



**Lucas Arienti Gonçalves**

**ESTRATIGRAFIA E EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL DA  
SEQUÊNCIA LENHEIRO, MESOPROTEROZOICO,  
SÃO JOÃO DEL REI, MG**

**Trabalho Final de Curso  
(Geologia)**

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2017



UFRJ

**Lucas Arienti Gonçalves**

**ESTRATIGRAFIA E EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL DA SEQUÊNCIA  
LENHEIRO, MESOPROTEROZOICO, SÃO JOÃO DEL REI, MG**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

André Ribeiro

Felipe Nepomuceno de Oliveira

Rio de Janeiro  
Novembro / 2017

ARIENTI GONÇALVES, Lucas

**ESTRATIGRAFIA E EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL  
DA SEQUÊNCIA LENHEIRO, MESOPROTEROZOICO,  
SÃO JOÃO DEL REI, MG** / Lucas Arienti Gonçalves -- Rio  
de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2017.

113 p.

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade  
Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências,  
Departamento de Geologia, 2017.

Orientadores: André Ribeiro, Felipe Nepomuceno de  
Oliveira.

1. Geologia. 2. Geologia regional – Trabalho de  
Conclusão de Curso. I. André Ribeiro. II. Universidade  
Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências,  
Departamento de Geologia. III. Título.

**Lucas Arienti Gonçalves**

**ESTRATIGRAFIA E EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL DA SEQUÊNCIA  
LENHEIRO, MESOPROTEROZOICO, SÃO JOÃO DEL REI, MG**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

André Ribeiro

Felipe Nepomuceno de Oliveira

Aprovada em: 30.11.2017

Por:

---

Orientador: André Ribeiro (UFRJ)

---

Claudio Limeira Mello (UFRJ)

---

Débora Barros Nascimento (UFRJ)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2017

*Aos meus pais,  
que me ensinaram que  
mares podem virar serras.*

## **Agradecimentos**

Meu maior agradecimento é à minha eterna companheira de campo e amiga, Taís Martins – que participou de todas as etapas desse nosso trabalho, tornando sempre os dias quentes no sol mais alegres e o estresse com o Corel mais suportável.

Aos meus orientadores André Ribeiro e Felipe Nepomuceno, pela liberdade dada a nós para pensarmos sobre as interpretações e fazermos o trabalho duro, pela ajuda quando precisávamos e pela oportunidade do projeto.

À Universidade Federal do Rio de Janeiro, ao Instituto de Geociências – IGEO e ao Departamento de Geologia, por toda a infraestrutura da disciplina de Estágio de Campo I, veículos, motoristas, auxílio de custo e pelo ambiente de trabalho, sem os quais o projeto não seria possível.

Ao seu Antônio, que nos hospedou em sua própria casa durante os trabalhos de campo, sempre de bom humor.

Aos meus amigos, especialmente Larissa de Santana, Beatriz Froés e Alvaro Balmant, que me apoiaram em todos os momentos dessa trajetória, me incentivando a alcançar as metas de conclusão deste trabalho. Ao meu revisor André Franco, pela velocidade de correção e perfeccionismo inigualáveis.

E a todos que participaram de quaisquer etapas do projeto, mesmo que com um simples “como está indo?”.

Essa monografia é para vocês.

## Resumo

ARIENTI GONÇALVES, Lucas. **ESTRATIGRAFIA E EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL DA SEQUÊNCIA LENHEIRO, MESOPROTEROZOICO, SÃO JOÃO DEL REI, MG.** 2017. 113 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A Sequência Lenheiro da Formação Tiradentes, Mesoproterozoico, registra depósitos de um sistema deltaico com influência de maré, progradante para SSE. Os afloramentos estendem-se por dezenas de quilômetros pelas serras de São José e do Lenheiro, a leste e oeste do município de São João del Rei, Minas Gerais. O presente trabalho consiste na elaboração de dois perfis estratigráficos em escala 1:20 na Sequência Lenheiro, totalizando 150 e 130 m cada. Foram reconhecidas e interpretadas 16 fácies sedimentares, agrupadas em sete associações de fácies. A partir do conjunto de associações e suas relações laterais observadas em campo, foi possível a interpretação de ambientes deposicionais. Na região do prodelta predominam depósitos de decantação de finos. Na frente deltaica, tornam-se mais frequentes arenitos com estruturas trativas e gravitacionais, e, em alguns deles, convoluções relacionadas a instabilidade tectônica ou de carga sedimentar. Na região da planície deltaica, é registrada a migração de barras de maré, representadas por arenitos com estratificação cruzada com recobrimento pelítico nos *foresets*, e, em direção ao continente, canais fluviais também com influência de marés. Nas porções mais continentais da sucessão ocorrem depósitos conglomeráticos, areníticos e pelíticos interpretados como canais e barras de um sistema fluvial entrelaçado com planície de inundação. O padrão grano e estratocrescente bem marcado nos perfis, o empilhamento vertical das associações de fácies e a relação lateral entre elas denotam um progressivo raseamento da sucessão. A Sequência Lenheiro, portanto, representa um delta de rio entrelaçado com influência de maré, com sentido de descarga fluvial para sul.

Palavras-chave: Deltas; Marés; Mesoproterozoico; Estratigrafia; Formação Tiradentes; Sequência Lenheiro.

## Abstract

ARIENTI GONÇALVES, Lucas. **STRATIGRAPHY AND PALEOENVIRONMENTAL EVOLUTION OF THE LENHEIRO SEQUENCE, MESOPROTEROZOIC, SÃO JOÃO DEL REI, MG.** 2017. 113 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The Lenheiro Sequence of the Tiradentes Formation, Mesoproterozoic, records deposits of a delta system with tidal influence, prograding to SSE. The outcrops extend for tens of kilometers through Serra de São José and Serra do Lenheiro, on the east and west sides of the São João del Rei city, Minas Gerais. Two stratigraphic profiles in scale 1:20, of 150 and 130 m each, were done on the Lenheiro Sequence. Sixteen sedimentary facies, grouped in seven facies associations, were recognized and interpreted. It was possible to interpret depositional environments from the facies associations and their lateral relationships observed in the field. Deposits of fine decantation are typical of the prodelta association. On the delta front, sandstones with traction or gravitational structures occur and, in some of them, convolutions due to tectonic instability or sedimentary load. The migration of tide bars at the subaqueous delta plain is represented by sandstones with cross-stratification with mud drapes in the foresets, and, towards the continent, there are fluvial channels also influenced by tides. In the more continental portions of the succession there are conglomeratic, sandy and pelitic deposits of fluvial channels and bars interbedded with the floodplain. The coarsening- and thickening-up stacking pattern in the profiles and the lateral relationship between the facies associations represent a shallowing upwards succession. Therefore, the Lenheiro Sequence is a progradational braided river deltaic system with tidal influence.

**Keywords:** Deltas; Tides; Mesoproterozoic; Stratigraphy; Tiradentes Formation; Lenheiro Sequence.



## Lista de figuras

Figura 1 – Mapa político do Brasil, com a região de São João del Rei .....	15
Figura 2 – Imagem de satélite da cidade de São João del Rei.....	16
Figura 3 – Mapa geotectônico esquemático do Cráton São Francisco .....	17
Figura 4 – Mapa geológico da região de São João del Rei, Minas Gerais.....	18
Figura 5 – Seção geológica esquemática da região de São João del Rei .....	19
Figura 6 – Coluna estratigráfica regional da região de São João del Rei .....	20
Figura 7 – Vara de Jacob.....	23
Figura 8 – Exemplo de perfil desenhado em campo e digitalizado .....	24
Figura 9 – Esquema com as etapas de correção das medidas de paleocorrente. ....	25
Figura 10 – Imagem de satélite da Serra do Lenheiro .....	26
Figura 11 – Três camadas amalgamadas de ortoconglomerados com gradação normal. ....	31
Figura 12 – Ortoconglomerado maciço ( fácies Gcm).....	32
Figura 13 – Pacotes amalgamados de conglomerados com estratificação cruzada separados por superfícies irregulares de erosão.....	34
Figura 14 – Arenito com estratificação plano-paralela (Sh) entre arenito com estratificação cruzada planar (Sp) e sigmoidal (Ss). ....	35
Figura 15 – Camadas de arenito maciço (Sm) separadas por lâminas de pelito maciço (Fm). ....	36
Figura 16 – Wacke maciça (Smm) com grãos de areia média e grossa e matriz pelítica quartzo-micácea. ....	37
Figura 17 – Arenito com estratificação cruzada planar de grande porte. ....	38
Figura 18 – Arenito com estratificação cruzada sigmoidal (Ss).....	39
Figura 19 – Arenito com estratificação cruzada acanalada e base erosiva. ....	40
Figura 20 – Arenito com dobra convoluta (Sc). ....	41
Figura 21 – Arenito com estrutura de pilar (Sc). ....	41
Figura 22 – Arenito com estratificação cruzada planar com recobrimento pelítico nos foresets (seta). As camadas também são separadas por lâminas pelíticas. ....	42
Figura 23 – Camadas de arenito com estratificação cruzada acanalada, separadas por lâminas de pelitos e com recobrimento pelítico nos foresets. ....	43
Figura 24 – Empilhamento de lâminas plano-paralela de pelitos definindo a fácies Fh. ....	44
Figura 25 – Pelito cinzento maciço com manchas elípticas de redução. ....	45
Figura 26 – Siltito rosa com laminação cruzada ( fácies Ft) marcada por níveis mais escuros. ....	46

Figura 27 – Laminação cruzada, marcada por níveis cinza escuros, em siltito branco (Ft). ...	46
Figura 28 – Pelitos cinza laminado (F1) e lâminas alaranjadas de arenitos e wackes maciços (Sm e Smm).....	50
Figura 29 – Perfil esquemático da sucessão de fácies da associação F1, com base no empilhamento vertical observado no campo e mostrado no perfil LB. ....	51
Figura 30 – Perfil esquemático incluindo todas as fácies reconhecidas na associação de fácies F2. Baseado em observações de campo mostradas nos perfis LA e LB .....	53
Figura 31 – Arenitos maciços de cor branca a rosada (Sm) e lâminas pelíticas alaranjadas devido à oxidação (Fm), típicos da associação F2 - frente deltaica distal. ....	54
Figura 32 – Diagrama de roseta com 5 medidas de paleocorrentes na associação de fácies F2. ....	54
Figura 33 – Perfil esquemático da associação de fácies F3, incluindo exemplos de todas as fácies presentes. Baseado em observações de campo mostradas nos perfis LA e LB.....	56
Figura 34 – Arenito com estratificação cruzada acanalada sobre base irregular erosiva .....	57
Figura 35 – Arenitos com superfícies erosivas e irregulares preenchidas por lâminas de pelito .....	58
Figura 36 – Padrão bidirecional de paleocorrentes medidas em arenitos Sp e St na associação de fácies F3, em diagrama de roseta com 12 medidas. ....	58
Figura 37 – Perfil esquemático da associação de fácies F4, incluindo exemplos das fácies presentes. Baseado em observações de campo, mostradas nos perfis LA e LB.....	60
Figura 38 – Arenitos rosados e brancos com estratificação cruzada bidirecional. ....	61
Figura 39 – Truncamento de camadas de arenitos St e Sm por superfícies erosivas, algumas com recobrimento por lentes de pelito Fm. Fotomosaico ressaltando estruturas e geometria de camadas na associação F4. ....	62
Figura 40 – Paleocorrentes com padrão bidirecional, em diagrama de roseta com 6 valores medidos na associação F4. ....	63
Figura 41 – Perfil esquemático com as fácies presentes na associação F5. Baseado em observações de campo mostradas no perfil LA. ....	65
Figura 42 – Camadas de arenito Sh formando um corpo de geometria sigmoidal (acamamento cruzado sigmoidal).....	66
Figura 43 – Diagrama de roseta com 7 medidas de paleocorrentes da associação F5.....	66
Figura 44 – Perfil esquemático da associação de fácies F5, incluindo exemplos de todas as fácies presentes. Baseado em observações de campo, mostradas no perfil LA .....	68
Figura 45 – Arenitos seixosos St em camadas de geometria lenticular, associação F6.....	69

Figura 46 – Conglomerado maciço Gcm em contato irregular erosivo sobre arenito St, típicos da associação F6. ....	70
Figura 47 – Roseta de paleocorrentes com 17 medidas obtidas na associação F6. ....	70
Figura 48 – Perfil esquemático com as fácies presentes na associação F7, baseado em observações de campo mostradas no perfil LA.....	71
Figura 49 – Pelitos, arenitos e wackes maciços (Fm, Sm e Smm), característicos da associação F7. ....	72
Figura 50 – Comparação entre o empilhamento vertical das associações de fácies nos perfis LA e LB. Perfis sintéticos em escala 1:600.....	74
Figura 51 – Modelo paleodeposicional da Sequência Lenheiro, com perfis esquemáticos de cada ambiente e paleocorrentes medidas em campo.....	76
Figura 52 – A Sequência Lenheiro interpretada como um delta de rio entrelaçado com influência de maré (estrela). Diagrama triangular de classificação de deltas .....	77
Figura 53 – O Delta do Mahakam, na Indonésia.....	78

## Sumário

1 INTRODUÇÃO .....	12
2 OBJETIVO .....	13
3 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E CONTEXTO HISTÓRICO .....	14
4 GEOLOGIA REGIONAL .....	17
5 METODOLOGIA .....	22
6 PERFIS ESTRATIGRÁFICOS .....	26
7 FÁCIES SEDIMENTARES .....	27
8 ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES .....	47
9 CORRELAÇÃO ESTRATIGRÁFICA .....	73
10 CONCLUSÕES .....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	79
APÊNDICE 1 – LEGENDA DOS PERFIS .....	84
APÊNDICE 2 – PERFIL LA .....	86
APÊNDICE 3 – PERFIL LB .....	102

## 1 INTRODUÇÃO

A sucessão quartzítica das serras do Lenheiro e São José, na região de São João del Rei e Tiradentes, Minas Gerais, é uma das mais importantes unidades de interesse geológico do Brasil. É estudada desde 1927, quando Bastos & Erichsen descreveram pela primeira vez as rochas que viriam a compor a Formação Tiradentes (LEONARDOS, 1940) e o Grupo São João del Rei (EBERT, 1967, 1971). A partir daí, tornou-se foco de diversos estudos, devido a sua importância geológica e contexto histórico – a exploração de ouro nos arredores de Tiradentes e São João del Rei foi a maior do Brasil, superando até mesmo a de Ouro Preto.

Desde sua fundação em 1958, a Escola de Geologia da Universidade do Brasil desenvolveu trabalhos de campo na Formação Tiradentes. Depois, em 1987, já como Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, passaram a ser realizados estágios de campo com mapeamento em escala detalhada. Ribeiro (1997) traçou perfis estratigráficos em escala 1:100 na unidade que representa a maior parte do registro sedimentar da Formação Tiradentes. Foram nela então definidas as tectonossequências Tiradentes, São José, Tejuco e Lenheiro (RIBEIRO, 1997; RIBEIRO *et al.*, 2003). A Sequência Lenheiro foi definida como um sistema deltaico de rios entrelaçados – cujos processos dominantes, sequências de maior ordem e modelos de evolução paleoambiental foram o foco do presente trabalho.

## 2 OBJETIVO

Dado o caráter regional de estudos previamente realizados na Bacia de São João del Rei (EBERT, 1957, 1958, 1962, 1967, 1971; ANDREIS *et al.* 1989; RIBEIRO, 1997; RIBEIRO *et al.* 2003, 2013), o principal objetivo desse trabalho foi um estudo mais aprofundado das sequências de maior ordem presentes na Sequência Lenheiro, a partir da definição de associações de fácies, representando os ambientes deposicionais dentro do sistema deltaico. Com isso, pôde-se detalhar a evolução estratigráfica e elaborar um modelo paleodeposicional da sucessão, levando em conta processos dominantes e influenciadores na dinâmica do delta e ao longo de sua história geológica.

### 3 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E CONTEXTO HISTÓRICO

São João del Rei é um município do Estado de Minas Gerais (Figura 1), que faz parte do Sudeste brasileiro, e constitui uma das maiores cidades setecentistas do país, com registros de moradores datando de 1701 – embora a região já fosse habitada anteriormente por tribos indígenas. A sede municipal, de coordenadas geográficas 21° 08' 09" Sul e 44° 15' 43" Oeste e altitude de 898 m em relação ao nível do mar, localiza-se em um vale entre duas serras: a Serra de São José, no lado oriental, e a Serra do Lenheiro, no lado ocidental – área onde foi elaborado o presente trabalho (Figura 2) – e faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Grande, que inclui o Rio Elvas e o Rio das Mortes.

O Rio das Mortes, inclusive, foi palco de grandes conflitos históricos da região, como a Guerra dos Emboabas, em 1704, gerada pelo conflito entre bandeirantes paulistas e grupos de portugueses (chamados pejorativamente de “emboabas”) pelo direito de exploração das jazidas recém-descobertas de ouro. O desfecho se deu com a derrota dos paulistas e os portugueses logo iniciando a lavra do ouro. A vila, cujo nome representa uma homenagem à Dom João V, teve sua categoria elevada à cidade em 8 de dezembro de 1838, devido aos avanços promovidos pela exploração de ouro, a pecuária e a agricultura.

Hoje, São João del Rei possui 90.263 habitantes (Estimativa IBGE/2017), e tem seu principal acesso dado pela rodovia federal BR-265, que em Barbacena se conecta a BR-040 (Rodovia Juscelino Kubitschek), ligando-a ao Rio de Janeiro.



Figura 1 – Mapa político do Brasil, com a região de São João del Rei demarcada pela estrela (indicada pela seta). Adaptado do original disponível em: <http://www.lib.utexas.edu/maps/americas/brazil.jpg>.



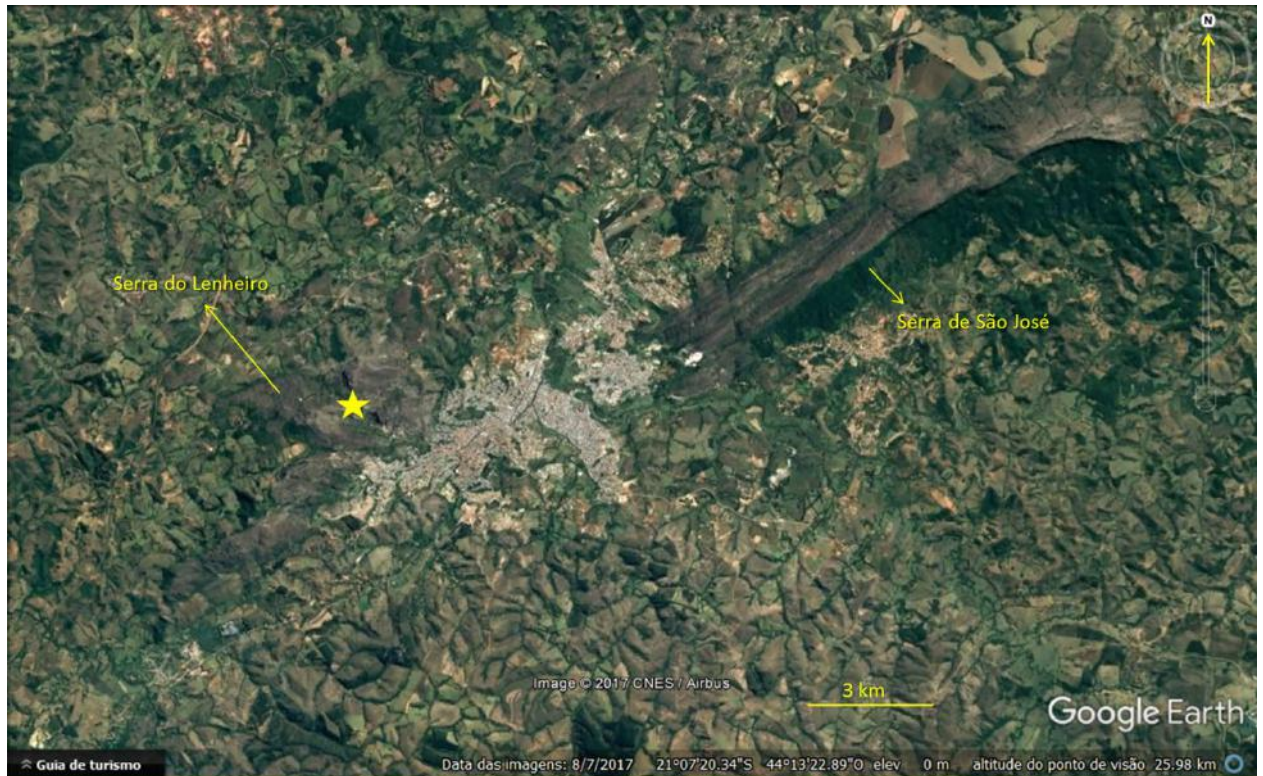


Figura 2 – Imagem de satélite da cidade de São João del Rei, cercada pelas serras de São José, à leste, e do Lenheiro, à oeste – essa última compreendendo o local dos perfis (estrela). Imagem CNES / Airbus de 7 de agosto de 2017. Fonte: *Google Earth*.

## 4 GEOLOGIA REGIONAL

A Formação Tiradentes é datada do Mesoproterozoico, tendo sua principal história deposicional cronocorrelata ao segundo ciclo do rifteamento Espinhaço (RIBEIRO *et al.*, 2013). É, portanto, uma sucessão de tipo *rift*, em que se depositaram unidades predominantemente areníticas, mas também pelíticas, heterolíticas, conglomeráticas e calcáreas. Essas rochas foram metamorfizadas em fácies xisto verde e fracamente deformadas em 600-595 Ma durante a Orogenia Brasiliana (RIBEIRO *et al.*, 2013) e encontram-se em uma zona distal do Orógeno Ribeira (Figura 3).

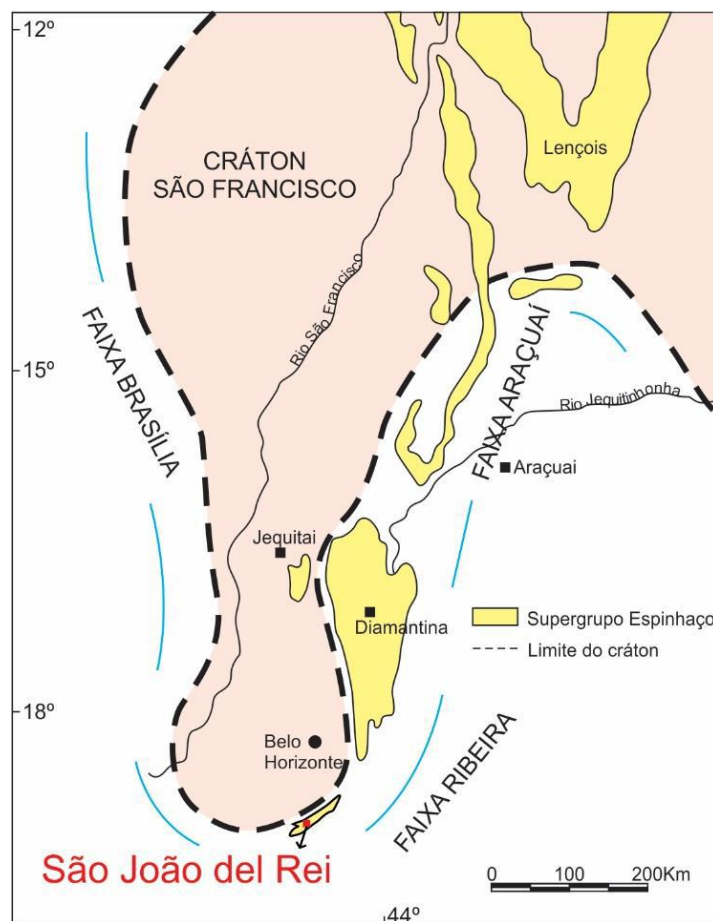


Figura 3 – Mapa geotectônico esquemático com destaque para a Bacia de São João del Rei, relacionada ao Supergrupo Espinhaço. Modificado de Ribeiro *et al.*, 2013.

A Formação Tiradentes foi depositada na Bacia São João del Rei (Figura 4), uma bacia sedimentar tipo *rift*, formada sobre um embasamento Riáciano-Orosiriano de aproximadamente 2,2 Ga. Este embasamento constitui o Cinturão Mineiro, com sequências metavulcânicas e metassedimentares e rochas plutônicas máficas-félsicas (ÁVILA *et al.*,

2010, 2011), que representam sistemas de arcos continentais e oceânicos acrecionados ao paleocontinente São Francisco (TEIXEIRA *et al.*, 2000; ALKMIN, 2004).

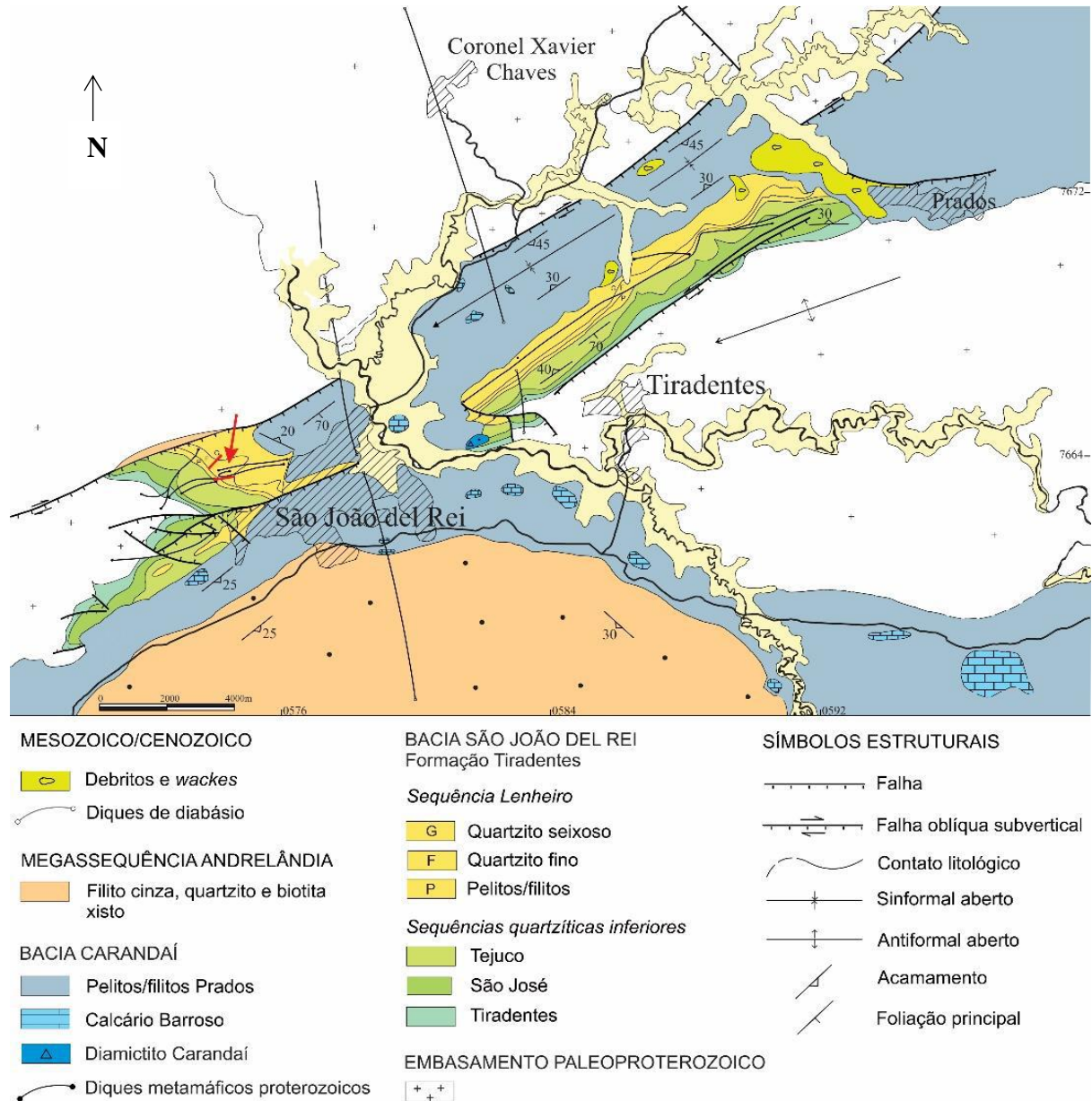


Figura 4 – Mapa geológico da região de São João del Rei, Minas Gerais, com a localização da área de estudo destacada (traços vermelhos indicados pela seta). Modificado de Ribeiro *et al.*, 2013.

