



INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

ANÁLISE DE FÁCIES E EVOLUÇÃO ESTRATIGRÁFICA DA FORMAÇÃO
RIO DO RASTO NO BLOCO LESTE DA BACIA DO PARANÁ, RIO GRANDE DO
SUL

PAULA LUIZA DE LIMA

Porto Alegre, 2022.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

PAULA LUIZA DE LIMA

**ANÁLISE DE FÁCIES E EVOLUÇÃO ESTRATIGRÁFICA DA FORMAÇÃO
RIO DO RASTO NO BLOCO LESTE DA BACIA DO PARANÁ, RIO GRANDE DO
SUL**

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

Orientador: Prof. Dr. Claiton Marlon dos Santos Scherer

Supervisor: Dr. Adriano Domingos dos Reis

Porto Alegre, 2022.

CIP - Catalogação na Publicação

de Lima, Paula Luiza
Análise de Fácies e Evolução Estratigráfica da
Formação Rio do Rasto no Bloco Leste da Bacia do
Paraná, Rio Grande do Sul / Paula Luiza de Lima. --
2022.
76 f.
Orientador: Claiton Marlon dos Santos Scherer.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,
BR-RS, 2022.

1. Formação Rio do Rasto. 2. Bacia do Paraná. 3.
Evolução Estratigráfica. 4. Análise de Fácies. 5.
Correlação de Poços. I. Scherer, Claiton Marlon dos
Santos, orient. II. Título.

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**ANÁLISE DE FÁCIES E EVOLUÇÃO ESTRATIGRÁFICA DA FORMAÇÃO RIO DO RASTO NO BLOCO LESTE DA BACIA DO PARANÁ, RIO GRANDE DO SUL**” elaborado por PAULA LUIZA DE LIMA, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Juliano Kuchle

Profa. Dra. Amanda Rodrigues

Dr. Bruno Ludovico Dihl Horn

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao Instituto Geociências e aos brasileiros que contribuíram financeiramente com a minha formação.

À Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, através do PRH 14.1 pelo financiamento da pesquisa.

Ao Laboratório de Análises de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo da UFRGS por conceder os dois testemunhos para a descrição.

Agradeço aos meus pais por me apoiarem e me incentivarem a priorizar os estudos desde criança, só com o apoio e amor de vocês foi possível chegar até aqui.

À minha madrastra Aline, por todo companheirismo e carinho que sempre pude contar essencialmente em muitos momentos difíceis.

Aos meus avós que me criaram e sempre me deram muito amor, em especial ao meu falecido avô Luiz.

Agradeço o meu orientador Claiton Scherer, por ser uma inspiração como professor e pesquisador, e por confiar em mim para realizar este projeto.

Ao Adriano Reis por sua supervisão, amizade e “fofocalls”.

À Mônica por absolutamente tudo e por me ajudar em todas etapas durante a execução do projeto.

Obrigada Marcos, Bruno Horn, Rossano e todo o grupo “Rio do Rasto”, apesar de todas as dificuldades da pandemia, com vocês pude me sentir acolhida na Estrati.

Agradeço o meu namorado Matheus, por estar presente me acompanhando durante todo esse processo e por tornar minha vida mais bonita e leve.

Agradeço ao “geoapê” e a todos os agregados por transformarem essa casa em um lar acolhedor cheio de carinho e amizade.

Por fim, nada disso seria possível sem a amizade de LIMPETÃO: Luiza, Isa, Martin, Elisa e Thaís, obrigada por estarem comigo desde o início e transformarem todo os desafios durante a graduação em intermináveis risadas, amo cada um de vocês e vou levá-los no meu coração para o resto da minha vida.

“Por enquanto, hoje, eu vivia no silêncio daquilo que daí a três milênios, depois de eroso e de novo erguido, seria de novo escadas, guindastes, homens e construções.”

Clarice Lispector

RESUMO

No final do Permiano, a Bacia do Paraná passou por um processo gradual de continentalização, devido a expressivas mudanças climáticas e tectônicas, que acarretaram com a colmatação de um corpo aquoso interior. A Formação Rio do Rasto faz parte do limite superior do Grupo Passa Dois e Supersequência Gondwana I, e é dividida em dois membros: Serrinha (inferior) e Morro Pelado (superior), que representariam a fase final desta colmatação. Trabalhos anteriores mostraram muitas controvérsias interpretativas acerca de seu modelo deposicional, desde depósitos marinhos, deltaicos lacustres a sistemas fluviais distributivos, portanto o objetivo geral deste estudo consiste em analisar as fácies e associações de fácies de dois testemunhos da Formação Rio do Rasto no bloco leste da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, com o intuito de apresentar um modelo deposicional evolutivo dessa região no Permiano Tardio. Foram selecionados dois testemunhos do projeto CBM-UFRGS (poços Chico-Lomã e Morungava) abrangendo a formação Rio do Rasto no bloco leste da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, que foram descritos através de seções colunares. Foram reconhecidas 16 litofácies, as quais foram agrupadas em cinco associações de fácies: planície de inundação (AF-1), canais fluviais fracamente canalizados (AF-2), lobos de espriamentos proximais (AF-3), lobos de espriamentos distais (AF-4) e dunas eólicas (AF-5). Ambas seções mostraram um padrão progracional dos pacotes areníticos com o aumento de frequência e espessura para o topo. A base das seções consiste nos sedimentos do Membro Serrinha, com predominância de sedimentos finos, arenitos subordinados e com muitos níveis desenvolvendo paleossolos. Já a porção superior das seções apresenta corpos mais arenosos de canais fluviais, espriamentos terminais e dunas eólicas. O modelo deposicional proposto para as duas seções descritas da Formação Rio do Rasto é de que se trata de uma zona intermediária a distal de uma sistema fluvial distributivo (DFS) que avança em direção à oeste, onde os depósitos de Chico Lomã representam as porções mais proximais e Morungava, as porções mais distais. A partir da correlação, as seções foram subdivididas por zonas relacionadas as ocorrências das associações de fácies, onde: a zona 1 compreende a zona mais proximal, com a presença de todas as associações e principalmente, os canais fluviais e as dunas eólicas; a zona 2 é a porção intermediária que compreende os lobos de espriamentos proximais e distais; a zona 3 é a zona mais distal e corresponde aos depósitos de planície de inundação associados aos depósitos terminais dos lobos de espriamentos distais.

Palavras-Chave: Formação Rio do Rasto. Análise de fácies. Sistema fluvial distributivo.

ABSTRACT

In the Late Permian, the Paraná Basin underwent a gradual continentalization process, due to significant climatic and tectonic changes, which resulted in the colmatation of an interior water body. The Rio do Rasto Formation is part of the upper limit of the Passa Dois Group and Gondwana I Supersequence, and is divided into two members: Serrinha (lower) and Morro Pelado (upper), which would represent the final stage of this colmatation. Previous works have shown many interpretative controversies about its depositional model, from marine, lacustrine deltaic deposits to distributional fluvial systems, therefore the general objective of this study is to analyze the facies and facies associations of two cores of the Rio do Rasto Formation in the eastern block of the Paraná Basin in Rio Grande do Sul, in order to present an evolutionary depositional model of this region in the Late Permian. Two cores were selected from the CBM-UFRGS Project (Chico-Lomã and Morungava wells) covering the Rio do Rasto Formation in the eastern block of the Paraná Basin in Rio Grande do Sul, which were described by columnar sections. Sixteen lithofacies were recognized, which were grouped into five facies associations: floodplain (AF-1), poorly channeled fluvial channels (AF-2), proximal terminal splay (AF-3), distal terminal splay (AF-4) and aeolian dunes (AF-5). Both sections showed a progradational pattern of sandstone packs with increasing frequency and thickness towards the top. The base of the sections consists of the sediments of the Serrinha Member, with predominantly fine-grained, subordinate sandstones and with many levels developing paleosols. The upper portion of the sections presents more sandy bodies of fluvial channels, terminal splays and aeolian dunes. The depositional model proposed for the two described sections of the Rio do Rasto Formation is that is an intermediate to distal zone of a distributive fluvial system that advances westward, where the Chico-Lomã deposits represent the most proximal portions and Morungava the most distal portions. From the correlation, the sections were subdivided by zones related to the occurrence of facies associations, where: zone 1 comprises the most proximal zone, with the presence of all associations, and mainly, the fluvial channels and the aeolian dunes; zone 2 is the intermediate portion comprising the proximal and distal terminal splays; zone 3 is the most distal and corresponds to the floodplain deposits associated with the terminal deposits of distal terminal splays.

Keyword: Rio do Rasto Formation. Facies analysis. Distributive Fluvial System.

FIGURAS

Figura 1. Mapa da Bacia do Paraná indicando as Supersequências (Milani, 2004)...	16
Figura 2. Carta cronoestratigráfica da Supersequência Gondwana I modificado de Holz et. al. (2010).....	18
Figura 3. Classificação feita por Gordon Jr. (1947).....	18
Figura 4. Modelo de sedimentação interpretado por Gama Jr. (1979).....	20
Figura 5. Blocos diagramas mostrando o modelo de evolução sedimentar da Formação Rio do Rasto por Warren et al. (2008).....	22
Figura 6. Modelo esquemático do ambiente deposicional interpretado para o Membro Morro Pelado, na região leste de Santa Catarina e do Paraná (Schemiko et al., 2014).	23
Figura 7. Modelo de fácies do sistema de Leques Terminais modificado de Kelly & Olsen (1993). (1 = zona alimentadora; 2 a 4 = zona distributária; 5 = zona bacinal).	26
Figura 8. Modelo de fácies do sistema fluvial distributário proposto e modificado de Nichols & Fisher (2007).....	27
Figura 9. Na figura (A) é demonstrado o padrão radial de canais formados por bifurcações. Na figura (B) mostra o padrão radial de canais produzido por sucessivas avulsões nodais. Modificado de North & Warwick (2007).	28
Figura 10. Mapa de Localização dos testemunhos à esquerda e mapa geológico à direita (modificado de CPRM).	31
Figura 11. Folha padrão para o levantamento dos perfis colunares.....	32
Figura 12. Fotografias das fácies e caixas dos testemunhos.....	33
Figura 13. Janela de trabalho no Illustrator e transcrição dos perfis colunares.....	34
Figura 14. Relação entre as fácies, ambientes, sistemas deposicionais e tratos de sistemas. Adaptado de Walker & James (1992).....	37
Figura 15. Fotos das litofácies (A)Gm, (B) Sm, (C) Sh, (D) Sl, (E) St, (F) St (e), (G)Slu e Sw.	43
Figura 16. Fotos das litofácies: (H) Sr, (I) Sd, (J) Hf, (K) Hw, (J) HI, (M) FI, (N) Fm e (O) P.....	44
Figura 17. Impressões de conchas e paracalamites.	46
Figura 18. Perfil colunar (esquerda) descrito a partir do intervalo testemunhado (direita), exemplificando a associação de fácies AF-1.	47

Figura 19. Perfil colunar (esquerda) descrito a partir do intervalo testemunhado (direita), exemplificando a associação de fácies AF-2.	49
Figura 20. Feições dos depósitos fluviais: bases erosivas compostas por intraclastos.	50
Figura 21. Perfil colunar (esquerda) descrito a partir do intervalo testemunhado (direita), exemplificando a associação de fácies AF-3.	52
Figura 22. Ciclos alternando as litofácies SI e Sr nos lobos de espraiaamentos proximais.	53
Figura 23. Perfil colunar (esquerda) descrito a partir do intervalo testemunhado (direita), exemplificando a associação de fácies AF-4.	55
Figura 24. Fotos das litofácies (A) litofácies HI (B) paleossolos com slickensides e concreções carbonáticas (C) heterolito wavy com dobras convolutas (D) HI com intervalo de 2 cm com fragmentos de ossos.	56
Figura 25. Perfil colunar (esquerda) descrito a partir do intervalo testemunhado (direita), exemplificando a associação de fácies AF-5.	57
Figura 26. Modelo deposicional da Fm. Rio do Rasto no bloco leste da Bacia do Paraná (RS).	61
Figura 27. Correlação dos poços CBM MO e CBM CL e as determinadas zonas 1, 2 e 3 com os diagramas representando às proporções das associações de fácies de cada zona e de cada poço.	63

QUADROS

Quadro 1. Código de fácies proposto e adaptado de Miall (2006).	36
Quadro 2. Litofácies descritas no intervalo da Formação Rio do Rasto no bloco leste do Rio Grande do Sul, Bacia do Paraná.	39
Quadro 3. Associação de fácies discriminadas nos testemunhos de sondagem descritos.....	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Tema do estudo	13
1.2 Objetivos e metas	14
1.3 Justificativa do estudo	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Contexto geológico	15
2.1.1 Bacia do Paraná	15
2.1.2 Grupo Passa Dois	16
2.1.3 Formação Rio do Rasto	17
2.2 Sistemas fluviais distributivos	24
3 MÉTODOS	29
3.1 Etapa Introdutória	30
3.1.1 Revisão Bibliográfica	30
3.1.2 Seleção da Área de Estudo e Furos de Sondagem	30
3.2 Etapa de campo	31
3.2.1 Levantamento estratigráfico	31
3.2.2 Aquisição de fotos dos testemunhos e das fácies	33
3.3 Etapa pós-campo	34
3.3.1 Digitalização dos Perfis Colunares	34
3.3.2 Análise de fácies	34
3.4 Correlação de poços e heterogeneidades de reservatórios	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1 Litofácies e associação de fácies	39
4.1.1 Associação de Fácies de Planície de Inundação (AF-1)	45
4.1.2 Associação de Fácies de Canal Fluvial Fracamente Canalizado (AF-2)	48
4.1.3 Associação de Fácies Lobo de Espriamento Proximal (AF-3)	51
4.1.4 Associação de Fácies Leque Terminal Distal (AF-4)	54
4.2 Modelo deposicional	58
4.3 Correlação das seções colunares	61
5 CONCLUSÕES	64
REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

1.1 Tema do estudo

Estudos nas bacias sedimentares paleozoicas têm indicado importantes mudanças paleoambientais durante o Permiano Superior até o limite Paleozoico-Mesozoico, onde a agregação dos continentes que formaram o supercontinente Pangea causaram consequentes mudanças de gradiente de temperatura (Lavina, 1991). No Permiano médio (Guadalupeano), houve desenvolvimento de mares epicontinentais, enquanto no Permiano superior (Lopingiano) as bordas do Pangea foram soerguidas, seccionando esses mares. O vulcanismo hercínico contribuiu com que o efeito estufa gradualmente aumentasse, perdurando um padrão climático de altas temperaturas até a fragmentação do Pangeia no Jurássico Superior (Lavina, 1991; Milani & Ramos, 1998; Rohn, 1994). Além disso, no limite Permo-Triássico houve a maior crise faunística do Fanerozóico, com uma grande queda na diversidade biótica (Lavina, 1991).

O final do permiano é caracterizado por um intenso processo de aridização, marcado pela expansão dos campos de dunas eólicas e redução dos sistemas fluviais em direção ao limite Permo-Triássico. Diferentes bacias do Gondwana (Limarino *et al.*, 2014) apresentam o registro dessa mudança paleoambiental, incluindo a Bacia do Paraná (Rodrigues, 2014). Na Bacia do Paraná, o final do Permiano é representado pelo Grupo Passa Dois, em especial pela Formação Rio do Rasto (Meso-Neopermiano). Subdividida pelos membros Serrinha (inferior) e Morro Pelado (superior), a Formação Rio do Rasto é alvo de discussões acerca das interpretações de seus ambientes deposicionais (Figura 2) (Holz *et al.*, 2010). Apesar desta controvérsia interpretativa, é consenso que a unidade representa uma sucessão progradacional, com o aumento sucessivo de pacotes de arenitos finos a médios em direção ao topo (Lavina, 1991; Milani & Ramos, 1998). A expansão da ocorrência de estratos de dunas eólicas no Membro Morro Pelado sugere um aumento de aridez ao longo do tempo (Lavina, 1991; Rohn, 1994; Schemiko, 2013b; Warren *et al.*, 2008).

1.2 Objetivos e metas

O objetivo geral deste estudo consiste em apresentar um modelo deposicional evolutivo para a Formação Rio do Rasto, no bloco leste da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, e analisar as heterogeneidades de reservatório através desse modelo. Logo, os objetivos específicos que se destacam são:

- Identificar e caracterizar as fácies, as associações de fácies e os elementos arquiteturais;
- Definir os sistemas deposicionais;
- Interpretar a evolução estratigráfica da Formação Rio do Rasto e sua conexão com os eventos tectônicos e climáticos regionais do Gondwana durante o Meso-Neopermiano;
- Analisar as heterogeneidades de reservatórios no modelo deposicional caracterizado.

1.3 Justificativa do estudo

O entendimento do sistema deposicional e a evolução da Formação Rio do Rasto no bloco leste da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul traz uma nova abordagem para o estudo da unidade nesta região, contribuindo para o entendimento dos processos envolvidos na continentalização da Bacia do Paraná no final do Permiano. Do ponto de vista da Geologia do Petróleo, o entendimento das relações estratigráficas entre os depósitos geneticamente variados da Formação Rio do Rasto servem como um modelo análogo de heterogeneidades para reservatórios continentais em contextos semelhantes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Contexto geológico

2.1.1 Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná é uma bacia intracratônica sul-americana, que compreende o centro-sul do Brasil, norte do Uruguai e partes do Paraguai e Argentina (Holz *et al.*, 2010). A bacia possui uma forma alongada de NE a SW, com uma área aproximada de 1,7 milhão de km² (Holz *et al.*, 2010). De acordo com Milani (1998), o arcabouço estratigráfico da Bacia do Paraná é constituído por seis Supersequências (Figura 1): Rio Ivaí (Caradociano-Landoveriano), Paraná (Lockoviano-Fresniano) e Gondwana I (Westfaliano-Scythiano) representam grandes ciclos transgressivos-regressivos paleozóicos, enquanto Gondwana II (Anisiano-Noriano), Gondwana III (Neojurássico-Berriasiano) e Bauru (Aptiano-Maestrichtiano) são formados por sucessões continentais mesozoicas e estão associados a rochas ígneas na Supersequência Gondwana III.

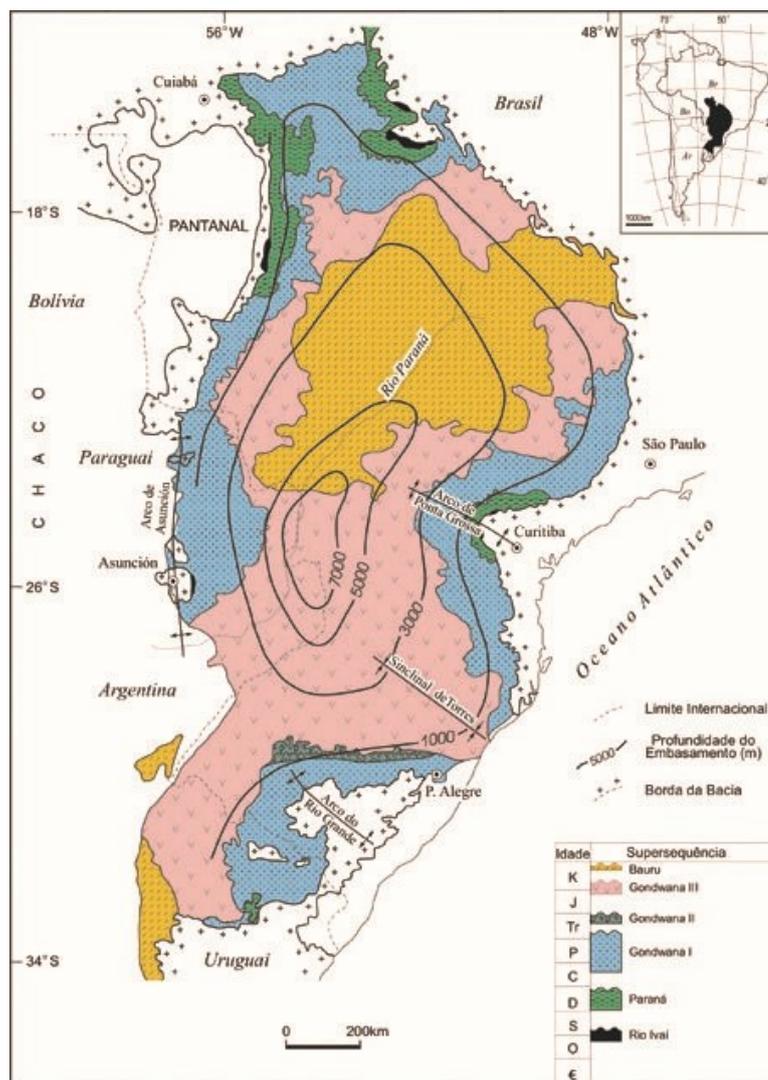


Figura 1. Mapa da Bacia do Paraná indicando as Supersequências (Milani, 2004).

