações cruzadas e cujo mergulho é concordante com o das superfícies deposicionais, indicando cavalgamento de dunas na porção frontal de um *draa*. Tais superfícies foram observadas apenas localmente. Superfícies de terceira ordem representam pequenas variações na direção ou inclinação das superfícies deposicionais de uma duna, sendo análogas às superfícies de reativação de dunas subaquáticas.

Um tipo de superfície de hierarquia maior, designado de super-superfície por Kocurek (1988), trunca as superfícies de primeira ordem e possui continuidade lateral e geometria relativamente plana, refletindo variações significativas na paleogeografia em decorrência de elevação do nível freático ou transformações climáticas que levem à estabilização do campo de dunas. As super-superfícies reconhecidas foram utilizadas na correlação entre seções, permitindo o reconhecimento de variações laterais nos pacotes por elas limitados

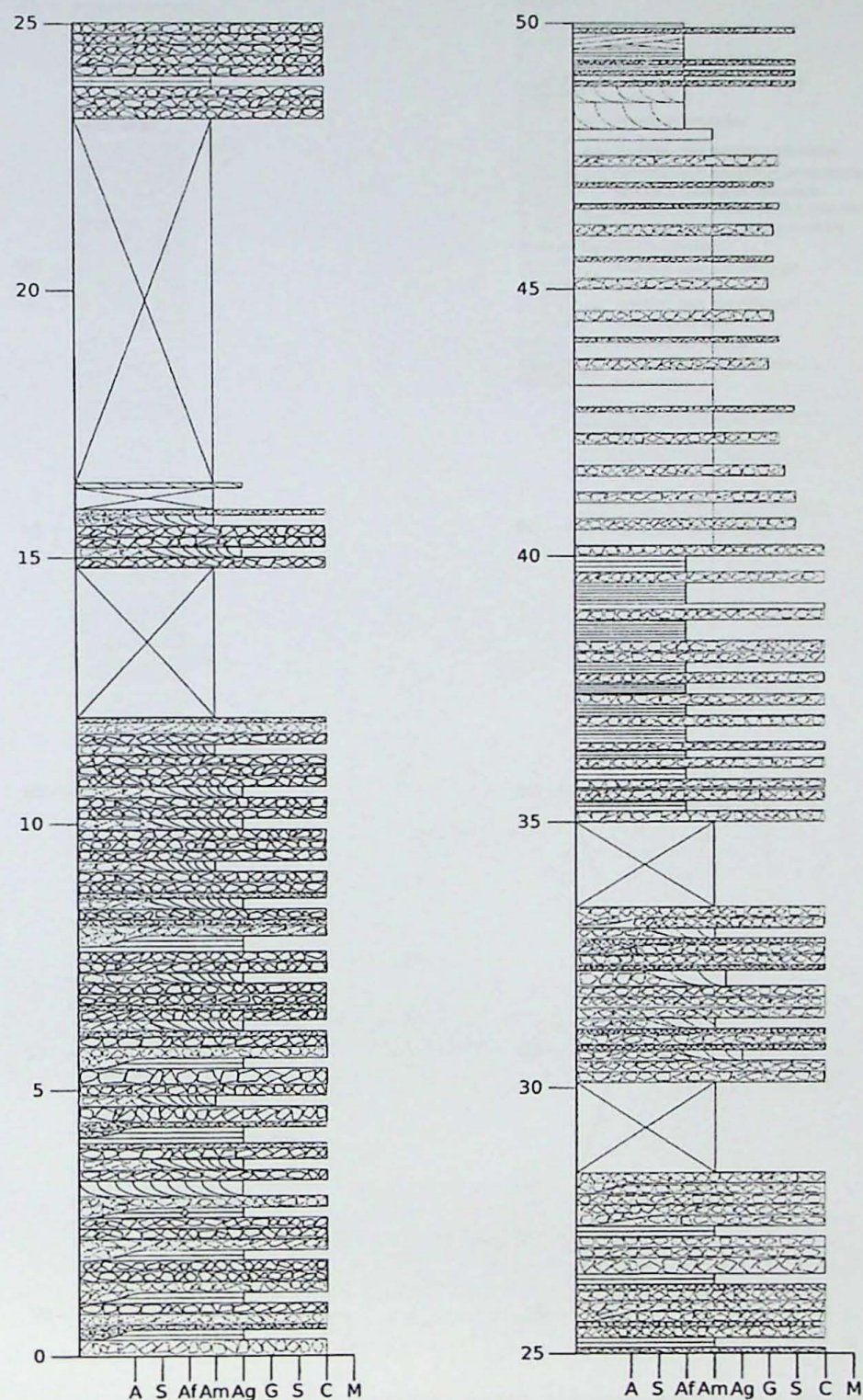


Figura 8.5: Seção colunar de detalhe do ponto APT 04 (UTM 22J 262346/6541635). Esta seção continua na página seguinte. Notar o franco predomínio da associação de fácies de leques aluviais da Formação Pedra das Torrinhas. Para legendas conferir a Fig. 8.6

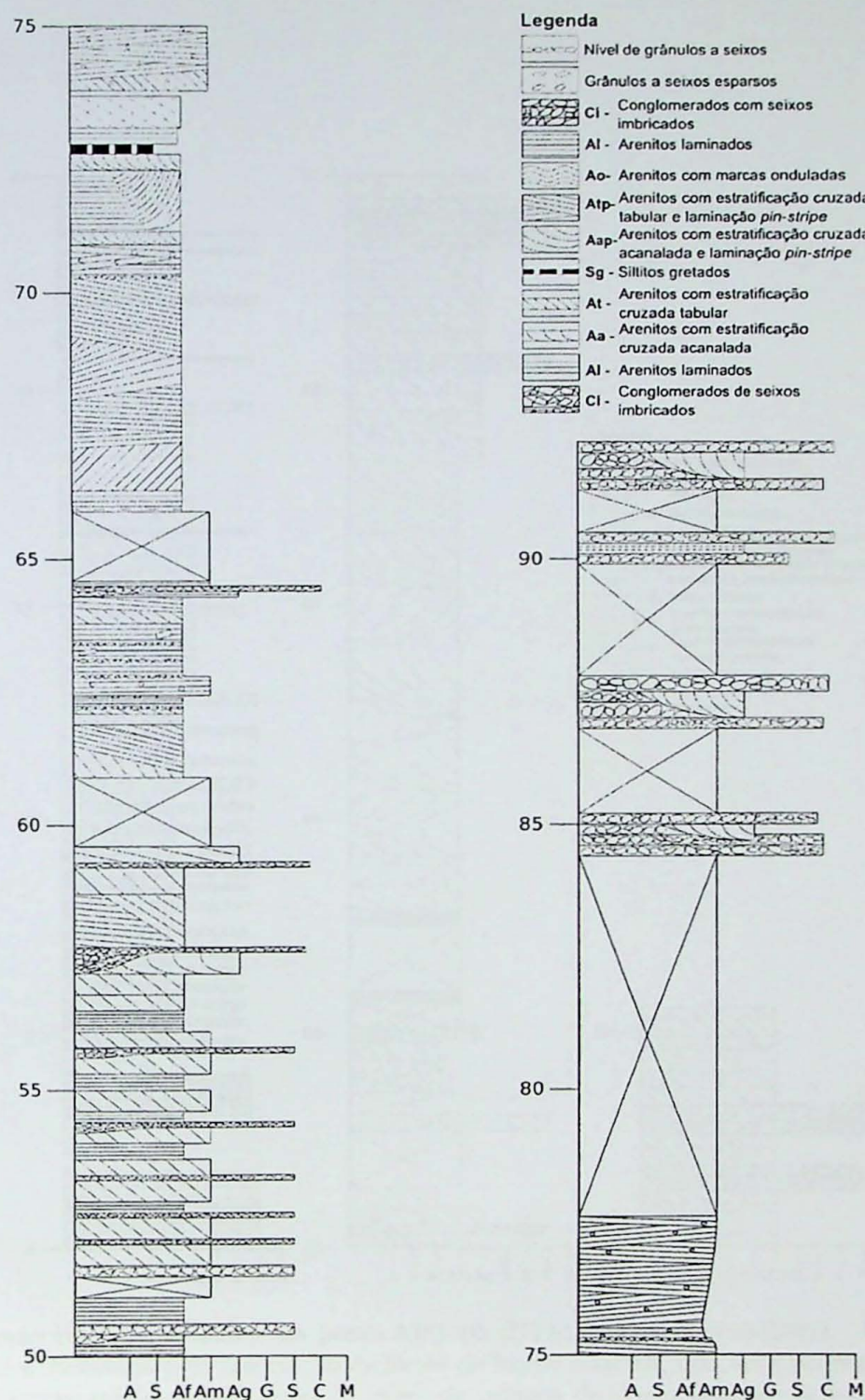


Figura 8.6: Seção colunar de detalhe do ponto APT 04 (UTM 22J 262346/6541635). Continuação da seção da página anterior. No trecho da seção entre 50 e 80m nota-se a intercalação de fácies correspondentes a fácies de leques aluviais e fácies de campo de dunas eólicas da Formação Pedra das Torrinhas. A partir da marca de 80m da seção já ocorrem fácies relacionadas a sistema fluvial de rios entrelaçados da Formação Serra do Apertado.

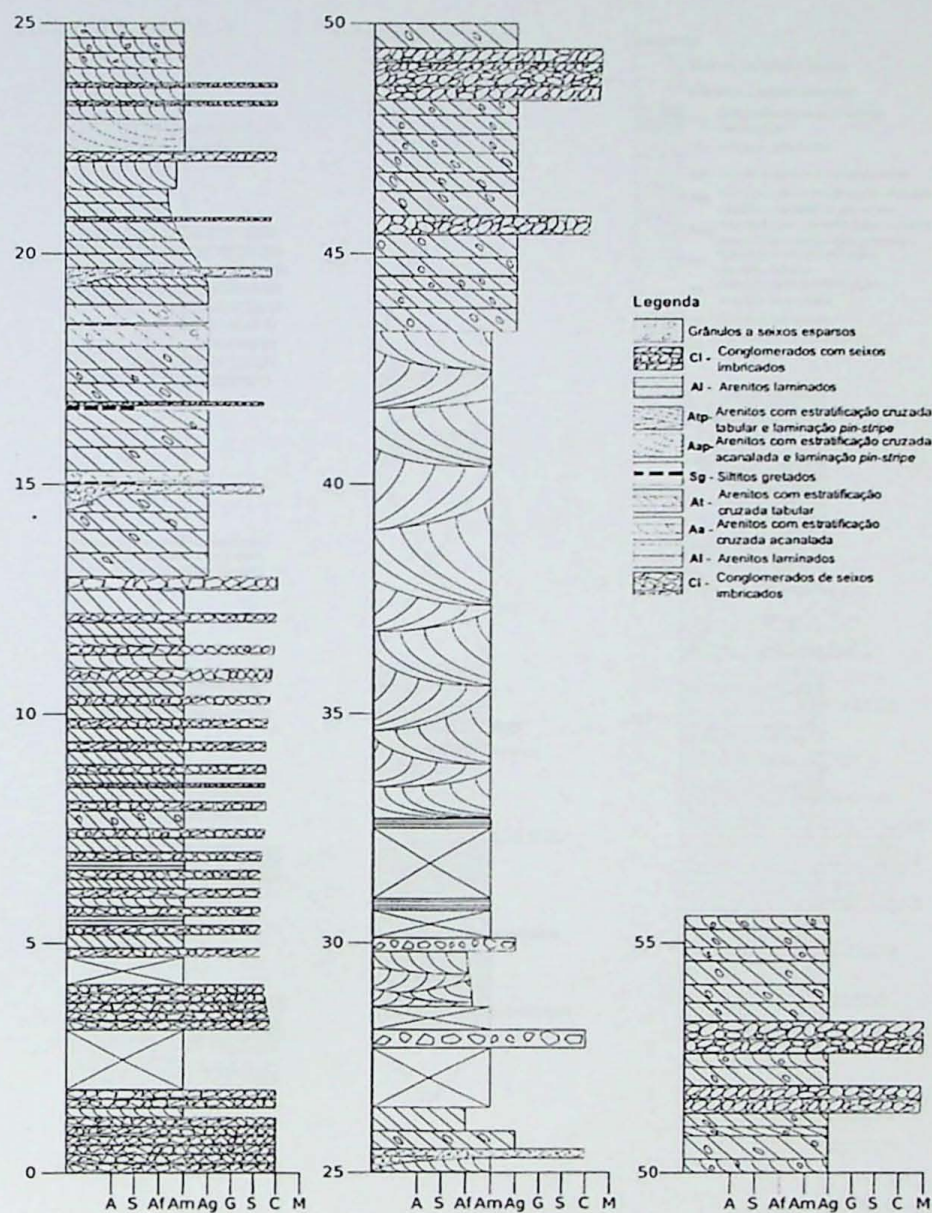


Figura 8.7: Seção colunar de detalhe do ponto AP'T 05 (UTM 22J 262608/6542942). Até cerca de sua metade a seção é dominada pela associação de fácies de leques aluviais, que após pequenas intercalações passa, em seu trecho médio, a associação de fácies de campos de dunas eólicas. A associação de fácies fluvial se assenta sobre as fácies eólicas por discordância erosiva.

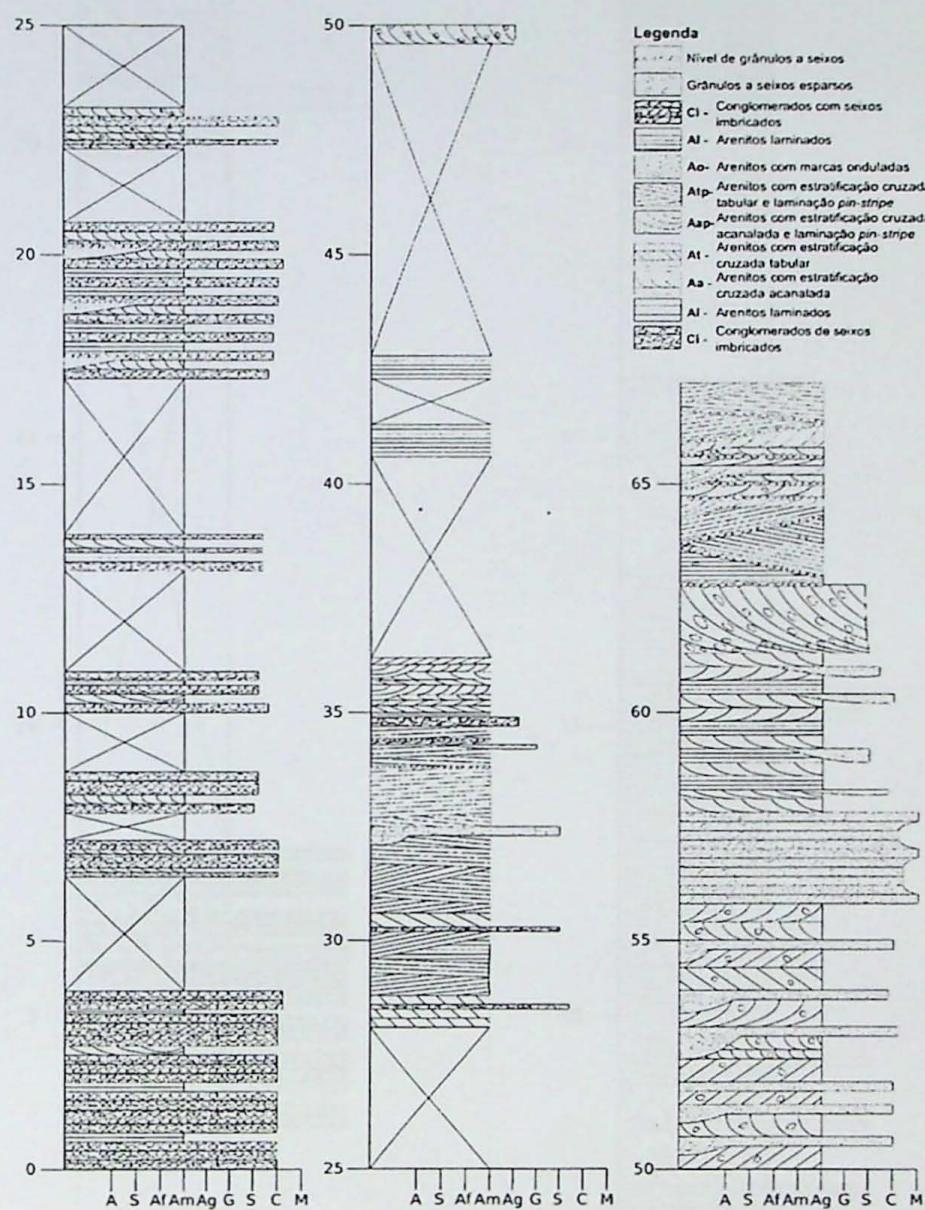


Figura 8.8: Seção colunar de detalhe do ponto APT 09 (UTM 22J 6542100/262700). As fácies de leques aluviais dominam os primeiros 25m da seção, com fácies de ambientes eólicos intercalados a fácies de leque aluvial no setor intermediário da seção. Na parte superior da seção, a partir de aproximadamente 48m ocorrem fácies de sistema fluvial de rios entrelaçados.