A Formação Tiradentes representa a maior parte do preenchimento da Bacia São João del Rei, e capeia o embasamento paleoproterozoico em discordância ora litológica ora angular. É coberta em discordância angular pelos depósitos que constituem a Bacia Carandaí: as formações Carandaí, com diamictitos e pelitos; Barroso, essencialmente carbonática; e Prados, predominantemente pelítica. Sobre estes ocorrem as rochas metamórficas de maior

grau da Megassequência Andrelândia, da bacia homônima, e, por fim, depósitos cenozoicos de leques aluviais (RIBEIRO *et al.*, 2013). Com a datação de zircões detríticos através do método LA-ICP-MS, foi possível a correlação dessas bacias com os episódios de rifteamento do sistema Espinhaço: os zircões mais jovens da Formação Tiradentes, de  $1536 \pm 33$  Ma nas porções basais e de  $1540 \pm 45$  Ma nas porções superiores (Sequência Lenheiro; Figura 5), indicam a idade estimada da extensão inicial e sedimentação, enquanto os da Sequência Carandaí, de  $1379 \pm 3$  Ma, sugerem a segunda fase distensiva. A Sequência Andrelândia, por sua vez, apresenta zircões detríticos mais jovens de  $1145 \pm 79$  Ma, podendo representar a fase extensional final do Espinhaço (RIBEIRO *et al.*, 2013).

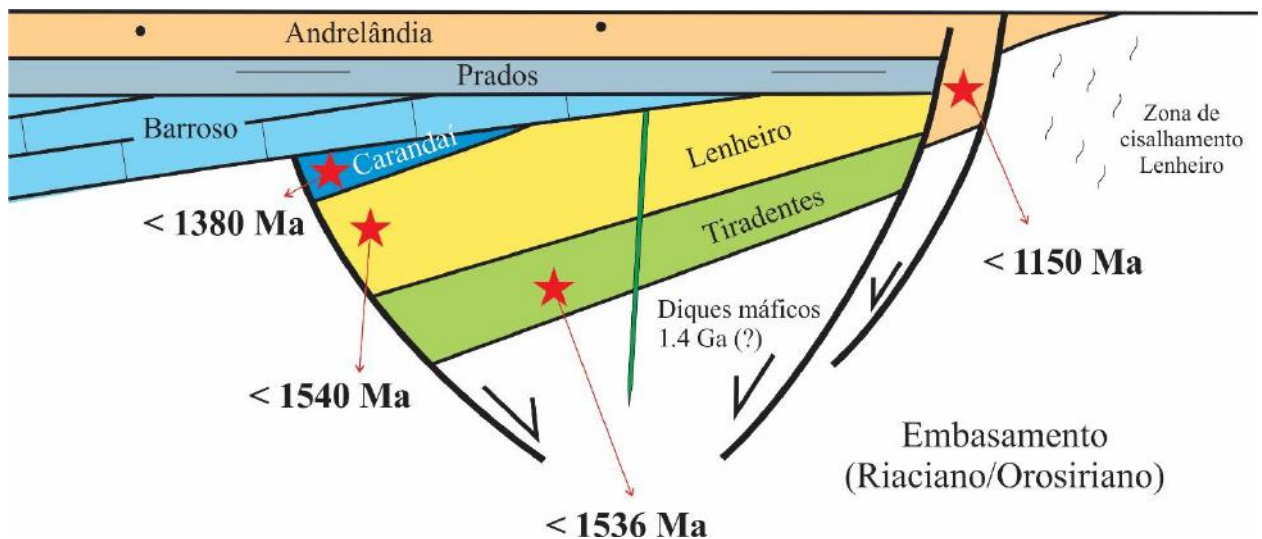


Figura 5 – Seção geológica esquemática da região de São João del Rei com idades de zircões detríticos mais jovens nas formações Tiradentes (sequências Tiradentes e Lenheiro), Carandaí e no Grupo Andrelândia. Modificado de Ribeiro *et al.*, 2013.

A Formação Tiradentes (Figura 6) pode ser dividida em duas configurações paleotectônicas diferentes: a porção basal, denominada “plataforma Tiradentes”, com três sequências separadas por superfícies erosivas – as sequências Tiradentes, São José e Tejuco –, todas representando ambiente litorâneo, e os registros superiores do “delta do Lenheiro”, que registra um sistema deltaico desde depósitos mais profundos do prodelta até os fluviais mais superiores da Sequência Lenheiro.

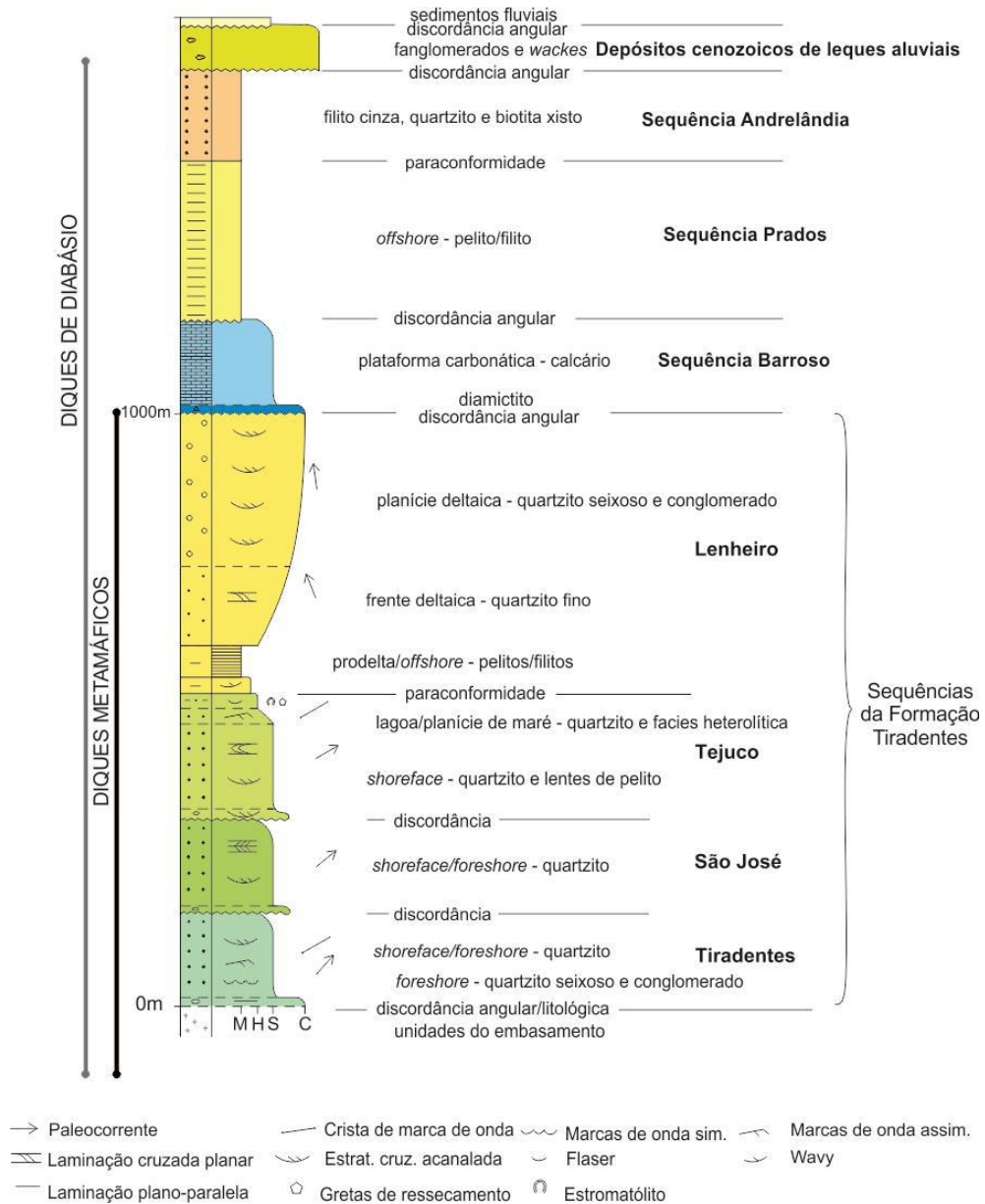


Figura 6 – Coluna estratigráfica regional da região de São João del Rei. Modificada de Ribeiro *et al.*, 2013.

Segundo Ribeiro *et al.* (2003, 2013), a Sequência Tiradentes, sucessão basal da formação homônima, inicia-se sobre o embasamento com camadas amalgamadas de quartzitos e lentes de quartzito-conglomerados com fragmentos de formações ferríferas bandadas – conjunto interpretado como depósitos de *foreshore* –, seguidas por quartzitos em camadas delgadas com estratificações cruzadas acanaladas ou planares, e marcas de ondas simétricas e assimétricas com padrões de interferência – que representariam uma sequência de transgressão marinha.

Sobre um contato erosivo com o topo da Sequência Tiradentes, ocorrem grânulo-quartzitos e localmente siltitos lenticulares, que compõem a base da Sequência São José,

seguidos por quartzitos em camadas espessas ou muito espessas, maciços ou com estratificações cruzadas acanaladas e planares, sendo presente estratificações cruzadas do tipo “espinha de peixe”. As unidades basais são interpretadas como depósitos de vales incisos sobre a Sequência Tiradentes, com uma queda relativa do nível do mar, e as porções superiores como barras ou dunas arenosas em um ambiente marinho de *shoreface*.

Acima da Sequência São José e em contato erosivo, a Sequência Tejuco tem sua base marcada por grânulo-quartzitos – também interpretados como escavações decorrentes de uma queda local do nível do mar –, seguidos por quartzitos com estratificações cruzadas planares e acanaladas separadas por lâminas lenticulares de pelitos maciços, indicando a migração de dunas e canais arenosos no *shoreface*, com decantação de finos registrando uma zona de inframaré. Por cima destes, ocorre fácies heterolítica marcando uma progradação. Esta fácies representa um ambiente de intermaré, e é caracterizada pela intercalação de camadas delgadas de quartzito com marcas onduladas e lâminas pelíticas, formando estruturas de *wavy* e *flaser*, além da presença local de estromatólitos colunares.

Por fim, a Sequência Lenheiro totaliza uma sucessão *coarsening-* e *thickening-up* de até cerca de 500 m de espessura (Figura 6), iniciando-se com camadas delgadas de pelitos maciços ou laminados, intercaladas com siltitos maciços ou com laminação cruzada, representando os depósitos de prodelta. A seguir, quartzitos de areia fina, com estratificações plano-paralela ou cruzada planar e acanalada indicam os depósitos de frente deltaica, enquanto os quartzitos muito grossos intercalados com lentes de conglomerados no topo da sequência já representam os depósitos de planície deltaica de rio entrelaçado.

As rochas da Formação Tiradentes são atravessadas por diques máficos subverticais (Figura 5), de orientação NW-SE e idades Sm/Nd  $T_{DM}$  entre 1,4 e 1,7 Ga (TROUW *et al.*, 1995; TROUW & PANKHURST, 1993). Os diques não cortam a Formação Carandaí, assim sua idade pode ser estimada entre 1540 Ma e 1.380 Ma (Figura 5); sendo interpretados como decorrentes da abertura da Bacia de Carandaí (TROUW *et al.*, 1995).

As feições estruturais mais proeminentes na área de estudo são o Sinclinal de Águas Santas e o Anticlinal do Lenheiro, dobras abertas com clivagem plano axial mergulhando para SE ( $> 50^\circ$ ) e eixo com baixo caimento para NE. Estas dobras e as parasíticas associadas são coerentes com o encurtamento NW-SE na margem do Cráton São Francisco relacionado à evolução do Orógeno Ribeira. Outra feição estrutural de destaque é a Zona de Cisalhamento do Lenheiro, uma falha normal regional de rumo NE-SW que foi reativada como falha dextral reversa durante a Orogenia Brasileira (RIBEIRO *et al.*, 2013).

## 5 METODOLOGIA

Para esse estudo, foram elaborados dois perfis colunares estratigráficos em escala 1:20 e seções estratigráficas para um melhor detalhamento das sequências deposicionais e evolução paleoambiental. As rochas apresentam fraca deformação tectônica e estruturas sedimentares preservadas, sendo possível a realização de perfis estratigráficos de detalhe. Para facilitar a leitura, não foi usado o prefixo meta que deveria preceder o nome das rochas. Foram realizadas etapas pré-campo, campo e pós-campo.

Na etapa pré-campo, foi feita uma pesquisa bibliográfica, tomando como base publicações referentes à área de estudo, livros clássicos e artigos sobre ambientes e sistemas deltaicos e fluviais, com influência de marés, ondas, tempestades e propriamente fluviais, recentes e do Proterozoico.

A etapa de campo ocorreu em dois períodos diferentes, totalizando 20 dias de campo: o primeiro em agosto de 2016, em que foi elaborado o primeiro perfil estratigráfico, denominado LA, e o segundo em fevereiro de 2017, sendo feito o perfil LB, ambos na Serra do Lenheiro.

Dado o basculamento das camadas metassedimentares, utilizou-se a chamada “Vara de Jacob” (Figura 7), confeccionado para a medição mais precisa das espessuras das camadas seguindo o mergulho delas. Este equipamento consiste em uma barra de alumínio metrada, com base e topo de madeira e quadradas, para um melhor apoio e medição. Essa base apoia-se sobre um plano projetado da camada, e então é medida a espessura dela através de um *laser*, encaixado perpendicularmente à barra de alumínio, que se movimenta com uma cremalheira para a marcação das espessuras. A Vara de Jacob foi de extrema importância principalmente para a medição mais precisa de porções encobertas dos perfis estratigráficos, sendo obtida a espessura real no perfil, e não a espessura aparente ou medida em mapa. Para espessuras menores, a medição foi feita utilizando-se régua ou trena.



Figura 7 – Vara de Jacob, instrumento confeccionado para medição mais precisa da espessura de camadas basculadas e intervalos encobertos.

Utilizou-se também folhas de papel milimetrado, em que os perfis eram traçados em campo já visando um modelo mais detalhado elaborado no *software Corel Draw* (versão X7), no qual foi realizada toda a etapa pós-campo de digitalização dos perfis. Em campo, portanto, eram desenhados os perfis estratigráficos simplificados e descritas as camadas na caderneta, além da medição de paleocorrentes e estruturas de interesse sendo fotografadas (Figura 8).

Nas etapas pós-campo, foram feitas a digitalização dos perfis, correção de paleocorrentes, seleção e tratamento de fotos, elaboração de tabela de fácies, e a partir dela, associações de fácies, diagramas de roseta com as paleocorrentes de cada associação, correlação dos perfis e, a partir disso, uma interpretação paleoambiental da Sequência Lenheiro.

Os perfis estratigráficos foram digitalizados no *software Corel Draw* (versão X7), através de um modelo mais detalhado elaborado previamente, com uma coluna de texturas, com a granulometria das camadas, e outra coluna com as estruturas das camadas sendo representadas por símbolos (Figura 8).



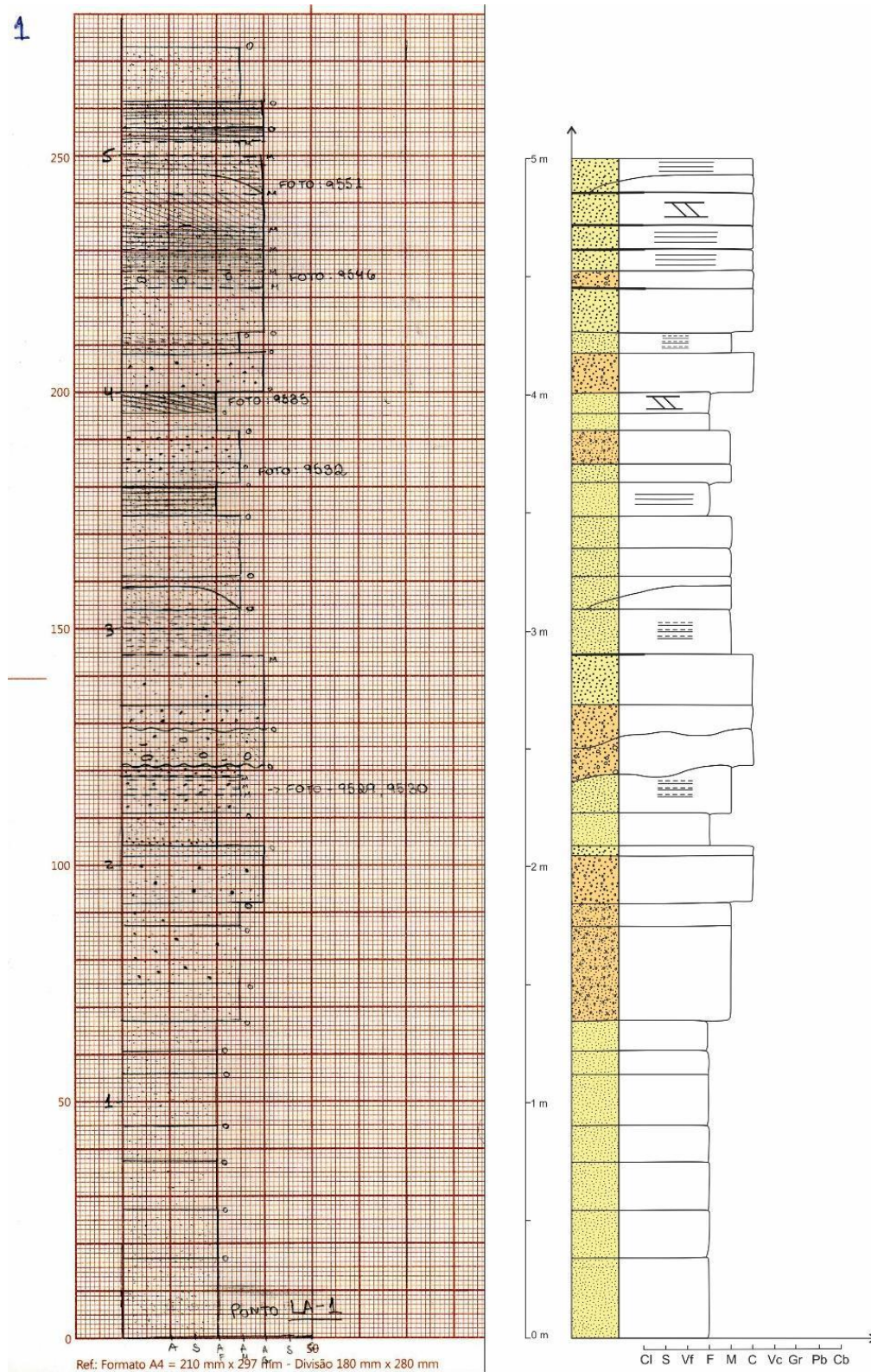


Figura 8 – Exemplo de perfil desenhado em campo, à esquerda, e o mesmo digitalizado no software *Corel Draw* (versão X7), à direita.

Uma vez que as camadas apresentam-se deformadas, foram também corrigidas as paleocorrentes através do *freeware Stereonet*, em duas etapas (Figura 9): primeiro foi feita a correção do *plunge* dos dobramentos, tornando a lineação regional (que representa o eixo das dobras, de valor 072/21) para horizontal através de rotação no sentido horário segundo o seu *strike* (162°), com valor de *plunge* nulo e magnitude de rotação de +21°. Em uma segunda etapa foi corrigido o que seria o dobramento das camadas, através da horizontalização das superfícies de acamamento com uma rotação horária ou anti-horária, dependendo da direção de mergulho da camada, segundo o seu próprio *strike*, com *plunge* nulo e magnitude com o valor do seu *dip* – já corrigido na primeira etapa. Com isso, muitas paleocorrentes tiveram seus sentidos observados em campo invertidos.

Essa correção não foi feita em trabalhos pretéritos da área (RIBEIRO, 1997; RIBEIRO *et al.* 2003, 2013), e representa uma importante etapa no estudo, modificando toda a análise e interpretação das paleocorrentes da Sequência Lenheiro.

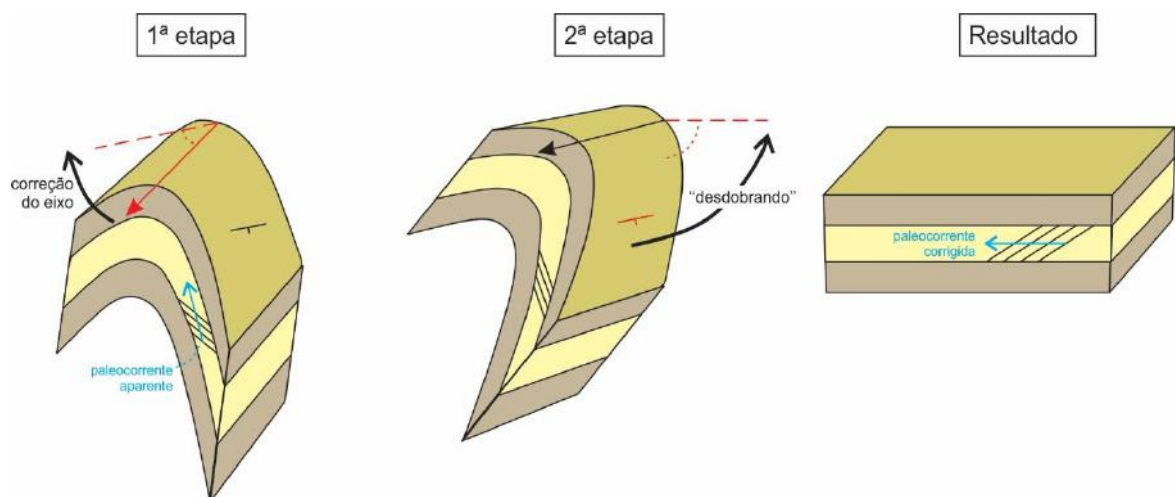


Figura 9 – Esquema com as etapas de correção das medidas de paleocorrente.

## 6 PERFIS ESTRATIGRÁFICOS

Como mencionado, para esse estudo mais aprofundado da Sequência Lenheiro, foram traçados dois perfis estratigráficos na Serra do Lenheiro (Figura 10), em escala 1:20 (Apêndices 1, 2 e 3).



Figura 10 – Locais dos perfis estratigráficos LA e LB em amarelo. Imagem de satélite da Serra do Lenheiro, na porção ocidental da cidade de São João del Rei, MG. Imagem CNES / Airbus de 29 de março de 2017. Fonte: *Google Earth*.

O perfil denominado LA, que totaliza aproximadamente 150 m (Apêndice 2), inicia-se na unidade de mapeamento quartzito fino, com um claro padrão de *coarsening-* e *thickening-up* para o quartzito seixoso e conglomerados do topo do perfil.

O segundo perfil (130m, LB, Apêndice 3), por sua vez, inicia-se na unidade de mapeamento fácies heterolítica (topo da Sequência Tejuco), seguida pelas unidades pelíticas da base da Sequência Lenheiro, com, novamente, um padrão de *coarsening-* e *thickening-up* para as unidades de quartzito fino. O perfil LB apresenta em direção ao topo arenitos muito grossos e com grânulos, mas não inclui propriamente a unidade quartzítica seixosa e com conglomerados.

## 7 FÁCIES SEDIMENTARES

Foram reconhecidas 16 fácies sedimentares (Tabela 1; MIALL 1996, modificado de MIALL 1978; VISSER, 1980), sendo as rudíticas e areníticas com composição quartzítica registrando alta maturidade composicional. São elas quatro fácies conglomeráticas, sendo três ortoconglomerados e um paraconglomerado, nove areníticas, sendo oito quartzo-arenitos e uma quartzo-*wacke*, e três pelíticas.

Os ortoconglomerados e paraconglomerados são quartzosos, brancos a acinzentados, com seixos subarredondados de quartzito, quartzo de veio, e mais raros de formações ferríferas bandadas e de intraclastos pelíticos angulares a arredondados. A matriz aparece em proporção variada, classificando os tipos de conglomerado. É composta por quartzo arenito muito fino até muito grosso, com diferentes porcentagens de mica branca de tamanho silte até areia grossa. Minerais pesados também estão presentes na matriz. As rochas fontes dos detritos foram as sequências basais da Formação Tiradentes e o embasamento muito intemperizado.

As fácies areníticas são compostas por quartzo arenitos, brancos a alaranjados, muito finos até muito grossos, moderada a pobremente selecionados, raramente bem selecionados, e localmente com grânulos e seixos espalhados. Além do quartzo podem conter mica branca e minerais pesados, tanto no arcabouço quanto na escassa matriz, cuja composição é semelhante ao arcabouço. Em menor proporção ocorre quartzo *wacke* com composição semelhante aos arenitos, mas com alta porcentagem de micas finas na matriz. Localmente material carbonoso gera cor cinzenta na *wacke*.

As fácies pelíticas são constituídas por siltitos e argilitos cinzentos que descoloridos assumem cores desde cinza claro até esbranquiçadas e quando tingidos por compostos de ferro, cores alaranjadas. Em alguns casos, devido à alta presença de mica metamórfica, não foi possível a separação entre siltito e argilito, sendo as rochas identificadas apenas como pelito.