2.1.2 Grupo Passa Dois

O Grupo Passa Dois (Carbonífero-Eotriássico), na porção sul da Bacia do Paraná, compreende as formações Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto e nos estados de São Paulo, Goiás e Mato Grosso constitui-se das formações Irati e Corumbataí (Schneider *et al.*, 1974). A formação Irati é a unidade basal do Grupo Passa Dois e se subdivide nos membros Taquaral (inferior) e Assistência (superior). É composta por depósitos de folhelhos pretos betuminosos na porção sul da bacia, e carbonatos e evaporitos na porção norte, refletindo a restrição do oceano Panthalassa

com o continente em um contexto de bacia rasa, restrita e hipersalina resultante (Milani *et al.*, 2007).

A bacia rasa documenta a última incursão marinha na Bacia do Paraná através dos depósitos de folhelhos cinza-escuros de contextos marinhos da Formação Serra Alta (Milani *et al.*, 2007). Após isso, a bacia começa uma tendência regressiva em grande escala até os sedimentos costeiros da Formação Teresina, que dão lugar à seção progradação dos arenitos e pelitos flúvio-lacustres da Formação Rio do Rasto (Milani *et al.*, 2007).

No sul da Bacia do Paraná, depósitos flúvio-eólicos constituídos pela formação Sanga do Cabral, correspondentes à Formação Buena Vista no Uruguai, se desenvolvem representando uma progradação continental sobre os depósitos do mar interior remanescentes na Bacia do Paraná (Milani *et al.*, 2007). No domínio norte, a Formação Pirambóia ocorre de forma análoga com seus depósitos eólicos e fluviais subordinados no final da deposição do Grupo Passa Dois (Milani *et al.*, 1998).

2.1.3 Formação Rio do Rasto

A Formação Rio do Rasto ocorre nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e está localizada na porção terminal da Supersequência Gondwana I (Grupo Passa Dois) (Figura 2), registrando uma progressiva continentalização dos sistemas deposicionais da Bacia do Paraná (Milani & Ramos, 1998). De idades Meso/Neopermiana (Wordiano a Wuchiapingian), a Formação Rio do Rasto foi dividida por Gordon Jr (Gordon Júnior, 1947) nos membros Serrinha (inferior) e Morro Pelado (superior). O Membro Serrinha tem uma espessura que varia de 150 a 250 m e é formado por argilitos e siltitos de coloração cinza, e arenitos de granulação fina a muito fina. Por outro lado, o pacote correspondente ao Membro Morro Pelado varia entre 250 e 300 m de espessura e é constituído por arenitos finos a médios, intercalados com siltitos e argilitos avermelhados (Holz *et al.*, 2010).

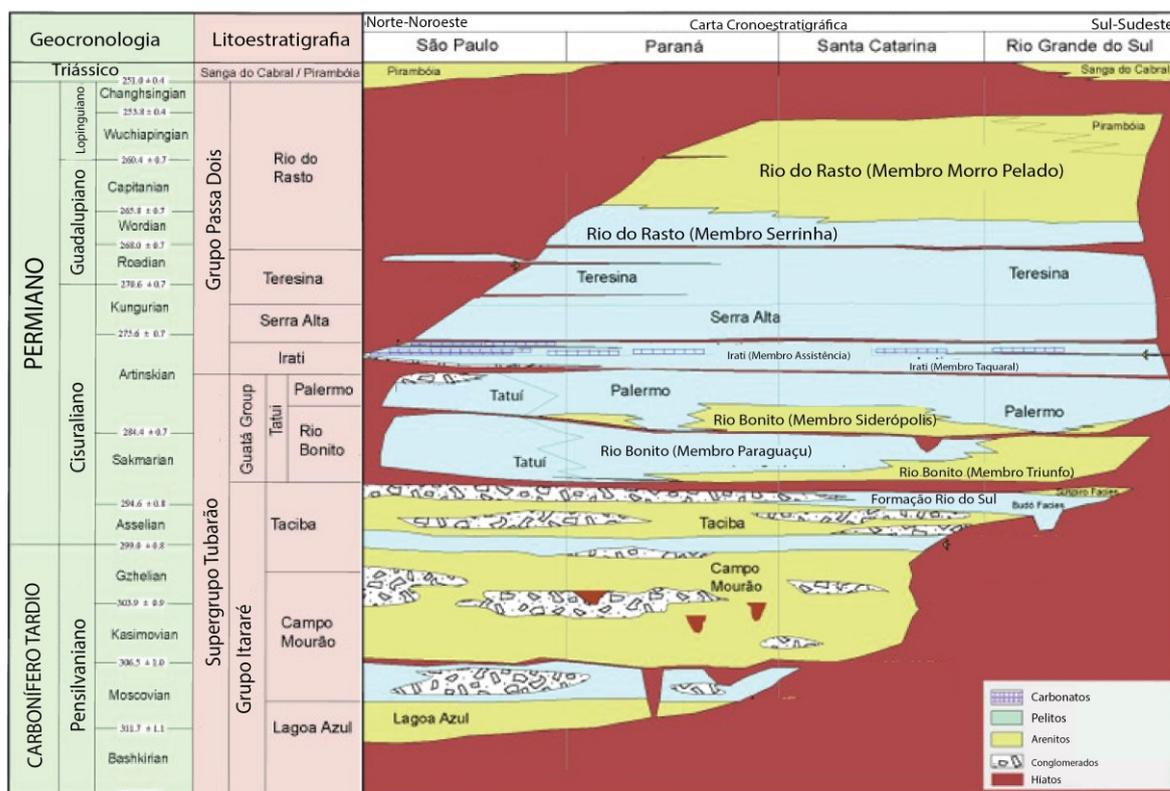


Figura 2. Carta cronoestratigráfica da Supersequência Gondwana I modificado de Holz *et. al.* (2010).

O primeiro a descrever a Formação do Rio do Rasto foi White (1908) ao referir-se à sequência de litologias vermelhas na Bacia do Paraná como “Camadas Vermelhas do Rio do Rasto” e incluí-la na Série São Bento. Posteriormente, Gordon Jr (1947) separou a formação nos membros Serrinha e Morro Pelado, divisão que prevaleceu posteriormente com pequenas modificações (Figura 3).

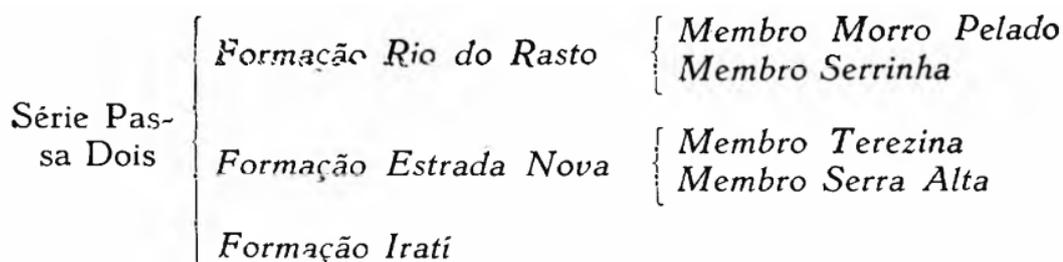


Figura 3. Classificação feita por Gordon Jr. (1947)

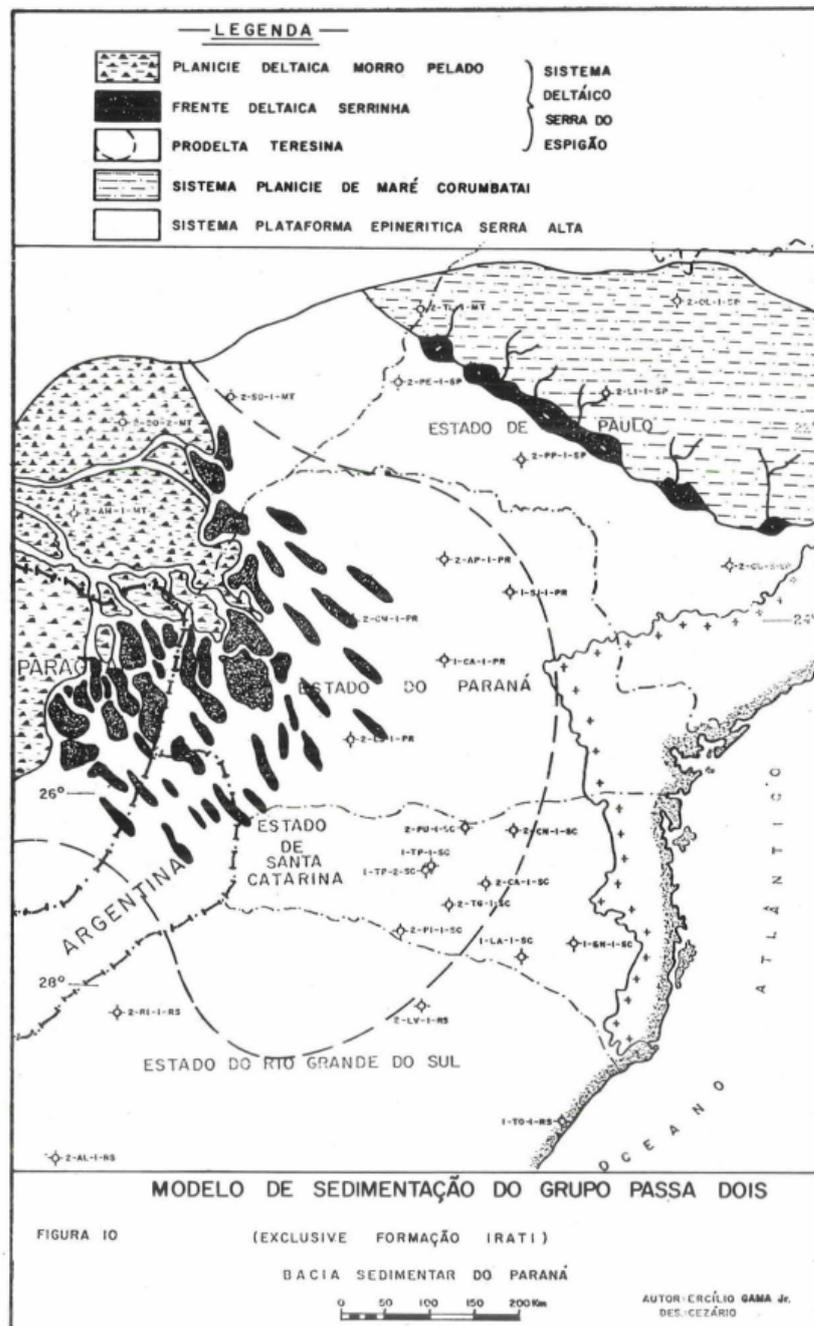
Até o final da década de 40, muitos trabalhos consideravam as unidades Estrada Nova e Rio do Rasto de origem marinha (Rohn, 1988a). Neste cenário, Leanza (1948) foi o primeiro a identificar essas unidades como continentais, e, posteriormente, Maack (1947) sugeriu que durante a deposição da Formação Estrada Nova, ocorreu uma mudança de condições salobras para água doce.

Mendes (1954) interpretou que o ambiente de sedimentação do Grupo Passa Dois se tratava de uma bacia aquosa, extensa e rasa, onde não ocorria nenhuma associação faunística estritamente marinha. Além disso, Beurlen (1957) e Loczy (1966) interpretaram como um ambiente lacustre, em que no decorrer da acumulação da Formação Rio do Rasto, passou de uma ampla bacia para lagoas menores, nas quais houve um gradual aumento do clima semiárido.

Já Bischoff (1957) e Sanford & Lange (1960) acreditavam que seria um ambiente transicional, onde as camadas marinhas do Membro Teresina passariam aos poucos para camadas continentais do Rio do Rasto. Northfleet *et al.* (1969) também interpretaram como ambiente transicional, no qual a Formação Teresina representaria planícies de maré e a Formação Rio do Rasto corresponderiam a depósitos continentais formados por canais fluviais com planícies de inundação.

Bigarella (1973) foi o primeiro a identificar depósitos de dunas eólicas na Formação Rio do Rasto, sugerindo um ambiente fluvial e de *playa*. Castro & Medeiros (1980) também interpretaram alguns arenitos como dunas eólicas, e os arenitos lenticulares do Morro Pelado foram interpretados como lobos de suspensão em meio lacustre, nos quais os cursos de água despejavam suas cargas com feições de desembocadura.

Gama Jr. (1979) propôs um modelo pouco aceito por outros autores, considerando as unidades Serra Alta, Teresina, Serrinha e Morro Pelado como pertencentes a um sistema deltaico altamente destrutivo e dominado por marés, constituindo respectivamente a plataforma epinerítica, com prodelta, frente deltaica e planície deltaica com direção NW para SE (Figura 4).



Revista Brasileira de Geociências volume 9

Figura 4. Modelo de sedimentação interpretado por Gama Jr. (1979).

Rohn (1988) sugeriu pela primeira vez a presença de estruturas sedimentares depositadas por ondas no Membro Serrinha, num sistema lacustre sem influência de marés. Posteriormente, Lavina (1991) manteve esta interpretação da evolução da Formação Rio do Rasto como um lago de grandes dimensões influenciado por ondas

de tempestades. Em seguida, esse grande corpo lacustre teria sido dividido em pequenos lagos com a presença de deltas dominados por rios efêmeros e com a presença de dunas eólicas.

Lavina (1991) individualizou as fácies sedimentares presentes na Formação Rio do Rasto, interpretando os seus respectivos ambientes deposicionais. A fácies pelitos avermelhados corresponderia à deposição de sedimentos em ambientes de águas calmas e rasas, conforme indicado pela presença de fendas de ressecamento. Arenitos tabulares finos a muitos finos, com pelitos associados e aumento de espessura e frequência gradual para o topo (*coarsening upward*), foram interpretados como correntes de turbidez na desembocadura de cursos de água em lagos. A fácies de arenitos lenticulares posicionados no topo dos ciclos de *coarsening upward*, com ausência significativa de erosão nos contatos com os pelitos, seriam indicativos de barras de desembocadura de canais distributários e canais de *crevasse* em ambiente de frente deltaica. Os arenitos dispostos em corpos lenticulares de base erosiva, com estratificações cruzadas de pequeno a médio porte, foram associados a canais distributários deltaicos e canais de *crevasse*. Por fim, os arenitos com estratificações cruzadas de grande porte, bimodais, representariam dunas eólicas.

Warren *et al.* (2008) interpretaram a Formação Rio do Rasto como composta por sedimentos de planície e frente deltaica, com a predominância de canais distributários meandranes na planície que adquiriam um caráter retilíneo até a frente deltaica, na qual predominavam depósitos de barras de desembocadura e correntes de fundo, associados a fluxos hiperpicnais (Figura 5).

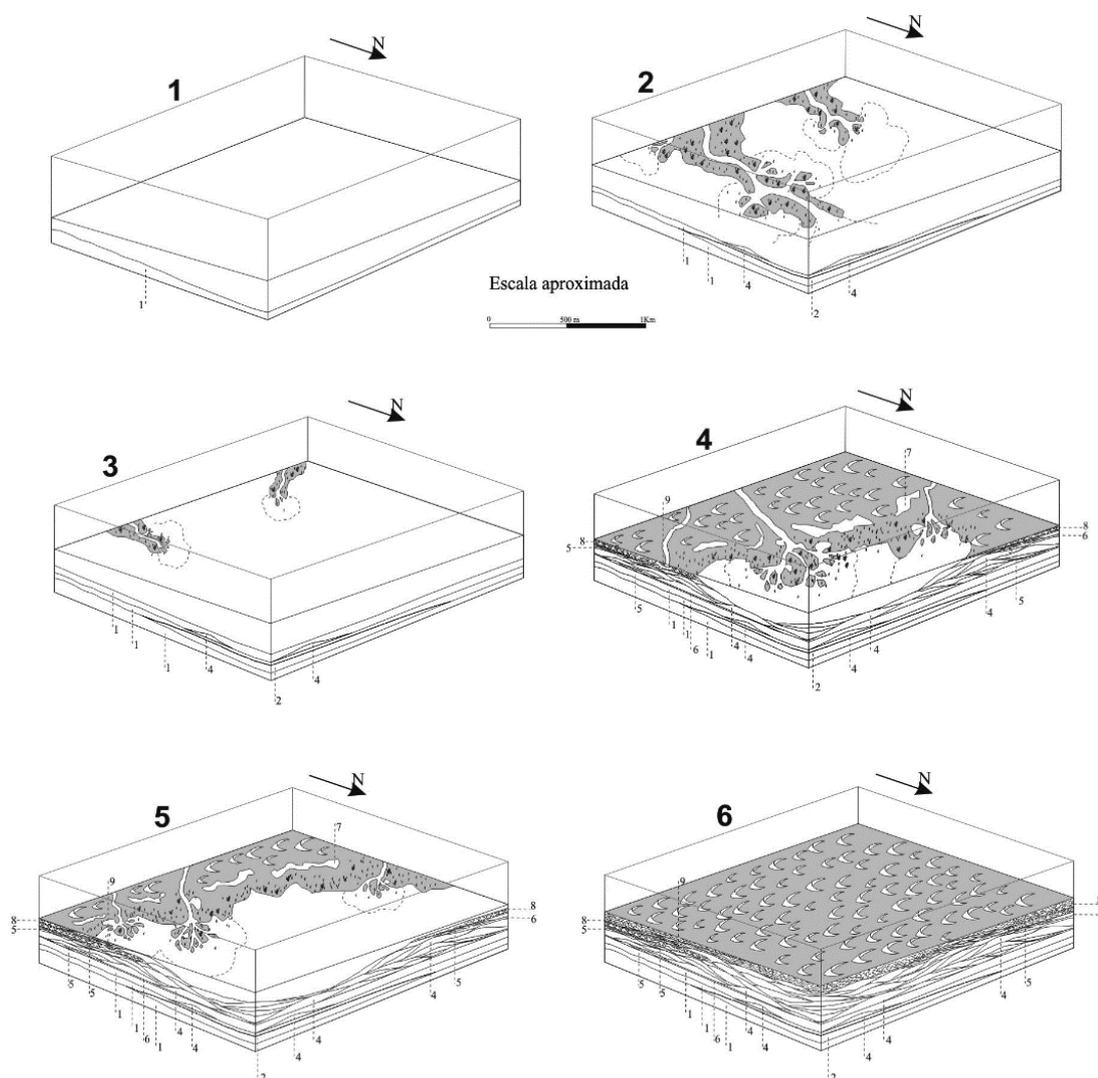


Figura 5. Blocos diagramas mostrando o modelo de evolução sedimentar da Formação Rio do Rasto por Warren et al. (2008).

Mais recentemente, Schemiko *et al.* (2013) propuseram uma nova hipótese de ambiente deposicional para a porção superior da Formação Rio do Rasto. Esses autores realizaram a análise de fácies do Membro Morro Pelado, o descrevendo como um sistema fluvial distributivo do tipo *single-thread sinuous (meandering) anabranching* (Davidson et al., 2013). Através do estudo na região leste dos estados de Santa Catarina e Paraná, Schemiko *et al.* (2013) dividiu o Membro Morro Pelado em quatro associações litofaciológicas, cada uma composta por uma série de elementos arquiteturais.

A associação A compreende um sistema fluvial meandrante na porção intermediária de um sistema fluvial distributivo, constituído por depósitos de barras de acreção lateral, lobos de rompimento de diques marginais e planície de inundação. A associação B consiste na porção distal de um sistema fluvial distributivo, com depósitos de espraamentos terminais intercalados com finos de planície deltaica associados a depósitos de canais rasos. Já a associação C representa um sistema deltaico dominado por rios em períodos de subida de nível de base, formando deltas de inundação. A associação D é composta por depósitos de campo de dunas relacionados com depressões e planícies interdunares em um sistema eólico úmido associado a todas as porções do sistema fluvial distributário (Schemiko, 2013).

Dentro do modelo de sistema fluvial distributário de Schemiko *et al.* (Schemiko, 2013) (figura 6), a associação A corresponde aos canais fluviais meandrantas, predominantes na zona mais proximal. A associação B corresponde a depósitos de fluxos em lençol e espraamentos terminais mais comuns na zona fluvial distal. Também na zona distal ocorrem os sistemas deltaicos dominados por rios da associação C, associados a momentos de nível de lago alto. Já a associação D, corresponderia a depósitos de dunas e interdunas que ocorreriam em diversas áreas do sistema fluvial distributário.

