



GUSTAVO KENJI LACERDA ORITA

**PROCESSOS E AMBIENTES SEDIMENTARES DO MEMBRO MUCURI  
(APTIANO), MARGEM DO PRÉ-SAL NA BACIA DO ESPÍRITO SANTO,  
INTERPRETADOS PELA TEXTURA, COMPOSIÇÃO PRIMÁRIA E FÁCIES  
DEPOSICIONAIS**

Porto Alegre

2019

GUSTAVO KENJI LACERDA ORITA

**PROCESSOS E AMBIENTES SEDIMENTARES DO MEMBRO MUCURI  
(APTIANO), MARGEM DO PRÉ-SAL NA BACIA DO ESPÍRITO SANTO,  
INTERPRETADOS PELA TEXTURA, COMPOSIÇÃO PRIMÁRIA E FÁCIES  
DEPOSICIONAIS**

Trabalho de conclusão de curso de Geologia da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
apresentado na forma de monografia como requisito  
para obtenção do título de bacharelado em Geologia.

**Orientador:** Dr. Luiz Fernando De Ros

**Co-orientador:** Dr. Georgios Pantopoulos

Porto Alegre

2019

#### CIP - Catalogação na Publicação

Orita, Gustavo Kenji Lacerda  
Processos e Ambientes Sedimentares do Membro Mucuri  
(Aptiano) Margem do Pré-sal na Bacia do Espírito  
Santo, Interpretados pela Textura, Composição  
Primárias e fácies Depositionais / Gustavo Kenji  
Lacerda Orita. -- 2019.  
104 f.  
Orientador: Luis Fernando De Ros.

Coorientador: Georgios Pantopoulos.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto  
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,  
BR-RS, 2019.

1. Petrologia Sedimentar. 2. Sedimentologia. 3.  
Geologia do Petróleo. 4. Bacia do Espírito Santo. I.  
De Ros, Luis Fernando, orient. II. Pantopoulos,  
Georgios, coorient. III. Título.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por todo o apoio e carinho durante a graduação e em todos os anos anteriores, pois sem o seu incentivo à educação eu provavelmente teria me tornado lateral direito do Manchester United ou campeão olímpico nos 100 m rasos. Ao meu irmão Pablo, por ter me inspirado e levado ao caminho da geologia. À minha Tia Mônica, por ter me hospedado em sua casa no primeiro mês de faculdade. À Natália por todo o amor.

A todos os professores do curso de Geologia da UFRGS, em especial ao meu orientador Dr. Luiz Fernando De Ros, pela paciência e por ter me inspirado e ensinado um pouco de Petrologia Sedimentar, Sedimentologia e sobre ciência ao longo desses anos. Ao Dr. George Pantopoulos, meu co-orientador, a quem sem a ajuda, dedicação e paciência este trabalho não teria sido possível. A todo o pessoal do laboratório de “Petro”: Garibaldi, Mari, Elias e todos os demais, seja pela convivência quase diária, seja pelas risadas mútuas. A Matheus Schirmbeck, pela parceria dinâmica durante esses anos de bolsa de IC. Também, à toda equipe envolvida no *Projeto Mucuri*, pelo excelente trabalho.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos mais queridos que acabei por conhecer na UFRGS, pois conhecer vocês foram, sem dúvida, o maior ganho desses anos de faculdade. Todos os momentos vividos, sejam eles os trabalhos de campo, congresso, ou qualquer outra desculpa esfarrapada para reunirmo-nos não poderiam ter sido mais especiais. Para “Os Miseráveis”, Ana e os guris.

*“If in doubt, Meriadoc, always follow your nose.”*

*Gandalf, The Lord of The Rings (J.R.R Tolkien)*

## RESUMO

Arenitos e conglomerados arenosos do Membro Mucuri da Formação Mariricu (Aptiano) constituem importantes reservatórios de hidrocarbonetos na porção terrestre da Bacia do Espírito Santo. Esses sedimentos clásticos foram depositados às margens de um extenso sistema lacustre, onde estavam sendo formados os depósitos carbonáticos correspondentes aos gigantescos reservatórios petrolíferos do Pré-Sal. O presente trabalho pretende mostrar a relação entre a textura deposicional e composição primária desses depósitos marginais e suas relações com as fácies e sistemas deposicionais interpretados com base na descrição sistemática de testemunhos de sondagem e na interpretação de perfis geofísicos de poços selecionados, executadas no âmbito de um extenso projeto integrado do Instituto de Geociências da UFRGS para a Shell. As informações texturais e composicionais foram obtidas através da análise petrográfica quantitativa sistemática, através da contagem de 300 pontos em cada lâmina delgada segundo transectas transversais à estrutura e fábrica das amostras. Uma análise textural avançada foi realizada, com medida do tamanho e forma dos grãos, utilizando a técnica de análise de imagens ao vivo. A análise dos testemunhos, em conjunto com os perfis geofísicos e com a interpretação de seções sísmicas adquiridas na área, permitiu definir que os depósitos Mucuri foram sedimentados em dois ambientes deposicionais distintos. Os arenitos mais grossos (de médios e muito grossos, levemente conglomeráticos) e os conglomerados arenosos foram depositados por canais fluviais entrelaçados, parcialmente efêmeros, não-confinados e com gradiente relativamente alto e pequena extensão, desde áreas-fonte montanhosas, constituídas por blocos do embasamento Pré-Cambriano granítico-gnáissico, soerguidos durante a fase rifte precedente. Tais condições promoveram a rápida erosão, transporte e deposição de sedimentos clásticos grossos e imaturos, caracterizados por má a moderada seleção, forma angulosa e composição rica em grãos de feldspatos e fragmentos de rochas plutônicas, subordinadamente em biotita e granada, transportados por saltação e rolamento. A análise de velocidade de decantação dos grãos mostrou que as micas não possuíam equivalência hidráulica com os grãos de quartzo e feldspato nos depósitos fluviais. Intercalados aos depósitos grossos, ocorrem depósitos mais finos, interpretados com base na sua distribuição e nas estruturas deposicionais indicativas de ondas, como sedimentados na região costeira do sistema lacustre Pré-Sal. O sistema costeiro foi interpretado como depositado em cordões litorâneos, formados sob retrabalhamento por ondas do sedimento trazido pelas descargas episódicas do sistema fluvial. Esses depósitos são caracterizados por seleção comumente melhor do que a dos depósitos fluviais, ausência de lama e pela abundância de biotita, transportada principalmente por suspensão. O enriquecimento em biotita está ligado à forma achatada dos grãos, que os mantém em suspensão preferencialmente aos grãos mais equantes de quartzo e feldspatos. A relação textural e composicional dos depósitos do Membro Mucuri fornecem informações importantes sobre as condições paleoambientais atuantes durante a formação dos enormes reservatórios do Pré-Sal.

**Palavras-chave:** Membro Mucuri, Bacia do Espírito Santo, análise textural avançada, ambientes deposicionais.

## ABSTRACT

Sandstones and sandy conglomerates of the Mucuri Member of the Mariricu Formation (Aptian) are important hydrocarbon reservoirs in onshore Espírito Santo Basin. These clastic sediments were deposited along the margins of an extensive lacustrine system where carbonate deposits corresponding to the huge pre-salt reservoirs were being formed. This study intends to show the relations between the depositional texture and primary composition of these deposits and their relationships with depositional facies and systems interpreted from systematic description of cores and logs of selected wells, performed within an extensive integrated project executed by UFRGS Geoscience Institute for Shell. Textural and compositional information were obtained through the systematic quantitative petrographic analysis, by counting 300 points in each thin section, according to transects transversal to the structure and fabric of the samples. An advanced textural analysis was performed, by measuring the size and shape of the grains using a live image analysis technique. Analyses of the cores, together with the geophysical logs and seismic interpretation, allowed defining two distinct sedimentary environments for the Mucuri deposits. The coarser sandstones (medium and very coarse, slightly conglomeratic) and sandy conglomerates were deposited by braided, locally ephemeral, poorly-confined, high-gradient fluvial streams, along short distances from the Precambrian granitic-gneissic basement source areas, uplifted during the preceding rift phase, to the lacustrine system. Such conditions promoted rapid erosion, transportation and deposition of coarse and immature clastic sediments, characterized by poor to moderate sorting, angular grains and primary composition rich in feldspars and plutonic rock fragments, subordinately in biotite and garnet, transported by saltation and rolling. The coastal deposits occur intercalated with the coarser fluvial deposits, and were interpreted based on their distribution and depositional structures typical of wave action, as deposited in coastal zone of the Pre-Salt lacustrine system. These deposits are characterized by commonly better sorting than the fluvial deposits, scarcity of absence of mud, and abundance of biotite grains, transported mainly in suspension. The abundance of biotite in these sandstones is related to the platy shape of the grains, which kept them in suspension preferentially to the equant quartz and feldspar grains. The textural and compositional relationships of the Mucuri Member deposits provide important information on the paleoenvironmental conditions prevailing along the margins of the lacustrine system during formation of the huge pre-salt reservoirs.

**Key-words:** Mucuri Member, Espírito Santo Basin, advanced textural analysis, depositional environments.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Mapa de localização da Bacia do Espírito Santo e da área de estudo, marcada pelo retângulo vermelho no setor terrestre da Bacia (retirado de Biassusi *et al.*, 1990). ..... 16
- Figura 2:** Porção do Cretáceo da coluna estratigráfica da Bacia do Espírito Santo (modificado de França *et al.*, 2007), evidenciando a relação espacial e temporal entre os depósitos do Membro Mucuri com os reservatórios de *offshore* do Pré-Sal (retirado de Carvalho *et al.*, 2014). ..... 18
- Figura 3:** Fluxograma que ilustra o método Gazzi-Dickinson de separação dos constituintes primários (Rodrigues, 2012, modificado de Zuffa, 1985). ..... 27
- Figura 4:** Janela de composição do sistema Petroledge, onde são os constituintes e seus aspectos de hábito, localização, e relações paragenéticas. .... 29
- Figura 5:** Medição do perímetro do grão, utilizando a técnica de análise de imagem ao vivo no software LAS. .... 31
- Figura 6:** Diagrama de Passega (1957, 1964) e de Passega e Byramjee (1969) para o transporte de grãos. As áreas do diagrama, de I a IX são definidas com base na linha que define o valor de 1000 microns para o 1º Percentil e nas linhas de 15, 100 e 200 microns de mediana. .... 33
- Figura 7:** Ilustração que mostra a relação entre a elipse equivalente, eixos curto e longo com o grão, para medição dos valores de circularidade e razão de aspecto. .... 36
- Figura 8:** Janela de captura de imagem do software ZEN 2012. Nessa aba, as fotomicrografias são registradas e as escalas são colocadas devidamente de acordo com o tamanho do zoom da lente. .... 37
- Figura 9:** Fluxograma que ilustra a progressão de etapas para o método descritivo de análise de fácies. Modificado de Dalrymple (2010). ..... 39
- Figura 10:** Fácies deposicionais principais do Membro Mucuri. (A) Conglomerado arenoso com grânulos e seixos (Gm); (B) arenito com estratificação cruzada swaley (Ssw); (C) arenito com estratificação cruzada indistinta (Sx); (D) arenito com laminação horizontal; (E) arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sl); (F) arenito com laminações de marcas onduladas de fluxo oscilatório (Swr); (G) arenitos com laminações cruzadas de marcas de corrente (Sr); (H)



heterolito com acamamento lenticular com laminações de marcas onduladas de onda (Hwl).....42

**Figura 11:** Seção colunar característica e fotografia de testemunhos da associação de fácies de canais fluviais pobremente confinados (Althaus, 2017). Tabela 2 para código de fácies. ....44

**Figura 12:** Seção colunar característica e fotografia de testemunhos da associação de fácies de *shoreface* superior (Althaus, 2017). Tabela 5 para código de fácies.....45

**Figura 13:** Classificação textural de Folk (1968) das amostras analisadas de depósitos fluviais e costeiros do Membro Mucuri.....46

**Figura 14:** A) Arenito conglomerático fluvial, suportado pelos grãos. Polarizadores cruzados (XP). B) Arenito fluvial apresentado má seleção e grãos subangulosos. XP. C) Arenito fluvial maciço, com orientação caótica dos grãos alongados. Polarizadores descruzados (//P). D) Arenito costeiro fino, laminado e moderadamente selecionado, com abundância em biotita. //P. E) Arenito costeiro fino com laminação definida por níveis de concentração de biotita. //P. F) Arenito costeiro fino, rico em biotita, com laminação deformada por fluidização. XP.....47

**Figura 15:** A) Composição primária original das amostras analisadas, plotadas no diagrama de Folk (1968). B) Composição atual das amostras analisadas, relativamente enriquecida em quartzo em relação à original devido à dissolução e substituição de feldspatos. ....49

**Figura 16:** A) Abundância de fragmentos plutônicos (P) em conglomerado arenoso fluvial. XP. B) Fragmento plutônico constituído por granada(Gr) e quartzo em arenito conglomerático fluvial. //P. C) Concentração de grãos de granada fraturados em um arenito fluvial. //P. D) Fragmento carbonoso com estrutura celular preservada em arenito costeiro. //P. E) Abundância de biotita em arenito costeiro. //P. F) Biotita expandida pela precipitação precoce de calcita. //P.....50

**Figura 17:** A) Gráfico que demonstra a maior concentração de micas (biotita) nos depósitos com tamanho modal mais fino do ambiente costeiro. Os depósitos fluviais apresentam, via de regra, tamanho modal mais grosso e teores menores de biotita. B) Diagrama ternário que mostra a maior proporção de micas em relação ao quartzo e feldspato detríticos nos arenitos costeiros.....51

**Figura 18:** Gráfico de Seleção x Tamanho médio dos grãos para as amostras fluviais e costeiras, utilizando Folk & Ward (1957). As amostras costeiras apresentam consistentemente melhor seleção que as amostras fluviais. ....57

**Figura 19:** Gráfico de Momentos de Assimetria x Tamanho médio de momentos (Phi) de Friedman (1961) para as amostras fluviais e costeiras. As amostras fluviais apresentam assimetria predominantemente positiva, enquanto as amostras costeiras apresentam assimetria tanto positivas como negativas. ....58

**Figura 20:** Determinação dos mecanismos de transporte dos sedimentos depositados no sistema fluvial e costeiro, utilizando o diagrama de Passega (1957,1964). As amostras fluviais ocupam o campo I, onde há o domínio de processos trativos, enquanto as costeiras ocupam o campo V, com domínio de transporte por suspensão.....59

**Figura 21:** Gráficos de Frequência acumulada x Velocidade de decantação para os constituintes primários quartzo, feldspato e mica do ambiente fluvial. Como as amostras 3,4,5 e 6 revelam, os grãos de mica não apresentaram a mesma velocidade de decantação que os demais constituintes.....61

**Figura 22:** Gráficos de Frequência acumulada x Velocidade de decantação para os constituintes primários quartzo, feldspato e mica do ambiente costeiro. Neste ambiente a mica apresentou a mesma velocidade de decantação que os demais constituintes, indicando que estavam em equivalência hidráulica.....62

**Figura 23:** *Diagramas Boxplot* para os parâmetros de tamanho de grão, circularidade e razão de aspecto para quartzo, feldspato e mica entre amostras fluviais e costeiras. Observa-se que há uma diferença significativa (evidenciada pela distância entre os limites das caixas) entre as amostras e fluviais para a circularidade e a razão de aspecto. ....66

**Figura 24:** Composição detrítica essencial dos arenitos e conglomerados do Membro Mucuri plotada no diagrama modos de proveniência tectônica de Dickinson (1985), indicando proveniência de blocos do embasamento soerguido, com transição para uma situação incipientemente cratônica. Qm = quartzo monocristalino e policristalino grosso, F = feldspatos totais e Lt = soma de litoclastos vulcânicos, sedimentares e quartzo policristalino fino. ....71

**Figura 25:** A) Modelo ilustrando o transporte predominantemente trativo (saltação e rastejamento) dos sedimentos mais grossos depositados pelo sistema fluvial. A fração mais fina permanece em suspensão e segue até a porção mais

distal do sistema. B) No ambiente costeiro, dominam os processos de rolamento de grãos (trazidos pelos canais fluviais por suspensão) e retrabalhamento por ondas. 72

**Figura 26:** A) A forma achatada da biotita faz com que esses grãos tenham equivalência hidráulica com grãos menores de quartzo e feldspato, permanecendo em suspensão no fluxo. B) No ambiente costeiro, sob condições de mais baixa energia de fluxo, a biotita se deposita com os demais grãos ao encontrar a equivalência hidráulica. ....75

**Figura 27:** A) Fluxos turbulentos e com alta concentração de sedimentos dos canais fluviais promoveram o “trapeamento” de grãos, o que explica a presença de grãos sem equivalência hidráulica, que foram depositados juntos. (B) Os grãos de biotita que foram aprisionados no leito do canal pelo trapeamento de grãos foram transportados e depositados por processos trativos. ....76

**Figura 28:** Modelo ilustrativo da evolução e deposição dos canais fluviais com base na variação das descargas ao longo do tempo, formando os sets granodecrescentes ascendentes dos depósitos fluviais. A) evento de descarga máxima dos canais fluviais com fluxos turbulentos e hiperconcentrados em sedimentos, formando inundações em lençóis. Durante esse período, foram depositados fácies mais grossas, como conglomerados arenosos (Gm) e arenitos com estratificação cruzada de baixo ângulo (SI) na base da sucessão. B) Com a diminuição da energia de fluxo, ocorre a deposição de sets com menor granulometria e fácies como estratificação cruzada de tangencial (St). C) Durante o estágio final das inundações em lençóis, ocorre a deposição de siltitos (FI), o que evidencia o domínio do processo de suspensão em relação à tração. D) Um novo evento de descarga do sistema fluvial gera um novo ciclo granodecrescente limitado por uma base erosiva. ....80

**Figura 29:** A) Modelo ilustrativo da dinâmica na região costeira lacustre do Membro Mucuri. O principal processo atuante é o retrabalhamento por ondas, gerado pelo regime de ventos na costa, que levou à formação de cordões litorâneos. B) O retrabalhamento por ondas no shoreface promoveu a remoção da fração argilosa das margens do lago, levando esses sedimentos mais finos para o *shoreface* inferior e *offshore*. ....82

**Figura 30:** Imagem de satélite (retirada do Google Earth) do Lago Turkana. Observa-se o formato em calha do Turkana, com morfologia estreita e alongada. ..84

<b>Figura 31:</b> Cordões litorâneos formados na costa do Lago Turkana. Os sedimentos trazidos por canais fluviais efêmeros foram retrabalhados por ação de ondas na costa do lago, formando os cordões (modificado de Althaus, 2017) .....	86
<b>Figura 32:</b> Delta dominado por ondas na costa do Turkana. O rio examinado possui maior capacidade de transporte de sedimentos, possibilitando a progradação de cúspides deltáicas pouco desenvolvidas por causa da ação do retrabalhamento por ondas (modificado de Althaus, 2017).....	87
<b>Figura 33:</b> Delta dominado por rio na costa oeste do Turkana. O influxo contínuo e maior aporte de sedimentos trazidos pelo rio perene tende a favorecer a formação de lobos deltaicos mais desenvolvidos.....	88
<b>Figura 34:</b> Modelo deposicional do Membro Mucuri (Modificado de Kuchle, De Ros <i>et al.</i> , 2018). .....	89

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Modelo de classificação de seleção por Johnson (1994). .....	31
<b>Tabela 2:</b> Tabela de fácies deposicionais do Membro Mucuri (Althaus, 2017). .....	40
<b>Tabela 3:</b> Parâmetros de distribuição granulométrica para média gráfica (M), desvio padrão (Sd), assimetria (Sk) e Curtose (K) das amostras analisadas, segundo Folk & Ward (1957) .....	52
<b>Tabela 4:</b> Parâmetros de distribuição granulométrica para média gráfica (M), desvio padrão (Sd), assimetria (Sk) e Curtose (K) das amostras analisadas, segundo medições de momentos matemáticos (Friedman, 1961).....	55
<b>Tabela 5:</b> Tabela da distribuição de modas granulométricas das 50 amostras analisadas .....	60
<b>Tabela 6:</b> Valores de circularidade (C) e razão de aspecto (RA) dos constituintes primários Quartzos (Q), Feldspatos (F), Micas (M) das amostras analisadas. ....	64

## LISTA DE EQUAÇÕES

**Equação 1:** Fórmula da média da distribuição granulométrica (Folk & Ward 1957). A média é dada pela soma do 16º percentil de tamanho de grão com o 84º e o 50º (ou mediana), dividido por três.....34

**Equação 2:** Fórmula do desvio padrão ou medida da seleção (Folk & Ward 1957). O desvio padrão é dado pela subtração do 84º percentil de tamanho de grão pelo 16º percentil, dividido por 4 com a soma da subtração do 95º percentil pelo 5º, dividido por 6,6. ....34

**Equação 3:** Equação de momentos matemáticos para momentos médios. Segundo Friedman (1961), para calcular o valor de momentos médios se utiliza  $n=1$ , sendo o valor de  $N$  é o valor total de pontos e o de  $X$  os valores dos pontos. ....34

**Equação 4:** Equação de momentos matemáticos para momentos de assimetria segundo Friedman (1961). Para calcular o valor de momentos de assimetria se utiliza o mesmo valor de  $xn$  da média e o valor da média. O  $s$  é o valor de desvio padrão. ....34

**Equação 5:** Equação para velocidade de decantação de grãos (Ferguson e Church, 2004). A gravidade submergida específica do grão ( $R$ ) é obtida através da fórmula  $((P_p - p_f)/p_f)$ , onde “ $P_p$ ” é a densidade da partícula e “ $P_f$ ” do fluido. A constante “ $g$ ” é a aceleração da gravidade, “ $D$ ” é o diâmetro da partícula e “ $v$ ” é a viscosidade cinemática do fluido. Os valores de  $C_1$  e  $C_2$  são constantes que representam um intervalo médio esperado para formas variadas de grãos.....35

**Equação 6:** Fórmula de circularidade de Cox (1927). A circularidade é dada pela razão entre a multiplicação de  $4\pi$  pela área e pelo perímetro ao quadrado.....35

**Equação 7:** Fórmula da razão de aspecto (RA). A razão de aspecto é determinada pela divisão do eixo longo da elipse equivalente pelo eixo curto. ....36

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	14
<b>OBJETIVOS</b> .....	19
<b>ESTADO DA ARTE</b> .....	20
Conceitos fundamentais sobre Fácies e Sistemas Depositionais .....	20
Revisão sobre a Composição Detrítica, Texturas, Estruturas e Mecanismos de Transporte de Arenitos e Conglomerados .....	21
Características Texturais Gerais de Depósitos Fluviais .....	23
Ação de Ondas e Caracterização de Linhas de Costa em Lagos .....	24
<b>METODOLOGIA</b> .....	26
Amostragem e Base de Dados .....	26
Revisão Bibliográfica.....	26
Petrografia Quantitativa.....	27
Análise Textural Avançada.....	30
Fotomicrografia .....	37
Análise de Fácies.....	38
<b>RESULTADOS</b> .....	40
Fácies Depositionais .....	40
Associações de Fácies.....	43
Depósitos de Canais Fluviais .....	43
Depósitos Costeiros de Shoreface Superior .....	45
Textura Primária.....	46
Composição Detrítica .....	48
Análise Textural dos Parâmetros Granulométricos .....	52
Grau de Seleção x Tamanho de Grão.....	55
Assimetria Granulométrica .....	58

Mecanismos de Transporte .....	59
Distribuição Granulométrica Modal .....	60
Velocidade de Decantação dos Grãos .....	60
Relações entre Tamanho e Forma de Grão para Quartzo, Feldspato e Mica .....	63
<b>DISCUSSÃO</b> .....	67
Aspectos Depositionais do Ambiente Fluvial .....	67
Aspectos Depositionais do Ambiente Costeiro .....	69
Proveniência .....	70
Análise Granulométrica e de Seleção .....	73
Fracionamento Hidrodinâmico dos Constituintes Primários .....	74
Modelos Paleodeposicionais do Membro Mucuri .....	77
<b>CONCLUSÕES</b> .....	90
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	91
<b>ANEXOS</b> .....	98



## INTRODUÇÃO

O Membro Mucuri, foco deste trabalho, corresponde a arenitos e conglomerados arenosos depositados no Aptiano às margens do extenso sistema lacustre que deu origem aos gigantescos reservatórios do Pré-sal, a porção *onshore* da Bacia do Espírito Santo. Este trabalho integrou o *Projeto Mucuri* (Kuchle, De Ros et. Al., 2018), um estudo integrado realizado pelo Instituto de Geologia da UFRGS para a Shell que buscou determinar as condições paleoambientais atuantes durante a deposição dessa unidade. A equipe do *Projeto Mucuri* determinou que o Membro Mucuri foi depositado em dois ambientes sedimentares distintos principais: Fluvial e Costeiro. O presente trabalho buscou examinar as relações entre os aspectos texturais e composicionais primários, com as fácies deposicionais do Membro Mucuri, estabelecendo modelos paleodeposicionais mais realistas para a unidade, contribuindo para ampliar a compreensão dos próprios aspectos deposicionais dos reservatórios do Pré-sal.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Espírito Santo (Figura 1) ocorre na margem leste brasileira, possuindo uma área total de 129.439 km<sup>2</sup> (Vieira *et al.*, 1994). Foi formada como uma bacia rifte durante o Cretáceo inferior, evoluindo para uma fase drifte a partir do Cretáceo superior. Delimita-se ao norte, com a Bacia de Mucuri pelo paleocânion de mesmo nome, e a sul, com a Bacia de Campos, através do Alto de Vitória. Assim como outras bacias marginais brasileiras, a evolução tectono-sedimentar da Bacia do Espírito Santo é ligada ao rompimento do supercontinente Gondwana, no Neocomiano (Carvalho *et al.*, 2014). A bacia foi objeto de diversos estudos em mais de 50 anos de exploração, por possuir acumulações significativas de hidrocarbonetos, em especial na sua porção onshore da bacia (França *et al.*, 2007). Dois paleocânions do Paleoceno constituem feições proeminentes, o de Fazenda Cedro, localizado na porção central da bacia, e o de Regência, na porção sul. O embasamento da bacia é constituído majoritariamente por migmatitos, granulitos, gnaisses granatíferos e granitóides do Cráton do São Francisco (França *et al.*, 2007).

França *et al.*, (2007) dividiram o pacote sedimentar da Bacia do Espírito Santo em três supersequências, denominadas de Supersequência Rifte, Pós-rifte, e Drifte, de acordo com o contexto tectônico a qual estão inseridas. Na Supersequência Rifte (Valanginiano ao Aptiano Inferior) predominava um ambiente lacustre, com o desenvolvimento de sistemas fluviais e aluviais condicionais por grandes falhamentos da bacia. Essa supersequência é representada pela Formação Cricaré (Grupo Nativo), constituída por arenitos e conglomerados com clastos metamórficos do Membro Jaguaré, intercalados com depósitos argilosos do Membro Sernambi e com vulcânicas e vulcanoclásticas da Formação Cabiúnas.

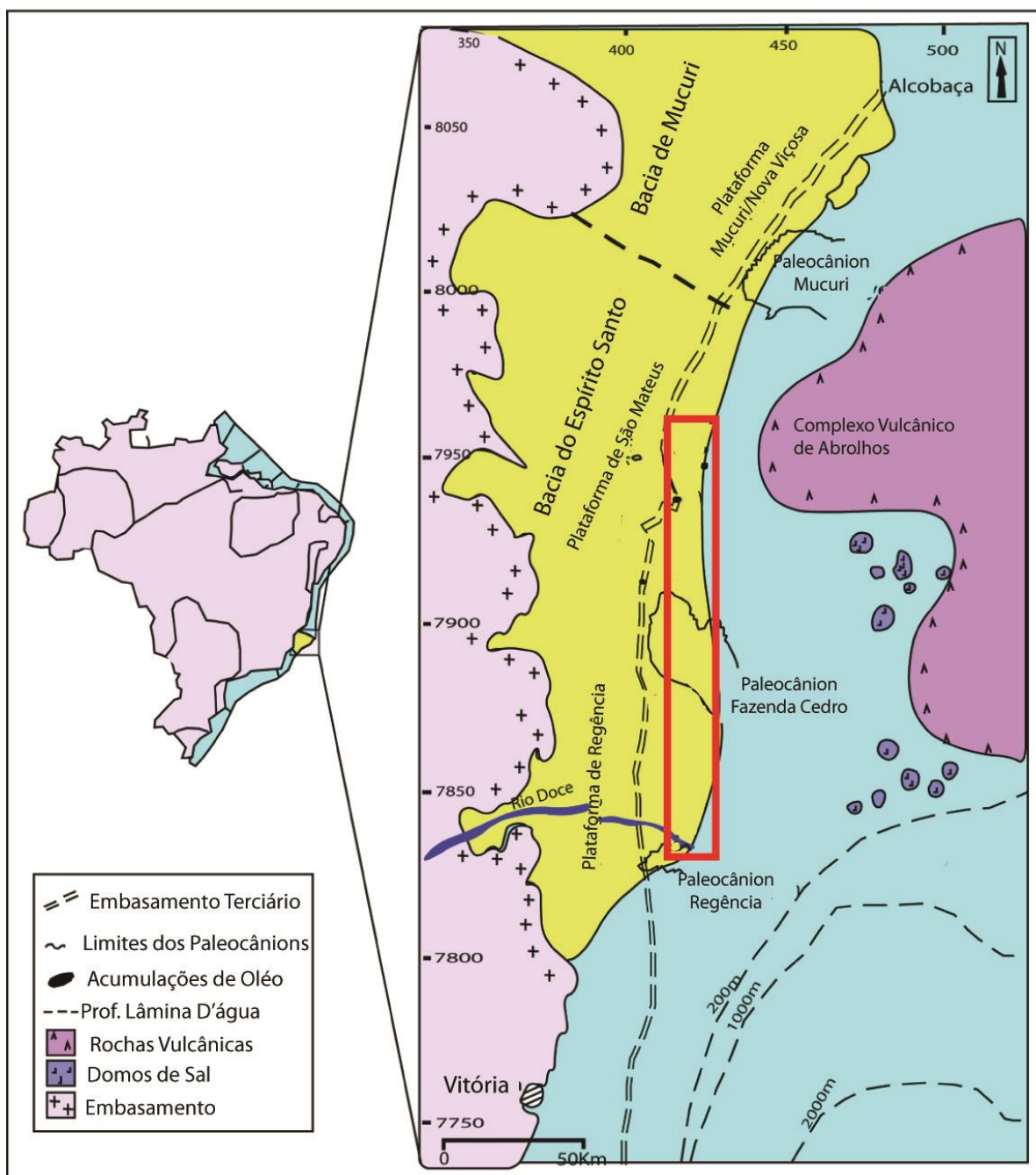


Figura 1: Mapa de localização da Bacia do Espírito Santo e da área de estudo, marcada pelo retângulo vermelho no setor terrestre da Bacia (retirado de Biassusi *et al.*, 1990).

A Supersequência Pós-rifte é composta pela Formação Mariricu, de idade aptiana, dividida entre Membro Mucuri e Membro Itaúnas. O Membro Mucuri (Figura 2) representa a sequência basal e proximal dessa supersequência, sendo bastante amostrado por poços e testemunhado na porção *onshore* por possuir quantidades significativas de hidrocarbonetos (França *et al.*, 2007). É formado por sedimentos arenosos e conglomeráticos mais proximais e por pelitos mais distais. O Membro Itaúnas foi formado sobre condições de bacia restrita com alta taxa de evaporação e compreende um espesso pacote de evaporitos, que variam de 50 a 5000m, em diápiros e outras estruturas (França *et al.*, 2007). A Formação Mariricu corresponde à fase transicional entre uma bacia de rifte continental e uma de margem passiva marinha (França *et al.*, 2007).

