



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE – CCBS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA – DEOLI
CURSO DE OCEANOGRAFIA

PRISCILA CARVALHO SILVA

**SEDIMENTOLOGIA INTEGRADA DA BAÍA DE SÃO MARCOS À
PLATAFORMA CONTINENTAL DO MARANHÃO: UMA ABORDAGEM
UTILIZANDO MULTI SEDIMENT TREND ANALYSIS (MSTA)**

SÃO LUÍS/MA

2025

PRISCILA CARVALHO SILVA

**SEDIMENTOLOGIA INTEGRADA DA BAÍA DE SÃO MARCOS À
PLATAFORMA CONTINENTAL DO MARANHÃO: UMA ABORDAGEM
UTILIZANDO MULTI SEDIMENT TREND ANALYSIS (MSTA)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão para obtenção do grau de bacharelado em Oceanografia.

Orientador: Professor Dr.
Leonardo Gonçalves Lima.

Coorientador: Brunno Jansen
Franco.

SÃO LUÍS/MA

2025

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Carvalho Silva, Priscila.

SEDIMENTOLOGIA INTEGRADA DA BAÍA DE SÃO MARCOS À
PLATAFORMA CONTINENTAL DO MARANHÃO: UMA ABORDAGEM
UTILIZANDO MULTI SEDIMENT TREND ANALYSIS MSTA / Priscila
Carvalho Silva. - 2025.

92 p.

Coorientador(a) 1: Brunno Jansen Franco.

Orientador(a): Leonardo Gonçalves de Lima.

Monografia (Graduação) - Curso de Oceanografia,
Universidade Federal do Maranhão, São Luís - Ma, 2025.

1. Sedimentologia Costeira. 2. Plataforma Continental
do Maranhão. 3. Transporte Sedimentar. 4. Granulometria.
I. Gonçalves de Lima, Leonardo. II. Jansen Franco,
Brunno. III. Título.

**SEDIMENTOLOGIA INTEGRADA DA BAÍA DE SÃO MARCOS À
PLATAFORMA CONTINENTAL DO MARANHÃO: UMA ABORDAGEM
UTILIZANDO MULTI SEDIMENT TREND ANALYSIS (MSTA)**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de
Oceanografia da Universidade
Federal do Maranhão para obtenção
do grau de bacharel em
Oceanografia.

APROVADO EM: 06/01/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo Gonçalves de Lima (Orientador)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - UFMA

Prof. Dr. Denilson da Silva Bezerra (Titular)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - UFMA

Prof. Dr. Adilson Matheus Borges Machado (Titular)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - UFMA

DEDICATÓRIA

Ao meu querido pai, que partiu, mas nas ondas calmas da memória, essas que, como a maré, nunca cessam e sempre retornam. A saudade que deixaste navega comigo, como farol silencioso que guia, acolhe e permanece.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço, com todo o meu amor, à minha namorada, por ser meu porto seguro em meio ao caos. Por cada palavra de apoio, por cada silêncio de escuta, por estar sempre ao meu lado e ser meu alicerce nessa trajetória. Sua presença tornou tudo mais possível e mais leve. Nada disso teria o mesmo sentido sem você.

À minha família, deixo meu agradecimento por tudo o que colaborou para a minha formação até aqui.

Ao professor Dr. Leonardo Gonçalves de Lima, agradeço pela oportunidade de aprendizado e pelo conhecimento.

Ao Me. Brunno Jansen Franco, agradeço pela coorientação neste trabalho, bem como pelas contribuições técnicas ao longo do processo.

Aos meus amigos da graduação, Nívea Sabrina, Bárbara Costa, Nívea Fernanda, Rivaldo Júnior, Felipe Oliveira e Gabriel Guimarães, agradeço por tornarem essa jornada mais leve e cheia de significado. Aos colegas do LEOG, deixo meu carinho e gratidão pela presença e apoio ao longo do caminho.

Em especial, à Nívea Sabrina, minha companheira de graduação. Obrigada por estar sempre por perto, por ser apoio em tantas fases, por dividir os pesos e comemorar as conquistas. Sua amizade foi um presente durante essa caminhada.

Agradeço ainda a todos que contribuíram para a minha formação.

Por fim, agradeço ao Departamento de Oceanografia e Limnologia da UFMA, ao PIBIC e ao Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica (LEOG), pelas oportunidades, aprendizados e experiências que marcaram minha trajetória acadêmica.

RESUMO

Este estudo analisa, de forma integrada, a textura superficial e as tendências de transporte sedimentar da Baía de São Marcos e da plataforma continental adjacente ao estado do Maranhão, por meio da aplicação da metodologia Multi Sediment Trend Analysis (MSTA). Foram analisadas 55 amostras de sedimentos superficiais coletadas entre 2020 e 2023, cujos dados granulométricos foram tratados segundo os parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957). Os resultados indicam a predominância de sedimentos arenosos ao longo de toda a área de estudo, com variações texturais associadas ao gradiente hidrodinâmico entre os compartimentos estuarino e continental. Na Baía de São Marcos, observa-se elevada heterogeneidade granulométrica, relacionada à intensa atuação das correntes de maré, com concentração de sedimentos grossos nos canais principais e deposição episódica de sedimentos finos em setores mais profundos. Na plataforma continental, os sedimentos apresentam maior homogeneidade textural, com enriquecimento em carbonato e frações grossas na plataforma externa. A aplicação do MSTA permitiu identificar múltiplos vetores de transporte sedimentar, evidenciando zonas de remoção associadas aos bancos rasos e zonas de aprisionamento vinculadas aos canais e às regiões mais profundas da plataforma. Os resultados demonstram a forte conectividade hidrodinâmica e sedimentar entre a Baía de São Marcos e a plataforma continental adjacente, ressaltando a importância de abordagens integradas para a compreensão da dinâmica sedimentar em ambientes costeiros macromarés tropicais.

Palavras – chave: Sedimentologia costeira; Baía de São Marcos; Plataforma Continental do Maranhão; MSTA; Transporte sedimentar; Granulometria.

ABSTRACT

This study provides an integrated analysis of surface sediment texture and sediment transport trends in the São Marcos Bay and the adjacent continental shelf off the state of Maranhão, through the application of the Multi Sediment Trend Analysis (MSTA) methodology. A total of 55 surface sediment samples collected between 2020 and 2023 were analyzed, and their granulometric data were processed using the statistical parameters of Folk and Ward (1957). The results indicate a predominance of sandy sediments throughout the study area, with textural variations associated with the hydrodynamic gradient between the estuarine and continental compartments. In São Marcos Bay, high granulometric heterogeneity is observed, related to the strong influence of tidal currents, with the concentration of coarse sediments in the main channels and episodic deposition of fine sediments in deeper sectors. On the continental shelf, sediments show greater textural homogeneity, with enrichment in carbonate and coarse fractions on the outer shelf. The application of MSTA allowed the identification of multiple sediment transport vectors, highlighting removal zones associated with shallow banks and trapping zones linked to channels and deeper regions of the shelf. The results demonstrate strong hydrodynamic and sedimentary connectivity between São Marcos Bay and the adjacent continental shelf, emphasizing the importance of integrated approaches for understanding sedimentary dynamics in tropical macrotidal coastal environments.

Keywords: Coastal sedimentology; São Marcos Bay; Maranhão Continental Shelf; MSTA; Sediment transport; Grain size analysis.

Sumário

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 8 |
| 2. OBJETIVOS | 9 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 9 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 10 |
| 3. REFERENCIAL TEÓRICO | 10 |
| 3.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA | 10 |
| 3.2 MODELOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS | 12 |
| 3.3 GRANULOMETRIA | 20 |
| 3.3.1 MÉDIA OU DIÂMETRO MÉDIO (M_z) | 21 |
| 3.3.2 MÉDIA (M_d) | 22 |
| 3.3.3 MODA (M_o) | 22 |
| 3.3.4 DESVIO PADRÃO – GRAU DE SELEÇÃO (σ) | 23 |
| 3.3.5 ASSIMETRIA (SKI) | 24 |
| 3.3.6 CURTOSE | 25 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS | 27 |
| 4.1 ÁREA DE ESTUDO | 27 |
| 4.2 METODOLOGIA | 28 |
| 4.2.1 PROCEDIMENTO DE COLETA | 28 |
| 4.2.2 TRATAMENTO DAS AMOSTRAS | 29 |
| 4.2.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS | 32 |
| 5. RESULTADOS: | 33 |
| 5.1 DISTRIBUIÇÃO DA MÉDIA GRANULOMÉTRICA | 37 |
| 5.2 SELEÇÃO: | 41 |
| 5.3 ASSIMETRIA: | 46 |
| 5.4 CURTOSE: | 51 |
| 5.5 TEOR DE CARBONATO: | 56 |
| 5.6 CASCALHO: | 62 |
| 5.7 FREQUÊNCIA ACUMULADA | 65 |
| 5.8 ANÁLISE DE TENDÊNCIAS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS ATRAVÉS DA VARIÇÃO DE PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS (MSTA) | 72 |
| 6. DISCUSSÃO | 74 |
| 7. CONCLUSÃO | 81 |
| 8. REFERÊNCIAS | 82 |

1. INTRODUÇÃO

A dinâmica sedimentar dos ambientes costeiros e plataforma continental é resultado de diversos processos de formação, distribuição e movimentação dos sedimentos que se integram a uma complexa interação entre processos físicos, químicos e biológicos que atuam em diferentes escalas espaciais e temporais (FENG *et al.*, 2023). Em regiões como a costa norte do Brasil, compreender o transporte e a deposição de sedimentos torna-se fundamental para o entendimento da evolução morfológica, da sustentabilidade dos ecossistemas marinhos e da gestão territorial costeira.

Neste contexto, a Baía de São Marcos, situada no estado do Maranhão, representa um dos mais expressivos sistemas estuarinos da costa brasileira. Este ambiente de transição entre o continente e o oceano é influenciado pela confluência de forças fluviais e marinhas, desempenhando papel estratégico como principal via de acesso ao Porto do Itaqui, além de abrigar importantes elementos socioeconômicos e ecológicos, como manguezais, planícies de supamaré e praias com potencial turístico (MORAIS, 1977 e ANDRADE *et al.*, 2009).

Os canais da Baía de São Marcos se conectam diretamente à Plataforma Continental do Maranhão, formando um sistema integrado que abriga processos sedimentares de elevada complexidade. A plataforma adjacente, por sua vez, caracteriza-se por uma transição gradual entre os domínios costeiro e oceânico, marcada por intensas trocas sedimentares e pela presença de recursos minerais marinhos valiosos, conforme destacado pela Avaliação dos Recursos Minerais da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (REMPLOC).

Apesar da relevância ambiental e econômica desse sistema, estudos que tratem de forma integrada a Baía de São Marcos e sua plataforma continental ainda são escassos. Estudos como os de Silva *et al.* (2012) e Rocha *et al.* (2016) investigaram a granulometria dos sedimentos e as influências hidrodinâmicas predominantes em porções específicas da baía, evidenciando padrões de retrabalhamento sedimentar associados às marés e à sazonalidade fluvial. Na plataforma continental, investigações como as de Ferreira *et al.* (2019) e Costa *et al.* (2021) analisaram a composição e distribuição dos sedimentos superficiais, influenciada tanto pela energia das correntes costeiras quanto pela morfologia do fundo marinho.

Nesse sentido, o presente trabalho propõe a aplicação da metodologia *Multi Sediment Trend Analysis* (MSTA) como uma ferramenta para o reconhecimento e interpretação das

tendências de transporte sedimentar em sistemas como o da Baía de São Marcos e sua plataforma continental adjacente. O MSTA representa uma evolução em relação aos modelos clássicos de Sediment Trend Analysis (STA) e *Grain-Size Trend Analysis* (GSTA), ao incorporar análises multivariadas que permitem a identificação simultânea de múltiplos vetores de transporte, minimizando incertezas relacionadas ao espaço, à amostragem e ao próprio modelo, conforme discutido por McLaren *et al.* (2007).

Essa metodologia é adequada para ambientes como a Baía de São Marcos e a plataforma continental adjacente, pois permite captar a diversidade dos vetores de transporte sedimentar em regiões influenciadas por correntes de maré, ondas e rios, características marcantes e estruturantes da área estudada e fundamentais para compreender sua dinâmica sedimentar. Diante desse panorama, evidencia-se a lacuna existente quanto à abordagem integrada dos processos sedimentares que conectam a Baía de São Marcos à Plataforma Continental do Maranhão, especialmente no que se refere à aplicação de métodos estatísticos capazes de representar, a complexidade direcional do transporte de sedimentos. Embora haja contribuições voltadas a setores isolados da região, a ausência de estudos que articulem de maneira sistemática os compartimentos estuarino e continental limita a compreensão da dinâmica sedimentar como um sistema contínuo.

Portanto, este trabalho tem como objetivo geral analisar de forma integrada os processos de transporte e redistribuição sedimentar entre a Baía de São Marcos e a plataforma continental adjacente, utilizando a metodologia *Multi Sediment Trend Analysis* (MSTA) como ferramenta principal para identificar padrões de movimentação sedimentar e contribuir com um modelo conceitual que reflita a conectividade e a complexidade hidrodinâmica e sedimentar da área estudada.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os padrões da textura superficial e tendências de transporte e dos sedimentos dispostos entre a Baía de São Marcos e a plataforma continental externa do Maranhão.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a textura superficial da Baía de São Marcos à Plataforma Continental do Maranhão;
- Avaliar a tendência de sedimentos da Baía de São Marcos à Plataforma Continental do Maranhão;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

O litoral maranhense apresenta uma depressão estrutural e topográfica que constituiu uma maior largura e maior suavidade nessa região da margem continental brasileira. (GORINI, 1981 *apud* PONTES, 2007) e pode ser dividido em três áreas geomorfológicas: litoral ocidental, o Golfão Maranhense e o litoral oriental.

O Golfão Maranhense, de acordo com Brandão e Feijó (1994), separa a costa maranhense em duas bacias sedimentares: a Bacia de São Luís e a Bacia de Barreirinhas. A bacia de São Luís tem origem deposicional no Pré-Cretáceo derivado das forças tectônicas que formaram o Atlântico Equatorial e possuía uma relação direta com os depósitos e uma continuidade física com Bacia do Parnaíba no período Paleozóico, uma vez que com o soerguimento no interior do continente no Pré-Cambriano, houve a separação dessas regiões sedimentares, transformando em pequenas bacias como a Bacia de São Luís (CARVALHO, 2000).

A evolução geomorfológica do Golfão Maranhense teve início no Plioceno, com o soerguimento da faixa costeira, que resultou na reorganização da rede de drenagem e na intensificação dos processos erosivos sobre a Formação Barreiras. Posteriormente, um segundo episódio de elevação ocorreu, promovendo a retomada da erosão e o conseqüente aprofundamento dos vales fluviais, ajustando-os a um novo nível de base mais rebaixado.

Durante o Pleistoceno, registrou-se uma regressão marinha expressiva, que contribuiu para a reconfiguração das baías de São Marcos e São José, promovendo o isolamento da Ilha do Maranhão e originando, na porção continental, a planície marinha de Perizes como registro desse evento. Ao final do Pleistoceno, verificou-se um novo episódio de soerguimento, de menor magnitude, associado a uma transgressão marinha moderada, que desempenhou papel relevante na redefinição da morfologia atual do Golfão Maranhense (AB'SABER, 1960).

Geologicamente, a Ilha do Maranhão integra a Bacia Costeira de São Luís, a qual se originou por meio de processos de rifteamento ocorridos durante o Eocretáceo (Albiano). Nessa região, encontram-se depósitos sedimentares datados dos períodos Cretáceo, Terciário e Quaternário. A sucessão litológica desses depósitos é caracterizada pela alternância de arenitos, arenitos argilosos, lamitos e calcários, conforme descrito por AB'SABER (1960).