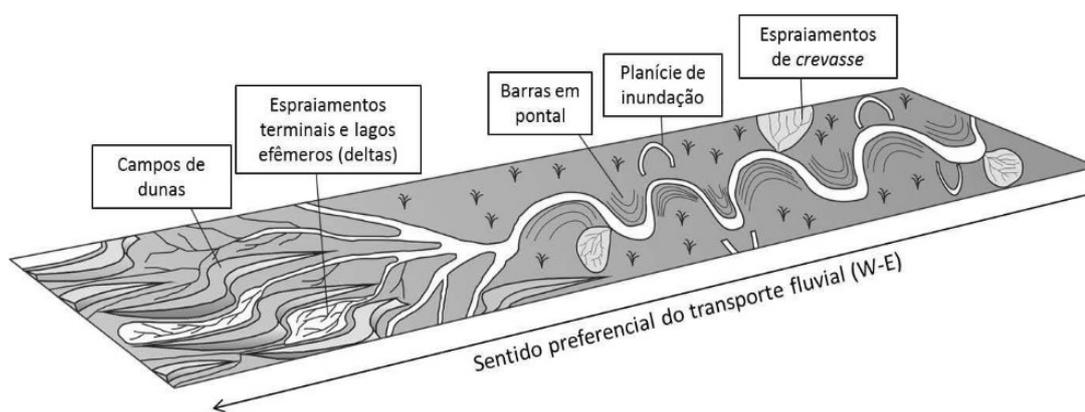


Figura 6. Modelo esquemático do ambiente deposicional interpretado para o Membro Morro Pelado, na região leste de Santa Catarina e do Paraná (Schemiko *et al.*, 2014).

2.2 Sistemas fluviais distributivos

Friend (1977) introduziu o conceito de “leque aluvial terminal” quando percebeu que alguns sistemas fluviais antigos são distintos de muitos sistemas fluviais modernos. Observou nesses sistemas uma tendência geral à diminuição do tamanho de grão e espessura dos arenitos e crescentes proporções de siltito a jusante. Foram distinguidas três características que poderiam indicar esses sistemas no registro estratigráfico: (1) diminuição da profundidade do rio a jusante, (2) ausência de incisão aluvial e (3) topografia lobada convexa para cima (Nichols & Fisher, 2007). Friend (1977) introduziu o modelo de leque terminal usando exemplos antigos de “*terminal fans*” descritos por Mukerji (1976), acreditava que a morfologia desses sistemas teria sido resultado de perdas de descarga associadas ao clima seco no terminal (North & Warwick, 2007).

O conceito de leque terminal (*terminal fan*) foi ampliado no trabalho de Kelly & Olsen (1993), no qual foi elaborado um modelo morfológico hipotético com alguns exemplos devonianos. Concluíram que os leques terminais carregam fluxos que perdem toda sua vazão devido à evaporação e infiltração, típicos em ambientes de clima árido a semi-árido, com possíveis ocorrências de retrabalhamento eólico. Para Kelly & Olsen haviam dois processos primários envolvidos no desenvolvimento desses sistemas: (1) quebra de um rio em uma rede de distribuição e sua subsequente (2) perda de água por evaporação e infiltração. Entendia-se como principal processo de formação da rede de distribuição o mecanismo de bifurcação de canal, como forma de dissipar a energia do sistema e a avulsão ou *crevasse splay* como mecanismo alternativo.

Kelly & Olsen (1993) dividiram o sistema em três zonas (figura 7): zona alimentadora, zona de distribuição e zona bacinal. A zona alimentadora é caracterizada por canais de alimentação principal com depósitos de sedimentos mais grossos associados a sedimentos finos das áreas intercanais dominadas por lamitos e arenitos de inundação, podendo ocorrer também fácies eólicas (Kelly & Olsen, 1993).

Na zona de distribuição ocorrem canais de distribuição resultantes da bifurcação a jusante dos canais principais, comumente efêmeros, entrelaçados e ocasionalmente podem ocorrer fluxos perenes em canais maiores. As características dos canais variam espacialmente e temporalmente de acordo com as variações de descarga do sistema, no entanto, é comum o desaparecimento de alguns canais incisados e o domínio de fluxos não canalizados a jusante. As áreas distais são representadas por lóbulos em formas de leque que ocorrem devido inundações com capacidade erosiva relativamente baixa. Podem se desenvolver alguns depósitos lacustres efêmeros por períodos curtos de tempo, por outro lado a exposição prolongada da região de intercanais pode desenvolver um retrabalhamento eólico formando dunas eólicas e lençóis de areia. Desse modo, a zona de distribuição é formada por um conjunto de depósitos e combinação de fluxos com a tendência geral dos canais serem gradualmente substituídos por inundações não canalizadas nas regiões mais distais (Kelly & Olsen, 1993).

A zona bacinal é a região mais distante do sistema, no qual o fluxo é drenado. Esta área só receberá depósitos de sedimentos de granulação fina e depósitos de canais após grandes e extremos eventos de inundação. São dominantes nesta zona, os depósitos de ambientes eólicos (Kelly & Olsen, 1993).

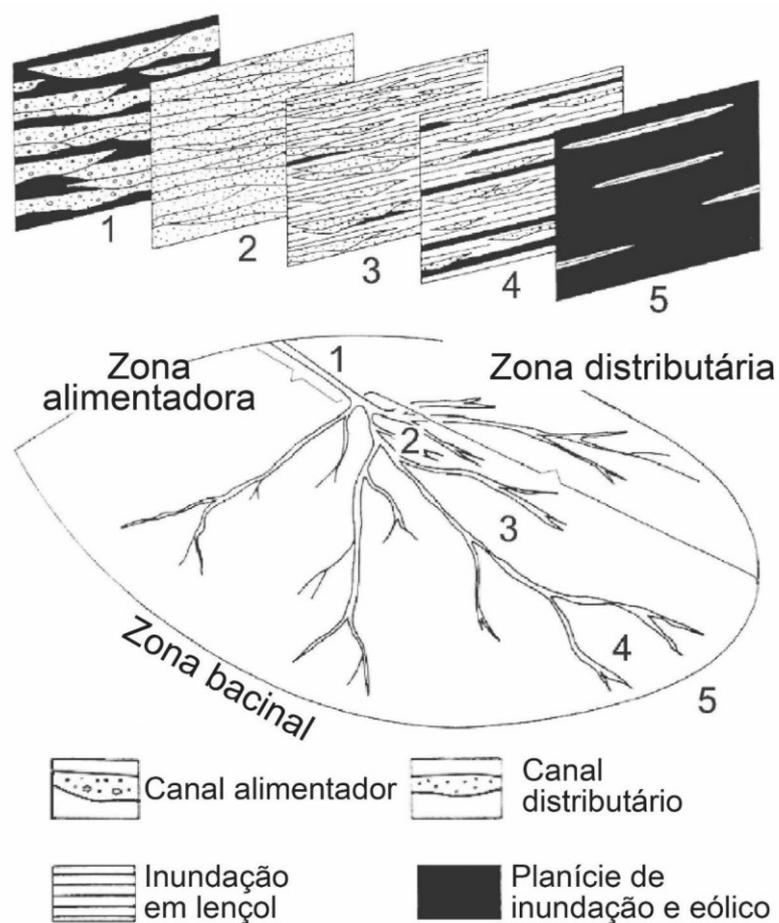


Figura 7. Modelo de fácies do sistema de Leques Terminais modificado de Kelly & Olsen (1993). (1 = zona alimentadora; 2 a 4 = zona distributária; 5 = zona bacinal).

Nichols & Fisher (2007) definiram através de exemplos miocênicos da Bacia de Ebro, o “sistema fluvial distributário” (figura 8) como um novo termo para descrever a forma de um sistema fluvial que tem forma de leque com diminuição na descarga e nas dimensões dos canais fluviais a jusante. O sistema é diferenciado de outros trabalhos por possuir uma área distal formada por espraiamentos terminais “*terminal splays*”, que eventualmente podem se tornar um delta de lago de inundação quando o nível de base estiver alto, portanto, sem o caráter terminal. Esses sistemas também englobam adicionalmente sistemas aluviais e fluviais não terminais, em vista disso os autores inferiram que esses sistemas não poderiam ser chamados de leques terminais (Nichols & Fisher, 2007).

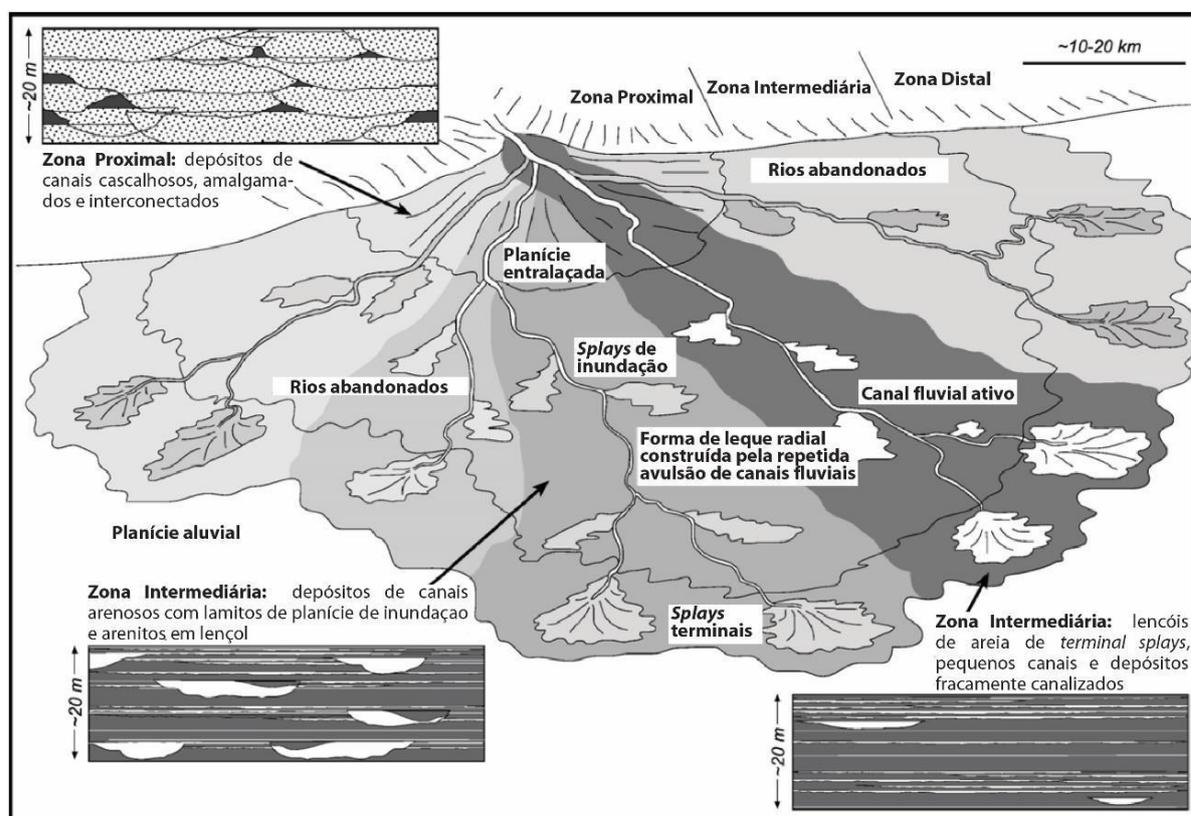


Figura 8. Modelo de fácies do sistema fluvial distributário proposto e modificado de Nichols & Fisher (2007).

Em seguida, North & Warwick (2007) sugerem o abandono dos termos utilizados nos trabalhos anteriores como “leque terminal” e “sistema fluvial distributário”. Os autores revisaram exemplos utilizados como análogos, demonstrando que esses modelos são um tanto equivocados ao supor que rios em ambientes áridos terão obrigatoriamente morfologia de leque terminal com tendência a bifurcações a jusante, visto que esses sistemas geralmente são deltas lacustres herdados de épocas anteriormente mais úmidas. É reconhecido que o Rio Markanda, que fora descrito anteriormente (Friend, 1977; Mukerji, 1976; Parkash *et. al.*, 1983), teria se originado em uma época mais úmida quando era um afluente maior, portanto não pode ser classificado como exemplo de ambientes de climas secos, além disso, o ambiente pode ter passado por diversas influências humanas causando impacto na caracterização de leque terminal, fazendo do Rio Markanda um análogo incorreto pra ser usado como modelo representativo (North & Warwick, 2007).

O termo distributário proposto por Nichols & Fisher (2007) também é contestado, por ser uma descrição vaga das redes de canais, abrangendo apenas a aparência superficial observada em imagens aéreas e de satélite, sem levar em conta os processos formadores. Levando em conta o significado de distributário “ramos de um córrego que distribuem a carga de água e sedimentos de um canal principal entre muitos pequenos canais e que não se juntam ao conduto tronco”, esta definição implica que o fluxo de todos os canais flui ao mesmo tempo, o que é a exceção e não a regra. Os autores demonstram que a maioria dos canais é de gerações diferentes e não estiveram simultaneamente ativos, mas sim evoluem como resultado de avulsões nodais de múltiplos canais (figura 9) (North & Warwick, 2007).

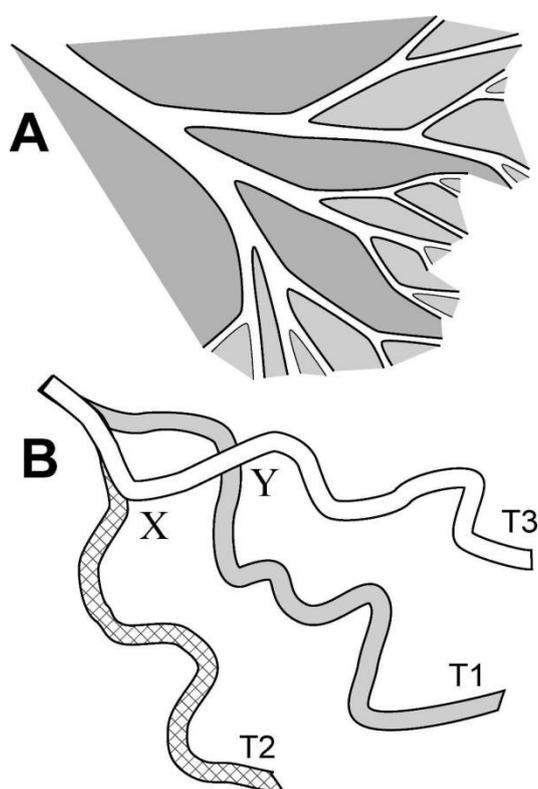


Figura 9. Na figura (A) é demonstrado o padrão radial de canais formados por bifurcações. Na figura (B) mostra o padrão radial de canais produzido por sucessivas avulsões nodais. Modificado de North & Warwick (2007).

Hartley *et. al.* (2010) usaram o termo “Sistema Fluvial Distributivo” (DFS) para representar um sistema fluvial que exhibe um padrão radial e distributivo visto em

planta, sem necessariamente todos os canais estarem ativos simultaneamente. Esta ampla definição incluiu os megaleques fluviais de maior escala, os leques fluviais de média escala e os leques aluviais de menor escala.

De acordo com Weissmann *et al.* (2010) os depósitos de sistemas fluviais distributivos (DFS) fazem parte da maior parte do registro fluvial em bacias sedimentares continentais e são desenvolvidos apenas em ambientes agradacionais com subsidência ativa (Hartley *et al.*, 2010). Podem se desenvolver em diversos regimes climáticos, como regiões de climas áridos, tropicais, subtropicais, continentais e polares. Também ocorrem em regimes tectônicos extencionais, compressivos, transcorrentes e cratônicos, exercendo influências importantes nas características dos DFS. Os sistemas fluviais distributivos mais longos ocorrem em bacias *foreland* e cratônicas, onde podem se desenvolver bastante lateralmente em uma suave inclinação. Já os que se desenvolvem em bacias extencionais, *strike slip* e *piggy back* são mais estreitos com espaço horizontal mais limitado e possuem comprimentos menores (HARTLEY *et al.*, 2010).

O clima exerce influência na descarga e na distância do escoamento até o sistema se manter ativo. Sistemas entrelaçados dominam todas as configurações tectônicas, especialmente os regimes de compressão e tendem a ocorrer em áreas de alto relevo e terra firme, onde a descarga é intermitente com suprimento alto de sedimentos. DFS com canais sinuosos ocorrem em climas áridos, mas predominam em climas mais úmidos e tropicais, onde a descarga e o suprimento de sedimentos são constantes (HARTLEY *et al.*, 2010).

3 MÉTODOS

Os métodos aplicados neste projeto estão relacionados à aquisição, ao processamento e à interpretação de dados estratigráficos de testemunhos de sondagens da Formação Rio do Rasto no bloco leste do Rio Grande do Sul. Foram descritos 152 m do testemunho CBM 001 MO-RS e 95 m do testemunho CBM 001 CL-RS, totalizando 247 m. Esses poços foram gentilmente cedidos pelo Laboratório

de Análises de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo do Instituto de Geociências da UFRGS. Os métodos foram aplicados em três etapas: etapa introdutória, etapa de coleta de dados e etapa de tratamento de dados.

3.1 Etapa Introdutória

3.1.1 Revisão Bibliográfica

Para a revisão bibliográfica, foram consultados os principais livros e artigos sobre os conceitos básicos de sedimentologia, sistemas deposicionais, heterogeneidades de reservatórios e gênese de paleossolos. Ademais, foram utilizados os principais trabalhos referentes à Formação Rio do Rasto e à contextualização do Grupo Passa Dois na evolução da Bacia do Paraná no final do Permiano. Para uma melhor organização ao longo do desenvolvimento do projeto, foi utilizado o software *Mendeley*® para catalogar os trabalhos, auxiliando na elaboração do referencial teórico. A revisão bibliográfica se iniciou na etapa pré-campo, mas deve ocorrer durante todo o desenvolvimento do projeto, como suporte à execução e na discussão dos resultados.

3.1.2 Seleção da Área de Estudo e Furos de Sondagem

Tendo como área alvo o Bloco Leste do Rio Grande do Sul (sensu Scherer *et al.*, 2021), foram selecionados dois testemunhos de sondagens que foram realizados pelo projeto CBM (CNPq 551239/2010-7) através do Laboratório de Análises de Carvão e Rochas Geradoras de Petróleo da UFRGS, devido a boa distribuição geográfica dentro do bloco e a disponibilidade com fácil acesso para a descrição na UFRGS. O poço CBM 001 CL-RS (Levandowski, 2013) fica localizado na cidade de Santo Antônio da Patrulha na jazida de carvão de Chico Lomã e o poço CBM 001 MO- RS (Simão, 2016) em Gravataí na jazida de Morungava (figura 10). Os dois poços possuem 25 quilômetros de distância entre si.

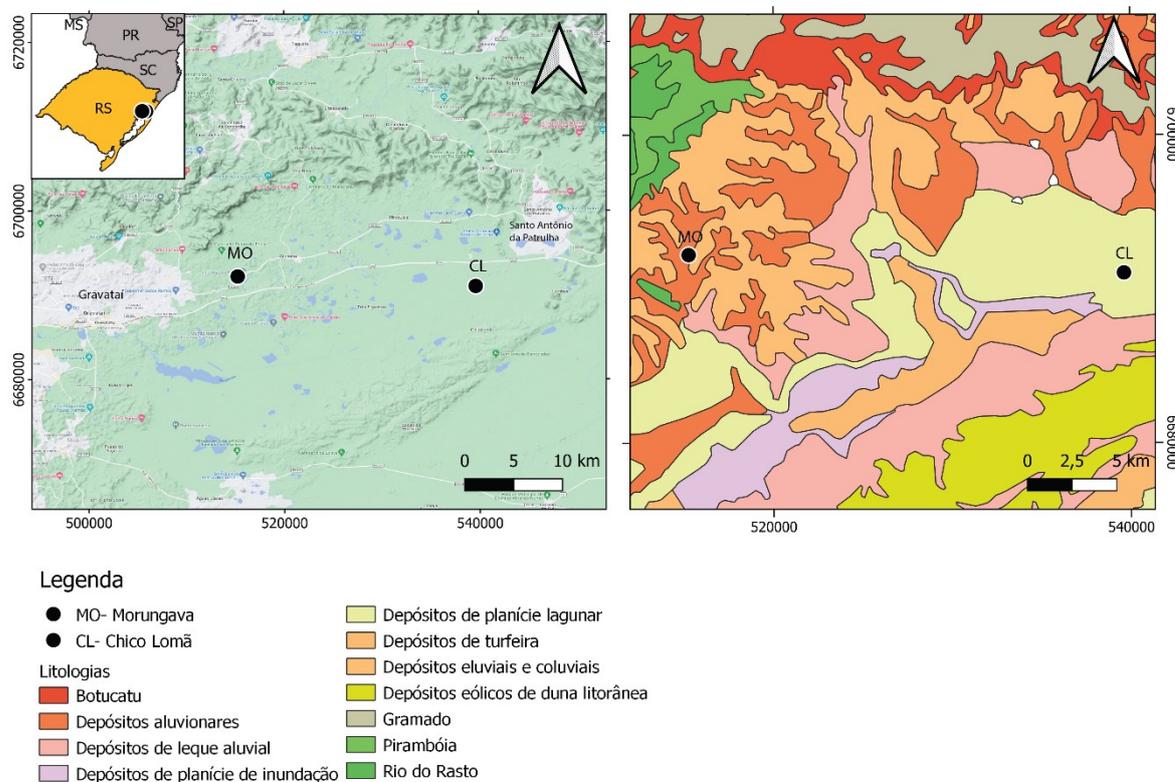


Figura 10. Mapa de Localização dos testemunhos à esquerda e mapa geológico à direita (modificado de CPRM).