A Supersequência Drifte corresponde a rochas siliciclásticas e carbonáticas marinhas, evidenciando uma mudança no contexto tectônico e ambiental da bacia (França *et al.*, 2007). O influxo sedimentar para os depósitos turbidíticos da Formação Urucutuca nas porções mais distais da bacia foi facilitado pelos condutos providos pelos Paleocânions de Fazenda Cedro e Regência (França *et al.*, 2007).

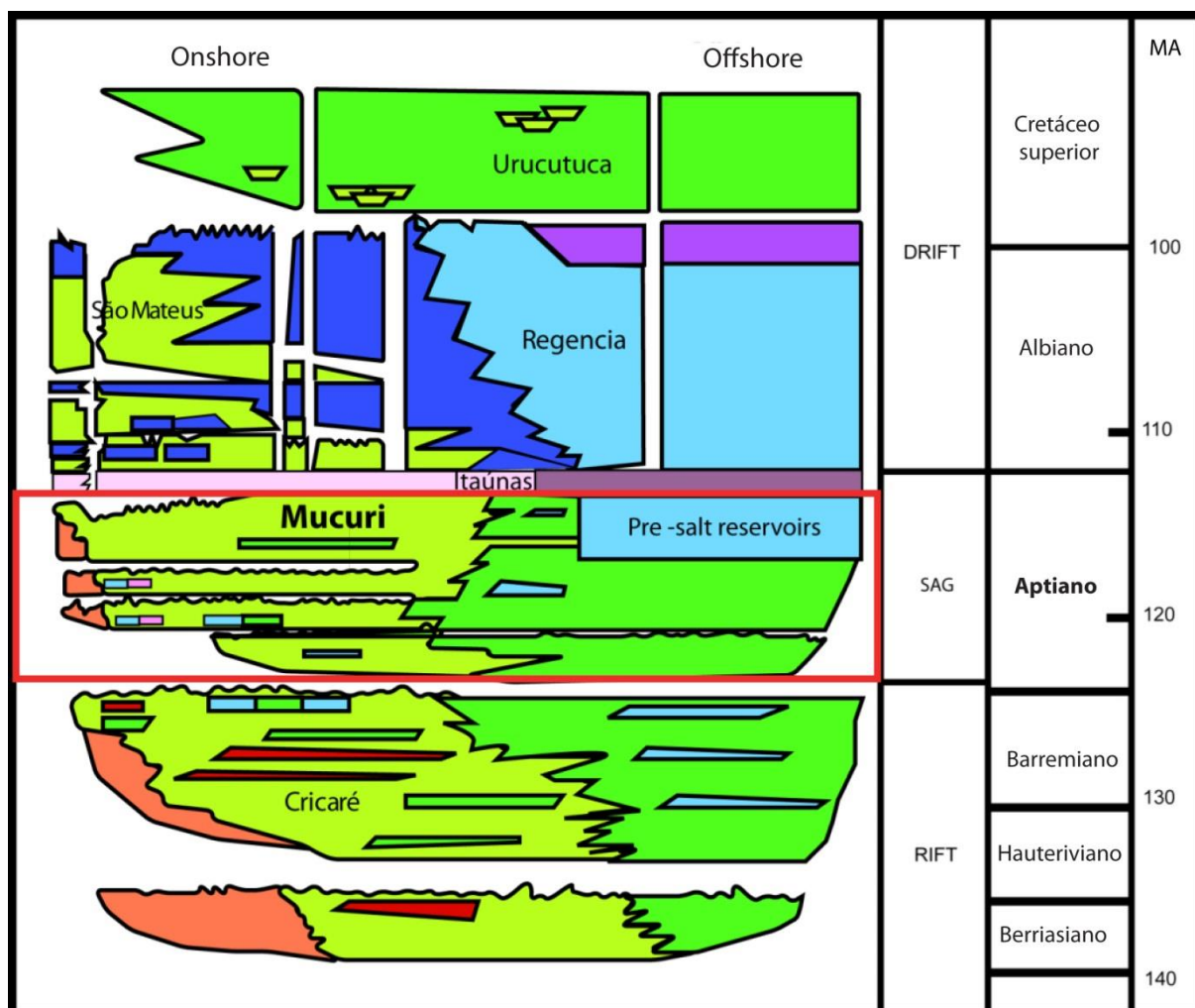


Figura 2: Porção do Cretáceo da coluna estratigráfica da Bacia do Espírito Santo (modificado de França *et al.*, 2007), evidenciando a relação espacial e temporal entre os depósitos do Membro Mucuri com os reservatórios de *offshore* do Pré-Sal (retirado de Carvalho *et al.*, 2014).

## OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é relacionar os aspectos texturais e composicionais primários dos depósitos clásticos do Membro Mucuri, com as fácies e sistemas deposicionais interpretados com base na descrição de testemunhos de sondagem. Essa integração deve permitir uma melhor compreensão dos processos e padrões deposicionais da unidade. Os objetivos específicos incluem:

- Análise dos aspectos texturais e composicionais dos arenitos e conglomerados Mucuri, com o uso de petrografia quantitativa sistemática.
- Análise avançada dos parâmetros de tamanho e forma de grão, utilizando a técnica de medição do perímetro de grãos em tempo real no microscópio óptico.
- Rediscussão dos modelos paleodeposicionais da unidade, através das relações entre os dados obtidos de textura, composição e fácies.

## **ESTADO DA ARTE**

### **Conceitos fundamentais sobre Fácies e Sistemas Depositionais**

De acordo com Dalrymple (2010), as estruturas sedimentares são resultado da ação de processos físicos, químicos ou biológicos, constituindo, portanto, registro dos processos que as originaram. Sendo assim, a observação e descrição de uma assembleia de estruturas sedimentares permite identificar o ambiente deposicional no qual o depósito foi formado, sendo também influenciados por fatores como mudanças no nível do mar, climáticas, e tectônicas (Dalrymple, 2010).

A interpretação da gênese de um pacote de rochas sedimentares e dos processos que o originaram passa pela subdivisão da sucessão sedimentar em unidades menores “internamente homogêneas”, denominada fácies deposicionais. Dalrymple (2010) definiu o termo fácies como uma unidade de rocha caracterizada por uma combinação particular de litologia, aspectos físicos e biológicos, que a diferencie das rochas adjacentes, possuindo, portanto, um significado genético associado. O foco da análise de fácies é a obtenção de informações sobre a gênese do depósito sedimentar, para posteriormente interpretar o ambiente deposicional. Sendo assim, as características deposicionais primárias, tais como estruturas sedimentares, tamanho de grão e grau de seleção, são mais importantes para a identificação da fácies (Dalrymple, 2010). A etapa de definição das fácies da sucessão sedimentar é realizada após um criterioso exame e interpretação de suas características. Conforme Dalrymple (2010), uma fácies pode ser definida e subdividida em diferentes escalas, de acordo principalmente com os objetivos do estudo realizado. A escala da subdivisão também depende do tempo disponível para o levantamento, grau de preservação de estruturas primárias e abundância de estruturas sedimentares (Dalrymple, 2010).

Ambientes de sedimentação distintos formados por processos deposicionais semelhantes, podem resultar em uma mesma fácies deposicional. Considerando que uma estrutura sedimentar em particular pode ser formada em ambientes distintos, é necessário realizar a análise do conjunto de fácies na sucessão (Dalrymple, 2010). Um conjunto de fácies geneticamente relacionadas entre si e que

possuem relação em termos de ambiente de deposição é denominado de associação de fácies (Collinson, 1969). A análise das associações de fácies fornece informações sobre o ambiente deposicional que cada fácies individualmente não pode fornecer (Dalrymple, 2010). As associações de fácies são fundamentais para a interpretação correta do ambiente deposicional, visto que duas fácies formadas em ambientes distintos podem ser descritivamente e hidrodinamicamente idênticas (Walker, 2006).

### **Revisão sobre a Composição Detrítica, Texturas, Estruturas e Mecanismos de Transporte de Arenitos e Conglomerados**

Arenitos e conglomerados são originados essencialmente da erosão de rochas ígneas, metamórficas ou sedimentares preexistentes. Os grãos siliciclásticos são desagregados de suas rochas-fonte, pela ação de processos intempéricos, sendo transportados por diversos mecanismos até o ambiente de sedimentação. Esses mecanismos de transporte incluem o vento, geleiras, correntes fluviais, correntes de maré, fluxos gravitacionais e de densidade, condicionando a textura e as estruturas deposicionais. Por outro lado, a composição dos sedimentos siliciclásticos é função dos processos de intemperismo, das condições climáticas e das características geológicas da área fonte, sendo também influenciada pela distância e mecanismo do transporte (Tucker, 2001).

A análise da composição de arenitos e conglomerados é fundamental para o estudo da proveniência dos sedimentos, objetivando a determinação de sua área fonte e província tectônica (Ingersoll, 1979). Os constituintes detríticos das rochas siliciclásticas podem ser divididos nas categorias: quartzo, feldspato, micas e argilas, fragmentos de rocha, minerais pesados e outros constituintes (Tucker, 2001). Determinadas classes de constituintes primários, como fragmentos de rocha e minerais pesados são muito úteis para análise de proveniência, pois podem ser diretamente ligados a um determinado tipo de rocha fonte.



A produção de sedimentos é função das condições topográficas e climáticas da área fonte (Blatt, 1982). O relevo é o fator principal, considerando que as taxas de erosão aumentam rapidamente conforme o aumento do relevo, sendo a competência da corrente em transportar partículas maiores é correspondente ao gradiente topográfico da área fonte (Blatt, 1982).

A textura e estruturas sedimentares são importantes características dos sedimentos siliciclásticos, visto que são um reflexo dos processos deposicionais envolvidos (Tucker, 2001). A textura primária engloba três propriedades fundamentais das rochas sedimentares: tamanho de grão, forma (arredondamento, esfericidade) e fábrica (empacotamento e orientação) (Boggs, 1992).

A granulometria das rochas sedimentares é normalmente medida utilizando a escala de Udden-Wentworth (Wentworth, 1922 apud Boggs, 1992), variando de <0,0039 mm a >256 mm e sendo dividida em 4 classes principais (argila, silte, areia e cascalho) (Boggs, 1992). Entretanto, para cálculos estatísticos de granulometria, é utilizada a escala phi ( $\varphi = -\log 2S$ ), onde  $\varphi$  é o tamanho de grão na escala e S é o valor do tamanho de grão em milímetros (Boggs, 1992). A seleção é a medida do desvio padrão da distribuição do volume dos grãos em relação à classe granulométrica modal, constituindo um bom indicador da eficiência do sistema deposicional em separar grãos de diferentes classes (Tucker, 2001), com valores distintos para diferentes ambientes de sedimentação (Blatt, 1982).

Os atributos normalmente utilizados para a classificação da forma dos grãos são a esfericidade e arredondamento. A esfericidade é dada pela variação de tamanho dos três eixos perpendiculares do grão, que corresponde ao quanto sua forma se aproxima de uma esfera, sendo geralmente governada pelas propriedades físicas do grão ou fragmento de rocha, incluindo clivagens, textura interna, etc... (Blatt, 1982). O arredondamento considera a curvatura das bordas dos grãos, correspondendo ao quanto sua superfície é lisa, e varia entre seis classes de muito angular à muito bem arredondado, sendo o mais importante para interpretações sedimentológicas (Tucker, 2001). O grau de arredondamento é controlado pelo tamanho dos grãos, sua dureza e condições de transporte (Blatt, 1982), e possui melhor significado para a interpretação de ambientes de sedimentação (Tucker, 2001).

A fábrica das rochas clásticas se refere ao suporte, orientação e grau de empacotamento dos grãos (Tucker, 2001). O empacotamento é função essencialmente da história de compactação que os sedimentos sofreram. Os contatos entre os grãos podem ser pontuais, longos, côncavo-convexos e suturados. Areias depositadas pela água ou pelo vento tem tipicamente uma fábrica “suportada pelos grãos” (Tucker, 2001). Depósitos glaciais ou de fluxo de detritos podem ter fábrica “suportada pela matriz”.

### **Características Texturais Gerais de Depósitos Fluviais**

Ambientes deposicionais fluviais resultam de um complexo sistema de erosão, transporte e deposição, originando formas como leques aluviais, rios meandранtes e entrelaçados (Tucker, 2001). Para a formação de depósitos fluviais, é necessária a existência de uma área fonte soerguida acima do nível de base próxima a uma plataforma ou bacia rasa (Cant, 1982).

Os depósitos fluviais geralmente apresentam uma superfície basal de contato abrupto e estratificações cruzadas, possuindo geometria lenticular (canal principal) ou lateralmente mais esparsa (migração de barras arenosas) (Tucker, 2001). A litologia da área fonte tem forte influência na composição primária dos depósitos, e muitos dos arenitos fluviais correspondem a arcósios e litarenitos, com os depósitos mais quartzosos formados pelo retrabalhamento de sedimentos antigos (Tucker, 2001). Geralmente, curtas distâncias de transporte produzem sedimentos mal selecionados e mais angulares. O tamanho modal dos sedimentos diminui e a seleção aumenta para as porções mais distais do sistema (Tucker, 2001).

## Ação de Ondas e Caracterização de Linhas de Costa em Lagos

Os cordões litorâneos são importantes feições naturais que marcam o limite entre a porção terrestre e da água (mar ou lago), sendo formadas pela redistribuição dos sedimentos transportados por correntes através da ação de ondas (Schuster, 2017). Apesar de estar comumente associado a ambientes marinhos, o processo de ação de ondas também promove o retrabalhamento de sedimentos em lagos, formando cordões litorâneos com características distintas. Devido à energia mais baixa das ondas e flutuações mais significativas do nível da água, as linhas de costa formadas nas margens dos lagos apresentam cordões litorâneos menos desenvolvidos que os formados em costas marinhas (Bridge e Demicco 2008). A reconstrução do relevo e morfologia dos cordões litorâneos de lagos antigos fornece informações para a caracterização de processos deposicionais que os formaram, bem como para as condições paleoambientais atuantes na sua formação.

Alguns elementos arquiteturais típicos de costas dominadas por ondas são resultado de importantes aspectos de depósitos antigos, caracterizados por Schuster (2017): *Cordões litorâneos* são acumulações contínuas de sedimentos clásticos aproximadamente lineares e paralelas à linha de costa, construídas pela ação de ondas que promove o retrabalhamento desses sedimentos (Stapor, 1975). Um complexo de cordões litorâneos pode ser um importante geomarcador de superfícies para a reconstrução paleodeposicional. *Cordões em cúspide* são cordões litorâneos que possuem uma ponta oblíqua à linha de costa, formando barras arenosas ou cascalhosas que invadem o corpo d'água. Sua morfologia típica apresenta uma parte alongada e estreita (onde ocorre a erosão) e uma parte côncava (onde ocorre a acreção do sedimento). *Dunas costeiras* são formadas a partir do retrabalhamento do sedimento pela ação do vento, redepositando-o na região de *backshore* do sistema, sendo resultado de um alto suprimento sedimentar, forte ação de ventos, flutuações no nível da água e presença de vegetação para segurar os sedimentos (Albert, 2000 *apud* Schuster, 2017). *Deltas* são protuberâncias da linha de costa formadas pelo acúmulo de sedimentos onde um canal fluvial entra em um mar ou lago, formados quando o suprimento sedimentar excede à capacidade de redistribuição pelas ondas (Elliot, 1982 *apud* Boggs, 1992). A morfologia dos deltas lacustres é controlada essencialmente pela predominância da influência fluvial ou

ação de ondas. Nesse último caso, as ondas são um agente transformador da forma do delta, causando erosão, transporte e redistribuição dos sedimentos oriundos de canais fluviais. *Leques de washover* são formados pela invasão de ondas de tempestade através da barreira de *backshore*, promovendo sua erosão e deposição de leques arenosos na lagoa de *backshore* (Boogs, 1992). São importantes marcadores de períodos transgressivos e utilizados no registro estratigráfico como feições retrogradacionais típicas (Hudock, 2014). *Praias (foreshore)* são zonas litorâneas em que há o predomínio de processos de *swash*, *backswash* e quebra de ondas (Plint, 2010). No registro estratigráfico, são importantes marcadores de zonas de exposição subárea e mudanças no nível do mar ou lago. *Depósitos de shoreface* se localizam entre o *foreshore* e a zona distal de *offshore*, sendo formados pela ação de ondas e correntes, correspondendo comumente a sedimentos arenosos bem selecionados (Prothero, 1996) com estruturas sedimentares típicas de fluxo oscilatório, como ripples de onda, e estruturas de fluxo unidirecional, como estratificações cruzadas, planares, causadas por correntes atuantes nessa porção do mar ou lago. Ondas de tempestade promovem a remoção e redeposição de sedimentos das porções proximais para as distais, gerando estruturas como estratificações *hummocky* e *swalley* (Einsele, 1992). O reconhecimento das diferentes zonas do *shoreface* (superior, médio e inferior) é importante para estudos de paleobatimetria de lagos antigos, sendo o reconhecimento desses depósitos fundamental para definir períodos transgressivos e regressivos (Walker, 2006). Apesar das fácies praias não serem comumente preservadas nas bacias rifte, o seu reconhecimento tem uma enorme importância para a interpretação das condições paleoambientais e na localização de paleolinhas de costa (Renaut & Owen, 1991). Além disso, depósitos siliciclásticos costeiros de grandes lagos rifte apresentam um ótimo potencial como reservatório de hidrocarbonetos (Renaut & Owen, 1991).

## **METODOLOGIA**

### **Amostragem e Base de Dados**

Neste estudo, foram utilizados dados obtidos durante a realização do Projeto Mucuri, executado pelo Instituto de Geociências da UFRGS para a Shell (Kuchle, De Ros *et al.*, 2018) com autorização e regulamentação da Agência Nacional do Petróleo (ANP). O Projeto Mucuri disponibilizou o acesso a todo o banco de dados referente às áreas de petrologia, sedimentologia e estratigrafia do estudo integrado, possibilitando a execução do presente trabalho.

### **Revisão Bibliográfica**

Para este estudo, foi realizado o levantamento bibliográfico de trabalhos sobre Petrologia Sedimentar com ênfase na parte textural e composicional de arenitos e conglomerados. Foram estudados artigos sobre sedimentologia, com um enfoque nos processos de transporte e deposição de sedimentos, ambientes de sedimentação, além de estudos sobre análise e associações de fácies. Também foram revisadas publicações sobre o Membro Mucuri e a Bacia do Espírito Santo, procurando contextualizar os dados obtidos com a base teórica presente nesse estudo. Por fim, foram estudados trabalhos acerca de modelos deposicionais considerados análogos ao Membro Mucuri.

## Petrografia Quantitativa

Dentro do *Projeto Mucuri* foram realizadas descrições detalhadas de 319 lâminas delgadas, das quais descrevi 30, utilizando microscópios de luz polarizada e o software Petroledge® (De Ros *et al.*, 2007). A descrição petrográfica quantitativa sistemática permitiu o reconhecimento de informações texturais, composicionais, diagenéticas e de porosidade das amostras. Durante sua preparação, as lâminas foram impregnadas com resina epoxy, facilitando a observação de poros e constituintes, e tingidas com uma solução de alizarina ( $C_{14}H_8O_2$ ) e ferrocianeto de potássio ( $C_6N_6FeK_4$ ), possibilitando a diferenciação dos tipos de carbonatos.

A quantificação das amostras foi realizada por meio da análise modal e contagem de 300 pontos por lâmina, seguindo transectas perpendiculares à estrutura e fábrica das amostras (Tucker, 2001). A quantificação dos constituintes foi executada utilizando o método Gazzi-Dickinson (Zuffa, 1985) onde são registrados grãos ou cristais de tamanho maior que fração silte (0,0625 mm), classificados quanto ao tipo mineralógico ou ao tipo de fragmento ao qual estão inseridos (Figura 3). Fragmentos de rocha que possuam textura fina, como ardósias, filitos, lutitos, assim como intraclastos ou bioclastos, são registrados exatamente como tal.

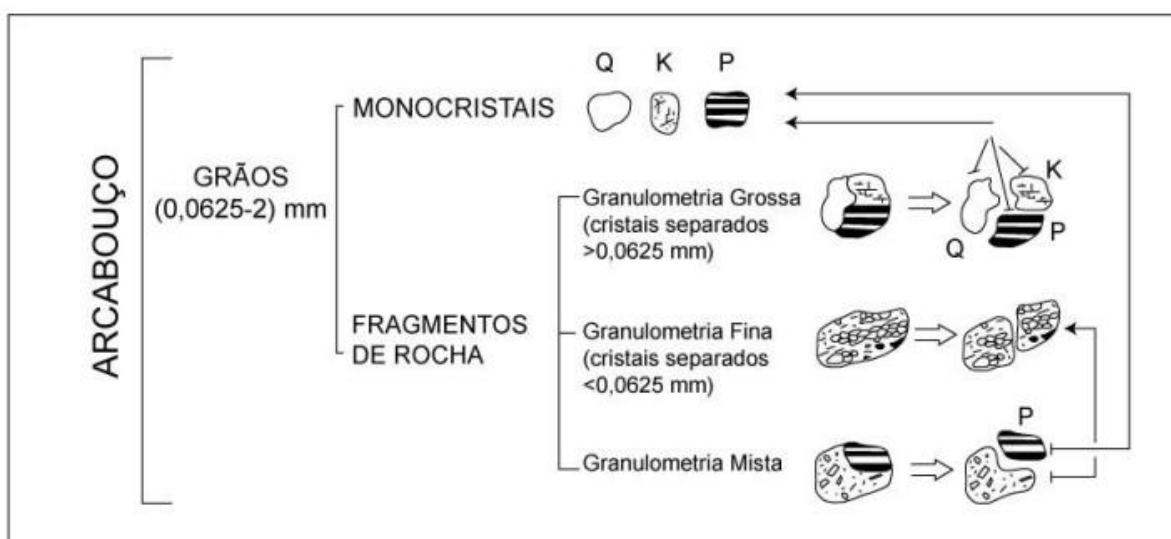


Figura 3: Fluxograma que ilustra o método Gazzi-Dickinson de separação dos constituintes primários (Rodrigues, 2012, modificado de Zuffa, 1985).

Utilizando o *software* Petroledge® foi possível registrar de modo sistemático os hábitos, localizações, bem como os teores, distribuições e relações entre os constituintes primários, diagenéticos, e destes com os tipos de poros existentes. Na primeira etapa da descrição, digita-se a identificação da lâmina, onde são colocadas informações como nome do poço, nome da bacia, profundidade e testemunho, bem como um breve resumo das principais feições observadas na lâmina. Segue-se o registro das principais estruturas existentes na rocha, bem como a textura (granulometria, seleção, esfericidade, arredondamento) e fábrica (orientação, empacotamento, suporte e tipos de contatos). A etapa da contagem de pontos é realizada utilizando a janela “composição” do *software* (Figura 4) onde são plotados os constituintes primários, diagenéticos e tipos de poros, caracterizando-os de acordo com seus tipos, hábitos, localizações e relações paragenéticas. Por fim, após a contagem ser finalizada, é possível obter a classificação composicional atual e original seguindo o modelo apresentado por Folk (1968), bem como a classificação textural segundo Folk (1968) e a interpretação do ambiente de proveniência tectônica, segundo Dickinson (1985).

Composição - Conteúdo da Célula 14.11

Controle da Platina: Iniciar, Triha, Avançar, Controlador

Pontos: 300 de 300  
Quantidade Percentual: 100.00 %

Nº	Identificação do Constituinte	Pontos	%	Quantidade Nominal	Observação
1	Quartzo detritico monocristalino - Como grão monomineralico -	28	9.333		
2	Microclino detritico - Como grão monomineralico -	26	8.667		
3	Ortoclasio detritico - Como grão monomineralico -	5	1.667		
4	Plagioclasio detritico - Como grão monomineralico -	5	1.667		
5	Perita detritica - Como grão monomineralico -	11	3.667		
6	Biotita - Como grão monomineralico -	49	16.333		
7	Muscovita - Como grão monomineralico -	1	0.333		
8	Granada - Como grão monomineralico -	3	1.000		
9	Zircão - Como grão monomineralico -	1	0.333		
10	Titanita - Como grão monomineralico -	1	0.333		
11	Intraclasto de solo - Como constituinte intrabacal -	2	0.667		
12	Calcita - Macrocristalino - Intragranular substitutivo - - Substituindo <Constituinte primário> - Plagioclasio detritico - Como grão monomineralico	1	0.333		
13	Calcita - Macrocristalino - Intragranular substitutivo - - Substituindo <Constituinte primário> - Feldspato detritico indiferenciado - Como grão monomineralico	2	0.667		
14	Calcita - Macrocristalino - Intragranular substitutivo - - Substituindo <Constituinte primário> - Feldspato detritico indiferenciado - Como grão monomineralico	5	1.667		
15	Calcita - Macrocristalino - Intragranular substitutivo - - Substituindo <Constituinte primário> - Constituinte primario indiferenciado -	8	2.667		
16	Calcita - Macrocristalino - Intragranular deslocante - - Expandindo <Constituinte primário> - Biotita - Como grão monomineralico	1	0.333		
17	Calcita - Macrocristalino - Intragranular substitutivo - - Substituindo <Constituinte diagenetico> - Esmectita - Intergranular cobertura de grão descontinua	6	2.000		
18	Ílta/esmectita - Franja - Intergranular cobertura de grão descontinua - - Cobrindo <Constituinte primário> - Constituinte primario indiferenciado -	6	2.000		
19	Ílta/esmectita - Franja - Circundando poro - - Em porosidade intragranular em <Constituinte primário> - Feldspato detritico indiferenciado - Como grão monomineralico	2	0.667		
20	Esmectita - Franja - Intergranular cobertura de grão descontinua - - Cobrindo <Constituinte primário> - Constituinte primario indiferenciado -	44	14.667		
21	Esmectita - Cutícula - Intergranular cobertura de grão descontinua - - Cobrindo <Constituinte primário> - Constituinte primario indiferenciado -	17	5.667		
22	Esmectita - Franja - Intergranular discreto - - Em <poro> - Poro intergranular - Intersticial	2	0.667		
23	Esmectita - Franja - Circundando poro - - Em porosidade intragranular em <Constituinte primário> - Feldspato detritico indiferenciado - Como grão monomineralico	6	2.000		
24	Esmectita - Roseta - Intergranular discreto - - Em <poro> - Poro intergranular - Intersticial	3	1.000		
25	Esmectita - Microcristalina - Intergranular preenchendo poro - - Em <poro> - Poro intergranular - Intersticial	9	3.000		
26	Esmectita - Microcristalina - Intragranular substitutivo - - Substituindo <Constituinte primário> - Feldspato detritico indiferenciado - Como grão monomineralico	16	5.333		
27	Esmectita - Microcristalina - Intragranular substitutivo - - Substituindo <Constituinte primário> - Plagioclasio detritico - Como grão monomineralico	6	2.000		
28	Esmectita - Microcristalina - Intragranular substitutivo - - Substituindo <Constituinte primário> - Constituinte primario indiferenciado -	12	4.000		
29	Esmectita - Microcristalina - Intragranular preenchendo poro - - Em porosidade intragranular em <Constituinte primário> - Feldspato detritico indiferenciado - Como grão monomineralico	2	0.667		
30	Esmectita - Microcristalina - Preenchendo fratura em grão - - Em <Constituinte primário> - Plagioclasio detritico - Como grão monomineralico	1	0.333		
31	Caulinita - Livinho - Intragranular substitutivo - - Substituindo <Constituinte primário> - Feldspato detritico indiferenciado - Como grão monomineralico	1	0.333		
32	Caulinita - Lamelar - Intragranular deslocante - - Expandindo <Constituinte primário> - Muscovita - Como grão monomineralico	1	0.333		
33	Vermiculita - Lamelar - Intragranular deslocante - - Expandindo <Constituinte primário> - Biotita - Como grão monomineralico	3	1.000		
34	Gosta - Lamelar - Intragranular deslocante - - Expandindo <Constituinte primário> - Biotita - Como grão monomineralico	1	0.333		
35	Prita - Microcristalina - Intragranular substitutivo - - Substituindo <Constituinte primário> - Biotita - Como grão monomineralico	2	0.667		
36	Abita - Microcristalina - Intragranular substitutivo - - Substituindo <Constituinte primário> - Plagioclasio detritico - Como grão monomineralico	5	1.667		
37	Feldspato potássico - Microcristalina - Intragranular substitutivo - - Substituindo <Constituinte primário> - Feldspato detritico indiferenciado - Como grão monomineralico	1	0.333		
38	Feldspato potássico - Crescimento interno - Preenchendo fratura em grão - - Em <Constituinte primário> - Plagioclasio detritico - Como grão monomineralico	1	0.333		
39	Porosidade de fratura em rocha - Arcabouço e intersticial - - -	3	1.000		
40	Porosidade intragranular - Arcabouço - - Dissolução de <Constituinte primário> - Feldspato detritico indiferenciado - Como grão monomineralico	1	0.333		

Figura 4: Janela de composição do sistema Petroledge, onde são os constituintes e seus aspectos de hábito, localização, e relações paragenéticas.



## Análise Textural Avançada

Para atingir os objetivos deste estudo, foi necessário realizar uma análise mais avançada da textura dos arenitos estudados. Foram analisadas 50 lâminas de arenitos do Membro Mucuri, sendo 25 características de cada ambiente deposicional (fluvial e costeiro) reconhecido no Projeto. Para isso, foi realizada uma análise detalhada específica, medindo o tamanho e forma dos grãos com a técnica de análise de imagens ao vivo, utilizando o *software* Leica Application Suite® (LAS). Foram contados 300 grãos por lâmina, totalizando 15000 grãos medidos e analisados individualmente. Utilizando-se um microscópio Leica Labourlux 12 Pol S e o programa LAS, foi traçado o perímetro de cada grão (Figura 5), procurando-se remover os processos diagenéticos que afetaram a forma, sendo cada grão classificado de acordo com sua mineralogia, como quartzo, feldspato ou mica. Através dessa técnica, o perímetro e área, além do eixo maior que determina o tamanho de cada grão, puderam ser medidos. A análise textural avançada gerou dados que possibilitaram o estudo de distribuição granulométrica, utilizando alguns parâmetros, como Tamanho modal (M), Desvio padrão (Sd), Assimetria (Sk) e Curtose (K):

A Média gráfica é o valor da média aritmética do tamanho de todos os grãos da rocha (Boggs, 1992). Os valores utilizados para média gráfica são dados na “escala phi”, sendo necessária a conversão do diâmetro (D) dos grãos para a escala  $\Phi = (-\log_2(D_{mm}))$  (Krumbein, 1934).

O Desvio padrão (ou grau de seleção) é uma medida que indica a maior ou menor concentração de classes modais em torno da moda, e de modo geral indica a constância ou variação na energia de transporte do sedimento (Dias, 2004). Para o grau de seleção das amostras, foi utilizada a classificação proposta por Johnson (1994), que é mais adequada para análises petrográficas em lâminas (Tabela 1).

A Assimetria (Sk) é o desvio da curva normal, que reflete o enriquecimento da população granulométrica em grãos finos ou grossos (Dias, 2004).

A Curtose (K) exprime a avaliação de angulosidade ou comprimento das caudas da curva, em relação à curva normal. Também reflete a proporção entre classes modais presentes e conseqüentemente, o grau de seleção. Os parâmetros

foram calculados segundo fórmulas propostas por Folk & Ward (1957) e pelo método de momentos matemáticos de Friedman (1961).