No que se refere aos depósitos terciários, destaca-se a Formação São Luís, pertencente à Série Barreiras, que recobre grande parte da região. Essa formação é composta por leitos e lentes de sedimentos clásticos, como conglomerados, cascalhos, areias, argilas e folhelhos arcoseanos, os quais apresentam baixo grau de seleção e consolidação parcial. Associados a esses depósitos, ocorrem também os sedimentos quaternários, representados por depósitos aluvionares e eólicos. Os primeiros são constituídos por materiais transportados e retrabalhados pela drenagem superficial, enquanto os depósitos eólicos correspondem, principalmente, às dunas compostas por areias quartzosas, bem selecionadas e classificadas (ÊNFASE, 2000).

A plataforma continental do Maranhão está compartimentada entre a foz dos rios Gurupi e Parnaíba e apresenta características peculiares, destacando-se pela geomorfologia irregular, evidenciada pela presença de bancos arenosos submersos. Trata-se de uma plataforma relativamente rasa, o que a diferencia das demais plataformas da Margem Equatorial (GUALBERTO, 2002). Essa plataforma continental adjacente ao Maranhão é subdividida em três setores: interna, média e externa.

A plataforma continental interna é caracterizada pela presença da Depressão Maranhense, que integra um sistema complexo de canais descontínuos, com profundidades médias variando entre 28 e 32 metros, sendo limitada pela isóbata de 40 metros. Essa região apresenta relevo complexo, influenciado pela elevada energia de maré, responsável pela formação de canais e ondulações que contribuem para a irregularidade morfológica local. Segundo Swift (1975), na área central da Depressão Maranhense, situada entre os vales de São Marcos e do Cumã, ocorrem bancos arenosos, corroborados por estudos anteriores (HOUBOLT, 1968; SWIFT e LUDWICK, 1976; PALMA, 1979; AMARAL, 1998).

O setor médio da plataforma continental limita-se pelas isóbatas de 40 e 60 metros, caracterizando-se como a área de maior declividade, onde predominam feições erosivas (SUGUIO, 2010; SUMMERHAYES; THORPE, 1996). Na porção offshore da foz do rio Gurupi, observa-se uma reentrância com morfologia semelhante a um golfo, apresentando

largura aproximada de 120 quilômetros, conforme descrito por El-Robrini (1990). Palma (1979) relaciona essa feição à Transgressão Holocênica, período em que o nível do mar encontrava-se mais baixo. Por sua vez, na plataforma continental externa, Palma (1979) e Amaral (1998) sugerem a ocorrência de bancos de algas paralelos à quebra do talude, formados em função da morfologia irregular e da natureza carbonática predominante nesta região.

3.2 MODELOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

A compreensão das direções e padrões de transporte sedimentar constitui um aspecto essencial para a interpretação dos processos oceanográficos e geológicos atuantes em ambientes marinhos. Com o desenvolvimento de técnicas analíticas mais avançadas e do aprimoramento da modelagem espacial, foram propostos métodos capazes de inferir rotas sedimentares com base na variação das propriedades físicas dos sedimentos de fundo. Entre esses métodos, destaca-se a modelo, que, posteriormente, evoluiu para a STA, cuja trajetória metodológica será abordada neste trabalho.

O método STA foi desenvolvido a partir dos estudos de McLaren e Bowles (1985), os quais propuseram um modelo de inferência das direções de transporte sedimentar a partir da análise da granulometria superficial dos sedimentos. Os autores observaram que os processos hidrodinâmicos e morfodinâmicos do ambiente costeiro-marinho promovem alterações sistemáticas nas características granulométricas dos sedimentos durante o transporte. Com base nessas observações, fundamentaram o modelo em três parâmetros estatísticos clássicos, tradicionalmente calculados pelas fórmulas de Folk e Ward (1957), a saber: o tamanho médio dos grãos (Mz), que tende a diminuir ao longo da rota sedimentar (indicando um afinamento progressivo); a seleção (σ), que tende a melhorar (menor dispersão granulométrica); e a assimetria (Sk), que sofre variações conforme o ganho ou a perda de frações específicas (indicando a direção preferencial do transporte).

Para operacionalizar o modelo matemático, os autores consideraram a função de distribuição de tamanhos de grão, representada por $g(s)$, sendo s a classe granulométrica (como areia fina, média ou grossa). Essa distribuição fornece a base para a análise espacial dos padrões sedimentares, permitindo a identificação de tendências que refletem a influência dos processos ambientais sobre a dinâmica de transporte dos sedimentos.

Os estudos indicaram que, ao serem erodidos da fonte, apenas uma parcela dos sedimentos entra efetivamente em transporte, podendo ocorrer alterações em sua composição original, uma vez que os grãos não se deslocam com a mesma facilidade. Essa diferenciação resulta em uma nova distribuição granulométrica dos sedimentos transportados, denominada $r(s)$.

Para descrever a transformação da distribuição original dos grãos $g(s)$ na distribuição dos grãos efetivamente transportados $r(s)$, McLaren e Bowles (1985) propuseram a função de transferência $t(s)$, a qual representa a probabilidade de transporte de cada classe granulométrica. Essa função incorpora todos os fatores que influenciam o movimento dos grãos, como a ação de correntes, ventos, ondas e outras condições hidrodinâmicas do ambiente.

A relação entre as variáveis é expressa pela seguinte equação:

$$r(s_i) = k \cdot g(s_i) \cdot t(s_i)$$

onde:

- $g(s_i)$: corresponde à proporção original de grãos da classe de tamanho “si”
- $t(s_i)$: representa a probabilidade de transporte dessa classe específica;
- k : é um fator de normalização, cuja função é assegurar que a soma total de $r(s)$ representa 100% do sedimento transportado.

Dessa forma, para que a distribuição $r(s)$ seja válida, é necessário que a soma de todas as proporções de (s_i) , ao longo das diferentes classes de tamanho, seja igual a 1:

$$k = \frac{1}{\sum_{i=1}^N g(s_i) t(s_i)}$$

McLaren e Bowles classificaram de “lag” os grãos que não foram transportados, que cria uma distribuição chamada $d(s)$, e a fórmula é:

$$d(s_i) = k' \cdot g(s_i) \cdot (1 - t(s_i))$$

onde $g(s_i)$ vezes a chance de não ser transportado ($1 - t(s_i)$).

Logo:

$$k' = \frac{1}{\sum_{i=1}^N g(s_i) (1 - t(s_i))}$$

A premissa central do modelo desenvolvido por McLaren e Bowles (1985) baseia-se na suposição de que a função de transferência $t(s)$ é crescente. Isso implica que os sedimentos efetivamente transportados, representados por $r(s)$, tendem a apresentar características granulométricas mais finas, melhor seleção (ou seja, menor dispersão granulométrica) e assimetria negativa, o que indica uma predominância de grãos menores em relação aos maiores. Por outro lado, os sedimentos residuais, ou seja, aqueles que permanecem na fonte após o início do transporte (denominados $d(s)$), tendem a ser mais grosseiros e a apresentar assimetria positiva, indicando a retenção de partículas maiores.

O modelo estatístico proposto tem como objetivo determinar a direção preferencial do transporte sedimentar a partir da análise das variações nas propriedades granulométricas dos sedimentos — notadamente, o tamanho médio, a seleção e a assimetria. Para lidar com a variabilidade espacial dos dados e aumentar a robustez da análise, o método considera todas as combinações possíveis de pares de amostras dentro da área de estudo (por exemplo, ponto A com B, A com C, B com C, entre outros). A partir da comparação entre esses pares, verifica-se a ocorrência de padrões sistemáticos nas alterações granulométricas que possam indicar a direção do transporte sedimentar predominante.

Onde N amostras, o número de pares unidirecionais possíveis é dado por:

$$N = \frac{n^2 - n}{2}$$

Com 3 amostras (A,B,C), compara-se: (A → B), (A → C), (B → C), ou seja, 3 pares.

Nos parâmetros são definidos:

Tamanho médio: Pode ser mais fina (F) ou mais grossa (C)

Seleção: Melhor selecionada (B) – menor variância- ou pior selecionada (P)

Assimetria: Negativamente inclinada (-) -indica mais grãos finos- ou positivamente inclinada (+) -mais grãos grossos.

Essas três variáveis geram 8 combinações possíveis, por exemplo:

1. F, B, -
2. C, P, +
3. C, B, -
4. F, P, -
5. C, P, -
6. F, B, +
7. C, B, +
8. F, P, +

Com os avanços metodológicos no campo da análise de tendências sedimentares, Gao e Collins (1992, 1994) contribuíram significativamente para o aprimoramento do método Sediment Trend Analysis (STA). Os autores propuseram que, além da comparação direta entre pares de pontos amostrais, seria possível identificar tendências regionais na distribuição granulométrica ao integrar informações morfológicas e hidrodinâmicas do ambiente. Essa abordagem tornou o método mais robusto e aplicável a contextos sedimentares complexos, como deltas, estuários e zonas costeiras altamente dinâmicas.

O modelo desenvolvido por Gao e Collins é bidimensional (2D) e fundamenta-se na construção de redes espaciais compostas por conexões entre pontos amostrais (nós) e seus vizinhos mais próximos. A partir dessas redes, são aplicadas regras empíricas para a determinação das direções preferenciais de transporte sedimentar, com base nas mudanças sistemáticas observadas nos parâmetros granulométricos entre amostras adjacentes. A fundamentação teórica do método parte do princípio de que os sedimentos sofrem transformações previsíveis ao longo das rotas de transporte, devido à atuação dos processos hidrodinâmicos. Tais transformações seguem padrões típicos:

- **Granulometria média (M):** tende a diminuir na direção do transporte, indicando progressivo finamento dos sedimentos;
- **Seleção (σ):** tende a melhorar, ou seja, os sedimentos tornam-se mais uniformes granulometricamente;

- **Assimetria (Sk):** tende a se modificar, geralmente passando de positiva para negativa, dependendo das características do ambiente deposicional.

A metodologia proposta pode ser dividida nas seguintes etapas:

A – Construção da malha de conexões espaciais:

Para cada ponto de amostragem (nó), identificam-se seus vizinhos mais próximos, geralmente os três mais próximos, formando uma malha triangular de conexões. Esses pares de comparação estabelecem os vetores ao longo dos quais serão analisadas as tendências sedimentares.

B – Cálculo das diferenças nos parâmetros granulométricos:

Entre cada par de pontos (nó central e vizinho), são calculadas as variações nos parâmetros texturais, conforme as fórmulas abaixo:

$$\Delta M = M_{vizinho} - M_{central}$$

$$\Delta \sigma = \sigma_{vizinho} - \sigma_{central}$$

$$\Delta Sk = Sk_{vizinho} - Sk_{central}$$

Essas diferenças são utilizadas para identificar padrões de finamento, melhoria na seleção e alterações na assimetria dos sedimentos ao longo do vetor de conexão.

C – Aplicação das regras de tendência:

Gao e Collins definiram três padrões principais de tendência sedimentar — denominados T1, T2 e T3. No entanto, apenas os vetores que seguem os padrões T1 ou T2 são considerados válidos como vetores indicativos de transporte sedimentar. Esses vetores válidos são somados vetorialmente em cada ponto de amostragem, resultando em um vetor resultante que representa a direção predominante do transporte sedimentar naquele local.

D - Vetorização das tendências sedimentares:

Quando uma tendência válida é identificada, um vetor de transporte é traçado na direção da transformação granulométrica observada. Esse vetor não necessariamente conecta dois pontos amostrais diretamente, mas representa a direção da mudança textural entre eles.

Tabela 1: Síntese interpretativa das tendências de transporte sedimentar obtidas pelo método MSTA (*Multiple Sediment Trend Analysis*), considerando as variações da granulometria média, seleção (σ) e assimetria (Sk), e suas respectivas interpretações sedimentológicas. (Fonte: Autor).

| Tendência | Granulometria | Seleção (σ) | Assimetria (Sk) | Interpretação |
|------------------|--------------------------|---|-------------------------------------|--|
| T1 | Diminui (afinamento) | Melhora ($\downarrow \sigma$) | Sk tende a 0 ou torna-se negativa | Transporte típico |
| T2 | Aumenta (engrossamento) | Piora ($\uparrow \sigma$) | Sk tende a 0 ou torna-se positiva | Transporte reverso ou sedimento retrabalhado |
| T3 | Variações inconsistentes | σ e Sk com mudanças aleatórias | Padrão indeterminado | Ruído ou sedimentação local |

E – Consolidação das tendências dominantes:

Após a vetorização, todos os vetores válidos são sobrepostos em um mapa da área de estudo. A partir disso, realiza-se uma análise de frequência direcional para identificar os padrões predominantes de transporte sedimentar na região.

A metodologia proposta por Gao e Collins foi incorporada em softwares específicos que automatizam os cálculos e a vetorização dos dados, o que permite a análise de grandes conjuntos de informações granulométricas. Essa abordagem é especialmente útil em ambientes onde há ausência de dados diretos de correntes ou ondas, mas existe ampla disponibilidade de dados sedimentológicos. Ela também auxilia na identificação de rotas preferenciais de transporte, bem como em zonas de deposição e erosão. Para minimizar a influência de variações aleatórias ou "ruídos" nos dados, os autores recomendam o cálculo de uma média final dos vetores obtidos.

Com o objetivo de operacionalizar a Análise de Tendência de Sedimentos (STA) segundo os princípios estabelecidos por Gao e Collins (1994), Gao (1996) desenvolveu o programa GSTA (*Grain Size Trend Analysis*), implementado na linguagem FORTRAN. Esse software foi projetado para automatizar a análise vetorial das tendências de transporte sedimentar, utilizando os parâmetros granulométricos derivados de amostras de sedimentos superficiais.

Posteriormente, visando aprimorar a robustez estatística dos resultados, Chang et al. (2001) introduziram o programa GSTAT, uma extensão do GSTA, incorporando o chamado

teste estatístico L. Esse teste foi implementado para validar a significância estatística dos vetores de transporte gerados, buscando eliminar a influência de padrões espúrios ou ruídos nos dados.

Apesar desses avanços, diversos autores têm destacado limitações metodológicas importantes no uso dos referidos softwares. Uma das principais críticas refere-se ao fato de que o código-fonte das ferramentas computacionais não reproduz com exatidão os procedimentos descritos nos artigos originais. Tal discrepância pode comprometer a replicabilidade e a confiabilidade dos resultados, pois os algoritmos utilizados nem sempre refletem fielmente os pressupostos teóricos da metodologia.

Com a evolução dos recursos computacionais e das linguagens de programação, os primeiros softwares desenvolvidos para aplicação da STA, inicialmente unidimensionais (1D), foram gradualmente substituídos por ferramentas com maior capacidade de análise espacial bidimensional (2D). Exemplos de plataformas utilizadas ao longo do tempo incluem:

- LOTUS 1-2-3 (Le Roux, 1994);
- Microsoft Excel (Le Roux *et al.*, 2002);
- Sistemas de Informação Geográfica (SIG), como o empregado por Asselman (1999).

No entanto, muitos desses softwares apresentaram inconsistências nos resultados gerados, o que motivou o desenvolvimento do programa eCSedTrend. Esta ferramenta foi criada com o propósito de superar as limitações anteriores e atualizar os métodos da STA, integrando soluções de análise geoestatística automatizada. Um dos principais diferenciais do eCSedTrend é a capacidade de definir uma distância geoestatística ideal (d_g), além de permitir ao usuário a opção de aplicar ou não o cálculo da média vetorial, conferindo maior flexibilidade ao método.

Para garantir a validade estatística dos vetores gerados pelas análises de tendência sedimentar, o eCSedTrend incorpora os seguintes testes:

- **Z-test**, conforme McLaren e Bowles (1985);
- **L-test**, segundo Gao e Collins (1992);
- **Watson test**, utilizado por Le Roux *et al.* (2002).