3.2 Etapa de Coleta de Dados

3.2.1 Levantamento estratigráfico

O levantamento estratigráfico foi realizado através do levantamento de perfis colunares dos dois poços trabalhados (CBM 001 CL-RS e CBM 001 MO- RS). Um perfil colunar é uma representação gráfica do empilhamento vertical das fácies sedimentares e é definido por dois eixos: o vertical que representa a espessura dos depósitos e o eixo horizontal representa o tamanho de grão (figura 11). Consiste em uma forma de representar as características sedimentológicas principais das litofácies, como: cor, estruturas, texturas, contatos entre as camadas, fósseis,

alteração, espessura e granulometria. Foi utilizada uma folha padrão de escala de 1:50 e outras ferramentas, como trena métrica para as medições das espessuras das camadas e lupa para observação da granulometria e demais atributos texturais.

Os perfis colunares proporcionam uma percepção visual imediata do empilhamento, auxiliando no estudo da variabilidade de fácies e sua distribuição dentro do pacote. À medida em que as litologias e outros aspectos são descritos, é possível pressupor a dinâmica e o sistema deposicional da sucessão sedimentar.

As maiores vulnerabilidades do trabalho de estratigrafia com testemunhos de sondagens são: a não visualização lateral das camadas e a recuperação incompleta de testemunhos. A principal vantagem é a possibilidade de empilhamento contínuo de centenas de metros de sucessões estratigráficas que representam um ponto dentro da bacia sedimentar, mas com grande representatividade de tempo de deposição.

COLUNA ESTRATIGRÁFICA		SEÇÃO/UNIDADE:		NOMES:	
ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS HORIZONTALS OU DEFORMACIONAIS M. Manjô E. Cruzada Planar F. Faldação Lam. Plano Paralela E. Cruz. Tangencial Lam. Conduta Lam. Cruz. de ripples E. Cruz. Acanalada Escorregamento Ripples assimétricos Lam. Ondulada Truncada Ripples simétricos Estrutura de Carga E. Cruz. Baixo Ângulo Estrutura em Chama		ALGUMAS ESTRUTURAS GERADAS POR PROCESSOS SÉDICOS Estratificação horizontal Estratificação cruzada de baixo ângulo Estratificação cruzada planar Estratificação cruzada tangencial Estratificação cruzada acanalada Estruturas de adesão		Ponto: Coord. UTM E: N: Data: Escala:	
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100		CAS FÁCIES	Posicionem Estruturas	Folha Anotada	Área de Fôco
DESCRIÇÃO LITOLÓGICA					
Empty space for lithological description					
Página /					

Figura 11. Folha padrão para o levantamento dos perfis colunares

3.2.2 Aquisição de fotos dos testemunhos e das fácies

Junto à descrição dos perfis colunares e fácies identificadas, foram fotografadas todas as caixas descritas, as fácies mais representativas e feições deposicionais específicas (figura 12), indicando sua localização no perfil colunar. Assim, cada feição descrita possui suas informações e fotografias, evitando confusões na hora de transcrever e interpretar. A vulnerabilidade dessa aquisição está a depender das condições climáticas e da luminosidade do local que podem afetar a qualidade da fotografia.

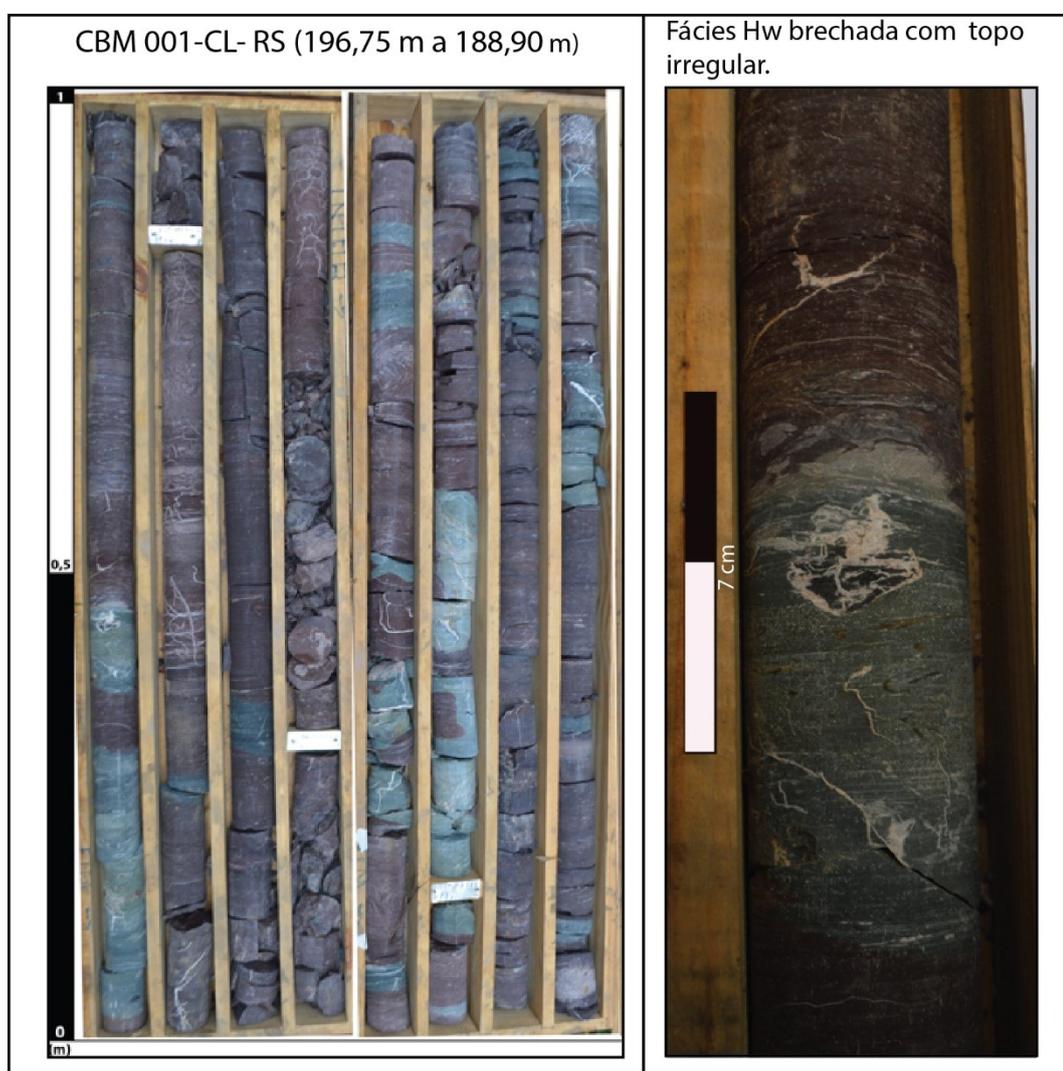


Figura 12. Fotografias das fácies e caixas dos testemunhos.

3.3 Etapa de Tratamento de Dados

3.3.1 Digitalização dos Perfis Colunares

Os perfis colunares descritos dos testemunhos em campo foram vetorizados com o software Adobe Illustrator, para facilitar a interpretação e processamento desses dados no meio digital (figura 13). No software é possível configurar as simbologias das camadas, desenhar as estruturas, configurar as cores e adicionar a descrição e os fósseis encontrados.

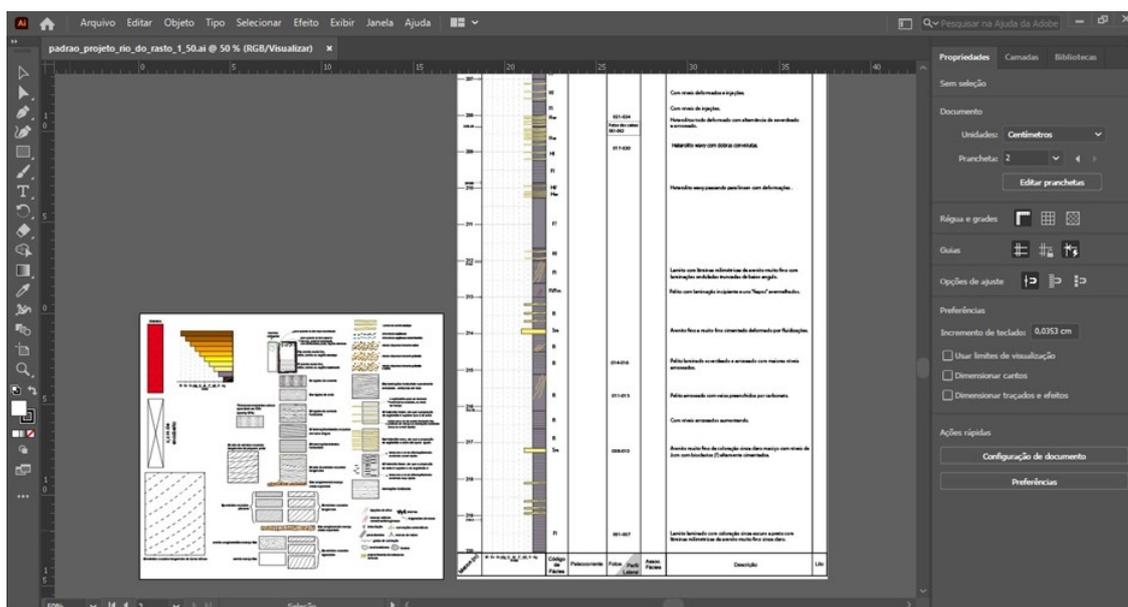


Figura 13. Janela de trabalho no Illustrator e transcrição dos perfis colunares.

3.3.2 Análise de fácies

A análise de fácies é a etapa em que se faz simultaneamente ao levantamento estratigráfico, ao identificar as diferentes fácies nos pacotes sedimentares e suas

respectivas características. Uma fácies sedimentar é definida por um corpo rochoso que possui um conjunto de propriedades litológicas, físicas e biológicas que os diferem dos corpos rochosos acima, abaixo e lateralmente (James & Dalrymple, 2010). Uma fácies reflete os processos de transporte e deposição dos sedimentos pertencentes a ela, tornando possível a reconstrução dos processos envolvidos na sua gênese (Nichols, 2009).

Todas as fácies foram organizadas conforme a proposta de Miall (2006) para sistemas fluviais, em que a letra maiúscula corresponde ao tamanho de grão que predomina no arcabouço e a letra minúscula representa a estrutura ou textura (Quadro 1).

Posterior à identificação de fácies, é possível fazer o agrupamento em associações de fácies (figura 14), que representam um grupo de fácies que são geneticamente relacionadas entre si e possuem algum significado ambiental (Walker & James, 1992). Da mesma forma, as associações de fácies compõem as sucessões de fácies, que implicam na mudança progressiva em uma sucessão vertical de um ou mais parâmetros faciológicos, como proporção de areia, tamanho de grão, estruturas sedimentares, abundância de fósseis e espessura do pacote (Walker & James, 1992). Com a possibilidade de observar a geometria do pacote, pode-se separar essas sucessões de fácies em elementos arquiteturais, com o intuito de fazer a reconstrução geomorfológica do ambiente deposicional (Walker & James, 1992).

Quadro 1. Código de fácies proposto e adaptado de Miall (2006).

Código	Fácies	Estruturas sedimentares	Interpretação
Gmm	Cascalho maciço matriz-suportado	Gradação incipiente	Fluxo de detritos plástico, fluxo viscoso, alta coesão interna
Gmg	Cascalho matriz-suportado	Gradação inversa a normal	Fluxo de detritos pseudoplástico, fluxo viscoso, baixa coesão interna
Gci	Cascalho clasto-suportado	Gradação inversa	Fluxo de detritos, alta concentração de clastos (alta coesão interna) ou fluxo de detritos pseudoplástico (baixa coesão)
Gcm	Cascalho maciço clasto-suportado	-	Fluxo de detritos pseudoplástico (fluxo turbulento)
Gh	Cascalho clasto-suportado, acamadamento incipiente	Acamadamento horizontal, imbricamento	Formas de leito longitudinais, depósitos residuais (<i>lags</i>)
Gt	Cascalho estratificado	Estratificações cruzadas acanaladas	Preenchimento de pequenos canais
Gp	Cascalho estratificado	Estratificações cruzadas planares	Formas de leito transversais, crescimento deltaico a partir de barras remanescentes
St	Areia fina a muito grossa (podendo ser cascalhosa)	Estratificações cruzadas acanaladas	Dunas 3D, cristas sinuosas ou lingüóides
Sp	Areia fina a muito grossa (podendo ser cascalhosa)	Estratificações cruzadas planares	Dunas transversais 2D
Sr	Areia muito fina a grossa	Laminações cruzadas de marcas onduladas	Marcas onduladas (regime de fluxo inferior)
Sh	Areia muito fina a grossa (podendo ser cascalhosa)	Laminação horizontal, lineação de partição	Formas de leito plano (regime de fluxo superior/ crítico)
Sl	Areia muito fina a grossa (podendo ser cascalhosa)	Estratificações cruzadas de baixo ângulo (<15°) (podendo ser sigmoidais)	Preenchimentos de suaves depressões (<i>scour fills</i>), dunas atenuadas, antidunas
Ss	Areia fina a muito grossa (podendo ser cascalhosa)	Amplas e suaves depressões	Preenchimentos de suaves depressões (<i>scour fills</i>)
Sm	Areia fina a grossa	Maciça ou laminação indistinta	Depósitos de fluxos hiperconcentrados, fluidizações ou intensa bioturbação
Fl	Areia, silte, lama	Laminações finas, Laminações cruzadas de marcas onduladas de muito pequeno porte	Depósitos externos ao canal, canais abandonados ou depósitos de inundação
Fsm	Silte, lama	Maciço	Depósitos externos ao canal ou canais abandonados
Fm	Lama, silte	Maciço, gretas de contração	Depósitos externos ao canal ou canais abandonados
Fr	Lama, silte	Maciço, raízes, bioturbação	Solo incipiente
C	Carvão, lama carbonosa	Restos vegetais, filmes de lama	Depósitos de pântanos vegetados (<i>swamps</i>)
P	Paleossolo carbonático (calcita, siderita)	Feições pedogênicas: nódulos, filamentos	Solo com precipitação química

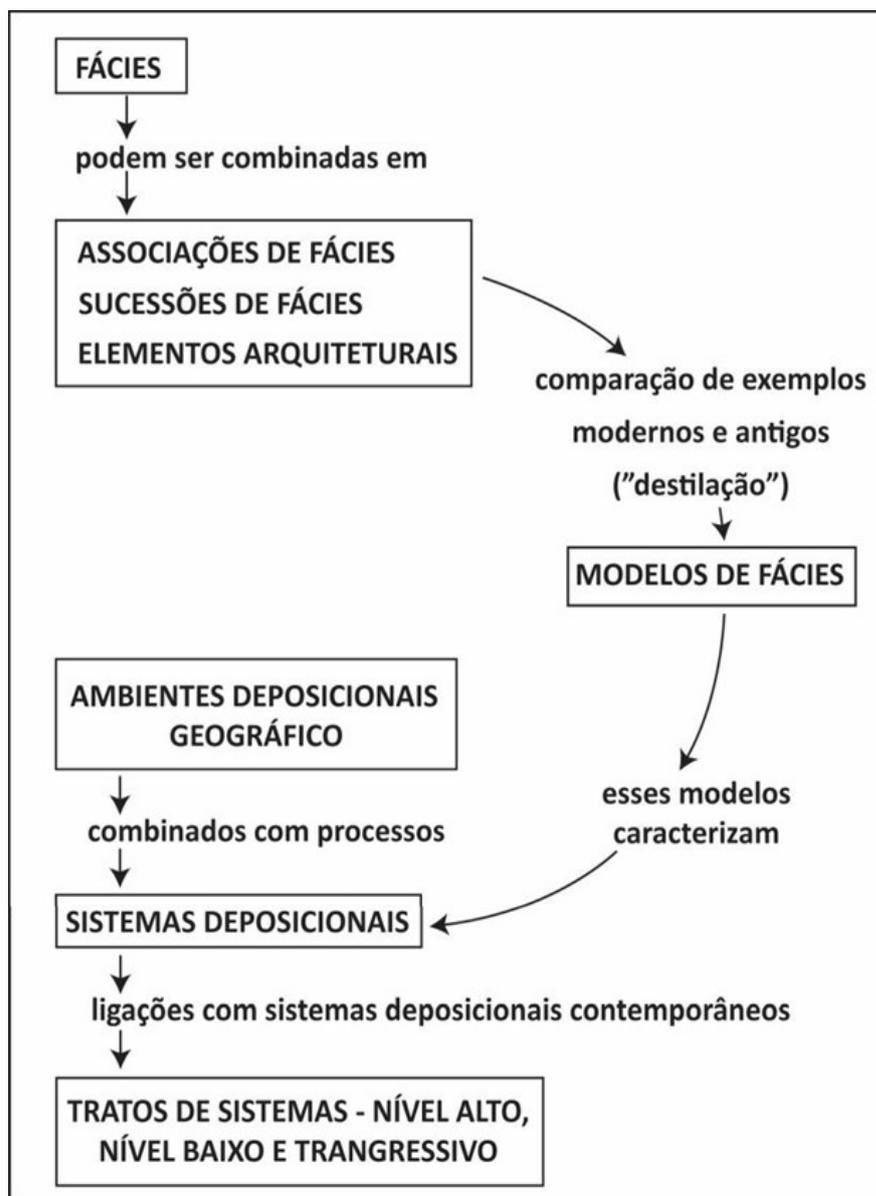


Figura 14. Relação entre as fácies, ambientes, sistemas deposicionais e tratos de sistemas. Adaptado de Walker & James (1992).

3.4 Correlação de poços e heterogeneidades de reservatórios

No estudo de rochas reservatório sabe-se que os principais fatores que controlam o fluxo de óleo, gás ou água são: a distribuição da porosidade, permeabilidade e barreiras de fluxo (Miall, 2006). E o que define as dimensões, a conectividade das camadas permeáveis e as heterogeneidades internas são as fácies

sedimentares e respectivamente, os processos deposicionais envolvidos (Galloway & Hobday, 1996). Dado que os depósitos fluviais são uns dos mais complexos tridimensionalmente, é necessário um estudo mais detalhado da variabilidade das litofácies na seção rochosa estudada (Miall, 2006).

As heterogeneidades podem ser criadas por diversas causas: por meio de unidades permeáveis descontínuas ou com conectividades variáveis, por variação de porosidade e permeabilidade dentro da unidade permeável, devido a estratificações internas, ocorrência de barreiras impermeáveis e/ou por anisotropia da permeabilidade (Galloway & Hobday, 1996). Além disso, podem ocorrer em diversas escalas, portanto dois fatores são importantes para determinar a escala que está sendo analisada: a escala dos processos sedimentares e a escala de amostragem dos dados do reservatório (Galloway & Hobday, 1996).