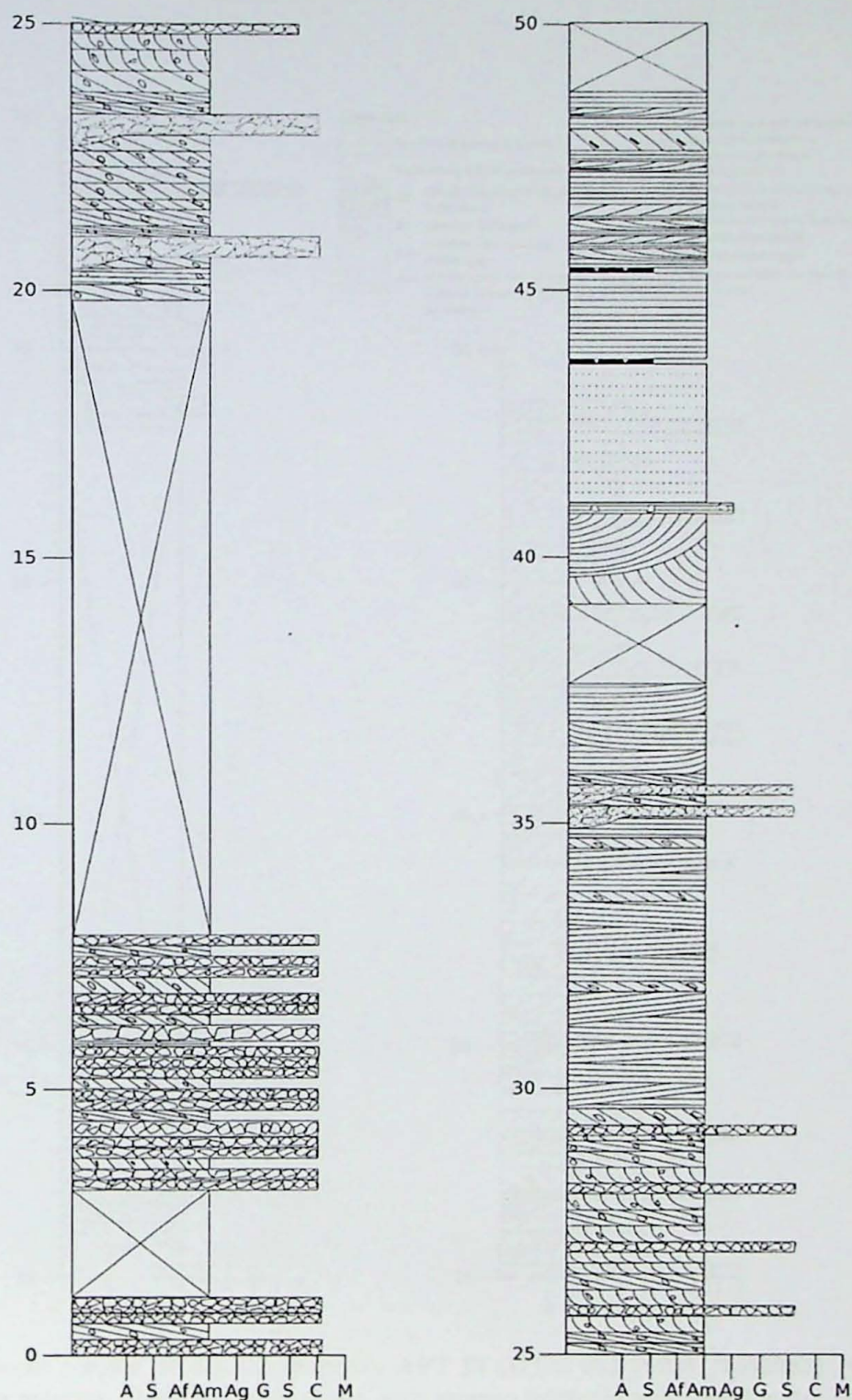


Figura 8.9: Seção colunar de detalhe do ponto APT 13 (UTM 22J 262381/6542283). Esta seção continua na página seguinte. Para legendas conferir a Fig. 8.10. Na parte inferior da seção, até 30m, ocorrem fácies de leques aluviais. No intervalo entre 30 e 50m ocorrem fácies de campo de dunas eólicas, em sua maior parte relacionada a interdunas (fácies Al e Sg), com fácies de dunas subordinadas e em séries pequenas (fácies Aap).

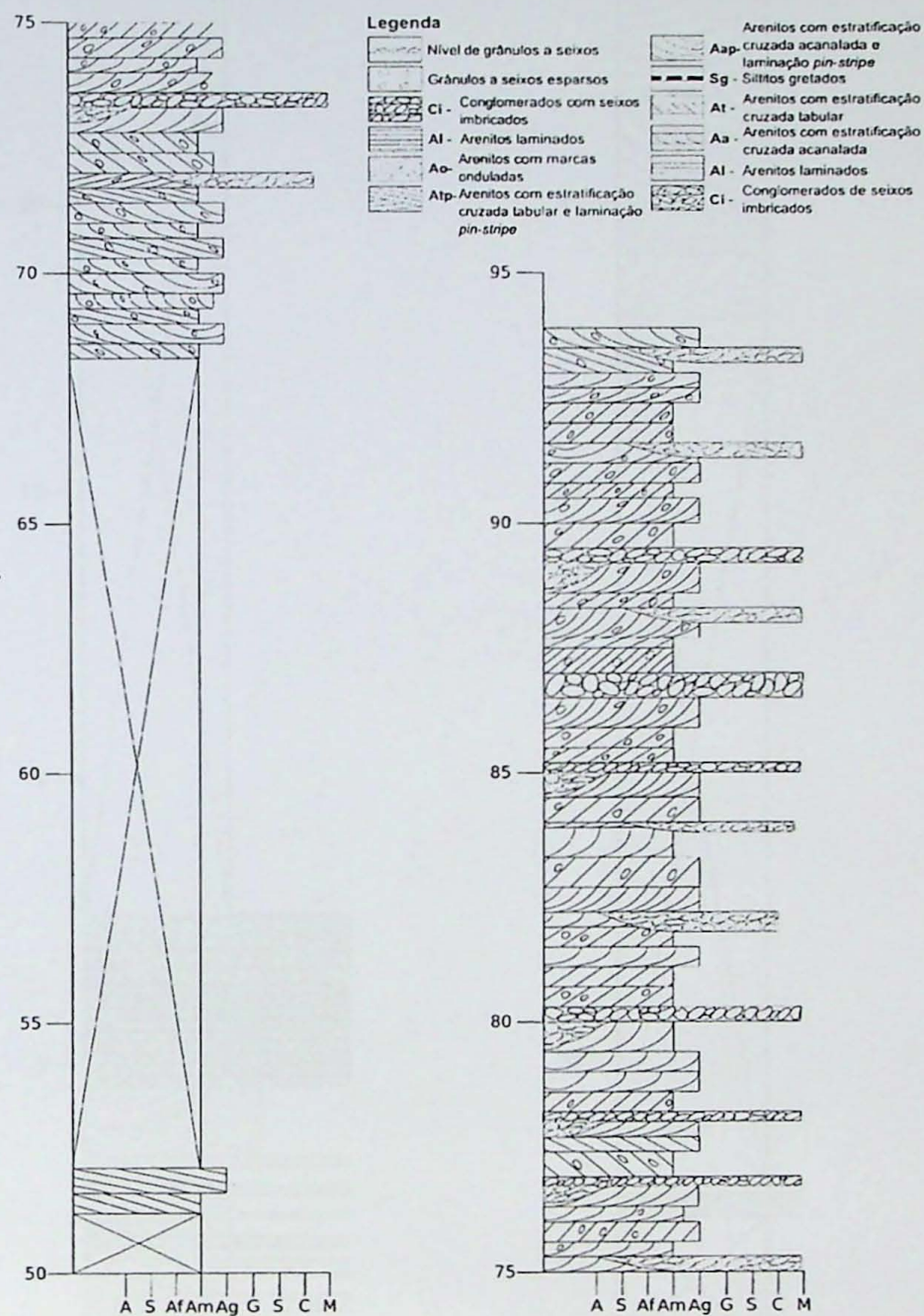


Figura 8.10: Seção colunar de detalhe do ponto APT 13 (UTM 22J 262381/6542283). Continuação da seção da página anterior. Neste trecho da seção, após espesso intervalo sem afloramento (em geral ocorrem seixos esparsos nestes trechos), ocorrem afloramentos de fácies fluviais de rios entrelaçados, relacionadas a Formação Serra do Apertado.

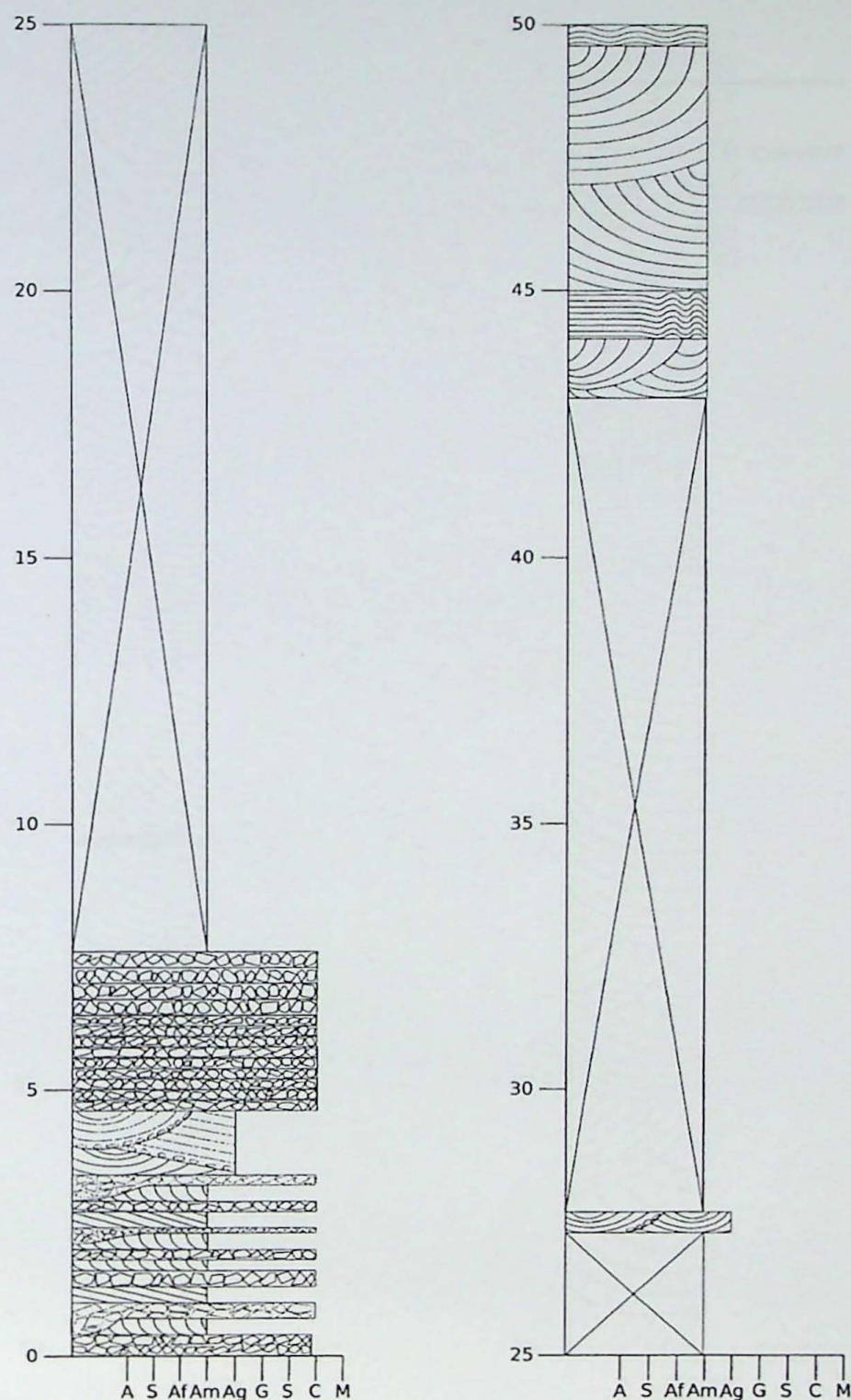


Figura 8.11: Seção colunar de detalhe do ponto APT 08 (UTM 22J 261755/6543405). Esta seção continua na página seguinte. Para legendas conferir a Fig. 8.8. A base da seção apresenta um depósito pouco espesso de fácies de leques aluviais, e depois de longo trecho sem afloramento dá lugar a depósitos de associação de fácies de dunas côlicas, com ocorrência de fácies de dunas (Aap) e de fácies de interdunas (Al e Ao).

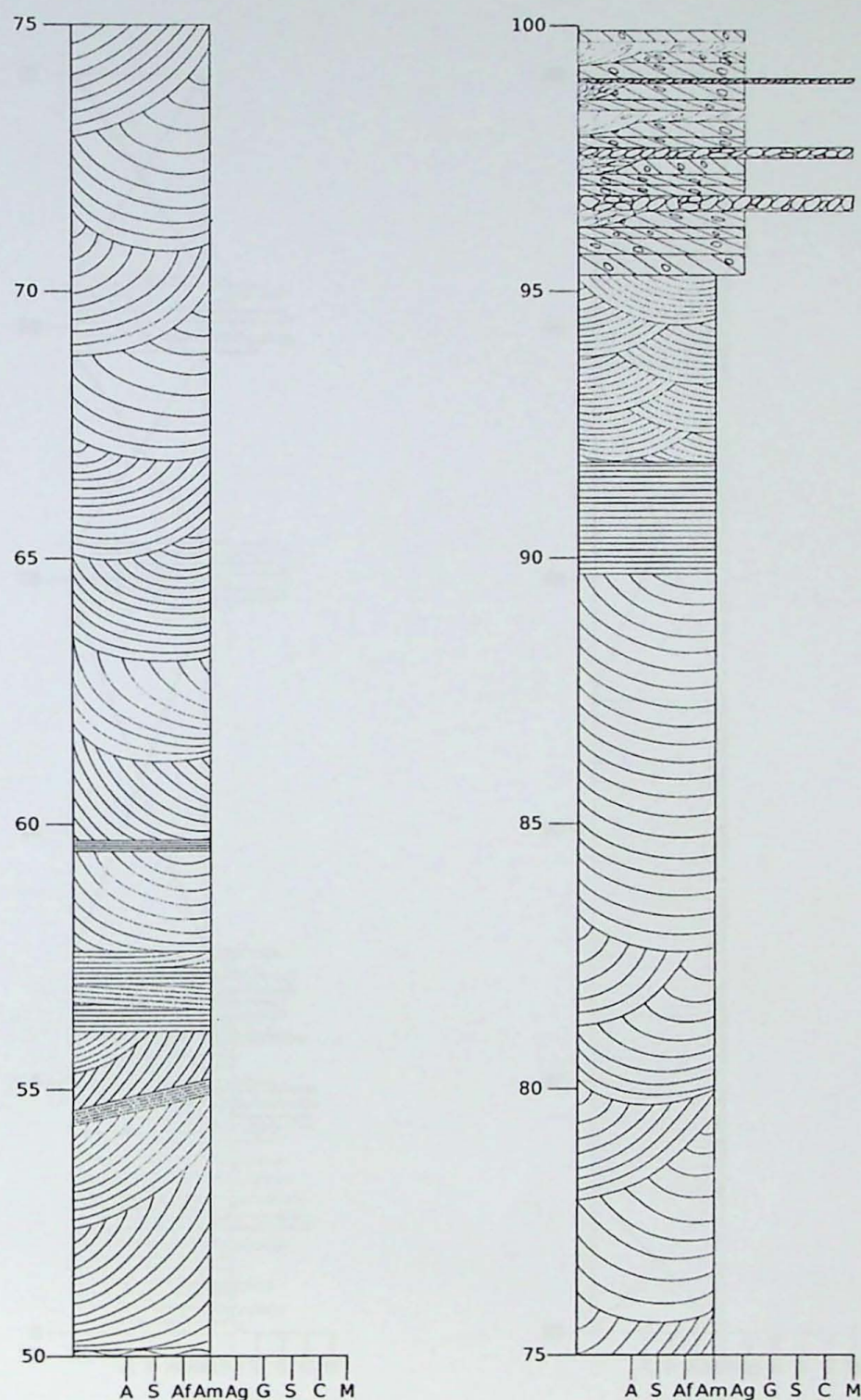


Figura 8.12: Seção colunar de detalhe do ponto APT 08 (UTM 22J 261755/6543405). Continuação da seção da página anterior. Para legendas conferir a Fig. 8.8. Espesso pacote de depósitos relacionados a associação de fácies de dunas eólicas, com predomínio de dunas, e alguns depósitos relacionados a interdunas. No topo da seção ocorrem fácies fluviais em contato erosivo sobre os depósitos eólicos.