O software permite dois tipos principais de análise de tendência de sedimentos:

- Método Gao e Collins (opção "2D");
- Método Avançado (opção "Enhanced 2D"), que oferece maior precisão estatística e controle analítico.

A Multi Sediment Trend Analysis (MSTA) é uma extensão da Sediment Trend Analysis (STA), metodologia desenvolvida por McLaren e Bowles (1985). Esse método proposto por Poizot, Méar e Schmitt (2008) possibilita analisar as trajetórias múltiplas dos sedimentos em ambientes complexos como sistemas estuarinos, baías e plataformas continentais, uma vez que os sedimentos desses ambientes não seguem uma direção única de transporte, pois são influenciados por forçantes do ambiente que possui múltiplas direções e padrões de transporte diferentes.

Poizot *et al.* (2008) desenvolveram uma modelagem físico-computacional baseada em equações da mecânica dos fluidos, com o objetivo de calcular a velocidade e a direção das correntes, bem como o comportamento do transporte sedimentar. O movimento dos sedimentos foi classificado em três modos distintos: suspensão, tração e saltação, considerando os diferentes mecanismos de interação com o meio fluido.

No que se refere à análise estatística dos sedimentos, o modelo aplica os parâmetros, pois as variáveis utilizadas por McLaren (tamanho médio dos grãos (Mz), grau de seleção (σ) e assimetria da distribuição granulométrica (Sk)) não representam bem o transporte real em ambientes mais complexos. A partir desses parâmetros, é possível gerar até 14 combinações distintas de tendências texturais. No entanto, é importante destacar que nem todos os métodos de Sediment Trend Analysis (STA) empregam todas essas combinações em suas análises.

Para facilitar a representação das tendências, os autores adotaram um sistema padronizado de abreviações:

- F = mais fino (*finer*);
- C = mais grosso (*coarser*);
- B = melhor selecionado (*better sorted*);
- P = pior selecionado (*poorer sorted*);

- += mais assimétrico positivamente;
- -= mais assimétrico negativamente.

Com o intuito de assegurar a estabilidade e a confiabilidade do modelo, foram realizados testes regulares com três conjuntos de dados de referência, que funcionam como cenários-padrão para verificar se atualizações no código interferem nos resultados esperados. Esses casos de validação incluem:

- Vetores direcionados para o sul (caso CB);
- Vetores direcionados para o norte (caso FB⁺);
- Vetores com padrão divergente a partir de um ponto central (caso CB divergente).

Esses testes desempenham papel fundamental na calibração e validação do modelo, garantindo a consistência dos vetores gerados em diferentes atualizações do código computacional

3.3 GRANULOMETRIA

A granulometria é uma metodologia que permite classificar os grãos em razão do seu tamanho e textura, o que torna essa técnica como uma das mais importantes pois proporciona informações sobre a origem, transporte e deposição dos sedimentos. De acordo com Bühler e Souza (2018), a composição sedimentar e sua dinâmica no recurso hídrico são um instrumento fundamental de gestão no que compete ao funcionamento de bacias hidrográficas e suas interrelações com o meio.

Historicamente, diversas escalas foram propostas com o intuito de classificar os sedimentos de acordo com o seu tamanho. Entre essas, destaca-se a escala de Wentworth (1922), que estabeleceu intervalos padronizados em milímetros e associou as classes sedimentares às condições de transporte e deposição. Segundo essa classificação, as partículas são agrupadas em argila (< 0,0039 mm), silte (0,0039–0,0625 mm), areia (0,0625–1 mm), grânulos (1–4 mm), seixos (4–64 mm) e blocos (> 64 mm).

Com o avanço da sedimentologia, W. C. Krumbein (1934) propôs uma modificação logarítmica da escala de Wentworth, resultando na escala phi (Φ), baseada em potências de 2. Essa transformação teve como principal objetivo facilitar o tratamento estatístico dos dados granulométricos, tornando-se amplamente aceita e utilizada em estudos sedimentares contemporâneos. Assim, a presente pesquisa adota o modelo granulométrico definido por Wentworth (1922), com os aprimoramentos sugeridos por Krumbein (1934), conforme apresentado por Dias (2004).

Tabela 2: Escalas de WENTWORTH (1922) e KRUMBEIN (1934) para classificação do tamanho do grão apresentando limites de classe em mm e Phi (Φ).

| Escala Wentworth (mm) | Escala Φ $\Phi = -\log_2 d$ | Tipo de Sedimento |
|--------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| 256.00 | -8.00 | > Matacão |
| 64.00 | -6.00 | > Bloco |
| 32.00 | -5.00 | > Seixo |
| 2.00 | -1.00 | > Grânulo |
| 1.00 | 0.00 | > Areia Muito Grossa |
| 0.50 | 1.00 | > Areia Grossa |
| 0.250 | 2.00 | > Areia Média |
| 0.125 | 3.00 | > Areia Fina |
| 0.062 | 4.00 | > Areia Muito Fina |
| 0.0313 | 5.00 | > Silte Grosso |
| 0.0156 | 6.00 | > Silte Médio |
| 0.0078 | 7.00 | > Silte Fino |
| 0.0039 | 8.00 | > Silte Muito Fino |
| 0.00195 | 9.00 | > Argila Grossa |
| 0.00098 | 10.00 | > Argila Média |
| 0.00049 | 11.00 | > Argila Fina |
| 0.00015 | 12.00 | > Argila Muito Fina |

3.3.1 MÉDIA OU DIÂMETRO MÉDIO (M_z)

De acordo com Dias (2004) e Rzaşa e Owczarzak (2013), a média, ou diâmetro médio, representa uma medida de tendência central que considera o posicionamento dos dados em uma reta real. No contexto das análises granulométricas, essa medida é obtida a partir da curva de frequência acumulada e reflete a distribuição das frações sedimentares presentes na amostra, sendo diretamente influenciada pela forma da curva.

Segundo Folk e Ward (1957), a média gráfica (M_z) é calculada com base na escala Φ (phi) e considera os percentis 16, 50 e 84, cuja soma das posições, dividida por três, fornece a

média ponderada dos tamanhos das partículas presentes no sedimento. Essa formulação visa melhorar a representatividade da média ao incorporar múltiplos pontos da curva granulométrica, especialmente aqueles simetricamente distribuídos em relação ao percentil 50 (ϕ_{50}), proporcionando uma estimativa mais robusta da tendência central dos dados.

A expressão matemática para o cálculo da média gráfica (M_z) é apresentada a seguir:

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$

3.3.2 MÉDIA (M_d)

Dentre as primeiras propostas de medidas gráficas de tendência central aplicadas à granulometria, destaca-se a mediana, definida por Trask (1930) como o valor correspondente ao segundo quartil, ou percentil 50, na escala Φ (phi):

$$Md\Phi = \Phi_{50}$$

Posteriormente, Inman (1954) formalizou a mediana como parâmetro denominado Diâmetro Φ Mediano ($Md\Phi$), representando o valor que divide a amostra em duas partes iguais, separando as partículas mais grosseiras (de maior diâmetro) das mais finas (de menor diâmetro).

Assim como a média, a mediana expressa uma medida de tendência central. No entanto, sua principal característica é que depende apenas da posição dos valores em uma série ordenada, sendo insensível a valores extremos. Na análise sedimentológica, a mediana tem particular relevância, pois reflete o diâmetro que divide a distribuição dos grãos em duas frações equivalentes, correspondendo diretamente ao percentil 50 na escala Φ .

3.3.3 MODA (M_o)

A moda (M_o) é definida como o valor que ocorre com maior frequência em um conjunto de dados, sendo considerada uma medida de tendência central que representa o valor mais típico da distribuição. Na análise granulométrica, a moda corresponde à classe de tamanho de grão mais abundante em uma amostra.

É importante destacar que algumas distribuições podem apresentar, além da moda principal, outras modas secundárias, caracterizando-se como distribuições polimodais. Nesses casos, podem ser classificadas como bimodais, trimodais, tetramodais, entre outras, de acordo com o número de picos ou máximos locais identificados na curva granulométrica. Essas

modas locais representam classes de diâmetros com alta frequência relativa, embora inferior à da moda principal.

3.3.4 DESVIO PADRÃO – GRAU DE SELEÇÃO (σ)

O desvio padrão (σ) representa a medida de dispersão dos dados em relação à média, refletindo diretamente o grau de seleção dos sedimentos, ou seja, a uniformidade na distribuição dos tamanhos de grãos. De acordo com Folk (1968), quanto menor o desvio padrão, mais bem selecionado é o sedimento, indicando ambientes deposicionais com maior constância nos níveis de energia.

Além de quantificar a calibração do sedimento, o desvio padrão fornece informações relevantes sobre a variabilidade dos processos hidrodinâmicos que atuaram durante o transporte e a deposição dos grãos. Em termos estatísticos, é calculado como a raiz quadrada da média dos quadrados dos desvios em relação à média.

Folk e Ward (1957) desenvolveram uma fórmula específica para a análise granulométrica, utilizando os percentis 84 (Φ_{84}), 16 (Φ_{16}) e 50 (Φ_{50}) na escala phi (Φ), a qual permite estimar o grau de seleção dos sedimentos de maneira mais precisa. A classificação deste parâmetro é baseada em intervalos específicos de phi, os quais definem categorias como bem selecionado, moderadamente selecionado ou mal selecionado.

$$\sigma = \frac{(\Phi_{84} - \Phi_{16})}{4} + \frac{(\Phi_{95} - \Phi_5)}{6.6}$$

Folk (1968) estabeleceu uma relação do grau de seleção do desvio padrão com os intervalos de phi descritos na tabela a seguir:

Tabela 3: Classificação da Assimetria segundo FOLK (1968).

| Descrição Verbal | σ em unidade de Φ |
|-------------------------------|--|
| Muito bem selecionado | < 0,35 |
| Bem selecionado | 0,35 a 0,50 |
| Moderadamente bem selecionado | 0,50 a 0,71 |
| Moderadamente selecionado | 0,71 a 1,00 |
| Pobremente selecionado | 1,00 a 2,00 |
| Muito pobremente selecionado | 2,00 a 4,00 |

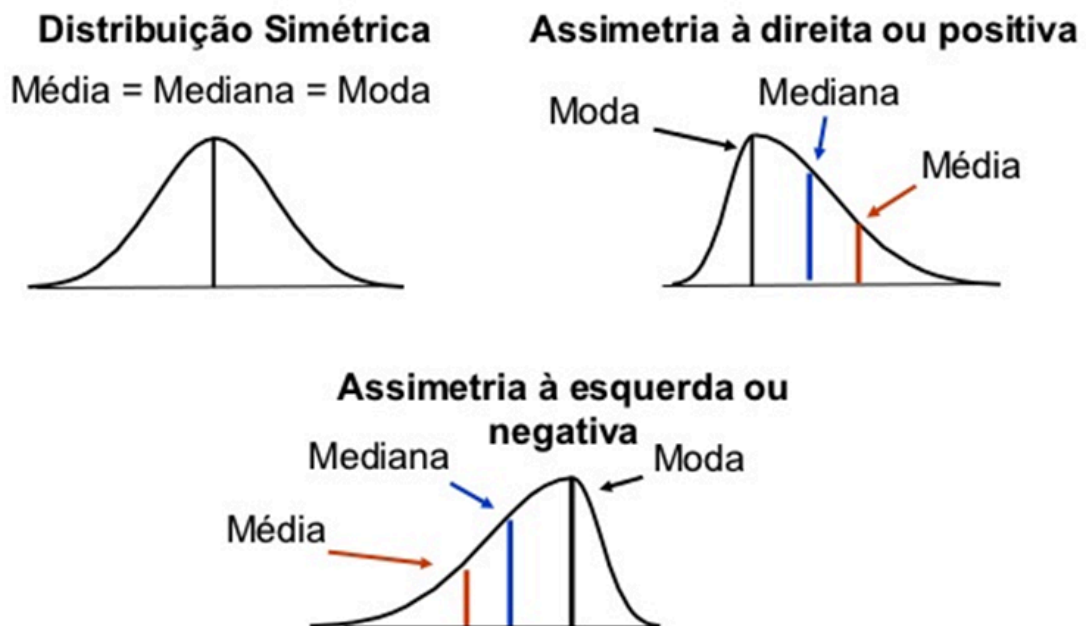
3.3.5 ASSIMETRIA (SKI)

A assimetria (SKI) expressa o grau de inclinação da curva de distribuição granulométrica, indicando a predominância de partículas mais finas ou mais grosseiras em relação à média. De acordo com Folk (1968), a assimetria positiva reflete o enriquecimento em partículas finas, com a curva apresentando cauda à direita. Por outro lado, a assimetria negativa indica predominância de partículas grossas, com cauda à esquerda.

Este parâmetro é fundamental na caracterização dos processos deposicionais, uma vez que revela tendências na distribuição dos tamanhos de grãos, associadas às condições hidrodinâmicas do ambiente sedimentar. A assimetria é uma medida adimensional, calculada com base na diferença entre os percentis da distribuição, e reflete o grau de afastamento dos dados em relação ao centro (média, mediana e moda).

Distribuições simétricas apresentam valores coincidentes de média, mediana e moda (SKI \approx 0). Quando a média é maior que a mediana e está maior que a moda, a distribuição é assimétrica positiva. No sentido inverso, quando a média é menor que a mediana e está menor que a moda, a distribuição é assimétrica negativa (FOLK, 1968).

Figura 1: Classificações de distribuição da assimetria: a) distribuição simétrica, b) distribuição assimétrica positiva, c) distribuição assimétrica negativa adaptado de CORREA (2003).



Folk e Ward (1957) propuseram uma fórmula que combina o método de Inman (1954) baseado nos percentis 16 e 84, que representa 68% da parte central da curva — com os percentis 5 e 95, que abrangem 90% da distribuição, proporcionando uma análise mais robusta da assimetria.

Os valores de assimetria raramente atingem seus limites teóricos (+1 ou -1) em sedimentos naturais. A classificação dos tipos de assimetria, segundo Folk (1957), segue intervalos específicos que indicam a inclinação da curva para frações finas ou grosseiras.

$$SkI = \frac{(\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50})}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{(\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50})}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$$

Tabela 4: Classificação da Assimetria segundo FOLK (1968).

| Descrição Verbal | Intervalo de Assimetria (SK_I) | Inclinação dos Grãos |
|---------------------------|---|--|
| Assimetria muito negativa | -0,30 a -1,00 | Fortemente assimétrica no sentido dos grosseiros |
| Assimetria negativa | -0,10 a -0,30 | Assimétrica no sentido dos grosseiros |
| Simétrica | +0,10 a -0,10 | Aproximadamente simétrica |
| Assimetria positiva | +0,30 a +0,10 | Assimétrica no sentido dos finos |
| Assimetria muito positiva | +1,00 a +0,30 | Fortemente assimétrica no sentido dos finos |

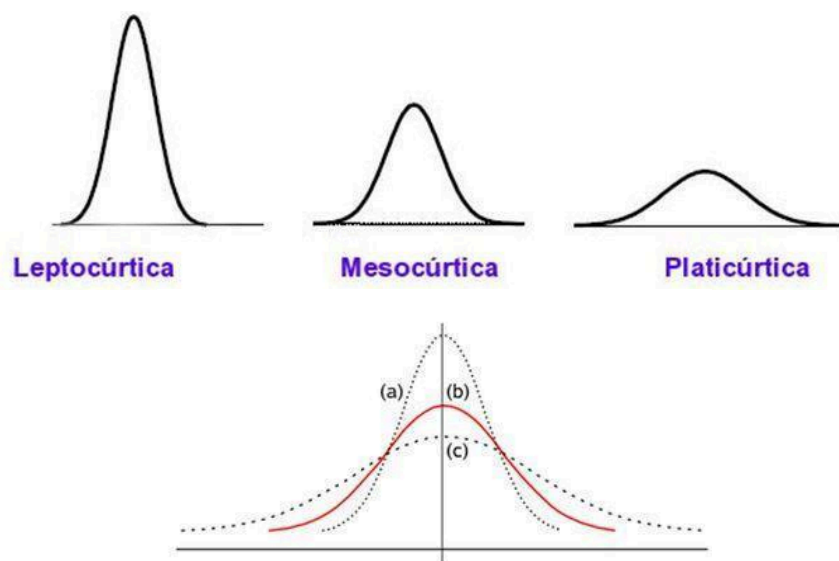
3.3.6 CURTOSE

A curtose (Kurtosis) representa o grau de afilamento ou achatamento da curva de distribuição granulométrica em relação a uma distribuição normal. Este parâmetro indica o

quanto a curva é mais alongada (delgada) ou mais achatada em relação ao padrão normal (FOLK; WARD, 1957).