São definidas cinco escalas de heterogeneidades por Galloway & Sharp (1998): gigascópica, megascópica, macroscópica, mesoscópica e microscópica. A gigascópica abrange sequências sedimentares da ordem de milhões de anos, estando relacionada ao preenchimento de uma bacia em escala regional. A megascópica compreende as geometrias e as relações entre as unidades estratigráficas. A macroscópica refere-se à escala de associações de fácies e elementos arquiteturais. A mesoscópica observa a variação de litofácies relacionada à diferença de permeabilidade nas estratificações (Galloway & Hobday, 1996). A escala microscópica é definida no laboratório e leva em conta os grãos individuais, poros e aspectos como a textura, grau de selecionamento de grãos, geometria do poro e diagênese (Galloway & Hobday, 1996).

Durante o projeto, foi realizada a análise das heterogeneidades de reservatório na escala megascópica, em que mediante a associação de fácies foram estudadas as relações de contato entre os pacotes de diferentes permeabilidades, onde corpos de sedimentos finos se intercalam com corpos areníticos mais permeáveis ao longo do empilhamento.

A vantagem da correlação de poços está na visualização da continuidade lateral dos pacotes, portanto, auxilia nas análises das heterogeneidades, além de contribuir para a interpretação da evolução estratigráfica. E a maior vulnerabilidade do trabalho

refere-se à observação limitada das geometrias das unidades, devido a utilização de apenas dois poços, resultando numa interpretação mais especulativa com enfoque nas heterogeneidades de menor detalhe.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Litofácies e associação de fácies

A partir da descrição de 152 m do testemunho de sondagem CBM 001 CL-RS, e de 108 m do testemunho CBM 001 MO-RS, foram identificadas 16 litofácies sedimentares (Quadro 2) (figuras 15 e 16), descritas conforme atributos definidos por Walker & James (1992).

Quadro 2. Litofácies descritas no intervalo da Formação Rio do Rasto no bloco leste do Rio Grande do Sul, Bacia do Paraná.

Código de fácies	Descrição	Interpretação
Gm	Conglomerado intraformacional suportado por grânulos a seixos lamosos, maciço, mal selecionado. Os litoclastos lamosos são brancos, angulares a subangulares, distribuídos de forma caótica.	Depósitos de <i>lag</i> residual gerados por fluxos hiperconcentrados em um contexto de correntes aquosas altamente energéticas, e.g., eventos de inundação de alta-magnitude (Miall, 1996; Nemec et al., 1993).
Sh	Arenito muito fino a muito grosso, moderadamente a mal selecionado, com laminação horizontal. Intraclastos lamosos de tamanho grânulo a seixo, verdes, ocorrem dispersos ao longo da camada.	Formas de leito planas depositadas em condições de fluxo supercrítico (Miall, 1996)
Sl	Arenito muito fino a muito grosso, moderadamente a mal-selecionado, com estratificação cruzada de baixo ângulo. Intraclastos lamosos de tamanho grânulo a seixo, verdes, podem ocorrer dispersos ou na base da camada. Ocasionalmente são observados níveis micáceos e concreções	Atenuação de dunas 3D e dunas <i>humpback</i> em condição transicional entre regime de fluxo subcrítico e supercrítico (Fielding, 2006; Miall, 1996). Níveis deformados ocorrem por fluidização ou bioturbação.

	carbonáticas. Níveis deformados são raros.	
Slu	Arenito muito fino a médio, moderadamente selecionado, com laminação cruzada de baixo ângulo, ondulada a truncada, de grande porte.	Formas de leito que replicam a forma da superfície da lâmina d'água em contexto de fluxo supercrítico (<i>Antidunas: Número de Froude 0,84-1</i> ; (Cartigny et al., 2014; Middleton, 1993; Simons et al., 1965)
St	Arenito muito fino a grosso, por vezes conglomeráticos, mal selecionado, com estratificação cruzada tangencial. Pode exibir gradação normal nos <i>foresets</i> . Intraclastos lamosos de tamanho grânulo a seixo, brancos a verdes, podem ocorrer dispersos ou na base da camada. Pontualmente é constatado níveis micáceos em alguns sets.	Migração de dunas subaquosas de crista sinuosa (3D) em condições de fluxo subcrítico (Allen, 1963; Ashley, 1990; Miall, 1996).
St(e)	Arenito fino a médio com estratificação cruzada tangencial, vermelho. Internamente, os estratos são compostos por laminações milimétricas a centimétricas sub-horizontais com gradação inversa.	Depósitos residuais de dunas eólicas (Hunter, 1977).
Sr	Arenito fino a médio, moderadamente a mal selecionado, com laminações cruzadas onduladas, com ângulo de cavalgamento crítico a supercrítico. Pode apresentar níveis cimentados por calcita, concreções carbonáticas e deformações (d). Ocasional ocorrência de intraclastos lamosos dispersos e níveis de areia grossa.	Migração de formas de leito onduladas unidirecionais em condições de fluxo subcrítico, combinando processos de tração e suspensão (Allen, 1963). Deformações ocorrem por fluidização, cimentação, e/ou desenvolvimento de pseudonódulos/concreções.
Sm	Arenito muito fino a conglomerático, maciço, mal selecionado. Quando conglomerático, exibe bioclastos, conchas e intraclastos lamosos alongados, de tamanho grânulo a seixo. Pode apresentar gradação normal. Ocasionalmente apresenta aspecto blocoso, cimentado e deformado (d).	Fluxos hiperconcentrados em sedimentos, depositados de forma rápida (Miall, 1996). Outras interpretações incluem perda da estrutura original por fluidização, intensa bioturbação e injeções de sílica ou carbonato.

Sd	Arenito muito fino a fino, deformado, com intensa variação de cores (amarelo, branco e vermelho).	Perda da estrutura original da rocha por deformação associada a mecanismos que variam entre fluidização, bioturbação, desenvolvimento de concreções/pseudonódulos, injeções de sílica ou carbonato, intrusão de basalto e/ou fraturas/brechas.
Sw	Arenito médio, moderadamente selecionado, com laminação ondulada e truncada de pequeno porte. Esta fácies pode ocorrer deformada (d),	Formas de leito onduladas de pequeno porte formadas por fluxos oscilatórios (Dumas & Arnott, 2006; Tinterri, 2011). Deformações ocorrem por fluidização, injeções de sílica e veios preenchidos por carbonato.
Fl	Siltito a arenito muito fino, laminado, cinza, roxo ou verde, por vezes fissil. Níveis de intraclastos, fragmentos de ossos, conchas, e impressões de folhas podem ser observados. Esta fácies pode ocorrer deformada (d) ou com brechas.	Deposição por decantação a partir de correntes de baixa energia ou água estagnada (Miall, 1996). Deformações ocorrem por fluidização, injeções de sílica e veios preenchidos por carbonato.
Fm	Siltito a arenito muito fino, maciço, vermelho, verde ou roxo, por vezes com manchas variegadas. Frequentemente o topo é friável, bem alterado, com aspecto blocoso e cimentado, por vezes com <i>slickensides</i> . Fragmentos de ossos, conchas e coprólitos podem ocorrer. Esta fácies pode ocorrer deformada (d) ou com brechas.	Deposição por decantação a partir de correntes de baixa energia ou água estagnada (Miall, 1996). Deformações ocorrem por fluidização, injeções de sílica e veios preenchidos por carbonato. Alteração dos depósitos por processos pedogenéticos
Hf	Heterolito com acamamento <i>flaser</i> , onde ocorre o predomínio de lâminas centimétricas de arenito muito fino a médio com laminações cruzadas onduladas ou maciças. Lâminas milimétricas de siltito ocorrem intercaladas. Frequentemente esta fácies ocorre deformada (d), com lâminas corrugadas.	
Hw	Heterolito com acamamento <i>wavy</i> . Em proporções semelhantes ocorre a intercalação de lâminas centimétricas de arenito muito fino a médio com laminações cruzadas onduladas, laminações onduladas ou estrutura maciça, e lâminas milimétricas de siltito maciço, com variação de cores. Frequentemente esta fácies ocorre deformada (d), com lâminas corrugadas e <i>slickensides</i> .	Intercalação de deposição por suspensão e tração (Reineck & Singh, 1973). Desenvolvimento de formas de leito onduladas depositadas por fluxos unidirecionais subcríticos, oscilatórios ou hiperconcentrados. Deformações ocorrem por fluidização, bioturbação, desenvolvimento de

HI	Heterolito com acamamento <i>linsen</i> . Há predomínio de lâminas milimétricas a centimétricas de siltito a lamito, maciças, com cores variegadas. Em menor proporção, lâminas centimétricas a milimétricas de arenito muito fino a médio ocorrem intercaladas, e apresentam laminações cruzadas onduladas, laminações onduladas ou estrutura maciça. Frequentemente esta fácies ocorre deformada (d), com lâminas corrugadas, textura blocosa e/ou <i>slickensides</i> .	pseudonódulos/concreções, injeções de calcita e/ou exposição subaérea.
P	Paleossolo desenvolvido em substrato de siltito a arenito fino, com textura maciça, vermelho, roxo, verde e tons variegados ao longo da camada. É comum a ocorrência de textura blocosa, friável, com <i>peds</i> e <i>slickensides</i> . Presença de fraturas verticais milimétricas a centimétricas preenchidas por areia.	Desenvolvimento de solo em substrato sedimentar por exposição subaérea (e.g., infiltração, lixiviação, instalação de vegetação, precipitação de carbonatos entre outros) (Miall, 1996; Retallack, 2001).

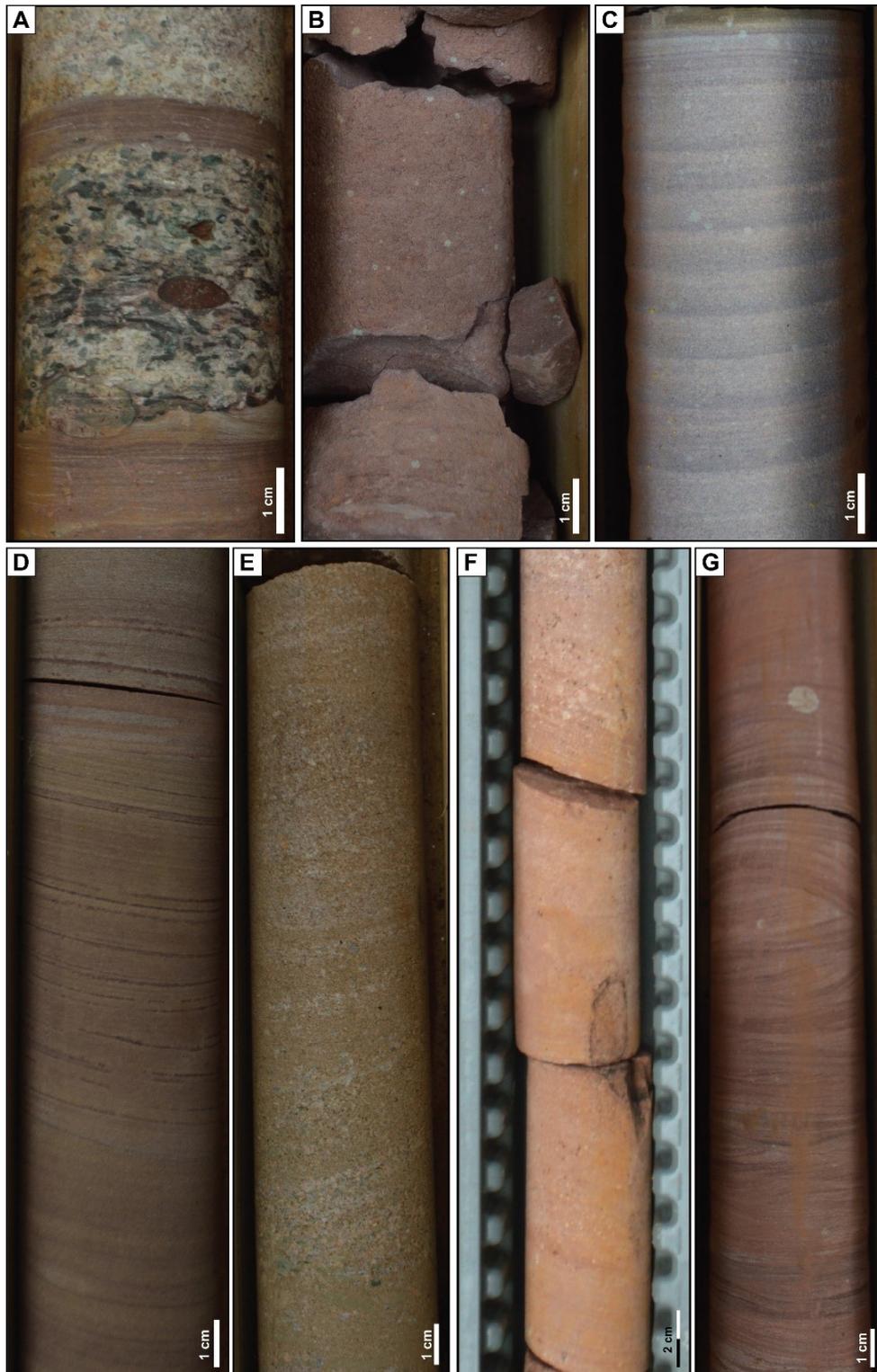


Figura 15. Fotos das litofácies (A)Gm, (B) Sm, (C) Sh, (D) Sl, (E) St, (F) St (e), (G)Slu e Sw.



Figura 16. Fotos das litofácies: (H) Sr, (I) Sd, (J) Hf, (K) Hw, (J) HI, (M) FI, (N) Fm e (O) P.

Estas litofácies foram agrupadas em cinco associações de fácies (AF) (Quadro 3): Planície de Inundação (AF-1), Canal Fluvial Fracamente Canalizado (AF-2), Lobo de Espreadimento Proximal (AF-3), Lobo de Espreadimento Distal (AF-4) e Dunas Eólicas (AF-5).

Quadro 3. Associação de fácies discriminadas nos testemunhos de sondagem descritos.

Código	Litofácies	Associação de Fácies
AF-1	Fl, Fm, Fd, P, Sm, Sl, Sr, Sd	Planície de Inundação
AF-2	Sm, Sl, St, Sr, Sd	Canal Fluvial Fracamente Canalizado
AF-3	Sl, Sh, Sr, Sm, St, Sd, Gm, Sw, Slu, Hf, Hw, P	Lobo de Espraimento Proximal
AF-4	Hf, Hw, Hl, Fl, Fm, P, Sm, Sd, Sr, Slu, Gm, Sh e St	Lobo de Espraimento Distal
AF-5	St(e), Sd	Duna Eólica

4.1.1 Associação de Fácies de Planície de Inundação (AF-1)

Descrição: Esta associação de fácies é composta predominantemente pelas litofácies Fl, Fm, Fd e P e, menos frequentemente, pelas litofácies Sm, Sl, Sr e Sd. As litofácies que compõem estes depósitos apresentam granulometria que varia de tamanho silte a areia muito fina, com estrutura laminada horizontalmente (Fl), ou maciça (Fm). Camadas de paleossolos (P) são recorrentes, sendo caracterizadas por apresentarem aspecto blocoso e quebradiço, cores variegadas (entre roxo acinzentado a esverdeado) e *slickensides*, *peds* e estruturas verticais preenchidas por areia. Por vezes, estas litofácies exibem elevado grau de deformação (Fd), de forma que as laminações ocorrem rompidas e dobradas, ou até com perda total da estrutura original. Pontualmente, foram observados agregados de bioclastos e impressões de paracalamites e concha de bivalves (Figura 17).



Figura 17. Impressões de conchas e paracalamites.

Menos frequentemente são observados arenitos muito finos a muito grossos, moderadamente a mal selecionados, maciços (Sm), com laminações em baixo ângulo incipientes (Sl) ou com laminações onduladas truncadas (Sr). Ocorrem em contato abrupto e erosivo com as litofácies Fl, Fm ou P, caracterizado pela ocorrência de intraclastos argilosos e superfícies irregulares. A litofácies Sd é definida quando a caracterização da litofácies é dificultada por perda ou deformação da estrutura sedimentar original.

Esta associação de fácies ocorre com frequência na base das seções levantadas, reconhecida principalmente por seus tons em cinza-arroxeados a esverdeados, com espessuras que variam entre 0,7 a 16 m (Figura 18). Ocorre verticalmente associada aos depósitos de lobos de espraiamento proximal e distal (AFs 3 e 4, respectivamente) e aos canais fluviais fracamente canalizados (AF-2).

rompidas a dobradas, bem como fraturas e brechas, são estruturas deformacionais comumente observadas, podendo estar associadas a bioturbação, processos pedogenéticos, escape de fluidos, injeções de sílica ou veios preenchidos por carbonatos.

No contexto de planícies de inundação, a ocorrência de corpos arenosos pouco expressivos intercalados aos depósitos finos indicam extravassamento do fluxo previamente confinado a um canal, podendo alcançar dezenas de metros ao longo da planície. Arenitos maciços indicam fluxos hiperconcentrados que ocorrem a partir do rompimento de diques marginais (*crevasse splay*), quando a energia de fluxo de um determinado rio aumenta e extravasa para regiões adjacentes, formando canais efêmeros e depositando sedimentos na planície de inundação (Burns *et al.*, 2017). Explicação semelhante é dada para a ocorrência de arenitos finos com estratos cruzados em baixo ângulo (SI), dentro de um contexto de fluxo turbulento e energético. Ocasionalmente, feições de carga recorrentes na base das camadas e indicam correntes de turbidez de alta densidade erodindo o substrato. A pontual ocorrência de lentes de arenito fino a muito fino com marcas onduladas de corrente indicam fluxos desacelerantes (*waning flows*).

4.1.2 Associação de Fácies de Canal Fluvial Fracamente Canalizado (AF-2)

Descrição: Esta associação é formada pelas fácies Sm, St, SI, Sr e Sd (Figura 19). As litofácies que fazem parte destes depósitos apresentam granulometria que varia de areia fina a muito grossa e ocorrem frequentemente com estrutura maciça (Sm), com estratificação cruzada tangencial (St) e comumente com laminações cruzadas onduladas e em baixo ângulo (Sr e SI). Essas litofácies são caracterizadas por apresentarem gradação normal e bases erosivas cascalhosas mal selecionadas com presença de intraclastos lamosos esverdeados e rosados (Figura 20), que diminuem de quantidade para o topo, por vezes podem ocorrer intraclastos em toda camada em litofácies conglomeráticas. Algumas litofácies apresentam estrutura incipiente e perdem sua estrutura primária com laminação bagunçada e variação de cores

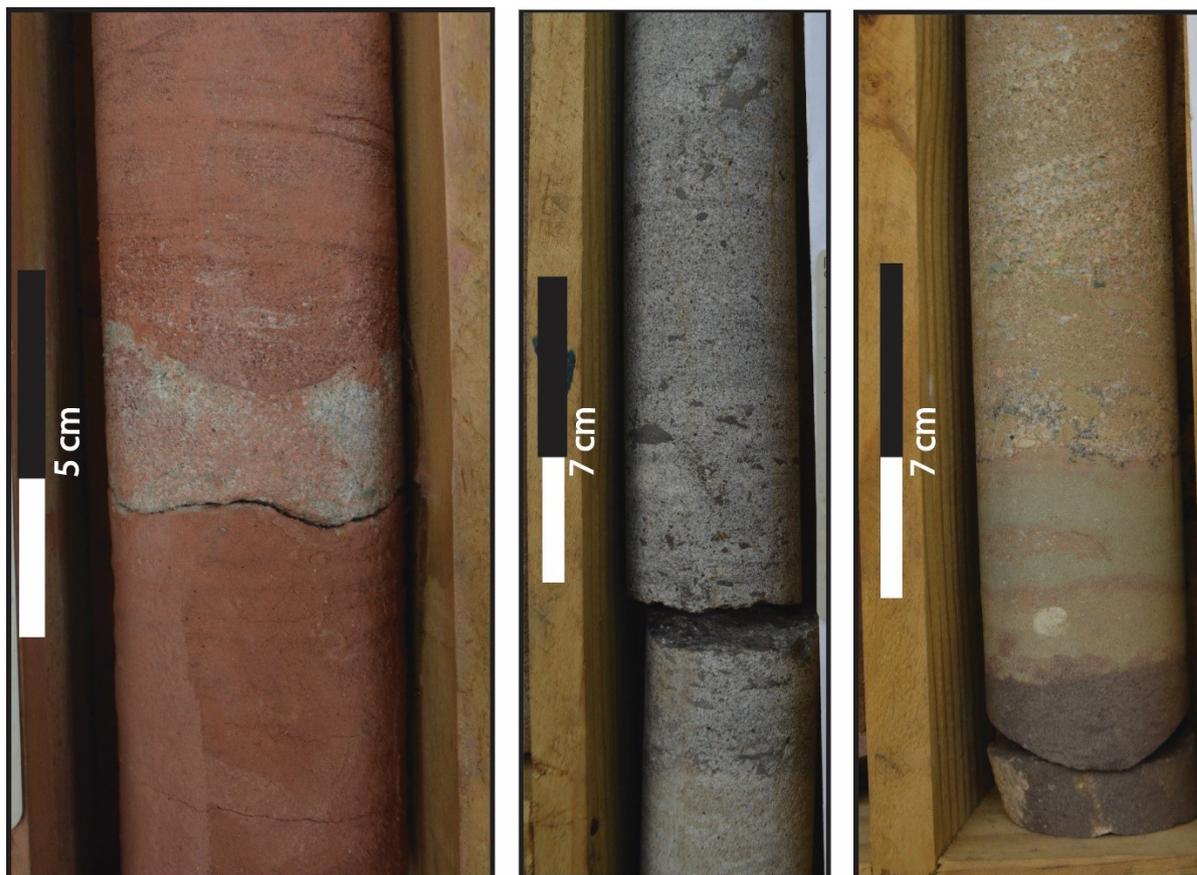


Figura 20. Feições dos depósitos fluviais: bases erosivas compostas por intraclastos.