*Tabela 1 – Tabela de fácies sedimentares reconhecidas nos perfis estratigráficos LA e LB.*

<b>Fácies</b>	<b>Litologia</b>	<b>Estruturas Sedimentares</b>	<b>Geometria</b>	<b>Espessura</b>	<b>Extensão e relações laterais</b>	<b>Contatos</b>	<b>Interpretação</b>
<b>Gg</b>	Ortoconglomerado de seixos grossos subarredondados e matriz quartzítica grossa a muito grossa	Gradação normal	Tabular	20-60 cm	Até cerca de 10m	Base erosiva com topo reto ou erodido	Fluxos trativos de alta energia (regime de fluxo inferior alto ou superior) com desaceleração de corrente
<b>Gem</b>	Ortoconglomerado de seixos médios subarredondados e matriz quartzítica muito grossa e micácea	Maciço	Tabular ou lenticular	30 cm	Até cerca de 10m	Base erosiva e topo reto	Fluxos trativos de alta energia ou fluxos gravitacionais de detritos
<b>Gmm</b>	Paraconglomerado de seixos finos a grossos subarredondados matriz de silte a areia grossa a grânulos, micácea	Maciço	Lenticular	40-130 cm	6 m de largura	Base erosiva e topo côncava	Fluxos de detritos de alta energia
<b>Gt</b>	Ortoconglomerados de grânulos a seixos grossos subarredondados e matriz de areia grossa	Estratificação cruzada acanalada	Tabulares ou lenticular	40-50 cm	Contínua ou até 2 m de largura	Base erosiva e topo reto	Migração de dunas cascalhosas em fluxos trativos, regime de fluxo inferior alto
<b>Sg</b>	Arenitos com grânulo a areia grossa na base passando a areia média a fina no topo	Gradação normal	Tabulares	20-70 cm	Dezenas de metros	Bases retas ou erosivas e topos retos ou erodidos	Fluxos trativos ou gravitacionais com progressiva desaceleração
<b>Sh</b>	Arenitos finos a grossos quartzosos	Estratificação plano-paralela ou cruzada de baixo ângulo	Tabulares	10-25 cm	Dezenas de metros	Bases retas e topos retos ou erodidos	Processos trativos de leito plano em regime de fluxo superior, ou condições transicionais entre regime de fluxo inferior e superior

<b>Sm</b>	Arenitos finos a grossos, podendo conter grânulos e seixos médios, e intercalações de lâminas descontínuas de argilito/siltito	Maciço	Tabulares ou lenticulares	4-140 cm	Dezenas de metros	Bases erosivas ou retas e topos retos ou erodidos	Fluxos gravitacionais hiperconcentrados ou obliteração de estruturas por processos penecontemporâneos ou pós-deposicionais. Períodos de quiescência com decantação de finos
<b>Smm</b>	<i>Wacke</i> de areia quartzítica muito fina a grossa e matriz pelítica quarto-micácea, podendo conter intraclastos pelíticos	Maciço	Lenticulares	1,5-20 cm	5-150 cm	Bases retas ou erosivas, topo reto	Fluxos gravitacionais de detritos
<b>Sp</b>	Arenitos finos a grossos com presença ou não de grânulos e seixos nos foresets	Estratificação cruzada planar e planar de grande porte	Tabulares	10-80 cm e 1,5 m – grande porte	Dezenas de metros	Bases e topos retos ou erodidos	Migração de dunas subaquosas de crista reta (2D) em regime de fluxo inferior médio
<b>Ss</b>	Arenitos finos a grossos	Estratificação cruzada sigmoidal	Tabulares	10-40 cm	Dezenas de metros	Bases erosivas ou retas e topos erodidos ou retos	Transição entre regime de fluxo inferior e superior.
<b>St</b>	Arenitos finos a grossos com ou sem seixos finos a grossos espalhados nas camadas ou marcando os <i>foresets</i>	Estratificação cruzada acanalada ou tangencial	Lenticulares	5-90 cm	Até 5 m	Bases erosivas ou retas e topos erodidos ou retos	Migração de dunas subaquosas com cristas sinuosas (3D) em regime de fluxo inferior alto
<b>Sc</b>	Arenitos grossos quartzosos	Convoluções que ocorrem em fácies St, Sp e Sh	Tabulares	20-40 cm	Descontínuo	Bases e topos retos, ondulados ou irregulares	Deformação plástica sin- ou pós-deposicional de sedimentos parcialmente liquefeitos
<b>Stt</b>	Arenitos finos a grossos quartzosos com recobrimento pelítico nos foresets e superfícies de reativação	Estratificação cruzada planar, acanalada ou tangencial	Tabulares	5-40 cm	Dezenas de metros	Bases erosivas ou retas e topos erodidos ou retos	Migração de dunas subaquosas de cristas retas (2D) e sinuosas (3D) em regime de fluxo inferior, com intercalação com períodos de quiescência e decantação de finos

<b>Fh</b>	Siltitos e argilitos	Laminação paralela	plano-Tabulares	Até 30 cm	Dezenas até centenas de m	Bases retas ou erosivas e topos retos ou erodidos	Decantação de finos em ambiente de baixa energia
<b>Fm</b>	Siltitos e argilitos	Maciço	Tabulares ou lenticulares	0,5-10 cm	2 m a dezenas de m	Bases retas ou erosivas e topos retos ou erodidos	Fluxos gravitacionais de finos ou deposição por decantação e obliteração de estruturas com processos sin- a pós-deposicionais
<b>Ft</b>	Siltitos	Laminação cruzada	Tabulares ou lenticulares	3-5 cm	Até 1 m	Bases retas ou erosivas e topos retos ou erodidos	Migração de <i>ripples</i> por correntes trativas em regime de fluxo inferior baixo

## 7.1 Ortoconglomerado com gradação normal (Gg)

### 7.1.1 Descrição

Conglomerados clasto-suportados com arcabouço de seixos finos até grossos subarredondados que apresentam-se com geometria tabular, espessuras de 20 a 60 cm, e continuidade lateral de até em torno de 10 m. Ocorrem em contato, geralmente com base erosiva, com conglomerados Gcm, Gt ou mesmo Gg, e também com arenitos grossos e muito grossos Sg, Sm e Sp. São frequentes pacotes de conglomerados de fácies Gg amalgamados, com um padrão de pulsos de intervalos gradados, variando de conglomerados finos na base a grânulo-arenitos e arenitos muito grossos no topo (Figura 11).



Figura 11 – Três camadas amalgamadas de ortoconglomerados com gradação normal.

### 7.1.2 Interpretação

Estes conglomerados são interpretados como depósitos de fluxos trativos de alta energia, em regime de fluxo inferior alto ou superior, com a desaceleração progressiva gerando diminuição de granulometria em direção ao topo da camada (NICHOLS, 2009; BOGGS, 2012). O fluxo trativo proporciona o arredondamento dos clastos, que são



interpretados como provenientes das sequências basais da Formação Tiradentes e embasamento.

## 7.2 Ortoconglomerado maciço (Gcm)

### 7.2.1 Descrição

Conglomerados clasto-suportados, pobremente selecionados com seixos finos e médios, com < 10% de matriz arenítica grossa, muito grossa e com granulos (Figura 12). Apresentam-se com estrutura maciça ou sem estrutura aparente observada, em camadas tabulares ou lenticulares com até 30 cm de espessura e até dezenas de metros de extensão lateral. Ocorre em contatos erosivos sobre Sm, Sp, St e sobre o próprio Gcm.



Figura 12 – Ortoconglomerado maciço (fácies Gcm).

### 7.2.2 Interpretação

Os ortoconglomerados Gcm são interpretados como depósitos de fluxos trativos de alta energia, que teriam promovido a separação dos finos, resultando a baixa porcentagem de matriz. A geometria lenticular e base erosiva indicariam o preenchimento de canais. Outra hipótese que deve ser considerada é a de depósitos por fluxos gravitacionais pseudoplásticos

de detritos (MIALL, 1996), devido à ausência de estruturas propriamente trativas, nesse caso com arredondamento e seleção herdados.

### **7.3 Paraconglomerado maciço (Gmm)**

#### **7.3.1 Descrição**

Conglomerados matriz-suportados com estrutura maciça ou sem estrutura aparente observada formados por arcabouço de seixos finos a grossos subarredondados e matriz quartzítica micácea de tamanho silte até grânulo. Ocorrem em camadas lenticulares de até 6 m de largura e 1,3 m de espessura, com base erosiva sobre fácies Sm e St.

#### **7.3.2 Interpretação**

Esta fácies é interpretada como depósito formado a partir de fluxos gravitacionais de detritos (MIALL, 1996), com os sedimentos grossos sendo carregados em meio a uma matriz fina e que os sustenta. Nesse caso, o processo não gera seleção dos clastos carregados.

### **7.4 Ortoconglomerado com estratificação cruzada acanalada (Gt)**

#### **7.4.1 Descrição**

Conglomerados clasto-suportados com arcabouço de grânulos a seixos grossos subarredondados e escassa matriz de areia grossa quartzítica. Ocorre em camadas tabulares ou lenticulares, com estratificação cruzada acanalada marcada pelos seixos (Figura 13). As camadas têm até 50 cm de espessura e 2 m de largura, e contatos irregulares e erosivos sobre fácies Sm, St e sobre a própria Gt.



Figura 13 – Pacotes amalgamados de conglomerados com estratificação cruzada separados por superfícies irregulares de erosão.

#### 7.4.2 Interpretação

Os ortoconglomerados com estratificação cruzada acanalada foram depositados por fluxos trativos unidirecionais, com a migração de dunas cascalhosas de cristas sinuosas (3D), selecionando e organizando os sedimentos carreados, e erodindo os depósitos subsequentes (MIALL, 1996).

### 7.5 Arenito com gradação normal (Sg)

#### 7.5.1 Descrição

Quartzo-arenitos com gradação normal, iniciando-se com base de grânulo e areia grossa e, em direção ao topo, areia média a fina. Ocorrem sobre contatos planos ou irregulares erosivos com fácies Scc, Sm, St e Fm, e constituem camadas tabulares de até 70 cm de espessura, com continuidade lateral de dezenas de metros.

#### 7.5.2 Interpretação

Para a formação dos arenitos com gradação normal teriam sido necessários fluxos trativos ou gravitacionais com progressiva desaceleração da velocidade, gerando diminuição de granulometria para o topo (NICHOLS, 2009; BOGGS, 2012).

### 7.6 Arenito com estratificação plano-paralela (Sh)

### 7.6.1 Descrição

Trata-se de quartzo-arenitos finos a grossos em camadas tabulares de 10 a 25 cm de espessura e com até dezenas de metros de continuidade lateral, com estrutura de estratificação plano-paralela (Figura 14) ou cruzada de baixo ângulo. Em alguns casos não é possível diferenciar os dois tipos de estruturas, sendo ambas agrupadas na mesma fácies. Apresentam-se em contatos planos sobre camadas de Sm, Sp e St.



Figura 14 – Arenito com estratificação plano-paralela (Sh) entre arenito com estratificação cruzada planar (Sp) e sigmoidal (Ss).

### 7.6.2 Interpretação

Deposição em leito plano por fluxos trativos em condições de regime de fluxo superior (TURNER, 1981; BEST & BRIDGE, 1992), gerando a estratificação plano-paralela, ou deposição também por fluxos trativos, mas em condições transicionais entre regime de fluxo inferior e superior (TODD, 1996), gerando a estratificação cruzada de baixo ângulo.

## 7.7 Arenito maciço (Sm)

### 7.7.1 Descrição

Quartzo-arenitos finos a grossos, podendo conter em algumas camadas a presença de grânulos até seixos médios e/ou intraclastos pelíticos. Apresenta-se em lâminas e camadas

maciças (Figura 15) tabulares ou lenticulares de espessura milimétrica a 140 cm e largura de ordem de dezenas de metros. Localmente, incluem lâminas descontínuas de argilito/siltito. Ocorre sobre contatos irregulares erosivos ou planos sobre fácies Fm, Ft, Gcm, Sc, Sh, Sp, Ss, St, Stt e a própria Sm.



Figura 15 – Camadas de arenito maciço (Sm) separadas por lâminas de pelito maciço (Fm). Foliação metamórfica bem marcada devido à presença de micas.

### 7.7.2 Interpretação

Esses arenitos foram depositados por fluxos gravitacionais hiperconcentrados, gerando as estruturas maciças (LOWE, 1988; SMITH, 1986). A alta maturidade textural registra a deposição de sedimentos arenosos previamente selecionados. Outra hipótese é que as estruturas sedimentares originais teriam sido obliteradas por processos penecontemporâneos ou pós-deposicionais, gerando a aparência maciça. As lâminas pelíticas observadas localmente, representariam decantação de finos em períodos de baixa energia.

## 7.8 Wacke maciça (Smm)

### 7.8.1 Descrição

Arenitos matriz-suportados de cor amarela a cinza, com arcabouço de areia quartzítica muito fina a muito grossa e matriz pelítica com quartzo, mica e minerais pesados (Figura 16).

Ocasionalmente ocorrem intraclastos pelíticos. Aparece em camadas lenticulares em torno de 1,5 a 20 cm de espessura e com até 150 cm de largura, com contatos planos ou irregulares erosivos sobre camadas de Fh, Fm, He e Sm.



Figura 16 – *Wacke* maciça (Smm) com grãos de areia média e grossa e matriz pelítica quartzo-micácea.

### 7.8.2 Interpretação

A *wacke* teria se originado a partir de fluxos gravitacionais de detritos, que teriam gerado ocasionais superfícies erosivas, formados por uma mistura de água e sedimentos arenosos e pelíticos.

## 7.9 Arenito com estratificação cruzada planar (Sp)

### 7.9.1 Descrição

Arenitos finos a grossos com estratificação cruzada planar (Figura 14) – com presença ou não de grânulos e seixos organizados segundo os *foresets*. Apresentam-se em camadas tabulares de 10 a 80 cm de espessura com até dezenas de metros de continuidade lateral, sobre contatos planos e mais raramente irregulares de gênese erosiva com fácies Fm, Scc, Sh, Sm,

St, Stt e a própria Sp. Ocorrem também camadas de até 1,5 m com estratificação cruzada planar de grande porte (Figura 17) e *foresets* de 4 a 14 cm de espessura. Estas últimas cobrem, em contatos planos ou irregulares erosivos, as fácies Fm, Sm e Sp.



Figura 17 – Arenito com estratificação cruzada planar de grande porte.

### 7.9.2 Interpretação

Depósitos formados a partir da migração de dunas de crista reta (2D), algumas de grande porte, indicando processos transitivos unidirecionais, em regime de fluxo inferior médio a alto (REINECK & SINGH, 1973; MIALL, 1996), em ambiente subaquoso, gerando a estratificação cruzada do tipo planar.

## 7.10 Arenito com estratificação cruzada sigmoidal (Ss)

### 7.10.1 Descrição

A fácies Ss é composta por arenitos finos a grossos, com estratificação cruzada do tipo sigmoidal (Figura 18). Ocorre em camadas de geometria tabular de até 40 cm de espessura e continuidade lateral de dezenas de metros. Apresentam-se sobre as fácies Sm, Sp e Ss em contatos planos ou irregulares erosivos.



Figura 18 – Arenito com estratificação cruzada sigmoidal (Ss).

### 7.10.2 Interpretação

Esta fácies com estratificação cruzada sigmoidal teria se formado por processos trativos na transição entre regime de fluxo inferior e superior (WIZEVICH, 1992; SCHERER *et al.*, 2015).

## 7.11 Arenito com estratificação cruzada acanalada (St)

### 7.11.1 Descrição

Arenitos finos a grossos com estratificação cruzada acanalada (Figura 19), podendo apresentar seixos finos a grossos espalhados nas camadas ou marcando os *foresets*. Foram incluídos nessa fácies também os depósitos com estratificação cruzada tangencial, que representariam cortes perpendiculares aos festões das estratificações cruzadas acanaladas. Ocorrem em camadas lenticulares amalgamadas de espessuras até 90 cm e largura de até 5 m, em contatos erosivos com fácies Fm, Gcm, Sc, Scs, Sh, Sm, Sp, Ss e a própria St.



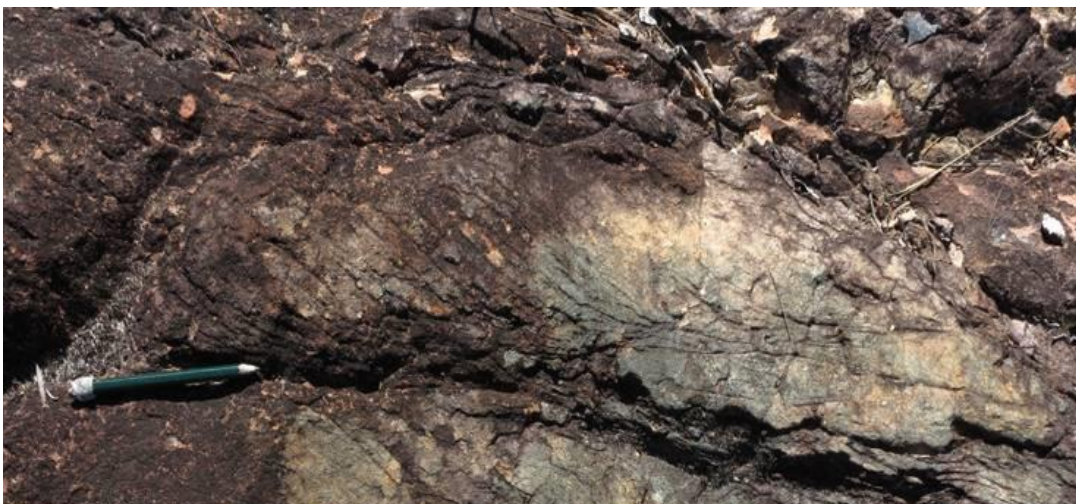


Figura 19 – Arenito com estratificação cruzada acanalada e base erosiva.

### 7.11.2 Interpretação

A fácies St é interpretada como o registro da migração de dunas de cristas sinuosas (3D) em regime de fluxo inferior alto (REINECK & SINGH, 1973; MIALL, 1996), formadas por processos trativos em fluxo unidirecional, em ambiente subaquoso.

## 7.12 Arenito com convoluções (Sc)

### 7.12.1 Descrição

A fácies Sc consiste em arenitos grossos, com dobras convolutas (Figura 20) e pilares (Figura 21), em fácies Sh, Sp e St, tornando as linhas de estratificações irregulares e dobradas. Constituem camadas de 20 a 40 cm de espessura, ocorrendo em porções localizadas das camadas, com base e topo planos ou irregulares e ondulados devido à estrutura. Ocorrem em camadas acima de fácies Fm, Sc, Sm, Sp, Ss e St.



Figura 20 – Arenito com dobra convoluta (Sc).



Figura 21 – Arenito com estrutura de pilar (Sc).

### 7.12.2 Interpretação

As dobras convolutas e estruturas de pilares foram formadas por deformação plástica de sedimentos parcialmente liquefeitos e fluidizados, durante ou logo após a deposição. As estruturas podem ter sido originadas pela movimentação da corrente, devido à sobrecarga por sedimentos ou ondas de tempestade e terremotos (BERRA & FELLETTI, 2011).

## 7.13 Arenitos com estratificação cruzada e recobrimento pelítico nos *foresets* (Stt)

### 7.13.1 Descrição

Quartzo-arenitos finos a grossos com estratificação cruzada dos tipos planar e acanalada, ambas com filmes pelíticos recobrendo os *foresets* (Figura 22 e Figura 23). Lâminas de pelitos cobrem também superfícies irregulares de reativação. A fácies inclui camadas tabulares e lenticulares de até 40 cm de espessura e 1,2 m até dezenas de metros de continuidade lateral. Os contatos basais são planos ou irregulares erosivos na maioria das vezes sobre camadas ou lâminas de Fm, ou diretamente sobre camadas da própria Stt.



Figura 22 – Arenito com estratificação cruzada planar com recobrimento pelítico nos *foresets* (seta). As camadas também são separadas por lâminas pelíticas.



Figura 23 – Camadas de arenito com estratificação cruzada acanalada, separadas por lâminas de pelitos e com recobrimento pelítico nos *foresets*.

### 7.13.2 Interpretação

A fácies Stt é interpretada como produto da alternância entre processos trativos e decantação: a migração de dunas arenosas de cristas retas (2D) e sinuosas (3D) em ambiente subaquoso, sob processos de tração, interrompida por períodos de quiescência, possibilitando a decantação de sedimentos finos, gerando as estruturas de tração com recobrimento pelítico (VISSER, 1980).

## 7.14 Pelitos com laminação plano-paralela (Fh)

### 7.14.1 Descrição

Compreende siltitos cinza escuros e argilitos cinza claros em lâminas plano-paralelas (Figura 24), ocasionalmente com manchas de redução. Por vezes, devido à alta porcentagem de mica branca metamórfica, não foi possível diferenciar siltito de argilito, sendo a rocha denominada pelito. Estas rochas apresentam-se em camadas tabulares de espessura de até 30 cm e continuidade lateral da ordem de dezenas a centenas de metros. Cobrem as fácies Fm, Ft, Sm e Smm em contatos planos ou irregulares erosivos quando preenchendo escavações pretéritas.



Figura 24 – Empilhamento de lâminas plano-paralela de pelitos definindo a fácies Fh.

#### 7.14.2 Interpretação

Os siltitos e argilitos em questão depositaram-se em ambientes subaquosos de baixa energia, através da decantação de sedimentos finos, formando essa laminação horizontal (SIMONS *et al.*, 1965; BRIDGE, 2006). As cores cinzentas e a presença de manchas de redução indicam ambiente redutor.

### 7.15 Pelitos maciços (Fm)

#### 7.15.1 Descrição

Siltitos cinza escuros e argilitos cinza claros maciços ou sem estrutura aparente observada, podendo apresentar manchas de redução (Figura 25). Assim como na fácies Fh, comumente são descritos como pelitos, por se apresentarem bastante micáceos devido ao metamorfismo regional. Ocorrem em camadas tabulares ou lenticulares de até 10 cm de espessura e com até 2 m de continuidade lateral, em contatos planos ou preenchendo escavações, sobre as fácies Fh, Ft, Sc, Sm, Smm, Sp, St e Stt.



Figura 25 – Pelito cinzento maciço com manchas elípticas de redução.

### 7.15.2 Interpretação

Os pelitos maciços teriam se depositado a partir de fluxos gravitacionais de finos ou decantação de sedimentos finos em ambiente de baixa energia (BRIDGE, 2006). A possível destruição da laminação durante a diagênese ou metamorfismo deve ser levada em conta. Assim como em Fh, as cores cinzentas e manchas de redução sugerem ambiente redutor.

## 7.16 Siltitos com laminação cruzada (Ft)

### 7.16.1 Descrição

São siltitos cinzentos a rosados, com níveis cinza escuros definindo microlaminação cruzada. As lâminas cinzentas que definem a estrutura são compostas por material pesado (Figura 26 e Figura 27). A fácies ocorre em camadas tabulares ou lenticulares de 3 a 5 cm de espessura e continuidade lateral de até 1 m, com contatos planos, ondulados ou irregulares sobre fácies Fh, Fm e Sm.



Figura 26 – Siltito rosa com laminação cruzada ( fácies Ft) marcada por níveis mais escuros.



Figura 27 – Laminação cruzada, marcada por níveis cinza escuros, em siltito branco (Ft).

#### 7.16.2 Interpretação

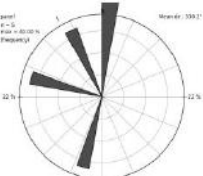
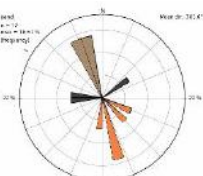
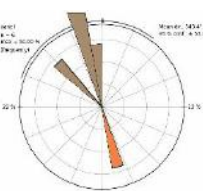
A laminação cruzada nesses siltitos foi formada a partir da migração de *ripples* em correntes trativas em ambiente de baixa energia, em regime de fluxo inferior baixo (similar a fácies Fl de MIALL, 1996).

## **8 ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES**

A partir da caracterização das fácies e sucessões de fácies reconhecidas nos perfis LA e LB (Apêndices 1, 2 e 3), das relações laterais observadas em campo, incluindo superfícies de erosão, e atitude de paleocorrentes, puderam ser distinguidas sete associações de fácies (Tabela 2). A análise do empilhamento vertical e distribuição lateral das associações de fácies permitiu a interpretação da sucessão como um todo e dos paleoambientes de cada associação.



Tabela 2 – Associações de fácies elaboradas para a interpretação dos perfis estratigráficos.

Associação	Código	Fácies	Descrição	Paleocorrentes	Interpretação
Prodelta	<b>F1</b>	Fh Fl Fm Sm Smm	Camadas de pelitos com grande extensão lateral e formando um pacote com 43 m de espessura. Predominam pelitos com laminação plano paralela. Na parte média da sucessão ocorrem arenitos Sm e Smm e, na base, pelitos com microlaminação cruzada.	—	Deposição por decantação de finos em prodelta com fluxos gravitacionais e trativos derivados relacionados a descarga fluvial e/ou instabilidade em ambiente de prodelta.
Frente deltaica distal	<b>F2</b>	Fm Sh Sm Sp St	Camadas arenosas e pelíticas com grande extensão lateral e espessuras de 23 m (perfil LA) e 14 m (LB). Predomina fácies Sm intercalada com Fm, e por vezes St e Sp. O contato com a associação de fácies F3 é gradacional.		Região de frente deltaica distal, com deposição por fluxos gravitacionais hiperconcentrados intercalados ou não com períodos de quiescência com decantação de finos.
Frente deltaica proximal	<b>F3</b>	Fm Sc Sg Sh Sm Sp St	Camadas arenosas intercaladas com pelíticas, de extensão lateral de dezenas de metros, e espessuras de 12 m e 10 m (perfil LA) e 14 m e 20 m (LB). Predominam fácies St e Sp, às vezes com dobras convolutas (Sc). Ocorrem também pelitos Fm. Essa associação ocorre em contato gradacional sobre F2 e recorre aparecendo bruscamente sobre F4 (perfil LB) ou F5 (LA).		Deposição por fluxos trativos e menor proporção de decantação de finos. Dobras convolutas e pilares relacionados à fluidização devida à carga de sedimentos e/ou tectônica. Caracterizam depósitos de frente deltaica proximal.
Barras de maré	<b>F4</b>	Fm Sm Sp St Stt	Camadas arenosas e pelíticas com continuidade lateral de até dezenas de metros, em pacotes de 12 m e 5 m (perfil LA) e 8 m e 9 m (LB). Ocorrem arenitos Stt (estratificação cruzada com recobrimento pelítico nos <i>foresets</i> ). São comuns superfícies de reativação com deposição de pelitos Fm, e paleocorrentes bidirecionais. Ocorre em contato gradacional com F3.		Migração de dunas por fluxos trativos contemporânea à decantação de argila em ambiente com correntes bidirecionais, interpretadas como de marés.

Canais influenciados por maré	<b>F5</b>	Sh Sm Sp Ss St	Camadas arenosas com grânulos e seixos, contínuas lateralmente em pacotes com de 4 m e 5 m (perfil LA). A associação é composta por arenitos Ss (estratificação cruzada sigmoidal) ou Sh em acamamento cruzado sigmoidal. St e Sp são fácies locais. A associação se apresenta gradualmente sobre F4.		Migração de dunas em fluxos trativos associados à descarga fluvial, com erosão e/ou deposição de finos de acordo com as variações da maré.
Canais e barras fluviais	<b>F6</b>	Fm Gcm Gg Gmm Gt Sc Sh Sm Sp St	Camadas arenosas e conglomeráticas amalgamadas, com continuidade lateral de até dezenas de metros, que ocorrem no perfil LA em pacotes com 16, 32 e 21 m de espessura. Abundância de corpos lenticulares com base côncava erosiva. Intraclastos pelíticos são comuns.		Depósitos arenosos e conglomeráticos de fluxos trativos de alta energia em ambiente fluvial, com escavação de canais.
Planície de inundação	<b>F7</b>	Fh Fm Ft Sm Smm	Pacotes com até 3 m de espessura formados por pelitos Ft (microlaminação cruzada), Fm e Fh, e arenitos Sm e Smm. A associação ocorre em contato abrupto tanto no topo quanto na base com a associação F6.		Decantação de finos, e localmente tração de silte, em períodos de inundação das áreas marginais do rio e no topo das barras arenosas. <i>Crevasse splays</i> gerando fluxos gravitacionais de detritos nas margens dos canais fluviais.

## 8.1 Associação F1: Prodelta

### 8.1.1 Descrição

A primeira associação de fácies, F1, é presente somente no perfil LB e totaliza em torno de 40 m de espessura vertical. Predominam argilitos e siltitos, em camadas tabulares de alta continuidade lateral, maciças (Fm) ou com laminação plano-paralela (Fh), decorrentes de deposição por decantação. Além destas estruturas, ocorrem também, embora em menor quantidade, outras geradas por processos de maior energia – tanto fluxos trativos que formaram siltitos com laminação cruzada (Ft), quanto fluxos gravitacionais que formaram arenitos maciços (Sm) e *wackes* maciços (Smm; Figura 28).



Figura 28 – Pelitos cinza laminado (F1) e lâminas alaranjadas de arenitos e *wackes* maciços (Sm e Smm), característicos da associação F1.

Ocorre o predomínio da fácies Ft na porção basal da associação F1 (Figura 29), enquanto na porção intermediária aparecem depósitos gravitacionais de fácies Sm e Smm. Por fim, no topo da associação, as *wackes* Smm deixam de ser frequentes, ocorrendo somente localizados níveis de Sm. As fácies Fh e Fm, por sua vez, são presentes em toda a sucessão. Devido à escassez de estruturas trativas não foram medidas paleocorrentes confiáveis nesse intervalo.