De acordo com sua classificação, a distribuição relacionada a curtose pode ser: leptocúrtica, quando apresenta uma curva mais estreita e alongada; platicúrtica, quando é mais achatada; ou mesocúrtica, quando se aproxima da curva normal, sem alongamento ou achatamento significativo (FOLK, 1968).

Figura 2: Curvas correspondentes às distribuições de frequências a) leptocúrtica, b) mesocúrtica e c) leptocúrtica adaptado de CORREA (2003).



Folk e Ward (1957) propuseram uma abordagem baseada na razão entre os intervalos dos percentis. Eles observaram que, em uma distribuição normal, o intervalo entre os percentis 5 e 95 é 2,44 vezes maior que o intervalo entre os percentis 25 e 75. A partir dessa relação, desenvolveram o parâmetro denominado Angulosidade Gráfica (KG), calculado pela seguinte equação:

$$KG = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2,44 \times (\Phi_{75} - \Phi_{25})}$$

Nesta fórmula, uma curva é considerada mesocúrtica quando $KG=1,00$, leptocúrtica quando $KG > 1,00$ e platicúrtica quando $KG < 1,00$.

Valores extremos de curtose (muito altos ou muito baixos) indicam informações relevantes sobre o tipo de transporte sedimentar e se houve preservação ou alteração das

características originais do sedimento durante os processos de deposição (FOLK; WARD, 1957; FOLK, 1968).

Tabela 5: Classificações Curtose segundo FOLK (1968)

| Descrição Verbal | KG |
|-------------------------|---------------|
| Platicúrtico | < 0,67 a 0,90 |
| Mesocúrtico | > 0,90 a 1,11 |
| Leptocúrtico | >1,11 a >3,00 |

4. MATERIAL E MÉTODOS

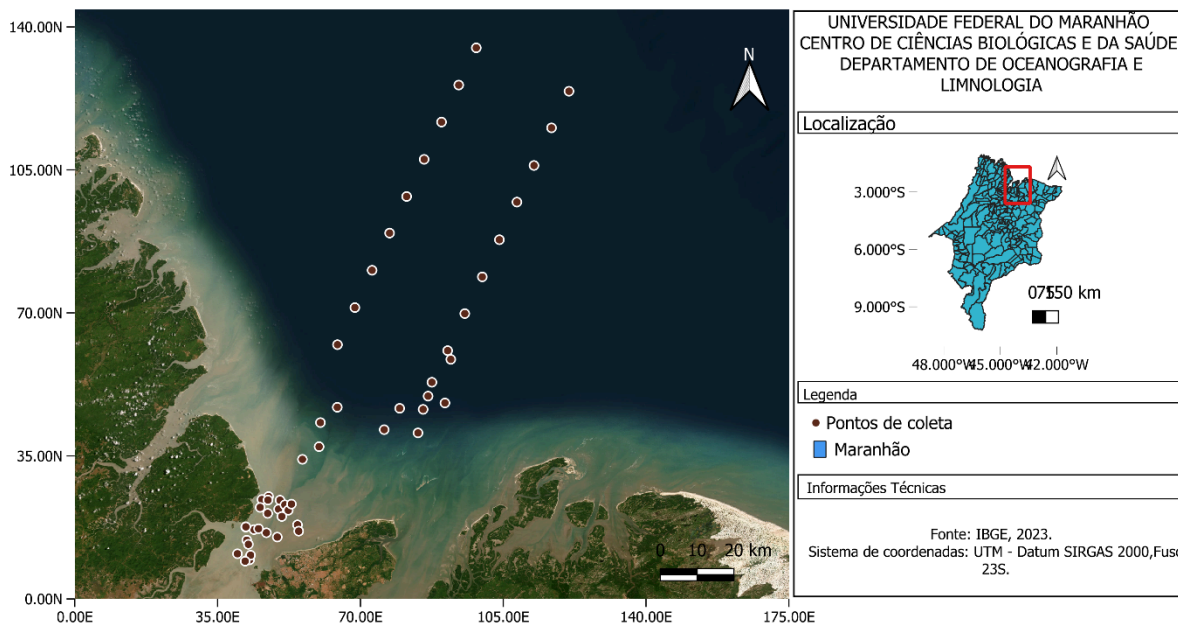
4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo abrange a região que se estende desde a Baía de São Marcos até a Plataforma Continental Maranhense. A Baía de São Marcos, orientada na direção nordeste-sudoeste, localiza-se no estado do Maranhão e possui aproximadamente 130 km de extensão, com trechos que ultrapassam 20 km de largura (El-ROBRINI et al., 2006). Já a plataforma continental do Maranhão está inserida no oceano Atlântico, dentro do domínio da Margem Equatorial Brasileira, entre as latitudes 2,5°S e 0,5°N e as longitudes 41,0°W e 45,0°W (SANTOS, 2018).

A costa maranhense possui aproximadamente 640 km de extensão, sendo subdividida em dois compartimentos bem definidos do ponto de vista morfológico e geológico: o Golfão Maranhense e o Litoral Oriental (FEITOSA, 2006). Na parte ocidental, próximo ao estado do Pará, a área costeira é caracterizada pelas Reentrâncias Maranhenses, nessa região o litoral é marcado por uma costa recortada e uma extensa faixa de manguezais, que dão origem a estuários e áreas rasas conectadas por canais de maré. Na costa leste, predominam formações de dunas e lagoas costeiras (ALMEIDA, 2008; BARBOSA e PINTO, 1973).

Figura 3: Localização da Baía de São Marcos à Plataforma Continental do Maranhão com os pontos amostrais.

(Fonte: Autor)



A Baía de São Marcos configura-se como a extensão do estuário do rio Mearim, formando um sistema estuarino pleistocênico que recebe significativo aporte sedimentar proveniente dos rios Pindaré, Grajaú e Mearim. Além disso, é fortemente influenciada por macromarés semidiurnas, cujos níveis podem atingir até 7,2 metros (PORTOBRAS, 1988; MORAIS, 1977). A Baía de São Marcos abriga uma diversidade de ambientes morfológicos, incluindo estreitos, igarapés, enseadas, ilhas, planícies de maré lamosas — estas podendo estar colonizadas ou não por manguezais, bem como falésias, pontais rochosos, praias de areias quartzosas, dunas e paleodunas, entre outros (MOCHÉL, 2004).

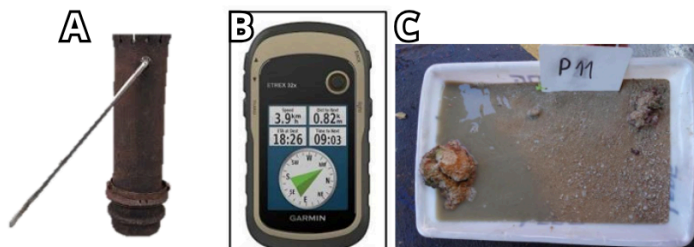
4.2 METODOLOGIA

4.2.1 PROCEDIMENTO DE COLETA

Para a obtenção de informações sedimentológicas da Baía em direção à plataforma continental, foram analisadas 55 amostras, coletadas durante campanhas oceanográficas realizadas a bordo do navio Ciências do Mar II, no período de 2020 a 2023. As coletas foram efetuadas tanto na estação seca quanto na chuvosa, conforme a logística disponível. As amostras foram obtidas por meio de uma draga de Gibbs modificada (Figura 4) (patente

BR1020170021351) , e os pontos de coleta foram devidamente georreferenciados com o auxílio de um GPS (**Figura 4**).

Figura 4: Equipamentos utilizados na etapa de coleta e registro das amostras: (A) draga de Gibbs modificada ; (B) GPS Garmin utilizado na georreferenciação dos pontos amostrais; e (C) bandeja contendo o sedimento bruto imediatamente após a coleta. (Fonte: Autor).



Após a coleta, os sedimentos foram depositados em bandejas plásticas (Figura 4) e identificados com placas contendo as informações do ponto amostral, sendo também registrados por meio de fotografias. Em seguida, o material foi acondicionado em sacos plásticos etiquetados com os dados de identificação, conforme o protocolo padrão estabelecido pelo Laboratório de Estudos de Oceanografia Geológica (LEOG) da Universidade Federal do Maranhão.

4.2.2 TRATAMENTO DAS AMOSTRAS

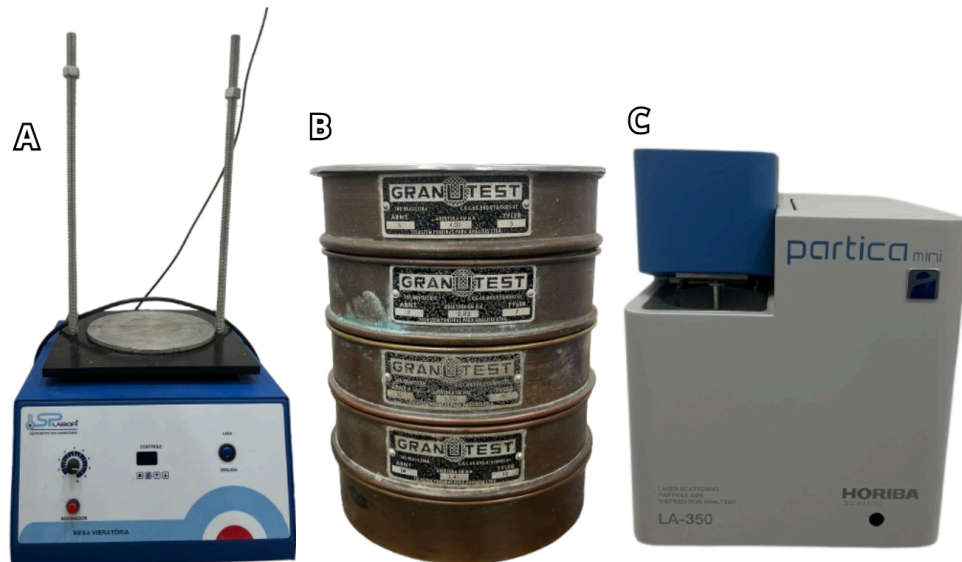
As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Estudos de Oceanografia Geológica (LEOG), onde passaram por procedimentos preparatórios para análise granulométrica. Inicialmente, foi realizada uma lavagem com água para a remoção dos sais. Em seguida, os sedimentos foram armazenados em estufa a uma temperatura constante de 60 °C até a completa secagem.

Após a secagem, foram pesadas alíquotas de 50 g de cada amostra para a realização da análise granulométrica, conforme a metodologia descrita por Suguio (1973). O tratamento estatístico dos dados seguiu os procedimentos propostos por Folk e Ward (1957).

O método mais divulgado para efetuar a análise granulométrica de sedimentos grossos é o da Peneiração (DIAS, 2005). O material retido na peneira de malha de 1 mm, foi encaminhado para a etapa de peneiramento adicional, na qual foi realizada a análise granulométrica por peneiramento a seco, seguindo a metodologia descrita por Suguio (1973).

O peneiramento foi efetuado em agitador automático, com duração de 10 minutos, utilizando peneiras de aço inoxidável com intervalos de $1/2 \Phi$ (4,00; 2,83; 2,00; 1,41; 1,00 e 0,063 mm) (figura 5), organizadas em ordem decrescente de abertura, da maior na parte superior para a menor na base. Essa etapa permitiu a separação das frações até 1Φ , correspondente ao cascalho. As frações com valores inferiores a 1Φ foram posteriormente analisadas em analisador de partículas a laser (Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer HORIBA LA-350), visando à determinação precisa das classes granulométricas mais finas.

Figura 5: Equipamentos utilizados na análise granulométrica: (A) agitador mecânico de peneiras; (B) conjunto de peneiras com intervalos de $1/2 \Phi$ (4,00; 2,83; 2,00; 1,41; 1,00 e 0,063 mm); e (C) analisador a laser Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer HORIBA LA-350. (Fonte: Autor).



4.2.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Todos os dados foram processados foram inseridos no Microsoft Office Excel, as planilhas geradas foram exportadas para o software SYSGRAN 3.0® (CAMARGO, 2006) e analisados segundo os métodos estatísticos descritos por Folk e Ward (1956) a fim de obter as classificações de média, seleção, assimetria, e curtose das partículas sedimentares.

Com esses dados organizados em uma tabela associada às respectivas coordenadas geográficas, procedeu-se à importação das amostras para o ambiente do QGIS, onde o plugin MSTA foi utilizado para a análise de tendências.

O *plugin* MSTA compara cada amostra a suas vizinhas dentro de uma distância característica (*buffer*), definida com base na distribuição espacial dos pontos e, preferencialmente, por meio de análise geoestatística via semivariograma. A partir dessas comparações, são identificados padrões de mudança granulométrica que se enquadram em um dos quatro casos mais frequentes na natureza: FB+ (*finer and better* com assimetria positiva), FB- (*finer and better* com assimetria negativa), CB+ (*coarser and better* com assimetria positiva) e CB- (*coarser and better* com assimetria negativa), conforme proposto por Le Roux e Rojas (2007).

Para cada par de amostras comparado, o algoritmo gera vetores de tendência que apontam da amostra menos selecionada para a mais selecionada, conforme as direções estabelecidas pelos casos de tendência identificados. O comprimento do vetor é proporcional ao número de ocorrências coerentes, servindo como medida de robustez estatística (GAO; COLLINS, 1992). Em áreas onde barreiras físicas, como ilhas ou canais, pudessem interferir no fluxo sedimentar, inseriu-se uma camada vetorial de restrição, impedindo que vetores cruzassem tais feições, conforme funcionalidade prevista no modelo (POIZOT; MÉAR, 2010).

Duas abordagens metodológicas foram consideradas para a definição do vetor final em cada célula da malha: a soma vetorial de todos os casos identificados e a operação exclusiva-ou (XOR), na qual apenas o caso de tendência mais representativo é mantido, com base no maior número de ocorrências e na homogeneidade direcional (POIZOT; MÉAR, 2010). A escolha da abordagem mais apropriada foi orientada pela coerência espacial dos vetores e pela clareza na interpretação dos resultados.

Essa metodologia permitiu mapear as tendências texturais predominantes ao longo da área de estudo e inferir os sentidos preferenciais de transporte, distinguindo zonas potenciais de remoção, acúmulo ou redistribuição de sedimentos, com base nos padrões combinados de granulometria, grau de seleção e assimetria.