Interpretação: Esta associação possui um contexto de fluxo de energia bastante variável. A ocorrência de arenitos maciços (Sm) são indicativos de fluxos hiperconcentrados com alta concentração de sedimentos arenosos e deposição instantânea (Allen & Leeder, 1980). A estratificação cruzada de baixo ângulo (SI) representa fluxo acelerado ou desacelerado num estágio entre regimes de fluxos subcrítico a supercrítico (Bridge e Best, 1988). A estratificação cruzada tangencial (St) indica migração lateral dos elementos do canal em condições de fluxo subcríticos (Hampton & Horton, 2007). Já a laminação ondulada (Sr) sugere correntes unidirecionais sob condições de fluxo mais baixo, quando localizada no topo dos depósitos é produto da diminuição da velocidade do fluxo ao final da descarga ou abandono do canal (Allen, 1963; Hampton & Horton, 2007; Miall, 1996). Os arenitos com estratificações em baixo ângulo alternados com laminações onduladas no topo

sugerem oscilação entre condições de fluxo alto e fluxo baixo durante um único evento deposicional (Hampton & Horton, 2007).

A deposição de canais empilhados é caracterizada por uma erosão basal inicial seguida de eventos de erosão e preenchimento de canal que ocorrem dentro dos limites de um amplo canal inicial. Além disso, a associação com os depósitos de planície de inundação (AF1) indica recorrentes eventos de precipitação de suspensão durante o declínio do fluxo de inundação (Hampton & Horton, 2007).

O predomínio de bases erosivas com intraclastos mal selecionados nos arenitos e presença de estruturas sedimentares internas indicativas de fluxos unidirecionais subcríticos a supercríticos indicam contextos fluviais em uma configuração de alta variabilidade de descarga. A intensidade e variabilidade do fluxo variam de acordo com as inundações periódicas e diferentes picos de descarga, compreendendo canais fluviais efêmeros fracamente a não canalizados (Allen, 1963).

4.1.3 Associação de Fácies Lobo de Espraimento Proximal (AF-3)

Descrição: Esta associação de fácies é composta predominantemente pelas litofácies Sl, Sr, Sm, Sh e Sd e, menos frequentemente, pelas litofácies Gm, St, Sw, Slu, Hf, Hw e P (Figura 21). Estas litofácies apresentam granulometria que varia de tamanho areia fina a seixos, com estratificação cruzada em baixo ângulo e horizontal (Sl e Sh) predominantes na base do empilhamento vertical, laminações cruzadas onduladas (Sr) associadas a ciclos que alternam estratificação de baixo ângulo e ripples no topo (Sl-Sr) e estrutura maciça (Sm). Frequentemente, as litofácies aparecem deformadas (Sd) por fluidizações com laminações bagunçadas, incipientes e coloração manchada. Ocasionalmente, aparecem litofácies com sets de estratificação cruzada tangencial. E com pouca frequência, são presentes conglomerados intraformacionais (Gm) mal selecionados, arenitos com laminação ondulada a truncada de pequeno e grande porte (Sw e Slu) e heterolitos com acamamento *wavy* e *flaser* (Hw e Hf). Arenitos lamosos com variação de cores, textura blocosa e desenvolvimento de *pods* indicam camadas de paleossolos (P) no topo de alguns depósitos.

depositados como carga de fundo (Nichols & Fisher, 2007). A supressão da estrutura primária na litofácies Sm pode ter sido causada por altas concentrações de sedimentos em suspensão na zona proximal (Nichols & Fisher, 2007).

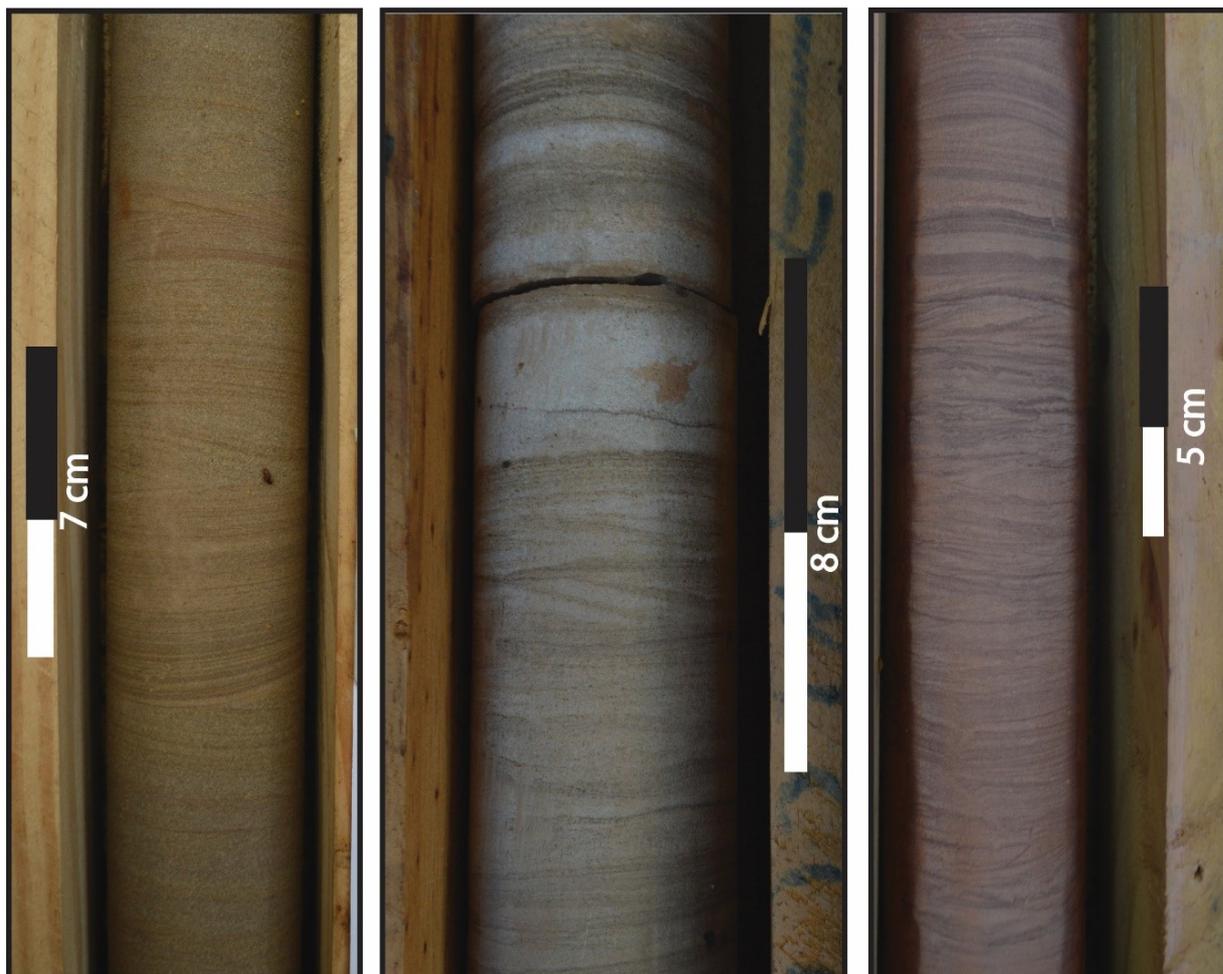


Figura 22. Ciclos alternando as litofácies SI e Sr nos lobos de espriamentos proximais.

As camadas heterolíticas *wavy*, *linsen* e *flaser* implicam disponibilidade de areia e de argila, com alternância de períodos de maior energia (correntes ou ondas) e períodos de baixa energia (decantação). Podem ser interpretados como depósitos de inundação em lençol, que são associados a dois contextos deposicionais: extravasamento de *crevasse* ou inundações em lençol efêmeras e de alta energia posicionadas nas porções distais de canais fluviais distributivos, como resultado de

fluxo distal que desacelera (*waning flow*) durante a fase final de escoamento (Hampton & Horton, 2007).

4.1.4 Associação de Fácies Leque Terminal Distal (AF-4)

Descrição: Esta associação consiste predominantemente pelas litofácies Hf, Hw, HI, FI, Fm e P, e menos frequentemente pelas litofácies Sm, Sd, Sr, (Sw), Gm, Sh e St (Figura 23). As litofácies desses depósitos apresentam granulometria que varia de silte a areia média com acamamento heterolítico *flaser*, *wavy* e *linsen* (Figura 24), estrutura laminada horizontalmente (FI) ou estrutura maciça (Fm). Níveis com paleossolos (P) são comuns nesses depósitos, caracterizados por cores variegadas, textura blocosa e quebradiça, presença de *slickensides*, *peds*, estruturas verticais preenchidas por areia e concreções carbonáticas. Por vezes estas litofácies apresentam elevado grau de deformação (Fd e Sd) de forma que não é possível visualizar a estrutura primária.

Menos frequentemente, ocorrem arenitos muito finos a muito grossos com estruturas maciças (Sm), com laminações de baixo ângulo (SI), laminações horizontais (Sh) ou estratificação cruzada tangencial (St), que ocasionalmente aparecem como arenitos conglomeráticos com intraclastos esverdeados dispersos por toda a camada. Ocorrem em contato abrupto e por vezes erosivos com as litofácies Hw, Hf, HI, FI e Fm.

Esta associação ocorre geralmente associada aos depósitos de planície de inundação (AF-1) e de lobo de espraiamento proximal (AF-3), e menos frequentemente associadas aos depósitos de canais fluviais (AF-2).

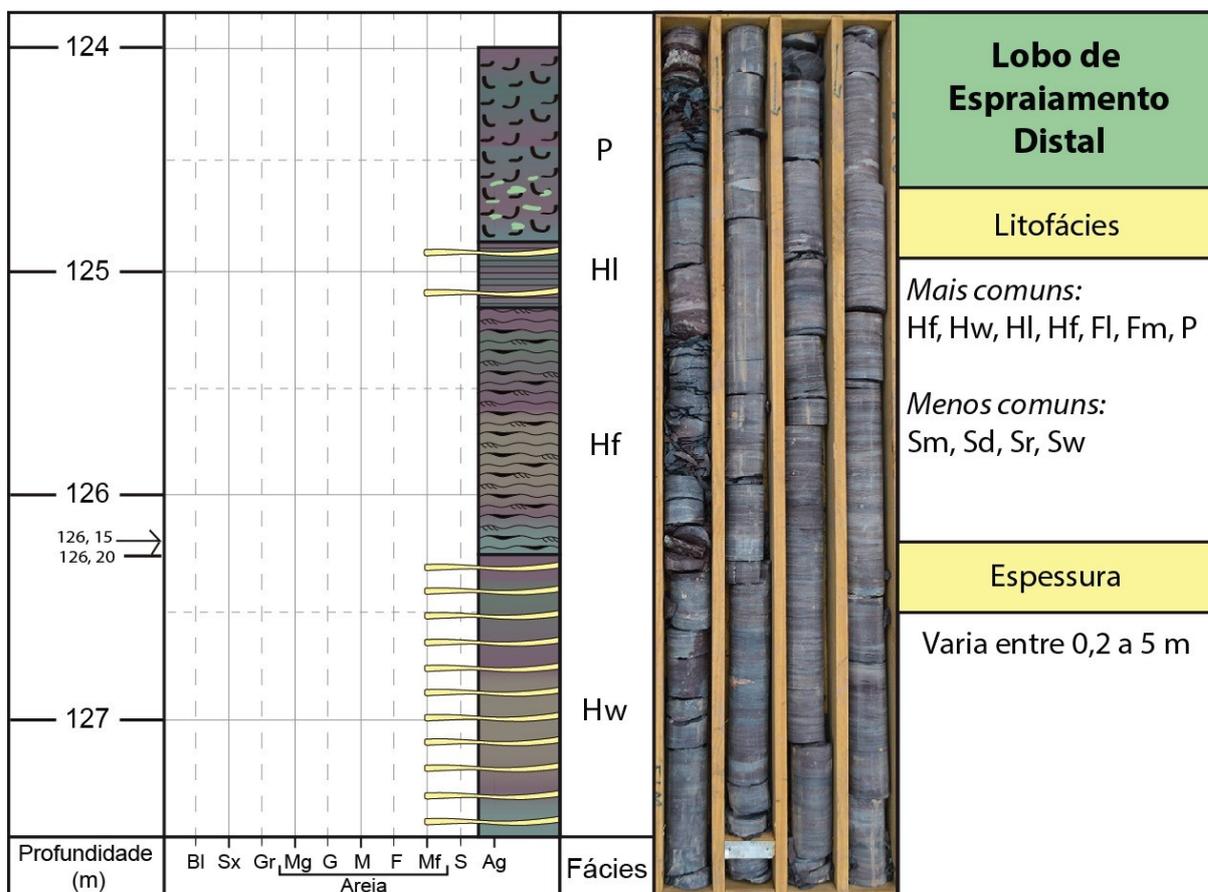


Figura 23. Perfil colunar (esquerda) descrito a partir do intervalo testemunhado (direita), exemplificando a associação de fácies AF-4.

Interpretação: Os predominantes depósitos de pelitos intercalados com arenitos subordinados remetem a um ambiente deposicional localizado nas porções distais dos lobos de espriamentos. Estes, são depositados através de fluxos e sedimentações não confinadas associados a estágios terminais de inundação (Hampton & Horton, 2007). A presença recorrente de alteração pedogenética desenvolvendo paleossolos, indicam que os períodos de sedimentação se intercalam por períodos de não deposição e subsequente oxidação e exposição subaérea (Retallack *et al.*, 1988). Os heterolitos com diferentes proporções de areia (Hf, Hw e HI) e estruturas predominantemente horizontalizadas (FI) e maciças (Fm) sugerem a deposição dos espriamentos distais como resultados de um fluxo distal e minguante (*waning flow*) (Miall, 1996) na fase final da deposição e consequente abandono do espriamento terminal.

A frequente presença de feições pedogenéticas (*slickensides*, *peds*, concreções carbonáticas, textura blocosa) sugerem que as exposições subaéreas eram frequentes, no entanto a falta de horizontes bem desenvolvidos sugere que os paleossolos não ficavam por muito tempo expostos até que novamente ocorresse uma inundação. Em vista disso, o ambiente apresenta um padrão de ciclos repetitivos de agradação de sedimentos seguidos de exposição subaérea periódicas e de curta duração (Hampton & Horton, 2007). Já os depósitos que não desenvolveram paleossolos, foram depositados por intercalação de tração por fluxos fracos e precipitação em suspensão durante fluxos minguentes de eventos de inundação em lobos de espraamentos distais.

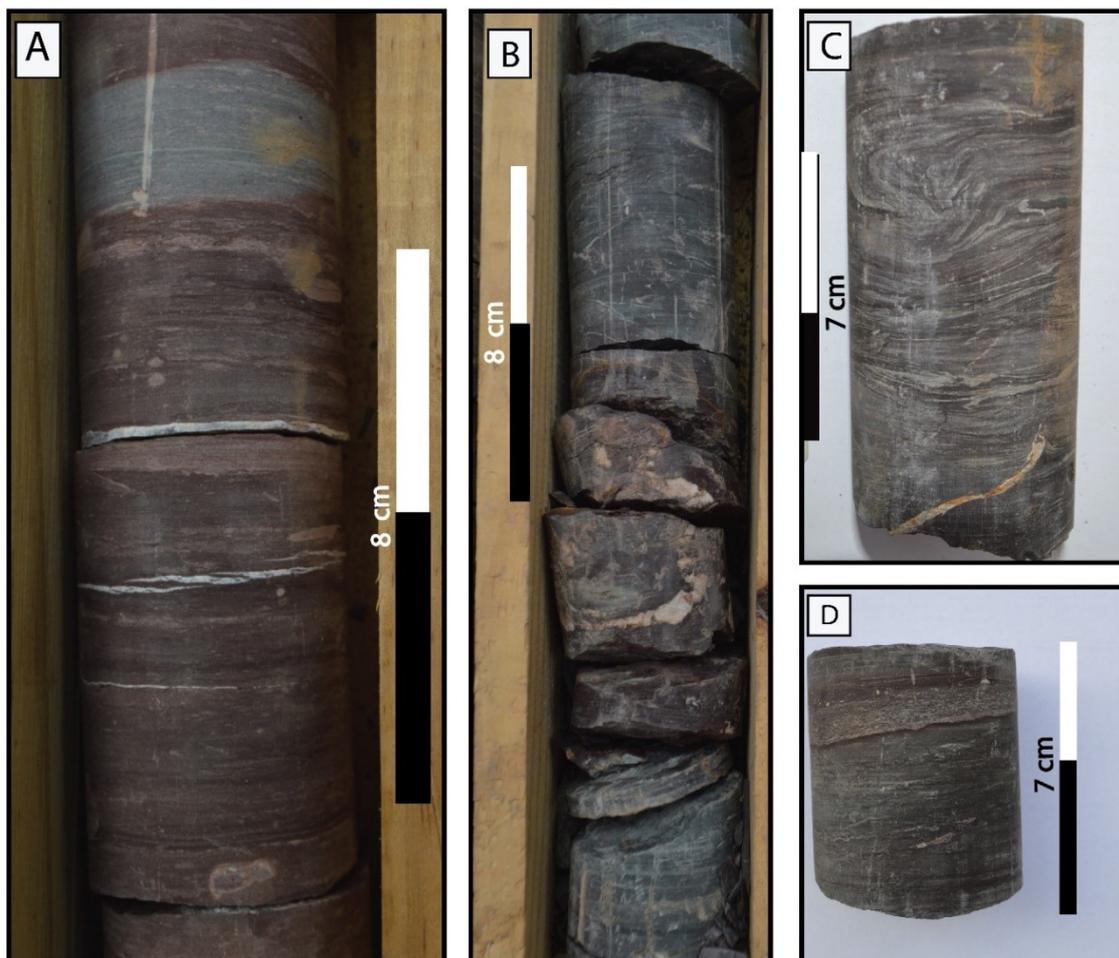


Figura 24. Fotos das litofácies (A) litofácies HI (B) paleossolos com *slickensides* e concreções carbonáticas (C) heterolito wavy com dobras convolutas (D) HI com intervalo de 2 cm com fragmentos de ossos.

Interpretação: A ocorrência de arenitos finos a médios bem selecionados com *sets* cruzados de grande porte, caracterizados pela presença de laminações internas milimétricas sub-horizontais com gradação inversa sugerem depósitos de estratos de ondulação de vento, típicos de porções basais de depósitos de dunas eólicas (Hunter, 1977). Essas estruturas são formadas através de processos de migração de ondulações eólicas e são superfícies de sobreposição. Estes arenitos formam estratos transladantes cavalgantes, onde apenas as superfícies limítrofes entre as marcas onduladas são visíveis (Hunter, 1977). A declividade dos *foresets* ocorre, pois o cavalgamento das ondulações se dá na porção basal da face frontal da duna.

4.2 Modelo deposicional

A Formação Rio do Rasto registra um ciclo regressivo na porção superior da Supersequência Gondwana I durante o limite permo-triássico da Bacia do Paraná (Milani & Ramos, 1998). A base da Formação Rio do Rasto registra um corpo aquoso interior que surgiu com a ascensão das cordilheiras restringindo a conexão da bacia com o oceano Panthalassa (Warren *et al.*, 2008; Schemiko *et al.*, 2014). Ao longo da sucessão o corpo aquoso é preenchido e submetido a uma progressiva continentalização (Milani & Ramos, 1998).