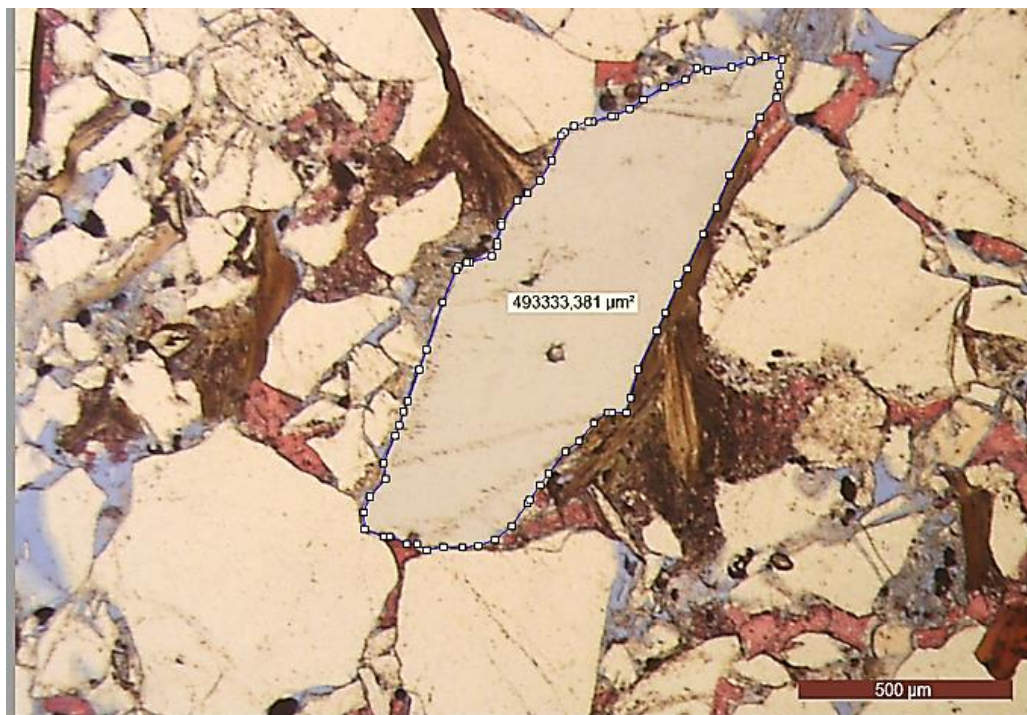


Figura 5: Medição do perímetro do grão, utilizando a técnica de análise de imagem ao vivo no software LAS.

Tabela 1: Modelo de classificação de seleção por Johnson (1994).

Desvio Padrão ( $\Phi$ )	Grau de seleção
<0.45	muito bem selecionado
0.45-0.55	bem selecionado
0.55-0.70	moderadamente selecionado
0.70-0.90	mal selecionado
>0.90	muito mal selecionado

Para a análise do grau de seleção das amostras, foram utilizados os valores de média granulométrica (M), e desvio padrão (Sd) obtidos pelo método de Folk & Ward (1957) utilizando a classificação de Johnson (1994). A média granulométrica foi calculada utilizando a Equação 1, e a Equação 2 para o desvio padrão (grau de seleção). Já para a análise de assimetria granulométrica por tamanho de grão, foram utilizados os valores obtidos através do método de momentos de Friedman (1961), onde os valores de momentos médios gráficos ( $\phi$ ) foram obtidos através da Equação 3, e os de momentos de assimetria através da Equação 4.

O diagrama proposto por Passega (1957, 1964) e por Passega e Byramjee (1969) (Figura 6) foi aplicado para se determinar os mecanismos de , onde foram utilizados os valores da mediana ( $\Phi$  50) pelo 1º percentil da distribuição granulométrica (ou 1% dos grãos mais grossos) das amostras. Segundo Passega (1957, 1964), existe uma relação entre textura do sedimento e o transporte, que fornece informações úteis para a análise deposicional de transporte do depósito. O diagrama proposto se baseia no princípio que as frações mais finas do sedimento têm a capacidade de serem transportadas de modo independente da fração mais grossa. O diagrama é dividido em nove áreas, baseado na sua subdivisão pelas linhas de 1000 microns e de Mediana 15, 100 e 200. Conforme Passega e Byramjee (1969), as áreas I, II, III e IX representam sedimentos que contém grãos transportados por rolamento, depositados próximo da sua área fonte ou transportados por ambientes onde os processos de suspensão eram escassos. Os campos IV, V, VI, VII representam sedimentos que contém grãos rolados menores que 1000 microns, transportados previamente por longas distâncias por suspensão. Já o campo VIII representa depósitos cujos sedimentos foram transportados por suspensão uniforme e pelágica, representando os grãos mais finos. O grau de turbulência do fluxo no transporte dos sedimentos diminui progressivamente do campo I para o IX.

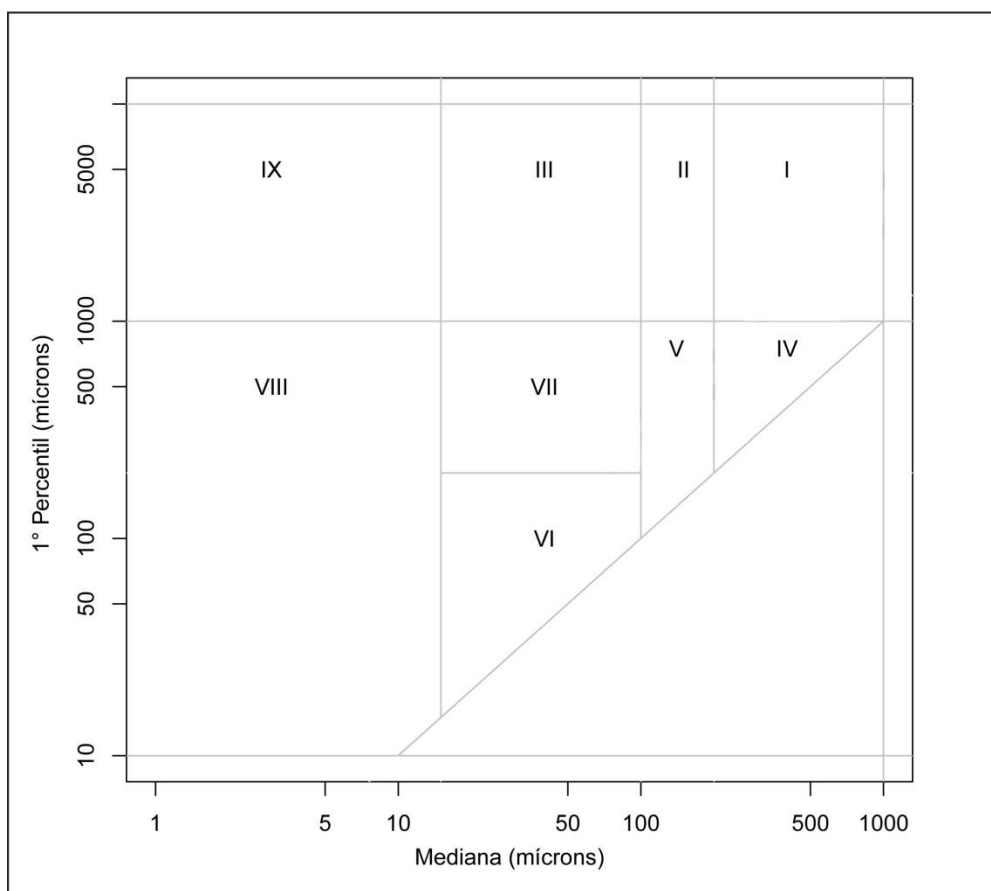


Figura 6: Diagrama de Passega (1957, 1964) e de Passega e Byramjee (1969) para o transporte de grãos. As áreas do diagrama, de I a IX são definidas com base na linha que define o valor de 1000 microns para o 1º Percentil e nas linhas de 15, 100 e 200 microns de mediana.

$$M = \frac{\Phi 16 + \Phi 50 + \Phi 84}{3}$$

Equação 1: Fórmula da média da distribuição granulométrica (Folk & Ward 1957). A média é dada pela soma do 16º percentil de tamanho de grão com o 84º e o 50º (ou mediana), dividido por três.

$$Sd = \frac{\Phi 84 - \Phi 16}{4} + \frac{\Phi 95 - \Phi 5}{6.6}$$

Equação 2: Fórmula do desvio padrão ou medida da seleção (Folk & Ward 1957). O desvio padrão é dado pela subtração do 84º percentil de tamanho de grão pelo 16º percentil, dividido por 4 com a soma da subtração do 95º percentil pelo 5º, dividido por 6,6.

$$Média (\mu) = \frac{1}{N} \int_0^N x^n$$

Equação 3: Equação de momentos matemáticos para momentos médios. Segundo Friedman (1961), para calcular o valor de momentos médios se utiliza  $n=1$ , sendo o valor de  $N$  é o valor total de pontos e o de  $X$  os valores dos pontos.

$$Assimetria = \frac{1}{N} \int_0^N \frac{(x^n - \mu)^3}{s^3}$$

Equação 4: Equação de momentos matemáticos para momentos de assimetria segundo Friedman (1961). Para calcular o valor de momentos de assimetria se utiliza o mesmo valor de  $x^n$  da média e o valor da média. O  $s$  é o valor de desvio padrão.

Foram realizadas análises comparativas de velocidade de decantação dos tipos minerais micas, quartzo e feldspato das amostras, com o objetivo de determinar a equivalência hidráulica dos grãos em cada ambiente de deposição. A velocidade de decantação representa uma relação entre densidade e tamanho de grão, calculada a partir da fórmula de Ferguson & Church (2004) (Equação 4) e que

controla a deposição de constituintes mineralógicos em água corrente (Kuchle, De Ros *et al.* 2018). Consideram-se como hidraulicamente equivalentes dois grãos de diferentes tamanhos e densidades que se depositem ao mesmo tempo (mesma velocidade de decantação). A velocidade de decantação foi estimada para os grãos de quartzo, feldspatos e micas, que são os principais constituintes primários presentes nas amostras do Membro Mucuri. Os valores de densidade inferidos para os grãos foram de 2,65 g/cm<sup>3</sup> para quartzo e feldspato, e de 2,9 g/cm<sup>3</sup> para as micas (majoritariamente biotita).

Para a análise de forma dos grãos, foram calculados a circularidade (C), utilizando a fórmula proposta por Cox (1927) (Equação 5) e razão de aspecto (Equação 6), ou razão entre eixos (AR), onde se considera os eixos da elipse equivalente, que possui o mesmo perímetro e área do grão (Figura 7). Uma razão alta de aspecto indica um grão cuja forma é alongada, enquanto uma baixa razão indica um grão mais circular. Foram calculados os valores médios de circularidade (C) e razão de aspecto (RA) para os grãos de quartzo, feldspato e micas das 50 amostras analisadas (Tabela 4).

$$Vd = \frac{RgD^2}{C1v' + (0.75xC2xRgx D^3)^{0,5}}$$

Equação 5: Equação para velocidade de decantação de grãos (Ferguson e Church, 2004). A gravidade submergida específica do grão (R) é obtida através da fórmula  $((Pp-pf)/pf)$ , onde "Pp" é a densidade da partícula e "Pf" do fluido. A constante "g" é a aceleração da gravidade, "D" é o diâmetro da partícula e "v" é a viscosidade cinemática do fluido. Os valores de C1 e C2 são constantes que representam um intervalo médio esperado para formas variadas de grãos.

$$C = \frac{4\pi A}{p^2}$$

Equação 6: Fórmula de circularidade de Cox (1927). A circularidade é dada pela razão entre a multiplicação de  $4\pi$  pela área e pelo perímetro ao quadrado.

$$RA = \frac{\text{eixo longo da elipse equivalente}}{\text{eixo curto da elipse equivalente}}$$

Equação 7: Fórmula da razão de aspecto (RA). A razão de aspecto é determinada pela divisão do eixo longo da elipse equivalente pelo eixo curto.

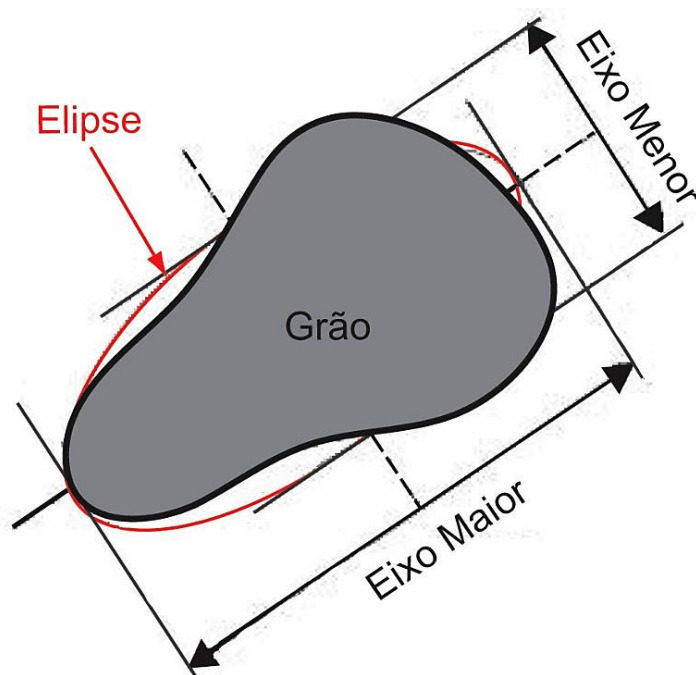


Figura 7: Ilustração que mostra a relação entre a elipse equivalente, eixos curto e longo com o grão, para medição dos valores de circularidade e razão de aspecto.

A análise das modas granulométricas das amostras foi realizada utilizando o método de agrupamento estatístico de modo semelhante ao utilizado por Leys *et al.*, (2005).

## Fotomicrografia

Foram fotografadas e registradas as principais estruturas, texturas, constituintes primários e diagenéticos, bem como os tipos de poros presentes nas lâminas do Projeto. As fotos foram selecionadas do banco de dados da parte de petrologia do Projeto Mucuri, assim como dos perfis integrados dos testemunhos. Para cada lâmina foram adquiridas no mínimo 6 fotos, 2 caracteristicamente referentes à textura da rocha (à luz natural e polarizada), usando um aumento no microscópio de 2,5x. As demais fotos foram adquiridas dos principais constituintes diagenéticos, tipos de poros ou outras feições consideradas importantes para a representação microfotográfica das lâminas. Foi utilizado um fotomicroscópio Zeiss AXIO imager 2 e o programa ZEN 2012 (Figura 8). Após essa etapa, cada foto passou por um processo de tratamento, utilizando o programa Adobe Photoshop, onde foram melhorados atributos como contraste e brilho das imagens, a fim de melhorar sua qualidade.

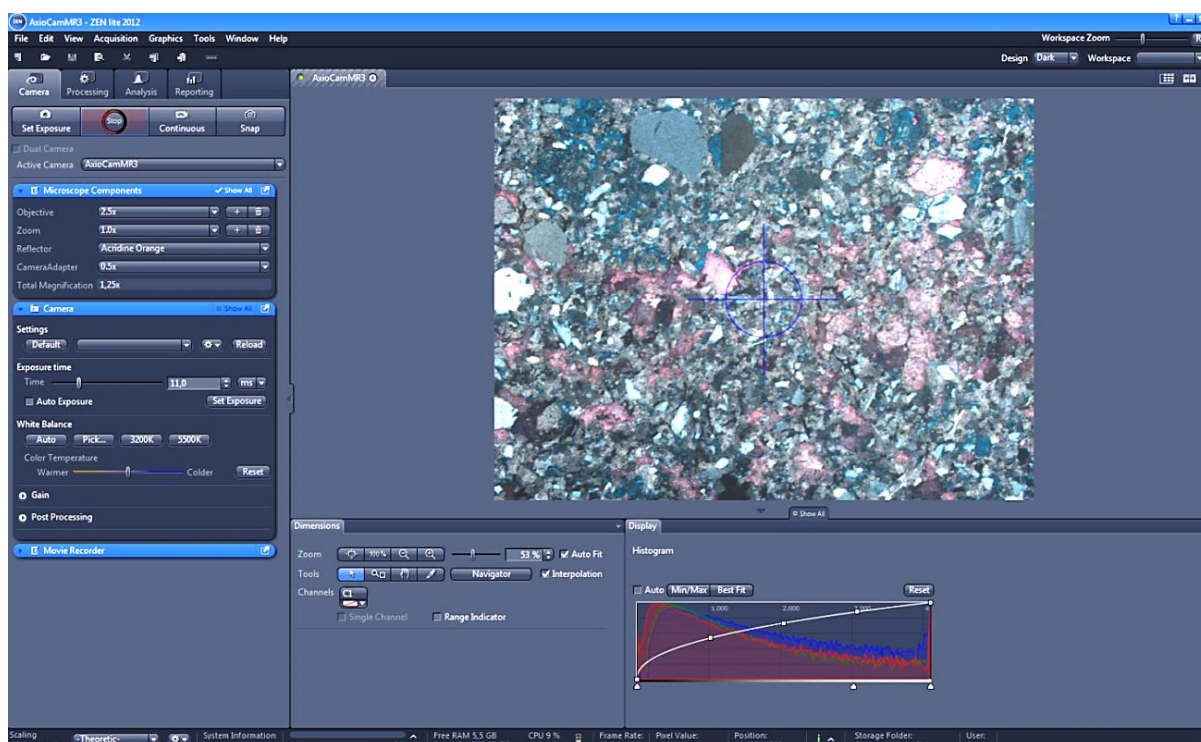


Figura 8: Janela de captura de imagem do software ZEN 2012. Nessa aba, as fotomicrografias são registradas e as escalas são colocadas devidamente de acordo com o tamanho do zoom da lente.



## **Análise de Fácies**

A equipe do Projeto Mucuri descreveu um total de 1994 metros de testemunhos de 30 poços em escala de 1:50. Os dados adquiridos nessas descrições foram disponibilizados para o uso neste trabalho. Os testemunhos foram descritos considerando a máxima amostragem contínua do Membro Mucuri, com o suporte de petrografia de apoio, onde foram acessadas lâminas previamente elaboradas pela Petrobras, facilitando a definição dos aspectos granulométricos, texturais, composicionais e diagenéticos. Participei da descrição de seis poços (acesso ANP 05\_SAA\_2018), durante a qual foi executado o método análise de fácies, com petrografia de apoio, além de fotomicrografias de algumas lâminas. O presente estudo mostrará alguns perfis colunares representativos para os ambientes deposicionais interpretados, gerados a partir da descrição dos testemunhos do Membro Mucuri.

A análise de fácies foi a atividade base para a interpretação dos ambientes deposicionais ocorridos no intervalo estudado, bem como para a definição do modelo deposicional do Membro Mucuri. Segundo Dalrymple (2010), uma fácies deposicional é definida como um corpo de rocha que apresenta uma combinação característica de litologias, estruturas físicas e biológicas que o diferencie dos corpos de rochas adjacentes. A fácies é a representação de um processo deposicional específico, vinculado diretamente a um ambiente de sedimentação, visto que cada fácies apresenta características ligadas à sua formação, como estruturas sedimentares, geometria do corpo, litologia, textura e conteúdo fossilífero. O termo fácies pode ser usado de maneira descritiva ou interpretativa, porém neste trabalho as fácies foram definidas apenas de maneira descritiva. O código de fácies utilizado no Projeto Mucuri para a denominação das fácies descritas nos testemunhos foi uma modificação da nomenclatura proposta por Miall (1977). A nomenclatura baseia-se no uso, fundamentalmente de duas letras: a primeira, maiúscula, mostra o tamanho modal de grão da rocha; a segunda, minúscula, indica a estrutura sedimentar predominante.

A análise de cada fácies isoladamente não fornece um ambiente deposicional, visto que um mesmo processo deposicional pode ocorrer em mais de um ambiente.

Para se estabelecer adequadamente o ambiente deposicional, é necessário a análise de um conjunto de fácies geneticamente relacionadas entre si, que possuam relação em termos de ambiente de deposição, denominado de associação de fácies (Collinson, 1969). Sendo assim, através da caracterização de associações de fácies é possível interpretar e inferir os ambientes deposicionais atuantes na formação do intervalo estudado. O fluxograma (Figura 9) ilustra a sequência de etapas necessárias para obter um modelo deposicional utilizando o método descritivo de análise de fácies. Por meio das associações de fácies é possível interpretar e inferir os ambientes deposicionais atuantes na formação do intervalo estudado.

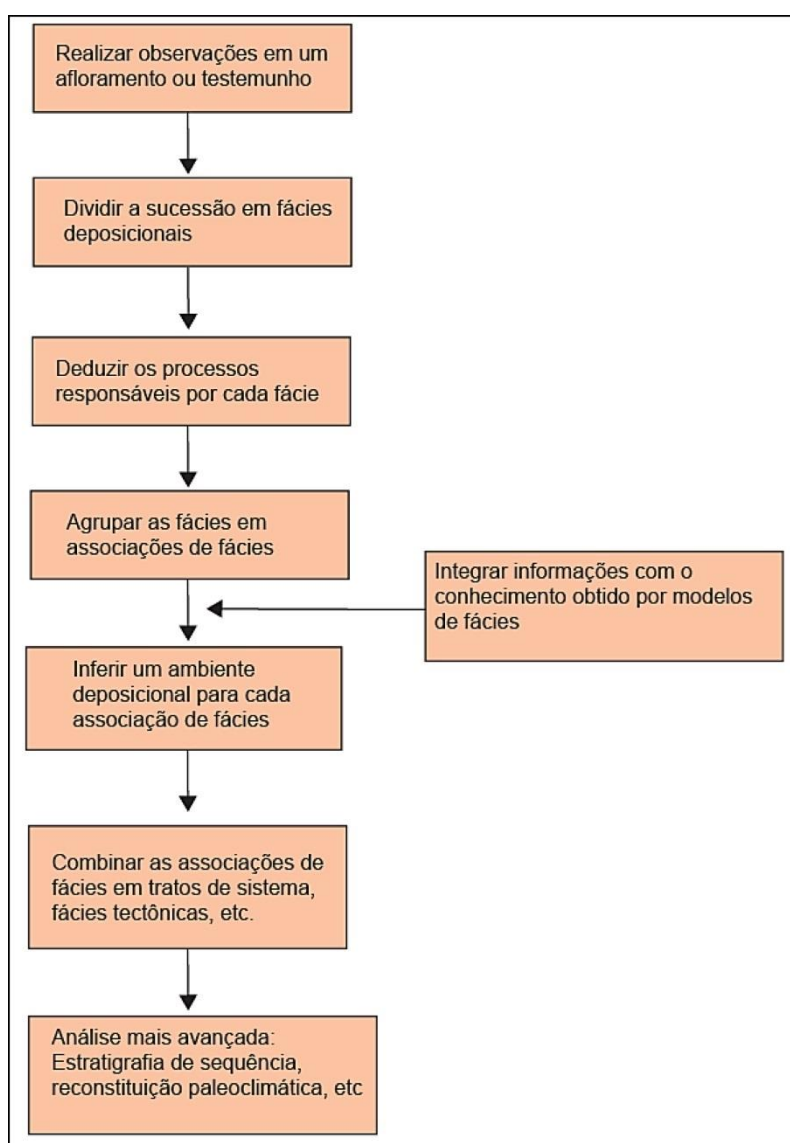


Figura 9: Fluxograma que ilustra a progressão de etapas para o método descritivo de análise de fácies. Modificado de Dalrymple (2010).

## RESULTADOS

### Fácies Depositionais

Althaus (2017) e o *Projeto Mucuri* (Kuchle, De Ros *et al.*, 2018) definiram dezoito fácies deposicionais para o Membro Mucuri, correspondendo à quatro fácies conglomeráticas, nove areníticas, duas heterolíticas e três pelíticas.. Neste estudo, foram examinadas quatorze dessas fácies, sumarizadas na Tabela 2, com algumas das principais fácies mostradas na Figura 10.

Tabela 2: Tabela de fácies deposicionais do Membro Mucuri (Althaus, 2017).

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>	<b>Interpretação</b>
<b>Gm</b>	Conglomerado arenoso de grânulo a seixo, clasto suportado e maciço, com clastos variando de subangulosos a subarredondados	Rápida deposição por fluxos de sedimentos hiperconcentrados.
<b>Gl/Gh</b>	Conglomerado arenoso de grânulo a seixo, clasto suportado, com estratificação cruzada de baixo ângulo ou laminação horizontal.	Barras longitudinais.
<b>Sm</b>	Arenito grosso a muito grosso, moderadamente selecionado, maciço. Abundantes grânulos e seixos	Rápida deposição por fluxos de sedimentos hiperconcentrados ou deformação pós-deposicional por fluidização.
<b>SI</b>	Arenito fino a médio, moderado a bem selecionado, com estratificação cruzada de baixo ângulo. Possui fragmentos carbonosos orientados conforme a laminação.	Dunas atenuadas (transição entre fluxo subcrítico e supercrítico).
<b>Sh</b>	Arenito médio a muito grosso, mal a moderadamente selecionado, com laminação horizontal.	Acamamento planar originado por regime de fluxo superior.

<b>St</b>	Arenito médio, moderadamente selecionado. Apresenta estratificação cruzada tangencial.	Dunas arenosas subaquosas 3-D (regime de fluxo inferior).
<b>Sx</b>	Arenito médio a muito grosso, mal selecionado, com estratificação cruzada indistinta. Grânulos e seixos de granito e quartzo na base dos sets ou dispostos paralelos a estratificação	Dunas arenosas subaquosas (regime de fluxo inferior).
<b>Sr</b>	Arenito fino a médio com estratificações cruzadas tangenciais de pequeno porte (<5cm), sendo o ângulo de cavalgamento dos sets supercrítico ou subcrítico.	Marcas onduladas de corrente subaquosas 2-D e 3-D (regime de fluxo inferior).
<b>Sw</b>	Arenito fino a médio, bem selecionado, micáceo com laminações simétricas. Comum a presença de estruturas de deformação em sedimentos inconsolidados.	Marcas onduladas de onda formadas por fluxo oscilatório de baixa velocidade.
<b>Ssw</b>	Arenito fino a médio, bem selecionado, micáceo, com laminação truncada de grande porte ( <i>swalley</i> ).	Formas de leito do tipo <i>swalley</i> formada por fluxo oscilatório de alta energia, provavelmente associadas a tempestades.
<b>Swr</b>	Arenito fino a médio, bem selecionado, micáceo. Laminações onduladas com formas simétricas a fracamente assimétricas.	Intercalação entre marcas onduladas de onda e corrente, formadas por fluxos combinados com baixo diâmetro orbital e velocidade.
<b>Hrl</b>	Heterolitos caracterizados pela intercalação de arenitos muito finos a finos (0,5 a 1cm) e pelitos laminados (<1cm), gerando acamamentos do tipo <i>linsen</i> , <i>wavy</i> e <i>flaser</i> . Comumente bioturbados.	Alternância entre tração de correntes ( <i>ripples</i> de corrente) e suspensão.
<b>Fm</b>	Pelitos e arenitos muito finos maciços e micáceos	Decantação de finos em suspensão em ambientes de baixa energia. A ausência de laminação é relacionada provavelmente á floculação da argila em suspensão.
<b>FI</b>	Pelitos e arenitos muito finos maciços e micáceos, com laminação horizontal definida pela orientação das micas. Presença comum de fragmentos carbonáticos.	Decantação de finos em suspensão em ambientes de baixa energia.

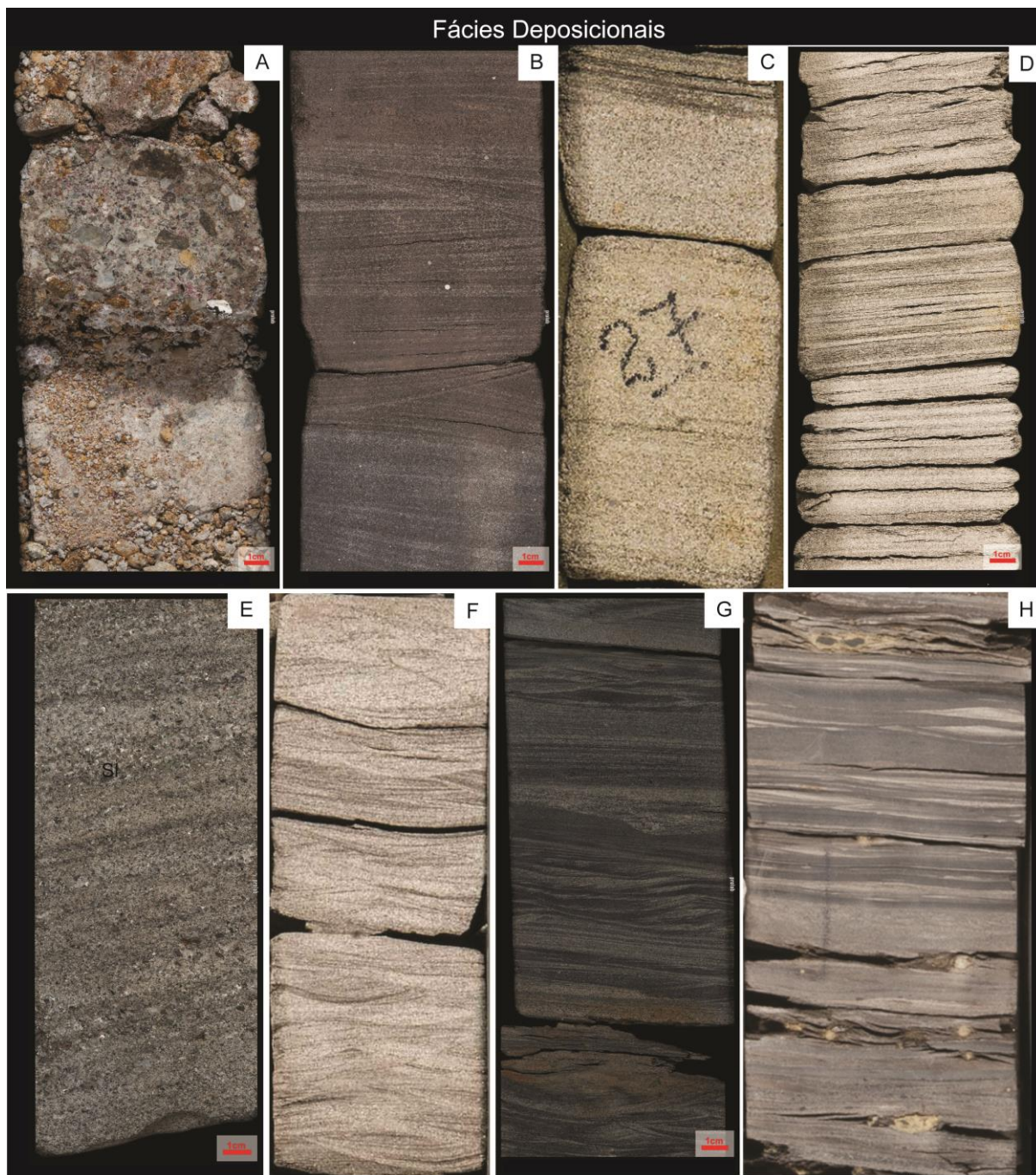


Figura 10: Fácies deposicionais principais do Membro Mucuri. (A) Conglomerado arenoso com grânulos e seixos (Gm); (B) arenito com estratificação cruzada swaley (Ssw); (C) arenito com estratificação cruzada indistinta (Sx); (D) arenito com laminação horizontal; (E) arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sl); (F) arenito com laminações de marcas onduladas de fluxo oscilatório (Swr); (G) arenitos com laminações cruzadas de marcas de corrente (Sr); (H) heterolito com acamamento lenticular com laminações de marcas onduladas de onda (Hwl).

## **Associações de Fácies**

Neste estudo foi utilizada uma associação de fácies representativa para cada ambiente deposicional identificado (fluvial e costeiro). Um perfil colunar de associação de fácies de canal fluvial foi selecionado para representar o sistema deposicional fluvial, e um perfil de associação de fácies de shoreface superior foi escolhido para representar o sistema costeiro.