5. RESULTADOS:

As análises granulométricas comportam amostras sedimentares coletadas entre a Baía de São Marcos até a plataforma continental externa adjacente ao longo de dois grandes perfis transversais à linha de costa. A classificação dos sedimentos de fundo foi realizada com base nos parâmetros estatísticos propostos por Folk e Ward (1957), a saber: média, mediana, desvio padrão (seleção), assimetria, curtose, como também o percentual de carbonato, cascalho e areia expostos na tabela 8. Para a integração dos resultados granulométricos foi utilizado um modelo de transporte sedimentar (MSTA) (figura 40). Esses parâmetros são fundamentais para a caracterização dos sedimentos e permitem inferências quanto aos processos de transporte, deposição e dinâmica sedimentar atuantes na região. As amostras foram divididas em blocos “CA”, correspondentes à Baía de São Marcos, e “PC”, correspondentes à plataforma continental adjacente ao Maranhão.

A análise integrada dos dados granulométricos das amostras coletadas ao longo da Baía de São Marcos e da plataforma continental adjacente ao estado do Maranhão resultou em 55 amostras, com tamanhos de grãos classificados como areia fina, areia média, areia grossa, areia muito grossa e argila (tabela 7) . Isso evidencia um contínuo sedimentar marcado por variações nas características texturais, que refletem a transição de ambientes com diferentes níveis de energia hidrodinâmica, influências hidrossedimentológicas e processos de transporte e deposição. Essa evidência é confirmada quando se correlaciona a média das amostras com os parâmetros de seleção e assimetria.

Tabela 7 : Distribuição das classes texturais dos sedimentos superficiais ao longo da Baía de São Marcos e da plataforma continental adjacente, indicando a quantidade de ocorrências por categoria granulométrica. (Fonte: Autor)

| Classificação | Quantidade |
|--------------------|------------|
| Areia fina | 4 |
| Areia média | 41 |
| Areia grossa | 8 |
| Areia muito grossa | 1 |
| Argila | 1 |

A delimitação dos limites da plataforma continental neste estudo utilizou as isóbatas definidas para a plataforma adjacente de Barreirinhas, pois essa região apresenta morfologia mais contínua e típica da Margem Equatorial Brasileira, permitindo distinguir claramente as subdivisões de plataforma interna, média e externa (FIGUEIREDO JR. *et al.*, 2015; SILVA; FONSECA; COUTINHO, 2020). Tradicionalmente, essas unidades são associadas às isóbatas de 20–30 m para a plataforma interna, 30–50 m para a média e 70–100 m para a externa (SHEPARD, 1963; SWIFT, 1975; SUMMERHAYES *et al.*, 1976).

Entretanto, a área compreendida entre a Baía de São Marcos e a plataforma apresenta um ambiente de canal profundo, com forte hidrodinâmica e migração de bancos de areia, resultando em uma morfologia irregular que dificulta a aplicação direta dessas isóbatas clássicas (NITTROUER; WRIGHT, 1994; DIAS *et al.*, 2016). Por isso, a adoção das isóbatas de Barreirinhas constitui a referência mais adequada para este trabalho.

Tabela 8: Resultados granulométricos obtidos pelo software SysGran para as 55 amostras coletadas na Baía de São Marcos e plataforma continental adjacente, incluindo média (Φ), mediana, seleção, assimetria, curtose, classificações texturais e percentuais das frações cascalho, areia, silte e argila. (Fonte: Autor).

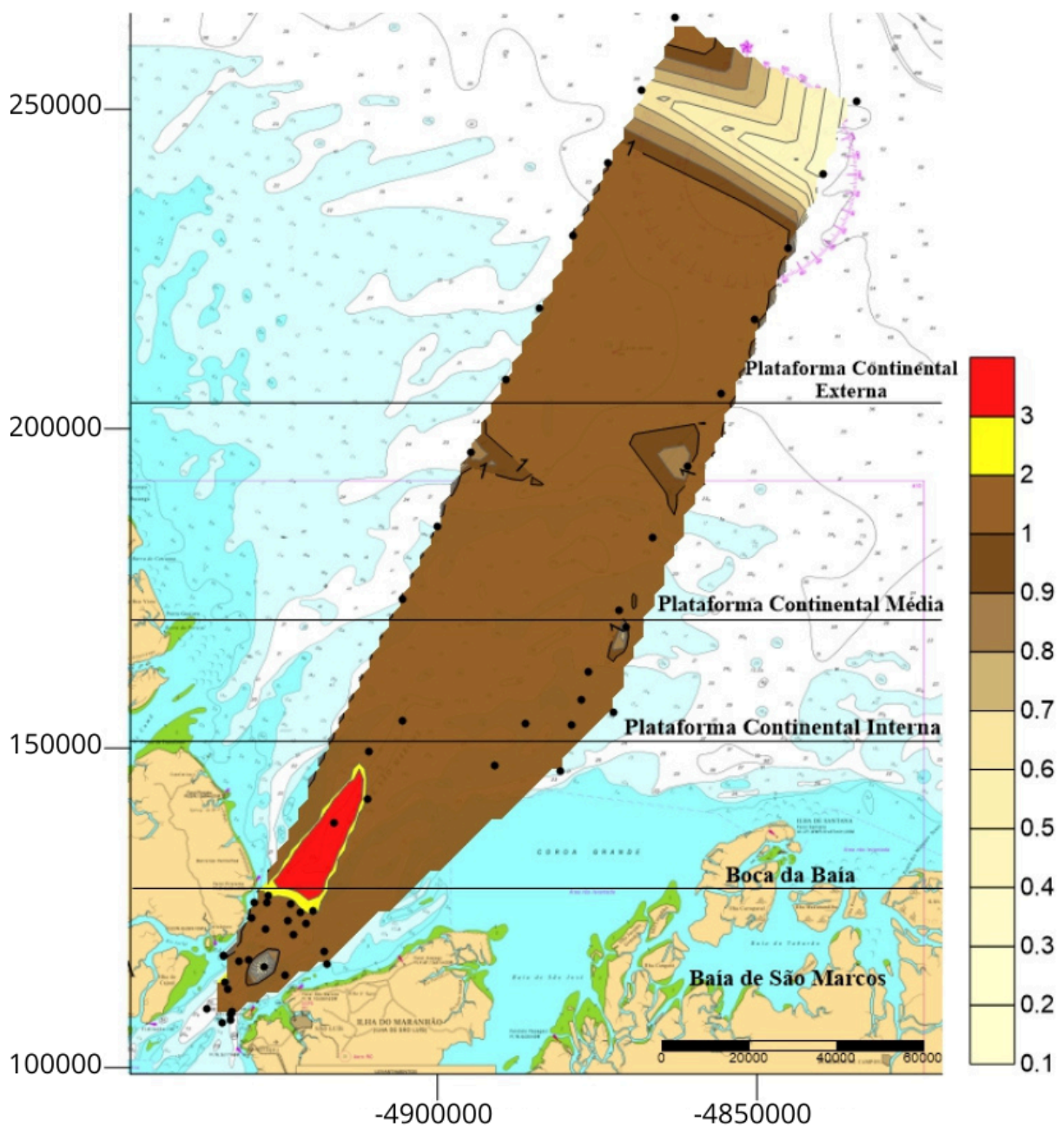
| | Média | Classificação | Mediana | Seleção | Classificação | Assimetria | Classificação | Curtose | Classificação | % Cascalho | % Areia | % Silte | % Argila |
|-------|----------|--------------------|---------|---------|--------------------------------|------------|---------------------------|---------|--------------------|------------|---------|---------|----------|
| CA-1 | 1.535 | Areia média | 1.66 | 0.7021 | Moderadamente selecionado | -0.1753 | Negativa | 1.069 | Mesocúrtica | 0 | 100 | 0 | 0 |
| CA-2 | 1.614 | Areia média | 1.679 | 0.7026 | Moderadamente selecionado | -0.09627 | Aproximadamente simétrica | 1.201 | Leptocúrtica | 2.078 | 97.92 | 0 | 0 |
| CA-3 | 1.747 | Areia média | 1.822 | 0.625 | Moderadamente selecionado | -0.1704 | Negativa | 1.086 | Mesocúrtica | 0 | 100 | 0 | 0 |
| CA-4 | 1.884 | Areia média | 1.873 | 0.4755 | Bem selecionado | -0.06871 | Aproximadamente simétrica | 1.449 | Leptocúrtica | 0 | 100 | 0 | 0 |
| CA-5 | 0.651 | Areia grossa | 0.5938 | 0.5901 | Moderadamente selecionado | 0.1031 | Positiva | 1.351 | Leptocúrtica | 3.499 | 96.5 | 0 | 0 |
| CA-6 | -0.03949 | Areia muito grossa | 0.3653 | 0.8645 | Moderadamente selecionado | -0.3011 | Muito negativa | 1.355 | Leptocúrtica | 18.24 | 81.76 | 0 | 0 |
| CA-7 | 1.332 | Areia média | 1.343 | 0.5348 | Moderadamente selecionado | 0.03781 | Aproximadamente simétrica | 1.038 | Mesocúrtica | 0 | 100 | 0 | 0 |
| CA-8 | 1.43 | Areia média | 1.577 | 0.9623 | Moderadamente selecionado | -0.4515 | Muito negativa | 2.292 | Muito leptocúrtica | 8.539 | 91.46 | 0 | 0 |
| CA-9 | 1.552 | Areia média | 1.611 | 0.5247 | Moderadamente selecionado | -0.1965 | Negativa | 1.227 | Leptocúrtica | 1.908 | 98.09 | 0 | 0 |
| CA-10 | 1.57 | Areia média | 1.65 | 0.5246 | Moderadamente selecionado | -0.2419 | Negativa | 1.282 | Leptocúrtica | 1.344 | 98.66 | 0 | 0 |
| CA-11 | 1.116 | Areia média | 1.136 | 0.9087 | Moderadamente selecionado | -0.2651 | Negativa | 1.702 | Muito leptocúrtica | 6.495 | 93.5 | 0 | 0 |
| CA-12 | 1.512 | Areia média | 1.515 | 0.5305 | Moderadamente selecionado | 0.01384 | Aproximadamente simétrica | 1.027 | Mesocúrtica | 0 | 100 | 0 | 0 |
| CA-13 | 1.85 | Areia média | 1.826 | 0.5579 | Moderadamente selecionado | 0.00139 | Aproximadamente simétrica | 1.287 | Leptocúrtica | 0.3743 | 99.63 | 0 | 0 |
| CA-14 | 1.203 | Areia média | 1.633 | 1.194 | Pobrememente selecionado | -0.4437 | Muito negativa | 0.9412 | Mesocúrtica | 14.49 | 85.51 | 0 | 0 |
| CA-15 | 1.851 | Areia média | 1.97 | 0.6725 | Moderadamente selecionado | -0.2619 | Negativa | 1.355 | Leptocúrtica | 2.125 | 97.88 | 0 | 0 |
| CA-16 | 2.05 | Areia fina | 2.023 | 0.4036 | Bem selecionado | 0.1452 | Positiva | 1.034 | Mesocúrtica | 0 | 100 | 0 | 0 |
| CA-17 | 2.251 | Areia fina | 2.232 | 0.3689 | Bem selecionado | 0.1068 | Positiva | 1.004 | Mesocúrtica | 0 | 99.87 | 0.127 | 0 |
| CA-18 | 1.306 | Areia média | 1.305 | 0.5695 | Moderadamente selecionado | 0.04201 | Aproximadamente simétrica | 0.8083 | Platicúrtica | 0 | 99.76 | 0.236 | 0 |
| CA-19 | 1.903 | Areia média | 1.975 | 0.6324 | Moderadamente selecionado | -0.2161 | Negativa | 1.358 | Leptocúrtica | 0.9331 | 99.07 | 0 | 0 |
| CA-20 | 0.258 | Areia grossa | -0.1756 | 0.9567 | Moderadamente selecionado | 0.4046 | Muito positiva | 0.8913 | Platicúrtica | 6.438 | 93.32 | 0.1106 | 0.1338 |
| CA-21 | 2.311 | Areia fina | 2.291 | 0.3739 | Bem selecionado | 0.0993 | Aproximadamente simétrica | 0.9785 | Mesocúrtica | 0.1197 | 99.78 | 0 | 0.1025 |
| CA-22 | 1.158 | Areia média | 1.105 | 0.6193 | Moderadamente selecionado | 0.1794 | Positiva | 0.7726 | Platicúrtica | 0.7196 | 99.28 | 0 | 0 |
| CA-23 | 1.352 | Areia média | 1.358 | 0.6199 | Moderadamente selecionado | 0.05083 | Aproximadamente simétrica | 0.9664 | Mesocúrtica | 0.7082 | 99.29 | 0 | 0 |
| CA-24 | 2.216 | Areia fina | 2.197 | 0.3835 | Bem selecionado | 0.09575 | Aproximadamente simétrica | 1.004 | Mesocúrtica | 0 | 99.88 | 0 | 0.12 |
| CA-25 | 1.989 | Areia média | 1.971 | 0.4735 | Bem selecionado | -0.01623 | Aproximadamente simétrica | 1.323 | Leptocúrtica | 0 | 99.9 | 0 | 0.102 |
| CA-26 | 1.288 | Areia média | 1.214 | 1.062 | Pobrememente selecionado | -0.07421 | Aproximadamente simétrica | 1.308 | Leptocúrtica | 10.04 | 89.96 | 0 | 0 |
| CA-27 | 1.758 | Areia média | 1.762 | 0.4141 | Bem selecionado | -0.1105 | Negativa | 1.357 | Leptocúrtica | 0 | 100 | 0 | 0 |
| CA-28 | 1.061 | Areia média | 1.067 | 0.553 | Moderadamente selecionado | 0.0371 | Aproximadamente simétrica | 0.9702 | Mesocúrtica | 2.499 | 97.4 | 0.09777 | 0 |
| CA-29 | 1.338 | Areia média | 1.311 | 0.7907 | Moderadamente selecionado | 0.1082 | Positiva | 0.8082 | Platicúrtica | 0.5189 | 99.48 | 0 | 0 |
| CA-30 | 11.71 | Argila | 12.64 | 2.223 | Muito pobrememente selecionado | -0.9041 | Muito negativa | 12.82 | emamente leptocú | 0 | 6.125 | 8.205 | 85.67 |
| CA-31 | 1.742 | Areia média | 1.738 | 0.4492 | Bem selecionado | -0.07268 | Aproximadamente simétrica | 1.238 | Leptocúrtica | 0 | 100 | 0 | 0 |