Há muitas interpretações diferentes acerca do ambiente deposicional da Formação Rio do Rasto, sendo descrito como um sistema lacustre de grandes dimensões que é sucedido por pequenos corpos d'água contornados por rios efêmeros e dunas eólicas (Lavina, 1991; Rohn, 1994), como um sistema deltaico com canais distributários secundários (Warren *et al.*, 2008) e como a evolução de um sistema fluvial distributivo (SCHEMIKO *et al.*, 2013).

Através das descrições dos testemunhos e análise de fácies, foram reconhecidas cinco associações de fácies: depósitos de planície de inundação (AF-1), canais fluviais fracamente canalizados (AF-2), lobos de espraiamentos proximais (AF-3), lobos de espraiamentos distais (AF-4) e dunas eólicas (AF-5). Os depósitos de planície de inundação são os mais espessos e predominantes na base das seções

colunares, sendo caracterizados pela abundância de sedimentos finos intercalando com depósitos de areias finas subordinadas e frequentes níveis deformados com feições de alteração pedogenética (*slickensides*, *peds*, textura blocosa e concreções carbonáticas). Ou seja, os modelos que interpretam a base da Formação Rio do Rasto como amplos corpos lacustres não são sustentados pelos dados levantados no presente trabalho. Corpos lacustres de grande porte são caracterizados por predominância de *ripples* de onda, *hummocky* e *swaley* depositadas em episódios de tempestades e lobos de suspensão indicando fluxos hiperpicnais relacionados à alta descarga fluvial no corpo lacustre. Essas feições são inexistentes nos depósitos finos do Membro Serrinha na área de estudo, impedindo a interpretação dos depósitos finos como depósitos lacustres distais. Ao contrário disso, a presença de abundantes níveis pedogenéticos sugere planícies de inundação que frequentemente secavam, acarretando em exposição superficial dos depósitos (Nichols & Fisher, 2007).

Os lobos de espriamentos terminais consistem em depósitos arenosos em lençóis, produzidos por sucessivos fluxos desconfiados de sedimentos que desaceleram (*waning flows*), às vezes esses depósitos apresentam base erosiva, com retrabalhamento indicando canalização local do fluxo (Schemiko *et. al.*, 2013).

Ocasionalmente ocorrem depósitos fluviais de canais fracamente canalizados representados por *sets* pouco espessos apresentando bases erosivas com frequentes presenças de intraclastos lamosos, indicando descargas inicialmente altas e descontínuas, que depositam dunas aquosas que migram isoladamente sem espessura de lâminas d'água. Outros pacotes são caracterizados pela presença de estratos de baixo ângulo (SI-Sr) representando depósitos desconfiados, com lâmina d'água rasa depositados por fluxos de velocidade alta durante enxurradas de curta duração (Reis *et al.*, 2019). Este modelo se assemelha ao de Miall (1996) em que os pacotes de dunas subaquáticas isoladas e formas de leito planos são atribuídos a uma canalização rasa durante todo o período de enxurrada (Reis *et. al.*, 2019). Depósitos de dunas eólicas evidenciam retrabalhamento eólico de areia trazidas pelos fluxos fluviais (Kelly & Olsen, 1993).

O conjunto de associações de fácies relacionadas entre si constituem os elementos de uma zona intermediária e distal de um sistema fluvial distributivo (Figura

26). Essas porções do sistema são caracterizadas por inundações de fluxos desconfiados, eventualmente canalizados, seguidos por períodos curtos de evaporação e não deposição (Schemiko *et. al.*, 2013). A profundidade do canal é baixa, conforme o distanciamento do sistema, predominando a granulação fina do material transportado (Nichols & Fisher, 2007).

Modelos análogos são observados nos terminais do Lago Eyre nos estudos de Lang *et. al.* (2004), onde as seções são compostas predominantemente por ciclos ascendentes “*fining-upward*” representando uma bacia com altas taxas de agradiação/progradação. O empilhamento desses ciclos indica a relação entre a oferta de sedimentos e a variação de taxa de acomodação, influenciados por eventos de descargas variáveis impulsionadas por forças climáticas (Lang *et al.*, 2004).

Também pode-se citar o sistema de Organ Rock, no qual a avulsão nodal ocorre através da agradiação do canal e preenchimento de seu espaço de acomodação, devido altas taxas de sedimentos seguidas por rápidas erosões de areias adjacentes em períodos de escoamento e descarga intensa (Cain & Mountney, 2009). Esse processo promove os escoamentos superficiais (*overbank*) e de inundação (*sheetflood*). A parte distal e intermediária desse sistema fluvial distributivo é controlada por altas taxas de infiltração e evaporação, perdas por fluxos desconfiados e regimes de descarga variáveis (Cain & Mountney, 2009). Conseqüentemente, são depositados extensos depósitos não confinados indicativos da avulsão do fluxo, após isso ocorre uma transição para condições mais áridas que são marcadas pelo início de um campo de dunas eólicas distais e recuo da atividade fluvial (Cain & Mountney, 2009). Contudo, a distribuição de depósitos da Fm. Rio do Rasto parece mostrar uma disposição diferente, onde os eólicos estão mais associados à transição entre as porções intermediária e distal, mas aparecem pouco na porção mais distal do sistema. Uma configuração semelhante foi reportada na Fm. Guará por Reis *et al.* (2022).

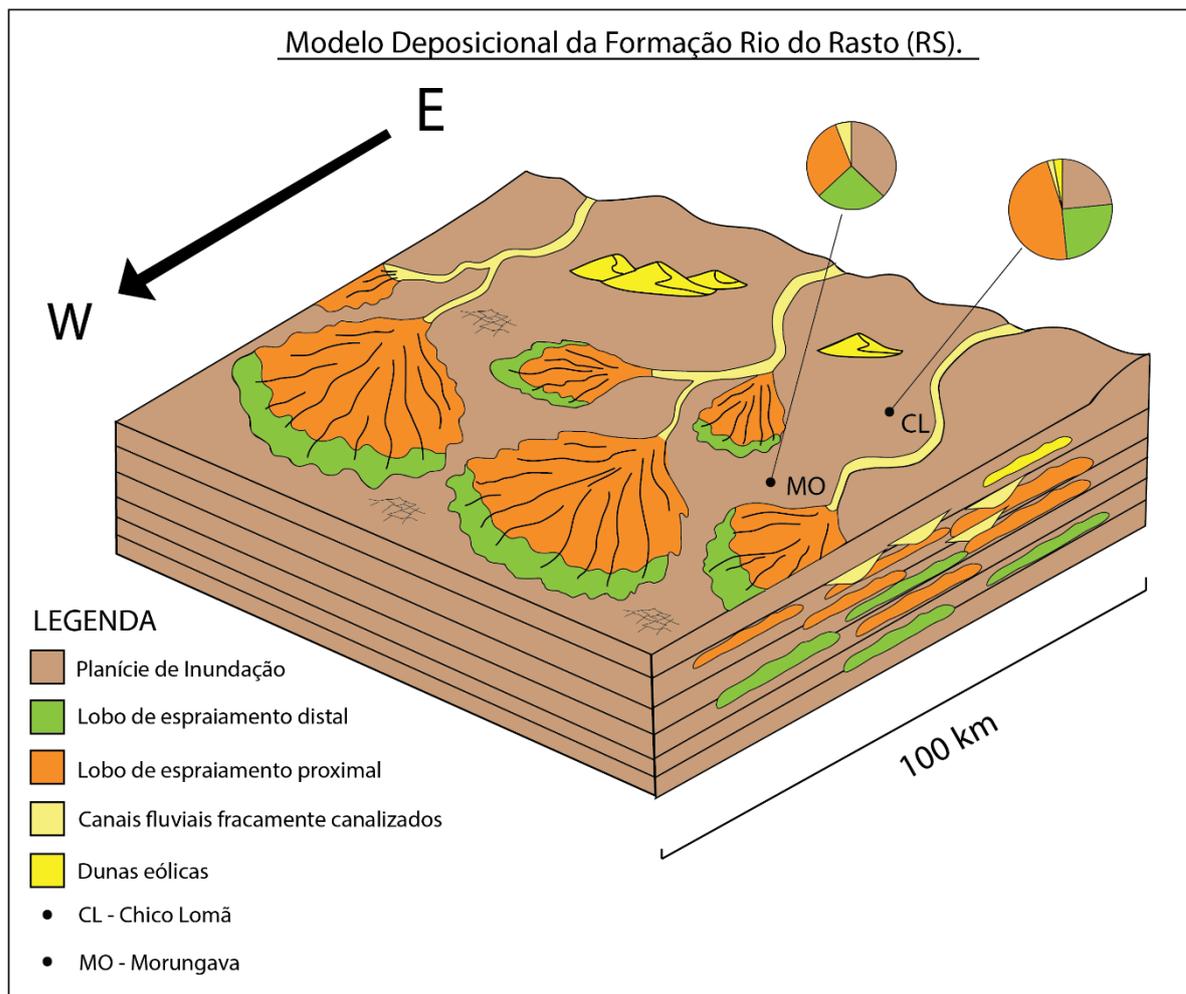


Figura 26. Modelo deposicional da Fm. Rio do Rasto no bloco leste da Bacia do Paraná (RS).

4.3 Correlação das seções colunares

As duas seções colunares analisadas apresentam caráter progradacional. A base que provavelmente corresponde ao Membro Serrinha, inicia com predominância de sedimentos finos e progride para sedimentos de granulação mais arenosos, frequentes e espessos no topo das seções. Esses sedimentos são depositados principalmente por elementos de lobos de espriamentos e de canais fluviais fracamente canalizados, compreendendo diversos ciclos *fining-upward*. Provavelmente, o caráter progradacional desse sistema ocorre devido à transição para condições mais áridas desse ambiente e a diminuição de descarga fluvial do

sistema, resultando no conseqüente retrabalhamento eólico observado na seção colunar de Chico Lomã.

Através da correlação das seções colunares (Figura 27) foi possível observar um caráter progradacional geral, em que os depósitos de Chico Lomã, orientados à leste, avançam sobre os depósitos de Morungava, localizados à oeste. Portanto, a zona mais proximal do sistema fluvial distributivo provavelmente estaria progredindo para leste em direção à porção mais distal, em que predominam quantidades maiores de sedimentos mais finos.

Por meio de um levantamento quantitativo das associações de fácies, pode-se separar o ambiente deposicional em três zonas: zona 1, zona 2 e zona 3. A zona 1 corresponde aos sedimentos da porção intermediária do sistema distributivo, composta pelas associações de planície de inundação (AF-1), lobo de espraçamento distal (AF-3) e proximal (AF-4), porém com ocorrências exclusivas das associações de canais fluviais fracamente canalizados (AF-2) e dunas eólicas (AF-5). A zona 2 compreende a porção intermediária distal do sistema distributivo e é constituída apenas pelas associações de lobo de espraçamento proximal (AF-4) e distal (AF-3). E a zona 3 é estabelecida pelas associações de lobo de espraçamento distal (AF-3) e de planície de inundação (AF-1), desenvolvida na porção distal desse sistema fluvial distributivo.

A partir dessa interpretação, pode-se deduzir que a zona 1 (proximal) é a mais propícia para o desenvolvimento de um reservatório de óleo e gás e o empilhamento de Chico Lomã é o mais favorável para esse desenvolvimento, devido as menores quantidades de heterogeneidades. A presença de espessas camadas de lobos de espraçamento proximal e canais fluviais formam as unidades permeáveis necessárias para a formação de um reservatório adequado. Enquanto que a ocorrência de depósitos impermeáveis, como os de planície de inundação e lobo de espraçamento distal podem exercer o papel como selantes, também podem dificultar a conectividade entre os corpos areníticos formadores do reservatório. Esse sistema tende a formar reservatórios com geometria labiríntico, que são formados por um complexo arranjo de corpos permeáveis com pouca conectividade entre si (Webber & Van Geuns,

1990). Para estudar melhor a distribuição desses corpos, seria importante elaborar modelos estatísticos de simulação de fluxo.

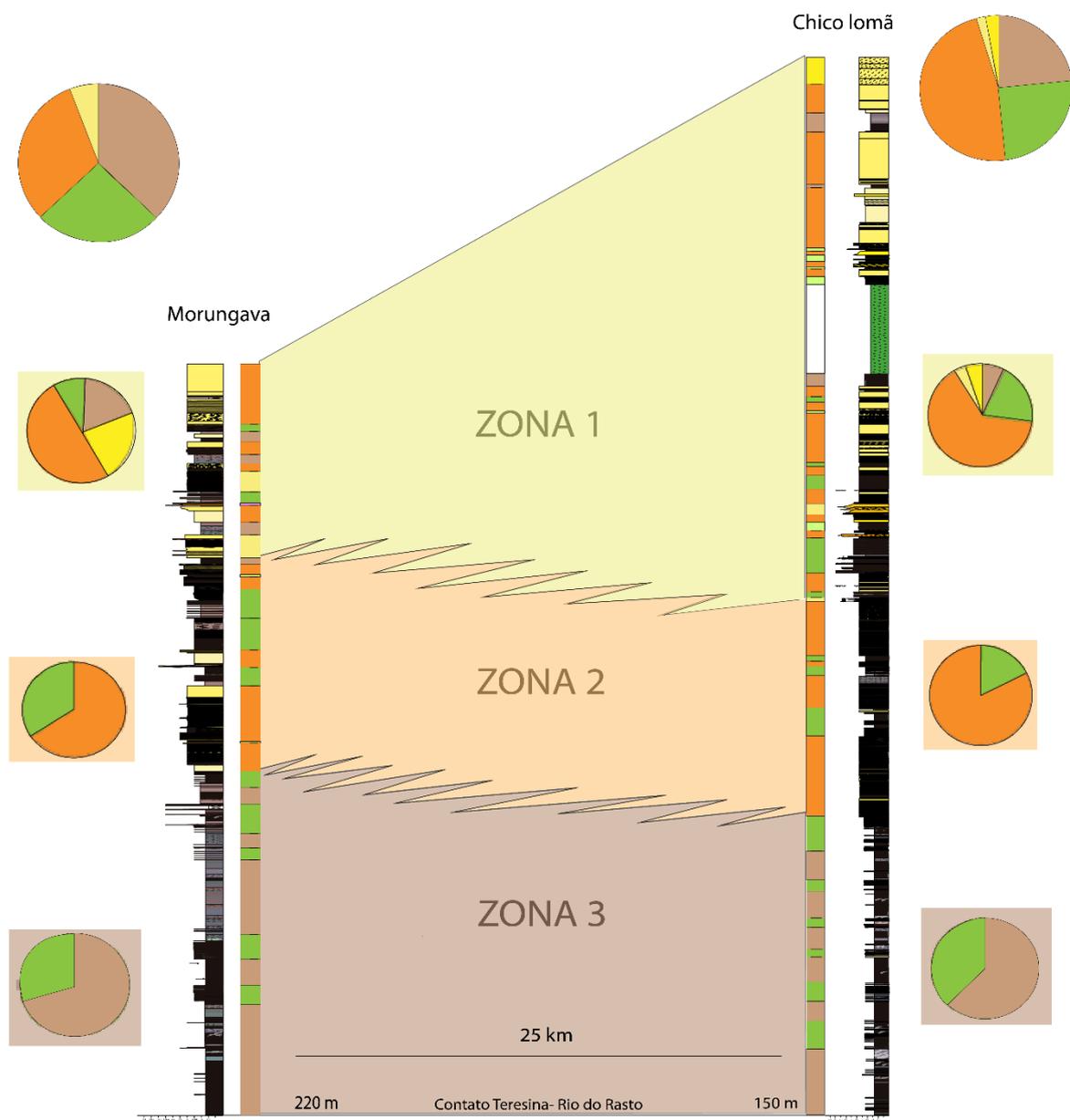


Figura 27. Correlação dos poços CBM MO e CBM CL e as determinadas zonas 1, 2 e 3 com os diagramas representando às proporções das associações de fácies de cada zona e de cada poço.

5 CONCLUSÕES

A integração de dados estratigráficos e sedimentológicos realizados no trabalho, através da análise das seções colunares da Formação Rio do Rasto localizada no bloco leste da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul, permitiu identificar 16 litofácies que foram agrupadas em 5 associações de fácies: planície de inundação (AF-1), canais fluviais fracamente canalizados (AF-2), lobo de espraiamento proximal (AF-3), lobo de espraiamento distal (AF-4) e dunas eólicas.

A análise dessas associações de fácies indicou que o ambiente deposicional da formação estudada se trata das porções intermediárias a distais de um sistema fluvial distributivo com tendência progradacional em ambas as seções colunares.

A partir da correlação das duas seções com 25 quilômetros de distância, é possível distinguir o sistema em 3 zonas, as quais: a zona 1 é a mais proximal nesse contexto regional e contempla todas as associações interpretadas, a zona 2 é a zona intermediária, onde começam os depósitos de lobos de espraiamento e a zona 3 pertence aos finos de planície de inundação e lobos de espraiamento distal. Através disso, foi possível reconhecer o caráter progradacional que o testemunho de Chico Lomã exerce sobre o de Morungava, indicando uma orientação do sistema distributivo preferencialmente para oeste. Portanto, o testemunho Chico Lomã representa a zona mais proximal, enquanto que Morungava constitui a zona mais distal do sistema. Em vista disso, o testemunho de Chico Lomã também é o mais favorável para ser utilizado no estudo de reservatórios análogos com geometrias labirínticas, por apresentar heterogeneidades menores em comparação ao de Morungava, no entanto, ainda sim com corpos arenosos com conectividades difíceis de estimar.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, John RL. The classification of cross-stratified units. With notes on their origin. *Sedimentology*, v. 2, n. 2, p. 93-114, 1963.
- ALLEN, John RL; LEEDER, M. R. Criteria for the instability of upper-stage plane beds. *Sedimentology*, v. 27, n. 2, p. 209-217, 1980.
- ASHLEY, Gail M. Classification of large-scale subaqueous bedforms; a new look at an old problem. *Journal of Sedimentary Research*, v. 60, n. 1, p. 160-172, 1990.
- BEURLEN, K. Faunas salobras fósseis e o tipo ecológico-paleogeográfico das faunas Gondwânicas no Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 29 (2): 229-241, 1957.
- BIGARELLA, J.J. Paleocorrentes e deriva continental (Comparação entre América do Sul e Africa). *Bol. Paranaense Geoc.*, 31 :141 -224, 1973.
- BISCHOFF, G. Stratigraphie, Tekronik und Magmatismus des Perms und Mesozoikums im Gebiet von Jacarezinho/Nordparaná. *Beih. Geol. Jb.*, Germany, 25:81-103, 1957.
- BURNS, C. E., MOUNTNEY, N. P., HODGSON, D. M., & COLOMBERA, L. Anatomy and dimensions of fluvial crevasse-splay deposits: Examples from the Cretaceous Castlegate Sandstone and Neslen Formation, Utah, USA. *Sedimentary Geology*, v. 351, p. 21-35, 2017.
- CAIN, Stephen A.; MOUNTNEY, Nigel P. Spatial and temporal evolution of a terminal fluvial fan system: the Permian Organ Rock Formation, South-east Utah, USA. *Sedimentology*, v. 56, n. 6, p. 1774-1800, 2009.
- CARTIGNY, M. J., VENTRA, D., POSTMA, G., & VAN DEN BERG, J. H. Morphodynamics and sedimentary structures of bedforms under supercritical-flow conditions: new insights from flume experiments. *Sedimentology*, v. 61, n. 3, p. 712-748, 2014.

CASTRO, J. C., & MEDEIROS, R. A. Excursão 9: Fácies e modelos de sedimentação das Formações Rio do Sul e Rio Bonito, leste de Santa Catarina; fácies e evolução sedimentar do Grupo Passa Dois na BR-470-SC. *Roteiro de Excursões 31º Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú, SC, 3*, 69–97, 1980.

DAVIDSON, S. K., HARTLEY, A. J., WEISSMANN, G. S., NICHOLS, G. J., & SCUDERI, L. A. Geomorphic elements on modern distributive fluvial systems. *Geomorphology*, v. 180, p. 82-95, 2013.

DOS REIS, A. D., DOS SANTOS SCHERER, C. M., DO AMARANTE, F. B., ROSSETTI, M. D. M. M., KIFUMBI, C., DE SOUZA, E. G., ... & OWEN, A. Sedimentology of the proximal portion of a large-scale, Upper Jurassic fluvial-aeolian system in Paraná Basin, southwestern Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 95, p. 102248, 2019.