### **Depósitos de Canais Fluviais**

A base da sucessão característica dos canais fluviais do Membro Mucuri (Figura 11) é constituída por conglomerados arenosos com grânulos e seixos subarredondados de quartzo, apresentando estrutura maciça (Gm) ou estratificação horizontal (Gh) (Kuchle, De Ros *et al.*, 2018). São sucedidos por arenitos médios a muito grossos, subordinadamente conglomeráticos, moderadamente a mal selecionados. Esses arenitos podem ser maciços (Sm) ou estratificados, apresentando estratificações cruzadas de baixo ângulo (Sl), estratificações cruzadas indistintas (Sx) e tangenciais (St) de pequeno porte, baixo ângulo e plano paralelas. Também há a ocorrência de arenitos com laminações horizontais (Sh) e laminações cruzadas de marcas onduladas (Sr). No topo da sucessão, são encontradas fácies de mais baixa energia, como heterolitos com marcas onduladas de corrente (Hrl) ou siltitos maciços (Fm) ou laminados (Fl). Essa associação de fácies é composta por ciclos granodecrescentes ascendentes de espessuras máximas de até 4m, com fragmentos carbonosos, grânulos e seixos de quartzo comumente marcando a estratificação ou base das camadas (Althaus, 2017).

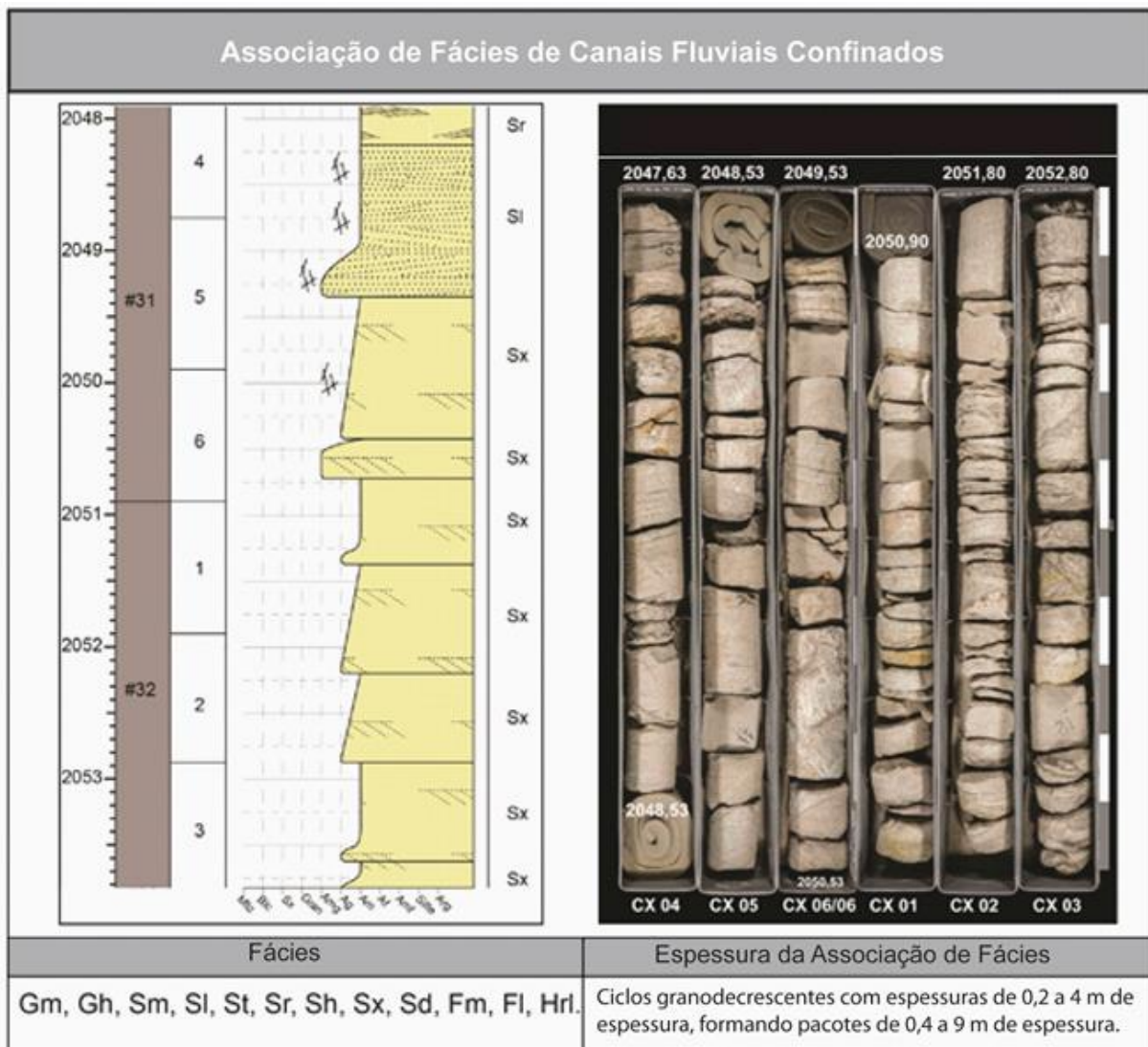


Figura 11: Seção colunar característica e fotografia de testemunhos da associação de fácies de canais fluviais pobremente confinados (Althaus, 2017). Tabela 2 para código de fácies.

### Depósitos Costeiros de Shoreface Superior

Althaus (2017) definiu essa associação de fácies como formada por arenitos finos a médios, bem a moderadamente selecionados, composta por pacotes de 0,5 a 19 metros de espessura. Esses arenitos apresentam intercalações entre estruturas típicas de fluxo oscilatório, fluxo combinado e unidirecional (Figura 12). São encontradas laminações truncadas de marcas onduladas de onda (Sw), de fluxo combinado onda-corrente (Swr), laminações cruzadas de *ripples* de corrente (Sr), estratificações cruzadas *swaley* (Ssw), laminações horizontais (Sh), estratificações cruzadas de baixo ângulo (Sl) e cruzadas indistintas (Sx). Por vezes, ocorrem arenitos médios a grossos e mal selecionados, possuindo grânulos e seixos de quartzo e granada, dispersos nas camadas da fácies (Sl).

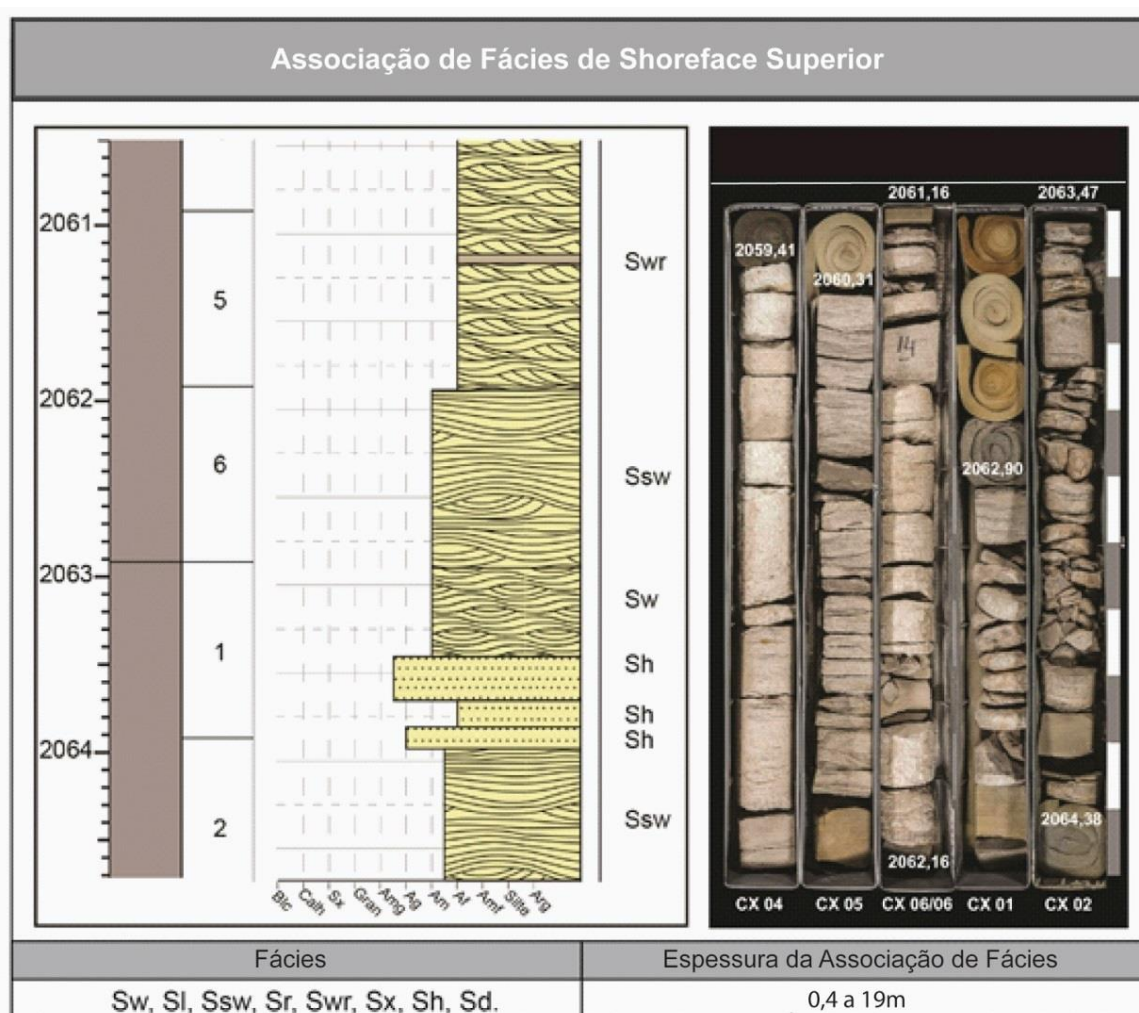


Figura 12: Seção colunar característica e fotografia de testemunhos da associação de fácies de *shoreface* superior (Althaus, 2017). Tabela 5 para código de fácies.



## Textura Primária

As rochas clásticas analisadas variam de arenitos a conglomerados arenosos, segundo a classificação textural de Folk (1968). Os depósitos costeiros correspondem majoritariamente a arenitos e arenitos conglomeráticos, enquanto os depósitos fluviais variam de arenitos a conglomerados arenosos (Figura 13).

Os depósitos fluviais são representados principalmente por arenitos médios a muito grossos, conglomeráticos, com a presença de alguns conglomerados arenosos (Figura 14A). Não apresentam matriz lamosa e possuem tipicamente fábricas sustentadas pelos grãos. Normalmente apresentam seleção de pobre a moderada (Figura 14B) e possuem estratificações irregulares, cruzadas ou paralela, ou comumente estrutura maciça e orientação caótica (Figura 14C). A forma dos grãos varia de angular a subarredondada e esfericidade varia de baixa a alta, predominantemente média.

Os depósitos costeiros são representados dominantemente por arenitos finos a muito finos, de bem a moderadamente selecionados, comumente com laminação cruzada uni- ou bidirecional, ou paralela (Figura 14D). É comum a presença de níveis de concentração de micas, especialmente biotita, definindo a laminação (Figura 14E), que pode apresentar feições de deformação pós-deposicional, como bioturbação ou fluidização (Figura 14F).

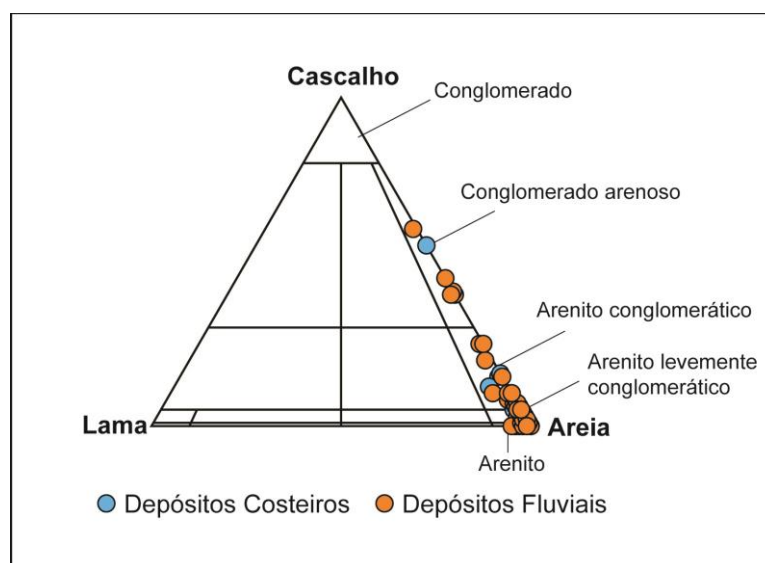


Figura 13: Classificação textural de Folk (1968) das amostras analisadas de depósitos fluviais e costeiros do Membro Mucuri.

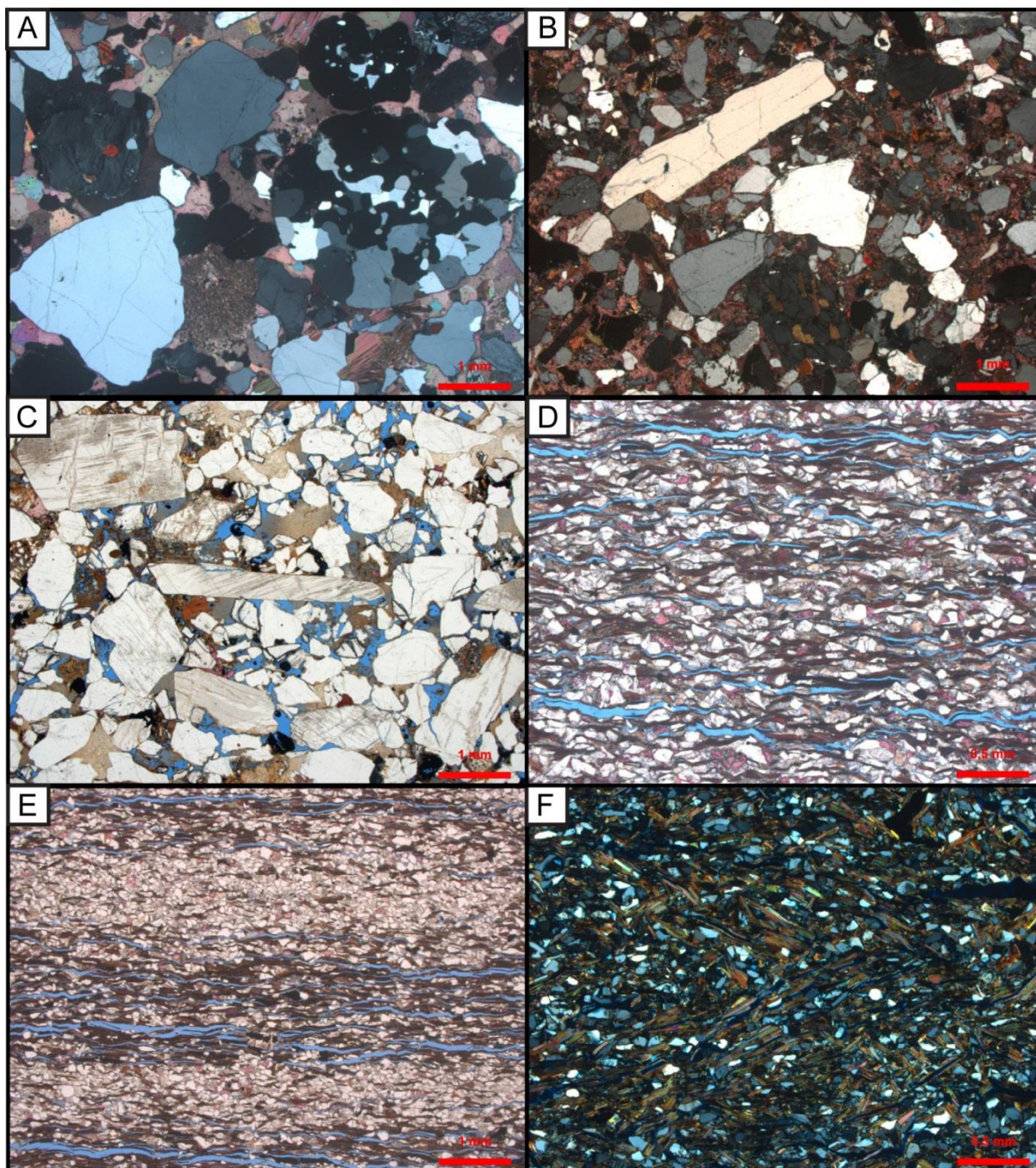


Figura 14: A) Arenito conglomerático fluvial, suportado pelos grãos. Polarizadores cruzados (XP). B) Arenito fluvial apresentado má seleção e grãos subangulosos. XP. C) Arenito fluvial maciço, com orientação caótica dos grãos alongados. Polarizadores descruzados (//P). D) Arenito costeiro fino, laminado e moderadamente selecionado, com abundância em biotita. //P. E) Arenito costeiro fino com laminação definida por níveis de concentração de biotita. //P. F) Arenito costeiro fino, rico em biotita, com laminação deformada por fluidização. XP.

## Composição Detrítica

Os arenitos e conglomerados fluviais e costeiros apresentam uma composição original rica em feldspatos, sendo classificados como arcósios *sensu* Folk (1968) (Figura 15A). A composição atual mostra limitada modificação da composição original pela dissolução e substituição de feldspatos, que promoveram enriquecimento relativo em quartzo, mas permanecendo no campo dos arcósios (Figura 15B).

O quartzo é predominantemente monocristalino, tanto nas amostras costeiras como nas fluviais. O microclínio é o feldspato mais abundante, correspondendo a 44% dos feldspatos nas amostras costeiras e 42% nas fluviais (anexos). Os feldspatos potássicos (microclínio, ortoclásio e pertita) predominam sobre o plagioclásio, representando 79% e 82% do total de feldspatos.

É comum a ocorrência de fragmentos de rocha plutônicos granítico-gnáissicos, principalmente nas amostras mais grossas (Figura 16A). Os únicos outros fragmentos de rocha dignos de nota são os de serpentinito. A granada (Figura 16B e 16C) é o mineral pesado mais abundante, aparecendo localmente concentrada em níveis (Figura 16C). Também é comum a presença de fragmentos carbonosos, muitas vezes com estrutura celular preservada (Figura 16D). A biotita é o mineral acessório mais comum aparecendo em maiores concentrações principalmente nos depósitos costeiros (Figura 17). Processos diagenéticos, como a expansão e deslocamento por calcita (Figura 16F), são comuns.

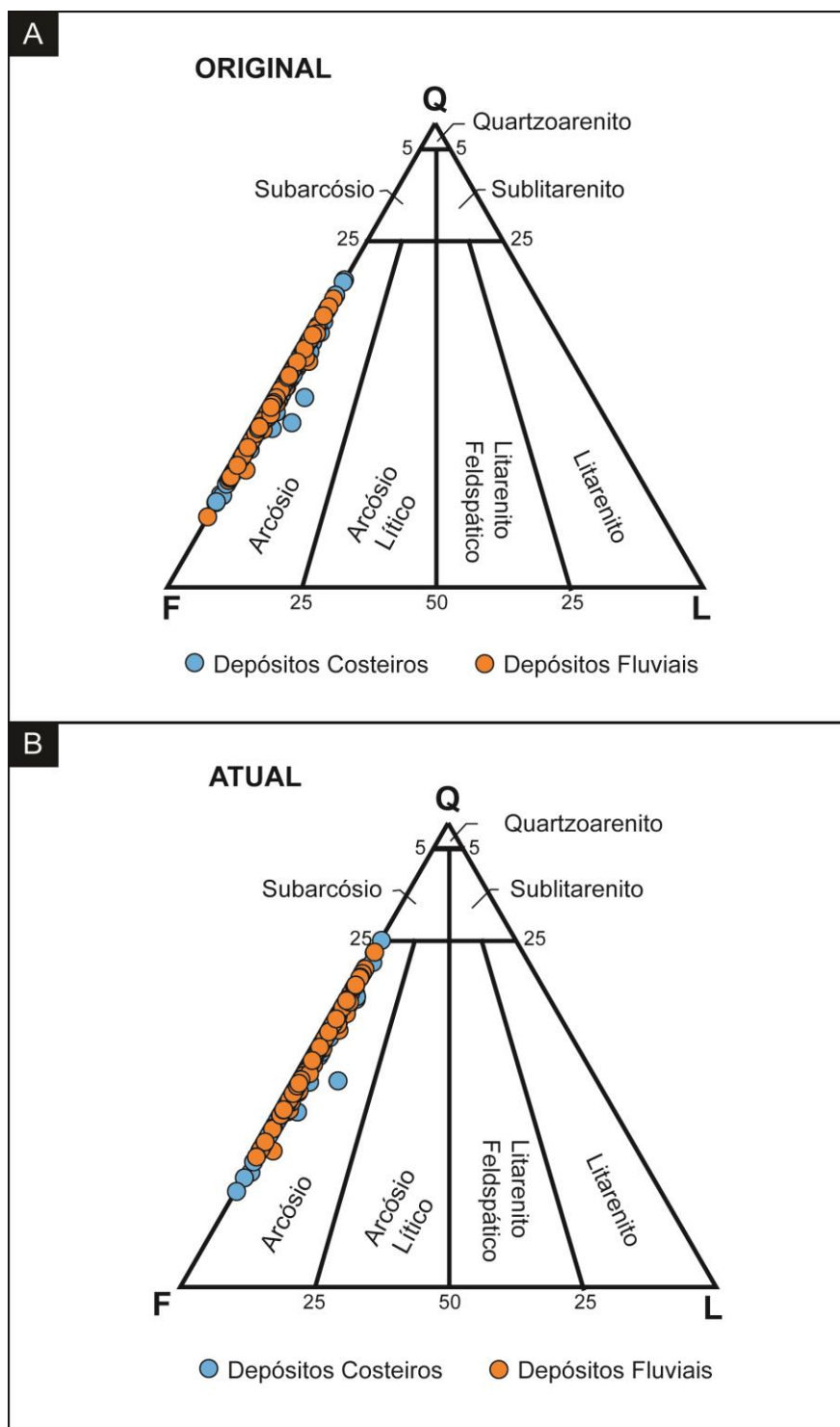


Figura 15: A) Composição primária original das amostras analisadas, plotadas no diagrama de Folk (1968). B) Composição atual das amostras analisadas, relativamente enriquecida em quartzo em relação à original devido à dissolução e substituição de feldspatos.

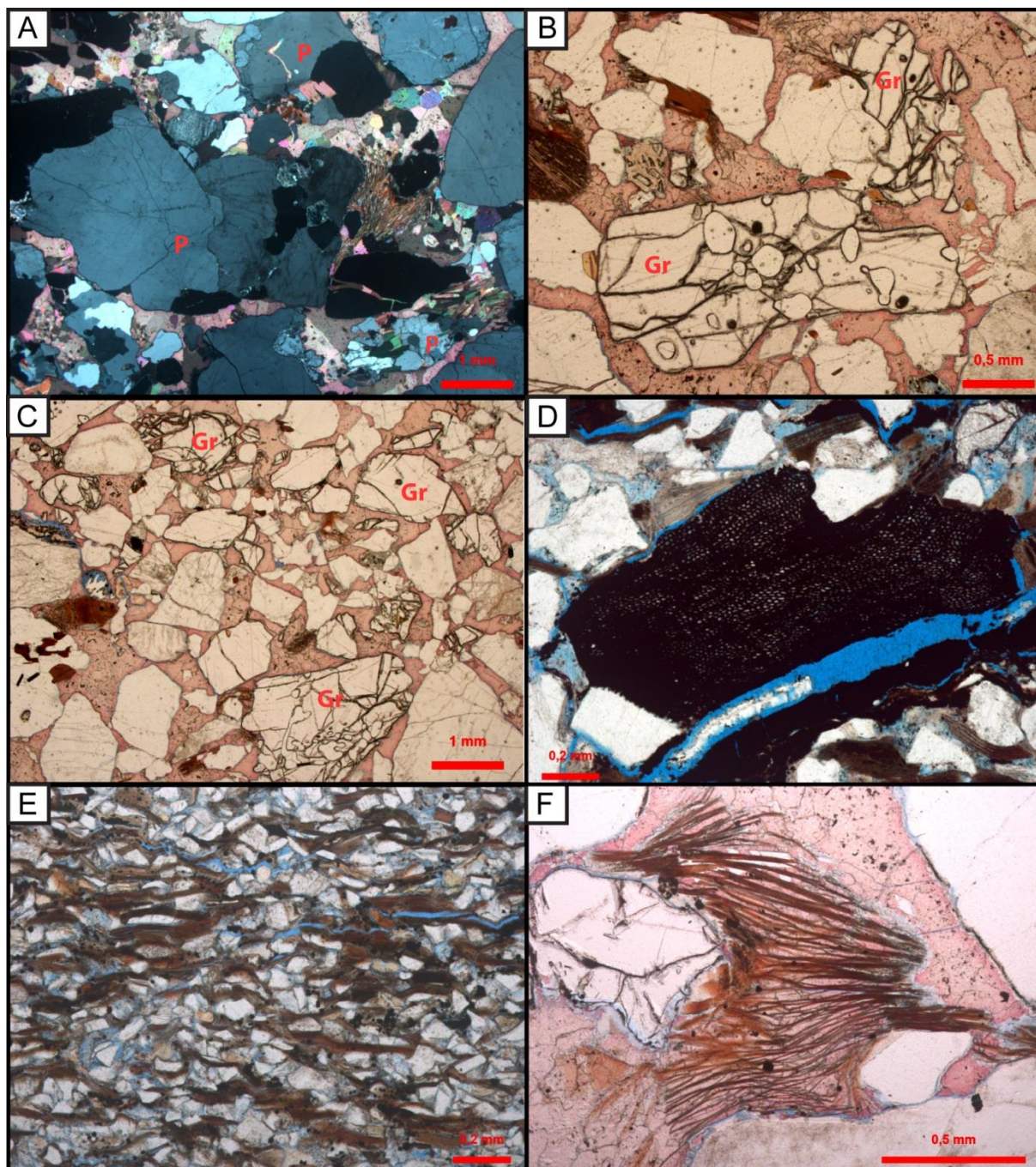


Figura 16: A) Abundância de fragmentos plutônicos (P) em conglomerado arenoso fluvial. XP. B) Fragmento plutônico constituído por granada(Gr) e quartzo em arenito conglomerático fluvial. //P. C) Concentração de grãos de granada fraturados em um arenito fluvial. //P. D) Fragmento carbonoso com estrutura celular preservada em arenito costeiro. //P. E) Abundância de biotita em arenito costeiro. //P. F) Biotita expandida pela precipitação precoce de calcita. //P.

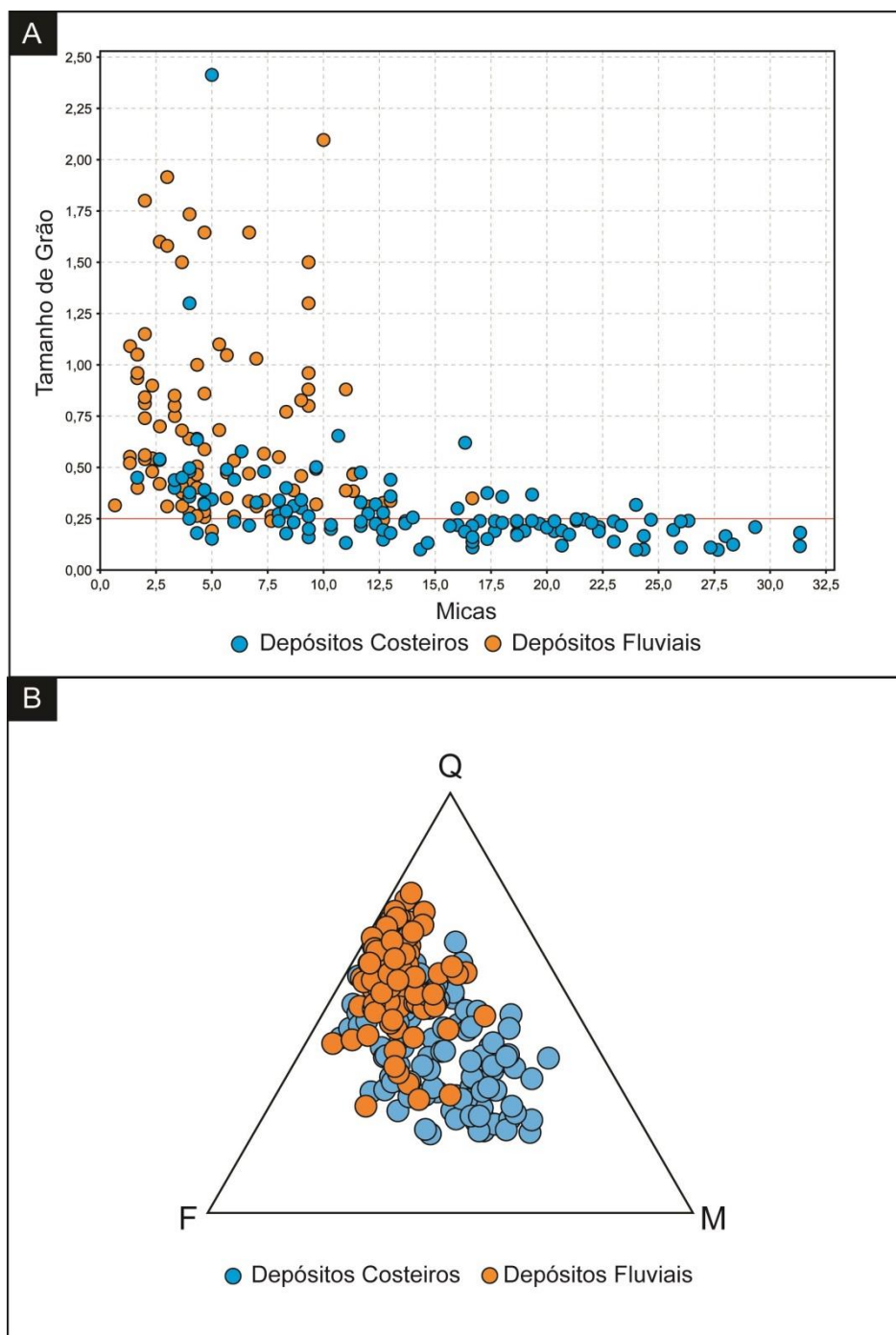


Figura 17: A) Gráfico que demonstra a maior concentração de micas (biotita) nos depósitos com tamanho modal mais fino do ambiente costeiro. Os depósitos fluviais apresentam, via de regra, tamanho modal mais grosso e teores menores de biotita. B) Diagrama ternário que mostra a maior proporção de micas em relação ao quartzo e feldspato detríticos nos arenitos costeiros.

## Análise Textural dos Parâmetros Granulométricos

A análise textural avançada das 50 amostras analisadas obteve valores de média gráfica, desvio padrão, assimetria e curtose, utilizando o método de Folk & Ward (1957) (Tabela 3) e o método de momentos matemáticos de Friedman (1961) (Tabela 4). Os valores de média gráfica e desvio padrão não apresentam uma grande variação entre os métodos, porém os valores de assimetria e curtose se mostram bastante diferentes.