| | Média | Classificação | Mediana | Seleção | Classificação | Assimetria | Classificação | Curtose | Classificação | % Cascalho | % Areia | % Silte | % Argila |
|-------|--------|---------------|---------|---------|---------------------------|------------|---------------------------|---------|--------------------|------------|---------|---------|----------|
| PC-32 | 1.171 | Areia média | 1.14 | 0.8145 | Moderadamente selecionado | -0.00144 | Aproximadamente simétrica | 1.081 | Mesocúrtica | 3.242 | 96.76 | 0 | 0 |
| PC-33 | 1.336 | Areia média | 1.319 | 0.5869 | Moderadamente selecionado | 0.134 | Positiva | 1.012 | Mesocúrtica | 0.8797 | 99.12 | 0 | 0 |
| PC-34 | 0.2272 | Areia grossa | 0.5172 | 1.275 | Pobrememente selecionado | -0.04776 | Aproximadamente simétrica | 0.6638 | Muito platicúrtica | 20.57 | 79.43 | 0 | 0 |
| PC-35 | 0.3406 | Areia grossa | 0.657 | 1.205 | Pobrememente selecionado | -0.1873 | Negativa | 0.7936 | Platicúrtica | 19.36 | 80.64 | 0 | 0 |
| PC-36 | 1.147 | Areia média | 1.187 | 0.49 | Bem selecionado | -0.06561 | Aproximadamente simétrica | 0.8117 | Platicúrtica | 0 | 100 | 0 | 0 |
| PC-37 | 1.111 | Areia média | 1.12 | 0.4566 | Bem selecionado | 0.01582 | Aproximadamente simétrica | 0.8535 | Platicúrtica | 0.2604 | 99.74 | 0 | 0 |
| PC-38 | 1.136 | Areia média | 1.156 | 0.5216 | Moderadamente selecionado | 0.003664 | Aproximadamente simétrica | 0.7782 | Platicúrtica | 0 | 100 | 0 | 0 |
| PC-39 | 0.7943 | Areia grossa | 1.131 | 0.904 | Moderadamente selecionado | -0.4535 | Muito negativa | 1.157 | Leptocúrtica | 14.98 | 85.02 | 0 | 0 |
| PC-40 | 1.233 | Areia média | 1.304 | 0.5274 | Moderadamente selecionado | -0.1499 | Negativa | 0.8934 | Platicúrtica | 4.019 | 95.98 | 0 | 0 |
| PC-41 | 1.533 | Areia média | 1.625 | 0.567 | Moderadamente selecionado | -0.198 | Negativa | 1.162 | Leptocúrtica | 0.3859 | 99.61 | 0 | 0 |
| PC-42 | 1.517 | Areia média | 1.584 | 0.5336 | Moderadamente selecionado | -0.1705 | Negativa | 1.133 | Leptocúrtica | 0 | 100 | 0 | 0 |
| PC-43 | 1.772 | Areia média | 1.801 | 0.5317 | Moderadamente selecionado | -0.1745 | Negativa | 1.282 | Leptocúrtica | 0 | 99.77 | 0.229 | 0 |
| PC-44 | 0.8257 | Areia grossa | 0.6181 | 0.7654 | Moderadamente selecionado | 0.2893 | Positiva | 1.154 | Leptocúrtica | 1.768 | 98.23 | 0 | 0 |
| PC-45 | 1.383 | Areia média | 1.47 | 0.5549 | Moderadamente selecionado | -0.1499 | Negativa | 0.8833 | Platicúrtica | 0 | 100 | 0 | 0 |
| PC-46 | 1.385 | Areia média | 1.453 | 0.504 | Moderadamente selecionado | -0.1506 | Negativa | 1.001 | Mesocúrtica | 0.5179 | 99.48 | 0 | 0 |
| PC-47 | 1.423 | Areia média | 1.46 | 0.4312 | Bem selecionado | -0.144 | Negativa | 1.164 | Leptocúrtica | 1.671 | 98.33 | 0 | 0 |
| PC-48 | 1.168 | Areia média | 1.303 | 0.5474 | Moderadamente selecionado | -0.283 | Negativa | 0.8368 | Platicúrtica | 3.099 | 96.64 | 0 | 0.2651 |
| PC-49 | 0.6039 | Areia grossa | 0.6171 | 0.6777 | Moderadamente selecionado | -0.2155 | Negativa | 1.795 | Muito leptocúrtica | 6.979 | 92.92 | 0 | 0.09936 |
| PC-50 | 1.222 | Areia média | 1.178 | 0.8284 | Moderadamente selecionado | -0.146 | Negativa | 1.899 | Muito leptocúrtica | 7.889 | 91.61 | 0.2355 | 0.2654 |
| PC-51 | 1.135 | Areia média | 0.9437 | 0.682 | Moderadamente selecionado | 0.3939 | Muito positiva | 0.8138 | Platicúrtica | 0.01933 | 99.98 | 0 | 0 |
| PC-52 | 0.6229 | Areia grossa | 0.5859 | 0.4058 | Bem selecionado | 0.1949 | Positiva | 1.084 | Mesocúrtica | 0.3976 | 99.6 | 0 | 0 |
| PC-53 | 1.263 | Areia média | 1.305 | 0.9444 | Moderadamente selecionado | -0.2947 | Negativa | 1.686 | Muito leptocúrtica | 6.742 | 93.26 | 0 | 0 |
| PC-54 | 1.248 | Areia média | 1.331 | 0.6416 | Moderadamente selecionado | -0.1362 | Negativa | 0.7469 | Platicúrtica | 2.534 | 97.47 | 0 | 0 |
| PC-55 | 1.444 | Areia média | 1.499 | 0.4824 | Bem selecionado | -0.1442 | Negativa | 1.121 | Leptocúrtica | 0 | 100 | 0 | 0 |

5.1 DISTRIBUIÇÃO DA MÉDIA GRANULOMÉTRICA

Os valores de média granulométrica ao longo do sistema Baía de São Marcos–plataforma continental adjacente revelam um gradiente textural bem estabelecido, típico de ambientes transicionais (Figura 6).

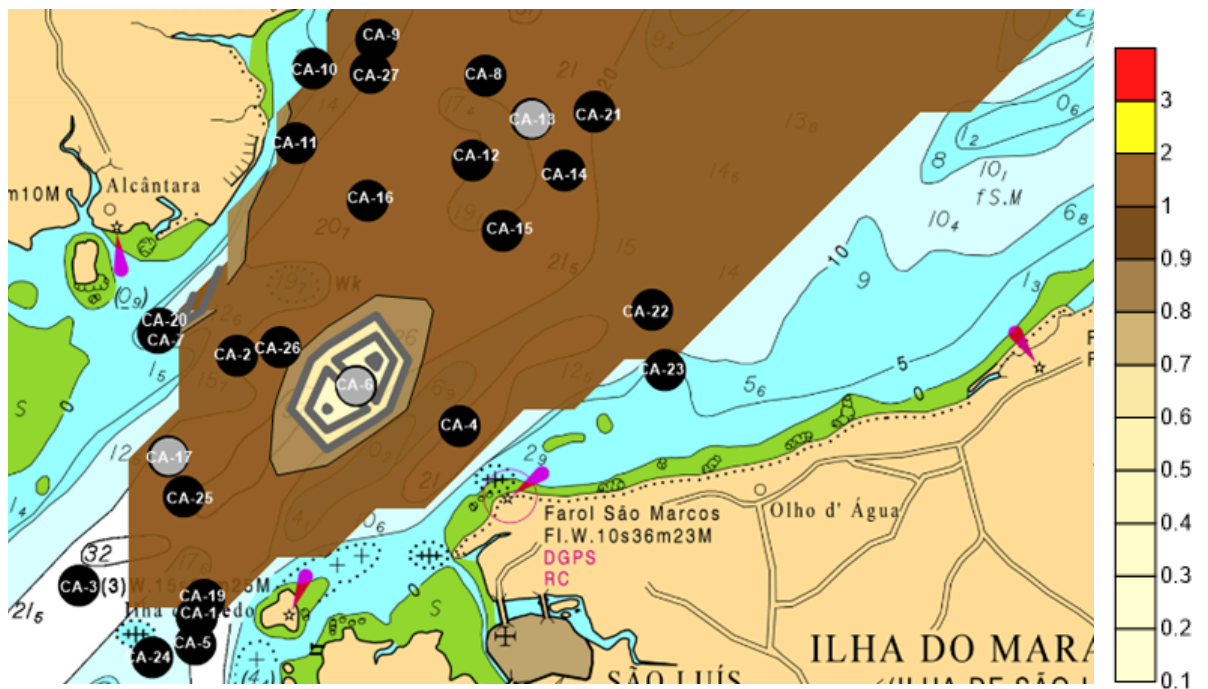
Figura 6: Distribuição espacial da média granulométrica (Φ) dos sedimentos superficiais na Baía de São Marcos e plataforma continental adjacente. Valores menores (Φ baixos) indicam sedimentos mais grossos; valores maiores (Φ altos) indicam sedimentos mais finos. (Fonte: Autor).



Na porção mais interna da Baía de São Marcos (figura 7), os valores de média granulométrica (ϕ) variam aproximadamente entre 0,8 e 2 ϕ , conforme indicado no mapa interpolado nos tons de marrom claro e escuro, amarelo e vermelho. Segundo a classificação granulométrica, estes valores abrangem desde areias muito grossas até areias finas.

As áreas representadas pelo tom claro exibem valores entre 0,1 e 0,3 ϕ , correspondendo a sedimentos arenosos grossos a muito grossos, como evidenciado pelo ponto CA-6. Nas zonas em tons de marrom escuro e amarelo, observam-se valores entre 1 e 2 ϕ , indicando areias médias a finas, como demonstrado pelos pontos CA-17 e CA-13.

Figura 7: Distribuição espacial da média granulométrica (Φ) dos sedimentos na porção interna da Baía de São Marcos. Valores menores indicam sedimentos mais grossos, enquanto valores mais elevados refletem sedimentos mais finos. (Fonte: Autor).

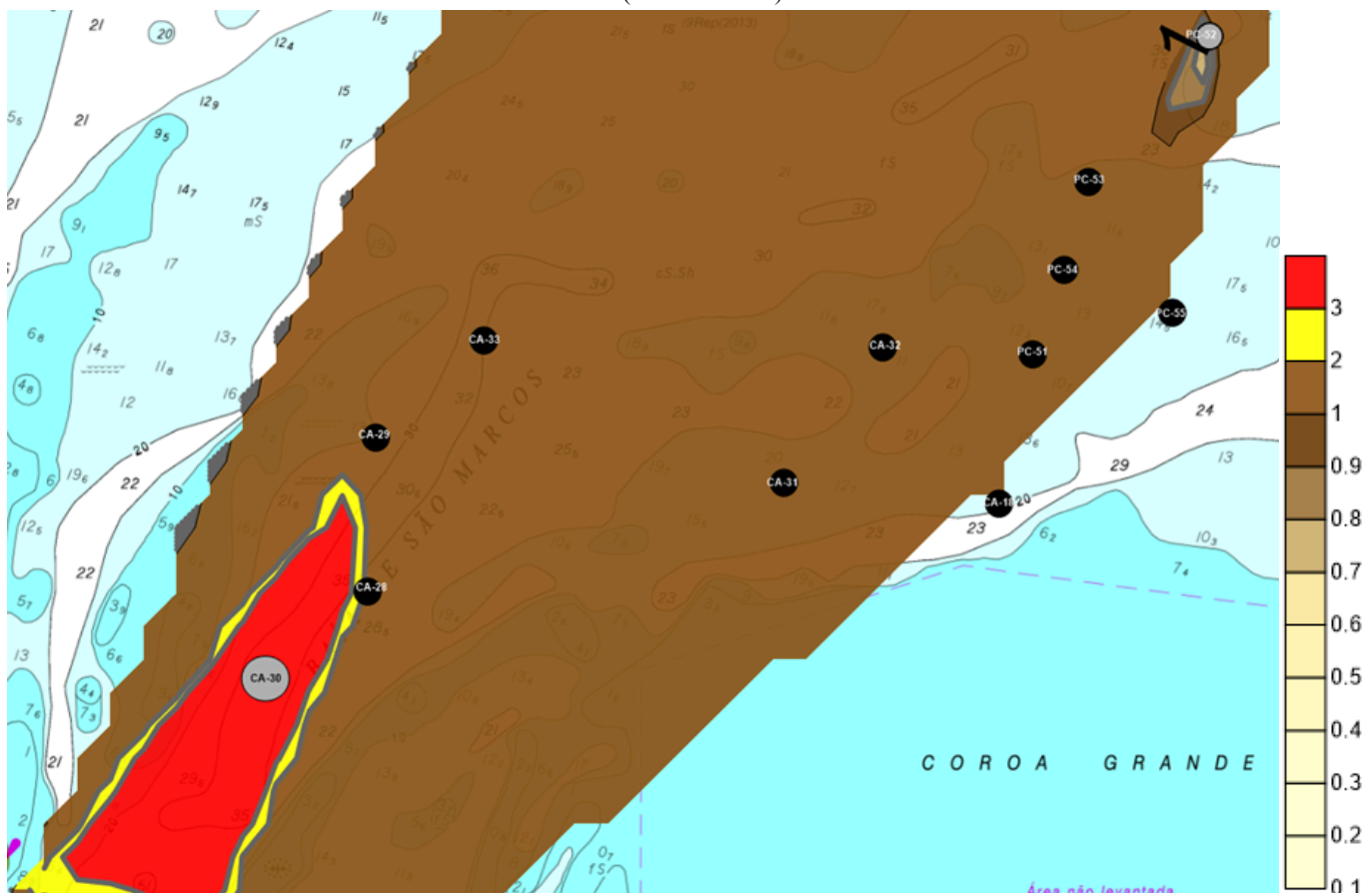


Na região da boca da Baía de São Marcos, os valores de média granulométrica (ϕ) interpolados variam aproximadamente entre 1 e 3 ϕ , conforme apresentado no mapa. Esses valores correspondem predominantemente a areias finas a muito finas. A porção central da desembocadura apresenta cores amarela e vermelha, indicando valores entre 2 e 3 ϕ , caracterizando sedimentos arenosos finos. Nas áreas laterais, aparecem tons de marrom, representando valores entre 0,9 e 1 ϕ , associados a areias médias a finas, conforme a escala granulométrica utilizada.

Dentro deste setor encontra-se uma amostra pontual, CA-30, cuja média granulométrica é de 11,71 ϕ , valor que representa sedimentos argilosos. Esse valor elevado não pôde ser incluído na interpolação, pois valores extremos distorcem métodos de suavização e triangulação; por esse motivo, a média 11,71 ϕ foi representada com um marcador pontual (círculo cinza) sobre a superfície interpolada (figura 8).

Na plataforma continental adjacente interna (Figura 8), os valores de média granulométrica (ϕ) variam aproximadamente entre 0,9 e 1 ϕ . Esses valores caracterizam predominantemente areias médias, exceto o ponto amostral PC-52, representado por tom de marrom claro, que indica um valor de média de 0,8 ϕ , correspondendo a grãos mais grossos quando comparados aos das áreas adjacentes.

Figura 8: Distribuição da média granulométrica (Φ) dos sedimentos na região da desembocadura da Baía de São Marcos e na plataforma interna. Os círculos em cinza representam amostras destacadas no texto. Valores menores de Φ correspondem a sedimentos mais grossos, enquanto valores maiores indicam sedimentos mais finos. (Fonte: Autor).



Na plataforma continental adjacente média (figura 9), os valores de média granulométrica (ϕ) variam aproximadamente entre 0,8 e 1 ϕ , representados pelos tons de

marrom escuro e claro. Esses valores correspondem a areias médias e grossas, como observado no ponto PC-40 (areia média), na amostra PC-39 (areia grossa) e na amostra PC-44, que também apresenta areia grossa.

Na plataforma continental adjacente externa (Figura 10), os valores de média granulométrica (ϕ) variam aproximadamente entre 1 e 0,1 ϕ . Estes valores abrangem desde areias médias até areias grossas, representadas por um gradiente de cores que vai do marrom escuro até o amarelo muito claro.

Figura 9: Distribuição da média granulométrica (Φ) dos sedimentos na plataforma continental média. Valores menores de Φ correspondem a sedimentos mais grossos, enquanto valores maiores indicam sedimentos mais finos. O círculo em cinza destaca as amostras mencionadas no texto. (Fonte: Autor).