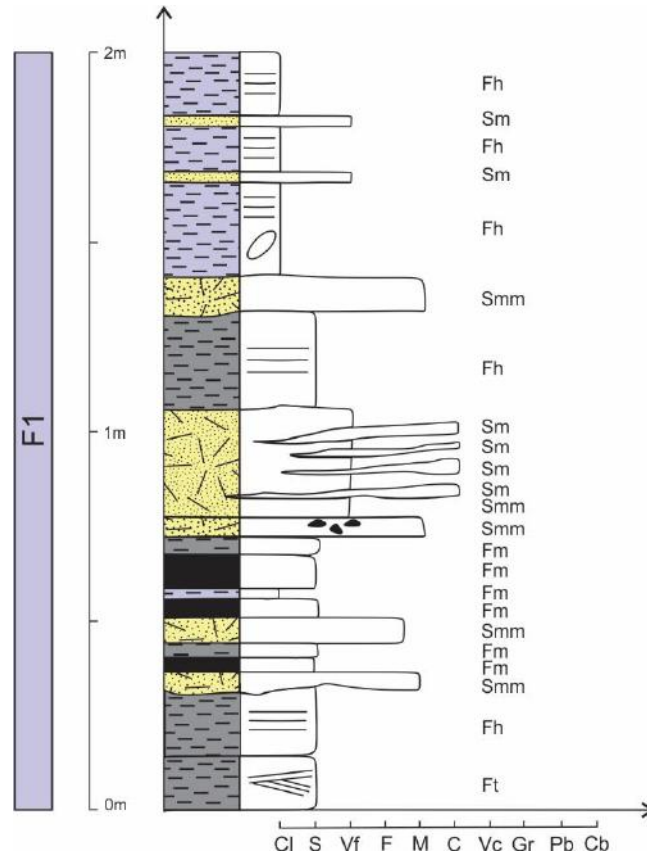


Figura 29 – Perfil esquemático da sucessão de fácies da associação F1, com base no empilhamento vertical observado no campo e mostrado no perfil LB.

### 8.1.2 Interpretação

Tomando como base os processos deposicionais interpretados para as fácies e o empilhamento e continuidade lateral das associações de fácies, a associação F1 representa um ambiente de prodelta. A maior parte de seus depósitos é decorrente de decantação de finos nas áreas de menor energia do prodelta, com ocasionais processos de fluxos gravitacionais transicionais a fluxos trativos, associados à descarga fluvial e/ou instabilidade tectônica (ORTON & READING, 1993; BHATTACHARYA, 2006).

A análise do empilhamento vertical permitiu notar um padrão de aumento de energia da base até a porção intermediária da associação F1, bem marcado pela maior frequência de fácies arenosas de fluxos gravitacionais. Já no topo, ocorre uma diminuição de energia, retornando um ambiente calmo com predominância de decantação de finos.

## **8.2 Associação F2: Frente deltaica distal**

### **8.2.1 Descrição**

A associação de fácies F2 (Figura 30) é presente em ambos os perfis estratigráficos, consistindo em aproximadamente 20 m (perfil LA) e 14 m (LB) de espessura. Esta associação é constituída pela intercalação de camadas de espessura delgada a média areníticas (fácies Sh, Sm, St e Sp) e camadas delgadas e lâminas pelíticas (fácies Fm; Figura 31). A maior frequência de fácies arenosas representa uma importante mudança em relação ao predomínio de fácies pelíticas na associação F1.

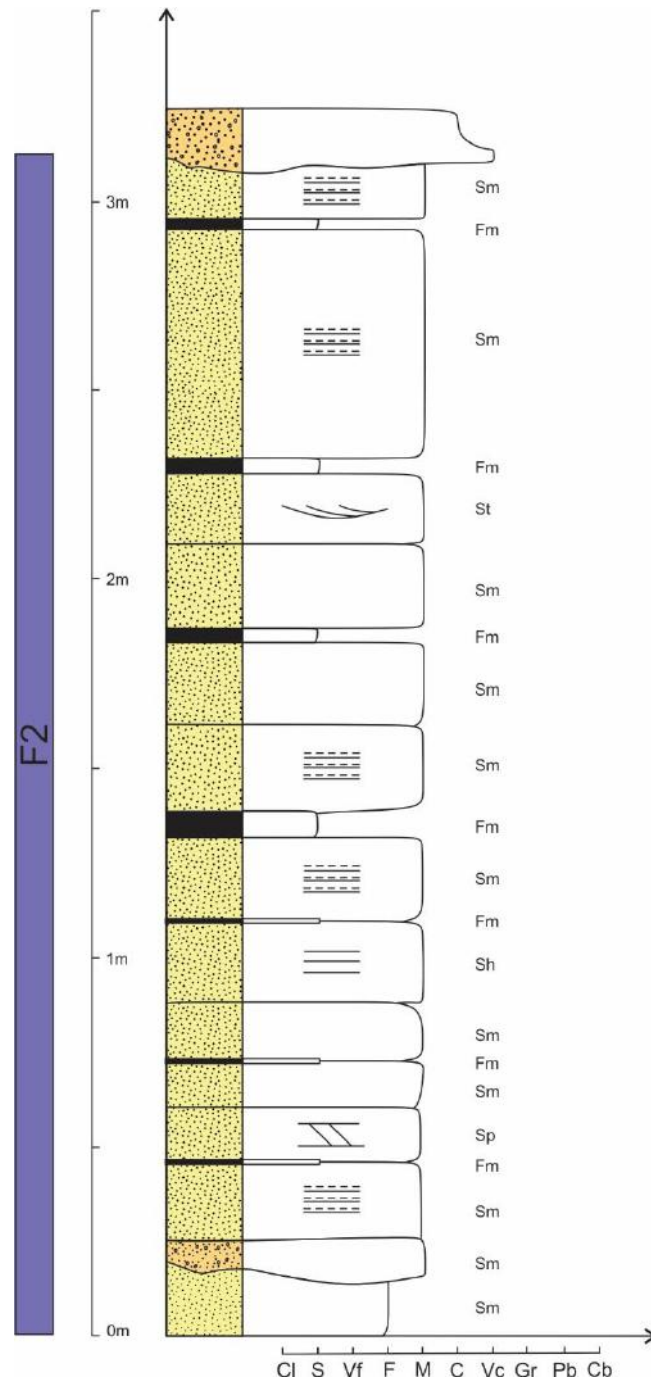


Figura 30 – Perfil esquemático incluindo todas as fácies reconhecidas na associação de fácies F2. Baseado em observações de campo mostradas nos perfis LA e LB (Apêndices 1, 2 e 3).



Figura 31 – Arenitos maciços de cor branca a rosada (Sm) e lâminas pelíticas alaranjadas devido à oxidação (Fm), típicos da associação F2 - frente deltaica distal.

Predominam os arenitos maciços, mas, em direção ao topo, ocorrem camadas, de até ca. 15cm espessura, de arenitos com estratificação cruzada planar e acanalada. No entanto, devido à escassez destas estruturas, o conjunto de medidas de paleocorrente não foi considerado como representativo para maiores conclusões (Figura 32). O contato com a associação de fácies F3 ocorre de forma gradacional, e o contato basal com a associação F1 ocorre encoberto por vegetação.

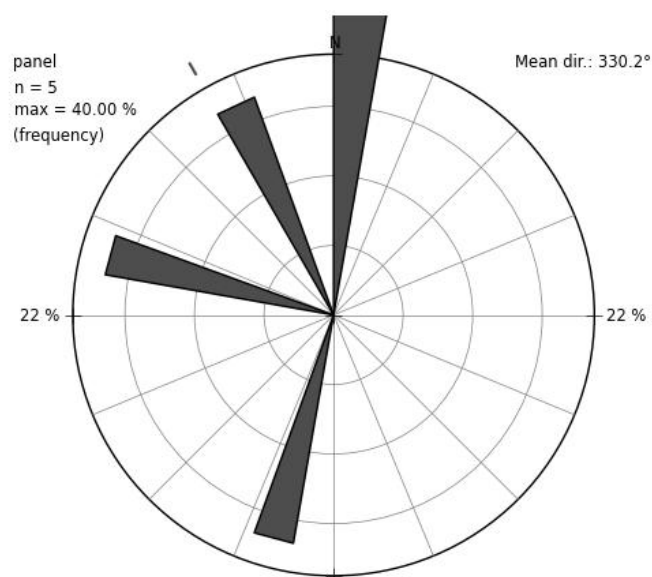


Figura 32 – Diagrama de roseta com 5 medidas de paleocorrentes na associação de fácies F2.

### 8.2.2 Interpretação

A intercalação de arenitos e pelitos maciços sugere a ocorrência de fluxos gravitacionais hiperconcentrados (LOWE, 1988; SMITH, 1986), gerando os arenitos Sm e pelitos Fm. Estes fluxos gravitacionais podem ser de detritos ou turbulentos. A existência de ciclos arenito-pelito sem gradação, com uma passagem brusca, sugerem deposição por fluxos de detritos. No entanto, as duplas arenito-pelito também podem representar a diferenciação granulométrica em fluxos turbidíticos desacelerantes (LOWE, 1982; MUTTI, 1992), somados à decantação hemipelágica. As ocasionais intercalações de camadas delgadas e médias arenitos Sp, St e Sh, similares aos intervalos Tb e Tc de turbiditos clássicos (BOUMA, 1962; LOWE, 1982; PICKERING, 1986; MUTTI, 1992), reforçam essa hipótese.

Com isso, pode-se interpretar a associação F2 como representativa de ambiente de frente deltaica distal, com maior frequência de fluxos gravitacionais de turbidez, diferente da associação F1, em que predominam depósitos de decantação.

## 8.3 Associação F3: Frente deltaica proximal

### 8.3.1 Descrição

A associação de fácies F3 (Figura 33) engloba pacotes com espessura de 12 m e 10 m (perfil LA) e 14 m e 20 m (LB), em camadas com continuidade lateral da ordem de dezenas de metros. A associação é constituída por conjunto com presença dominante de arenitos com estratificação cruzada dos tipos planar (Sp) e acanalada (St; Figura 34), muitas vezes separados por superfícies erosivas (Figura 35). Ocorre também estratificação plano-paralela (Sh). Estas fácies podem ser deformadas em dobras convolutas ou pilares gerando a fácies Sc. Além disso, ainda são observadas intercalações de arenitos maciços ou com gradação normal (fácies Sm e Sg) e de pelitos (Fm).



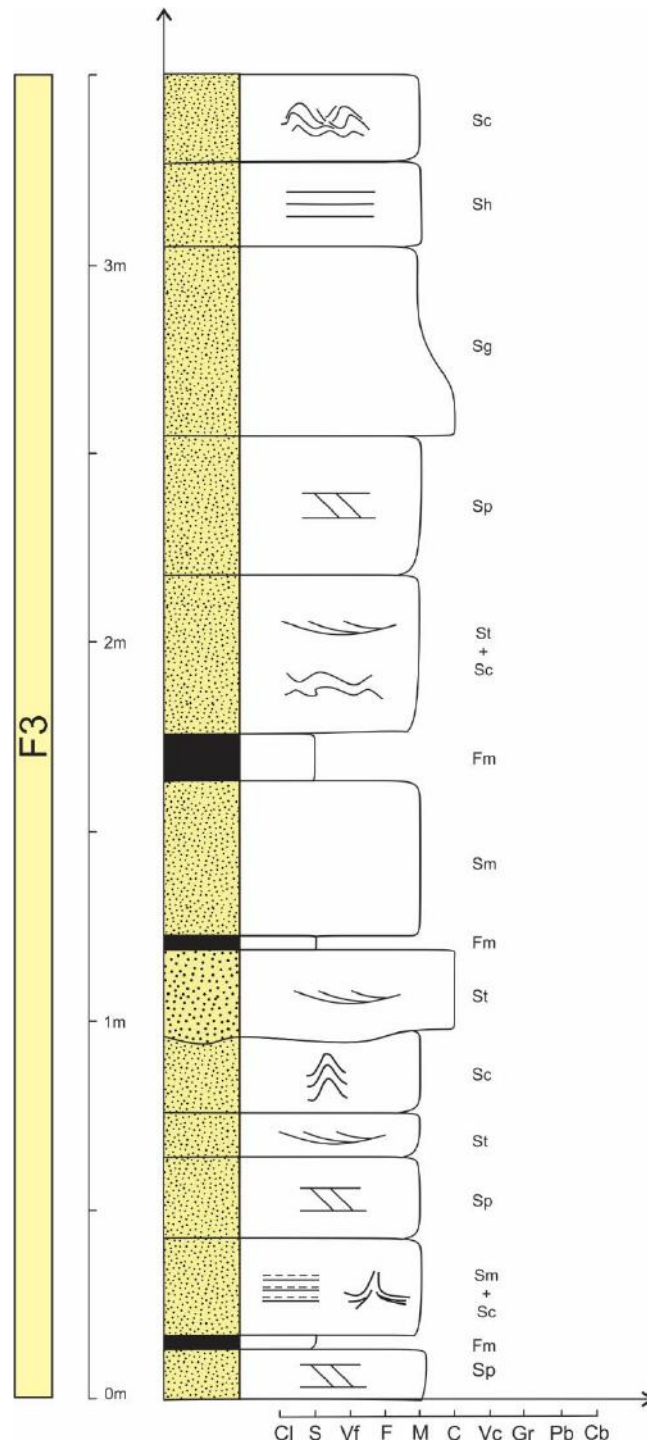


Figura 33 – Perfil esquemático da associação de fácies F3, incluindo exemplos de todas as fácies presentes. Baseado em observações de campo mostradas nos perfis LA e LB (Apêndices 1, 2 e 3).

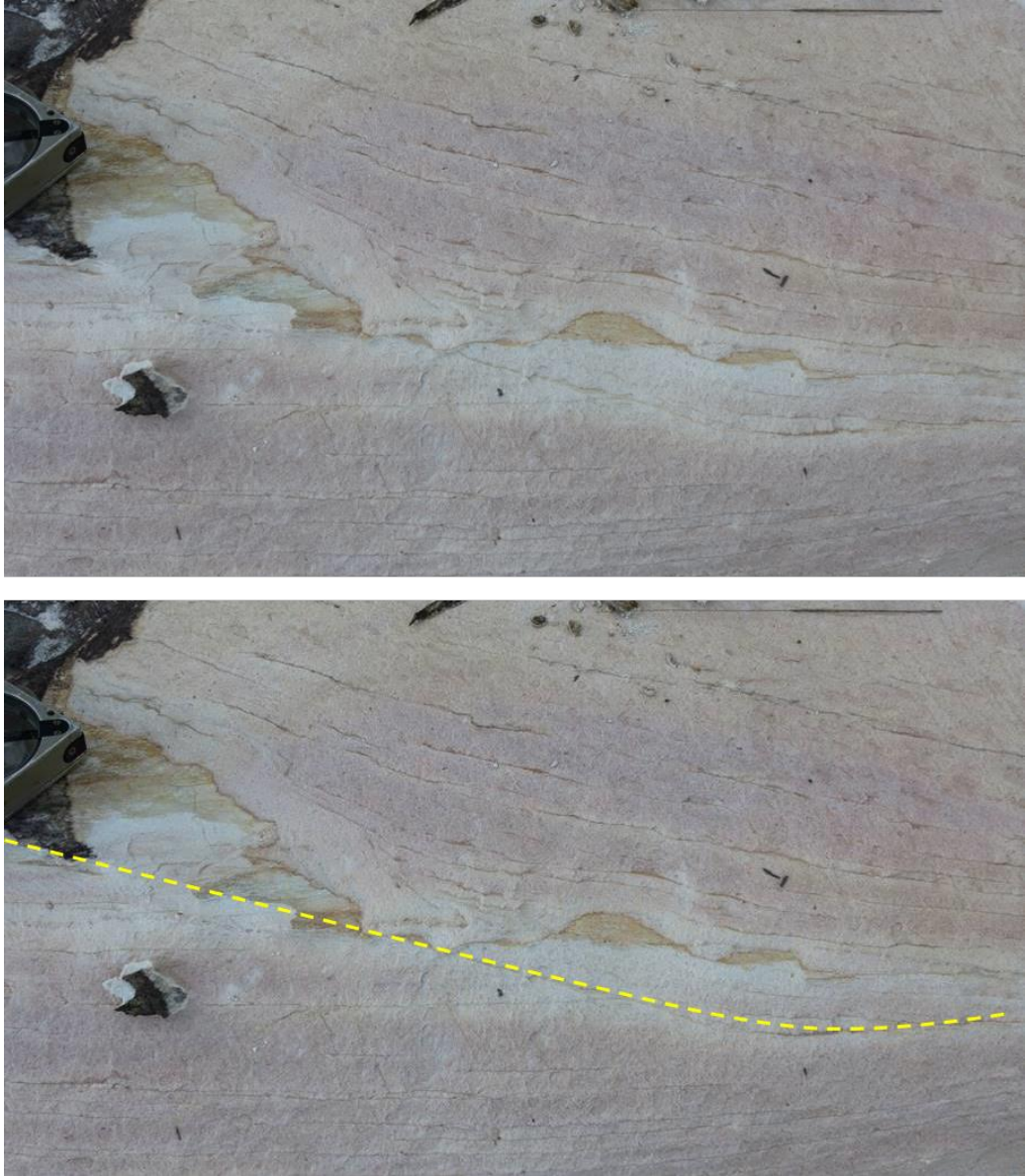


Figura 34 – Arenito com estratificação cruzada acanalada sobre base irregular erosiva (tracejado amarelo), da associação de fácies F3.



Figura 35 – Arenitos com superfícies erosivas e irregulares preenchidas por lâminas de pelito, da associação F3.

Nessa associação observa-se um padrão bidirecional de paleocorrentes, ora para NNW, ora para SSE (Figura 36).

A associação F3 aparece em contato gradacional logo acima da associação F2. No entanto, é recorrente, pois ocorre também em contato brusco sobre as associações F4 no perfil LB e F5 no perfil LA.

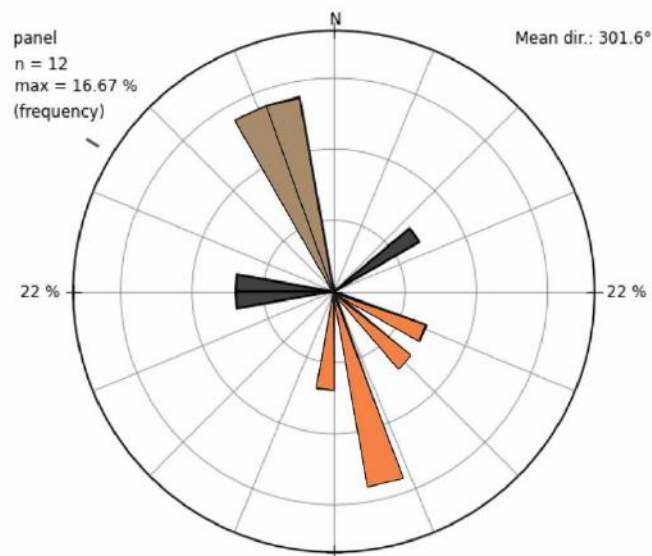


Figura 36 – Padrão bidirecional de paleocorrentes medidas em arenitos Sp e St na associação de fácies F3, em diagrama de roseta com 12 medidas.

### 8.3.2 Interpretação

A predominância de estruturas geradas por processos trativos registrados nas fácies Sp, St e Sh indica um progressivo aumento de energia e raseamento em relação às associações de fácies F1 e F2. Estes depósitos ocorrem acima do nível base de ondas de tempo bom, onde também são frequentes superfícies erosivas. As dobras convolutas e pilares registram processos de fluidização causados por instabilidades relacionadas ao aumento de aporte sedimentar ou à tectônica da bacia (BHATTACHARYA, 2006). Depósitos pelíticos sobre superfícies erosivas ou não indicam regiões localizadas de menor energia, onde ocorre a decantação de sedimentos finos.

As fácies presentes e a relação com as outras associações permitem interpretar a associação F3 como o registro de um provável ambiente de frente deltaica proximal (BHATTACHARYA, 1991, 2006, 2010; ORTON & READING, 1993). Além disso, o próprio padrão de *coarsening-* e *thickening-up* observado a partir do empilhamento vertical das associações F1, F2 e F3 reforça essa interpretação.

Considerando um paleoambiente de frente deltaica, as paleocorrentes dirigidas para SSE (destacadas em laranja na Figura 36) poderiam ser o registro de descarga fluvial e da maré vazante, durante a progradação do delta. No entanto, as correntes dirigidas para NNW (em marrom, Figura 36) podem ser interpretadas como decorrentes da ação da maré de enchente e do retrabalhamento por ondas, levando em conta o estudo conjunto das associações de fácies e seu empilhamento vertical.

## 8.4 Associação F4: Barras de maré

### 8.4.1 Descrição

A associação de fácies F4 ocorre em dois pacotes em ambos os perfis, com 12 m e 5 m (perfil LA) e 8 m e 9 m (LB) de espessura vertical e camadas com continuidade lateral de dezenas de metros (Figura 37). Apresenta-se em contato transicional sobre a associação F3 e sob a associação F5.

Ocorrem, predominantemente, arenitos maciços (Sm) e arenitos com estratificação cruzada com recobrimento pelítico nos *foresets* (Stt, Figura 38). Em menor proporção são presentes arenitos Sp e St. Superfícies irregulares erosivas gerando truncamentos são frequentes, marcadas ou não por lâminas ou camadas lenticulares de pelito (Fm, Figura 39).

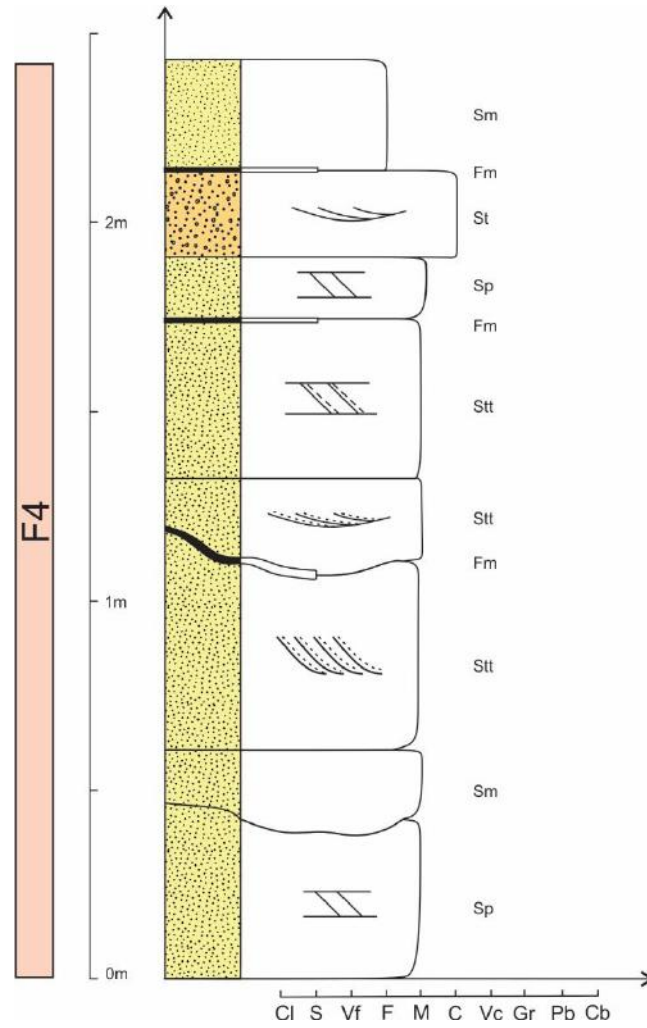


Figura 37 – Perfil esquemático da associação de fácies F4, incluindo exemplos das fácies presentes. Baseado em observações de campo, mostradas nos perfis LA e LB (Apêndices 1, 2 e 3).

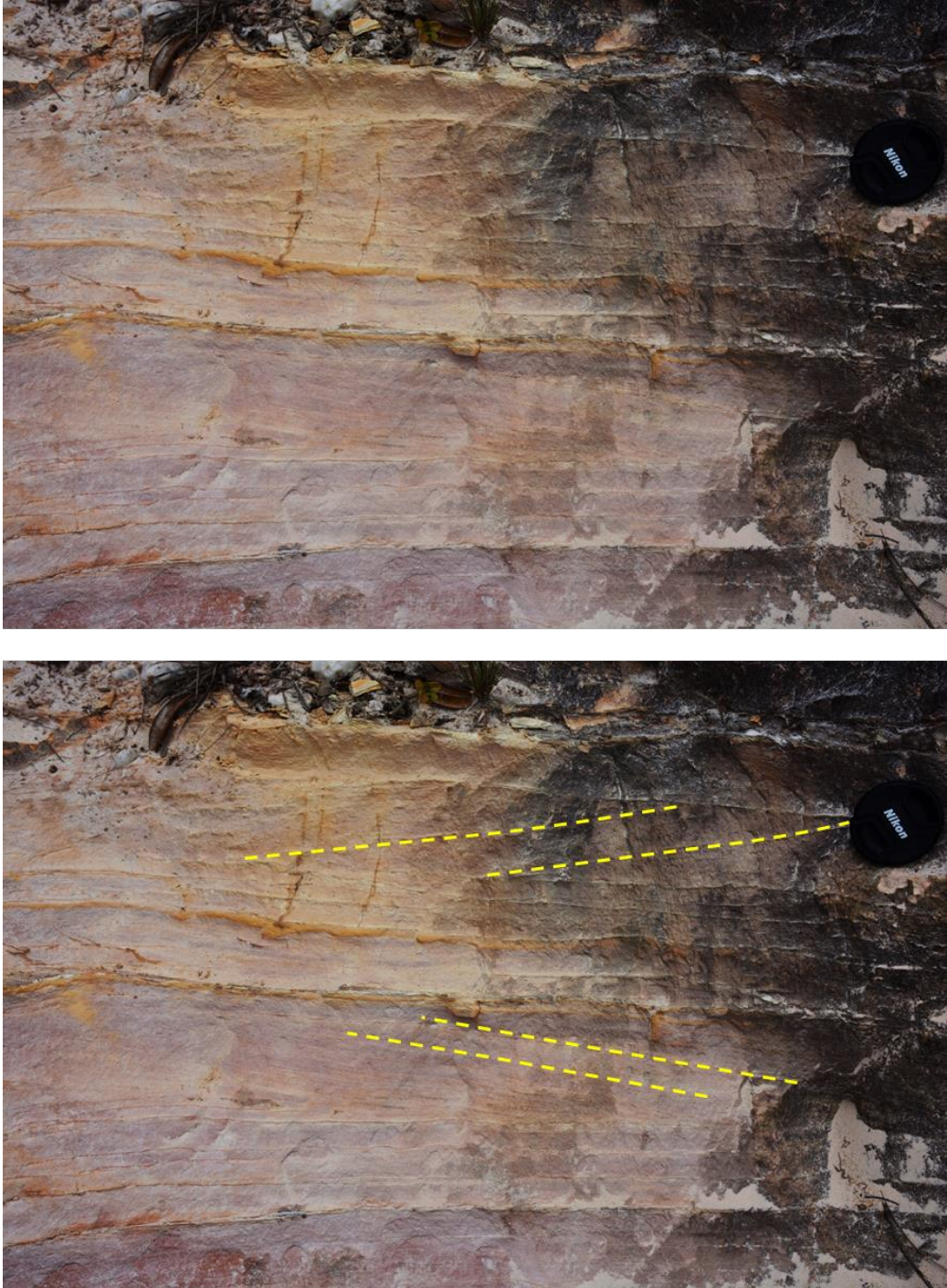


Figura 38 – Arenitos rosados e brancos com estratificação cruzada (St e Sp) bidirecional da associação de fácies F4.