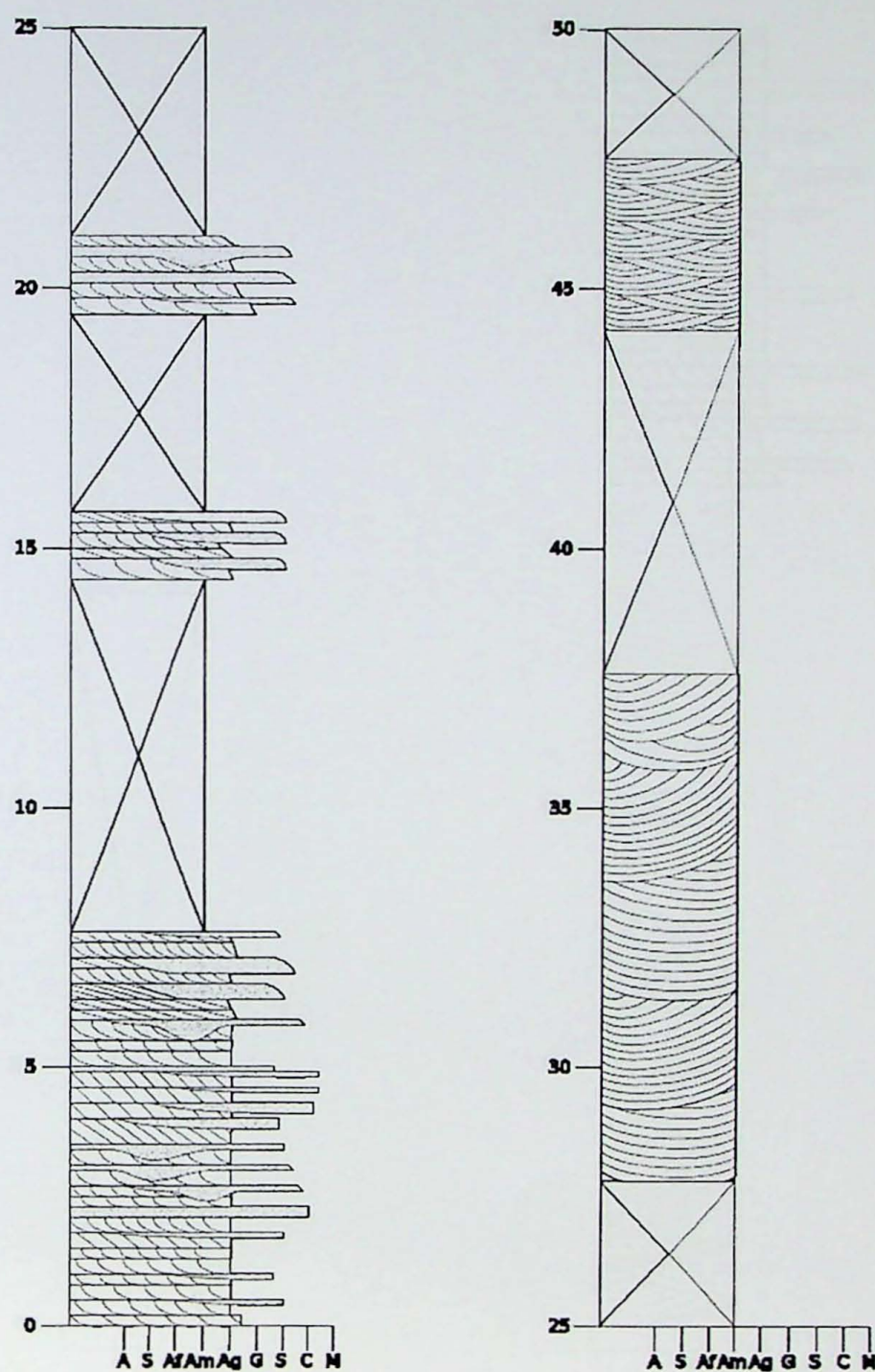


Figura 8.13: Seção colunar de detalhe do ponto APT 17 (UTM 261174/6543260). Esta seção continua na página seguinte. Para legendas conferir a Fig. 8.8. Aproximadamente até a marca de 25m da seção há predomínio de depósitos de leques aluviais, sem intercalação de depósitos eólicos, logo seguidos por espesso pacote de fácies de dunas eólicas.

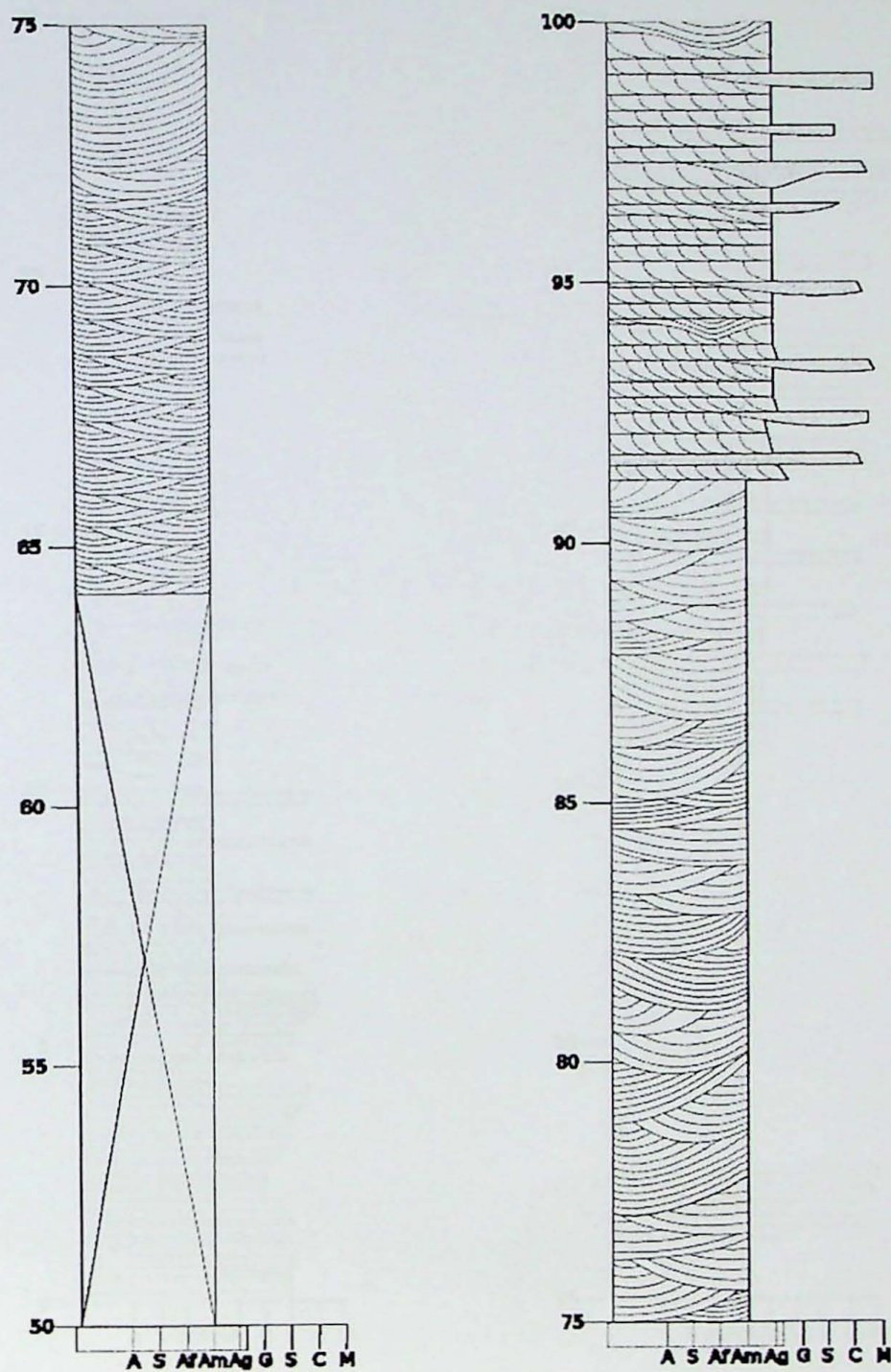


Figura 8.14: Seção colunar de detalhe do ponto APT 17 (UTM 261174/6543260). Continuação da seção da página anterior. Para legendas conferir a Fig. 8.8. Depósitos de dunas eólicas dominam a seção até pouco além da marca de 90m, a partir da qual depósitos fluviais de rios entrelaçados se assentam em contato erosivo sobre os depósitos eólicos.

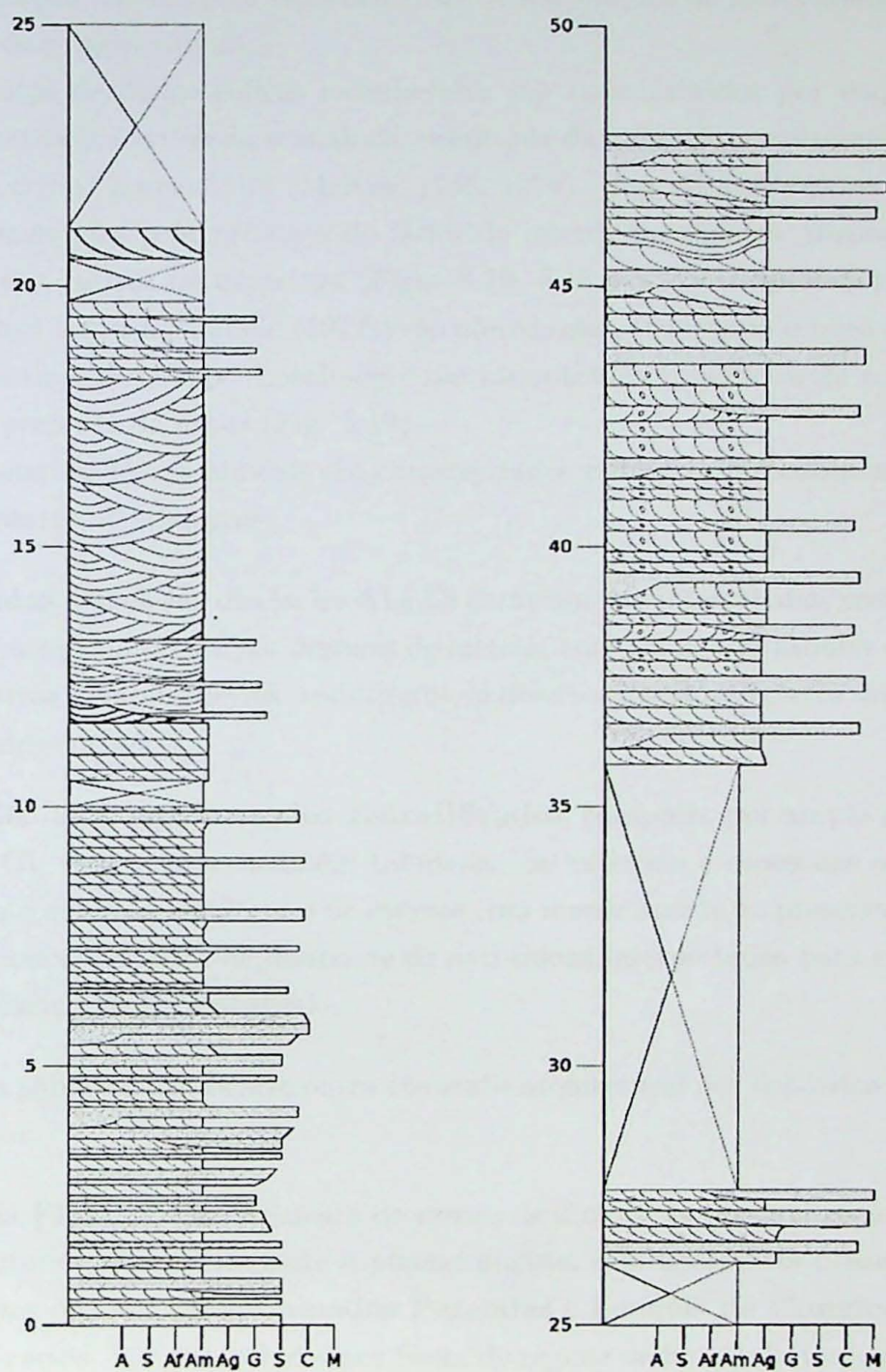


Figura 8.15: Seção colunar de detalhe do ponto APT 20 (UTM 263103/6541989). Continuação da seção da página anterior. Para legendas conferir a Fig. 8.8. Fácies de leques aluviais ocorrem nos primeiros 12m da seção, passando após intercalações, a um pacote de cerca de 8m de fácies de dunas eólicas, que se intercalam novamente a fácies aluviais no seu topo. A partir da marca de 25m a seção é dominada por fácies fluviais de rios entrelaçados.

e a caracterização das relações espaciais entre as associações de fácies eólicas e as demais associações, de origem aluvial.

Os depósitos de dunas eólicas reconhecidos são caracterizados por empilhamento de séries de estratificação cruzada acanalada, resultante da migração e cavalgamento de dunas barcanas ou cristas barcanóides (McKee, 1966, 1979). Superfícies de primeira ordem são geralmente marcadas pela presença de fácies de interdunas úmidas, dispostas em lentes com até poucos metros de espessura (Figs. 8.19, 8.18 e 8.17). Superfícies de reativação (terceira ordem *sensu* Brookfield (1977)) são abundantes, truncando o topo das superfícies deposicionais da fácies **Aap**. Localmente são encontradas superfícies de segunda ordem, indicando a presença de *draas* (Fig. 8.19).

Os depósitos de leques aluviais são caracterizados por sucessões contínuas de dois elementos arquiteturais principais:

- **Camadas Pareadas** das fácies **Al** e **Ci** ritmicamente intercaladas, compondo corpos lateralmente contínuos por dezenas de metros, com geometria tabular e espessura de decímetros a vários metros, resultantes de diversos eventos de fluxo desconfinado em enchentes-em-lençol.
- **Lençóis de Conglomerados Estratificados**, composto por amplo predomínio da fácies **Ci**, em camadas também tabulares, de extensão e espessura análogas às do elemento anterior, resultantes de eventos com menor aporte ou preservação da porção arenosa dos depósitos de desmonte de anti-dunas interpretados para esta fácies (ver item **Fácies Sedimentares**).

De forma subordinada, ocorre outro elemento arquitetural nos depósitos de leques aluviais descritos:

- **Canais Fluviais** com espessura de menos de 2 m de largura até mais de 10 metros e estruturas menores de corte e preenchimento, têm ocorrência ocasional e cortam depósitos dos elementos **Camadas Pareadas** e **Lençóis de Conglomerados Estratificados**. São preenchidos por fácies de regime de fluxo inferior, com predomínio de **Aa** concordante com a base erosiva do canal (Fig. 8.20) ou, nas formas maiores, disposta em séries amalgamadas (Fig. 8.21). Este elemento é interpretado como resultado de retrabalhamento dos depósitos de fluxo desconfinado por canais de escoamento de água sobre os lobos de enchentes-em-lençol após o pico de vazão.