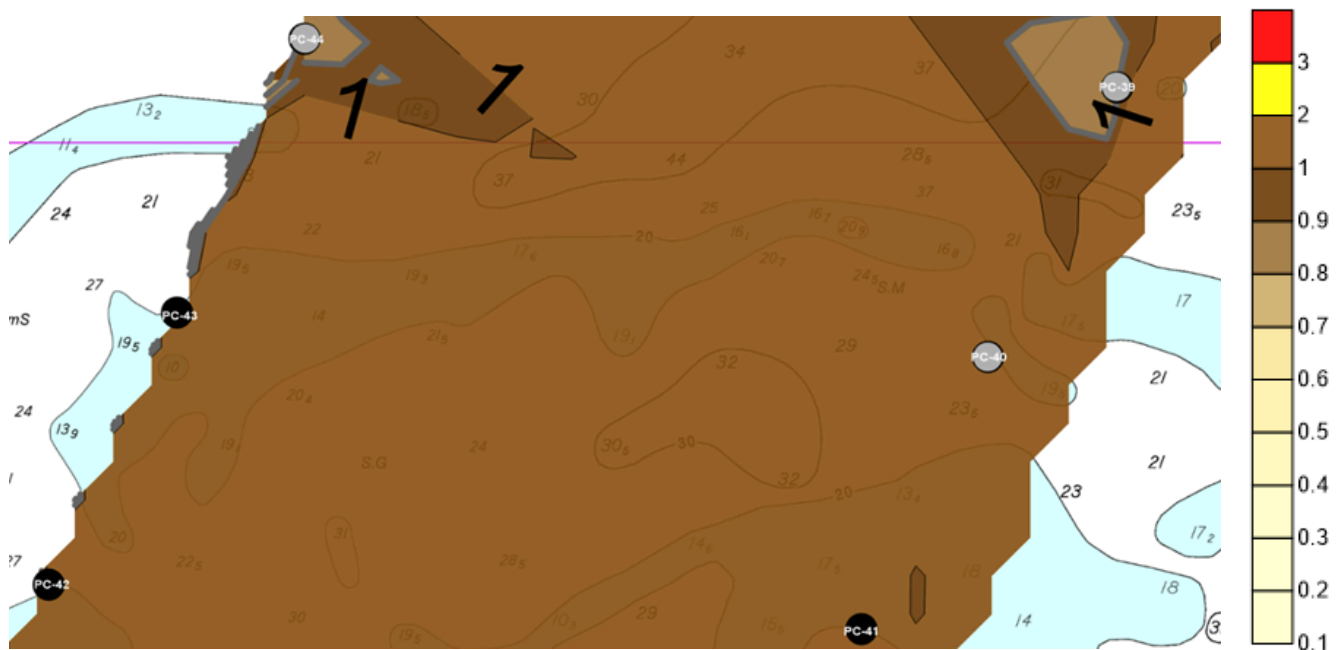
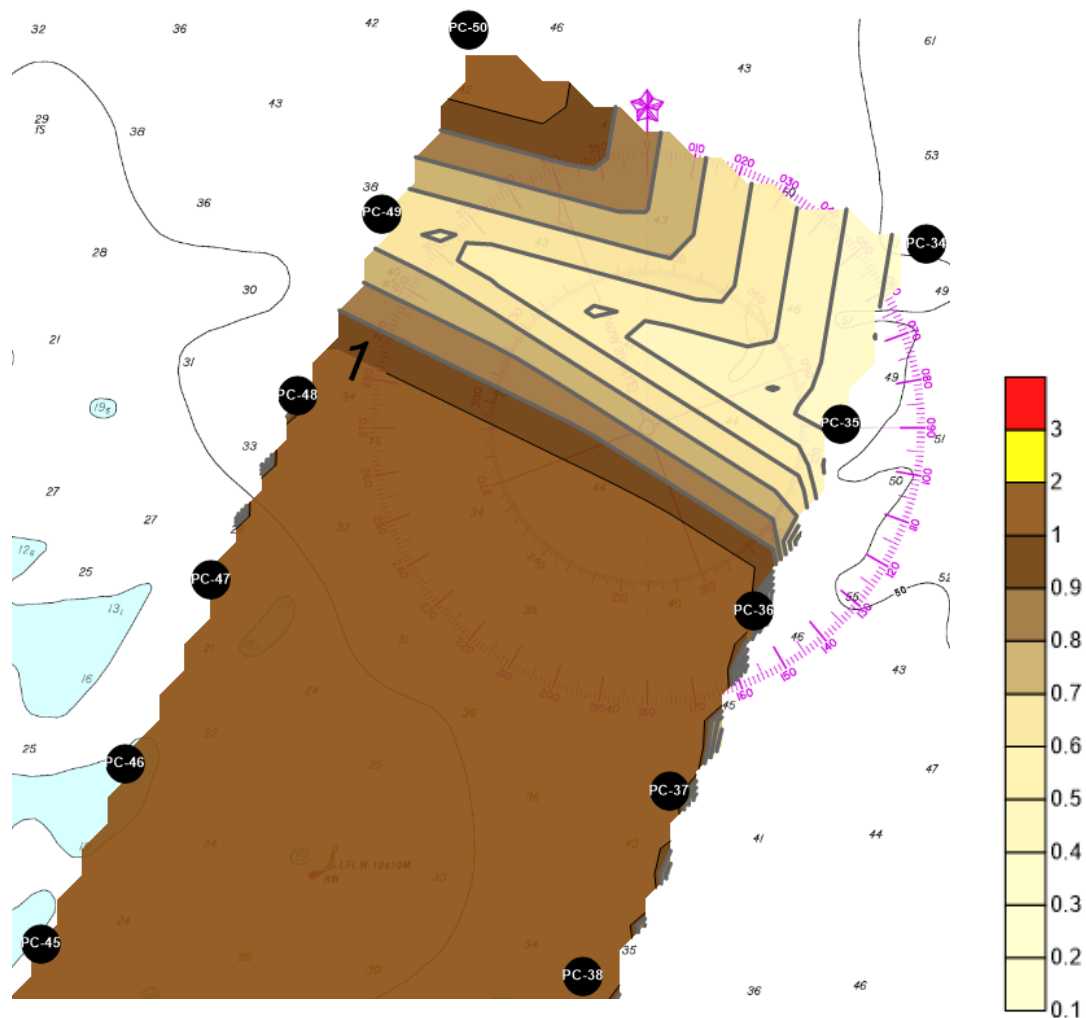


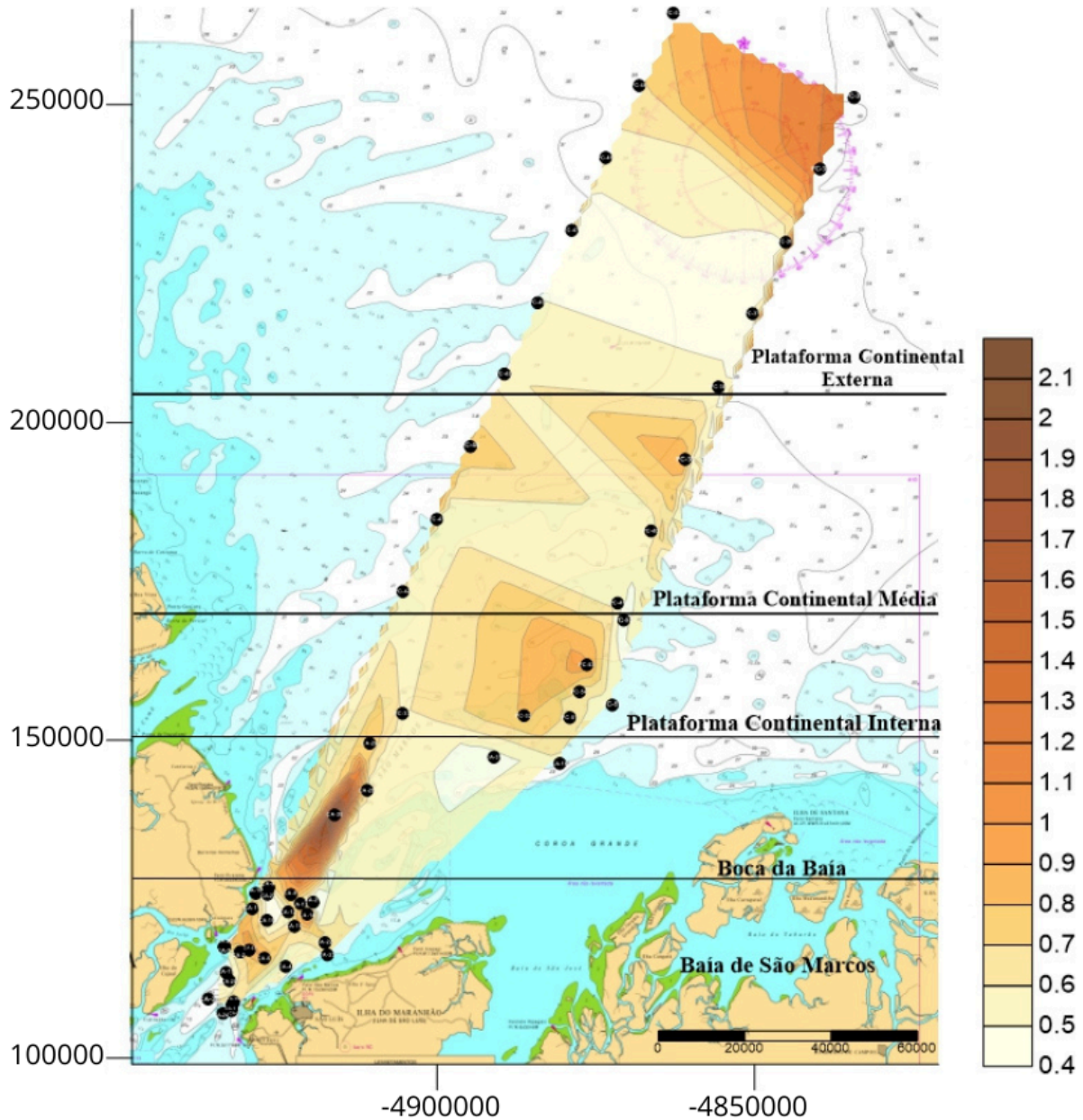
Figura 10: Distribuição da média granulométrica (Φ) dos sedimentos na plataforma continental externa. Valores menores de Φ correspondem a sedimentos mais grossos, enquanto valores maiores indicam sedimentos mais finos. O círculo em cinza destaca a amostra mencionada no texto. (Fonte: Autor).



5.2 SELEÇÃO:

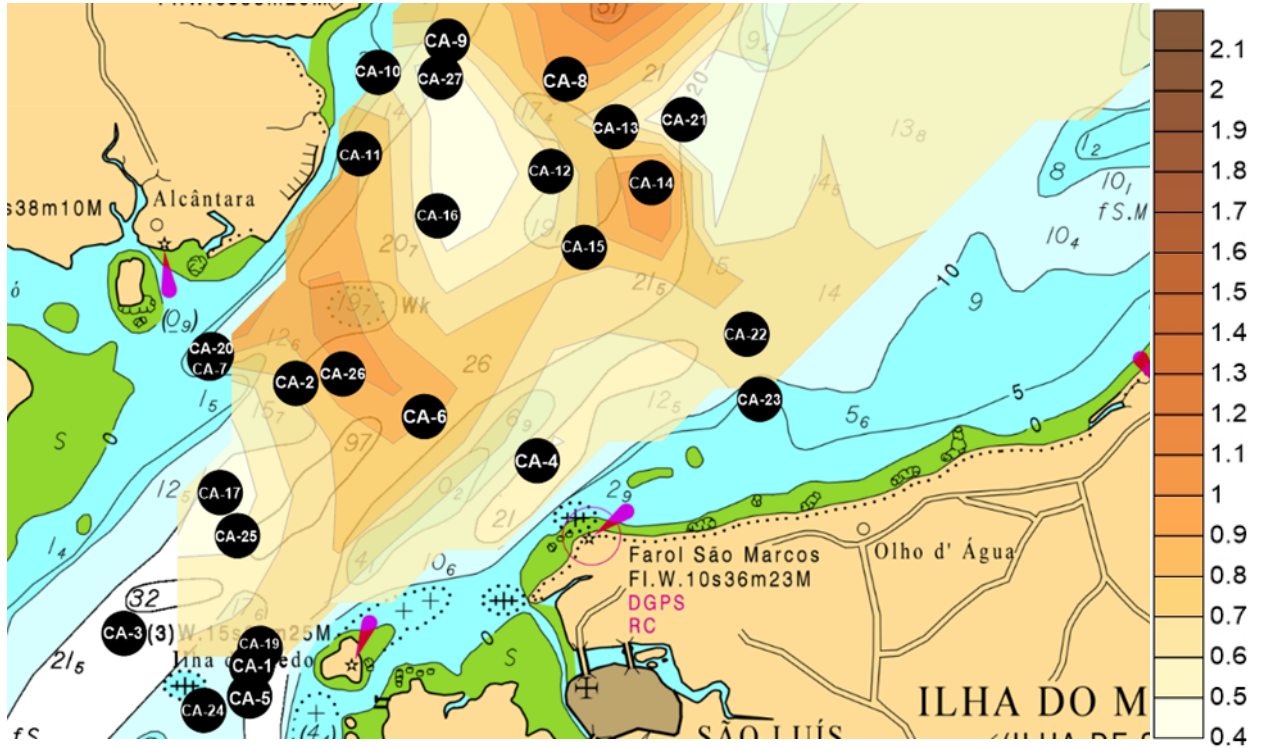
Os valores de seleção na Baía de São Marcos variam aproximadamente entre 0,4 e 2,1 ϕ , conforme apresentado na Figura 11. De acordo com Folk e Ward (1957), esses valores indicam uma variação que vai desde sedimentos bem selecionados até muito pobremente selecionados.

Figura 11: Distribuição da seleção granulométrica ($\sigma\Phi$) dos sedimentos desde a Baía de São Marcos até a plataforma continental adjacente. O gradiente de cores varia do amarelo claro ao laranja e castanho escuro, onde tonalidades mais claras indicam menores valores de $\sigma\Phi$ (sedimentos melhor selecionados) e tonalidades mais escuras correspondem a maiores valores de $\sigma\Phi$ (sedimentos mais pobremente selecionados). (Fonte: Autor).



Na porção mais interna da Baía de São Marcos, observam-se valores entre 0,4 e 0,9 ϕ , representados por tons amarelo-claro no mapa (figura 12), indicando seleção bem a moderadamente selecionada.

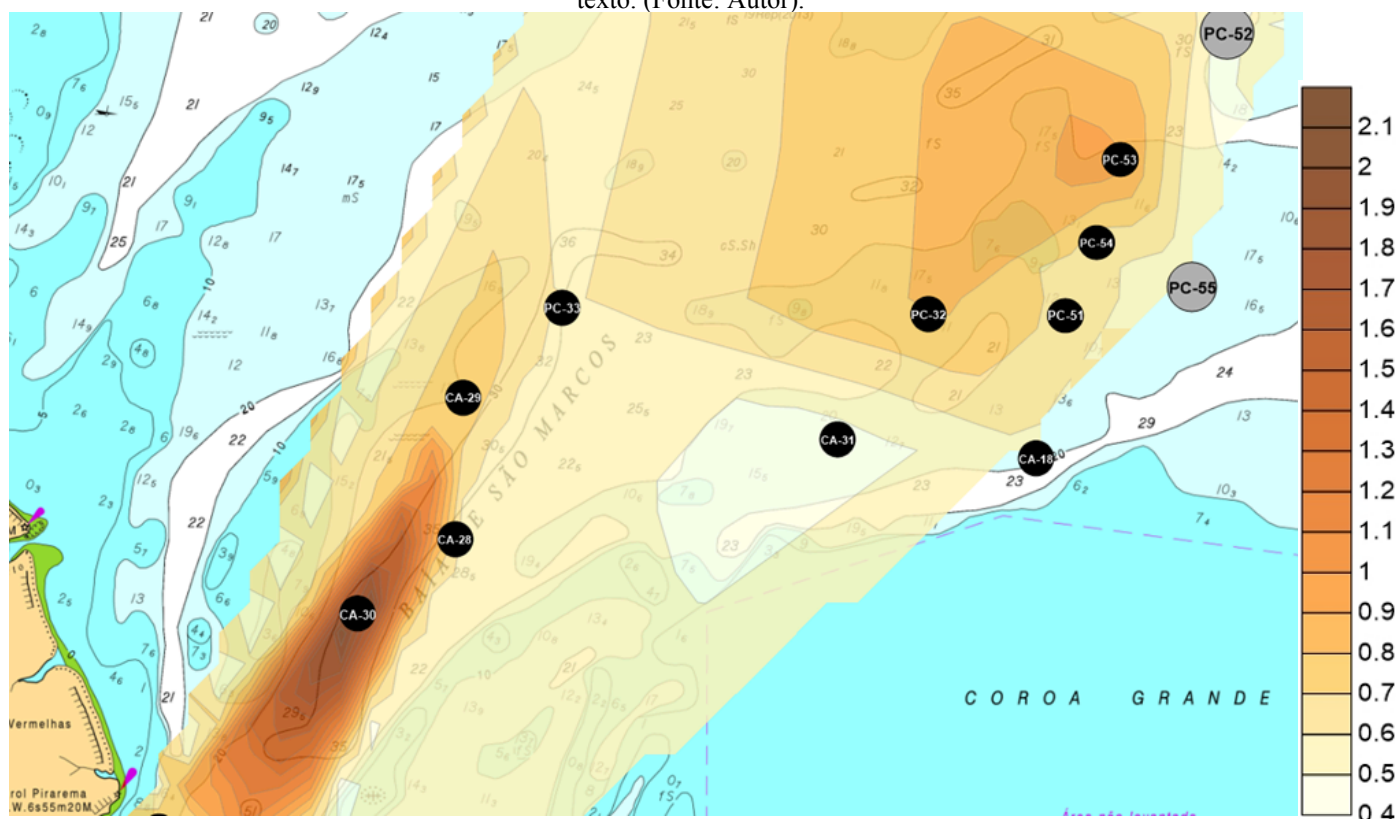
Figura 12: Distribuição da seleção granulométrica ($\sigma\Phi$) dos sedimentos na porção interna da Baía de São Marcos. O gradiente de cores do amarelo claro ao castanho escuro representa, respectivamente, menores valores de $\sigma\Phi$ (melhor seleção) e maiores valores de $\sigma\Phi$ (pior seleção). (Fonte: Autor).