DOS REIS, A. D., DOS SANTOS SCHERER, C. M., OWEN, A., DO AMARANTE, F. B., FORMOLO FERRONATTO, J. P., PANTOPOULOS, G., ... & GOSO AGUILAR, C. A. A quantitative depositional model of a large distributive fluvial system (Megafan) with terminal aeolian interaction: The Upper Jurassic Guarú DFS in southwestern Gondwana. *Journal of Sedimentary Research*, v. 92, n. 5, p. 460-485, 2022.

DUMAS, Simone; ARNOTT, R. W. C. Origin of hummocky and swaley cross-stratification—The controlling influence of unidirectional current strength and aggradation rate. *Geology*, v. 34, n. 12, p. 1073-1076, 2006.

FIELDING, Christopher R. Upper flow regime sheets, lenses and scour fills: extending the range of architectural elements for fluvial sediment bodies. *Sedimentary Geology*, v. 190, n. 1-4, p. 227-240, 2006.

FRIEND, P.F. Distinctive features of some ancient river systems, in Miall, A.D., ed., *Fluvial Sedimentology*, *Canadian Society of Petroleum Geologists*, Memoir 5, p. 531–542, 1978.

FRIEND, P.F., AND MOODY-STUART, M. Sedimentation of the Wood Bay Formation (Devonian) of Spitsbergen: regional analysis of a late orogenic basin: *Norsk Polarinstitutt, Skrifter*, v. 157, p. 1–77, 1972.

GALLOWAY, William E.; HOBDAV, David K. Fluvial systems. In: Terrigenous Clastic Depositional Systems. *Springer*, Berlin, Heidelberg, 1996. p. 60-90.

GAMA JR., E. A sedimentação do Grupo Passa Dois (exclusive Formação Irati): um modelo geomórfico. *Rev. Brasil. Geoc.*, 9(1): p. 1-16, 1979.

GORDON JR, M. Classificação das formações gondwânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. DNPM-DGM, Rio de Janeiro, *Notas Preliminares e Estudos*, 38, 1–20, 1947.

HAMPTON, Brian A.; HORTON, Brian K. Sheetflow fluvial processes in a rapidly subsiding basin, Altiplano plateau, Bolivia. *Sedimentology*, v. 54, n. 5, p. 1121-1148, 2007.

HARTLEY, A. J., WEISSMANN, G. S., NICHOLS, G. J., & WARWICK, G. L. Large distributive fluvial systems: characteristics, distribution, and controls on development. *Journal of Sedimentary Research*, v. 80, n. 2, p. 167-183, 2010.

HOLZ, M., FRANÇA, A. B., SOUZA, P. A., IANNUZZI, R., & ROHN, R. A stratigraphic chart of the Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil, South America. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 29, n. 2, p. 381-399, 2010.

HUNTER, Ralph E. Basic types of stratification in small eolian dunes. *Sedimentology*, v. 24, n. 3, p. 361-387, 1977.

JAMES, N.P., AND DALRYMPLE, R.W. Facies Models 4: The Geological Association of Canada, 586 p., 2010.

KELLY, Sean B.; OLSEN, Henrik. Terminal fans—a review with reference to Devonian examples. *Sedimentary Geology*, v. 85, n. 1-4, p. 339-374, 1993.

LANG, S. C. et al. Modern analogues for dryland sandy fluvial-lacustrine deltas and terminal splay reservoirs. *The APPEA Journal*, v. 44, n. 1, p. 329-356, 2004.

LAVINA, E. L. *Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopermiano e Eotriássico (intervalo Kazaniano-Scythiano) da Bacia do Paraná*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

LEANZA, A. F. El llamado Triásico marino de Brasil, Paraguay y la Argentina. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 3(3), 219–244, 1948.

LEVANDOWSKI, Janaina Hugo. *Características petrográficas e geoquímicas das camadas de carvão do poço CBM 001-CL-RS, jazida Chico Lomã, e sua relação com o coalbed methane associado*. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

LIMARINO, Carlos O. *et al.* A paleoclimatic review of southern South America during the late Paleozoic: a record from icehouse to extreme greenhouse conditions. *Gondwana Research*, v. 25, n. 4, p. 1396-1421, 2014.

LOCZY, L. DE. Evolução paleogeográfica e geotectônica da bacia gondwanica do Paraná e do seu embasamento. *Div. Geol. Min. Brasil. DNPM-DGM*, Rio de Janeiro, Bol. 234, 71p, 1966.

MAACK, R. *Lycopodiopsis derbyi* Renault, documento da idade paleozoica das Camadas Terezina do Brasil Meridional. *Arq. Biol. Tecnol.*, Curitiba, 2:155-207, 1947.

MENDES, J. C. Contribuição à estratigrafia da série Passa Dois no Estado do Paraná. *Boletim Da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Geologia*, 10, 5–115, 1954.

MIALL, A.D. *The Geology of Fluvial Deposits*: Berlin, *Springer*, 582 p, 1996.

MIALL, Andrew D. *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology*. *Springer*, 2013.

MIDDLETON, Gerard V. Sediment deposition from turbidity currents. *Annual review of earth and planetary sciences*, v. 21, p. 89-114, 1993.

MILANI, E. J., & RAMOS, V. A. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 28, n. 4, p. 473-484, 1998.

MILANI, E.J., FACCINI, U.F., SCHERER, C.M., ARAUJO, L.M., AND CUPERTINO, J.A., 1998, Sequences and stratigraphic hierarchy of the Parana Basin (Ordovician to

Cretaceous), Southern Brazil: *Boletim Instituto de Geociências Universidade de São Paulo*, Série Científica, v. 29, p. 125–173, 1998.

MILANI, Edison José. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. *Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, CDR*, p. 265-291, 2004.

MILANI, E.J., HENRIQUE, J., MELO G. DE, SOUZA, P.A. DE, FERNANDES, L.A., AND FRANÇA, A.B. Bacia do Parana *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 15, p. 265–287, 2007.

NEMEC, W.; POSTMA, G. Quaternary alluvial fans in southwestern Crete: sedimentation processes and geomorphic evolution. *Alluvial sedimentation*. Oxford: International Association of Sedimentologists, 1993. p. 235-276.

MUKERJI, A.B., Terminal fans of inland streams in Sutlej–Yamuna Plain, India: *Zeitschrift für Geomorphologie*, Neue Folge, v. 20, p. 190–204, 1976.

NICHOLS, G. J.; FISHER, J. A. Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits. *Sedimentary geology*, v. 195, n. 1-2, p. 75-90, 2007.

NORTH, Colin P.; WARWICK, Gail L. Fluvial fans: myths, misconceptions, and the end of the terminal-fan model. *Journal of Sedimentary Research*, v. 77, n. 9, p. 693-701, 2007.

NORTHFLEET, A. A.; MEDEIROS, R. A.; MUHLMANN, H. Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. *Boletim Técnico da Petrobrás*, v. 12, n. 3, p. 291-346, 1969.

PARKASH, B.; AWASTHI, A. K.; GOHAIN, K. Lithofacies of the Markanda terminal fan, Kurukshetra district, Haryana, India. In: *Modern and ancient fluvial systems*. Blackwell Scientific Publications Oxford, 1983. p. 337-344.

REINECK, H.-E.; SINGH, Indra Bir. Depositional sedimentary environments: with reference to terrigenous clastics. *Springer Science & Business Media*, 2012.

RETALLACK, G. J., REINHARDT, J., & SIGLEO, W. R. Field recognition of paleosols. *Geological Society of America Special Paper*, v. 216, p. 1-20, 1988.

RODRIGUES, Adriana Damiani. *Caracterização faciológica e estratigráfica dos depósitos Flúvio-eólicos da Formação Pirambóia, permo-triássico da Bacia do Paraná, Oeste do Rio Grande*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

ROHN, Rosemarie. *Bioestratigrafia e paleoambientes da Formação Rio do Rasto na borda leste da Bacia do Paraná (Permiano Superior, Estado do Paraná)*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1988.

ROHN, Rosemarie. *Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1994.

SANFORD, Robert M.; LANGE, Frederico W. Basin-study approach to oil evaluation of Paraná miogeosyncline, south Brazil. *AAPG Bulletin*, v. 44, n. 8, p. 1316-1370, 1960.

SCHEMIKO, Danielle Cristine Buzatto. A sedimentação do membro Morro Pelado, permiano superior da Bacia do Paraná. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação da Universidade federal do Paraná, 2013.

SCHERER, C. M. DOS S., LAVINA, E., REIS, A., & HORN, B. 2021, *Estratigrafia da sucessão mesozoica da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul*. In Jelinek, A.R., and Sommer C.A., eds, *Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina: Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo RS/SC, Compasso Lugar-Cultura*, p. 289-304, 2021.

SCHERER, Claiton MS; GOLDBERG, Karin; BARDOLA, Tatiana. Facies architecture and sequence stratigraphy of an early post-rift fluvial succession, Aptian Barbalha Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil. *Sedimentary Geology*, v. 322, p. 43-62, 2015.

SCHNEIDER, R., MÜHLMANN, H., TOMMASI, E., MEDEIROS, R. A. DE, DAEMON, R. F., & NOGUEIRA, A. A., Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. *Congresso Brasileiro de Geologia*, 28(1974), 41–65, 1974.

SIMÃO, Gustavo. *O carvão da jazida de Morungava-RS: caracterização petrográfica, química e tecnológica das camadas de carvão do poço de exploração CBM 001-MO-RS*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SIMONS, D.B., RICHARDSON, E.V. and NORDIN, C.F. Sedimentary structures formed by flow in alluvial channels. In: Primary Sedimentary Structures and their Hydrodynamic Interpretation (Ed. G.V. Middleton), *SEPM Spec. Publ.*,12, 34–53, 1965.

TINTERRI, ROBERTO et al. Combined flow sedimentary structures and the genetic link between sigmoidal-and hummocky-cross stratification. *GeoActa*, v. 10, n. 4, p. 1-43, 2011.

WALKER, R.G., AND JAMES, N.P., Facies Models: Response to Sea Level Change: *Geological Association of Canada*, 454 p., 1992.

WARREN, Lucas Veríssimo et al. Evolução sedimentar da Formação Rio do Rasto (Permo-Triássico da Bacia do Paraná) na porção centro sul do estado de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 38, n. 2, p. 213-227, 2008.

WEBBER, K. J.; VAN GEUNS, L. C. Framework for constructing clastic reservoir simulation models. *Journal of Petroleum Technology*, v. 42, n. 10, p. 1248-1297, 1990.

WEISSMANN, G. S. et al. Fluvial form in modern continental sedimentary basins: distributive fluvial systems. *Geology*, v. 38, n. 1, p. 39-42, 2010.

WHITE, Israel Charles. Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. *Rio de Janeiro: DNPM, Pte I*, p. 1-300, 1908.

ANEXOS

Anexo 1: Perfis colunares digitalizados.

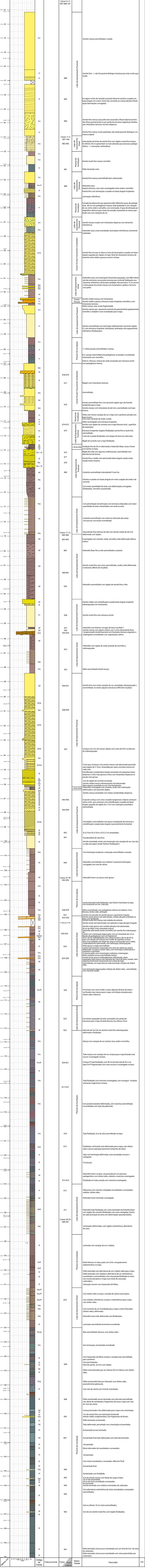
Anexo 2: Tabela dos diagramas das associações de fácies.

Interprete(s): Paula Lima, Claiton Scherer, Adriano Reis, Monica Manna e Rossano Lana
Data: 10/07/2021

Coordenadas UTM: 6692227 m N 0515237 m E
Espessura: 107,85 m Datum: WGS84 Escala: 1:50

Fácies Sedimentares

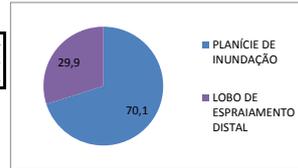
P	Paleossolos	St	Arenitos com estratificações cruzadas tangenciais
Fu/Fm	Laminitos laminados/maciços	Ss	Arenitos com estratificações cruzadas sigmoidais
Hi	Heterolito com acamadamento insen	Sl	Arenitos com laminações/estratificações cruzadas de baixo ângulo
Hw	Heterolito com acamadamento wavy	Slu	Arenitos com laminações horizontais suavemente onduladas
Hf	Heterolito com acamadamento flaser	Sh	Arenitos com laminações/estratificações horizontais
Sr	Arenitos com laminações onduladas de onda (wavy ripples)	Sm	Arenitos maciços
Sr	Arenitos com laminações onduladas de corrente (current ripples)	Sw	Arenitos com laminações onduladas truncadas de baixo ângulo (Swaley)
Sp	Arenitos com estratificações cruzadas planares	Gm	Conglomerados maciços



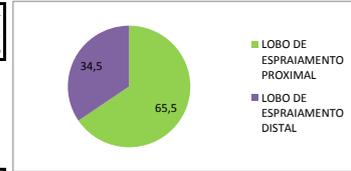
Profundidade (m)	Fácies (Código)	Paleocorrente	Fotos	Perfil Lateral	ASSOC. Fácies	Descrição	Lito
39	Sm						
40	Sm						
41	Sm						
42	S7						
42.15	SI						
43	SI						
44	Sm						
45	Sm						
46	S7						
47	SI						
47.25	SI						
48	SI						
49	Sm						
49.80	S7						
50	Sm						
51	S7						
51.15	Hw						
52	Fm						
53	Fm						
53.20	FI						
54	Sm						
54.80	Hw/P						
55	SI						
55.15	Hw						
56	P						
57	Sm						
58	Hw						
59	SI/Sr						
60	SI/Sr						
61	Hw						
62	FI						
63	Sm						
64	S7						
65	Fm						
66	P						
67	P						
68	Sm						
69	Sr						
70	Sm						
71	FI						
72	SI						
73	Sw + Sr						
74	SI						
75	Slu						
76	Hf						
77	Hw						
78	HI						
79	Fd						
80	Hf						
81	Fd						
82	Hf						
83	Hf						
84	Sr						
85	Sr						
86	SI						
87	SI						
88	SI						
89	SI/Sr						
90	SI/Sr						
91	SI/Sr						
92	SI/Sr						
93	SI/Sr						
94	SI/Sr						
95	SI/Sr						
96	SI/Sr						
97	SI/Sr						
98	SI/Sr						
99	SI/Sr						
100	SI/Sr						
101	SI/Sr						
102	SI/Sr						
103	SI/Sr						
104	SI/Sr						
105	SI/Sr						
106	SI/Sr						
107	SI/Sr						
108	SI/Sr						
109	SI/Sr						
110	SI/Sr						
111	SI/Sr						
112	SI/Sr						
113	SI/Sr						
114	SI/Sr						
115	SI/Sr						
116	SI/Sr						
117	SI/Sr						
118	SI/Sr						
119	SI/Sr						
120	SI/Sr						
121	SI/Sr						
122	SI/Sr						
123	SI/Sr						
124	SI/Sr						
125	SI/Sr						
126	SI/Sr						
127	SI/Sr						
128	SI/Sr						
129	SI/Sr						
130	SI/Sr						
131	SI/Sr						
132	SI/Sr						
133	SI/Sr						
134	SI/Sr						
135	SI/Sr						
136	SI/Sr						
137	SI/Sr						
138	SI/Sr						
139	SI/Sr						
140	SI/Sr						
141	SI/Sr						
142	SI/Sr						
143	SI/Sr						
144	SI/Sr						
145	SI/Sr						
146	SI/Sr						
147	SI/Sr						
148	SI/Sr						
149	SI/Sr						
150	SI/Sr						

MORUNGAVA		ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES	METRAGEM
ZONA 3	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		16
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		2,8
	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		3,7
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		3,5
	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		10,8
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		1,8
	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		1,15
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		4,15
	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		2,35
LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		2,25	
ZONA 2	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		4,15
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		0,3
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		7,8
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		2,65
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		2,45
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		6,9
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		3,5
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		0,35
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		1,5
ZONA 1	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		0,9
	CANAL FLUVIAL		3,25
	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		1,75
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		2,5
	CANAL FLUVIAL		0,4
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		1,65
	CANAL FLUVIAL		2,55
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		1,05
	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		1,4
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		1,35
	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		1,4
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		1,15
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		8,75
TOTAL			106,2

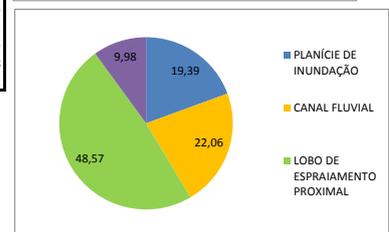
PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO	70,1	34
LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL	29,9	14,5
TOTAL	100%	48,5



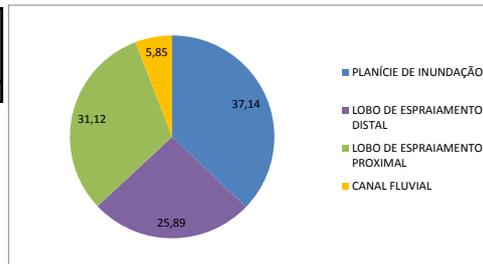
LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL	65,5	19,4
LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL	34,5	10,2
TOTAL	100%	29,6



PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO	19,39	5,45
CANAL FLUVIAL	22,06	6,2
LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL	48,57	13,65
LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL	9,98	2,8
TOTAL	100%	28,1



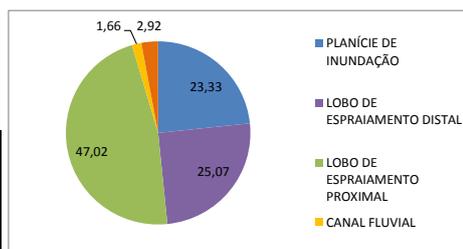
Total das AF	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO	39,45	37,14
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL	27,5	25,89
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL	33,05	31,12
	CANAL FLUVIAL	6,2	5,85
TOTAL		106,2	100%



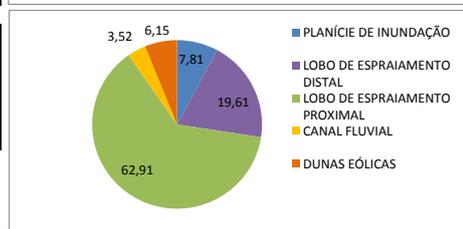
PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO	37,14
LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL	25,89
LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL	31,12
CANAL FLUVIAL	5,85
TOTAL	100%

CHICO LOMÁ		ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES	METRAGEM
ZONA 3	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		9,75
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		4,1
	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		2,7
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		2,8
	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		3,55
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		1,1
	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		3,1
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		1,4
	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		3,75
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		1,7
ZONA 2	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		4,25
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		5,05
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		10,9
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		3,85
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		4,6
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		1
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		0,75
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		0,8
ZONA 1	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		7,6
	CANAL FLUVIAL		0,7
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		0,8
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		2,7
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		4,5
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		1,05
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		1,15
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		1,1
	CANAL FLUVIAL		1,6
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		2,15
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		2,05
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		1,3
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		0,5
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		7,2
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		0,25
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		1,2
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		0,8
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		1,5
	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		1,85
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		1,15
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		1,1
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		0,3
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		0,8
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		0,9
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		0,6
	LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL		0,4
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		8,65
	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		0,5
	LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		7,6
	PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO		2,75
LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL		4,1	
DUNAS EÓLICAS		4	
TOTAL			138

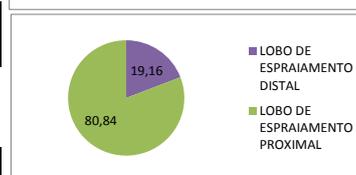
Total das AF			
PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO	23,33	32,2	
LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL	25,07	34,6	
LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL	47,02	64,9	
CANAL FLUVIAL	1,66	2,3	
DUNAS EÓLICAS	2,92	4	
TOTAL	100%	138	



ZONA 1			
PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO	7,81	5,1	
LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL	19,61	12,8	
LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL	62,91	41,05	
CANAL FLUVIAL	3,52	2,3	
DUNAS EÓLICAS	6,15	4	
TOTAL	100%	65,25	



ZONA 2			
LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL	19,16	5,65	
LOBO DE ESPRAIAMENTO PROXIMAL	80,84	23,85	
TOTAL	100%	29,5	



ZONA 3			
PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO	62,66	27,1	
LOBO DE ESPRAIAMENTO DISTAL	37,34	16,15	
TOTAL	100%	43,25	