Tabela 3: Parâmetros de distribuição granulométrica para média gráfica (M), desvio padrão (Sd), assimetria (Sk) e Curtose (K) das amostras analisadas, segundo Folk & Ward (1957)

Amostra	Amb. Deposicional	M ( $\Phi$ )	Sd ( $\Phi$ )	Sk ( $\Phi$ )	K ( $\Phi$ )
<b>MUC 991.90</b>	Fluvial	0.64	1.32	0.133	0.81
<b>MUC 984.2</b>	Fluvial	0.13	1.16	0.017	0.78
<b>MUC 1080.28</b>	Fluvial	1.60	1.20	0.018	0.94
<b>MUC 1119.60</b>	Fluvial	1.38	1.02	-0.006	0.95
<b>MUC 1488.50</b>	Fluvial	1.06	0.69	0.154	1.18
<b>MUC 1094.20</b>	Fluvial	0.33	1.01	0.165	0.88
<b>MUC 1550.70</b>	Fluvial	1.28	0.89	-0.058	0.95
<b>MUC 2066.40</b>	Fluvial	0.90	0.93	0.167	1.15
<b>MUC 2041.50</b>	Fluvial	1.64	0.66	-0.120	1.16
<b>MUC 1148.95</b>	Fluvial	0.95	0.85	0.064	0.89
<b>MUC 1139.60</b>	Fluvial	0.05	1.05	0.028	1.03
<b>MUC 1123.90</b>	Fluvial	1.06	1.02	0.183	0.86
<b>MUC 1035.30</b>	Fluvial	0.60	1.10	0.076	0.88
<b>MUC 565.00</b>	Fluvial	1.06	1.13	-0.023	0.96
<b>MUC 990.3</b>	Fluvial	1.36	1.34	-0.199	1.05

<b>MUC 997.30</b>	Fluvial	1.39	0.84	-0.161	1.35
<b>MUC 1008.68</b>	Fluvial	0.41	1.08	0.089	0.87
<b>MUC 1461.85</b>	Fluvial	1.68	0.70	0.054	1.24
<b>MUC 754.10</b>	Fluvial	0.92	0.76	0.024	1.13
<b>MUC 1979.00</b>	Fluvial	1.45	0.69	0.052	1.01
<b>MUC 2070.80</b>	Fluvial	2.00	0.73	0.279	1.16
<b>MUC 1202.75</b>	Fluvial	1.61	0.90	-0.081	1.07
<b>MUC 1196.90</b>	Fluvial	1.30	0.98	0.040	0.86
<b>MUC 1360.80</b>	Fluvial	0.15	0.83	0.244	1.04
<b>MUC 1322.40</b>	Fluvial	0.22	0.79	0.798	1.08
<b>MUC 3758.95</b>	Costeiro	3.28	0.55	-0.019	0.94
<b>MUC 646.40</b>	Costeiro	2.60	0.67	0.053	1.11
<b>MUC 1679.70</b>	Costeiro	2.43	0.56	0.079	1.19
<b>MUC 1581.70</b>	Costeiro	2.67	0.53	-0.121	0.96
<b>MUC 46 1016.6</b>	Costeiro	3.46	0.52	-0.041	0.99
<b>MUC 1563.60</b>	Costeiro	3.06	0.72	-0.014	1.22
<b>MUC 2030.55</b>	Costeiro	2.54	0.63	0.153	1.14
<b>MUC 2046.60</b>	Costeiro	2.69	0.53	0.039	1.04
<b>MUC 2085.60</b>	Costeiro	2.37	0.67	0.230	1.04
<b>MUC 1149.70</b>	Costeiro	2.07	0.70	0.180	1.03
<b>MUC 1046.3</b>	Costeiro	3.76	0.66	0.092	0.97
<b>MUC 1002.7</b>	Costeiro	2.84	0.54	0.196	1.13
<b>MUC 1433.00</b>	Costeiro	2.98	0.74	-0.005	1.04
<b>MUC 1044.36</b>	Costeiro	2.78	0.61	0.135	1.13
<b>MUC 1029.90</b>	Costeiro	2.80	0.62	-0.103	0.97
<b>MUC 994.20</b>	Costeiro	2.51	0.70	-0.146	1.00
<b>MUC 1422.15</b>	Costeiro	2.31	0.68	-0.059	0.99



<b>MUC 1454.80</b>	Costeiro	2.83	0.64	0.097	1.07
<b>MUC 2091.80</b>	Costeiro	2.28	0.58	0.038	1.08
<b>MUC 1216.80</b>	Costeiro	3.07	0.55	-0.204	0.91
<b>MUC 1016.77</b>	Costeiro	3.13	0.56	0.028	1.00
<b>MUC 1318.83</b>	Costeiro	2.15	0.59	-0.048	1.06
<b>MUC 1306.74</b>	Costeiro	3.52	0.56	-0.038	1.03
<b>MUC 1362.95</b>	Costeiro	2.82	0.65	0.009	0.98
<b>MUC 1079.3</b>	Costeiro	2.70	0.64	-0.129	0.92

Tabela 4: Parâmetros de distribuição granulométrica para média gráfica (M), desvio padrão (Sd), assimetria (Sk) e Curtose (K) das amostras analisadas, segundo medições de momentos matemáticos (Friedman, 1961).

<b>Amostra</b>	<b>Amb. Depositional</b>	<b>M (<math>\Phi</math>)</b>	<b>Sd (<math>\Phi</math>)</b>	<b>Sk (<math>\Phi</math>)</b>	<b>K (<math>\Phi</math>)</b>
<b>MUC 991.90</b>	Fluvial	0.66	1.31	0.29	2.36
<b>MUC 984.2</b>	Fluvial	0.17	1.16	0.16	2.29
<b>MUC 1080.28</b>	Fluvial	1.62	1.16	0.07	2.42
<b>MUC 1119.60</b>	Fluvial	1.41	1.05	0.17	2.67
<b>MUC 1488.50</b>	Fluvial	1.10	0.70	0.73	3.84
<b>MUC 1094.20</b>	Fluvial	0.36	1.02	0.15	2.51
<b>MUC 1550.70</b>	Fluvial	1.29	0.92	0.20	3.00
<b>MUC 2066.40</b>	Fluvial	0.96	0.97	0.67	3.37
<b>MUC 2041.50</b>	Fluvial	1.62	0.70	-0.33	3.65
<b>MUC 1148.95</b>	Fluvial	0.97	0.90	0.33	3.04
<b>MUC 1139.60</b>	Fluvial	0.02	1.01	0.06	2.47
<b>MUC 1123.90</b>	Fluvial	1.09	1.02	0.40	2.43
<b>MUC 1035.30</b>	Fluvial	0.61	1.09	0.10	2.51
<b>MUC 565.00</b>	Fluvial	1.04	1.13	-0.19	2.81
<b>MUC 990.3</b>	Fluvial	1.33	1.37	-0.61	2.75
<b>MUC 997.30</b>	Fluvial	1.35	0.90	-0.86	4.33
<b>MUC 1008.68</b>	Fluvial	0.44	1.08	0.23	2.47
<b>MUC 1461.85</b>	Fluvial	1.69	0.72	0.15	3.43
<b>MUC 754.10</b>	Fluvial	0.91	0.79	0.09	3.58
<b>MUC 1979.00</b>	Fluvial	1.47	0.71	-0.10	3.19
<b>MUC 2070.80</b>	Fluvial	2.01	0.74	0.75	3.29
<b>MUC 1202.75</b>	Fluvial	1.59	0.90	-0.09	3.03
<b>MUC 1196.90</b>	Fluvial	1.30	0.97	0.11	2.41
<b>MUC 1360.80</b>	Fluvial	0.15	0.84	0.60	3.14

<b>MUC 1322.40</b>	Fluvial	0.23	0.81	0.68	3.09
<b>MUC 3758.95</b>	Costeiro	3.28	0.59	-0.39	4.59
<b>MUC 646.40</b>	Costeiro	2.63	0.70	0.28	3.21
<b>MUC 1679.70</b>	Costeiro	2.46	0.60	0.67	4.15
<b>MUC 1581.70</b>	Costeiro	2.67	0.55	-0.32	3.45
<b>MUC 46 1016.6</b>	Costeiro	3.46	0.53	-0.26	3.02
<b>MUC 1563.60</b>	Costeiro	3.06	0.72	-0.15	2.95
<b>MUC 2030.55</b>	Costeiro	2.54	0.67	0.41	3.43
<b>MUC 2046.60</b>	Costeiro	2.72	0.55	0.32	3.65
<b>MUC 2085.60</b>	Costeiro	2.39	0.69	0.65	3.38
<b>MUC 1149.70</b>	Costeiro	2.07	0.74	0.54	3.53
<b>MUC 1046.3</b>	Costeiro	3.77	0.67	0.17	2.76
<b>MUC 1002.7</b>	Costeiro	2.85	0.58	0.79	4.64
<b>MUC 1433.00</b>	Costeiro	2.97	0.74	-0.09	2.96
<b>MUC 1044.36</b>	Costeiro	2.77	0.61	0.22	3.28
<b>MUC 1029.90</b>	Costeiro	2.77	0.65	-0.19	3.24
<b>MUC 994.20</b>	Costeiro	2.49	0.77	-0.46	3.67
<b>MUC 1422.15</b>	Costeiro	2.31	0.69	-0.31	3.44
<b>MUC 1454.80</b>	Costeiro	2.85	0.65	0.46	3.26
<b>MUC 2091.80</b>	Costeiro	2.29	0.57	0.18	3.10
<b>MUC 1216.80</b>	Costeiro	3.05	0.57	-0.38	3.13
<b>MUC 1016.77</b>	Costeiro	3.13	0.60	-0.32	3.92
<b>MUC 1318.83</b>	Costeiro	2.15	0.59	0.17	3.12
<b>MUC 1306.74</b>	Costeiro	3.52	0.59	-0.06	3.25
<b>MUC 1362.95</b>	Costeiro	2.83	0.68	0.04	2.99
<b>MUC 1079.3</b>	Costeiro	2.69	0.67	-0.50	3.37

### Grau de Seleção x Tamanho de Grão

A plotagem dos valores de tamanho médio e seleção gerados pela análise textural avançada de 50 amostras no gráfico de Folk & Ward (1957) mostrou excelente separação do tamanho modal e grau de seleção entre as amostras fluviais e costeiras (Figura 18). Os depósitos fluviais variam de médios a muito grossos e sua seleção varia de muito pobre a moderada, com o predomínio de arenitos pobremente selecionados. Já os depósitos costeiros são predominantemente muito finos e moderadamente selecionados.

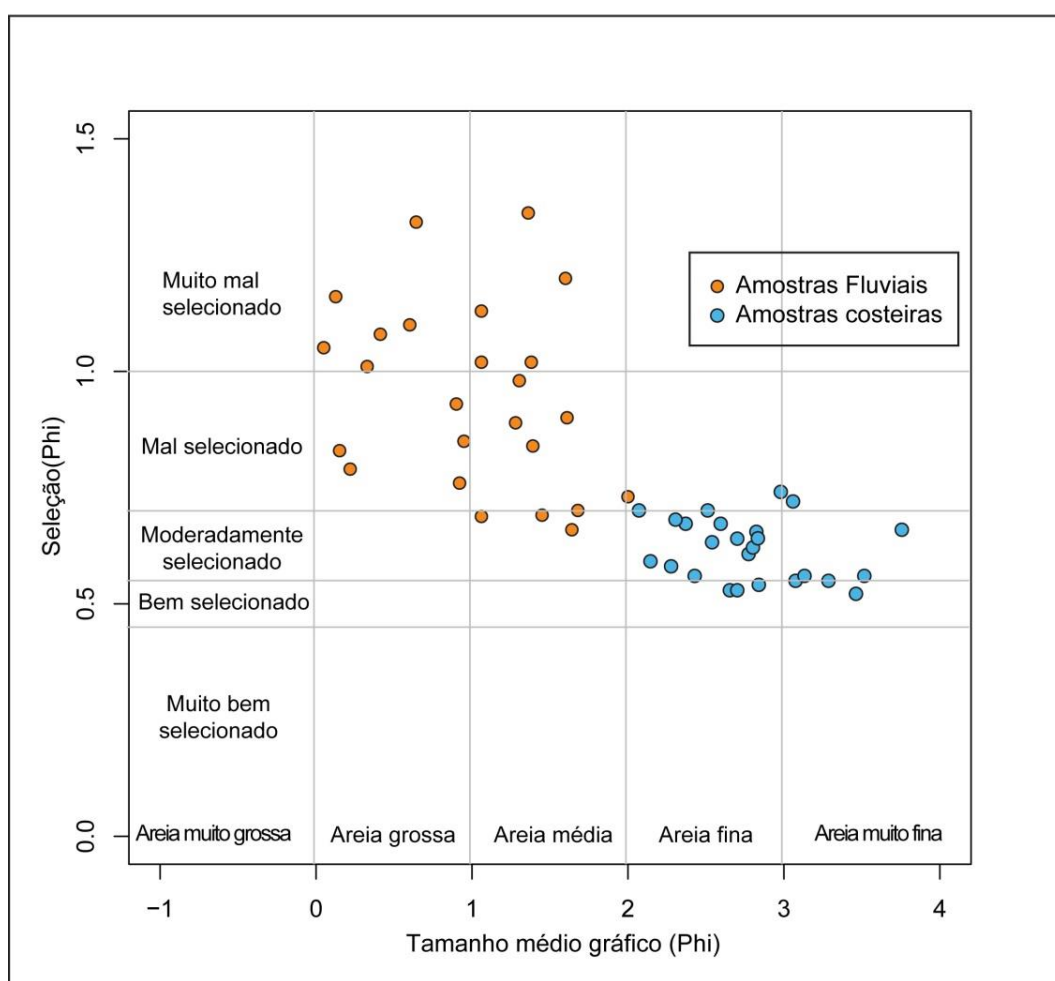


Figura 18: Gráfico de Seleção x Tamanho médio dos grãos para as amostras fluviais e costeiras, utilizando Folk & Ward (1957). As amostras costeiras apresentam consistentemente melhor seleção que as amostras fluviais.

### Assimetria Granulométrica

A análise de assimetria granulométrica dos depósitos do Membro Mucuri (Figura 19), utilizando o método de momentos matemáticos de Friedman (1961), mostrou que as amostras fluviais apresentam assimetria predominantemente positiva, indicando um enriquecimento em grãos mais finos. Já as amostras costeiras apresentam assimetria tanto positiva quanto negativa, sendo as amostras negativas resultado de um enriquecimento em grãos mais grossos.

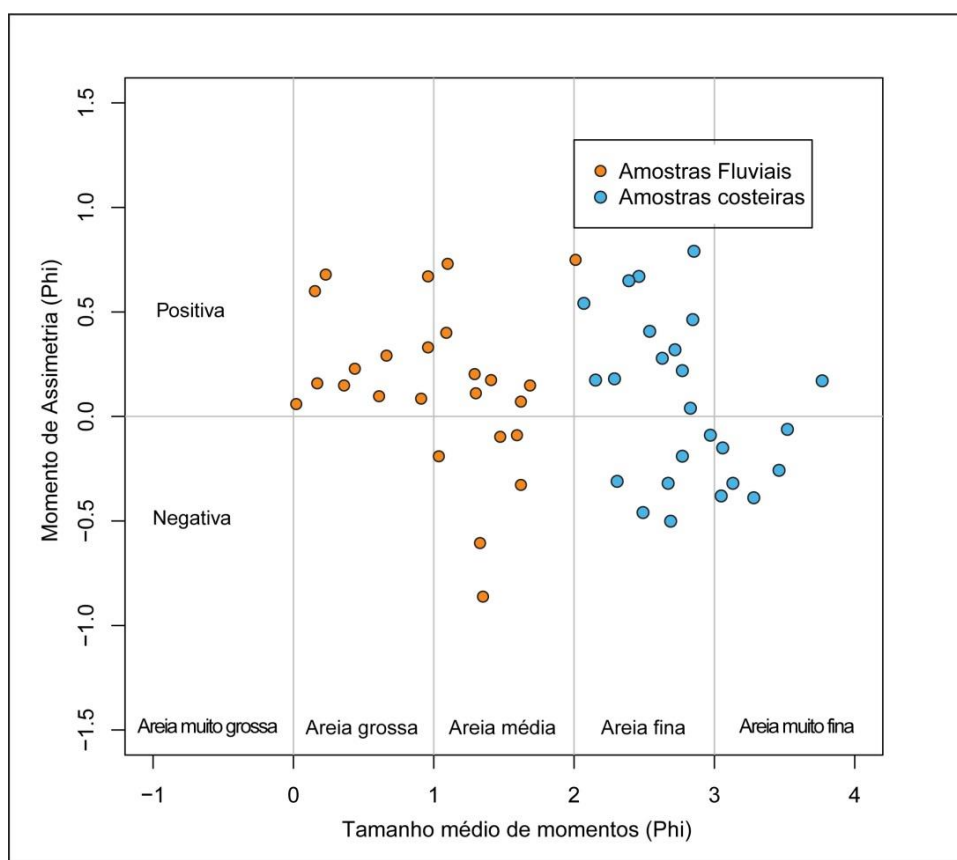


Figura 19: Gráfico de Momentos de Assimetria x Tamanho médio de momentos (Phi) de Friedman (1961) para as amostras fluviais e costeiras. As amostras fluviais apresentam assimetria predominantemente positiva, enquanto as amostras costeiras apresentam assimetria tanto positivas como negativas.

## Mecanismos de Transporte

Uma determinação gráfica dos mecanismos de transporte dos sedimentos costeiros e fluviais foi desenvolvida através da utilização do diagrama de Passega (1957, 1964), onde foram estabelecidas diferenças bem definidas entre as amostras dos dois sistemas deposicionais. As amostras fluviais ocupam a área I do gráfico (Figura 20), indicando que esses sedimentos foram transportados por processos de tração, como saltação e rolamento, e foram depositados próximos à sua área fonte ou transportados através de ambientes em que a sedimentação por suspensão era escassa. Já as amostras costeiras ocupam a área V do diagrama, que representa os sedimentos transportados majoritariamente por suspensão e por rolamento de grãos menores que 1mm, transportados previamente por longas distâncias por suspensão.

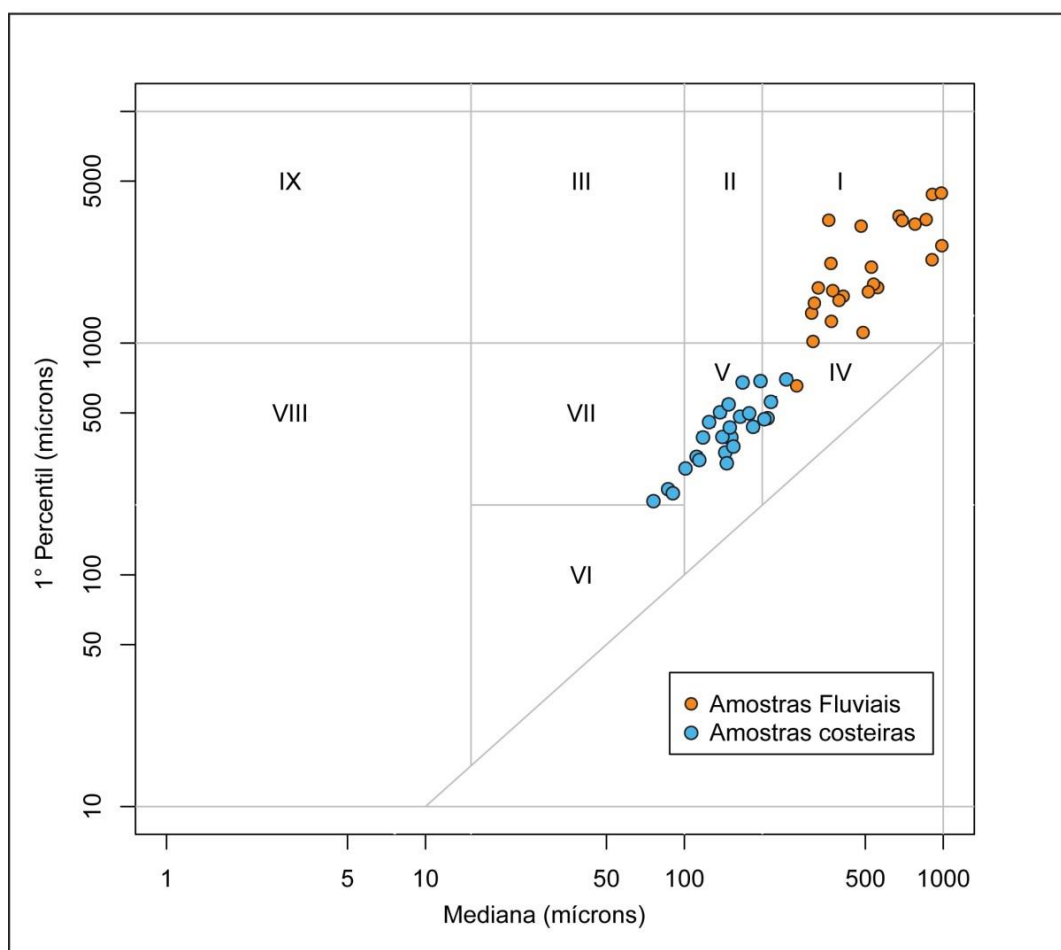


Figura 20: Determinação dos mecanismos de transporte dos sedimentos depositados no sistema fluvial e costeiro, utilizando o diagrama de Passega (1957,1964). As amostras fluviais ocupam o campo I, onde há o domínio de processos trativos, enquanto as costeiras ocupam o campo V, com domínio de transporte por suspensão.

### Distribuição Granulométrica Modal

Os resultados da Tabela 5 mostram que os depósitos costeiros são majoritariamente unimodais, com as poucas amostras bimodais caracterizadas pelo predomínio de silte misturado com areia fina nesses arenitos. Já os depósitos fluviais possuem uma distribuição granulométrica mais complexa, com amostras unimodais, bimodais e até trimodais.

Tabela 5: Tabela da distribuição de modas granulométricas das 50 amostras analisadas

Amb. Deposicional	Modas granulométricas		
	Unimodal	Bimodal	Trimodal
Nº de modas	(1)	(2)	(3)
Fluvial	14	10	1
Costeiro	19	6	-

### Velocidade de Decantação dos Grãos

A análise de velocidade de decantação para os grãos de quartzo, feldspato e mica das 50 amostras analisadas mostrou uma distinção clara entre as amostras fluviais e costeiras. Conforme mostram os gráficos de velocidade de decantação das amostras fluviais (Figura 21), os grãos de mica apresentam valores menores do que os grãos de quartzo e feldspato, indicando que não apresentam equivalência hidráulica. Já nas amostras costeiras (Figura 22), a velocidade de decantação para os três minerais analisados é aproximadamente a mesma, sugerindo que estes estão em equivalência hidráulica.

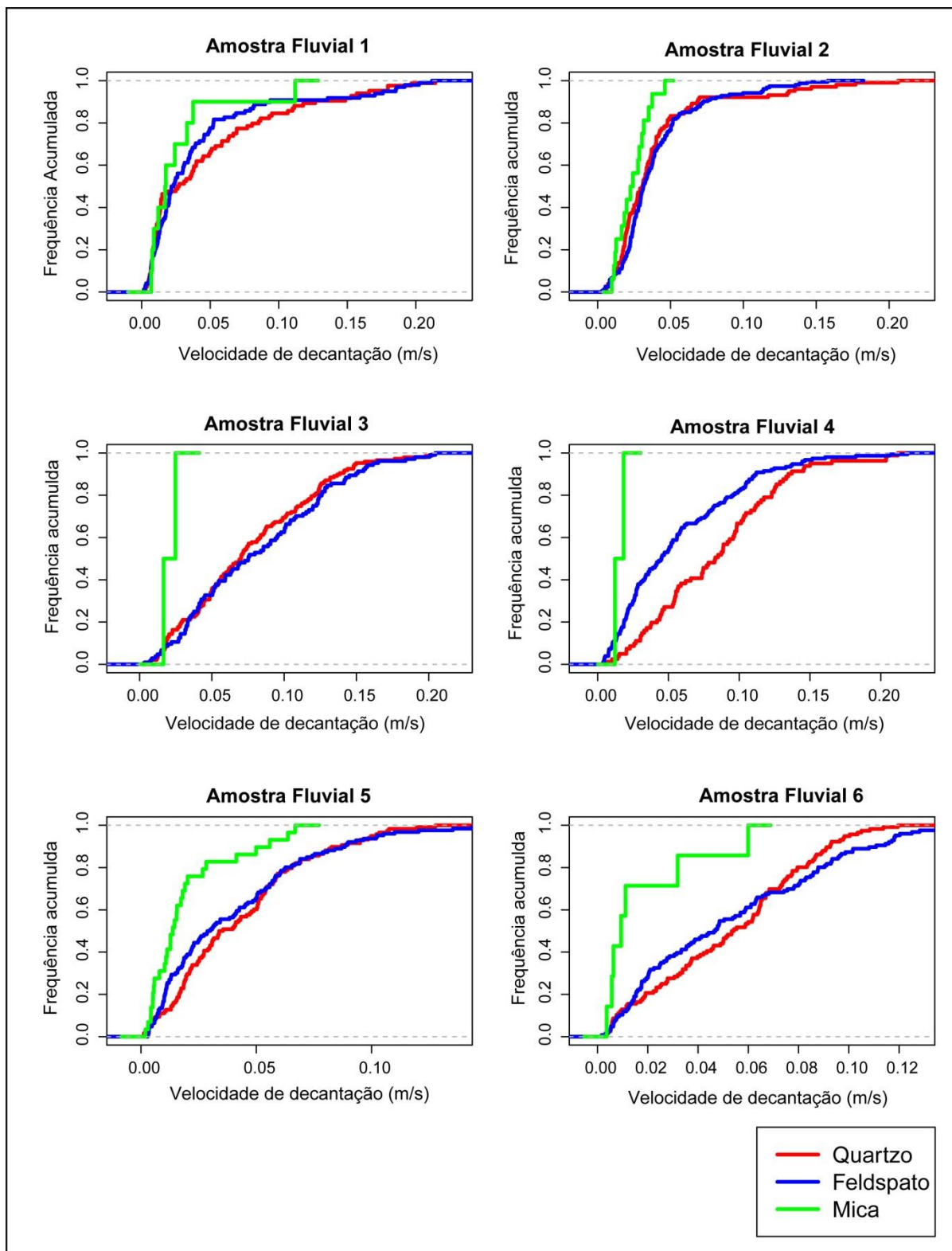


Figura 21: Gráficos de Frequência acumulada x Velocidade de decantação para os constituintes primários quartzo, feldspato e mica do ambiente fluvial. Como as amostras 3,4,5 e 6 revelam, os grãos de mica não apresentaram a mesma velocidade de decantação que os demais constituintes.



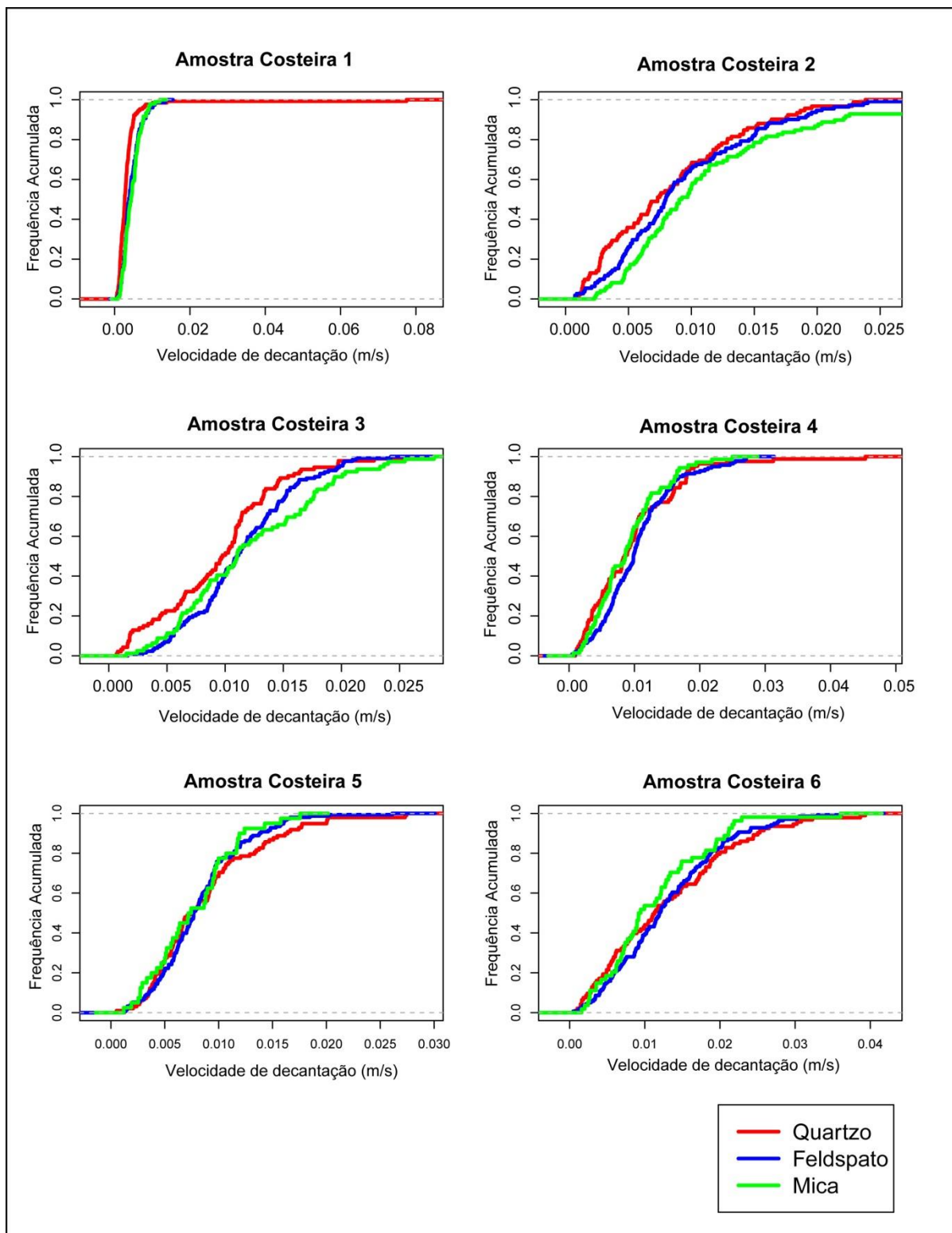


Figura 22: Gráficos de Frequência acumulada x Velocidade de decantação para os constituintes primários quartzo, feldspato e mica do ambiente costeiro. Neste ambiente a mica apresentou a mesma velocidade de decantação que os demais constituintes, indicando que estavam em equivalência hidráulica.

### **Relações entre Tamanho e Forma de Grão para Quartzo, Feldspato e Mica**

Foram determinados valores de Circularidade e Razão de Aspecto dos constituintes primários quartzo, feldspatos e micas das amostras analisadas, sumarizadas na (Tabela 6).

O tamanho médio de grão observado em cada ambiente deposicional concorda com as características texturais esperadas, com a fração de grãos mais grossos correspondendo aos sedimentos fluviais proximais e os mais finos aos depósitos costeiros mais distais (Figura 23). Nas amostras costeiras, observa-se que a granulometria da mica é consideravelmente maior que a do quartzo e feldspato, concordando com as características observadas na petrografia desses depósitos.

Os *diagramas boxplot* para circularidade e razão de aspecto (Figura 23) mostram que, para o caso da mica, ambos os parâmetros mostram diferenças consideráveis entre os dois ambientes deposicionais (ilustrado pela distância significativa entre a linha que representa a mediana de uma caixa com o corpo da outra caixa). As micas depositadas no ambiente costeiro possuem maior razão de aspecto e menor circularidade, indicando que possuem formas consideravelmente mais alongadas que as micas dos arenitos fluviais. Já as populações de quartzo e feldspatos analisadas não apresentam diferenças significativas destes parâmetros entre os ambientes deposicionais fluvial e costeiro.

Tabela 6: Valores de circularidade (C) e razão de aspecto (RA) dos constituintes primários Quartzo (Q), Feldspatos (F), Micas (M) das amostras analisadas.