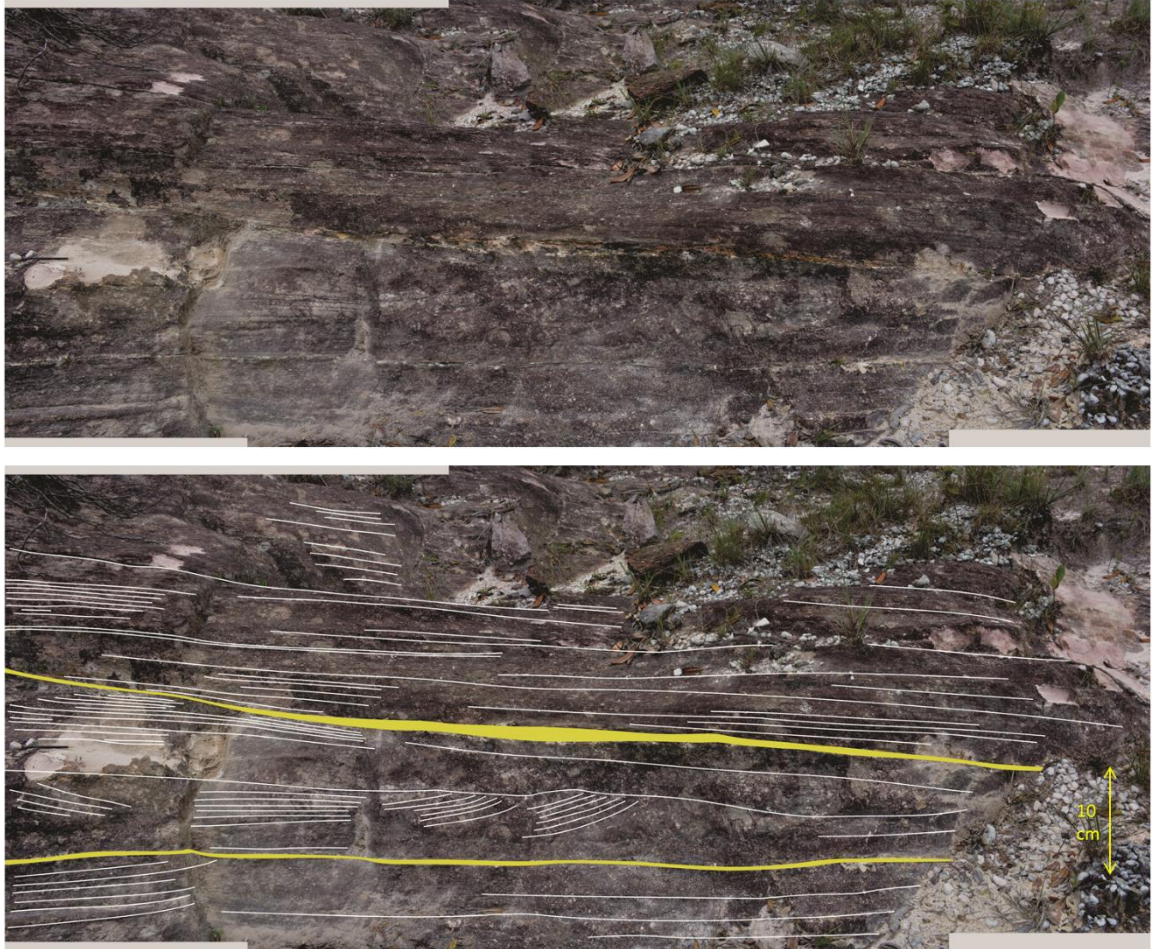


Figura 39 – Truncamento de camadas de arenitos St e Sm por superfícies erosivas, algumas com recobrimento por lentes de pelito Fm (em amarelo). Fotomosaico ressaltando estruturas e geometria de camadas na associação F4.

São observadas paleocorrentes com um padrão bidirecional, com sentidos tanto para NNW quanto para SSE (Figura 40).

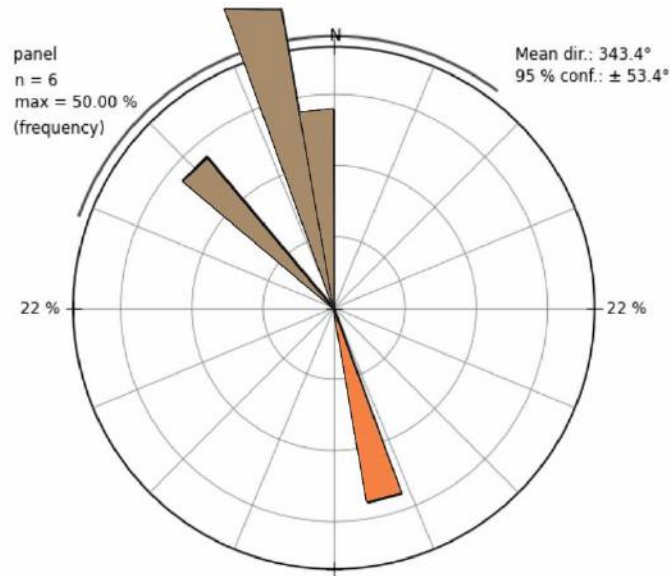


Figura 40 – Paleocorrentes com padrão bidirecional, em diagrama de roseta com 6 valores medidos na associação F4.

#### 8.4.2 Interpretação

O conjunto de fácies e padrão de paleocorrentes permitem interpretar a associação F4 como relacionada a barras de maré. Os arenitos Stt teriam se formado por uma alternância de processos trativos e decantação, gerando filmes de lama em *foresets* de estratificação cruzada e superfícies de reativação (VISSER, 1980). Os frequentes truncamentos, muitas vezes sobrepostos por lentes pelíticas e arenitos Sp e St, sugerem a migração de barras arenosas no ambiente de maré (DALRYMPLE *et al.*, 1990; DALRYMPLE, 1992; MELLERE & STEEL, 1996; WILLIS, 2005).

Além disso, as paleocorrentes observadas em Sp, St e Stt apresentam uma bidirecionalidade. As medidas com sentido para NNW (destacadas em marrom, Figura 40) são interpretadas como registro da ação da maré de enchente e retrabalhamento marinho. As paleocorrentes para SSE (em laranja, Figura 40), por sua vez, seriam decorrentes da maré de vazante e da própria descarga fluvial (VISSER, 1980; DE BOER *et al.*, 1989; NIO & YANG, 1991; SHANLEY *et al.*, 1992; FENIES *et al.*, 1999; PONTÉN & PLINK-BJÖRKLUND, 2007).



## 8.5 Associação F5: Canais influenciados por maré

### 8.5.1 Descrição

A associação de fácies F5 inclui dois pacotes de 4 m e 5 m de espessura vertical, sendo observada somente no perfil LA, embora a continuidade lateral das camadas alcance até dezenas de metros. Consiste essencialmente em arenitos com estratificação cruzada sigmoidal (Ss), além de camadas de Sh organizadas em corpos de geometria sigmoidal (Figura 41 e Figura 42). Ocorrem também arenitos maciços (Sm), com estratificação plano-paralela (Sh), cruzada planar (Sp) e acanalada (St). Além disso, há uma maior contribuição de sedimentos grossos, como grânulos e seixos, raros nas associações F3 e F4. Este conjunto de dados reforça o padrão de *coarsening-* e *thickening-up* típico de deltas, bem marcado nos dois perfis.

As paleocorrentes, assim como em F4, apresentam um padrão bidirecional – no entanto, na associação F5 há um vetor preferencial para SSE, e o sentido para NNW é subordinado (Figura 43).

A associação F5 ocorre em contato gradacional com a associação F6.

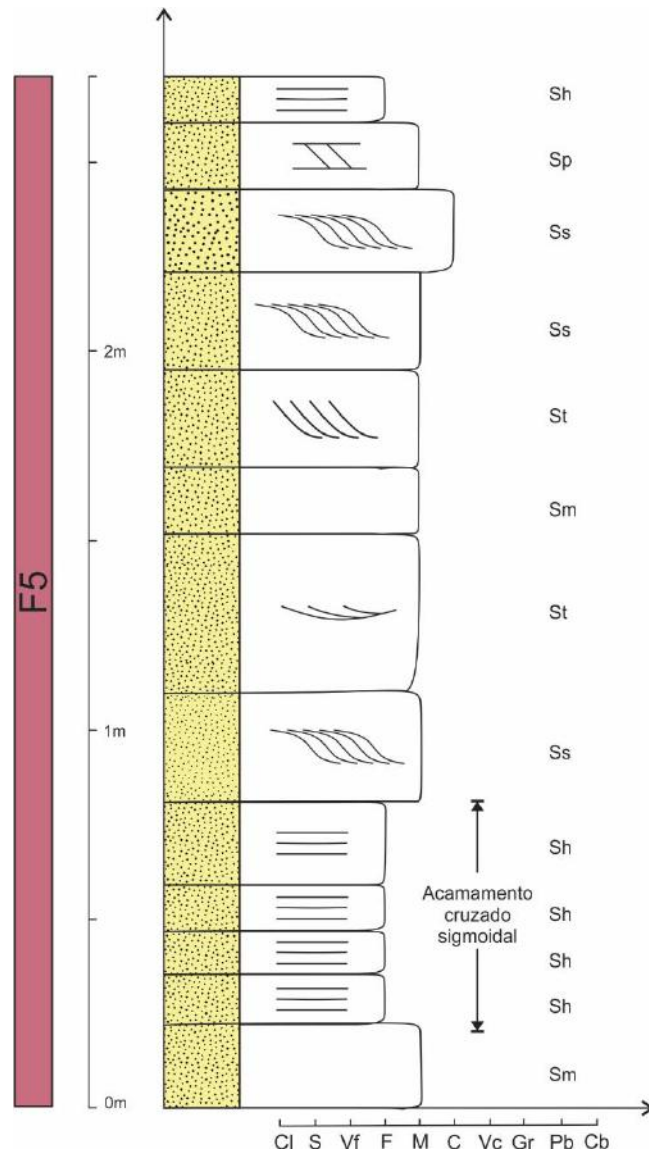


Figura 41 – Perfil esquemático com as fácies presentes na associação F5. Baseado em observações de campo mostradas no perfil LA (Apêndices 1 e 2).



Figura 42 – Camadas de arenito Sh formando um corpo de geometria sigmoidal (acamamento cruzado sigmoidal), associação F5.

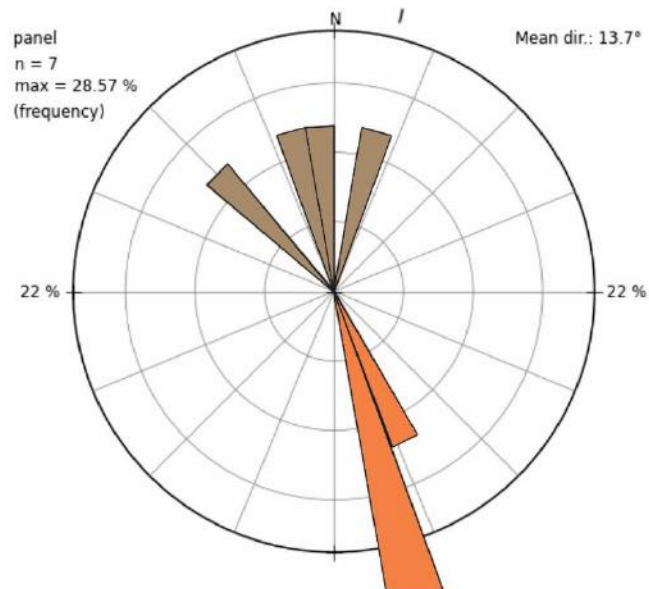


Figura 43 – Diagrama de roseta com 7 medidas de paleocorrentes da associação F5.

### 8.5.2 Interpretação

A sucessão de fácies, abundância de fácies Ss e acamamento cruzado sigmoidal permitem interpretar a associação de fácies F5 como o registro de canais fluviais influenciados pela ação das marés, de modo similar ao descrito por Pontén & Plink-Björklund (2007).

As estruturas de processos trativos seriam decorrentes tanto da descarga fluvial quanto do retrabalhamento por maré, gerando dunas subaquosas com o topo e base sendo constantemente erodidos, formando a fácies Ss. Pacotes sigmoidais de camadas delgadas representariam o preenchimento dos canais fluviais – novamente com a ação da maré sendo determinante para a geometria sigmoidal (CANT & WALKER, 1978; VISSER, 1980; KREISA & MOIOLA, 1986; NIO & YANG, 1991; MELLERE & STEEL, 1996; PONTÉN & PLINK-BJÖRKLUND, 2007).

A paleocorrente principal para SSE indicaria o sentido do fluxo fluvial, somado à ação da maré de vazante (em laranja, Figura 43). O sentido subordinado para NNW seria produto da maré de enchente, promovendo incursões marinhas nos canais fluviais (em marrom).

## 8.6 Associação F6: Canais e barras fluviais

### 8.6.1 Descrição

A associação de fácies F6 possui continuidade lateral da ordem de dezenas de metros e alcança mais de 60 m de espessura vertical total. Inclui duas intercalações de associação F7, em contatos abruptos.

A associação F6 representa o topo da sucessão de *coarsening-* e *thickening-up* registrada nos perfis (Figura 44). Inclui arenitos e conglomerados ricos em intraclastos, em corpos lenticulares de base côncava (Figura 45) com frequentes superfícies erosivas (Figura 46 e Figura 13). Ocorrem ortoconglomerados maciços (Gcm), com gradação normal (Gg) e com estratificação cruzada acanalada (Gt) e paraconglomerados (Gmm). São também presentes arenitos maciços (Sm) ou com estratificação plano-paralela (Sh) ou cruzada dos tipos planar (Sp) ou acanalada (St). É relevante a ocorrência de estratificação cruzada planar de grande porte (Sp). Camadas lenticulares delgadas de pelitos (Fm) e arenitos com dobras convolutas (Sc) aparecem localmente. Nesta associação predominam paleocorrentes para SSE (Figura 47).

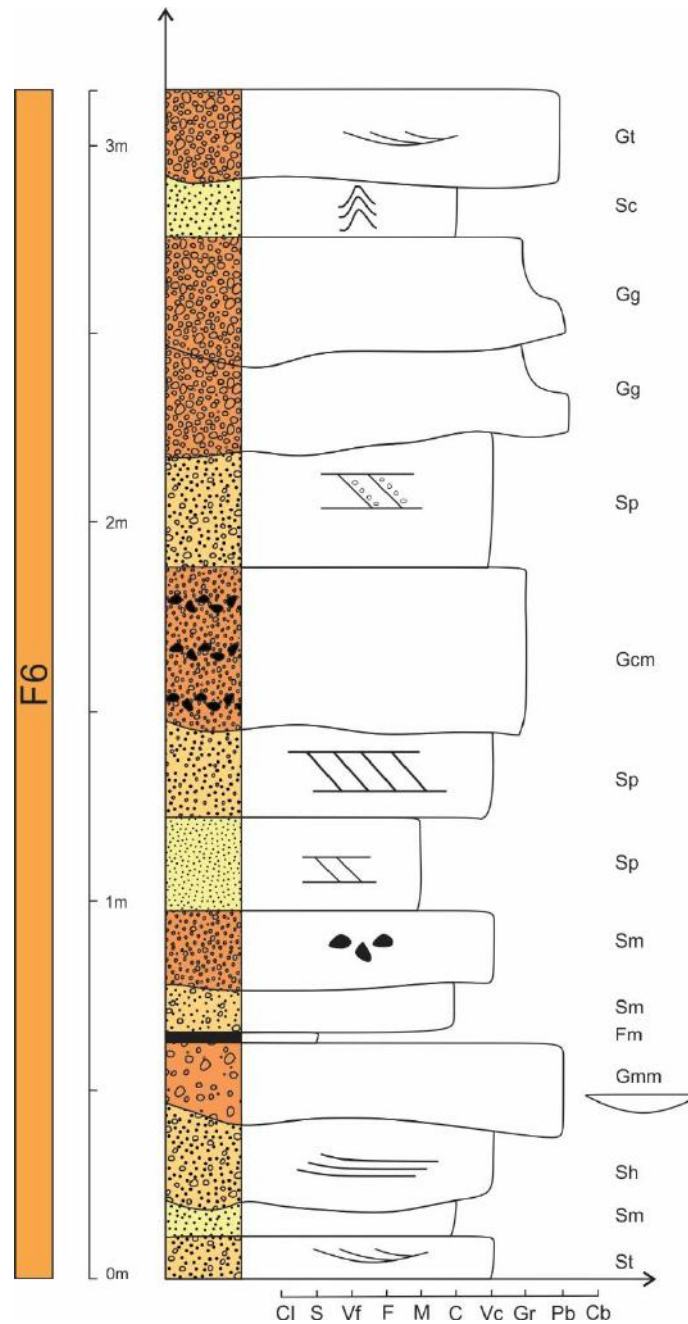


Figura 44 – Perfil esquemático da associação de fácies F6, incluindo exemplos de todas as fácies presentes. Baseado em observações de campo, mostradas no perfil LA (Apêndices 1 e 2).



Figura 45 – Arenitos seixosos St em camadas de geometria lenticular, associação F6.



Figura 46 – Conglomerado maciço Gcm em contato irregular erosivo sobre arenito St, típicos da associação F6.

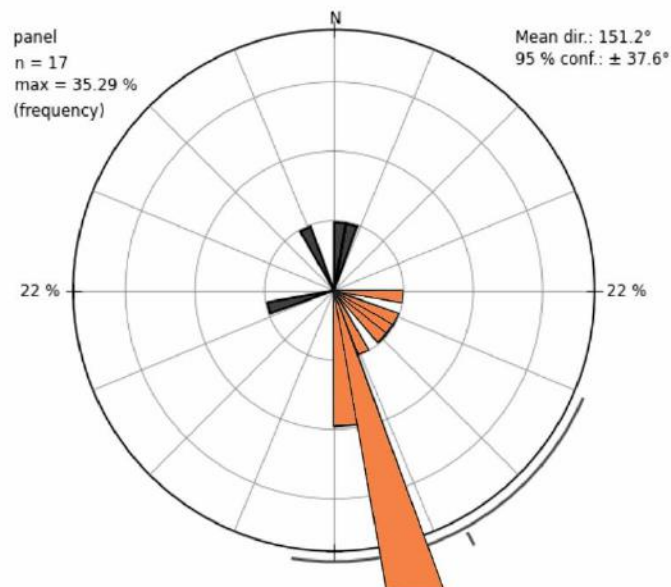


Figura 47 – Roseta de paleocorrentes com 17 medidas obtidas na associação F6.

### 8.6.2 Interpretação

A associação de fácies F6 pode ser interpretada como formada por depósitos de barras e canais propriamente fluviais, sem influência de marés, representando a porção mais continental da sucessão (COLLINSON, 1986; MIAL, 1996; PONTÉN & PLINK-BJÖRKLUND, 2007). A deposição de sedimentos grossos, desde areia grossa a bloco em corpos de geometria lenticular e base erosiva, sugere a maior energia dos fluxos – em sua

maioria trativos e preenchimento de canais. Vale notar que podem ocorrer variações na energia dos fluxos, evidenciada pela gradação normal em Gg.

Os arenitos grossos, seixosos ou não, em corpos com estratificação cruzada planar de grande porte e com estratificação cruzada acanalada também registram processos de tração, representando a migração de barras fluviais.

O vetor predominante das paleocorrentes para SSE indica o sentido de descarga fluvial, em porções continentais, sem influência de maré (em laranja, Figura 47).

## 8.7 Associação F7: Planície de inundação

### 8.7.1 Descrição

A última associação de fácies, F7 (Figura 48), é composta por depósitos de sedimentos finos em contato abrupto de base e topo com a associação F6. Totaliza dois pacotes de até 3 m de espessura vertical cada, porém com continuidade lateral restrita. Inclui pelitos maciços e com laminação plano-paralela (Fm e Fh, respectivamente), mas ocorrem também lentes delgadas de arenitos e *wackes* maciças (Sm e Smm) e siltitos com laminação cruzada (Ft; Figura 49). Devido à escassez de estruturas de correntes, não foram medidas paleocorrentes representativas.

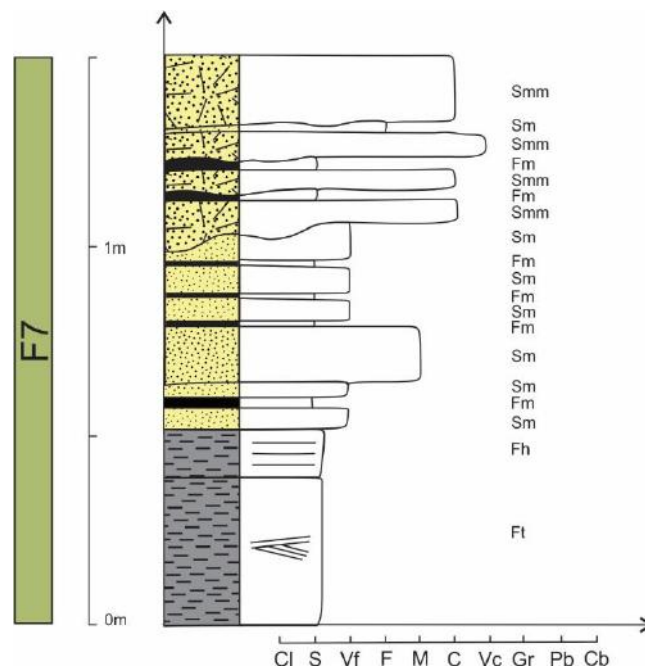


Figura 48 – Perfil esquemático com as fácies presentes na associação F7, baseado em observações de campo mostradas no perfil LA (Apêndices 1 e 2).





Figura 49 – Pelitos, arenitos e *wackes* maciços (Fm, Sm e Smm), característicos da associação F7.

### 8.7.2 Interpretação

Os sedimentos finos da associação de fácies F7, ocorrem intercalados em uma sucessão tipicamente fluvial (F6), e são interpretados como depósitos da planície de inundação do rio, incluindo as áreas marginais aos canais e topo de barras fluviais.

Pelitos laminados depositados por decantação a partir de inundações em períodos de cheia do rio e fluxos trativos de baixa energia associados a uma fina lâmina d'água gerando siltitos com laminação cruzada marcam bem essa associação de fácies (MIALL, 1996). Além deles, ocorrem também Sm, Smm e Fm, que podem ser interpretados como formados a partir de fluxos gravitacionais de detritos relacionados a espriamento de *crevasse* (*crevasse splays*) nas bordas dos canais fluviais (FIELDING, 1984). Esse conjunto de depósitos é logo sobreposto por superfícies erosivas, seguida de depósitos da associação F6, decorrentes da avulsão do rio sobre a planície de inundação.

## 9 CORRELAÇÃO ESTRATIGRÁFICA

Para facilitar a comparação e a busca de relações entre os perfis LA e LB, eles foram sintetizados em escala 1:600 (Figura 50). Não foi encontrado um *datum* comum entre os perfis, mas ainda assim observa-se um padrão de empilhamento de associações de fácies semelhante entre os perfis, o que possibilita uma correlação entre eles.

A predominância de fácies pelíticas e areníticas finas na associação F1, na base do perfil LB, representa o prodelta do delta do Lenheiro. É coberta pela associação F2, presente em ambos os perfis, marcando a porção distal da frente deltaica - onde ficaram registrados os fluxos hiperconcentrados. Em direção ao topo, em ambos perfis, em contato gradacional sobre F2, passam a ser mais frequentes as estruturas trativas que caracterizam associação F3 interpretada como depósitos proximais de frente deltaica. A associação F4, rica em arenitos com estratificação cruzada com filmes pelíticos *foresets*, ocorre sobre os depósitos de frente deltaica, sendo interpretada como barras de maré em planície deltaica subaquosa rasa. No perfil LA, ocorrem sobre essa associação camadas com estratificação cruzada sigmoidal e acamamento cruzado, marcando a associação F5. Esse conjunto representa depósitos de canais fluviais, mas ainda com forte influência de maré.

A recorrência da associação F3 acima das associações F5 (LA) e F4 (LB) caracteriza uma interrupção no padrão de progressivo raseamento (destacado pelas linhas verdes, Figura 50). Essa repetição dos depósitos de frente deltaica proximal (F3) sobre os depósitos relacionados a maré (F4 e F5) é uma importante superfície de afogamento da sucessão (em verde, Figura 50), provavelmente relacionada à tectônica da bacia. Essa subida do nível relativo do mar colocou depósitos de ambientes mais profundos - F3, frente deltaica proximal -, sobre ambientes mais rasos, das associações F4 e F5.

Depois, sobre os depósitos de frente deltaica F3, ocorre novamente o par de associações F4 e F5. Acima deles, gradualmente, os arenitos seixosos e conglomerados com estratificações cruzadas de grande porte e superfícies erosivas passam a ser mais frequentes. Estes constituem a associação de fácies F6, que representa depósitos de canais e barras de rio entrelaçado, sem influência de maré. Pelitos e arenitos muito finos da associação F7 ocorrem em contato brusco intercalados na associação F6, representando a planície de inundação fluvial.

O empilhamento das associações de fácies forma um padrão de grano- e estrato-crescente para o topo, típico de sistemas deltaicos, com a progradação do delta construindo

feições adentro de um corpo aquoso. Além disso, é bem marcada uma superfície de afogamento, delimitando duas seqüências progradacionais de maior ordem dentro da Sequência Lenheiro.

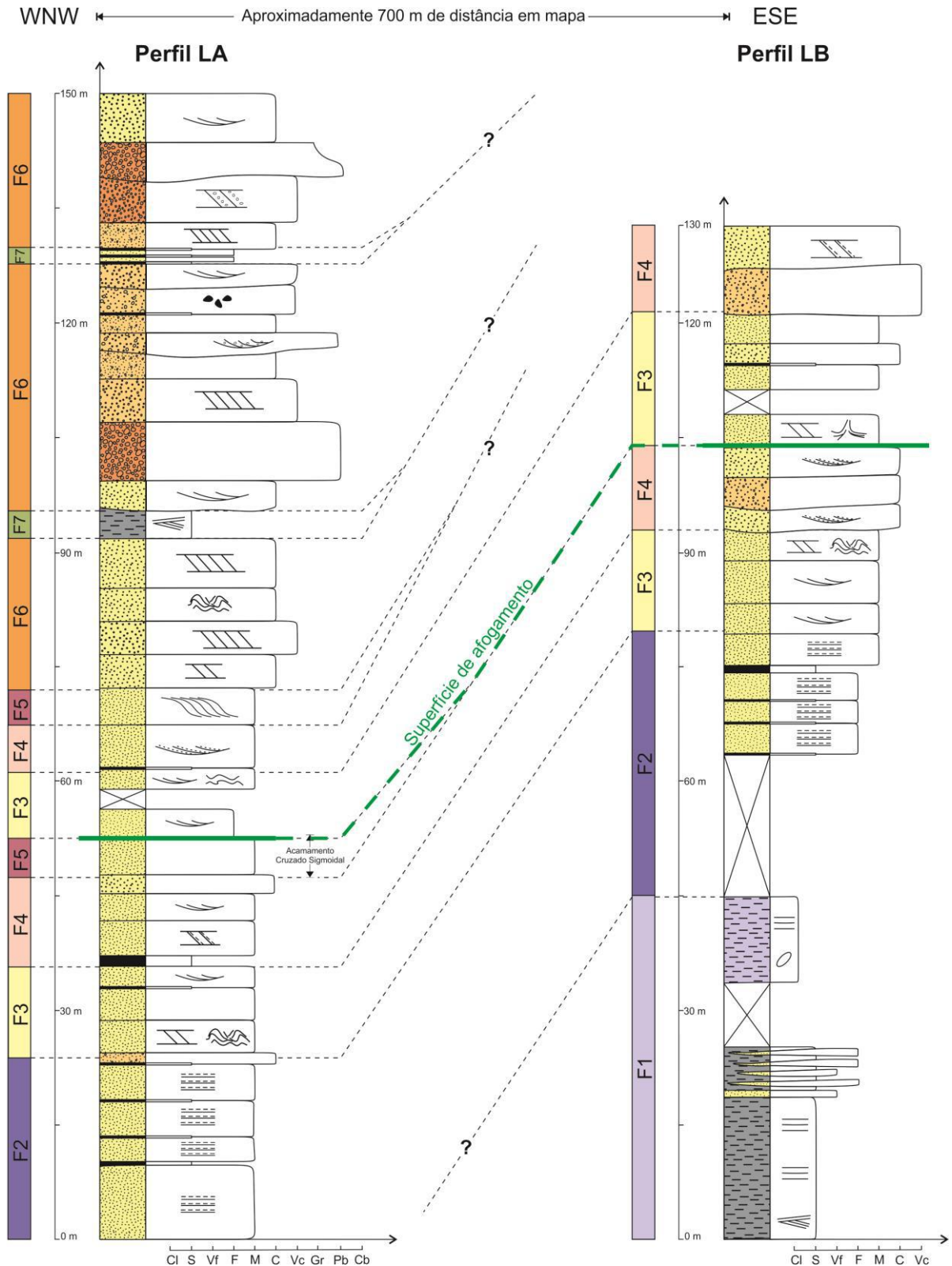


Figura 50 – Comparação entre o empilhamento vertical das associações de fácies nos perfis LA e LB. Perfis sintéticos em escala 1:600.