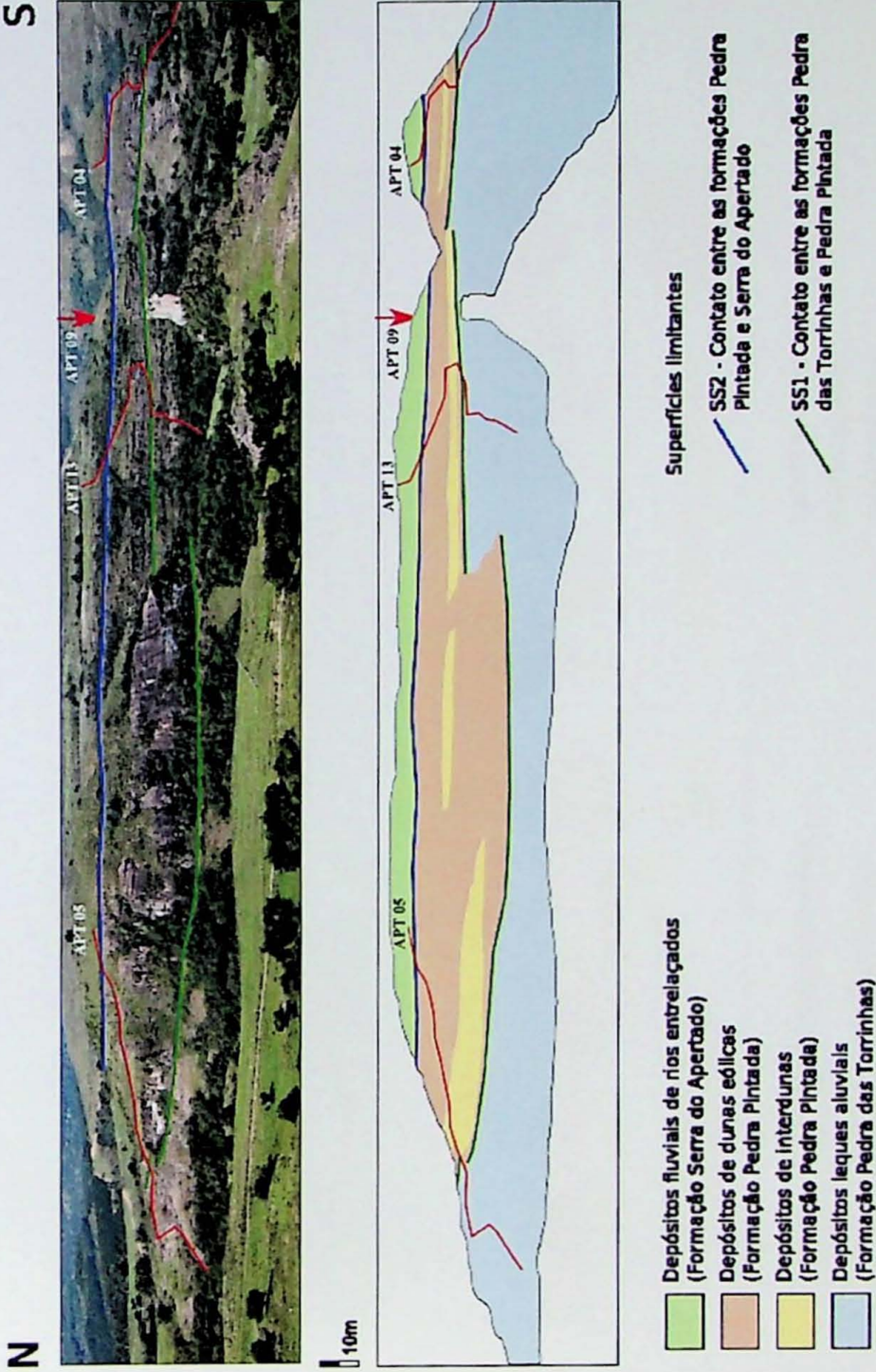


Figura 8.16: Localização das seções colunares e interpretação da estratigrafia dos afloramentos proximais a Zona de Falha das Encantadas, com variação lateral importante entre depósitos eólicos e depósitos de leques aluviais, com SS1 irregular, em contraste com SS2, plana. Notar que os afloramentos estão em perspectiva, sendo a local da seção APT04 mais distante, e da APT05 mais próxima

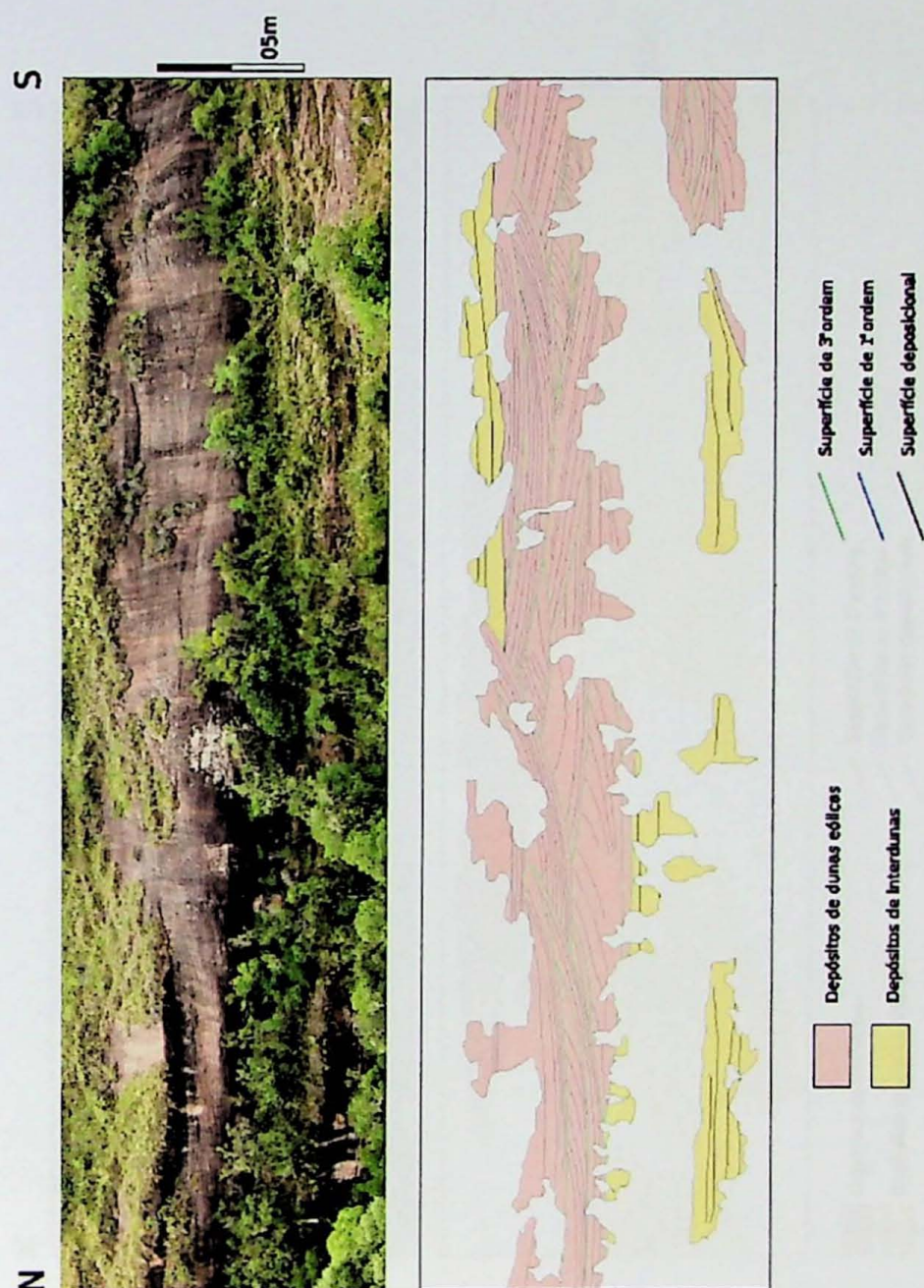


Figura 8.17: Relação espacial entre os depósitos de dunas eólicas e os depósitos de interdunas, com representação das principais superfícies deposicionais e limitantes. Base da Formação Pedra Pintada

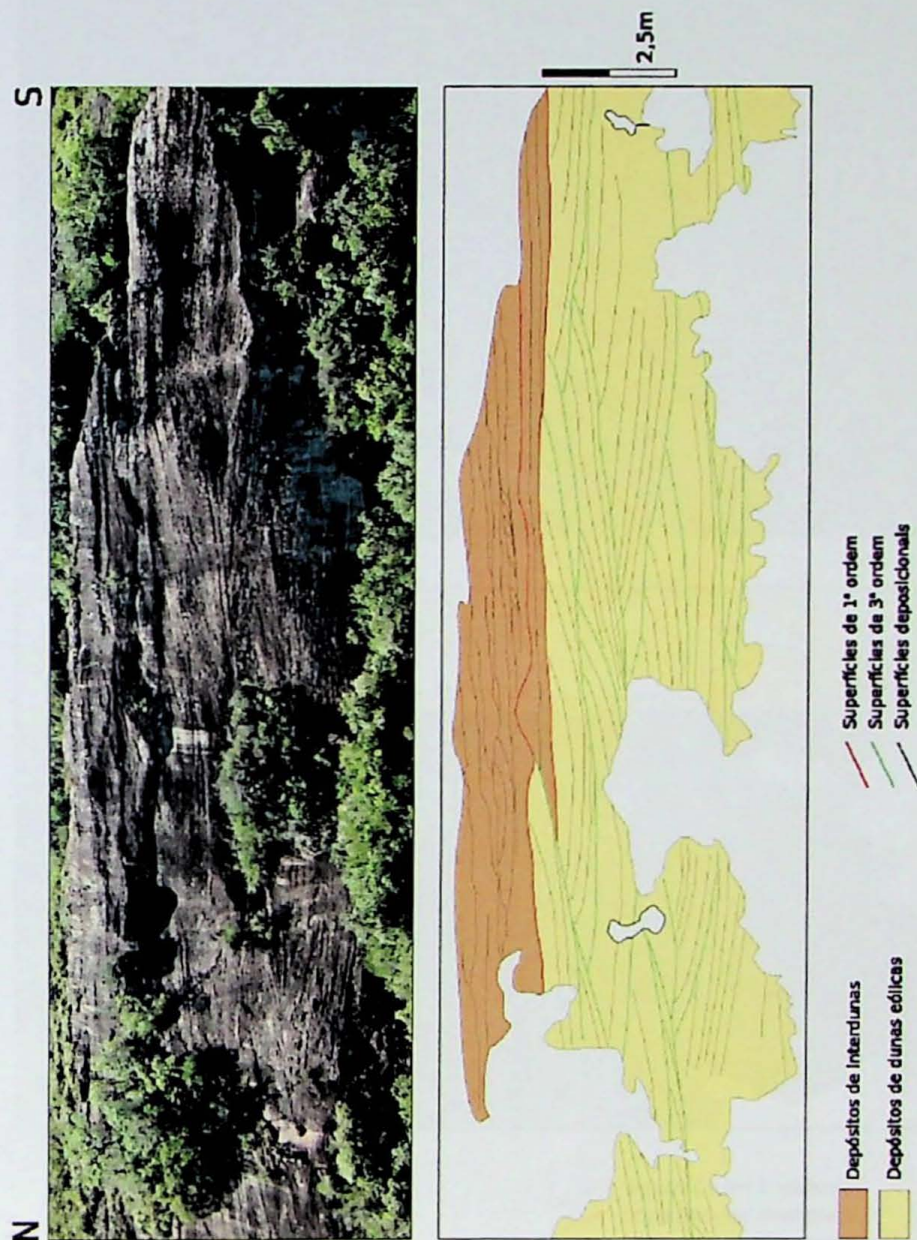


Figura 8.18: Detalhe do Fotomosaico panorâmico, que destaca a relação entre depósitos de dunas eólicas e os depósitos de interdunas, com representação das principais superfícies deposicionais e limitantes. Base da Formação Pedra Pintada, lateral a depósitos de interduna comuns na base da Formação Pedra Pintada.

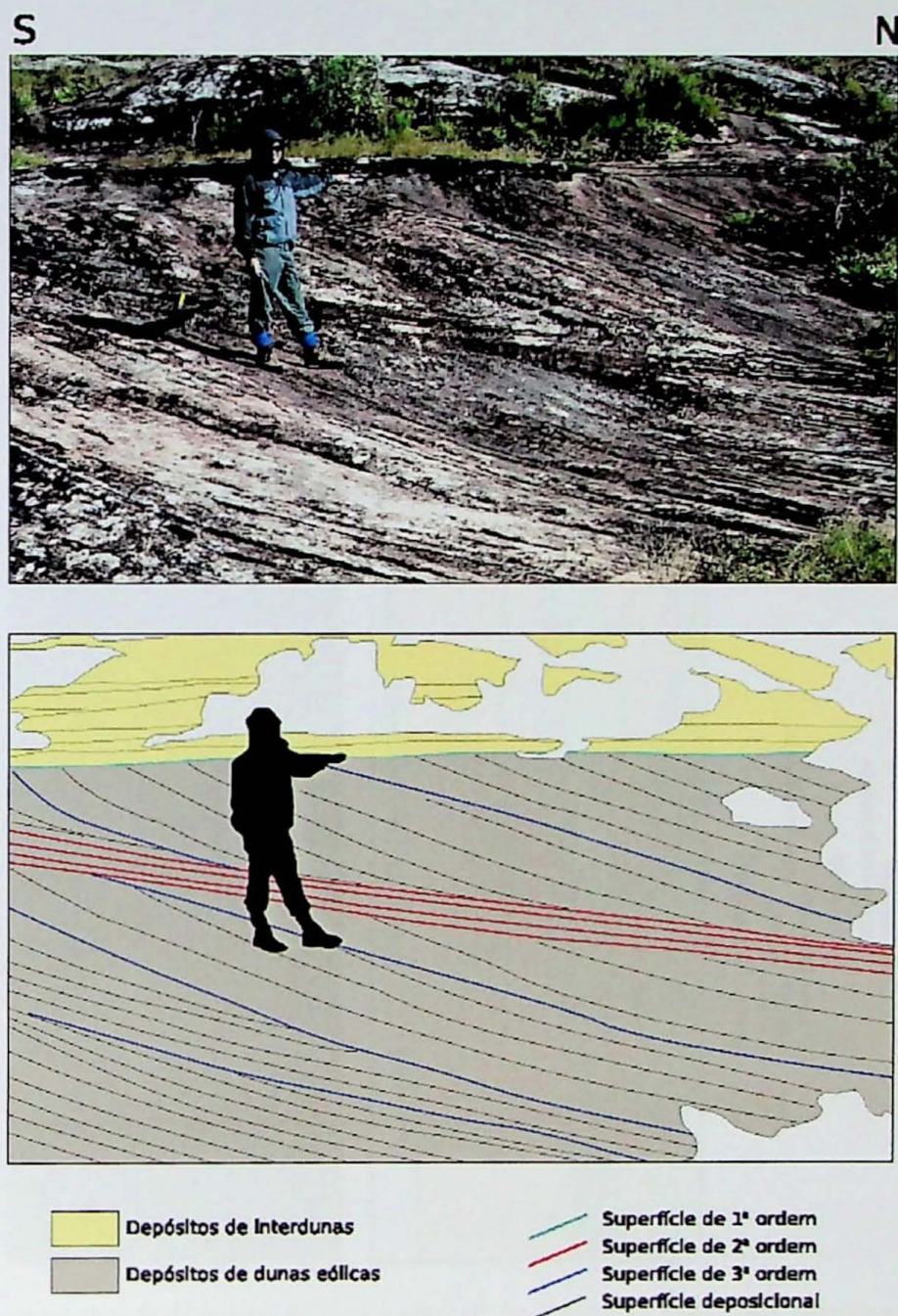


Figura 8.19: Fotomosaico da Associação de fácies de campos de dunas, mostrando a relação entre depósitos de dunas e interdunas, com representação das principais superfícies limitantes e deposicionais. Destaque para a superfície de 2ª ordem, que caracteriza o depósito de duna como um *duna*.

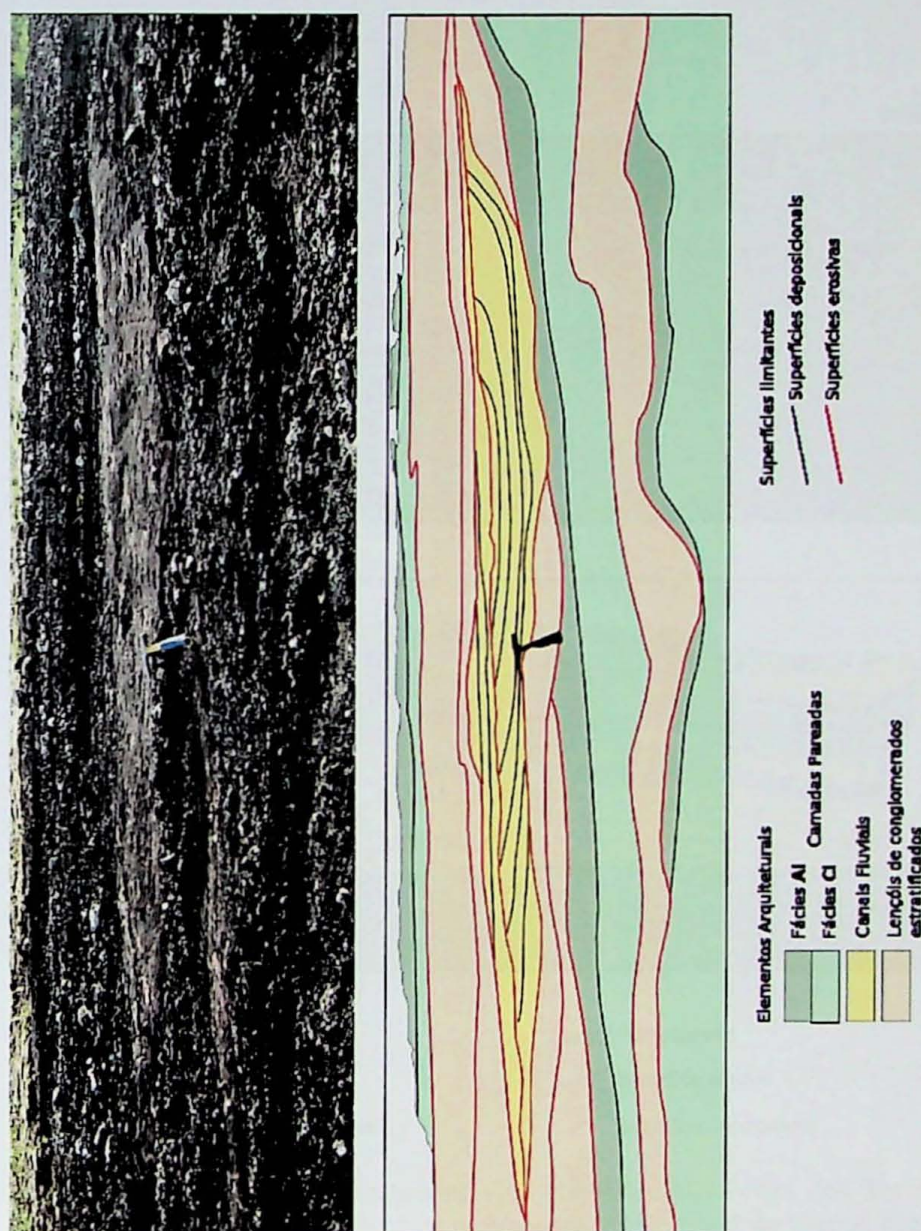


Figura 8.20: Fotomosaico de depósitos de leques aluviais da Formação Pedra das Torrinhas, com destaque para as relações de contato entre os elementos arquiteturais de Camadas Pareadas, elemento de Canais Fluviais e elemento Lençóis conglomeráticos estratificados.