Amostra	Amb.	Circul.	Circul.	Circul.	RA	RA	RA
	Deposicional	Q	F	M	Q	F	M
<b>MUC 991.90</b>	Fluvial	0.777	0.748	0.496	2.117	2.255	3.980
<b>MUC 984.2</b>	Fluvial	0.769	0.761	0.486	2.164	2.211	4.132
<b>MUC 1080.28</b>	Fluvial	0.792	0.739	0.56	2.048	2.316	3.738
<b>MUC 1119.60</b>	Fluvial	0.786	0.755	0.463	2.076	2.232	4.375
<b>MUC 1488.50</b>	Fluvial	0.792	0.748	0.614	2.052	2.261	3.044
<b>MUC 1094.20</b>	Fluvial	0.771	0.727	0.498	2.137	2.374	3.851
<b>MUC 1550.70</b>	Fluvial	0.739	0.72	0.497	2.295	2.432	4.348
<b>MUC 2066.40</b>	Fluvial	0.793	0.76	0.537	2.050	2.202	3.627
<b>MUC 2041.50</b>	Fluvial	0.772	0.748	0.443	2.139	2.264	4.740
<b>MUC 1148.95</b>	Fluvial	0.762	0.732	0.578	2.192	2.345	3.368
<b>MUC 1139.60</b>	Fluvial	0.755	0.734	0.583	2.221	2.336	3.458
<b>MUC 1123.90</b>	Fluvial	0.79	0.768	0.443	2.055	2.163	4.520
<b>MUC 1035.30</b>	Fluvial	0.744	0.726	0.385	2.261	2.373	4.987
<b>MUC 565.00</b>	Fluvial	0.738	0.742	0.49	2.311	2.293	4.309
<b>MUC 990.3</b>	Fluvial	0.761	0.72	0.545	2.194	2.446	3.759
<b>MUC 997.30</b>	Fluvial	0.796	0.761	0.538	2.035	2.192	3.838
<b>MUC 1008.68</b>	Fluvial	0.786	0.759	0.667	2.086	2.214	2.612
<b>MUC 1461.85</b>	Fluvial	0.768	0.745	0.432	2.163	2.299	4.701
<b>MUC 754.10</b>	Fluvial	0.774	0.726	0.485	2.133	2.392	4.474
<b>MUC 1979.00</b>	Fluvial	0.81	0.756	0.651	1.979	2.223	2.798
<b>MUC 2070.80</b>	Fluvial	0.822	0.778	0.494	1.913	2.120	3.990
<b>MUC 1202.75</b>	Fluvial	0.779	0.739	0.569	2.112	2.298	3.654
<b>MUC 1196.90</b>	Fluvial	0.767	0.758	0.562	2.169	2.204	3.761

<b>MUC 1360.80</b>	Fluvial	0.757	0.709	0.619	2.207	2.464	3.021
<b>MUC 1322.40</b>	Fluvial	0.749	0.721	0.647	2.253	2.412	2.819
<b>MUC 3758.95</b>	Costeiro	0.751	0.755	0.483	2.263	2.246	4.406
<b>MUC 646.40</b>	Costeiro	0.781	0.745	0.496	2.109	2.308	4.232
<b>MUC 1679.70</b>	Costeiro	0.769	0.747	0.475	2.166	2.274	4.361
<b>MUC 1581.70</b>	Costeiro	0.749	0.719	0.429	2.296	2.436	5.029
<b>MUC 46 1016.6</b>	Costeiro	0.77	0.726	0.513	2.17	2.386	3.958
<b>MUC 1563.60</b>	Costeiro	0.745	0.719	0.363	2.288	2.499	6.534
<b>MUC 2030.55</b>	Costeiro	0.757	0.714	0.41	2.228	2.444	5.752
<b>MUC 2046.60</b>	Costeiro	0.771	0.736	0.457	2.158	2.323	4.671
<b>MUC 2085.60</b>	Costeiro	0.773	0.734	0.429	2.139	2.336	5.22
<b>MUC 1149.70</b>	Costeiro	0.774	0.75	0.484	2.142	2.259	4.318
<b>MUC 1046.3</b>	Costeiro	0.759	0.731	0.382	2.247	2.384	5.815
<b>MUC 1002.7</b>	Costeiro	0.77	0.746	0.534	2.158	2.282	3.931
<b>MUC 1433.00</b>	Costeiro	0.751	0.718	0.454	2.242	2.454	4.453
<b>MUC 1044.36</b>	Costeiro	0.75	0.726	0.382	2.264	2.407	6.155
<b>MUC 1029.90</b>	Costeiro	0.738	0.712	0.395	2.324	2.468	5.851
<b>MUC 994.20</b>	Costeiro	0.75	0.735	0.461	2.267	2.355	4.448
<b>MUC 1422.15</b>	Costeiro	0.771	0.736	0.408	2.169	2.323	5.395
<b>MUC 1454.80</b>	Costeiro	0.77	0.747	0.443	2.158	2.276	4.518
<b>MUC 2091.80</b>	Costeiro	0.79	0.724	0.452	2.069	2.41	4.841
<b>MUC 1216.80</b>	Costeiro	0.765	0.73	0.491	2.189	2.353	4.575
<b>MUC 1016.77</b>	Costeiro	0.733	0.722	0.388	2.38	2.453	5.975
<b>MUC 1318.83</b>	Costeiro	0.753	0.734	0.501	2.244	2.351	4.227
<b>MUC 1306.74</b>	Costeiro	0.746	0.712	0.361	2.377	2.481	6.265
<b>MUC 1362.95</b>	Costeiro	0.735	0.709	0.403	2.358	2.504	5.703
<b>MUC 1079.3</b>	Costeiro	0.748	0.703	0.428	2.286	2.536	4.9

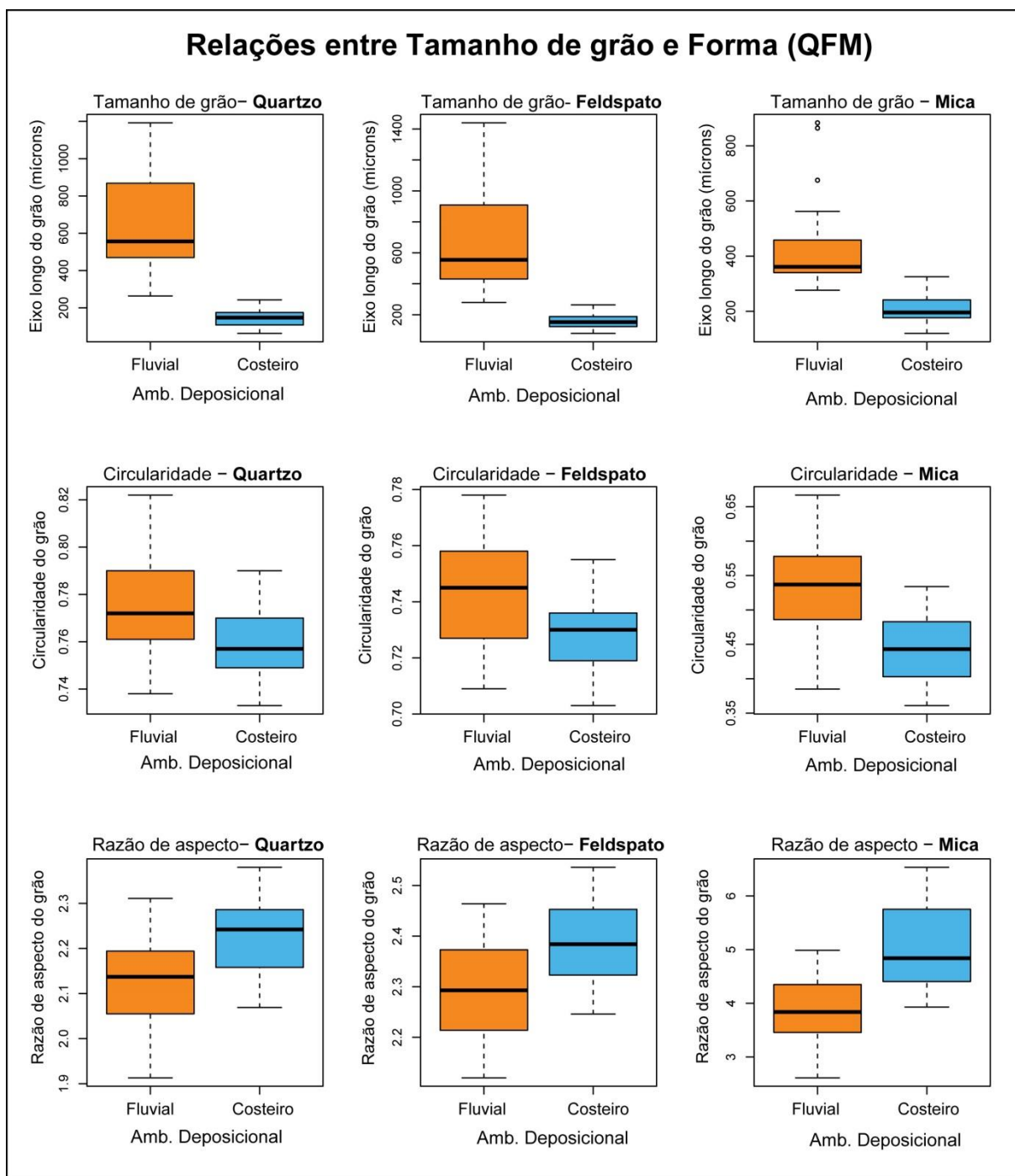


Figura 23: *Diagramas Boxplot* para os parâmetros de tamanho de grão, circularidade e razão de aspecto para quartzo, feldspato e mica entre amostras fluviais e costeiras. Observa-se que há uma diferença significativa (evidenciada pela distância entre os limites das caixas) entre as amostras e fluviais para a circularidade e a razão de aspecto.

## DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho, em conjunto com os dados do *Projeto Mucuri* (Kuchle, De Ros *et al.*, 2018) e com o estudo de modelos deposicionais análogos, realizado durante o levantamento bibliográfico, possibilitaram uma melhor compreensão das condições paleodeposicionais atuantes durante a sedimentação dos depósitos fluviais e costeiros do Membro Mucuri. Segundo Robbins (1983), o estudo de processos e sistemas deposicionais em lagos de riftes contemporâneos é uma importante ferramenta para a interpretação e caracterização de depósitos antigos formados em ambientes deposicionais análogos. Seguindo esse enfoque, os resultados desenvolvidos foram comparados com as texturas, fácies e processos deposicionais de ambientes deposicionais análogos ao Membro Mucuri.

### Aspectos Deposicionais do Ambiente Fluvial

A associação de fácies mostrada na Figura 11 apresenta diversas características faciológicas indicativas de deposição em um ambiente fluvial. A base da sucessão é formada por fácies conglomeráticas arenosas (Gm, Gh), que são resultado de uma rápida deposição por fluxos turbulentos de sedimentos hiperconcentrados e preenchimentos de dunas cascalhosas ou canais secundários, respectivamente. Esses fluxos hiperconcentrados representam as condições de mais alta descarga e energia do sistema fluvial, onde foram depositados os sedimentos mais grossos e com pior seleção do sistema. No estudo de Kwon *et al.* (2011), as fácies conglomeráticas da unidade Gampo Conglomerate, Bacia de Eoil, Coréia do Sul foram atribuídas à migração frontal e lateral de barras cascalhosas em canais entrelaçados rasos, associados a eventos sucessivos de descargas fluviais. A ausência de superfícies erosivas internas nesses conglomerados sugere que esses canais foram rapidamente preenchidos pelos sedimentos durante os eventos de descargas (Karcz, 1972).

As fácies arenosas do Mucuri são compostas por estratificações cruzadas formadas tipicamente a partir de formas de leito originadas por fluxos trativos, como dunas subaquosas e *ripples* de corrente. A ocorrência de corpos arenosos com tais estruturas, limitados por superfícies erosivas, juntamente com ciclos de granodecrescência ascendente são indicativos de uma associação de fácies de canais fluviais (Scherer *et al.*, 2007). A presença de bases erosivas entre esses ciclos representa deposição por fluxo turbulento (Selley, 1996). O predomínio de arenitos médios a muito grossos, aliado à presença de estratificações cruzadas tangenciais de pequeno porte e a ausência de estratificações cruzadas de grande porte evidenciam que esses canais fluviais eram rasos, provavelmente formados por inundações em lençóis (Blair, 2000). A intercalação das fácies que representam estruturas de regime de fluxo inferior (St e Sr), transicional (SI) e Superior (Sh), aponta variação nas descargas dos canais, sendo um forte indício do caráter efêmero desses afluentes. Os heterolitos e siltitos encontrados na porção superior dos ciclos granodecrescentes foram depositados no período final de inundação dos lençóis, onde ocorreu o domínio de deposição por suspensão, representando os períodos de mais baixa energia do sistema fluvial. Segundo Türkmen *et al.* (2007), sucessões granodecrescentes ascendentes podem ser geradas a partir de processos como diminuição gradual no suprimento sedimentar, abandono ou migração de canais, evolução tectônica da rede de drenagem ou por ciclos de inundações em lençóis.

O trabalho de Türkmen *et al.* (2007) sobre os depósitos aluviais e lacustres do Mioceno da Bacia de Malatya, Turquia, demonstrou que na unidade inferior aluvial da unidade, ocorrem associações de fácies de canais fluviais entrelaçados, planícies e leques aluviais que drenavam o embasamento soerguido próximo e desembocavam no sistema lacustre adjacente. Essa unidade é caracterizada por ciclos granodecrescentes ascendentes de fácies conglomeráticas, arenosas e lamosas. Os conglomerados (Gm, Gp), intercalados com arenitos, foram depositados pela expansão lateral de canais pouco confinados que inundaram os leques aluviais (Blair, 1987 *apud* Türkmen, 2007). Já os arenitos com estratificação planar (Sp) e cruzadas (St) são característicos de deposição por canais entrelaçados ou inundações em lençóis (Glerlowski-Kordesch & Rust, 1994 *apud* Türkmen, 2007).

A rara presença de associações de leques aluviais no Membro Mucuri é atribuída a maior propensão de erosão desses depósitos nas áreas mais proximais e elevadas da bacia (Kuchle, De Ros *et al.*, 2018).

### **Aspectos Depositionais do Ambiente Costeiro**

Os arenitos finos a médios, de bem a moderadamente selecionados, com laminações típicas de ação de ondas (Sw), corrente (Sr) e onda-corrente (Swr), estratificações horizontais (Sh) e cruzadas *swalley* (Ssw) (Figura 12) são característicos de uma associação de fácies de *shoreface* superior (Clifton, 1976, Ainsworth & Crowley, 1994). A fácies Sw é atribuída à ação de ondas de fluxo oscilatório típicas de zonas costeiras sob condições climáticas de tempo bom no *shoreface*. A laminação planar (Sh) é uma estrutura formada por regime de fluxo superior, indicando condições de mais alta energia do sistema, comumente encontrados na porção superior do *shoreface* e no *foreshore*. Já a estrutura *swalley* (Ssw) é típica de ação de ondas de tempestade no *shoreface* superior. A disposição e intercalação entre as fácies indicam que havia um processo persistente ação de ondas na costa e a variação de energia do sistema foi ocasionada possivelmente pela alternância de períodos de ação de ondas normais e de tempestade. Os arenitos mais grossos e mal selecionados foram formados pelo retrabalhamento por ondas dos sedimentos fluviais acumulados nas frentes deltaicas pouco desenvolvidas dos canais.

O estudo de Bracken (1994), sobre o Arenito Lucula, fase sin-rite da Bacia do Congo (Angola) apresentou uma associação de fácies de *foreshore* e *shoreface* lacustres semelhante a do Membro Mucuri. As fácies dominantes caracterizadas são arenitos com laminações planares e de baixo ângulo, marcadas por níveis de granulometria diferentes ou concentrados em minerais pesados. A ocorrência de bioclastos de gastrópodes fragmentados e de minerais pesados nessas fácies indicam uma deposição em ambiente de considerável energia de ondas (Bracken, 1994). A combinação de estratificações cruzadas com laminações planares foi formada pela migração de dunas e de barras arenosas, que são típicas de um *shoreface* superior em lagos dominados por ondas (Bray e Carter, 1992).



## Proveniência

Os arenitos e conglomerados do Membro Mucuri possuem composição detrítica essencialmente quartzo-feldspática, indicando uma proveniência de terrenos soerguidos do embasamento granítico-gnáissico (Figura 24) (*sensu* Dickinson, 1985). A textura grossa e a forma angulosa dos grãos evidenciam que os depósitos fluviais são formados por sedimentos aluviais de primeiro ciclo, erodidos e transportados rapidamente dos terrenos-fonte. A imaturidade textural e composicional dos depósitos fluviais sugere que a topografia da área fonte permaneceu soerguida durante a fase pós-rift da bacia. A área fonte desses sedimentos aluviais é representada principalmente por terrenos plutônicos que corresponderiam a rochas Neoproterozóicas graníticas e de alto grau metamórfico da Província Mantiqueira (Heibron *et al.*, 2004). A presença quase exclusiva de quartzo do tipo monocristalino sugere que os sedimentos são derivados principalmente de rochas plutônicas. A abundância de feldspatos nesses arenitos indica uma predominância de clima seco durante o intemperismo, erosão e transporte desses sedimentos. Os dados palinológicos do *Projeto Mucuri* (Kuchle, De Ros *et al.*, 2018) mostram uma ampla presença de esporos e grãos de pólen de plantas dominantes em regiões de clima seco. Da mesma forma, o estudo de diagênese desenvolvido no projeto mostrou a presença de constituintes diagenéticos típicos de clima árido, como argilas esmectíticas e dolomita.

Os depósitos costeiros apresentam aproximadamente a mesma composição primária quartzo-feldspática dos depósitos fluviais, indicando a mesma proveniência tectônica de blocos soerguidos do embasamento (*sensu* Dickinson, 1985).

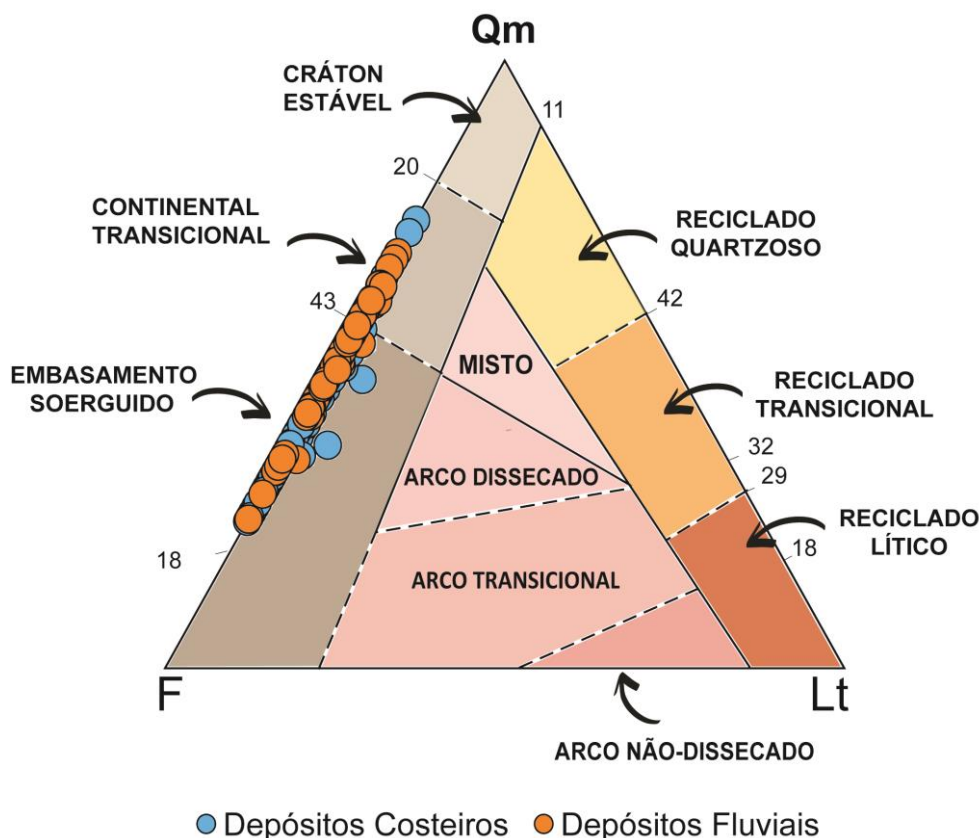


Figura 24: Composição detrítica essencial dos arenitos e conglomerados do Membro Mucuri plotada no diagrama modos de proveniência tectônica de Dickinson (1985), indicando proveniência de blocos do embasamento soerguido, com transição para uma situação incipientemente cratônica. Qm = quartzo monocristalino e policristalino grosso, F = feldspatos totais e Lt = soma de litoclastos vulcânicos, sedimentares e quartzo policristalino fino.

### Mecanismos de Transporte e Deposição

Os resultados da análise dos mecanismos de transporte e de deposição (Figura 20) para as amostras analisadas conferem com os modelos propostos para os ambientes fluvial e costeiro do Mucuri. Os sedimentos mais grossos foram transportados por saltação e rolamento de grãos, processos esperados para sedimentos depositados em ambientes fluviais, sobretudo em depósitos de preenchimento de canais fluviais (Figura 25A). A fração mais fina, que permanece no fluxo, foi transportada por suspensão até o ambiente costeiro onde, sob condições de mais baixa energia, foi transportada e depositada por saltação, tração e retrabalhamento pela ação de ondas (Figura 25B).

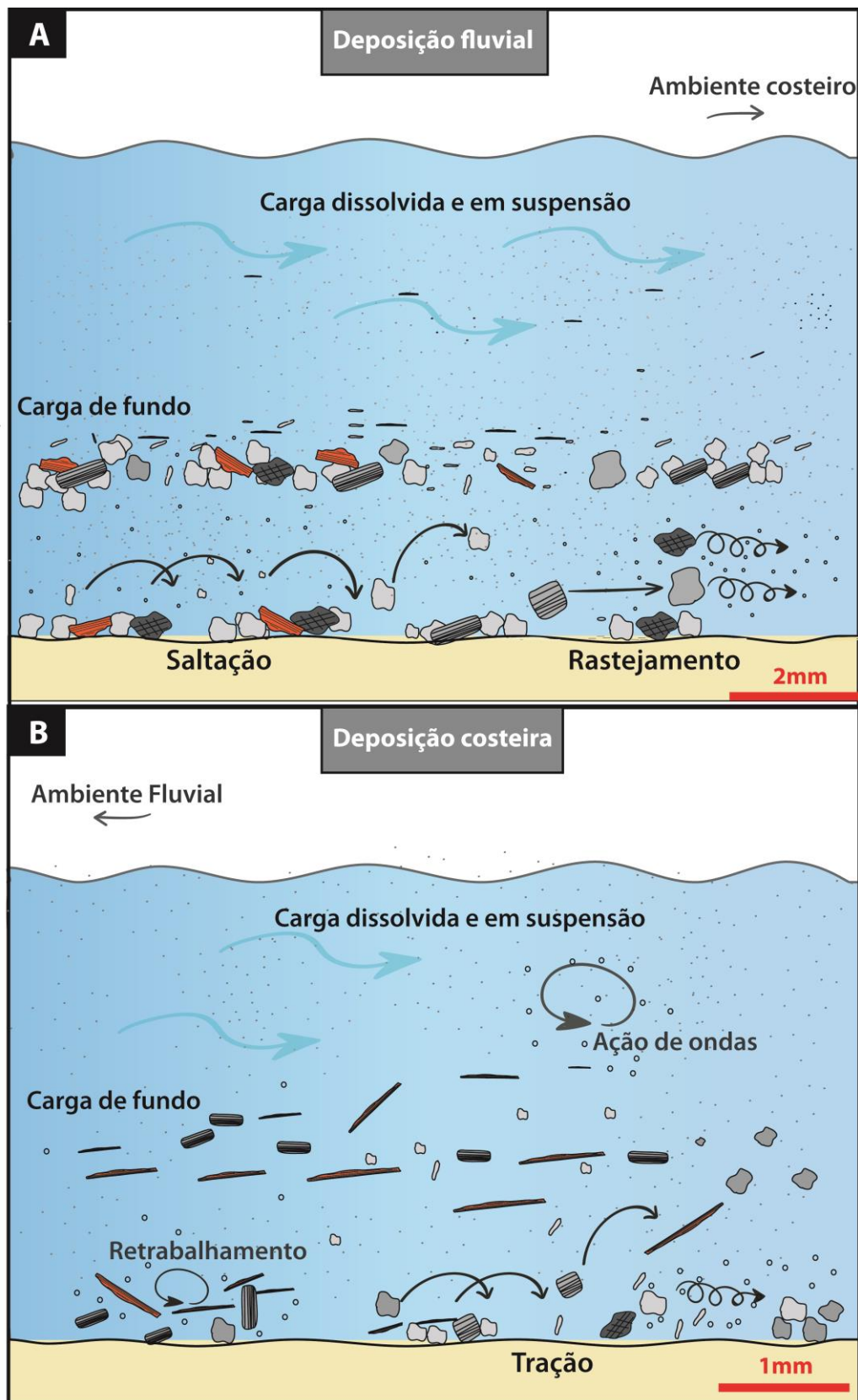


Figura 25: A) Modelo ilustrando o transporte predominantemente trativo (saltação e rastejamento) dos sedimentos mais grossos depositados pelo sistema fluvial. A fração mais fina permanece em suspensão e segue até a porção mais distal do sistema. B) No ambiente costeiro, dominam os processos de rolamento de grãos (trazidos pelos canais fluviais por suspensão) e retrabalhamento por ondas.

## **Análise Granulométrica e de Seleção**

As diferenças encontradas entre as populações granulométricas e no grau de seleção dos depósitos fluviais e costeiros são as esperadas para os dois tipos de ambientes. Por ser mais próximo da área fonte, o ambiente fluvial concentrou os sedimentos mais grossos, predominando areia grossa a média. Devido aos gradientes topográficos elevados da área fonte, o sistema fluvial apresentava uma alta energia de fluxo e por isso depositou de modo turbulento e imediato os grãos mais grossos misturados com grãos finos, conferindo má seleção a esses depósitos (Figura 18). Essas condições geraram misturas entre grãos de tamanhos variados durante a deposição, originando um alto número de amostras bimodais e até mesmo trimodais nesses depósitos (Tabela 5).

Os depósitos costeiros são formados predominantemente por areia fina a muito fina, por terem sido depositados numa porção mais distal do sistema. Também apresentam melhor seleção, por terem percorrido maiores distâncias de transporte e pela ação do retrabalhamento por ondas. No ambiente costeiro prevalecem condições energéticas mais moderadas, correspondendo a fluxos menos turbulentos, e conseqüentemente a uma deposição mais controlada dos sedimentos. Conforme mostra a Tabela 5, as amostras costeiras são caracterizadas por possuírem uma única moda granulométrica.

A predominância de assimetria granulométrica positiva nos depósitos fluviais é indicativa de um agente de transporte unidirecional competente, como os canais fluviais (Martins, 2003). O fluxo unidirecional e competente dos canais rasos favoreceu uma rápida deposição sem retrabalhamento dos sedimentos pela ação de correntes secundárias laterais, depositando simultaneamente grãos mais finos e mais grossos por *trapeamento* de grãos. Por outro lado, os depósitos costeiros apresentam assimetria tanto positiva quanto negativa, indicando que foram depositados sobre condições de mistura de fluxos (Martins, 2003) com a presença tanto de fluxos unidirecionais de correntes (amostras com assimetria positiva), quanto da ação de ondas costeiras, que proveram o retrabalhamento e remoção das partículas mais finas (amostras com assimetria negativa).

## **Fracionamento Hidrodinâmico dos Constituintes Primários**

Os resultados da análise de velocidade de decantação dos principais constituintes primários (Figuras 21 e 22) mostraram que o enriquecimento em biotita nos depósitos costeiros (Figura 17) está ligado à ausência de equivalência hidráulica entre as micas e os demais constituintes detríticos principais. Os gráficos de velocidade de decantação para as amostras fluviais em diversas amostras mostra que a mica não está em equivalência hidráulica com o quartzo e o feldspato, apontando que uma fração considerável das micas não se depositou nesse ambiente. Como as micas apresentam equivalência hidráulica com grãos mais finos de quartzo e feldspato permanecem em suspensão no fluxo, seguindo até porções mais distais do sistema. Essa fração de micas foi depositada no ambiente costeiro (Figura 26) em equivalência hidráulica com os demais grãos, o que explica o enriquecimento relativo em biotita nessas amostras. Apesar da mica não apresentar equivalência hidráulica com os demais minerais no sistema fluvial, ela está presente em quantidades significativas mesmo nessas amostras, o que pode ser explicado pela turbulência do fluxo da corrente principal neste ambiente. Conforme abordado anteriormente, o fluxo turbulento dos canais entrelaçados promoveu a deposição das biotitas por “trapeamento” dos grãos (Figura 27). Os outros constituintes primários, ao se depositarem rapidamente, prenderam os grãos de biotitas no fundo do canal. Essa característica deposicional é atestada pela orientação comumente caótica das micas desses depósitos.

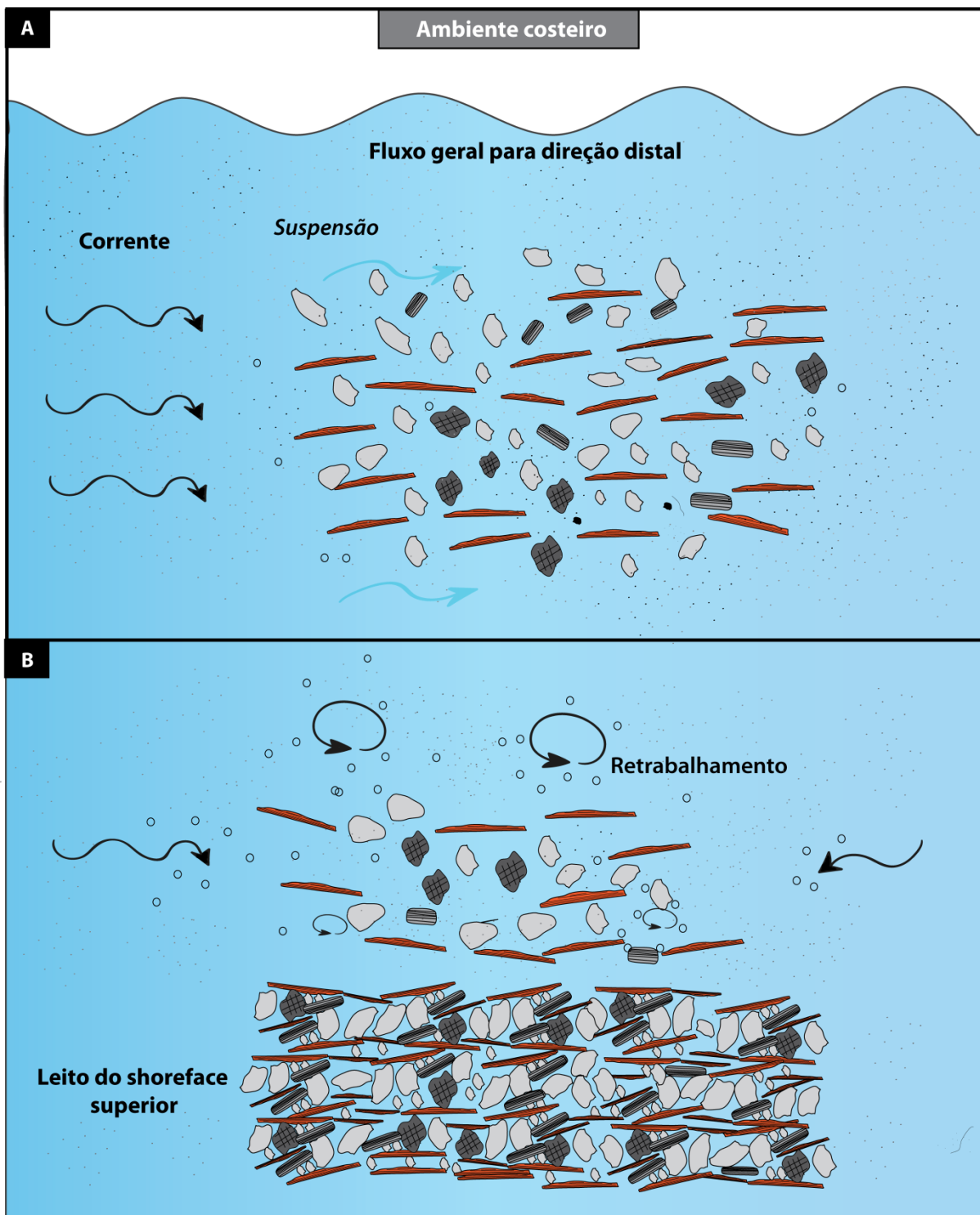


Figura 26: A) A forma achatada da biotita faz com que esses grãos tenham equivalência hidráulica com grãos menores de quartzo e feldspato, permanecendo em suspensão no fluxo. B) No ambiente costeiro, sob condições de mais baixa energia de fluxo, a biotita se deposita com os demais grãos ao encontrar a equivalência hidráulica.