## 10 CONCLUSÕES

Com os dados e interpretações dos perfis traçados na Sequência Lenheiro foi possível a elaboração de um modelo paleodeposicional da sucessão, tomando como base a Lei de Walther:

Os diversos depósitos da uma mesma associação de fácies e o conjunto de diferentes associações são formados lado a lado no espaço, embora em seção os vejamos uns acima dos outros... é um princípio básico de extrema significância que somente podem estar superimpostas aquelas fácies e associações de fácies que podem ser observadas lado a lado no tempo presente. (WALTHER, Johannes, 1894)<sup>1</sup>

Dessa forma, as fácies verticalmente empilhadas também teriam contatos laterais em um mesmo tempo, possibilitando a inferência de um paleoambiente em que as associações de fácies analisadas se depositariam lado a lado. Assim, foi interpretado um modelo paleodeposicional com as paleocorrentes e associações de fácies (Figura 51).

Em síntese, na região do prodelta (associações de fácies F1 e F2) ocorre a decantação de finos e fluxos gravitacionais hiperconcentrados com sedimentos arenosos. Esses fluxos podem estar relacionados às instabilidades geradas por descarga fluvial ou tectônica, por exemplo. Em direção à frente deltaica (F3), há uma progressiva diminuição de sedimentos finos, predominando depósitos arenosos formados por fluxos trativos. Pode-se observar as feições das barras de maré (F4), tanto subaquosas quanto acima da lâmina d'água, marcando a região da planície deltaica.

Na transição para o sistema fracamente fluvial ocorrem depósitos de canais fluviais influenciados e modificados pela ação das marés (estruturas sigmoidais, associação F5) – em que, em períodos de maré de enchente, a lâmina d'água sobe sobre porções continentais do ambiente. Na área ainda mais continental do sistema, ocorrem os canais e barras propriamente fluviais (F6), e não há mais claros registros da influência das marés. Depositam-se neste ambiente sedimentos grossos por fluxos trativos unidirecionais, com sedimentação de finos na planície de inundação do rio (associação F7).

---

<sup>1</sup> Tradução livre do original em inglês: “The various deposits of the same fácies-area and similarly the sum of rocks of different fácies-areas are formed beside each other in space, though in a cross-section we see them lying on top of each other... it is a basic statement of far-reaching significance that only those fácies and fácies-areas can be superimposed primarily which can be observed beside each other at the present time.” (BOGGS, Sam, Jr. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*, 5th edition, 2012. Prentice Hall, p. 348).

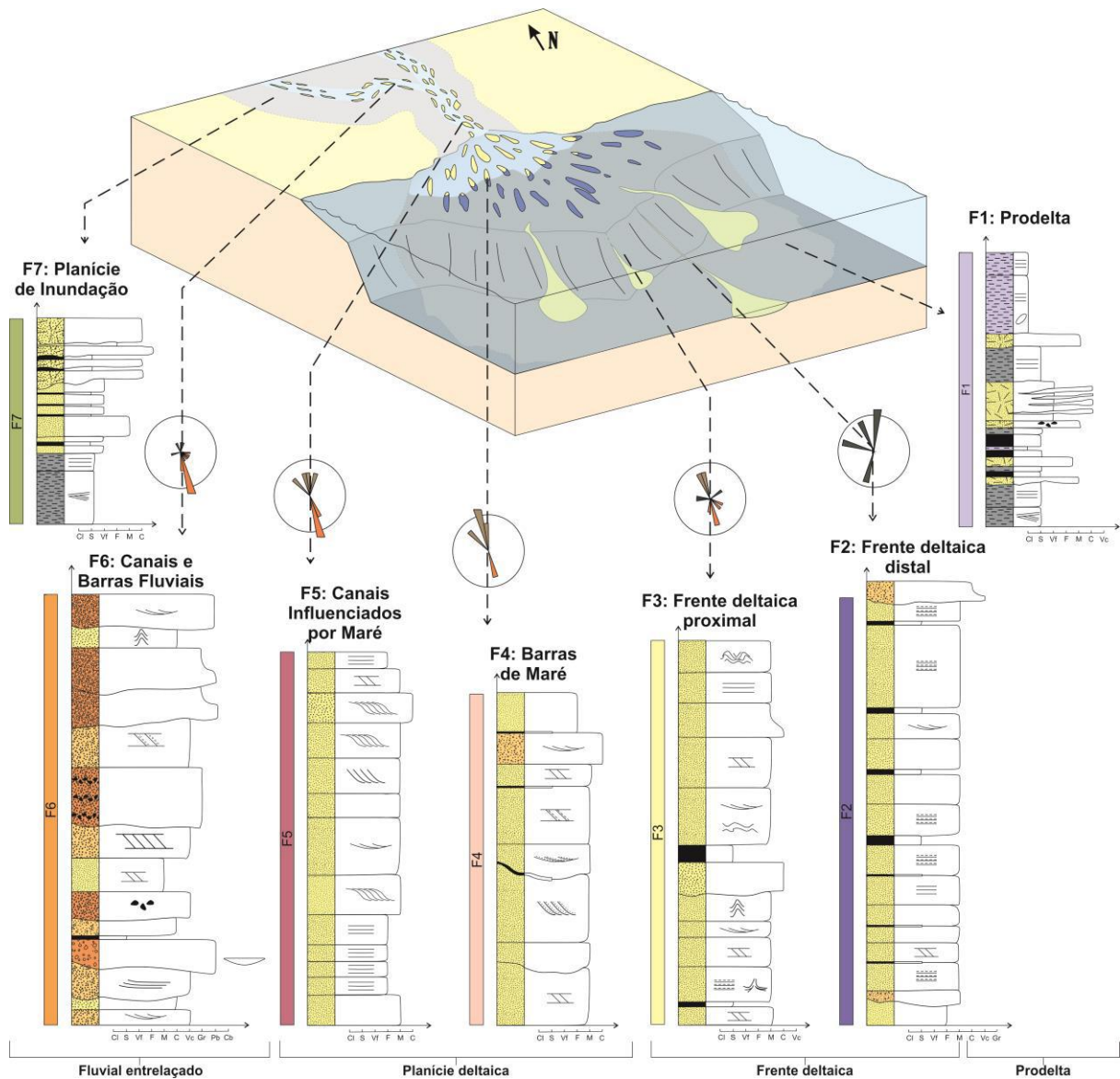


Figura 51 – Modelo paleodeposicional da Sequência Lenheiro, com perfis esquemáticos de cada ambiente e paleocorrentes medidas em campo.

A análise dos diagramas de roseta possibilitou a interpretação das paleocorrentes medidas ao longo dos perfis, levando em conta as interpretações de cada associação de fácies e seu empilhamento vertical. O vetor NNW bem marcado nas paleocorrentes de frente deltaica proximal (associação F3) e de barras de maré (F4) indica forte influência de maré de enchente e retrabalhamento marinho. Há também contribuições da descarga fluvial, em F3 mais fraca e em F4 bem marcada, ambas para SSE. Em direção às porções mais rasas do sistema, observa-se o domínio de paleocorrentes para SSE, representando o progressivo aumento da ação fluvial na formação de estruturas sedimentares – até a associação F6, em que há um padrão predominantemente unidirecional para SSE, sendo esse o sentido do rio.

Portanto, o conjunto de dados de paleocorrentes sugere que o delta progradiu para sudeste, em contraste com a bibliografia clássica da área, que considera a progradação para noroeste.

O padrão bem marcado de depósitos finos no prodelta, pelitos e arenosos finos na frente deltaica, arenitos grossos na planície deltaica e arenitos seixosos e conglomerados na porção fluvial caracteriza a progradação do delta. O predomínio de estruturas de maré na planície deltaica sugere um delta com influência de marés.

Portanto, para uma classificação mais formal do Delta do Lenheiro, utilizou-se o diagrama triangular de Galloway (Figura 52), em que o sistema em questão se encaixaria em um ponto intermediário entre os extremos de domínios fluvial e de maré, sendo, portanto, classificado como um delta de rio entrelaçado com influência de maré.

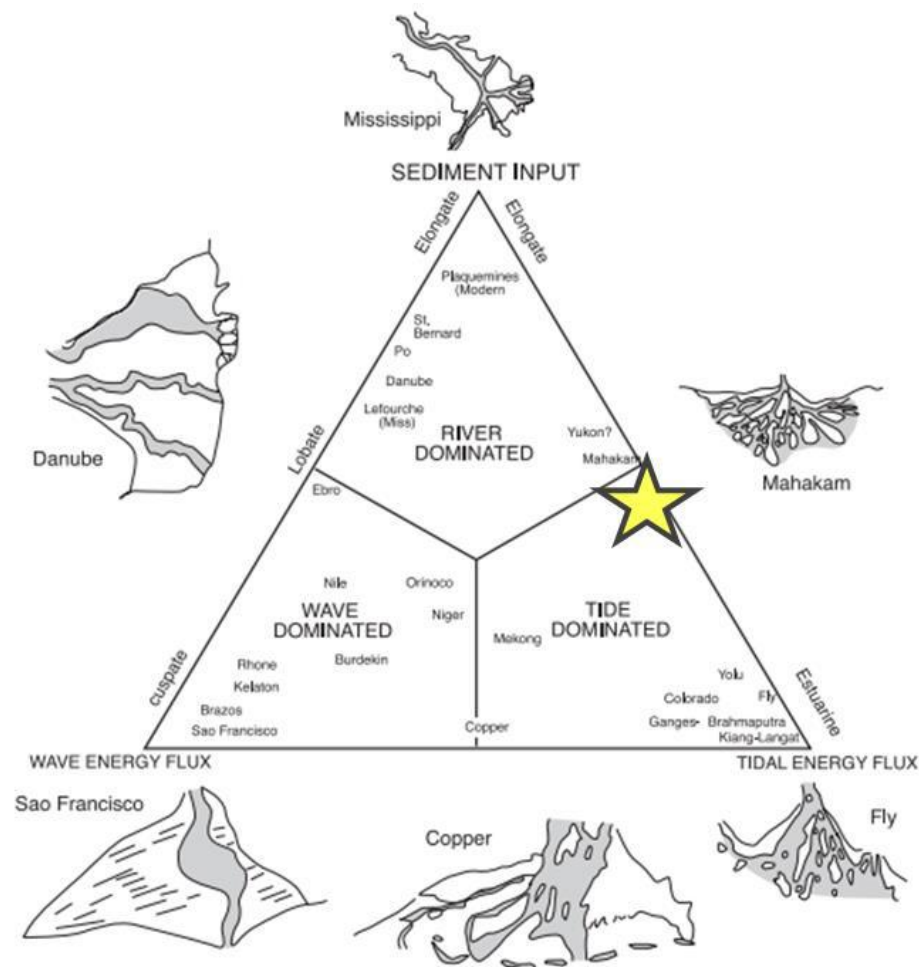


Figura 52 – A Sequência Lenheiro interpretada como um delta de rio entrelaçado com influência de maré (estrela). Diagrama triangular de classificação de deltas, segundo Galloway (1965), modificado por Posamentier & Walker (2006).

Ainda segundo o diagrama triangular de classificação utilizado, um análogo atual ao delta da Sequência Lenheiro seria o Delta do Mahakam (Figura 53), na Ilha de Bornéu, Indonésia, em que o Rio Mahakam desemboca no Estreito de Makassar, localizado entre os oceanos Pacífico e Índico. Também consiste em um delta com influência tanto fluvial quanto de maré, gerando uma construção progradante para o mar, mas com porções sendo constantemente alagadas.



Figura 53 – O Delta do Mahakam, na Indonésia; imagem Landsat / Copernicus de 13 de dezembro de 2015. Fonte: *Google Earth*.

No entanto, no delta do Mahakam (Figura 53) há vegetação, que é um problema para comparar um possível análogo atual com o Delta do Lenheiro. Não se sabe até que ponto áreas vegetadas interferem na migração de barras – o que certamente não ocorria no Mesoproterozoico quando foram depositados os sedimentos da Sequência Lenheiro. Além disso, há cerca de 1,5 Ga a Lua encontrava-se mais próxima da Terra, exercendo uma influência maior nas variações de maré, o que deve ter resultado em uma dinâmica e morfologia diferentes dos possíveis análogos atuais. Portanto, chega-se à conclusão de que a comparação com um análogo atual é problemática, ressaltando que a famosa frase do ilustre James Hutton é aplicável sempre que processos atuais ocorrem de forma semelhante ao passado, e deve se levar em conta a variação de magnitude e frequência destes:

*“O presente é a chave para o passado”.*

- James Hutton (1726-1797)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALKMIM, F.F., 2004. O que faz de um cráton um cráton? O cráton do São Francisco e as revelações Almeidianas ao delimitá-lo. In: MANTESSO-NETO, V., BARTORELLI, A., DAL RÉ CARNEIRO, C. (Eds.), *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Editora Beca, São Paulo, p. 17–34.

ANDREIS, R.R.; RIBEIRO, A. & PACIULLO, F.V.P., 1989. Ciclos deposicionais no Proterozóico das Folhas Barbacena e Divinópolis (setor sul), 1:250.000. *Simpósio de Geologia do Sudeste I*, Boletim de Resumos: 97-98, Rio de Janeiro, RJ.

ÁVILA, C.A., TEIXEIRA, W., CORDANI, U.G., MOURA, C.A.V., PEREIRA, R.M., 2010. Rhyacian (2.23–2.20 Ga) juvenile accretion in the southern São Francisco Craton, Brazil: geochemical and isotopic evidence from the Serrinha magmatic suite, Mineiro belt. *Journal of South American Earth Sciences* 29, p. 464–482.

ÁVILA, C.A., TEIXEIRA, W., DUSSIN, I.A., BONGIOLO, E.M., VIEIRA, T.A.T., GUERRERO, J.C., 2011. Arco magmático intra-oceânico ryaciano associado ao cinturão Mineiro: exemplo da suíte félsica Tiradentes. *Simpósio de Geologia do Sudeste*. CD-ROM, Nova Friburgo, RJ.

BERRA, F. & FELLETTI, F., 2011. Syndepositional tectonics recorded by soft-sediment deformation and liquefaction structures (continental Lower Permian sediments, Southern Alps, Northern Italy): stratigraphic significance. *Sedimentary Geology* 235, p. 249–263.

BEST, J., BRIDGE, J., 1992. The morphology and dynamics of low amplitude bedwaves upon upper stage plane beds and preservation of planar laminae. *Sedimentology* 39, p. 737–752.

BHATTACHARYA, J.P., 1991. Regional to subregional facies architecture of river-dominated deltas in the Alberta subsurface, Upper Cretaceous Dunvegan Formation. In: MIALL, A.D., TYLER, N. (Eds.), *The Three-Dimensional Facies Architecture of Terrigenous Clastic Sediments, and Its Implications for Hydrocarbon Discovery and Recovery, Concepts and Models in Sedimentology and Paleontology*. *SEPM (Society for Sedimentary Geology)*, p. 206–289, Special Publication 3.

BHATTACHARYA, J.P., 2006. Deltas. In: POSAMENTIER, H.W., WALKER, R.G. (Eds.), *Facies Models Revisited*. *SEPM (Society for Sedimentary Geology)*, pp. 237–292, Special Publication 84.

\_\_\_\_\_, 2010. Deltas. In: JAMES, N.P., DALRYMPLE, R.W. (Eds.), *Facies Models 4*. *Geological Association of Canada IV*, Series Geotext 6, p. 233–264.

BOGGS, Sam, Jr, 2012. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*, 5th edition. Prentice Hall.

BOUMA, A.H. 1962. *Sedimentology of some Flysch deposits*. A graphic approach to facies interpretation. Amsterdam. Elsevier, 168p.



- BRIDGE, J.S., 2006. Fluvial facies models: recent developments. In: POSAMENTIER, H., WALKER, R.G. (Eds.), *Facies Models Revisited. SEPM (Society for Sedimentary Geology) Special Publication 84*, p. 85–170.
- CANT, D.J. & WALKER, R.G., 1978. Fluvial processes and facies sequences in the sandy braided South Saskatchewan River, Canada. *Sedimentology*, 25, p. 625–648.
- COLLINSON, J., MOUNTNEY, N. & THOMPSON, D., 2006. *Sedimentary Structures*. Springer. 3<sup>rd</sup> ed.
- COLLINSON, J.D., 1986. Alluvial sediments. In: *Sedimentary Environments and Facies* (Ed. H.G. Reading), 2<sup>nd</sup> ed, p. 20–54. Blackwell Science Ltd, Oxford.
- DALRYMPLE, R.W., KNIGHT, R.J., ZAITLIN, B.A. & MIDDLETON, G.V., 1990. Dynamics and facies model of a macrotidal sand-bar complex, Cobequid Bay-Salmon River Estuary (Bay of Fundy). *Sedimentology*, 37, p. 577–612.
- DALRYMPLE, R.W., ZAITLIN, B.A. & BOYD, R., 1992. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *J. Sed. Petrol.*, 62, p. 1130–1146.
- DAVIS, R.J.A. & DALRYMPLE, R.W., 2012. *Principles of Tidal Sedimentology*. Springer.
- DE BOER, P.L., OOST, A.P. & VISSER, M.J., 1989. The diurnal inequality of the tide as a parameter for recognizing tidal influences. *J. Sed. Petrol.* 59, p. 912–921.
- EBERT, H., 1957. Aspectos principais da geologia de São João del Rei, Estado de Minas Gerais. *Relatório inédito da PROSPEC*, 120p. Publicado "in memoriam" pela SBG, Núcleo São Paulo. Publicação 12/1984: 1-71.
- \_\_\_\_\_, 1958. Discordâncias pré-cambrianas em Carandaí, Minas Gerais. *Boletim do DGM / DNPM*, 183, 48p. Rio de Janeiro, DF.
- \_\_\_\_\_, 1962. Raustil und Regionalmetamorphose in prakam-brischem Grundgebirge brasiliens; Tschermake Min. *Petr. Mitt. III*. Folge, 8: 49-81.
- \_\_\_\_\_, 1967. A estrutura pré-cambriana do Sudoeste de Minas Gerais e áreas adjacentes. *Boletim Paranaense de Geociências* 26: 42-45. Curitiba, PR.
- \_\_\_\_\_, 1971. Os Paraíbaes entre São João del Rei, MG e Itapira, SP, e a bifurcação entre Paraíbaes e Araxaíades. *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro*, SP. (Boletim Especial 1). Publicado "in memoriam" pela SBG, Núcleo São Paulo. Publicação 12/1984: 72-103.
- FENIES, H., De RESSEGUIER, A. & TASTET, J.P., 1999. Intertidal clay-drape couplets (Gironde estuary, France). *Sedimentology*, 46, p. 1–15.
- FIELDING, C.R., 1984. Upper delta plain lacustrine and fluvio-lacustrine facies from the Westphalian of the Durham Coalfield, NE England. *Sedimentology*, 31, p. 547–567.
- KREISA, R.D. & MOIOLA, R.J., 1986. Sigmoidal tidal bundles and other tide-generated sedimentary structures of the Curtis Formation, Utah. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 97, p. 381–387.

LEONARDOS, O.H., 1940. Tilito Metamórfico de Carandaí, Minas Gerais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.12 (4): 243-259. Rio de Janeiro, DF.

LOWE, D.R. 1982. Sediment gravity flows: II. depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52: p. 279-297.

\_\_\_\_\_, 1988. Suspended-load fallout rate as an independent variable in the analysis of current structures. *Sedimentology* 35, p. 765–776.

MAGALHÃES, A.J.C. *et al.*, 2015. Mesoproterozoic delta systems of the Araçuaí Formation, Chapada Diamantina, Brazil. *Precambrian Research* 257, p.1-21.

MELLERE, D. & STEEL, R.J., 1996. Tidal Sedimentation in Inner Hebrides Half Grabens, Scotland: The Mid-Jurassic Berreraig Sandstone Formation. In: *Geology of Siliciclastic Shelf Seas* (Eds. M. De Batist and P. Jacobs), Spec. Publ., 117, 49–79. *Geological Society*, London.

MIALL A.D., 1978. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In: MIAL A.D. (Ed.) *Fluvial sedimentology*. *Can Soc Petrol Geol Mem* 5: 597-604.

\_\_\_\_\_, 1996. *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. Springer-Verlag, Berlin.

MUTTI, E. 1992. *Turbidite Sandstones*. Parma, Agip and Università di Parma. 275p.

NICHOLS, Gary. 2009. *Sedimentology and stratigraphy*. 2<sup>nd</sup> edition. John Wiley & Sons. West Sussex, UK.

NIO, S.D. & YANG, C.S., 1991. Diagnostic attributes of clastic tidal deposits: a review. In: *Clastic Tidal Sedimentology* (Eds. D.G. Smith, B. Zaitlin, and R. Rahmani), *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.*, 16, p. 3–28.

ORTON, G.J., READING, H.G., 1993. Variability of deltaic processes in terms of sediment supply, with particular emphasis on grain size. *Sedimentology* 40, p. 475–512.

PEDREIRA DA SILVA, A.J.C.L., DE ARAGÃO, M.A.N.F. & MAGALHÃES, A.J.C., 2008. *Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil*. Editora Beca.

PICKERING, K.T.; HISCOTT, R.N.; HEIN, F.J. 1986. *Deep Marine Environments: Clastic Sedimentation and Tectonics*. London, Unwin Hyman, 416p.

PLINK-BJÖRKLUND, P., 2005. *Sediment Dynamics And Depositional Systems Of The Mahakam Delta, Indonesia: Ongoing Delta Abandonment On A Tide-dominated Coast*. *Sedimentology*, 52, p. 391–428.

PONTÉN, A., & PLINK-BJÖRKLUND, P., 2007, *Depositional environments in an extensive tide-influenced delta plain, Middle Devonian Gauja Formation, Devonian Baltic Basin*. *Sedimentology*, 54, p. 969–1006.

POSAMENTIER, H.W. & WALKER, R.G. (Eds.), 2006. Facies Models Revisited. *SEPM Special Publication*, 84.

REINECK, H.E. & SINGH, I.B., 1973. *Depositional Sedimentary Environment with reference to Terrigenous Clastics*. Springer-Verlag, p. 439.

RIBEIRO, A., 1997. *Estratigrafia e paleoambiente nas sucessões metassedimentares proterozóicas das serras do Lenheiro e São José, São João Del Rei, Minas Gerais*. Tese de Doutorado, IGEO-UFRJ, Rio de Janeiro. 260p.

RIBEIRO, A., TEXEIRA, W., DUSSIN, I.A., ÁVILA, C.A., NASCIMENTO. 2013. D. U–Pb LA-ICP-MS detrital zircon ages of the São João del Rei and Carandaí basins: New evidence of intermittent Proterozoic rifting in the São Francisco paleocontinent. *Gondwana Research*, 24, p. 713-726.

RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P., NOCE, C.M., VALERIANO, C.M.V., VALENÇA, J.G., ÁVILA, C.A., TROUW, R.A.J. & SILVA, M.A., 2003. Folha São João Del Rei. Geologia e recursos minerais do sudeste mineiro. *Projeto Sul de Minas-Etapa I* (COMIG-UFMG-UFRJ-UERJ), Companhia Mineradora de Minas Gerais, Vol. III: 521-622.

RIBEIRO, A.; TROUW, R.A.J.; ANDREIS, R. R; PACIULLO, F.V.P. & VALENÇA, J.G., 1995. Evolução das bacias Proterozóicas e o Termo-tectonismo Brasileiro na margem sul do Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*.

SCHERER, C.M.S., GOLDBERG, K. & BARDOLA, T. 2015. Facies architecture and sequence stratigraphy of an early post-rift fluvial succession, Aptian Barbalha Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil. *Sedimentary Geology*, 322, p. 43-62.

SHANLEY, K.W., MCCABE, P.J. & HETTINGER, R.D., 1992. Tidal influence in Cretaceous fluvial strata from Utah, USA: a key to sequence stratigraphic interpretation. *Sedimentology*, 39, p. 905–930.

SIMONS, D.B., RICHARDSON, E.V., NORDIN Jr., C.F., 1965. Sedimentary structures generated by flow in alluvial channels. In: MIDDLETON, G.V. (Ed.), *Primary Sedimentary Structures and Their Hydrodynamic Interpretation*, 12. *SEPM (Society for Sedimentary Geology) Special Publication*, p. 34–52.

SMITH, G.A., 1986. Coarse-grained non-marine volcanoclastic sediment: Terminology and depositional process. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 97, p. 1–10.

TEIXEIRA, W., SABATÉ, P., BARBOSA, J., NOCE, C.M., CARNEIRO, M.A., 2000. Archean and Paleoproterozoic evolution of the São Francisco Craton, Brazil. In: CORDANI, U.G., MILANI, E.J., THOMAZ FILHO, A., CAMPOS, D.A. (Eds.), *Tectonic Evolution of South America: International Geological Congress*, 31, p. 101–137.

TODD, S.P., 1996. Process deduction from fluvial sedimentary structures. In: CARLING, P.A., DAWSON, M.R. (Eds.), *Advances in Fluvial Dynamics and Stratigraphy*. John Wiley & Sons, p. 299–350.

TROUW, R.A.J., PANKHURST, R.J., 1993. Idades radiométricas ao sul do Cráton do São Francisco. Região da Folha Barbacena, Minas Gerais. *II Simpósio do Cráton do São Francisco*, p. 260–261.

TROUW, R.A.J., RIBEIRO, A., PACIULLO, F.V.P., ANDREIS, R.R., 1995. A passagem do Mesoproterozoico para o Neoproterozoico na região sul de Minas Gerais. *VIII Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, p. 10–11.

TURNER, B.R., 1981. Possible origin of low angle cross-strata and horizontal lamination in Beaufort Group sandstones of the southern Karoo Basin. *Trans. Geol. Soc. South Africa*, 84, p. 193–197.

VISSER, M.J., 1980. Neap-spring cycles reflected in Holocene subtidal large-scale bedforms deposits: a preliminary note. *Geology*, 8, p. 543-546.

WILLIS, B.J., 2005. Deposits of tide-influenced river deltas. In: *River Deltas – Concepts, Models and Examples* (Eds. L. Giosan and J.P. Bhattacharya), *SEPM Spec. Publ.*, 83, p. 87–129.



WIZEVICH, M.C., 1992. Sedimentology of Pennsylvanian quartzose sandstones of the Lee Formation, central Appalachian Basin: fluvial interpretation based on lateral profile analysis. *Sedimentary Geology*, 78, p. 1-47.