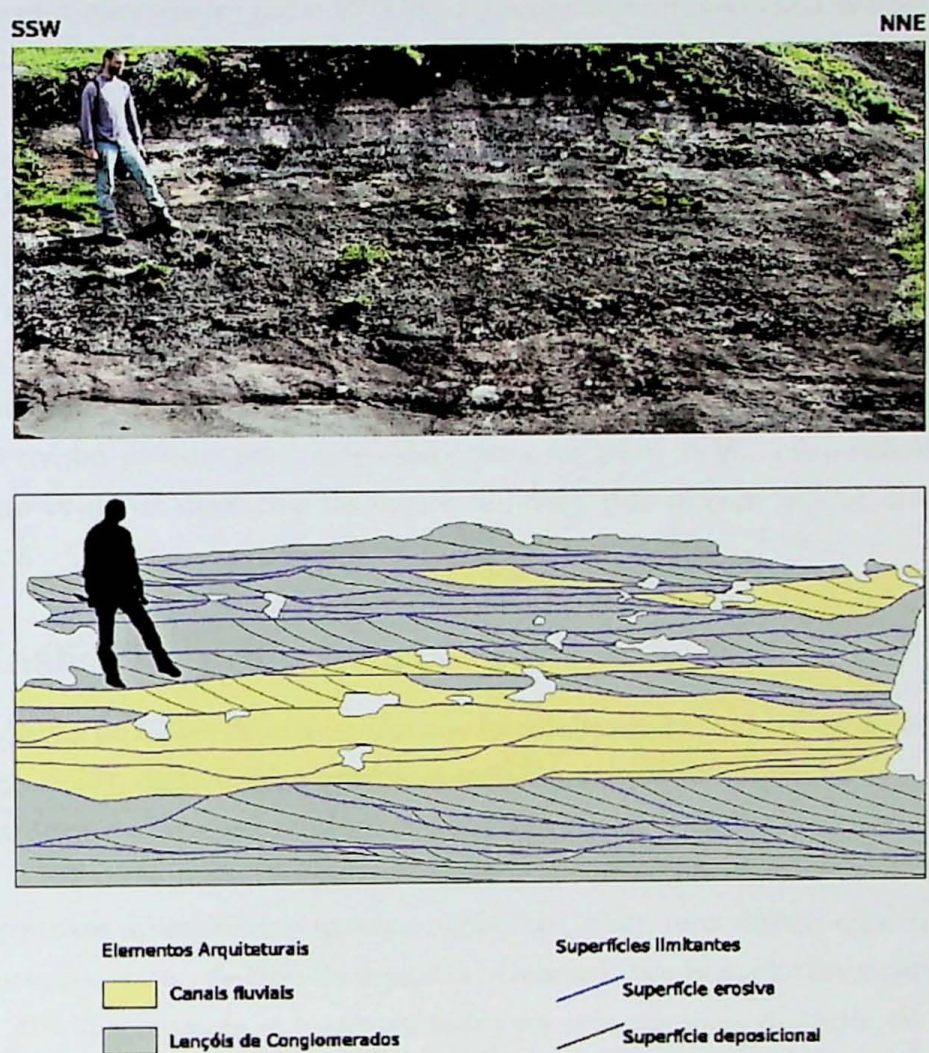


Figura 8.21: Fotomosaico de depósitos de leques aluviais da Formação Pedra das Torrinhas (Bases da Seção APT17), com destaque para as relações entre o elemento arquitetural de Canais Fluviais e elemento Lançóis de Conglomerados

8.5. Paleocorrentes

Na associação de fácies de leques aluviais da Formação Pedra das Torrinhas medidas de paleofluxo foram tomadas essencialmente nas fácies **At** e **Aa**, com algumas poucas medidas na fácies **Al**. O sentido de transporte médio (Fig. 8.22a) para a associação de fácies de leques aluviais foi para **WNW**, aproximadamente perpendicular Zona de Falhas das Encantadas, a falha de borda da bacia na região (Almeida, 2005).

Para a associação de fácies de ambiente eólico da Formação Pedra Pintada, foram obtidas medidas em arenitos com estratificação cruzada acanalada e com estratificação cruzada tabular das fácies **Aap** e **Atp**, interpretadas como depósitos de dunas barcanas ou cristas barcanóides. O sentido de transporte médio, obtido com volume apreciável de medidas e com dispersão adequada de dados, foi aproximadamente **NE** (Fig. 8.22b).

— Na associação de fácies fluviais de rios entrelaçados da Formação Serra do Apertado as medidas foram tomadas em arenitos com grânulos das fácies **At** e **Aa**. O sentido de transporte médio obtido para estes depósitos foi para **NW**, perpendicular a borda da bacia, assim como os depósitos de leques aluviais, porém com menor dispersão de dados (Fig. 8.22c).

8.6. Análise de proveniência

A associação de fácies de leques aluviais foi analisada em quatro estações de contagem de clastos (Fig. 8.23), distribuídas aproximadamente perpendiculares a borda da bacia, com o ponto APT 18 mais próximo à falha, os pontos APT 21 e APT 22 em posição intermediária e o ponto APT 17% mais distante da falha. As principais litologias encontradas foram granitos, granitos miloníticos e quartzo milonitos, cada uma dessas classes perfazendo, em geral, proporções acima de 20% da amostra. Ocorrem também clorita xistos, que raramente chegam a 20% da amostra, e estão ausentes na estação mais distante da falha de borda, enquanto que clastos de riolito ficam aparentemente mais freqüentes com o distanciamento da borda da bacia.

A associação de fácies fluviais de rios entrelaçados teve a análise de proveniência realizada em três diferentes estações, com o ponto APT 19 mais próximo à borda da bacia, enquanto que os pontos APT 17 e APT 08 estão relativamente distantes da borda da bacia, sem estações de contagem em pontos intermediários a estes (Fig. 8.24). As principais fontes litológicas encontradas nestes conglomerados fluviais são granitos e granitos miloníticos. Quartzo milonitos, em contraste aos depósitos de leques aluviais, são pouco

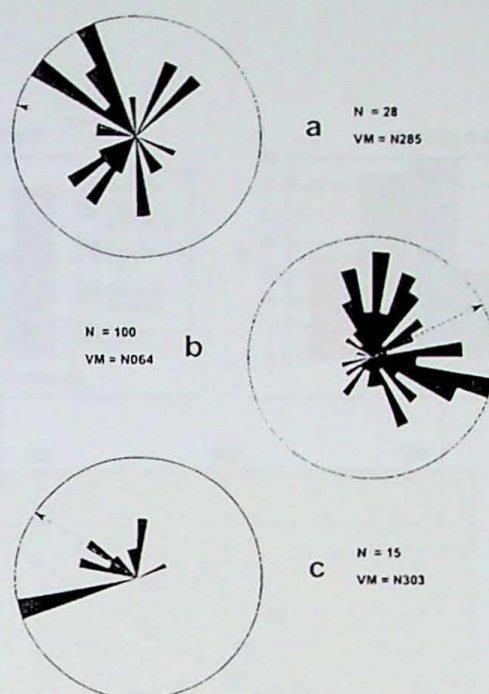


Figura 8.22: Diagramas de roseta de cada uma das três associações de fácies descritas (seta corresponde ao rumo do vetor médio VM, e N é o número de medidas) : **a** – roseta de paleocorrentes da associação de fácies de leques aluviais da Formação Pedra das Torrinhas, com sentido de transporte médio para WNW; **b** – roseta de paleoventos da associação de fácies de campo de dunas eólicas, com sentido de transporte para NE; **c** – roseta de paleocorrentes da associação de fácies fluviais de rios entrelaçados, com sentido médio de transporte para NW.

freqüentes, estando presentes apenas em uma estação. Os clastos de riolitos são comuns, chegando a superar em proporção granitos e granitos miloníticos juntos no ponto APT 17, e de maneira semelhante a que ocorre nos depósitos de leques aluviais, os clastos de riolitos ganham importância a medida em que se afasta da borda da bacia.

8.7. Petrografia Sedimentar

Análise petrográfica foi realizada em amostras representativas das fácies sedimentares descritas, agrupadas de acordo com cada associação de fácies, de forma a facilitar a interpretação das relações entre os processos de transporte e deposição e as características petrográficas.

8.7.1 Associação de campo de dunas eólicas

Depósitos de dunas eólicas

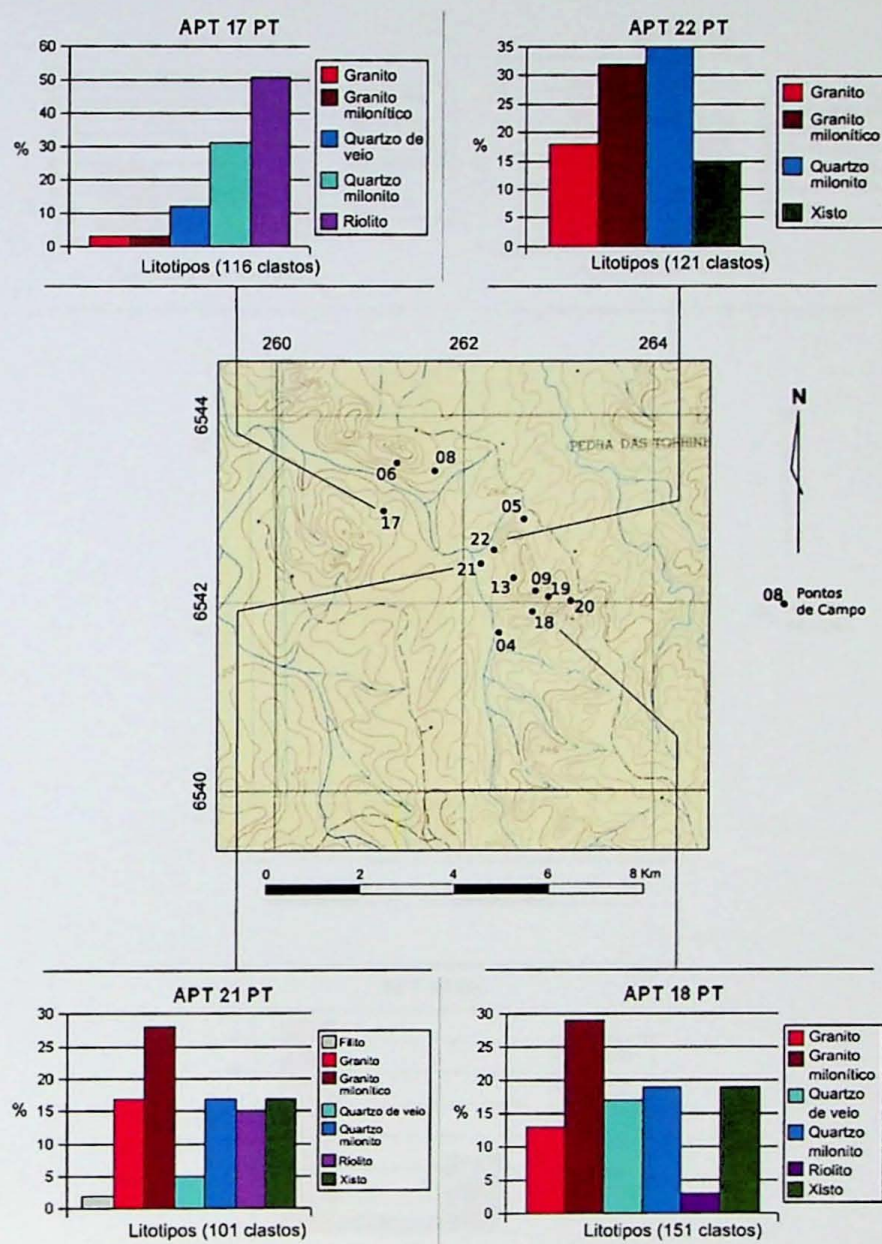


Figura 8.23: Mapa de pontos de análise de proveniência realizada em conglomerados da associação de fácies de leques aluviais da Formação Pedra das Torrinhas, com seus respectivos histogramas, mostrando a variação na proporção entre as diferentes classes de clastos com o distanciamento da falha de borda da bacia, a leste.

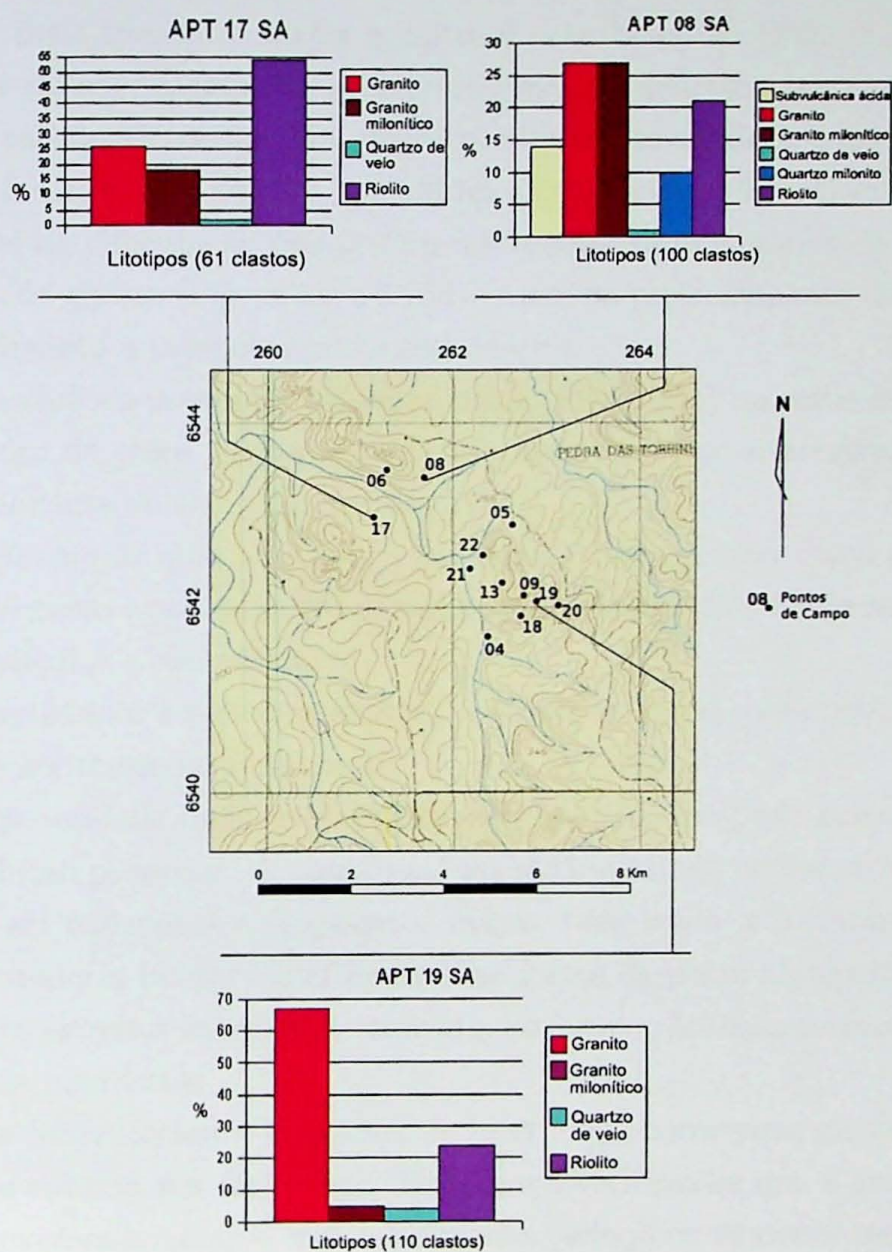


Figura 8.24: Mapa de pontos de análise de proveniência feita em conglomerados da associação de fácies fluviais de rios entrelaçados da Formação Serra do Apertado, onde se pode visualizar a variação da fonte com o distanciamento da borda da bacia (a leste).

Os arenitos relacionados a este tipo de depósito possuem em geral granulação média, com seleção granulométrica moderada e grãos subarredondados (Fig. 8.25a). O empacotamento é sempre fechado, com evidências de compactação mecânica, como contatos planos e côncavo-convexos entre grãos.

O cimento mais freqüente nestes arenitos é o carbonático (Fig. 8.25b), seguido em importância de cimento caolinítico, sobrecrecimento de quartzo e por cimento ferruginoso.

O cimento carbonático é em geral espático, com hábito anédrico e textura envolvente, e menos freqüentemente com textura poiquilítica e também móldica. Eventualmente podem aparecer feições de cimentação que podem representar pseudomorfos de estruturas semelhantes a rosas de gipsita (Fig. 8.25c e 8.25d). Além do preenchimento de poros primários, é o principal cimento a preencher poros secundários.