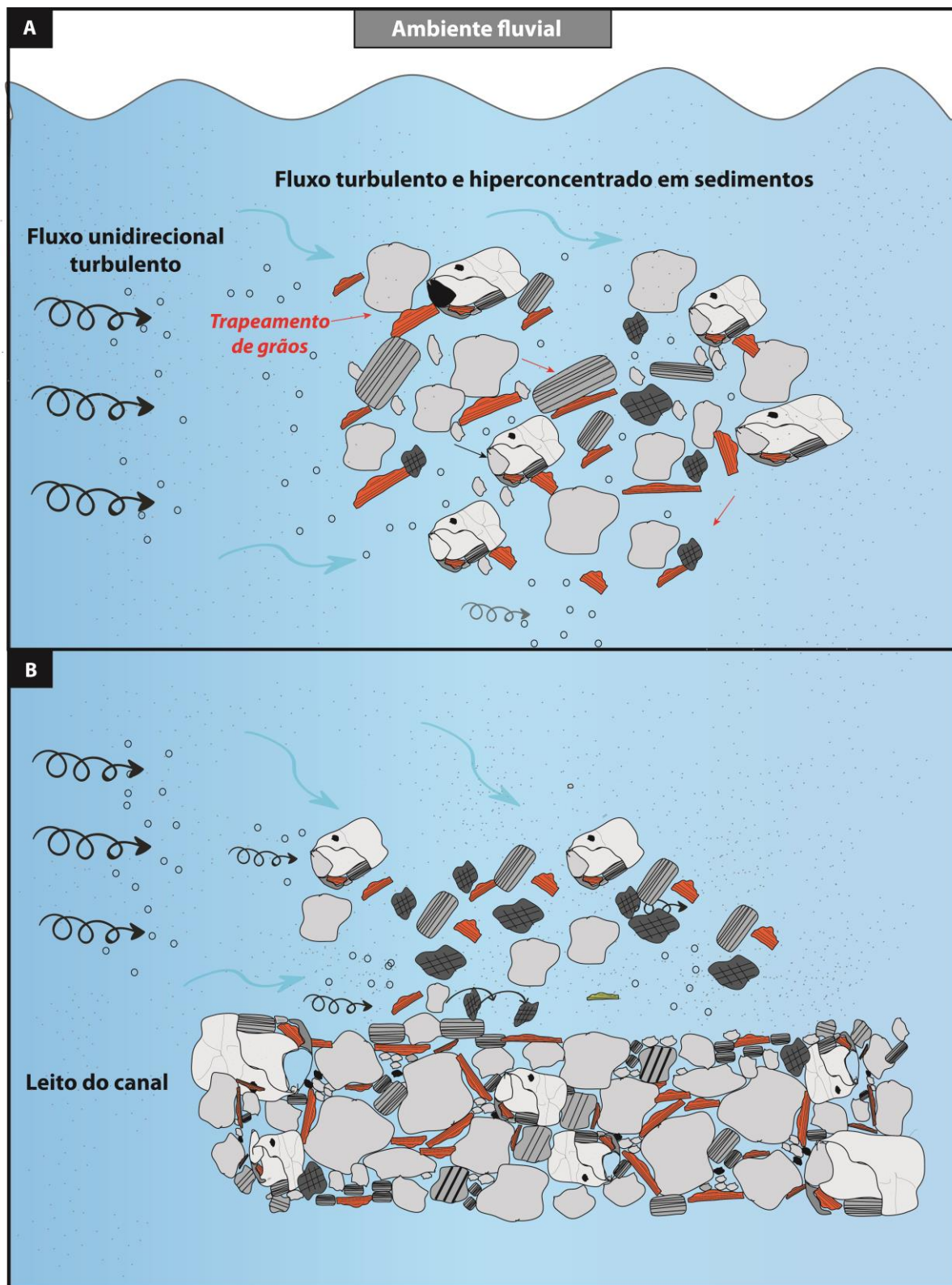


Figura 27: A) Fluxos turbulentos e com alta concentração de sedimentos dos canais fluviais promoveram o “trapeamento” de grãos, o que explica a presença de grãos sem equivalência hidráulica, que foram depositados juntos. (B) Os grãos de biotita que foram aprisionados no leito do canal pelo trapeamento de grãos foram transportados e depositados por processos trativos.

A hipótese acima é reforçada pela análise de forma dos grãos. A Figura 22 mostra que o fator de forma dos minerais influencia na diferença do comportamento hidráulico entre a mica e os demais constituintes primários. A forma consideravelmente mais achatada e com maior razão de aspecto das micas permitiu que se mantivessem por mais tempo em suspensão no fluxo, até atingir porções mais distais do sistema fluvio-lacustre do Membro Mucuri.

### **Modelos Paleodeposicionais do Membro Mucuri**

Considerando que ambos os ambientes deposicionais estão inseridos em um contexto de borda de bacia, a proximidade do sistema fluvial com o embasamento Neoproterozóico soerguido, a granulometria, forma e composição dos depósitos sugerem gradientes topográficos elevados que favoreceram a formação de canais fluviais com alta energia. A composição detrítica rica em feldspatos e fragmentos plutônicos, aliada à presença de grãos predominantemente subangulosos e a considerável tendência à má seleção dos arenitos reforçam a hipótese sobre a proximidade com a área fonte.

O sistema fluvial era formado por canais rasos, entrelaçados, pouco extensos, pobremente confinados e localmente efêmeros (Figura 28). A presença de estratificações cruzadas de pequeno porte (menores que 1 m) e de pacotes pouco espessos sugere um baixo grau de confinamento desses canais. A ausência de fácies de planície de inundação nas associações de fácies e a recorrência de fácies arenosas nesses depósitos (apresentando uma alta razão areia/lama) são indicativos de uma morfologia de canais entrelaçados (Tucker, 2001). A textura grossa e a composição fortemente quartzo-feldspática observada nesses depósitos reforçam o modelo proposto de canais fluviais entrelaçados (Darymple, 2010). Sucessões granodécrescentes ascendentes também sugerem um sistema fluvial alimentado por canais entrelaçados (Miall, 1978). As características texturais e composicionais relativamente “proximais” dos depósitos costeiros indicam que os



canais fluviais apresentavam curta extensão até sua desembocadura no sistema lacustre.

Os sets granodecrescentes ascendentes com base abrupta e com pouca espessura propõem que esses sedimentos foram transportados e depositados por descargas rápidas que vão perdendo energia com o tempo. A alternância dos regimes de fluxo nas fácies, a base abrupta e a ciclicidade entre os sets favorece a hipótese de que esses canais fluviais eram efêmeros, com cada set correspondendo a um evento particular de descarga fluvial. As fácies finas, depositadas sobre condições de mais baixa energia representam o período final e de mais baixa energia dessas descargas. A alternância entre estratificações cruzadas, *ripples* e a granodecrescência ascendente dos depósitos são esperados para rios entrelaçados em ambientes áridos (Darymple, 2010). As estruturas trativas e características texturais, como o “aprisionamento de micas” (Figura 27), são típicas de fluxos turbulentos, que podem ser iniciados a partir descargas rápidas e com alta energia.

As características texturais, composicionais e faciológicas de arenitos fluviais do Membro John Henry, da Formação Straight Cliffs, Utah (Allen, Johnson 2010), servem como um análogo aos arenitos fluviais do Mucuri. O Membro John Henry foi dividido em uma unidade regressiva (onde se encontram os arenitos fluviais) e uma transgressiva. A unidade regressiva é composta por uma associação de fácies de shoreface marinho dominado por ondas, e por fácies fluviais que alimentam esse shoreface (Allen, 2010). Esses canais fluviais são representados por arenitos com estratificações cruzadas com base abrupta além de uma geometria típica de canais fluviais pobremente confinados (Allen, Johnson 2010). O principal controle sobre a composição dos arenitos John Henry foi a limitada distância de transporte e grau de retrabalhamento do sedimento (Garzanti, 1986). A curta distância de transporte permitiu a preservação de grãos mais instáveis (como fragmentos líticos e feldspatos), formando arenitos com composição imatura (Allen, Johnson 2010), com grãos angulosos, textura grossa e mal selecionados (Garzanti, 1986). Foi constatado que variações curtas, de até 10 km na distância de transporte, promoveram grandes mudanças na composição original desses arenitos (Allen, Johnson 2010).

Os depósitos aluviais-lacustres (Eoceno) da Formação Sannor, na região de Shabrawet no Deserto Oriental do Egito, descritos por Wanas *et al.*, (2015), também servem como análogo para os depósitos fluviais do Mucuri. O autor descreveu as fácies conglomeráticas de uma associação de fácies de planície de inundação dominada por processos aluviais como sendo formadas por canais entrelaçados. Conglomerados polimíticos clasto-suportados foram interpretados como resultado da deposição de barras cascalhosas no leito de canais entrelaçados efêmeros, com fluxos erráticos e altas taxas de descarga (Wanas *et al.*, 2015). A imbricação dos clastos sugere deposição sob a influência de uma corrente altamente energética (Miall, 2010 *apud* Wanas *et al.*, 2015). A ocorrência de arenitos com estratificação cruzada planar unidirecional foi interpretada como resultado da migração frontal de barras arenosas em canais rasos sob um regime de fluxo superior (Wanas *et al.*, 2015).

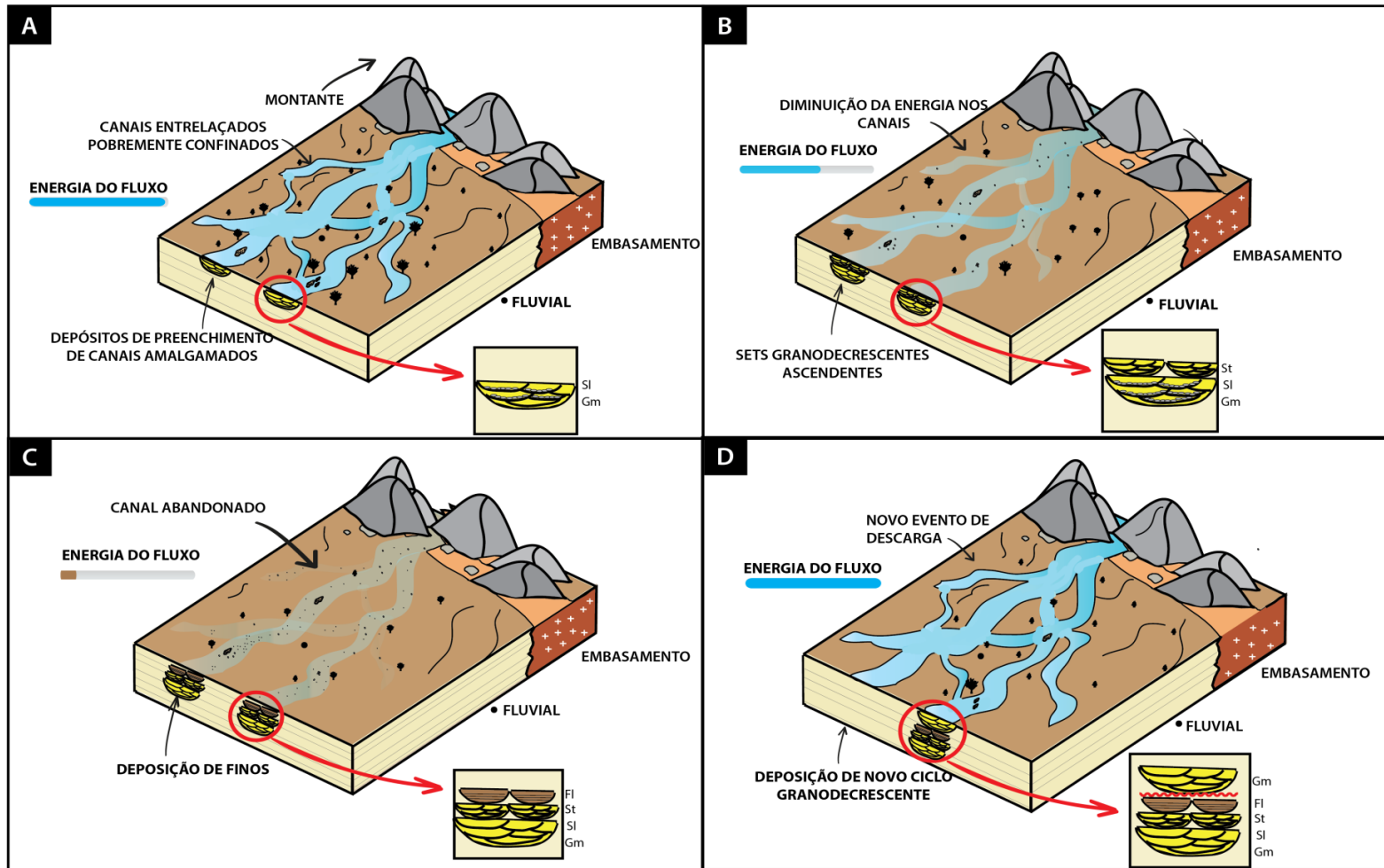


Figura 28: Modelo ilustrativo da evolução e deposição dos canais fluviais com base na variação das descargas ao longo do tempo, formando os sets granodrecrescentes ascendentes dos depósitos fluviais. A) evento de descarga máxima dos canais fluviais com fluxos turbulentos e hiperconcentrados em sedimentos, formando inundações em lençóis. Durante esse período, foram depositados fácies mais grossas, como conglomerados arenosos (Gm) e arenitos com estratificação cruzada de baixo ângulo (SI) na base da sucessão. B) Com a diminuição da energia de fluxo, ocorre a deposição de sets com menor granulometria e fácies como estratificação cruzada tangencial (St). C) Durante o estágio final das inundações em lençóis, ocorre a deposição de siltitos (FI), o que evidencia o domínio do processo de suspensão em relação à tração. D) Um novo evento de descarga do sistema fluvial gera um novo ciclo granodrecrescente limitado por uma base erosiva.

O sistema costeiro lacustre do Membro Mucuri foi interpretado como depositado em cordões litorâneos, formados sob retrabalhamento por ondas do sedimento trazido pelas descargas efêmeras do sistema fluvial. A formação desses cordões arenosos foi controlada pelo processo de deriva litorânea, que é gerada pela ação de correntes laterais aliadas ao processo costeiro de retrabalhamento por ondas. Apesar da presença quase exclusiva de cordões litorâneos no registro, considera-se a possibilidade da formação de pequenos deltas dominados por ondas em locais que sofreram influência de descargas mais fortes ou menos episódicas.

A presença comum de fácies de fluxo oscilatório (Sw, Swr, Ssw), aliado à ausência de lama aponta um processo constante de ação de ondas na região de *shoreface* e *foreshore* do sistema lacustre (Figura 29A). O elevado grau de retrabalhamento gerado pela ação constante de ondas promoveu a remoção da fração mais fina do sedimento (Figura 29B), gerando depósitos arenosos com baixa proporção de lama. O sistema lacustre adjacente ao Membro Mucuri possuía grande extensão, relacionada à fase sag de evolução da margem brasileira, o que é também indicado pela ocorrência de estratificação cruzada *hummocky* em alguns depósitos de *shoreface*. O significado da ocorrência de fácies típicas de eventos de tempestade e ação de ondas em lagos foi apresentado por Eyles e Clark (1986).

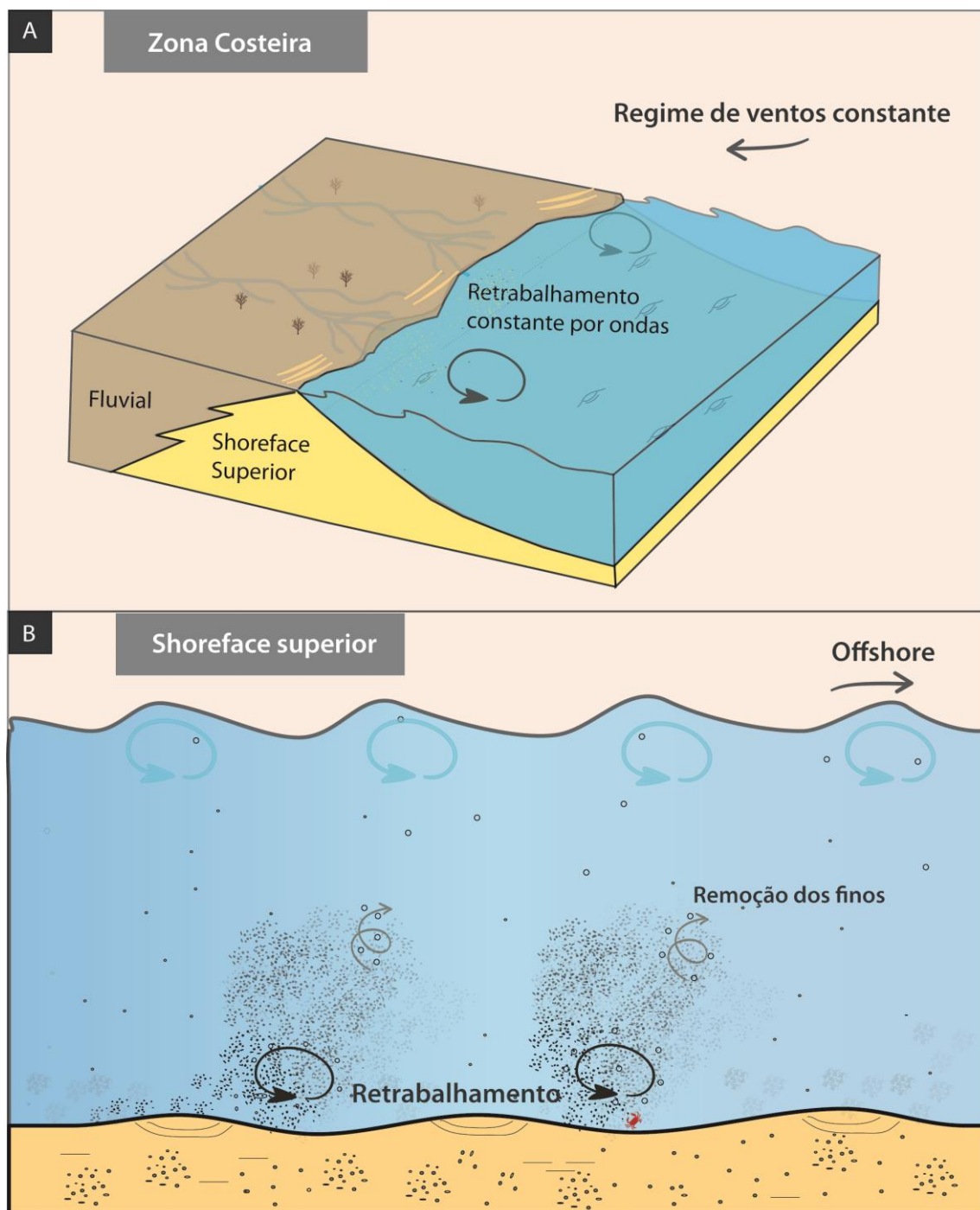


Figura 29: A) Modelo ilustrativo da dinâmica na região costeira lacustre do Membro Mucuri. O principal processo atuante é o retrabalhamento por ondas, gerado pelo regime de ventos na costa, que levou à formação de cordões litorâneos. B) O retrabalhamento por ondas no shoreface promoveu a remoção da fração argilosa das margens do lago, levando esses sedimentos mais finos para o shoreface inferior e offshore.

O estudo de Renaut e Owen, (1991) sobre os processos de sedimentação costeira e fácies deposicionais do Lago Rife Bogoria (Quênia) mostra a construção de praias e cordões litorâneos em cúspide nas margens do lago, esses últimos mais comuns nas margens alimentadas por canais efêmeros. Os autores constataram que as praias formadas por sedimentos arenosos e cascalhosos são resultado da ação de ondas na costa, sendo as correntes de circulação do lago resultado do influxo do Rio Sandai-Waseges e da ação do vento. A morfologia e distribuição das praias, em conjunto com a composição primária, indicam que esses sedimentos foram depositados pelo processo de deriva litorânea (Renaut & Owen, 1991).

O trabalho de Bracken (1994) sobre o Arenito Lucula, fase sin-rifte da Bacia do Congo (Angola), mostra que as fácies praias lacustres da unidade foram formadas em condições de águas rasas e alta energia nas margens do lago (Bracken, 1994). Esses arenitos, assim como os do Mucuri, possuem composição de subarcósios e arcósios, e apresentam laminação ou estratificação planar de baixo ângulo com níveis concentrados de minerais pesados, como granadas (Bracken, 1994). O autor também constatou que as correntes de deriva litorânea foram responsáveis por transportar e selecionar os sedimentos depositados nas praias ou barreiras arenosas.

O sistema costeiro do Lago Turkana (África) pode ser considerado um modelo deposicional análogo ao Mucuri. Turkana é o maior lago da porção oriental do sistema de riftes africano, e é cercado por terrenos graníticos e metamórficos pré-cambrianos e terrenos vulcânicos terciários-quadernários (Cohen,1989). A análise dos seus processos e ambientes de sedimentação fornece importantes informações para a caracterização de depósitos formados em lagos rifte antigos. Os processos costeiros de retrabalhamento por ação de ondas, as curtas distâncias entre a área fonte e o lago e as características dos canais fluviais são semelhantes aos processos interpretados para o Membro Mucuri, porém o contexto geotectônico das duas bacias é diferente. Uma das diferenças, é que o Lago Turkana (Figura 30) possui uma morfologia estreita, em formato de calha, enquanto o lago adjacente ao sistema Mucuri é interpretado como consideravelmente mais largo e mais profundo.



Figura 30: Imagem de satélite (retirada do Google Earth) do Lago Turkana. Observa-se o formato em calha do Turkana, com morfologia estreita e alongada.

As condições climáticas às margens do Lago Turkana são semi-áridas e suas águas possuem composição moderadamente salina à alcalina (Yuretich, 1979). A composição dos sedimentos Turkana varia conforme a proveniência, dissolução e o retrabalhamento por ondas. Apresentam característica forma sub-angular a angular, indicativa de curto transporte (Cohen, 1989). Nas áreas costeiras que não são afetadas por escarpas vulcânicas, a distância de transporte dos sedimentos é maior, atestada por uma maior maturidade textural.

O leito do Lago Turkana possui baixo grau de inclinação, fazendo com que pequenas mudanças no nível do lago promovam grandes mudanças nas fácies de suas margens (COHEN, 1989). Por exemplo, uma variação sazonal de 0,5-1m no nível do lago promove uma migração lateral média da linha de costa de 85-170m, (COHEN, 1989).

É notável a presença de cordões litorâneos com até 10 km de largura dispostos paralelamente à linha de costa (Figura 31), formados a partir do retrabalhamento por ondas e deposição de sedimentos oriundos de canais fluviais efêmeros. Segundo Schuster (2017), sistemas deltáicos são comuns nas margens do Lago Turkana, normalmente associados a canais fluviais efêmeros e apresentam características típicas de domínio por ondas, sendo comumente associadas a cordões litorâneos bem desenvolvidos (Figura 32). Entretanto, deltas dominados por rios também se desenvolvem e normalmente estão relacionados a rios perenes, que fornecem um influxo contínuo de sedimentos, favorecendo a construção de deltas mais proeminentes (Figura 33). De acordo com Frostick & Reid (1986), o clima semi-árido é um fator controlador fundamental na magnitude e frequência das descargas efêmeras que alimentam o Lago Turkana. Ainda segundo os autores (Frostick & Reid, 1986), os canais efêmeros que alimentam o Lago Turkana fornecem uma enorme quantidade de sedimentos durante breves períodos, possibilitando o retrabalhamento e redistribuição do sedimento pela ação de ondas na costa durante os intervalos entre as descargas. Já os depósitos de *shoreface* da Formação Nachukui (Pleistoceno) apresentam fácies típicas de ação de ondas, como *ripples* de ondas, estratificação planar e *hummocky*, além de um bom grau de seleção dos arenitos (Schuster, 2017).





Figura 31: Cordões litorâneos formados na costa do Lago Turkana. Os sedimentos trazidos por canais fluviais efêmeros foram retrabalhados por ação de ondas na costa do lago, formando os cordões (modificado de Althaus, 2017)



Figura 32: Delta dominado por ondas na costa do Turkana. O rio examinado possui maior capacidade de transporte de sedimentos, possibilitando a progradação de cúspides deltáicas pouco desenvolvidas por causa da ação do retrabalhamento por ondas (modificado de Althaus, 2017).

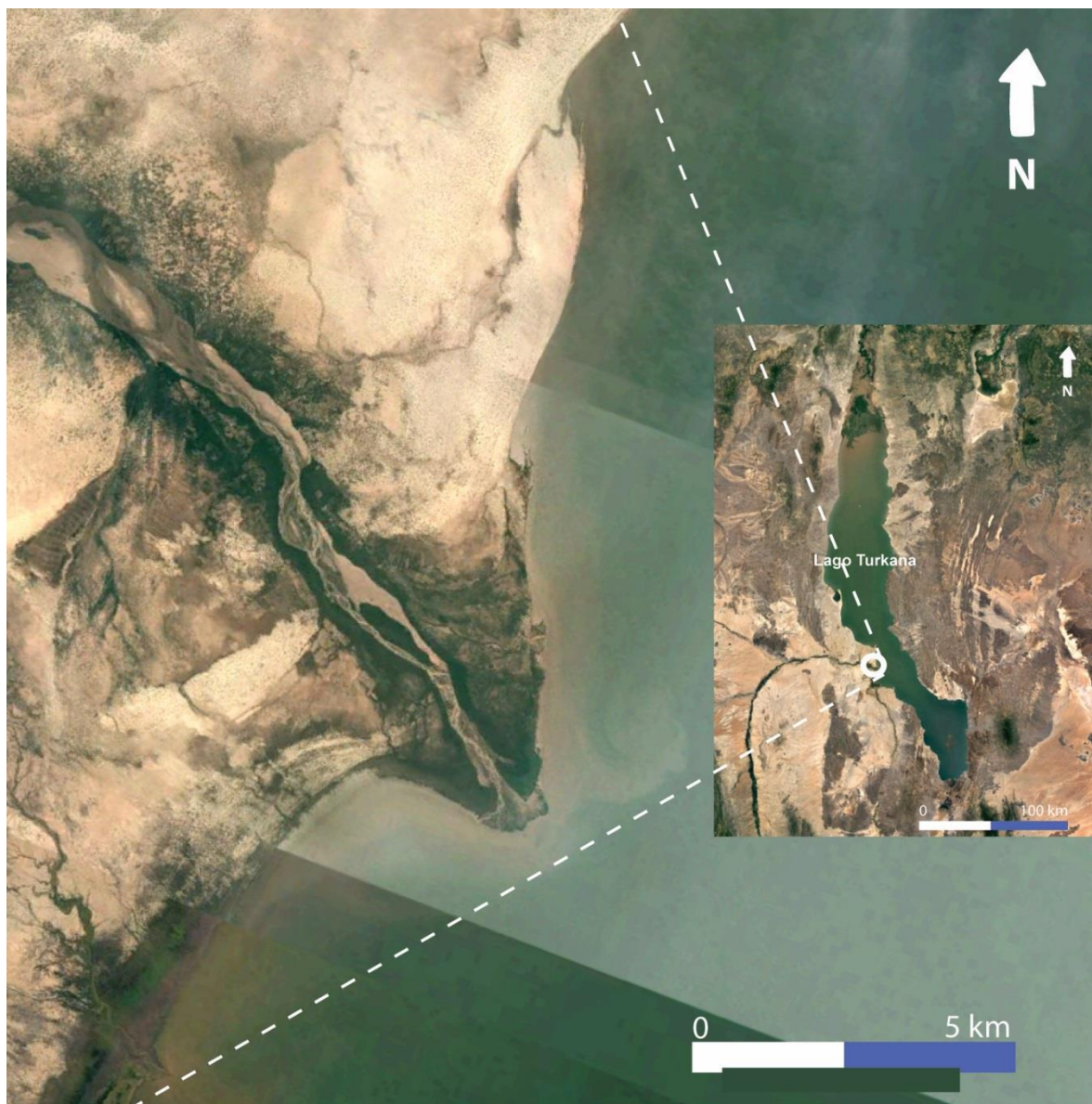


Figura 33: Delta dominado por rio na costa oeste do Turkana. O influxo contínuo e maior aporte de sedimentos trazidos pelo rio perene tende a favorecer a formação de lobos deltaicos mais desenvolvidos.

Os resultados e interpretações do *Projeto Mucuri* (Kuchle, De Ros *et al.*, 2018) foram integrados com os resultados obtidos neste estudo para determinar às condições paleoclimáticas atuantes durante a deposição do Membro Mucuri. A identificação de um sistema fluvial alimentado por descargas episódicas em conjunto com a identificação de fácies palinológicas e constituintes diagenéticos característicos sugere que o paleoclima predominante era tropical árido. De acordo com (Kuchle, De Ros *et al.*, 2018), o gênero *Classopollis* (família Cheirolepidiaceae), que apresenta um amplo domínio em toda a região estudada é típica de climas áridos e solos salinos costeiros (Pocock & Jansonius, 1961). A Figura 34 apresenta o modelo deposicional integrado do Membro Mucuri (Kuchle, De Ros *et al.*, 2018).

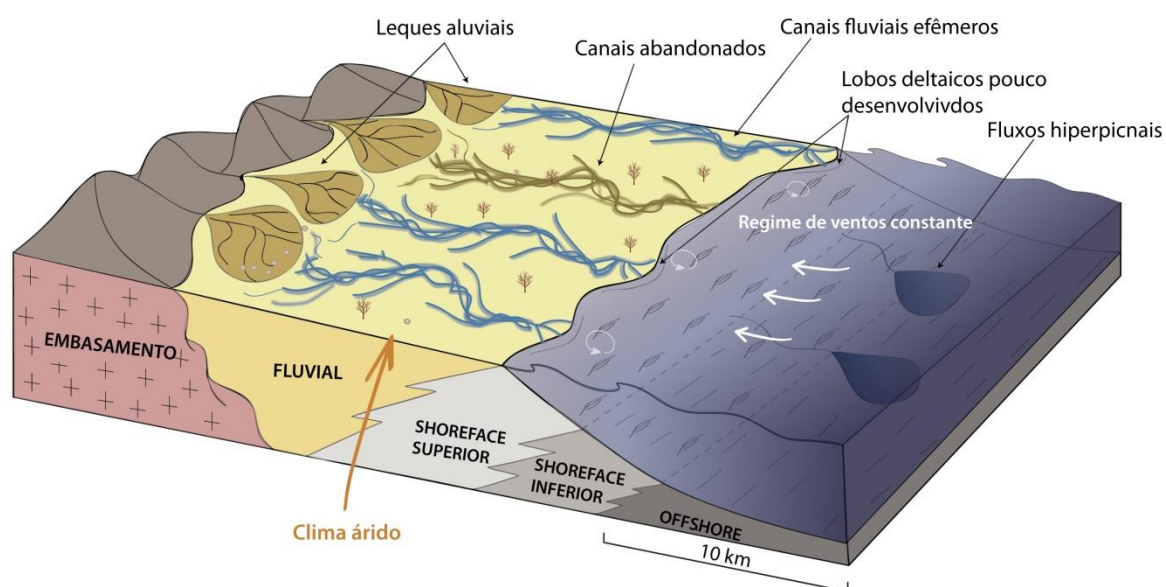


Figura 34: Modelo deposicional do Membro Mucuri (Modificado de Kuchle, De Ros *et al.*, 2018).