## **APÊNDICE 1 – LEGENDA DOS PERFIS**

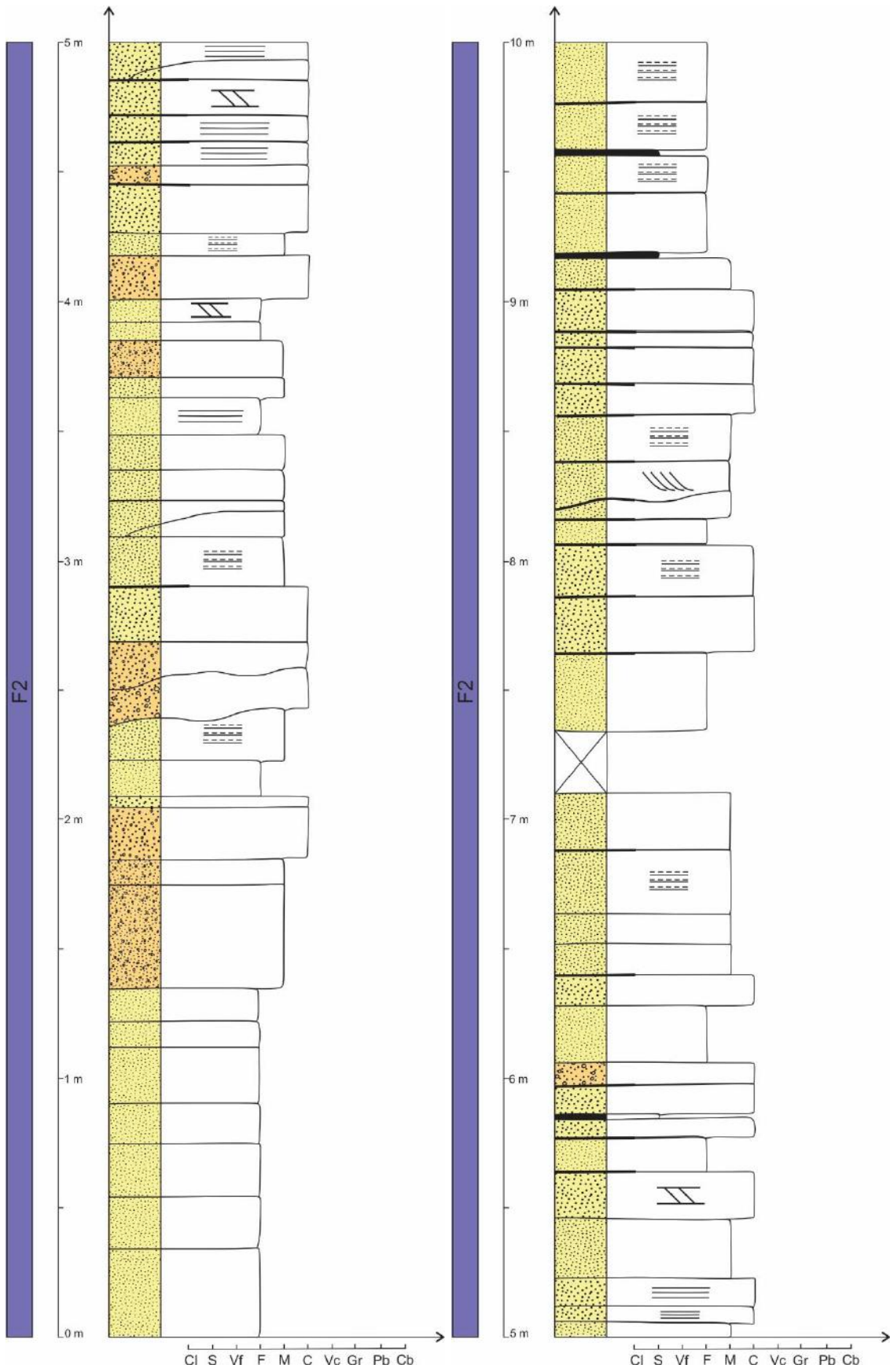
## Símbolos

	Corpo com geometria de canal
	Estratificação cruzada planar (Sp)
	Estratificação cruzada planar com recobrimento pelítico nos <i>foresets</i> (Stt)
	Estratificação cruzada planar com seixos nos <i>foresets</i> (Sp)
	Estratificação cruzada planar de grande porte (Sp)
	Estratificação cruzada acanalada (Gt, St)
	Estratificação cruzada acanalada com recobrimento pelítico nos <i>foresets</i> (Stt)
	Estratificação cruzada acanalada com seixos nos <i>foresets</i> (St)
	Estratificação cruzada tangencial (St)
	Estratificação cruzada sigmoidal (Ss)
	Estratificação cruzada de baixo ângulo (Sh)
	Estratificação cruzada de baixo ângulo (Sh)
	Estratificação plano-paralela (Sh)
	Laminação cruzada (Ft)
	Níveis micáceos
	Dobras convolutas (Sc)
	Laminação convoluta (Sc)
	Pilares (Sc)
	Pilares (Sc)
	Linsen
	Flaser
	Wavy
	Intraclastos pelíticos
	Gretas de ressecamento
	Manchas de redução
	Direção de paleocorrente

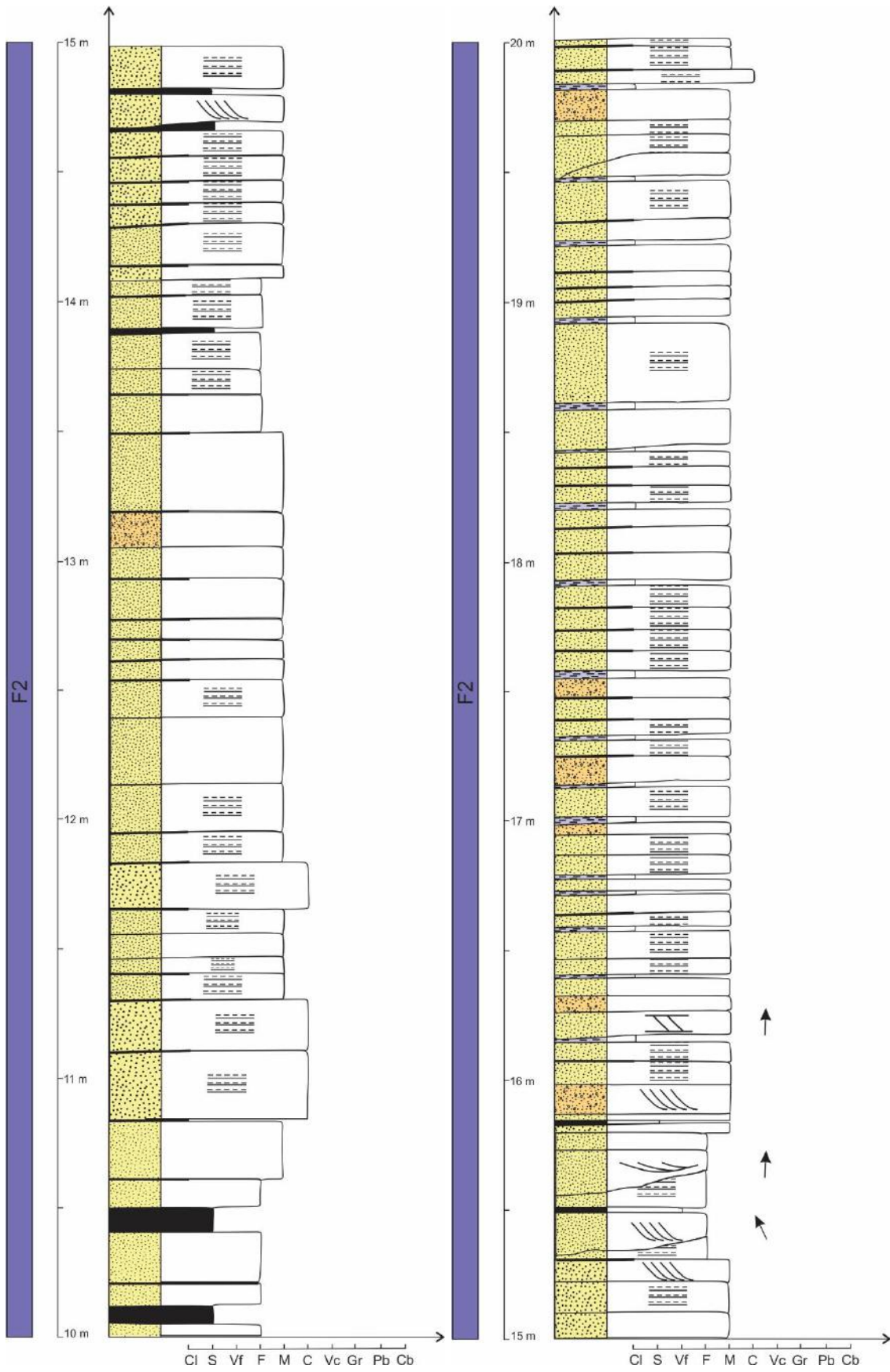
## Granulometria

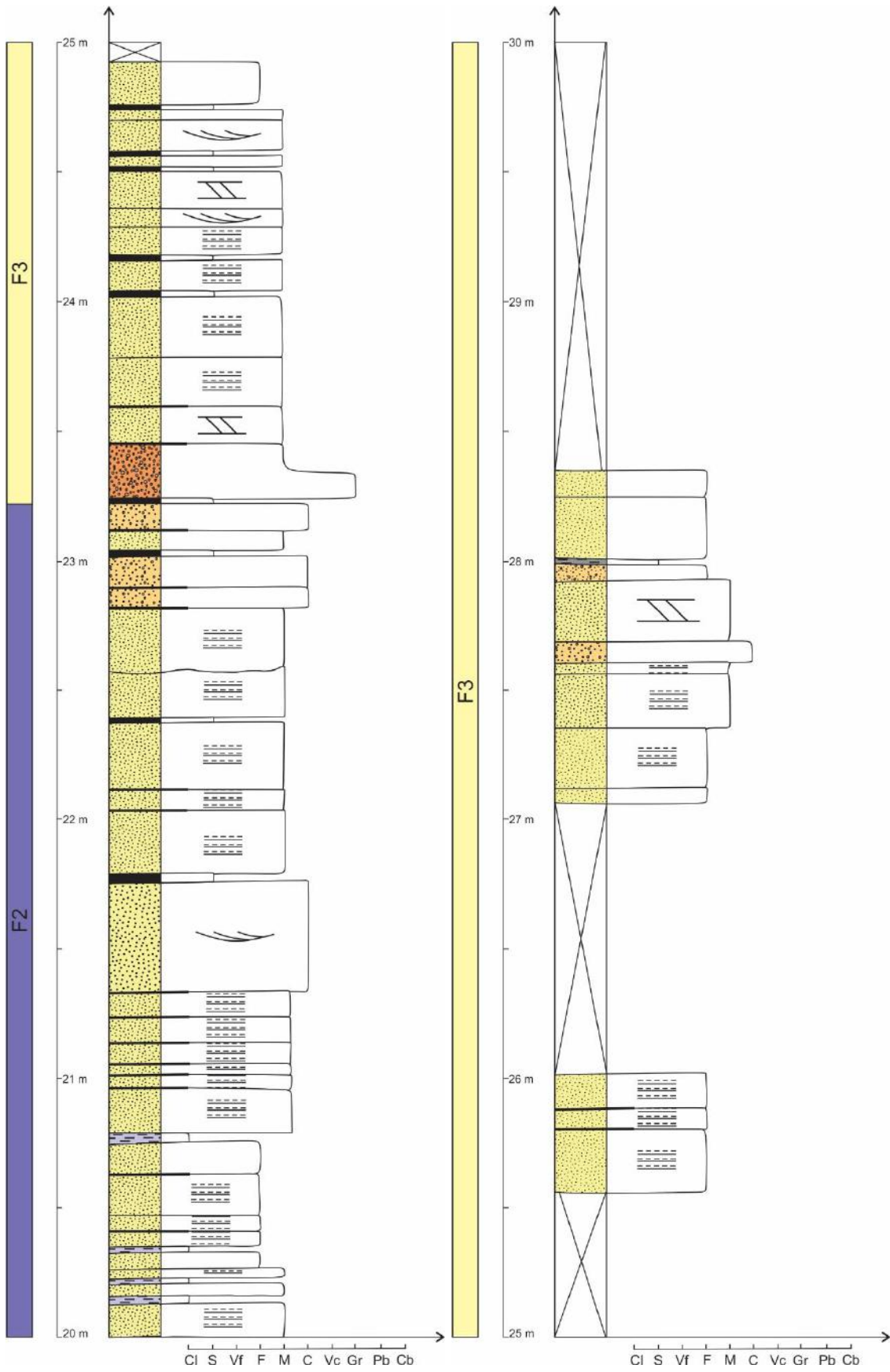
	Ortoconglomerado grosso (Gcm, Gt, Gg)
	Ortoconglomerado fino (Gcm, Gt, Gg)
	Paraconglomerado (Gmm)
	Arenito muito grosso seixoso (S...)
	Arenito muito grosso com grânulos (S...)
	Arenito muito grosso (S...)
	Arenito grosso (S...)
	Arenito médio (S...)
	Arenito fino (S...)
	Arenito muito fino (S...)
	Wacke fina (S...)
	Pelito (Fh, Fm)
	Siltito (Fh, Fm, Ft)
	Argilito (Fh, Fm)
	Recristalizado