Cimento caolinítico possui hábito vermiforme (Fig. 8.25e) ou como franjas (Fig. 8.26a e 8.26b) ao redor de grãos. Ocorre preferencialmente em poros intergranulares, e podem obstruir parcialmente ou completamente o poro.

Sobrecrecimento de quartzo é pouco freqüente, e pode ocorrer como películas ao redor de grãos ou até como preenchimento completo de um poro. Em algumas amostras parece crescer perpendicular à compactação.

Cimento ferruginoso é pouco expressivo, e ocorre em geral como películas ao redor dos clastos, e pode até mesmo estar ausente.

O tipo de porosidade mais freqüente é intergranular, que pode estar algo aumentada devido a dissolução posterior. A porosidade secundária intragranular corresponde a vazios de dissolução em feldspatos e fragmentos líticos, bem como a fraturamento de clastos. Porosidade secundária intergranular aparece na forma de poros alongados (Fig. 8.25f) ou lamelares (poros estreitos entre grão e cimento, ou entre grãos aparentemente em contato).

Depósitos de interdunas

Os arenitos pertencentes a depósitos de interdunas correspondem às fácies **Ao** e **Al** (eventualmente coberta por fácies **Sg**). Em lâmina verificou-se que a granulação varia de fina a média, moderadamente a mal selecionadas (seleção sutilmente menor que a observada em amostras de Associação de fácies de dunas eólicas), com grãos sub arredondados a sub angulosos (Fig. 8.26c). O empacotamento é fechado, com contatos planos e côncavo-convexos sugerindo compactação mecânica, a não ser por uma exceção (APT08f), em que a maioria dos contatos são pontuais, provavelmente como efeito de cimentação precoce. Em duas amostras específicas há o contato com lâminas de siltitos relacionados à fácies **Sg** (amostras APT13c e APT22a), nas quais nota-se gradual diminuição da granulometria,

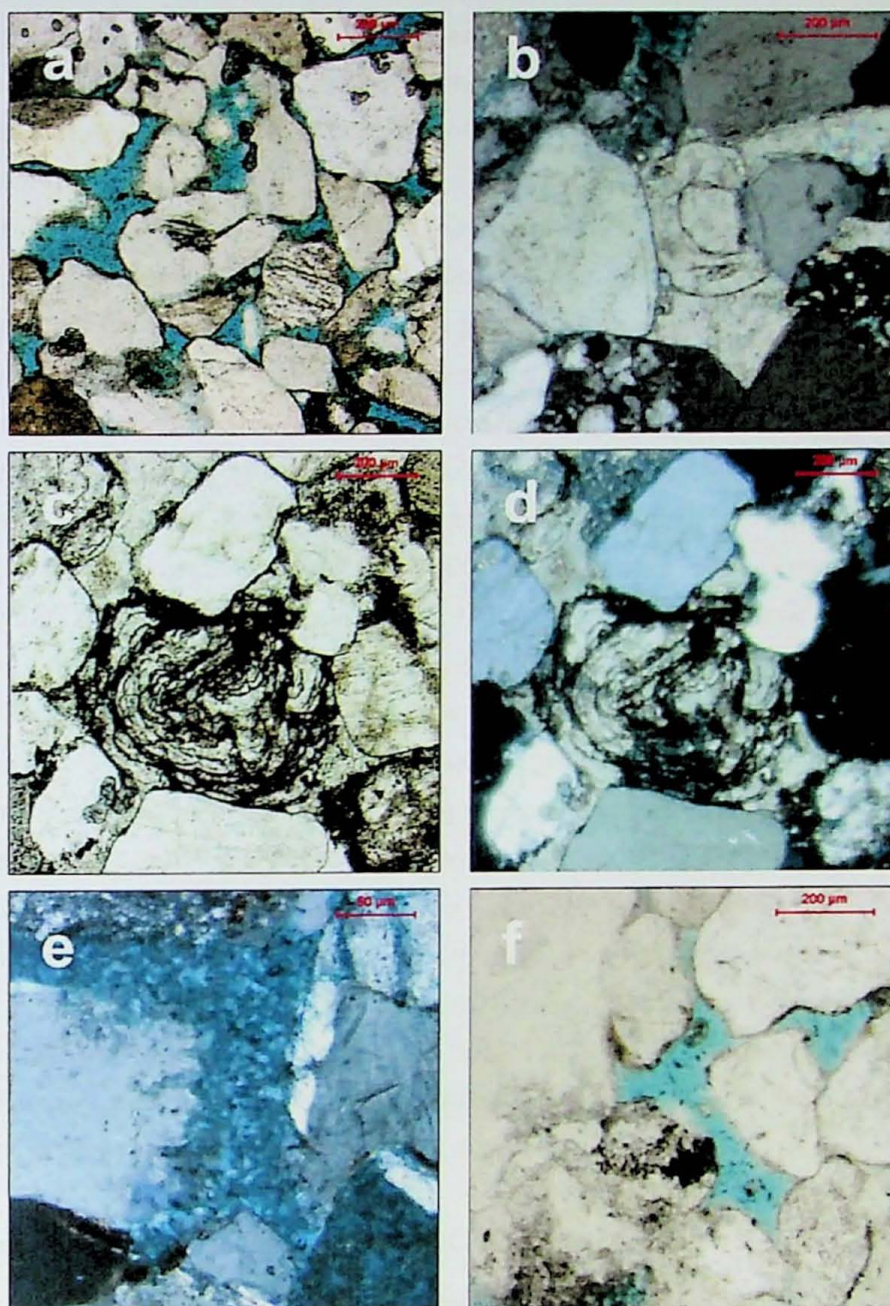


Figura 8.25: Fotomicrografias de arenitos. a – Aspecto geral do arcabouço de arenitos de depósitos eólicos. Esta micrografia corresponde a uma parte da seção em que praticamente todo o cimento foi lixiviado. Amostra APT08e; b – Exemplos de texturas encontradas em cimento carbonático, com textura móldica (no centro) e textura envolvente, preenchendo poros intergranulares. polarizadores cruzados. Amostra APT08h; c – Textura particular encontrada em cimento carbonático, de uma possível rosa de gipsita, substituída por cimento carbonático. Amostra APT08f; d – Mesma fotomicrografia, agora com polarizadores cruzados. Atentar para a extinção de carbonato, mostrando ser discordante da estrutura da rosa; e – Aspecto geral de cimento caolínítico, com textura vermiforme e preenchimento parcial de poros. polarizadores cruzados. Amostra APT08h; f – Poro alongado por dissolução secundária. Amostra APT08h.

até a granulação silte (a não ser pela presença de mica, também crescente), com evidente diminuição da porosidade. Em outras amostras (como a APT04b), podem ser encontrados intraclastos de siltito, com comprimento variando de 2,0 a 3,5 mm, deformados pela compactação da rocha.

A cimentação nestas amostras é bastante semelhante à cimentação encontrada em arenitos das fácies de dunas eólicas, com predomínio de cimento carbonático, seguido em importância por caolinita (eventualmente em proporção equivalente ao cimento carbonático), sobrecrecimento de quartzo (pouco freqüente) e cimento ferruginoso em películas finas ao redor de grãos. Exceções são feitas às amostras APT22a e APT13c, que devido a passagem gradual para lâminas de siltito, contém além do cimento, um conteúdo variável de matriz siltosa infiltrada, que ganha importância com a proximidade da lâmina de siltito. Outra exceção é feita para a amostra APT08f, com cimentação dominante de sobrecrecimento de quartzo (Fig. 8.26d), que aparentemente preserva a porosidade primária de uma cimentação precoce, substituída pelo sobrecrecimento de quartzo durante a diagênese.

Diante das características texturais do arcabouço e do cimento dos arenitos, a porosidade também é variável. Em geral é menor que a porosidade encontrada em fácies de dunas eólicas, chegando a ser nula em algumas amostras devido à cimentação. Quando presente, apresenta características similares, como a porosidade primária (intergranular) algo aumentada, como efeito de dissolução, com poros alongados e grãos flutuantes, além de porosidade secundária intragranular representada por dissolução parcial ou total de feldspatos e fragmentos líticos, com desenvolvimento de vazios de dissolução em feldspato e fraturamento de grãos. Poros lamelares podem aparecer impregnados por resina.

Amostras relacionadas a lâminas de siltito têm porosidade nula, sem percolação de resina, devido à presença de matriz, além da cimentação.

8.7.2 Associação de fácies de leques aluviais

As amostras descritas para a associação de fácies de leques aluviais correspondem às fácies Al, Aa e At.

As características texturais presentes são variáveis, apresentando grosseiramente uma redução na granulação para o topo da sucessão (mais próximos do início do domínio de depósitos eólicos). Essa característica é mais evidente quando há retrabalhamento de depósitos eólicos, situação na qual há também melhora na seleção e no arredondamento dos clastos em relação a outros arenitos de fácies de leques aluviais.

Para arenitos que ocorrem entre lentes de conglomerados (fácies Ci) a granulação varia

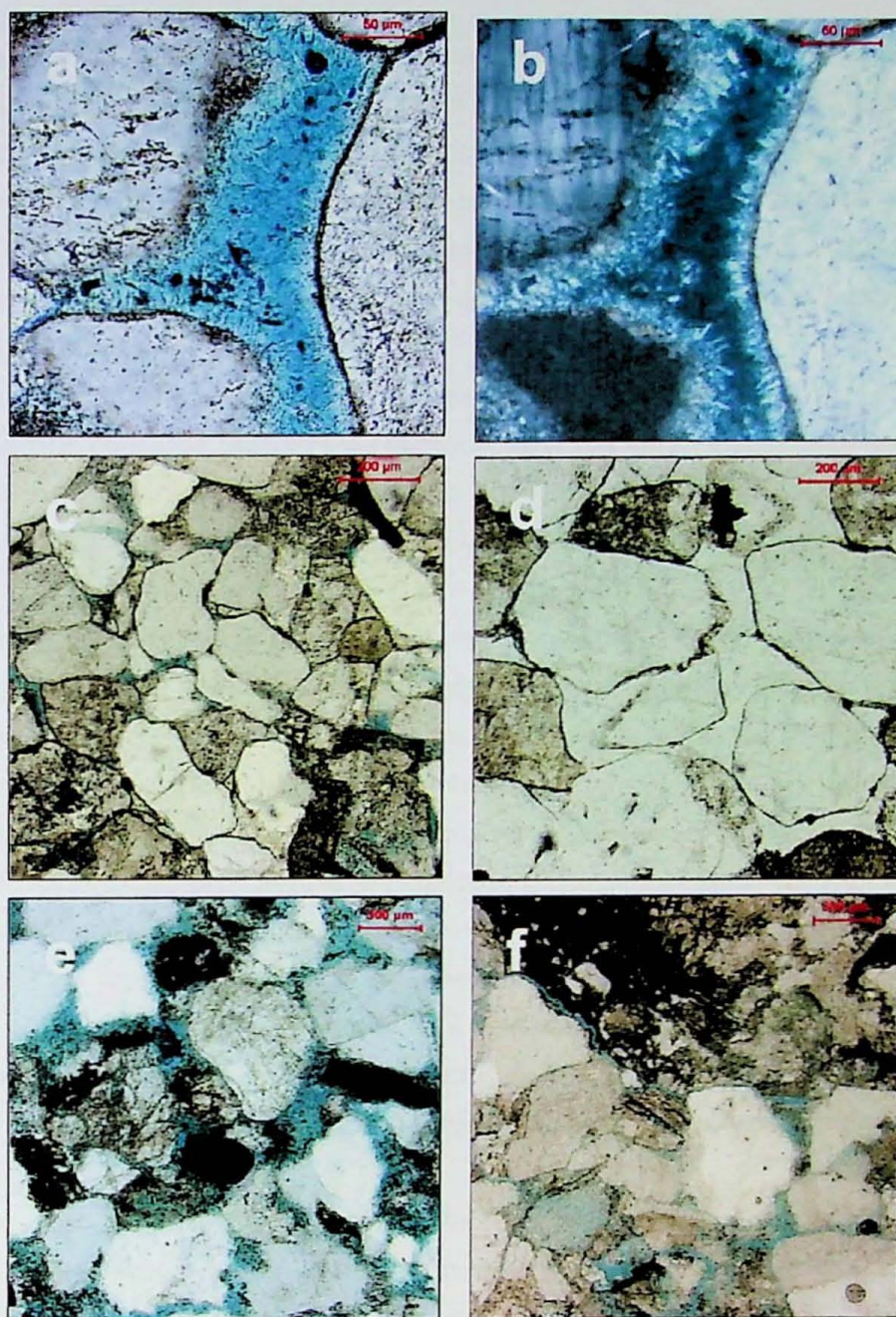


Figura 8.26: Fotomicrografias de arenitos. a – Película de cimento caolinítico ao redor de clastos do arcabouço, preenchendo parcialmente um poro. Notar que o cimento cresce também sobre película de cimento ferruginoso. Amostra APT08h; b – Mesma fotomicrografia, com polarizadores cruzados, permitindo visualizar melhor os cristais de caolinita; c – Aspecto geral de arenitos de depósitos de interdunas. Destaque para o empacotamento fechado, com poros pequenos e muitas vezes cimentados. Amostra APT18e; d – Destaque para a forte cimentação de sobrecrecimento de quartzo, com boa preservação de espaços intergranulares em arenito de depósitos de interdunas. Amostra APT08f; e – Aspecto geral de amostra de depósitos de leques aluviais, com baixa seleção granulométrica e grãos subangulosos. Nesta fotomicrografia em particular não se observa presença significativa de cimento, provavelmente lixiviado por intemperismo. Amostra APT08b; f – Fotomicrografia de arenito de depósitos fluviais de rios entrelaçados, com destaque para clasto de fragmento lítico na metade superior da imagem. Notar a baixa maturidade textural, com grãos angulosos e má seleção granulométrica. Poros encontram-se parcialmente preenchidos por cimento caolinítico (aspecto “sujo” na resina impregnada). Amostra APT19b.

de média a grossa, freqüentemente com grânulos esparsos, especialmente em camadas estratigraficamente inferiores. Estes arenitos podem apresentar, além de fragmentos líticos oriundos do embasamento, intraclastos pelíticos. Possuem seleção granulométrica que varia de muito má a má, com grãos angulosos a subangulosos (Fig. 8.26e). Arenitos que podem ter origem por retrabalhamento aluvial de sedimentos eólicos apresentam granulação média, com poucos grânulos esparsos, e maior maturidade textural, com seleção moderada e grãos subangulosos.

Como ocorre com amostras de outras associações de fácies, a compactação mecânica é evidenciada por contatos planares e côncavo-convexos entre grãos, com uma leve heterogeneidade na compactação, provocada talvez por uma cimentação precoce.

A cimentação apresenta muitas características em comum com os outros litotipos estudados.

A cimentação carbonática é a mais comum, raramente equiparada ou superada por cimento caolinítico em proporção. Este cimento preenche poros primários (intergranulares) e secundários, e pode ser tanto espático quanto micrítico (pouco freqüente), com texturas envolvente, poiquilítica e móldica. Ocorre também textura de possível pseudomorfo de rosa de gipso, substituído por carbonato, e que pode também ser nucleada por algum clasto.

Cimento caolinítico tem hábito vermiforme e ocorre em geral em poros intergranulares, sendo raros os casos em que preenche poros intragranulares. O cimento caolinítico preenche parcialmente os poros, sendo raros os casos em que há obstrução completa do poro por caolinita. Sobrecrecimento de quartzo é ocasional, e embora preferencialmente forme películas em grãos de quartzo, pode obstruir algum poro, assim como o cimento ferruginoso, em geral como películas no entorno de grãos, mas que em raros exemplos pode obstruir poros.

Os poros são em sua maioria intergranulares, e ocasionalmente estão aumentados por dissolução secundária, quando apresentam poros alargados e “grãos flutuantes” em cimento. A porosidade secundária é menos importante, e aparece na forma de vazios de dissolução em clastos de feldspato e de fragmentos líticos, e também por fraturamento de grãos. Há também porosidade lamelar, com origem possivelmente telodiagenética.

8.7.3 Associação de fácies fluvial de rios entrelaçados

As amostras analisadas correspondem às fácies Aa e At. São arenitos de granulação grossa, de baixa maturidade textural, com seleção granulométrica má a muito má, com grãos angulosos a subangulosos (Fig. 8.26f). Compactação mecânica é indicada pela

presença de contatos côncavo-convexos e planares entre os grãos.

A cimentação é em geral carbonática e caolinítica, com raro sobrecrecimento de quartzo. Cimento caolinítico nesta associação de fácies ganha em importância de cimento carbonático, com ocorrência preferencial em poros intergranulares, com hábito vermiforme e preenchendo parcialmente e, menos freqüentemente, totalmente os poros.

A cimentação carbonática pode ser espática ou micrítica, ter textura envolvente, móldica e poiquilítica, além de ocorrer na forma de possíveis pseudomorfos de rosas de gipsita. Além de ocorrer em poros intergranulares, é comum que preencha também poros secundários, como vazios de dissolução e fraturas em grãos.