## CONCLUSÕES

- 1) Os depósitos fluviais são representados por arenitos médios a muito grossos, conglomeráticos, normalmente pobremente selecionados, com grãos subangulosos. Já os depósitos costeiros são representados por arenitos muito finos a finos e moderadamente selecionados, ricos em biotitas.
- 2) A abundância de biotita nos depósitos costeiros foi atribuída à forma achatada dos grãos, que os manteve em suspensão preferencialmente em relação aos grãos mais equantes de quartzo e feldspato até atingir o ambiente costeiro.
- 3) Os sedimentos depositados no ambiente fluvial foram transportados majoritariamente por processos trativos, como saltação e rolamento, enquanto os sedimentos depositados no ambiente costeiro foram transportados principalmente por suspensão.
- 4) Os depósitos do Mucuri foram classificados como arcósios, ricos em quartzo monocristalino, feldspatos, fragmentos plutônicos e biotita. A composição fortemente quartzo-feldspática indica uma proveniência de terrenos soerguidos do embasamento Neoproterozóico granítico-gnáissico.
- 5) O ambiente fluvial era composto por canais fluviais rasos, entrelaçados, não confinados, de curta extensão, alimentados por descargas episódicas.
- 6) O ambiente costeiro era representado por cordões litorâneos formados pelo retrabalhamento constante por ondas, influenciado por um regime de ventos constante.
- 7) A ampla presença de palinofósseis típicos de ambientes áridos juntamente com a identificação de canais fluviais entrelaçados alimentados por descargas episódicas indicam que o paleoclima predominante nas margens do sistema lacustre do Pré-sal era tropical árido.

## REFERÊNCIAS

- Ainsworth, R.B., Crowley, S., 1994. Wave-dominated nearshore sedimentation and 'forced' regression: post-abandonment facies, Great Limestone Cyclothem, Stainmore, UK. *Journal of the Geological Society* 151(4): 681-695.
- Allen, J.L., Johnson, C.L. 2010. Facies control on sandstone composition (and influence of statistical methods on interpretations) in the John Henry Member, Straight Cliffs Formation, Southern Utah, USA. *Sedimentary Geology*, 230: 60-76.
- Althaus, C.E. 2017. *Análise Estratigráfica da Porção Superior do Membro Mucuri, Formação Mariricu, Aptiano, Onshore da Bacia do Espírito Santo*. Porto Alegre, 68p. Monografia de conclusão de curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Biassusi, A.S., Maciel, A.A., Carvalho, R.S., 1990. Bacia do Espírito Santo: o "estado da arte" da exploração. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 4: 13-19.
- Blair, T. C. 2000. Sedimentology and progressive tectonic unconformities of the sheetflood-dominated Hell's Gate alluvial fan, Death Valley, California. *Sedimentary Geology*, 132: 233-262
- Blatt, H. 1982. *Sedimentary Petrology*. New York, W.H Freeman and Company, 564p.
- Boggs, S. 1992. *Petrology of Sedimentary Rocks*. New Jersey, The Blackburn Press, 707p.
- Bracken, B.R. 1994. Syn-Rift Lacustrine Beach and Deltaic Sandstone Reservoirs Pre-Salt (Lower Cretaceous) of Cabinda, Angola, West Africa. *Lacustrine Reservoir and Depositional Systems*, 19: 173-200.
- Bray, T. F., JR., Carter, C. H.. 1992. Physical processes and sedimentary record of a modern, transgressive, lacustrine barrier island. *Marine Geology*, 105: 155-168.

- Bridge JS, Demicco RV. (2008). *Earth surface processes, landforms and sediment deposits*. Cambridge ,Cambridge University Press, 815p.
- Cant, D.J. 1982. Fluvial Facies Models and Their Application. *In: Scholle, A., Spearing, D. Sandstone Depositional Environments*. Tulsa, Oklahoma, AAPG *Memoir 31*: 115-117.
- Carvalho, A.S.G., Dani, N., De Ros, L. F., Zambonato, E. E. 2014. The impact of early diagenesis on the reservoir quality of pre-salt (Aptian) sandstones in the Espírito Santo basin, eastern Brazil. *Journal of Petroleum Geology*, 37(2): 127-142.
- Clifton. H.E., 1976. Wave-formed sedimentary structures A conceptual model. *In: Davis, R.A., Ethington. H., (Eds.): Beach and Nearshore Sedimentation*. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ. 24: 126-148.
- Cohen, A. S. 1989. Facies Relationships and sedimentation in large rift lakes and implications for hydrocarbon exploration: examples from Lakes Turkana and Tanganyka. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 70: 65-80.
- Collinson, J.D. 1969. The sedimentology of the Grindslow Shales and the Kinderscout Grit: a deltaic complex in the Namurian of northern England. *Journal of Sedimentary Petrology*, 39: 194-221.
- Cox, E.A. 1927. A method for assigning numerical and percentage values to the degree of roundness of sand grains. *Journal of Paleontology*,. 1: 179-183.
- Dalrymple, R.W. 2010. Interpreting Sedimentary Sucessions: Facies, Facies Analysis and Facies Models. *In: James, N.P., Darymple, R.W. (Ed.). Facies Models 4*. Newfoundland, Canadian Sedimentology, p. 3-19.
- De Ros, L.F. Goldberg, K., Abel, M., Victoreti, F.I., Mastella, L., Castro, E. 2007. Advanced Acquisition and Management of Petrographic Information from Reservoir Rocks Using the PETROLEDGE ® System. *In: AAPG, Annual Convention and Exhibition, 2007. p. e4*. The American Association of Petroleum Geologists, Long Beach, CA, USA, Extended Abstracts CD, 6pp.

- Dias, J. 2004. *A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos: uma introdução à Oceanografia geológica*. Universidade do Algarve, Faro, Portugal, 84p.
- Dickinson, W.R. 1985. Interpreting Provenance Relations from Detrital Modes of Sandstones. In: Zuffa, G.C., *Provenance of Arenites*. Dordrecht, The Netherlands, D. Reidel Publishing Company, p. 333-362.
- Einsele G (1992) *Sedimentary basins: evolution, facies and sediment budget*. Berlin, Springer, 628p.
- Eyles, N., Clark, B.M. 1986. Significance of hummocky and swalley cross-stratification in late Pleistocene lacustrine sediments of the Ontario basin, Canada. *Geology*, 14(8): 679-682.
- Ferguson, R.I.; Church, M. 2004. A simple universal equation for grain settling velocity. *Journal of Sedimentary Research*, 74: 933-937.
- Folk, R.L. 1968. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Texas, Hemphill's Pub, 107p.
- Folk, R.L., Ward, W.C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3-26.
- França, R.L., Del Rey, A.C., Tagliari, C.V., Bradão, J.R., Fontanelli, P.R. 2007. Bacia do Espírito Santo. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2): 501-509.
- Friedman, G.M 1961. Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics. *Journal of Sedimentary Petrology*, 31: 514-529.
- Frostick, L.E., Reid, I. 1986. Evolution and sedimentary character of lake deltas fed by ephemeral rivers in the Turkana basin, northern Kenya. In: Frostick, L.E., Renaut, R.W., Reid, I., Tiercelin, J.J. (Ed.). *Sedimentation in the African Rifts*. London, Geological Society (Special Publications), p. 113-125.
- Garzanti, E. 1986. Source rock versus sedimentary control on the mineralogy of deltaic volcanic arenites (Upper Triassic, Northern Italy). *Journal of Sedimentary Petrology*, 56 (2): 267-275.



- Heibron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Neto, M.C.C., Silva, L.C., Trouw, R.A.J., Janasi, V.A. 2004. Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto, V. *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Editora Beca, p. 203-234.
- Hudock JW, Flaig PP, Wood LJ. 2014. Washover fans: a modern geomorphologic analysis and proposed classification scheme to improve reservoir models. *Journal of Sedimentary Research*, 84:854–865.
- Ingersoll, R.V., Suczek, C.A. 1979. Petrology and provenance of Neogene sand from Nicobar and Bengal fans, DSDP sites 211 and 217. *Journal of Sedimentary Petrology*, 49 (4): 1217–1288.
- Johnson, M.R. 1994. Thin section grain size analysis revisited. *Sedimentology*, 41: 985-999.
- Karcz, I., 1972. Sedimentary structures formed by flash floods on southern Israel. *Sedimentary Geology* 7: 161–182.
- Krumbein, W.C. 1934. Size Frequency Distribution of Sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 4: 65-77.
- Kuchle, J., De Ros, L.F. *et al.* 2018. Estudo geológico integrado da Formação Mucuri da Bacia do Espírito Santo. *Relatório Final*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 126p.
- Kwon, C.W., Jeong, J.O., Sohn, Y.K. 2011. Sedimentary records of rift to pull-apart tectonics in the Miocene Eoil Basin, SE Korea. *Sedimentary Geology*, 236: 256-271.
- Leys, J., McTainsh, G., Koen, T., Mooney, B., Strong, C. 2005. Testing a statistical curve-fitting procedure for quantifying sediment populations within multi-modal particle-size distributions. *Earth Surf. Process. Landforms* 30: 579-590.
- Martins, L.R. 2003. Recents sediments and grain-analysis. *Gravel*, 1: 90-105.

- Miall, A.D. 1977. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. *Fluvial Sedimentology, Memoir 5*: 597-604.
- Miall, A.D. 1978. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits, a summary. In: Miall, A.D. (Ed.): *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society Petroleum Geologist Memoir 5: 597–604.
- Passega, R. 1957. Texture as characteristic of clastic deposition. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 41 (9): 1952-1984.
- Passega, R. 1964. Grain size representation by CM patterns as a geological tool. *Journal of Sedimentary Petrology*, 34: 830-847.
- Passega, R., Byramjee, R. 1969. Grain-size image of Clastic Deposits. *Sedimentology*, 13: 233-252.
- Plint AG (2010) Wave- and storm-dominated shoreline and shallow-marine systems. In: James NP, Dalrymple RW (eds): *Facies models 4*. Newfoundland, Canadian Sedimentology, p. 167–199.
- Pocock, S.J., Jansonius, J. 1961. The pollen genus *Classopollis* Pflug, 1953. *Micropaleontology* 7ed, 4: 439-449.
- Prothero D, Schwab F (1996) *Sedimentary geology: an introduction to sedimentary rocks and stratigraphy*. New York, Freeman & Co, 593p.
- Pyles, D.R., Straub, K.M., Stammer, J.G. 2013. Spatial variations in the composition of turbidites due to hydrodynamic fractionation. *Geophysical Research Letters*, 40: 3919-3923.
- Renaut, R.W., Owen, R.B. 1991. Shore-zone sedimentation and facies in a closed rift lake: the Holocene beach deposits of Lake Bogoria, Kenya. *Spec. Publs int. Ass. Sediment*, 13:175-195.
- Robbins, E. 1983. Accumulation of fossil fuels and metallic minerals in active and ancient rift lakes. *Developments in Geotectonics*, 19: 633-658.
- Rodrigues, A.G. 2012. *Composição Primária e Padrões Diagenéticos dos Arenitos da Seção Rifte no Campo de Caioba, Sub-Bacia de Sergipe*. Porto Alegre, 107p.

Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Scherer, C.M.S., Lavina, L.E.C., Dias Filho, D.C., Oliveira, F.M., Bongioiolo, D.E., Silva, E., 2007. Stratigraphy and facies architecture of the fluvial–aeolian–lacustrine Sergi Formation (Upper Jurassic), Recôncavo Basin, Brazil. *Sedimentary Geology* 194: 169-193.

Selley, R.C. 1996. Ancient sedimentary environments and their subsurface diagnosis. *Geological Magazine*, 134(1): 121-142.

Schuster, M., Nutz, A. 2017. Lacustrine wave-dominated clastic shorelines: modern to ancient littoral landforms and deposits from the Lake Turkana Basin (East African Rift System, Kenya). *Journal of Paleolimnology*, 59(2): 221-243.

Stapor FW. 1975. Holocene beach-ridge plain development, northwest Florida. *Z Geomorphol Suppl*, 22:116–141.

Tucker, M. E. 2001. *Sedimentary Petrology* 3ed. Oxford, Blackwell Publishing, 262p.

Turkmen, I., Aksoy, E., Tasgin, C.K. 2007. Alluvial and lacustrine facies in a extensional basin: The Miocene of Malatya basin, eastern Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30: 181-198.

Vieira, R. A. B., Mendes, M. P., Vieira, P.E., Costa, L. A. R.; Tagliari, C. V.; Bacelar, L. A. P.; Feijó, F.J. 1994. Bacias do Espírito Santo e Mucuri. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8(1): 191-202.

Walker, R.G. 2006. Facies models revisited: Introduction. *In*: Posamentier, H. W., Walker, R.G. (Ed.). 2006. *Facies Models Revisited*. Oklahoma, SEPM, p. 1-19.

Wanas, H.A., Sallam, E., Zooba, M.K., Li, X. 2015. Mid-Eocene alluvial lacustrine succession at Gebel El-Goza El- Hamra (Shabrawet area, NE Eastern Desert Egypt): Facies Analysis, sequence stratigraphy and paleoclimatic implications. *Sedimentary Geology*, 329: 115-129.

Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments: *Jour. Geology*, 30: 377-392.

- Yuretich, R.F, Cerling, T.E. 1983. Hydrogeochemistry of Lake Turkana, Kenya: Mass balance and mineral reactions in an alkaline lake. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47: 1099-1109.
- Zuffa, G.G., 1985. Optical analysis of arenites: Influence of methodology on compositional results. In: Zuffa, G.G. (Ed.), *Provenance of Arenites*. NATO-ASI Series C: Mathematical and Physical Sciences, v. 148, D. Reidel Publishing Co., Dordrecht, The Netherlands, p. 165–189.

## ANEXOS

## Amostras costeiras

Amostras	Microclínio	Ortoclásio	Pertita	Plagioclásio	Feldspato Potássico	Feldspato Totais
MUC.1	7,66	1,67	3,00	0,33	12,33	12,66
MUC.2	7,33	0,67	3,00	0,33	11,00	11,33
MUC.3	4,33	0,67	1,67	0,00	6,67	6,67
MUC.4	6,00	0,67	2,67	0,67	9,34	10,01
MUC.5	3,34	0,67	1,33	1,66	5,34	7,00
MUC.6	8,34	1,67	1,67	2,66	11,68	14,34
MUC.7	8,00	0,67	2,00	2,67	10,67	13,34
MUC.8	9,67	2,00	3,00	2,00	14,67	16,67
MUC.9	6,66	3,00	2,33	1,67	11,99	13,66
MUC.10	6,33	1,67	3,67	2,00	11,67	13,67
MUC.11	9,33	1,67	4,00	2,67	15,00	17,67
MUC.12	10,67	2,33	4,67	3,00	17,67	20,67
MUC.13	0,67	1,33	0,67	7,00	2,67	9,67
MUC.14	3,67	1,67	4,33	8,00	9,67	17,67
MUC.15	0,67	3,00	3,00	5,00	6,67	11,67
MUC.16	1,67	0,33	3,67	2,33	5,67	8,00
MUC.17	2,00	0,33	3,00	1,67	5,33	7,00
MUC.18	4,00	2,67	2,67	2,33	9,34	11,67
MUC.19	5,00	2,00	0,00	2,33	7,00	9,33
MUC.20	8,66	3,66	4,00	3,33	16,32	19,65
MUC.21	11,00	4,00	5,33	5,33	20,33	25,66
MUC.22	10,67	4,00	2,00	2,67	16,67	19,34
MUC.23	10,00	7,00	4,00	4,00	21,00	25,00
MUC.24	11,66	3,66	1,67	4,33	16,99	21,32
MUC.25	4,66	0,33	1,67	1,33	6,66	7,99
MUC.26	4,67	1,00	5,33	1,67	11,00	12,67
MUC.27	7,33	2,33	3,67	1,33	13,33	14,66
MUC.28	4,67	0,33	5,67	1,66	10,67	12,33
MUC.29	6,00	1,33	2,67	3,00	10,00	13,00
MUC.30	5,33	1,00	2,67	1,33	9,00	10,33
MUC.31	9,00	5,34	2,33	0,67	16,67	17,34
MUC.32	0,33	0,33	0,00	1,00	0,66	1,66
MUC.33	9,67	3,00	3,33	4,00	16,00	20,00
MUC.34	5,33	1,67	2,33	2,33	9,33	11,66
MUC.35	8,33	2,00	3,33	2,67	13,66	16,33
MUC.36	9,00	3,67	3,00	6,67	15,67	22,34
MUC.38	12,66	3,67	6,67	2,33	23,00	25,33

MUC.39	0,33	0,33	1,67	1,33	2,33	3,66
MUC.40	3,33	1,67	4,00	5,00	9,00	14,00
MUC.41	8,33	3,33	1,00	1,67	12,66	14,33
MUC.42	7,66	1,67	6,00	6,33	15,33	21,66
MUC.43	11,00	3,00	3,33	4,00	17,33	21,33
MUC.44	5,34	1,66	5,00	11,33	12,00	23,33
MUC.45	9,33	3,67	0,67	1,00	13,67	14,67
MUC.46	4,66	1,66	5,66	9,00	11,98	20,98
MUC.47	10,67	2,00	4,33	6,00	17,00	23,00
MUC.48	6,33	1,67	3,00	3,67	11,00	14,67
MUC.49	1,00	0,00	0,00	0,33	1,00	1,33
MUC.50	9,00	3,33	2,67	6,00	15,00	21,00
MUC.51	10,66	4,33	6,00	4,33	20,99	25,32
MUC.52	4,00	1,67	1,33	4,33	7,00	11,33
MUC.53	6,00	0,67	2,00	0,67	8,67	9,34
MUC.54	7,66	2,33	2,33	3,33	12,32	15,65
MUC.55	6,33	2,00	2,67	5,00	11,00	16,00
MUC.56	7,33	1,67	1,67	3,67	10,67	14,34
MUC.57	7,33	1,00	2,00	3,67	10,33	14,00
MUC.58	5,33	1,66	0,67	2,00	7,66	9,66
MUC.59	5,00	1,00	1,67	3,00	7,67	10,67
MUC.60	5,33	1,67	1,33	2,33	8,33	10,66
MUC.61	8,67	1,67	3,67	1,67	14,01	15,68
MUC.62	5,67	2,67	1,33	1,00	9,67	10,67
MUC.63	10,66	1,00	3,00	1,00	14,66	15,66
MUC.64	8,00	0,67	0,00	2,67	8,67	11,34
MUC.65	10,33	1,00	4,67	2,67	16,00	18,67
MUC.66	12,00	1,33	6,00	3,00	19,33	22,33
MUC.67	9,00	0,67	3,67	3,33	13,34	16,67
MUC.68	6,33	0,67	3,67	1,67	10,67	12,34
MUC.69	7,33	1,67	3,00	4,67	12,00	16,67
MUC.70	4,33	2,67	1,00	1,67	8,00	9,67
MUC.71	7,34	2,33	4,00	1,67	13,67	15,34
MUC.72	4,33	2,67	3,67	3,33	10,67	14,00
MUC.73	8,33	2,33	4,67	4,67	15,33	20,00
MUC.74	7,67	1,33	4,00	2,67	13,00	15,67
MUC.75	11,33	2,00	3,67	3,00	17,00	20,00
MUC.76	8,34	1,67	3,33	3,66	13,34	17,00
MUC.77	1,67	1,33	5,33	2,34	8,33	10,67
MUC.78	6,67	1,00	5,00	1,67	12,67	14,34
MUC.79	6,34	1,33	0,33	2,00	8,00	10,00
MUC.80	9,66	2,00	3,33	0,33	14,99	15,32
MUC.81	12,67	2,00	4,33	2,00	19,00	21,00
MUC.82	1,00	2,00	2,67	5,00	5,67	10,67

MUC.83	7,00	7,66	4,00	5,33	18,66	23,99
MUC.84	4,00	2,33	1,67	2,00	8,00	10,00
MUC.85	3,33	2,00	0,67	1,67	6,00	7,67
MUC.86	4,33	3,33	0,00	1,67	7,66	9,33
MUC.87	2,67	2,00	1,00	0,67	5,67	6,34
MUC.88	6,67	5,00	3,67	8,33	15,34	23,67
MUC.89	6,00	5,33	3,67	5,33	15,00	20,33
MUC.90	5,33	4,00	1,00	1,67	10,33	12,00
MUC.91	7,00	4,66	3,33	2,67	14,99	17,66
MUC.92	7,34	5,67	3,67	2,33	16,68	19,01
MUC.93	3,67	2,00	4,33	2,67	10,00	12,67
MUC.94	11,00	5,00	6,33	4,33	22,33	26,66
MUC.95	4,33	2,67	6,33	4,33	13,33	17,66
MUC.96	10,33	8,34	6,00	3,67	24,67	28,34
MUC.97	7,34	3,00	5,67	6,00	16,01	22,01
MUC.98	11,33	6,00	4,00	5,66	21,33	26,99
MUC.99	13,00	1,67	0,00	3,33	14,67	18,00
MUC.100	10,00	3,34	2,33	2,67	15,67	18,34
MUC.101	8,00	5,67	3,66	5,00	17,33	22,33
MUC.102	9,67	5,00	3,33	3,33	18,00	21,33
MUC.103	10,67	4,33	5,33	4,67	20,33	25,00
MUC.104	17,33	4,66	0,33	1,67	22,32	23,99
MUC.105	8,66	4,00	5,66	3,34	18,32	21,66
MUC.106	9,33	4,33	0,67	4,00	14,33	18,33
MUC.107	3,00	1,67	2,67	1,00	7,34	8,34
MUC.108	8,00	1,67	2,67	4,34	12,34	16,68
MUC.109	6,00	1,00	1,33	3,00	8,33	11,33
MUC.110	7,66	2,00	2,33	4,67	11,99	16,66
MUC.111	6,00	1,00	3,67	2,33	10,67	13,00
MUC.112	6,00	1,00	2,67	2,67	9,67	12,34
MUC.113	3,33	1,67	0,67	1,67	5,67	7,34
MUC.114	6,67	1,67	2,33	3,67	10,67	14,34
MUC.115	6,00	2,00	3,00	5,00	11,00	16,00
MUC.116	3,34	2,33	1,00	1,66	6,67	8,33
MUC.117	4,67	1,67	3,33	4,34	9,67	14,01
MUC.118	8,00	3,33	1,33	3,66	12,66	16,32
MUC.119	4,67	2,00	2,33	3,67	9,00	12,67
MUC.120	8,66	6,34	1,00	3,00	16,00	19,00
MUC.121	4,33	1,33	2,00	4,67	7,66	12,33
MUC.122	2,67	1,33	0,00	0,67	4,00	4,67
MUC.123	2,00	0,67	1,33	3,00	4,00	7,00
MUC.124	2,67	1,00	1,33	1,00	5,00	6,00
MUC.125	5,66	1,00	2,67	1,67	9,33	11,00
MUC.126	3,67	2,67	0,33	1,00	6,67	7,67

MUC.127	4,00	4,00	2,66	3,33	10,66	13,99
MUC.128	6,66	2,00	6,00	2,00	14,66	16,66
MUC.129	5,00	1,67	2,33	1,33	9,00	10,33
MUC.130	5,00	6,33	0,67	3,33	12,00	15,33
MUC.131	7,33	4,00	0,67	3,00	12,00	15,00
MUC.132	19,33	1,67	0,33	2,34	21,33	23,67
MUC.133	6,00	5,67	1,00	5,34	12,67	18,01
MUC.134	7,67	2,00	0,00	3,00	9,67	12,67
MUC.135	9,66	5,33	1,00	8,67	15,99	24,66
MUC.136	5,67	5,33	3,67	2,00	14,67	16,67
MUC.137	14,33	8,67	4,00	2,00	27,00	29,00
MUC.138	9,33	6,67	3,00	4,00	19,00	23,00
MUC.139	0,33	3,33	5,00	5,33	8,66	13,99
MUC.140	1,00	1,00	0,00	0,33	2,00	2,33
MUC.141	4,00	3,00	2,33	2,67	9,33	12,00
MUC.142	5,33	2,67	3,00	2,33	11,00	13,33
MUC.143	6,00	3,00	4,33	7,00	13,33	20,33
MUC.144	4,67	2,34	0,33	4,34	7,34	11,68
MUC.145	1,00	5,67	3,00	9,67	9,67	19,34
MÉDIA	6,75	2,59	2,78	3,20	12,12	15,31

Microclínio/ Feldspatos totais	0,44
Feldspato Potássico Totais/ Plagioclásio	0,79



## Amostras Fluviais

Amostras	Microclínio	Ortoclásio	Pertita	Plagioclásio	Feldspato Potássico	Feldspato Total
MUC 146	7,33	1,33	5,00	2,33	13,66	15,99
MUC 147	9,67	0,67	5,00	1,00	15,34	16,34
MUC 148	10,34	1,33	1,33	0	13,00	13,00
MUC 149	4,33	1,33	1,67	0	7,33	7,33
MUC 150	10,00	1,33	1,67	2,34	13,00	15,34
MUC 151	10,34	1,67	1,67	0	13,68	14,01
MUC 152	7,67	1,00	2,00	2,00	10,67	12,67
MUC 153	6,67	2,33	1,33	0,67	10,33	11,00
MUC 154	5,00	0,67	1,67	1,66	7,34	9,00
MUC 155	11,33	1,33	2,67	2,67	15,33	18,00
MUC 156	8,67	1,00	3,33	0,33	13,00	13,33
MUC 157	6,00	1,00	4,00	1,00	11,00	12,00
MUC 158	7,00	3,33	1,33	5,34	11,66	17,00
MUC 159	9,00	6,00	1,00	8,00	16,00	24,00
MUC 160	8,00	3,33	1,33	5,67	12,66	18,33
MUC 161	6,00	2,66	4,67	5,00	13,33	18,33
MUC 162	10,67	0,66	4,33	3,67	15,66	19,33
MUC 163	9,66	0,66	2,00	0,67	12,32	12,99
MUC 164	11,33	1,67	3,00	1,33	16,00	17,33
MUC 165	7,00	2,00	1,00	2,33	10,00	12,33
MUC 166	15,66	2,00	4,34	1,33	22,00	23,33
MUC 167	7,66	2,33	1,00	2,34	10,99	13,33
MUC 168	7,33	1,66	3,33	7,33	12,32	19,65
MUC 169	7,34	2,00	1,00	1,67	10,34	12,01
MUC 170	12,33	1,00	3,33	1,66	16,66	18,32
MUC 171	2,34	2,67	3,66	5,67	8,67	14,34
MUC 172	3,33	1,33	4,67	3,67	9,33	13,00
MUC 173	3,67	1,33	6,00	2,67	11,00	13,67
MUC 174	8,00	1,34	4,34	2,67	13,68	16,35
MUC 175	2,00	1,66	9,66	1,67	13,32	14,99
MUC 176	3,33	1,00	18,67	1,34	23,00	24,34
MUC 177	4,67	1,33	4,67	4,00	10,67	14,67
MUC 178	3,66	1,67	1,67	4,34	7,00	11,34
MUC 179	4,66	0	8,33	1,33	12,99	14,32
MUC 180	5,35	0	7,36	6,35	12,71	19,06
MUC 181	10,00	3,67	3,00	3,00	16,67	19,67
MUC 182	3,67	0,67	6,33	4,33	10,67	15,00
MUC 183	5,00	0,33	7,67	2,00	13,00	15,00
MUC 184	9,67	4,67	5,33	5,00	19,67	24,67
MUC 185	12,66	4,00	6,66	3,00	23,32	26,32
MUC 186	11,33	0,67	3,00	4,33	15,00	19,33
MUC 187	6,67	1,67	2,33	2,66	10,67	13,33
MUC 188	6,33	1,33	1,67	3,67	9,33	13,00
MUC 189	12,00	0,67	2,00	2,67	14,67	17,34
MUC 190	10,33	0,67	3,00	3,33	14,00	17,33
MUC 191	9,33	0,67	3,66	2,67	13,66	16,33
MUC 192	5,33	1,67	2,66	2,00	9,66	11,66
MUC 193	6,00	1,33	5,00	1,33	12,33	13,66

MUC 194	8,67	0,33	6,00	0,67	15,00	15,67
MUC 195	6,00	2,67	4,66	6,00	13,33	19,33
MUC 196	7,67	1,33	2,67	2,33	11,67	14,00
MUC 197	1,66	0	3,33	6,33	4,99	11,32
MUC 198	8,34	2,00	4,66	1,67	15,00	16,67
MUC 199	3,34	0,66	2,33	6,00	6,33	12,33
MUC 200	11,67	1,67	7,00	4,33	20,34	24,67
MUC 201	5,33	1,67	4,34	3,00	11,34	14,34
MUC 202	13,34	4,33	6,66	1,33	24,33	25,66
MUC 203	10,00	3,33	2,33	4,66	15,66	20,32
MUC 204	8,33	2,00	3,67	5,00	14,00	19,00
MUC 205	4,00	0	4,33	7,00	8,33	15,33
MUC 206	5,67	2,00	5,67	5,66	13,34	19,00
MUC 207	10,00	1,33	5,00	1,00	16,33	17,33
MUC 208	6,00	1,33	3,00	1,33	10,33	11,66
MUC 209	3,67	3,00	3,00	1,67	9,67	11,34
MUC 210	5,00	1,33	5,33	1,00	11,66	12,66
MUC 211	2,00	0,67	8,67	4,00	11,34	15,34
MUC 212	1,33	1,33	6,34	3,66	9,00	12,66
MUC 213	1,00	1,00	5,67	6,00	7,67	13,67
MUC 214	4,00	4,67	6,00	7,00	14,67	21,67
MUC 215	3,34	1,00	3,00	1,00	7,34	8,34
MUC 216	7,67	3,66	3,00	3,34	14,33	17,67
MUC 217	9,00	3,00	0,67	1,67	12,67	14,34
MUC 218	9,33	5,00	5,33	0,33	19,66	19,99
MUC 219	2,67	1,67	7,00	1,66	11,34	13,00
MUC 220	9,67	2,33	7,33	1,66	19,33	20,99
MUC 221	7,66	2,34	6,00	1,00	16,00	17,00
MUC 222	4,00	3,33	4,00	0	11,33	11,33
MUC 223	2,00	2,33	4,00	1,33	8,33	9,66
MUC 224	15,00	1,00	4,67	1,00	20,67	21,67
MUC 225	10,33	3,00	4,00	2,33	17,33	19,66
MUC 226	4,67	2,00	3,33	2,33	10,00	12,33
MUC 227	11,00	0	5,33	4,34	16,33	20,67
MUC 228	3,33	0,67	3,33	8,34	7,33	15,67
MUC 229	6,00	4,34	4,33	1,33	14,67	16,00
MUC 230	3,33	2,00	3,66	1,33	8,99	10,32
MUC 231	7,00	1,67	5,00	2,00	13,67	15,67
MUC 232	4,00	2,67	4,33	2,67	11,00	13,67
MUC 233	6,33	11,34	3,00	8,33	20,67	29,00
MUC 234	4,33	1,33	1,66	1,00	7,32	8,32
MUC 235	3,00	4,00	6,33	6,00	13,33	19,33
MUC 236	1,67	4,33	5,33	1,33	11,33	12,66
MUC 237	13,67	8,33	0,66	3,33	22,66	25,99
MUC 238	5,33	3,66	5,00	1,00	13,99	14,99
MUC 239	7,66	5,00	5,67	2,33	18,33	20,66
MUC 240	6,00	6,66	3,33	3,34	15,99	19,33
MUC 241	0	4,33	3,00	3,33	7	10,66
MUC 242	4,00	2,67	5,33	1,66	12,00	13,66
MUC 243	10,00	3,00	4,66	1,67	17,66	19,33
MUC 244	5,00	3,67	2,67	1,00	11,34	12,34

MUC 245	9,00	2,33	2,33	1,33	13,66	14,99
MUC 246	6,00	5,66	2,33	2,00	13,99	15,99
Média	6,88	2,21	4,11	2,86	13,20	16,06

Microclínio/ Feldspatos totais	0,42
Razão Feldspato Potássico Totais/ Plagioclásio	0,82

### Anexos em CD

As descrições das lâminas petrográficas feitas no *Projeto Mucuri* (Kuchle, De Ros *et al.*, 2018) foram anexadas em um CD devido ao tamanho extenso dos arquivos.