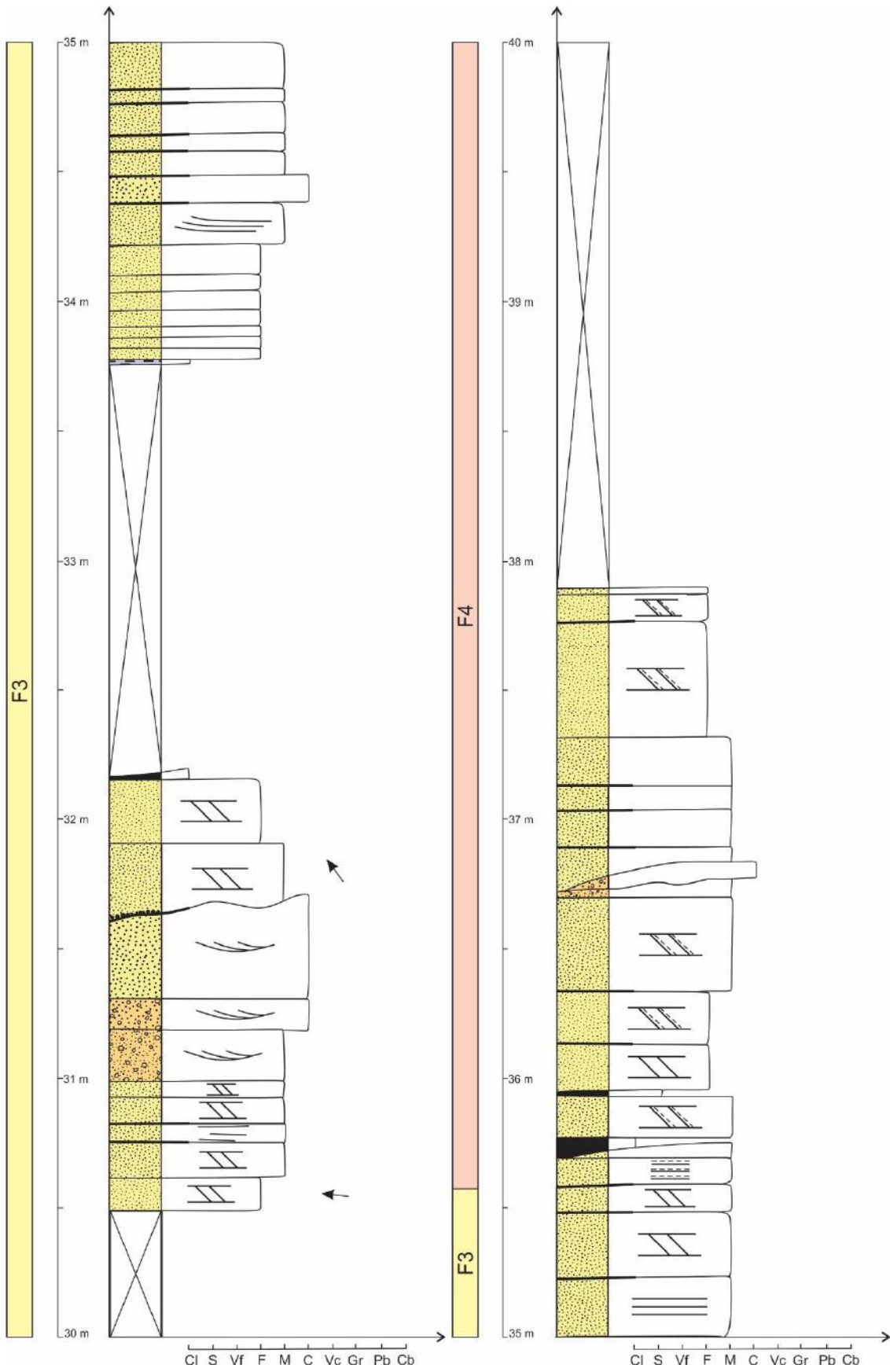
## APÉNDICE 2 – PERFIL LA

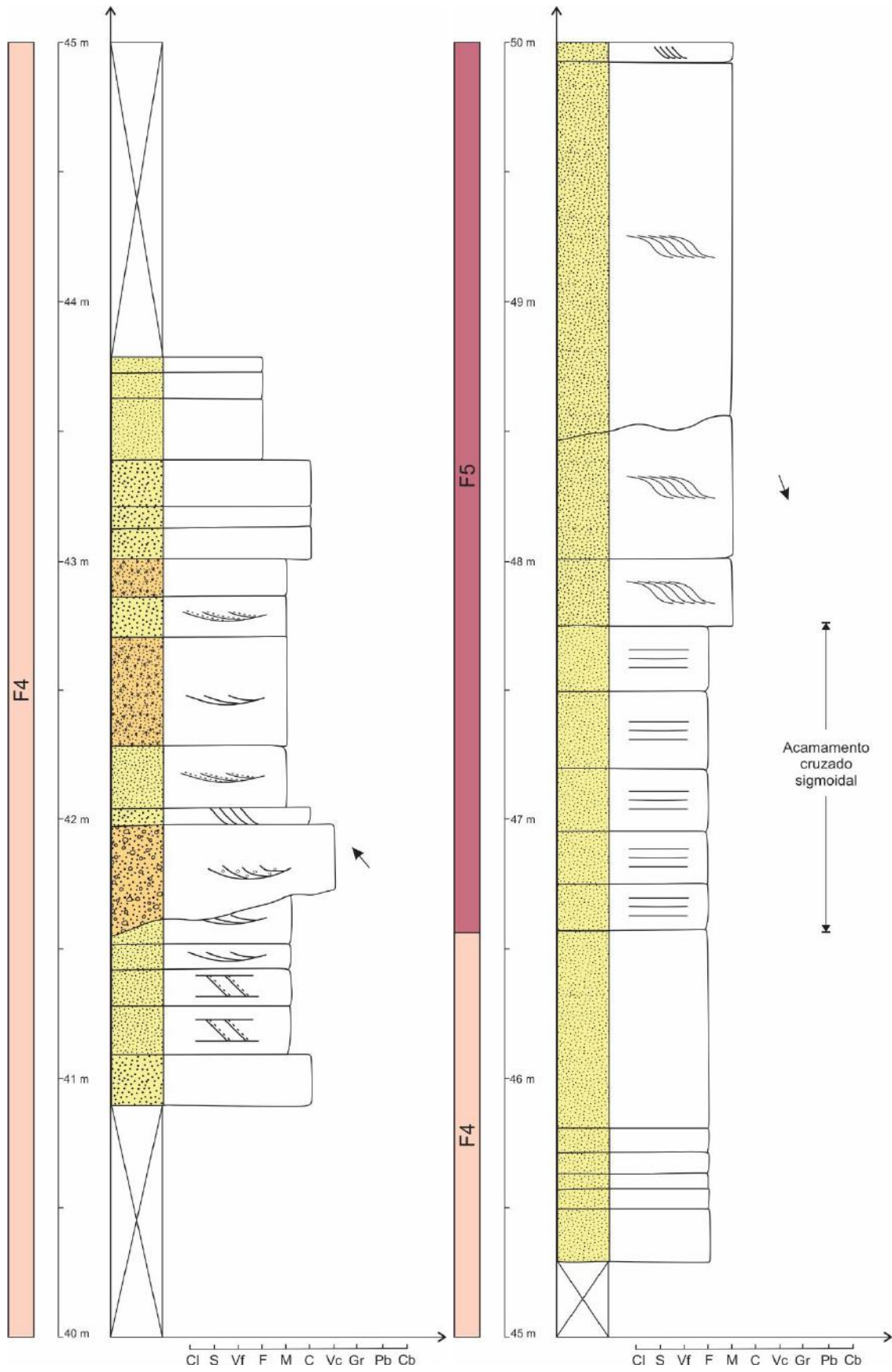


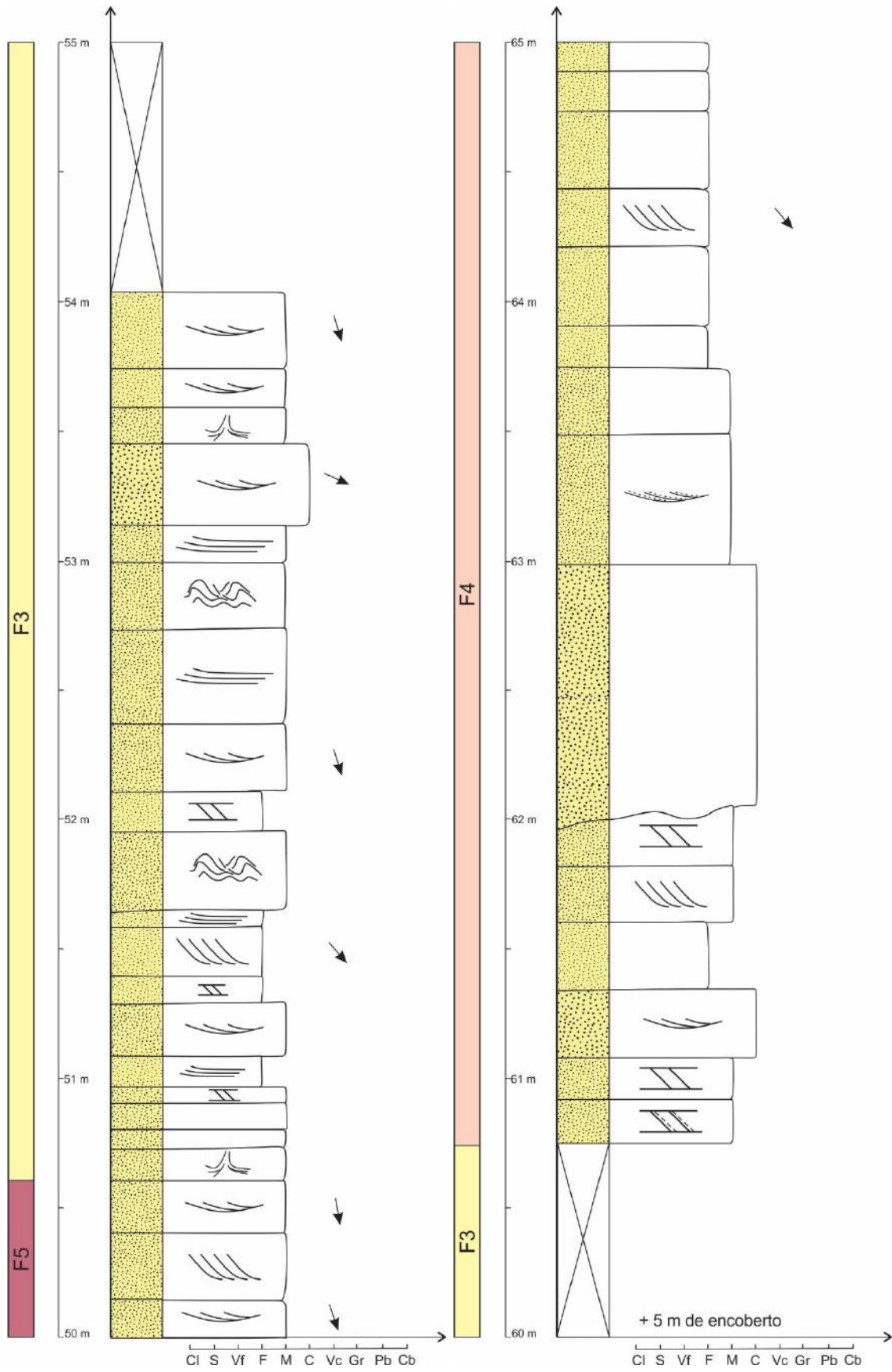


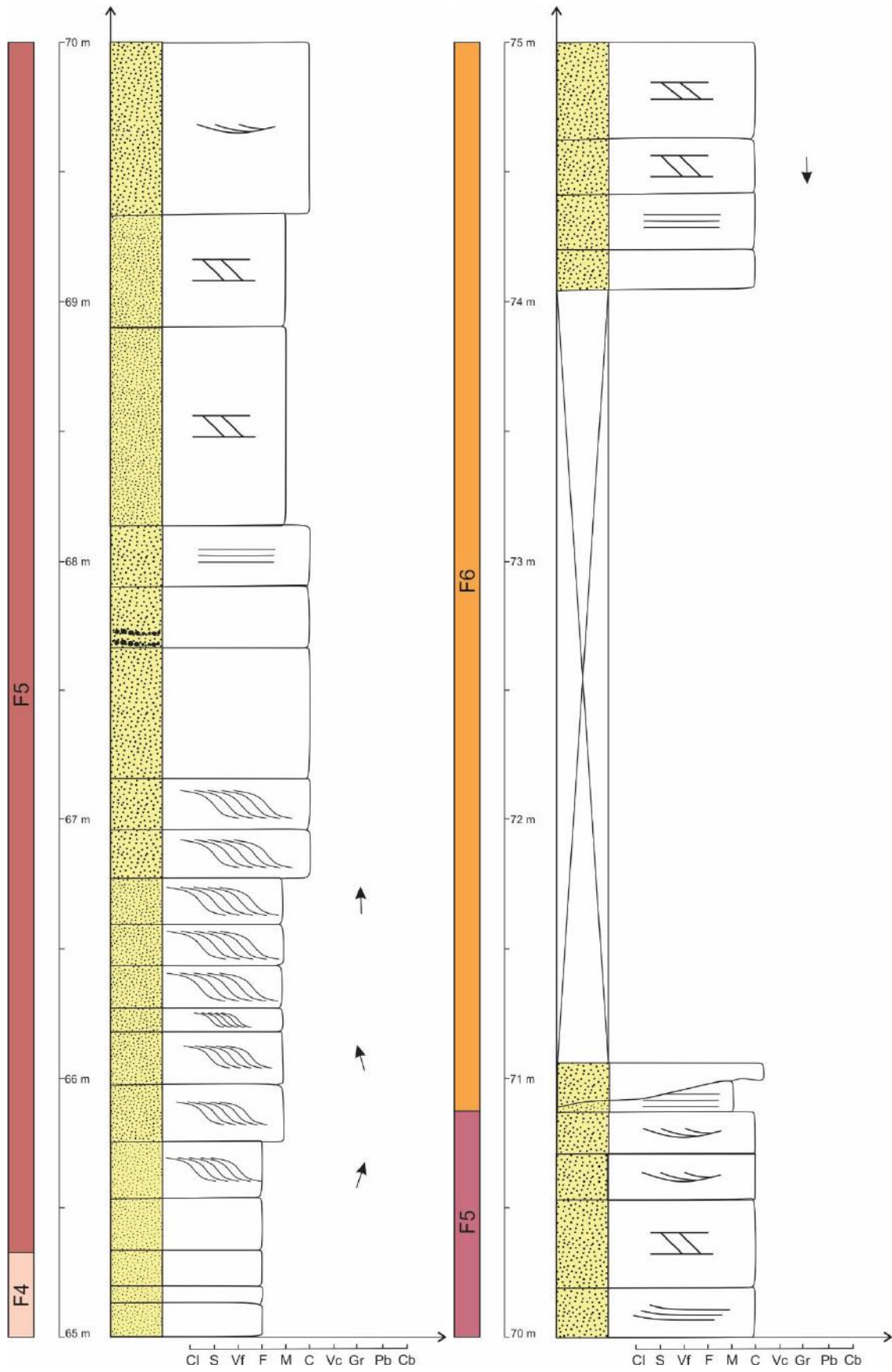


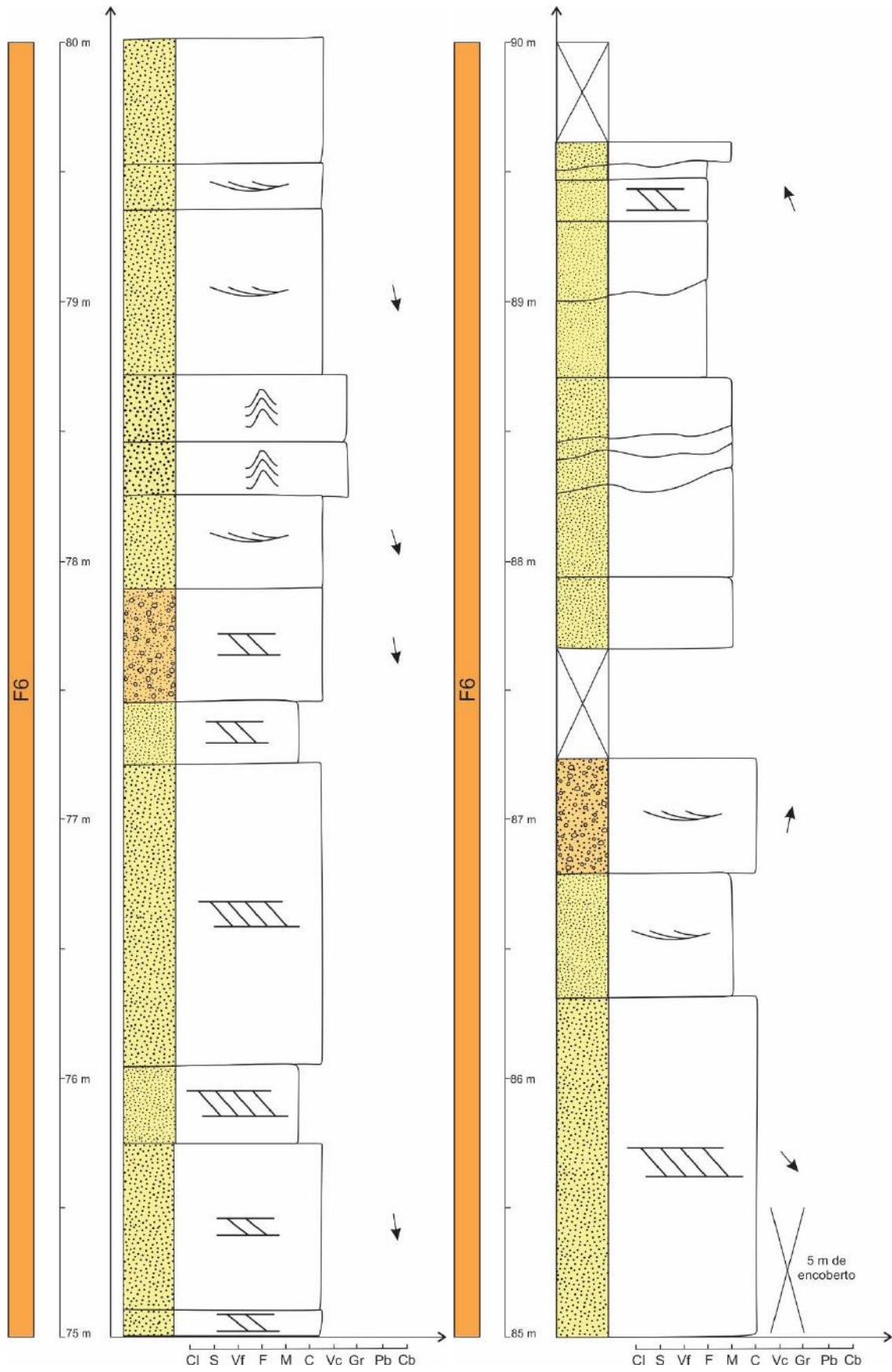


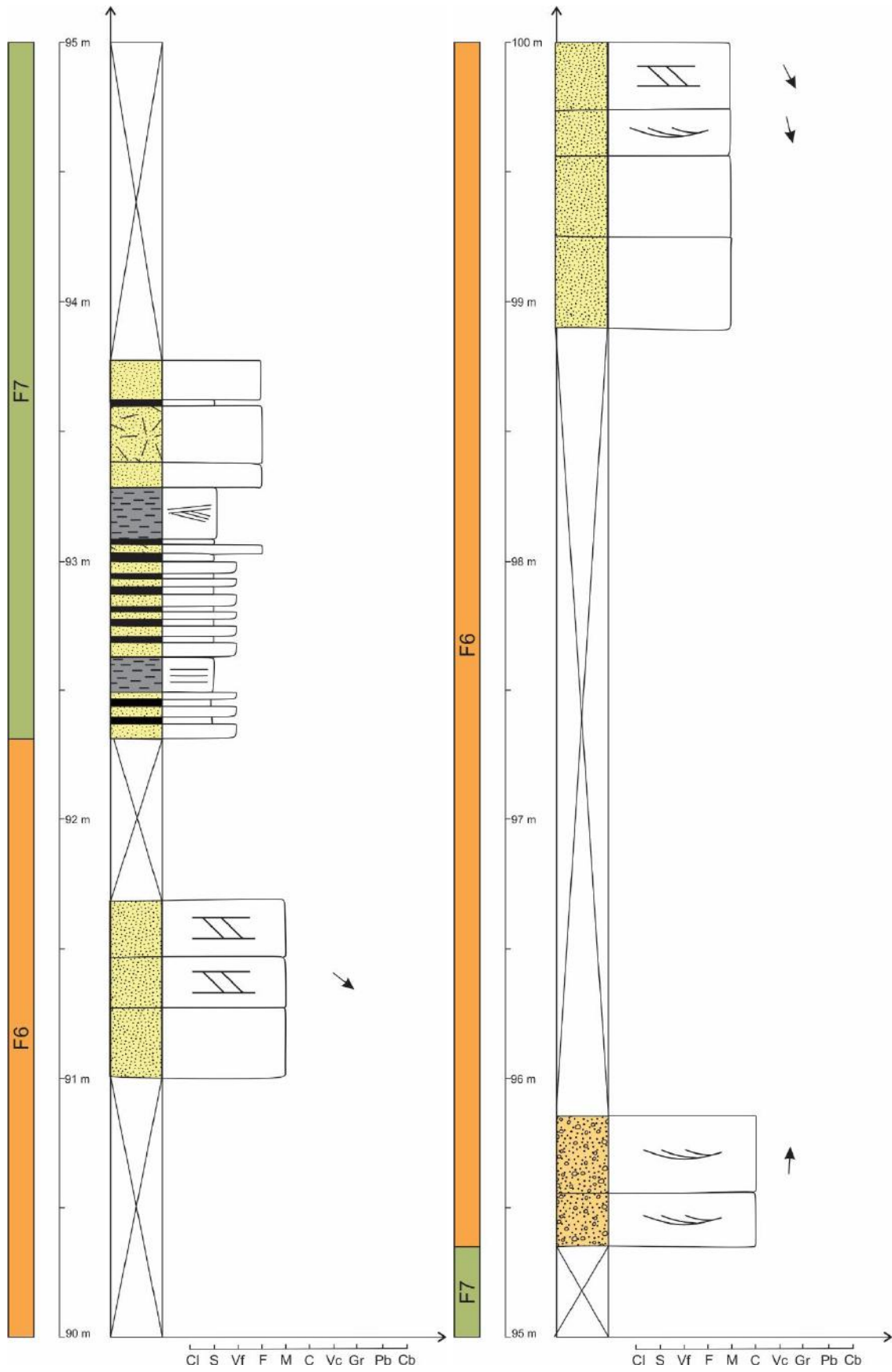




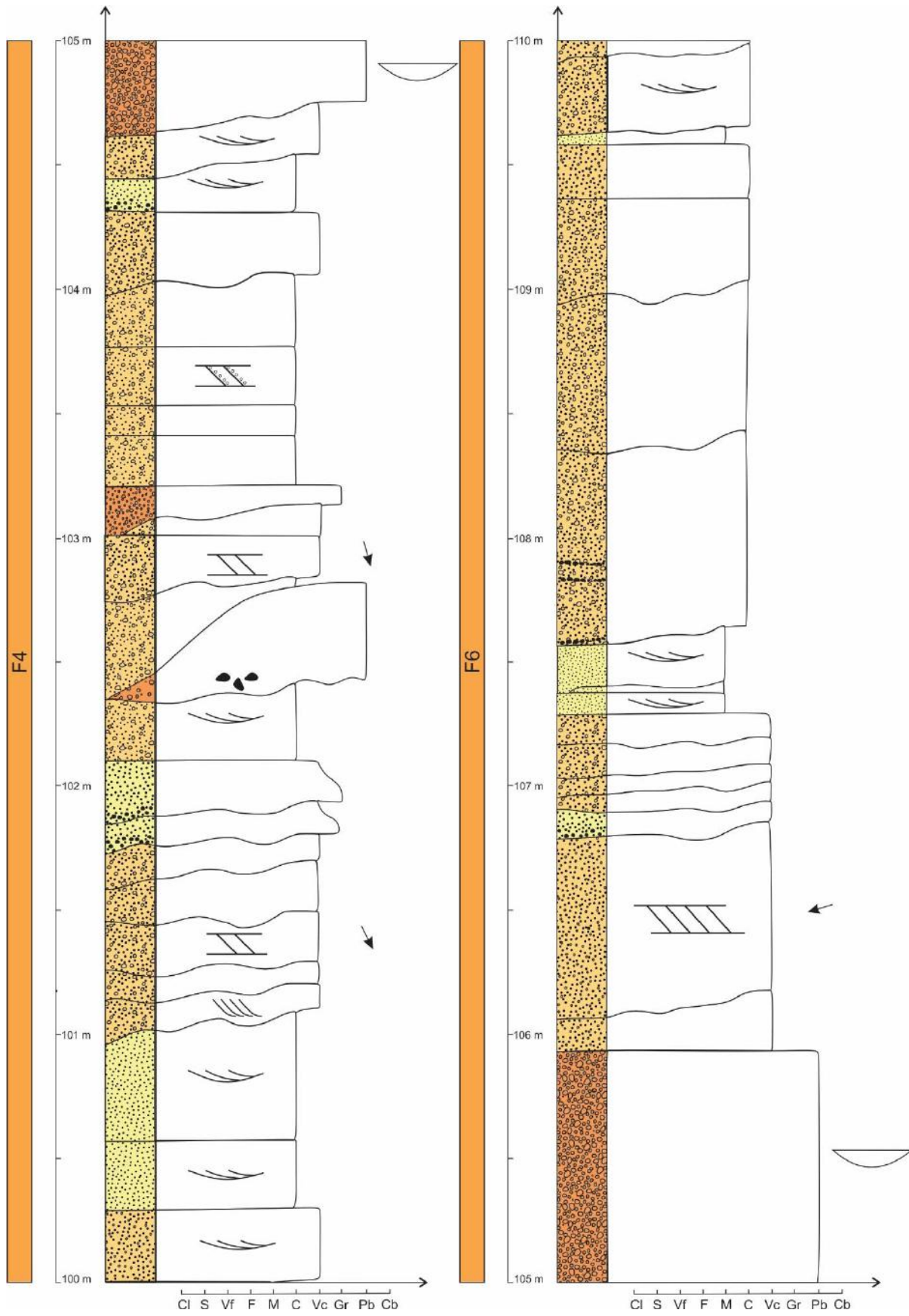


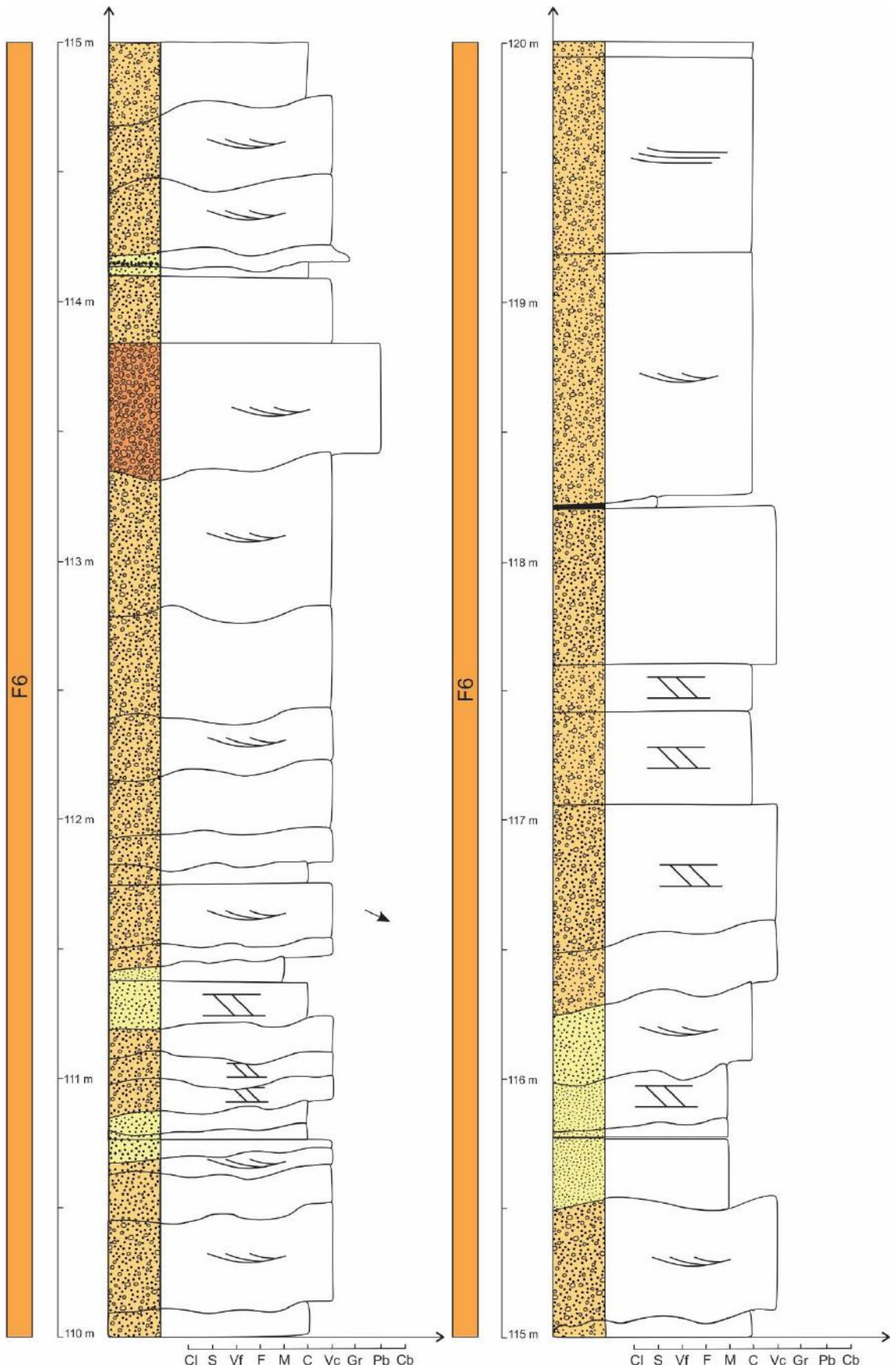


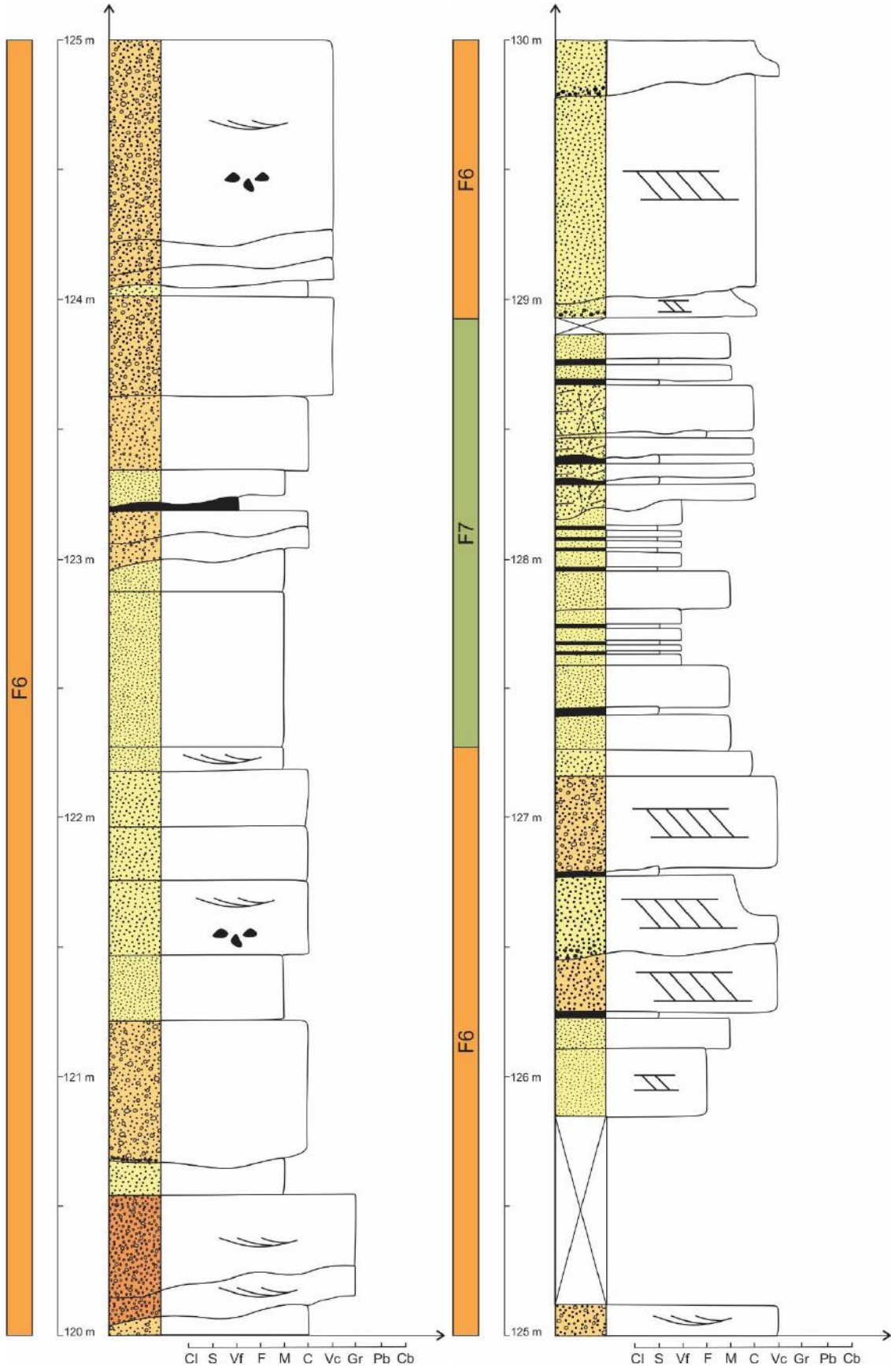


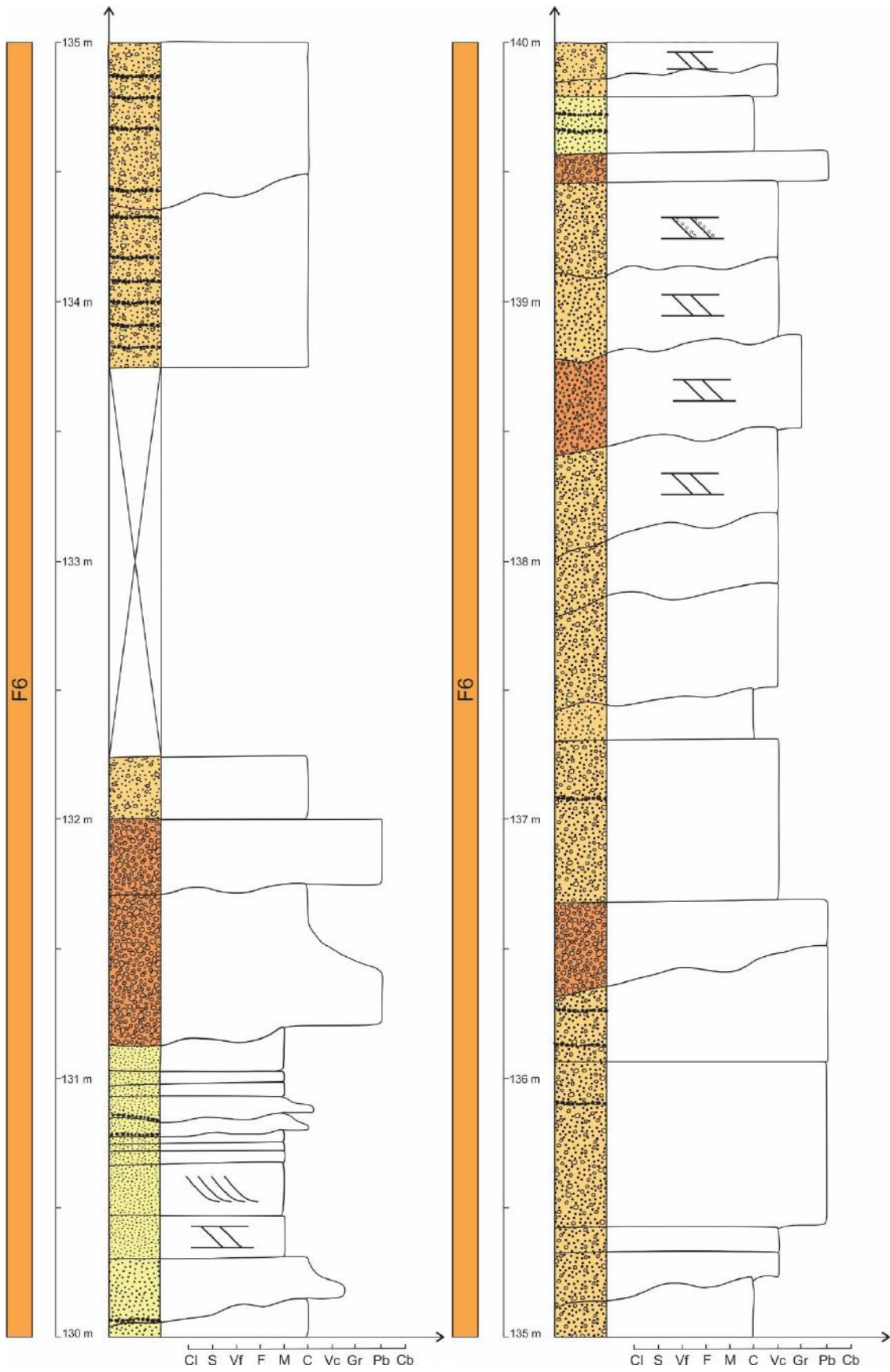


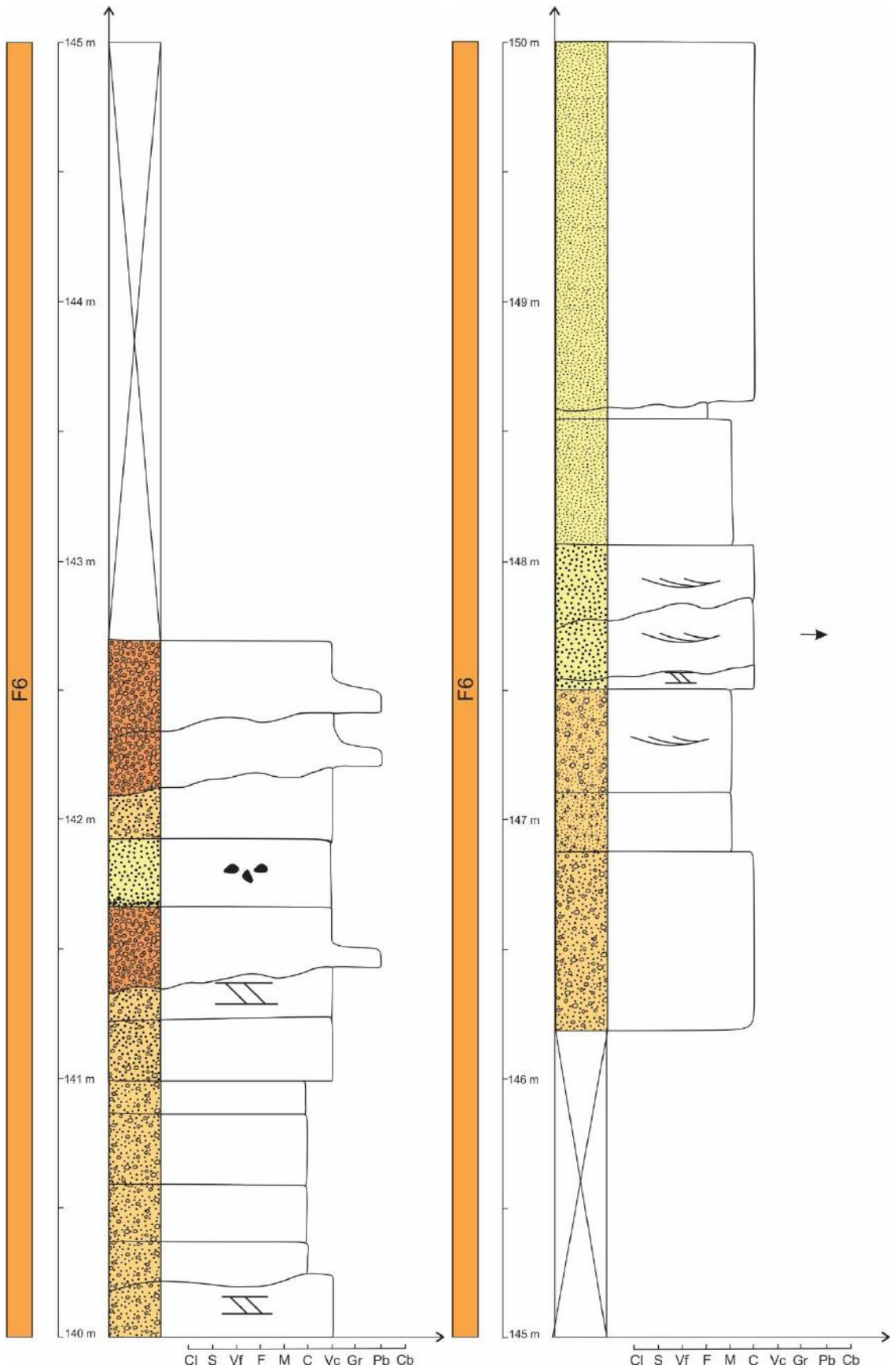


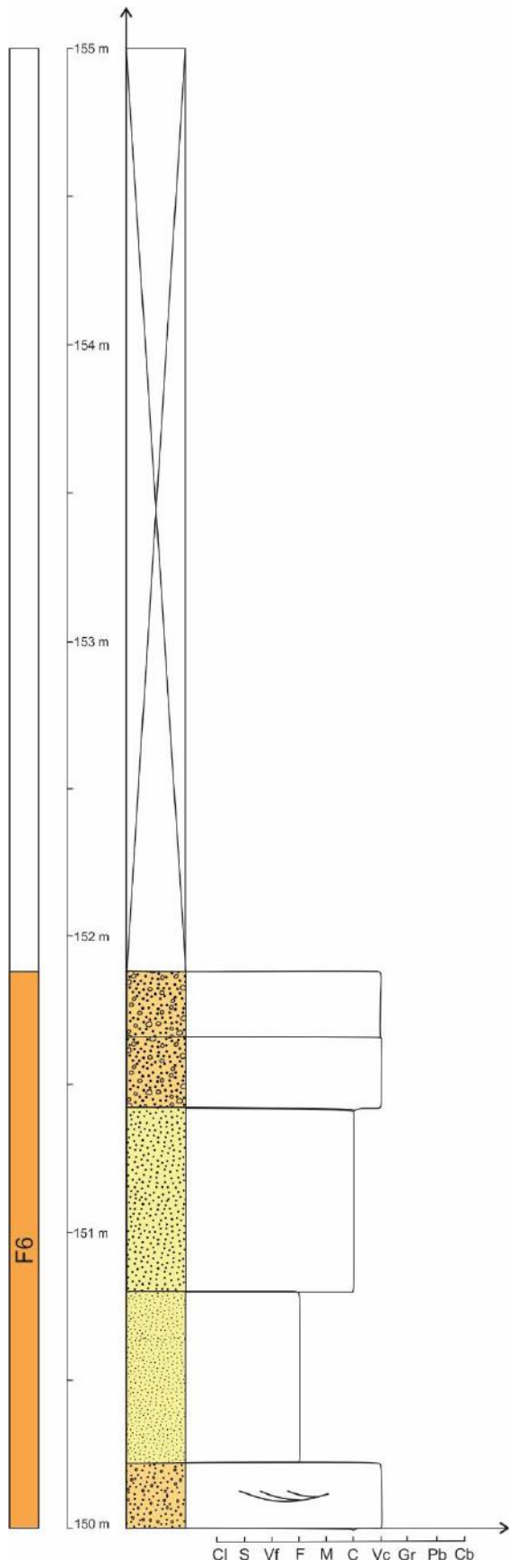












## **APÉNDICE 3 – PERFIL LB**