A porosidade medida é baixa, devido a cimentação por caolinita, porém há considerável espaço intergranular. Poros intergranulares apresentam evidências de terem sido aumentadas por dissolução secundária, com poros alargados e presença de “grãos flutuantes” em cimento. Porosidade secundária é representada por vazios de dissolução e por fraturas em grãos, freqüentemente cimentados. Poros lamelares, de possível origem telodiagênética, não possuem cimentação.

8.8. Análise de porosidade

Os resultados obtidos por meio de analisador digital apresentam, para cada lâmina, uma certa variabilidade no valor da porosidade, similar à encontrada entre os diferentes tipos de depósito sedimentar (Fig. 8.27). Percebe-se que amostras com valores de porosidade mais altos podem apresentar pontos com porosidade anormalmente alta, em geral devido à uma maior dissolução de cimento, ou por heterogeneidade no empacotamento. Em outro extremo, quando a amostra apresenta médias de porosidade muito baixas, o desvio padrão tende a ser menor, provavelmente pelo motivo de melhor preservação do cimento na amostra.

A seguir são apresentados os dados analíticos referentes a porosidade, separados em depósitos de dunas eólicas, depósitos de interdunas, depósitos de leques aluviais e depósitos fluviais de rios entrelaçados, assim como feito na petrografia, com objetivo de facilitar a discussão dos dados. Para cada tipo de depósito foram obtidos valores médios de porosidade, baseados nos valores de porosidade média obtidas para cada lâmina (Fig. 8.28), de maneira a permitir a verificação de controles do tipo do depósito sobre a porosidade presente.

Com objetivo de enriquecer a análise, foi realizada uma avaliação visual do espaço intergranular, evitando assim a interferência da variação de cimento, que pode ter sido em

Amostra	Espaço intergranular	Porosidade média	Desvio padrão da porosidade	Mínimo valor da porosidade	Mediana da porosidade	Máximo valor da porosidade	Área (mm ²) da lâmina	Área coberta(%)	Objetiva	Depósito Sedimentar
Apt22b	10	0,33	0,29	0,02	0,28	0,98	320	10	5x	Dunas eólicas
Apt22j	10	1,71	0,81	0,57	1,52	3,12	230	13,91	5x	Dunas eólicas
Apt22i	15	5,39	2,63	2,56	4,63	13,23	415	7,71	5x	Dunas eólicas
Apt13d	12	5,75	2,32	1,86	5,7	11,04	415	7,71	5x	Dunas eólicas
Apt17a	10	6,76	2,59	1,91	6,55	11,85	572	5,59	5x	Dunas eólicas
Apt08h	15	7,33	2,81	2,21	7,15	13,58	452	7,08	5x	Dunas eólicas
Apt04f	11	7,93	4,02	1,54	7,76	17,43	415	7,71	5x	Dunas eólicas
Apt04g	16	9,08	4,31	3,12	8,28	20,7	380	8,42	5x	Dunas eólicas
Apt08e	10	10,71	3,84	2,51	11,45	16,09	415	7,71	5x	Dunas eólicas
Apt13e	12	12,96	4,43	4,08	12,1	22,03	415	7,71	5x	Dunas eólicas
Apt04c	15	13,1	3,16	8,05	12,34	20,72	380	8,42	5x	Dunas eólicas
Apt04h	12	13,95	2,63	7,25	13,93	18,17	330	9,97	5x	Dunas eólicas
Apt04d	15	14,26	4,85	7,04	13,87	28,37	400	8	5x	Dunas eólicas
Apt22a	2	0	-	-	-	-	440	-	-	Interdunas
Apt08f	15	0	-	-	-	-	452	-	-	Interdunas
Apt22g	12	0	-	-	-	-	380	-	-	Interdunas
Apt13c	2	0	-	-	-	-	380	-	-	Interdunas
Apt22h	6	3,01	1,53	0,46	2,73	6,31	415	7,71	5x	Interdunas
Apt08d	5	3,22	2,71	0,2	2,51	10,94	450	25,77	2,5x	Interdunas
Apt18e	12	4,96	1,38	2,73	5,07	7,64	346	9,24	5x	Interdunas
Apt13b	12	7,81	5,1	2,27	6,52	25,36	415	7,71	5x	Interdunas
Apt04b	10	11,22	2,65	6,99	10,71	16,39	415	7,71	5x	Interdunas
Apt22d	4	0	-	-	-	-	415	-	-	Leques aluviais
Apt22e	3	0	-	-	-	-	452	-	-	Leques aluviais
Apt18c	7	0	-	-	-	-	450	-	-	Leques aluviais
Apt18b	8	0	-	-	-	-	315	-	-	Leques aluviais
Apt21b	5	0	-	-	-	-	415	-	-	Leques aluviais
Apt18a	2	0,42	0,52	0	0,13	1,65	415	7,71	5x	Leques aluviais
Apt22c	8	0,56	0,47	0,04	0,44	1,97	415	7,71	5x	Leques aluviais
Apt22f	3	1,36	0,94	0,46	0,95	3,32	415	7,71	5x	Leques aluviais
Apt18d	15	2,96	1,5	0,19	3,16	6,03	380	8,42	5x	Leques aluviais
Apt08a	5	4,74	2,23	0,8	5,15	9,23	415	27,95	2,5x	Leques aluviais
Apt04a	10	5,53	2,57	1,39	5,22	11,18	285	11,22	5x	Leques aluviais
Apt08c	10	8,41	4,53	2,28	7,66	19,18	452	7,08	5x	Leques aluviais
Apt23b	10	8,86	3,46	0,37	8,64	14,89	452	7,08	5x	Leques aluviais
Apt04e	12	10,86	3,37	6,51	10,01	20,72	380	8,42	5x	Leques aluviais
Apt13a	10	11,97	5,98	2,31	12,61	25,59	314	10,19	5x	Leques aluviais
Apt08b	8	13,14	3,84	6,92	11,79	22,05	415	27,95	2,5x	Leques aluviais
Apt08g	12	0	-	-	-	-	452	-	-	Fluvial entrelaçado
Apt19b	8	3,22	2,53	0,37	2,61	12,02	346	33,53	2,5x	Fluvial entrelaçado
Apt19a	12	6,13	4,6	1,43	4,73	19,06	415	7,71	5x	Fluvial entrelaçado

Figura 8.27: Tabela com o resumo dos dados obtidos na da análise de porosidade

Depósitos sedimentares	Dunas eólicas	Interdunas	Leques aluviais	Fluviais entrelaçados
Porosidade média	8,4	3,36	4,3	3,12
Desvio padrão da porosidade	4,51	4,02	4,84	3,07
Mínimo valor de porosidade	0,33	0	0	0
Mediana da porosidade	7,93	3,01	2,16	3,22
Máximo valor de porosidade	14,26	11,22	13,14	6,13
Espaço intergranular médio	12,54	8,44	7,5	10,67
Desvio padrão do espaço intergranular	2,33	4,8	3,63	2,31
Mínimo valor de espaço intergranular	10	2	2	8
Mediana de espaço intergranular	12	10	8	12
Máximo valor de espaço intergranular	16	15	15	12

Figura 8.28: Média de valores de análise porosidade e de avaliação de espaço intergranular para cada tipo de depósito sedimentar

parte provocada por intemperismo das amostras, bem como da porosidade secundária. A avaliação visual buscou, portanto, reproduzir o valor mais próximo possível da porosidade primária intergranular da rocha, para critério de comparação com o dado analítico, e verificar se o controle do tipo do depósito sobre a porosidade continua quando desconsiderados os efeitos da cimentação e da porosidade secundária.

A porosidade de depósitos de dunas eólicas avaliada com analisador (Fig. 8.27) para cada lâmina apresentou variações locais no valor da porosidade, com desvios padrões que variaram de 0,29 (amostra APT22b) até 4,43 (amostra APT13e) para cada lâmina, sendo que no caso de desvio padrão mais alto a porosidade variou de 4,08% até 22,03%, com a porosidade média em 12,96%.

Para depósitos sedimentares de dunas eólicas a porosidade média foi de 8,4%, com desvio padrão da porosidade média de 4,51, como efeito da variação aproximadamente contínua da porosidade média de amostras entre 0,33% e 14,26% (fig. 8.29). O espaço intergranular apresenta média de 12,54%, com desvio padrão menor, de 2,33, uma vez que o efeito da cimentação e porosidade secundária são desconsideradas nesta avaliação, com a variação no espaço intergranular como possível efeito da variação na textura do arcabouço.

A porosidade medida em depósitos de interdunas (Fig. 8.27) para cada lâmina apresenta, em geral, menor variação nos valores de porosidade, de maneira que apenas uma amostra (APT13b) apresenta desvio padrão da média de porosidade superior a 3,00, provavelmente devido à maior cimentação, bem como empacotamento algo mais fechado.

Quando considerados como um todo, os depósitos de interdunas apresentam porosidade média de apenas 3,36%, com desvio padrão de 4,02. O desvio padrão relativamente mais alto que o obtido para as amostras individualmente se justifica pela presença de amostras com valor nulo de porosidade (por isso não avaliadas digitalmente), enquanto que a amos-

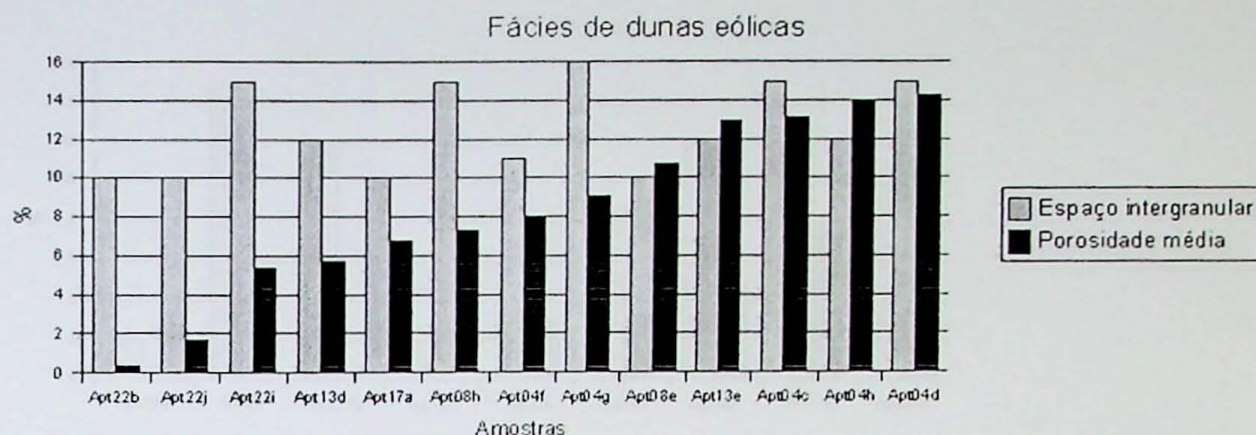


Figura 8.29: Gráfico comparativo entre a porosidade média e espaço intergranular para depósitos de dunas eólicas.

tra APT04b alcançou porosidade de 11,22%, em decorrência da dissolução do cimento. O espaço intergranular, com média de 8,44%, e desvio padrão de 4,88, mais alto que desvio conferido na média de porosidade, se mostrou também bastante variável (Fig. 8.30), com valores excepcionalmente altos nas amostras APT08f e APT22g, devido provavelmente à cimentação precoce dos arenitos na interduna (impedindo compactação posterior), acompanhados de valores muito baixos de espaço intergranular nas amostras APT22a, APT13c e APT08d, associadas a interdunas úmidas, que apresentam pior seleção granulométrica. Em depósitos de leques aluviais a porosidade medida em cada lâmina apresenta valores de desvio padrão variáveis (Fig. 8.27), que tendem a ser maiores quanto maior é a porosidade média da lâmina, em geral devido à dissolução do cimento, associada a má seleção granulométrica.

Avaliadas em conjunto (Fig. 8.28), as amostras de depósitos de leques aluviais apresentam média de porosidade de 4,30%, com desvio padrão de 4,84 que, a exemplo dos depósitos de dunas eólicas, é causada por uma variação quase contínua de porosidade entre valores nulos e 13,14% (Fig. 8.31), com a mediana de 2,46% (devido a amostras com porosidade nula). O espaço intergranular médio foi de 7,5%, com desvio padrão de 3,63, refletindo a heterogeneidade das amostras relacionadas a depósitos de leques aluviais.

Em depósitos fluviais de rios entrelaçados as médias de porosidade avaliadas para cada lâmina são de 3,22% e 6,13% (Fig. 8.32), com valores de desvio padrão de, respectivamente, 2,53 e 4,60, e valores particularmente altos na amostra de maior porosidade, com valor máximo de 19,06

Quando avaliadas em conjunto, as amostras de depósitos fluviais compõem uma po-

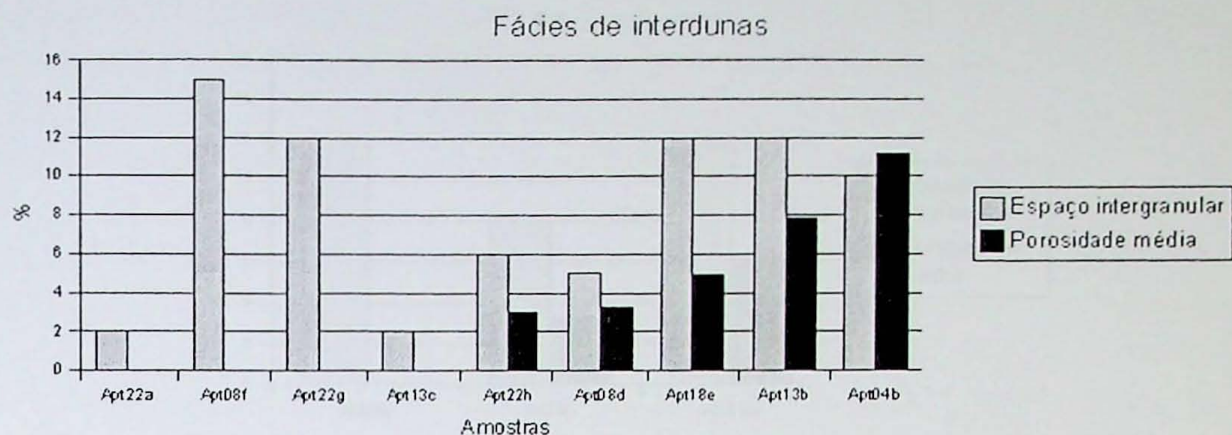


Figura 8.30: Gráfico comparativo entre a porosidade média e espaço intergranular para depósitos de interdunas.

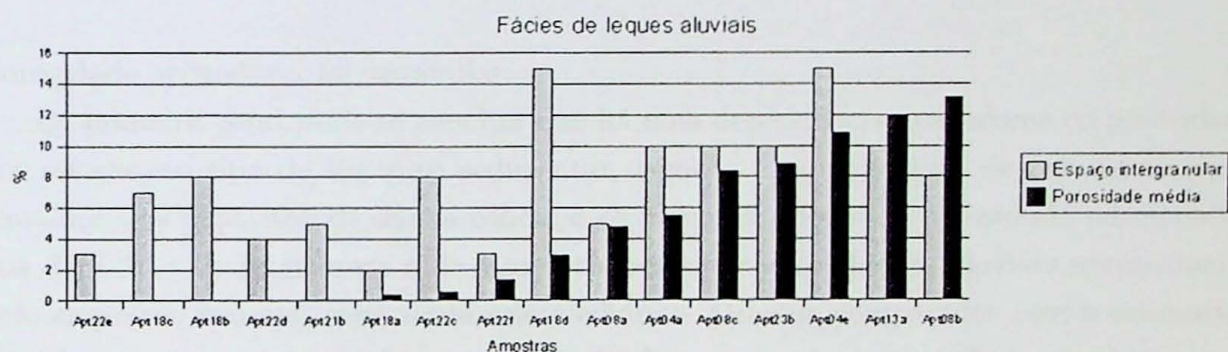


Figura 8.31: Gráfico comparativo entre a porosidade média e espaço intergranular para depósitos de leques aluviais.

rosidade média de 3,12% (Fig. 8.28), a menor encontrada, com desvio padrão de 3,07, de difícil interpretação, dado a escassez na amostragem, com médias de porosidade que variam de nula a 6,13% (Fig. 8.32). Quando comparadas com o espaço intergranular médio, de 10,67%, e desvio padrão relativamente pequeno, fica evidente nestas amostras a importância da cimentação na preservação dos espaços intergranulares, talvez relacionada a cimentação precoce, substituída por cimentos mesodiagenéticos.

Em algumas amostras observa-se que a porosidade medida no analisador supera a proporção de espaço intergranular; isso acontece quando a amostra apresenta média de porosidade relativamente alta, em decorrência da lixiviação do cimento (principalmente o carbonático), de maneira que a porosidade secundária também aparece impregnada por resina e é contada como poro. Neste caso, quando a média de porosidade apresenta valor maior que o espaço intergranular obtido visualmente, já que neste último não se conta

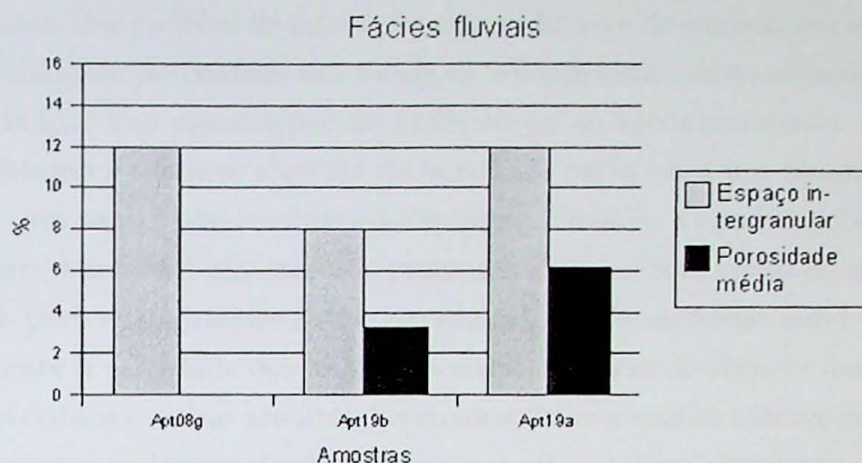


Figura 8.32: Gráfico comparativo entre a porosidade média e espaço intergranular para depósitos fluviais de rios entrelaçados.

porosidade secundária intragranular.

De maneira geral pode-se concluir que há uma dependência nos valores de porosidade em relação ao tipo de depósito sedimentar, com os maiores valores de porosidade relacionados aos depósitos de dunas eólicas e os menores valores de porosidade relacionados aos depósitos de interdunas e de rios entrelaçados, com os leques aluviais apresentando valores pouco maiores, mas ainda intermediários. Quando comparados com a estimativa visual de espaço intergranular, a porosidade de arenitos de dunas eólicas continua sendo maior, porém verifica-se que arenitos de depósitos de interdunas têm espaço intergranular maior que de depósitos de leques aluviais – evidenciando a importância da cimentação para a preservação da porosidade primária em arenitos de depósitos de interdunas. Cabe ressaltar que nos depósitos fluviais de rios entrelaçados, que apresentaram espaço intergranular muito mais alto que a porosidade, foram utilizadas poucas amostras para a análise, e que nestas amostras há grande cimentação, provavelmente substituindo uma cimentação precoce, a exemplo dos depósitos de interdunas.

9. Conclusões

Análises de fácies sedimentares, elementos arquiteturais, proveniência de seixos, paleocorrentes, petrografia sedimentar e de porosidade microscópica de um conjunto de afloramentos selecionados da Formação Pedra das Torrinhas e unidades relacionadas do Grupo Guaritas (Cambriano da Bacia do Camaquã, RS) levaram a uma caracterização dos siste-

mas deposicionais, dos padrões de interação eólico-aluvial e de sua influência na distribuição da heterogeneidade de porosidade em escala de afloramento nessa sucessão.

A caracterização das associações de fácies levou ao reconhecimento da passagem lateral de um sistema de leques aluviais de borda de bacia para um sistema de campo de dunas eólicas, que acaba por recobrir os depósitos aluviais. O padrão observado foi o de retrabalhamento das fácies aluviais por processos eólicos, bem como de interferência dos leques aluviais preferencialmente sobre interdunas, com eventuais inundações, relacionadas provavelmente a atividade dos leques aluviais. Também se observa maior importância de fácies de interdunas, como arenitos laminados, nas sucessões eólicas próximas a intercalações de depósitos de leques aluviais, se comparadas aos depósitos em que leques aluviais não exercem tanta influência, sendo especialmente importantes durante a transição entre as formações Pedra das Torrinhas e Pedra Pintada, como demonstrado pela análise de elementos arquiteturais.

Os dados de proveniência indicam fontes distintas para os depósitos das associações de fácies de leques aluviais e para a associação de fácies fluviais de rios entrelaçados, sendo que os depósitos da primeira tiveram como fonte principal granitos miloníticos, seguidos de muito perto por granitos e quartzo milonitos, enquanto os sistemas fluviais entrelaçados apresentam domínio de fontes de granitos miloníticos, com maior importância de fontes de riolitos. Essa variação pode ser interpretada como resultado de um aumento na área de captação de drenagem, sendo restrita à região adjacente à falha (na qual afloram milonitos graníticos) durante a deposição dos leques aluviais, e abrangendo uma área maior, com fontes mais distais, durante a deposição dos sistemas fluviais da Formação Serra do Apertado. As relações de campo observadas entre os elementos arquiteturais de leques aluviais e os de campo de dunas eólicas sugerem o retrabalhamento dos depósitos de leques aluviais pelo campo de dunas eólicas, acompanhados, em menor proporção, de retrabalhamento de depósitos eólicos por leques aluviais. Essas observações são corroboradas pela petrografia pois os depósitos eólicos apresentam seleção granulométrica relativamente baixa, acompanhada de maturidade mineralógica semelhante a dos depósitos de leques aluviais que lhe são fonte e, por outro lado, também ocorrem, nos depósitos de leques aluviais, lentes de arenitos com seleção granulométrica semelhantes a encontrada em depósitos eólicos, evidenciando retrabalhamento.

As paleocorrentes aluviais revelam uma variação da dispersão de fluxo maior no sistema de leques aluviais da Formação Pedra das Torrinhas e menor no sistema fluvial entrelaçado da Formação Serra do Apertado. O rumo preferencial de fluxo em ambos sistemas revela

transporte para NNW. Os dados de paleofluxo eólico indicam transporte para NE, com grande dispersão, decorrente da variação natural de direções da frente de dunas barcanas e cristas barcanóides.

A análise de porosidade aponta que há controle do tipo do depósito sobre a porosidade encontrada nas amostras estudadas, mostrando que o retrabalhamento eólico de depósitos aluviais resulta em um aumento de porosidade significativo, mesmo com tempo de residência do sedimento no sistema eólico provavelmente pequeno, e que a seleção granulométrica é o principal agente controlador da porosidade encontrada nos arenitos, seguido em importância da cimentação e da compactação pela qual passaram os litotipos.

Este controle dos sistemas deposicionais sobre a porosidade pode ser demonstrado nas diferenças entre valores médios de porosidade quando as amostras são agrupadas nos diferentes sistemas deposicionais identificados. Embora quando confrontados com dados de espaço intergranular, mais próximos do valor da porosidade inicial, as diferenças entre os diferentes tipos de depósito diminuam, ainda pode-se verificar a maior porosidade entre depósitos de dunas eólicas em relação a depósitos de interdunas e de leques aluviais, permitindo identificar que o controle dos depósitos sobre a porosidade ocorre principalmente na textura do arcabouço das amostras, expressa pela variação na granulometria e na seleção granulométrica. Importante fazer a ressalva de que a porosidade secundária, por dissolução intempérica sobre o cimento e o arcabouço pode mascarar a variação original de porosidade, uma vez que as amostras são superficiais.

Dessa forma, quando integrados a dados de elementos arquiteturais, podemos tomar a intercalação de depósitos de interdunas em depósitos de dunas eólicas como barreiras parciais de permeabilidade, em decorrência da pior seleção dos arenitos e também maior cimentação, somada a grande extensão lateral dos depósitos de interduna. De maneira semelhante, as intercalações aluviais também representariam barreiras parciais de porosidade, embora não tão eficientes, devido a maior variação de fácies dentro deste tipo de depósito, que possui corpos de arenito que podem apresentar maior porosidade, em especial os que têm origem em retrabalhamento de sedimentos de origem eólica.

Desta maneira depósitos de dunas análogos a estes poderiam ser bons reservatórios de água e hidrocarbonetos, porém a presença de intercalações de depósitos de interdunas e de leques aluviais, de difícil identificação em estudos geofísicos, poderia prejudicar a porosidade total da unidade.

Referências Bibliográficas

- Ahlbrandt T.S. & Fryberger S.G. 1981. Sedimentary features and significance of interdune deposits. *SEPM Special Publication*:293–314.
- Almeida R.P. 2005. *Tectônica e sedimentação do Ediacarano ao Ordoviciano: exemplos do Supergrupo Camaquã (RS) e do Grupo Caacupé (Paraguai Oriental)*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, São Paulo, 203p.
- Becker R. & Fernandes L.A.D. 1982. Caracterização faciológica de uma sequência vulcano-sedimentar co-Paleozóica na Folha Passo do Tigre RS. *Acta Geologica Leopoldensia*, **6**:287–322.
- Blair T.C. 1999. Sedimentary processes and facies of the waterlaid Amil Spring Canyon Alluvial Fan, death Valley, California. *Sedimentology*, **46**:913–940.
- Blair T.C. & McPherson J.G. 1994. Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic, sedimentary processes, and facies assemblages. *Journal of Sedimentary Research*, **64**:450–489.
- Brookfield M.E. 1977. The origin of bounding surfaces in ancient aeolian sandstones. *Sedimentology*, **24**:303–332.
- Brookfield M.E. 1992. Eolian systems. In: R.G. Walker & N.P. James (Eds.), *Facies models: response to sea-level change*, Geological Association of Canada, Geotext 1, pp. 143–156.
- Clemmensen L.B. & Abrahamsen K. 1983. Aeolian stratification and facies association in desert sediments, Arran basin (Permian), Scotland. *Sedimentology*, **30**:311–339.
- Collinson J. 1996. Alluvial Sediments. In: H.G. Reading (Ed.), *Sedimentary environments, processes, facies and stratigraphy*, Oxford. Blackwell Science, 2 ed., pp. 37–82.
- Ehrlich R., Crabtree S., Horkowitz K. & Horkowitz J. 1991. Petrography and reservoir physics I: Objective classification of reservoir porosity. *AAPG Bull*, **75**:1547–1562.
- Faccini U.F., Paim P.S.G. & Fragoso-Cesar A.R.S. 1987. Análise faciológica das molassas brasileiras na região das Minas do Camaquã, Eo-paleozóico do RS. In: *III Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia*, SBG, Curitiba, PR, Atas, vol. 1, pp. 75–91.

- Fragoso-Cesar A.R.S. 1984. *Evolução paleoambiental e tectônica da Bacia do Camaquã: uma introdução*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 105p.
- Fragoso-Cesar A.R.S. 1991. *Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, São Paulo, 366p.
- Fragoso-Cesar A.R.S., Lavina E.L., Paim P.S.G. & Faccini U.F. 1984. A Antefossa Molássica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo do Rio Grande do Sul. In: *XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia*, SBG, Rio de Janeiro, RJ, *Anais*, vol. 7, pp. 3272-3283.
- Fragoso-Cesar A.R.S., Faccini U.F., Paim P.S.G., Lavina E.L. & Altamirano J.A.F. 1985. Revisão na estratigrafia das molassas do Ciclo Brasileiro no Rio Grande do Sul. In: *II Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia*, SBG, Florianópolis, *Anais*, pp. 477-491.
- Fryberger S.G. & Schenk C.J. 1988. Pin stripe lamination: a distinctive feature of modern and ancient eolian sediments. *Sedimentary Geology*, 55:1-15.
- Herries R.D. 1993. Contrasting styles of fluvial-aeolian interaction at a downwind erg margin: Jurassic Kayenta-Navajo transition, northeastern Arizona, USA. In: C.P. North & D.J. Prosser (Eds.), *Characterization of fluvial and aeolian reservoirs*, Geological Society of London Special Publication, vol. 73, pp. 199-218.
- Hunter R. 1977. Basic types of stratification in small eolian dunes. *Sedimentology*, 24:361-387.
- Hunter R.E. 1981. Stratification styles in eolian sandstones: some Pennsylvanian to Jurassic examples from western interior U.S.A. In: F.G. Ethridge & R.M. Flores (Eds.), *Recent and Ancient Nonmarine Depositional Environments: Models for Exploration*, SEPM Special Publication, vol. 31, pp. 315-329.
- Kocurek G. 1988. First order and super bounding surfaces in eolian sequences - bounding surfaces revisited. *Sedimentary Geology*, 56:193-206.
- Kocurek G. 1996. Desert aeolian systems. In: H.G. Reading (Ed.), *Sedimentary environments, processes, facies and stratigraphy*, Oxford. Blackwell Science, 2 ed., pp. 125-153.

- Langford R.P. 1989. Modern and ancient fluvial-eolian interactions: Part1, Modern systems. *Sedimentology*, **36**:1023-1035.
- Langford R.P. & Chan M.A. 1989. Modern and ancient fluvial-colian interactions: Part 2, Ancient systems. *Sedimentology*, **36**:1038-1051.
- Lavina E.L., Faccini U.F., Paim P.S.G. & Fragoso-Cesar A.R.S. 1985. Ambientes de sedimentação da Bacia do Camaquã, Eo-paleozóico do Rio Grande do Sul. *Acta Geologica Leopoldensia*, **21**:185-227.
- McKee E.D. 1966. Structures of dunes at the White Sands National Monument, New Mexico. *Sedimentology*, **7**:3-69.
- McKee E.D. 1979. Introduction to a study of global sandseas. *U.S. Geological Survey Professional Papers*, **1052**:1-19.
- Miall A.D. 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Sciences Reviews*, **22**:261-308.
- Miall A.D. 1990. *Principles of sedimentary basin analysis*. Springer-Verlag, New York, 2 ed., 668 pp..
- Miall A.D. 1991. Hierarchies of architectural units in terrigenous clastic rocks, and their relationship to sedimentation rate. In: A.D. Miall & N. Tyler (Eds.), *The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, *Concepts in Sedimentology and Paleontology*, vol. 3, pp. 6-12.
- Miall A.D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*. Springer. Berlin, 852 pp..
- Miall A.D. 2000. *Principles of sedimentary basin analysis*. Springer-Verlag, New-York, 3 ed., 616 pp..
- Miall A.D. & Tyler N. 1991. *The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery*, *Concepts in Sedimentology and Paleontology*, vol. 3. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 6-12 pp..

- North C.P. & Prosser D.J. 1993. Characterization of fluvial and aeolian reservoirs: problems and approaches. *Geological Society, London, Special Publications*, **73**:1-6.
- Paim P., Lopes R.C. & Chemale Jr. F. 1995. Aloestratigrafia, sistemas deposicionais e evolução paleogeográfica da Bacia do Camaquã - Vendiano Superior Ordoviciano Inferior do RS. In: *VI Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia I Encontro Geologia do Cone Sul*, SBG/Núcleo RS, Porto Alegre, RS, Boletim de Resumos Expandidos, pp. 39-50.
- Paim P.S.G. 1994. *Depositional Systems and Paleogeographical Evolution of the Camaquã and Santa Bárbara Basins, Brazil*. Tese de Doutorado, Oxford, 277 p.
- Paim P.S.G. 1996. O sistema desértico úmido Pedra Pintada (cambro-ordoviciano do RS). In: *XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia*, SBG, Salvador, BA, *Boletim de Resumos Expandidos*, vol. 2, pp. 207-209.
- Paim P.S.G. & Scherer C.M.S. 2003. Arquitetura estratigráfica de sucessões flúvio-eólicas: o exemplo do Alogrupo Guaritas na região da Pedra Pintada, Rio Grande do Sul, Brasil. In: P.S.G. Paim, U.F. Faccini & R.G. Netto (Eds.), *Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares - Estudo de casos*, Unisinos, pp. 38-58.
- Reading H.G. 1986. Facies. In: H.G. Reading (Ed.), *Sedimentary Environments and Facies*, 2 ed., pp. 4-19.
- Ribeiro M. & Lichtenberg E. 1978. Síntese da Geologia do Rio Grande do Sul. In: *XXX Congresso Brasileiro de Geologia*, SBG, Recife, PE, *Anais*, vol. 6, pp. 2451-2463.
- Ribeiro M., Bocchi P.R., Figueiredo Filho P.M. & Tessari R.I. 1966. Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul. Boletim 127, DNPM/DFPM, Rio de Janeiro, RJ, 232p.
- Robertson J.F. 1966. Revision of Stratigraphy and nomenclature of rock units in Caçapava-Lavras Region. *Notas e Estudos, IG-UFRGS*, **1**:41-54.
- Rubin D.M. & Hunter R.E. 1983. Reconstructing bedform assemblages from compound crossbedding. In: M.E. Brookfield & T.S. Ahlbrandt (Eds.), *Eolian Sediments and Processes, Developments in Sedimentology*, vol. 38, pp. 407-427.
- Scherer C.M.S. & Lavina E.L.C. 2005. Sedimentary cycles and facies architecture of aeolian-fluvial strata of the Upper Jurassic Guará; Formation, southern Brazil. *Sedimentology*, **52**:1323-1341.

- Stanistreet I.G. & Stollhofen H. 2002. Hoanib River flood deposits of Namib Desert interdunes as analogues for thin permeability barrier mudstone layers in aeolianite reservoirs. *Sedimentology*, **49**:719– 736.
- Walker R.G. 1992. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: R.G. Walker & N.P. James (Eds.), *Facies Models and Response to Sea-level Change*, Geological Association of Canada, Geotext 1, pp. 1–14.
- Ward J.D. 1988. Eolian, fluvial and pan (playa) facies of the Tertiary Tsondab Sandstone Formation in the central Namib Desert, Namibia. *Sedimentary Geology*, **55**:143–162.

DOAÇÃO
<i>TGL-USP</i>
Data: <i>07/05/08</i>