Na região da boca da baía, registram-se valores mais elevados, entre 1 e 2,1 ϕ , representados por tons alaranjados que variam até um tom mais escuro, indicando sedimentos pobremente a muito pobremente selecionados. Esse aumento no gradiente se deve à presença da amostra CA-30 (figura 39), caracterizada por seleção muito pobre e composição essencialmente lamosa, o que intensifica o escurecimento dessa área no mapa da Baía de São Marcos, como apresentado na figura 13.

Na plataforma continental adjacente interna (figura 13), o resultado passa a apresentar maior homogeneidade cromática quando analisada isoladamente. Entretanto, ao se considerar conjuntamente as áreas da baía e da plataforma interna, evidencia-se uma mudança gradual no comportamento da seleção, uma vez que a plataforma interna recebe influência direta da baía. Nessa área, os valores variam aproximadamente entre 0,6 e 1,1 ϕ , com amostras bem selecionadas, como PC-52 e PC-55. A amostra PC-55 (figura 39), especificamente, apresenta sedimentos de areia grossa, representados por tons alaranjados mais intensos, enquanto os demais valores variam até sedimentos moderadamente selecionados, indicados por tons mais amarelados.

Figura 13: Distribuição da seleção granulométrica ($\sigma\Phi$) dos sedimentos na região da desembocadura da Baía de São Marcos e na plataforma continental interna. O gradiente de cores do amarelo claro ao castanho escuro indica, respectivamente, menores valores de $\sigma\Phi$ (sedimentos melhor selecionados) e maiores valores de $\sigma\Phi$ (sedimentos mais pobremente selecionados). Os círculos em cinza destacam as amostras mencionadas no texto. (Fonte: Autor).



Na plataforma continental adjacente média (figura 14), observam-se valores de seleção entre 0,5 e 0,9 ϕ . Esses resultados correspondem a sedimentos bem a moderadamente selecionados, de acordo com Folk e Ward (1957). Os tons amarelados mais claros predominam na maior parte da área, evidenciando valores entre 0,5 e 0,8 ϕ , correspondentes a sedimentos bem a moderadamente selecionados. Embora o valor de 0,9 ϕ represente seleção moderada, o gradiente de cor torna-se sutilmente mais intenso nessa região, o que se justifica pela presença de areia grossa nas amostras PC-39 e PC-44.

Na plataforma continental adjacente externa (figura 15), os valores variam entre 0,4 e 1,3 ϕ , correspondentes a sedimentos bem selecionados, moderadamente selecionados e pobremente selecionados, como registrado nas amostras PC-35 e PC-34 (ambas compostas por areia grossa). Os tons amarelados predominantes na maior parte da plataforma externa indicam valores entre 0,4 e 0,7 ϕ , associados a sedimentos bem a moderadamente selecionados. Já os tons mais alaranjados, observados principalmente na porção norte do

mapa (Figura 15), indicam valores entre 0,8 e 1,3 ϕ , que representam sedimentos moderadamente a pobremente selecionados, como exemplificado pela amostra PC-34.

Figura 14: Distribuição da seleção granulométrica ($\sigma\Phi$) dos sedimentos na plataforma continental média. O gradiente de cores do amarelo claro ao castanho escuro representa, respectivamente, menores valores de $\sigma\Phi$ (melhor seleção) e maiores valores de $\sigma\Phi$ (pior seleção). Os círculos em cinza destacam as amostras mencionadas no texto. (Fonte: Autor).

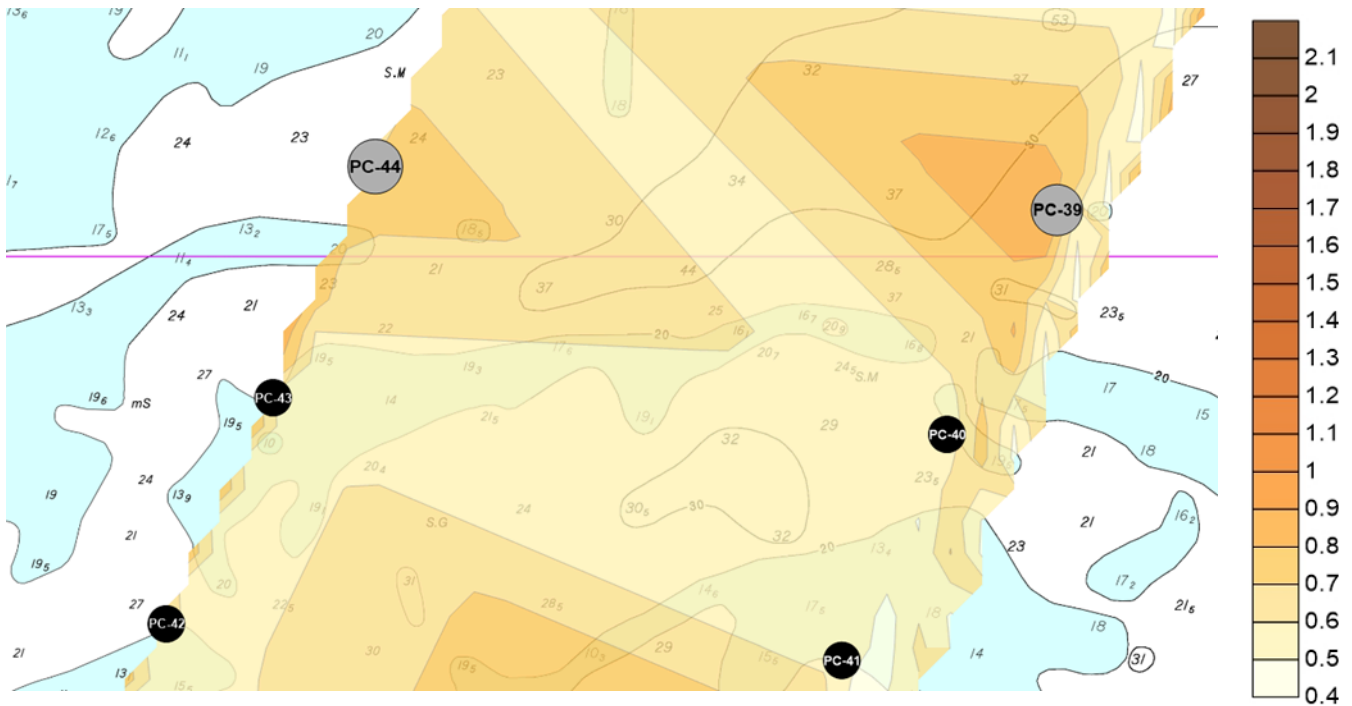
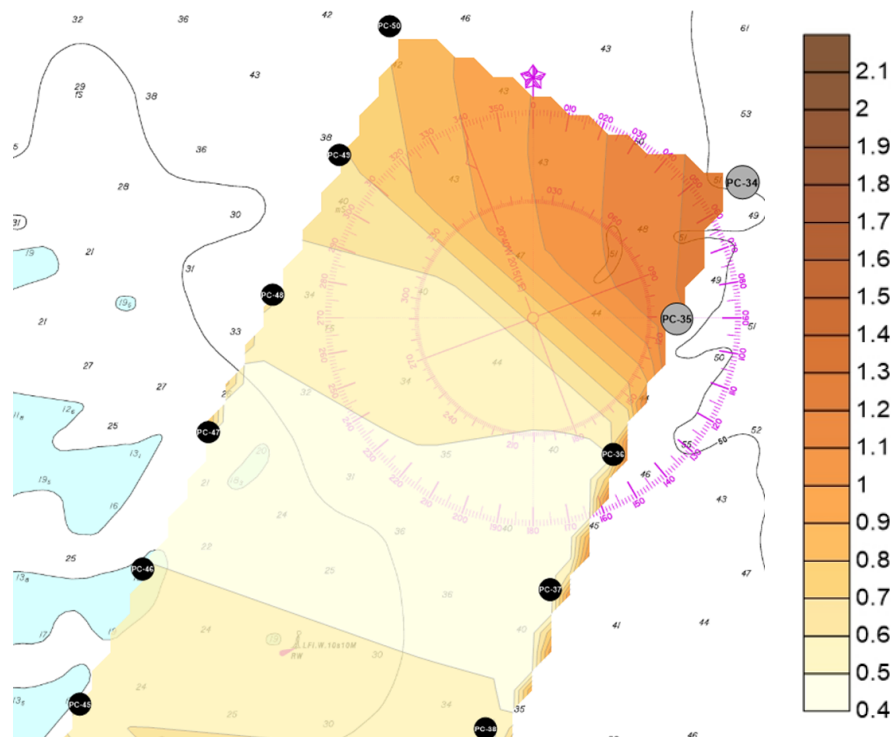


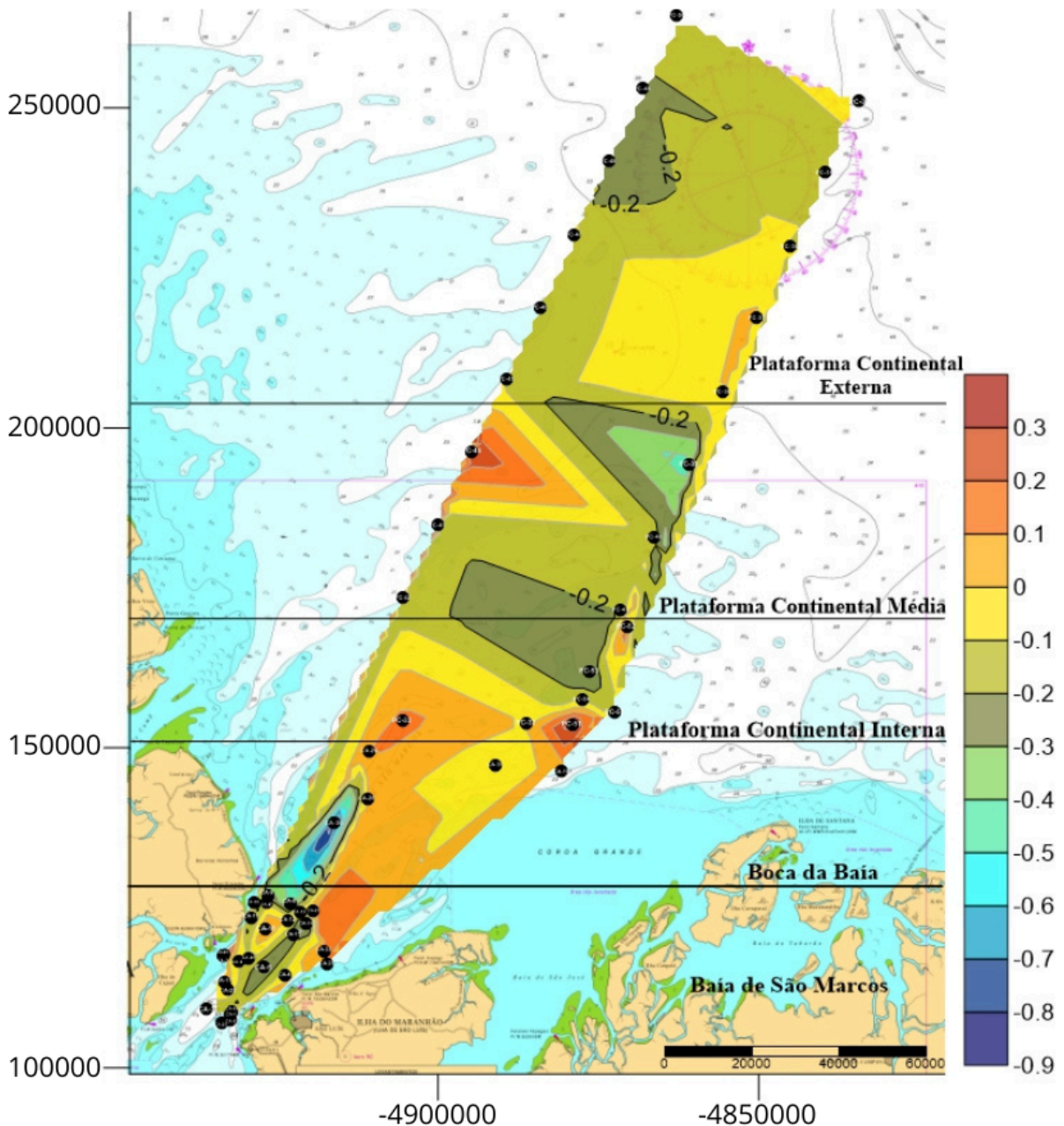
Figura 15: Distribuição da seleção granulométrica ($\sigma\Phi$) dos sedimentos na plataforma continental externa. O gradiente de cores do amarelo claro ao castanho escuro indica menores valores de $\sigma\Phi$ nas tonalidades claras (melhor seleção) e maiores valores nas tonalidades escuras (pior seleção). Os círculos em cinza destacam as amostras mencionadas no texto. (Fonte: Autor).



5.3 ASSIMETRIA:

Os valores de assimetria ao longo do sistema Baía de São Marcos–plataforma continental adjacente revelam variações na distribuição dos tamanhos de grãos, indicando mudanças na contribuição relativa das frações finas e grossas, características de ambientes transicionais controlados por gradientes hidrodinâmicos.

Figura 16: Distribuição da assimetria granulométrica dos sedimentos desde a Baía de São Marcos até a plataforma continental adjacente. O gradiente de cores varia de tons azulados a verde, correspondendo a valores negativos (assimetria negativa), até tons amarelados a vermelho, representando valores entre 0 e 3 (assimetria positiva), indicando a variação dos coeficientes de assimetria ao longo da área. (Fonte: Autor).



Na porção mais interna da Baía de São Marcos (figura 17), os valores de assimetria (Sk) variam entre aproximadamente 0,3 e $-0,4 \phi$, indicando sedimentos com distribuições que variam entre negativas, aproximadamente simétricas, positivas, muito negativas e muito positivas, conforme a classificação de Folk e Ward (1957).

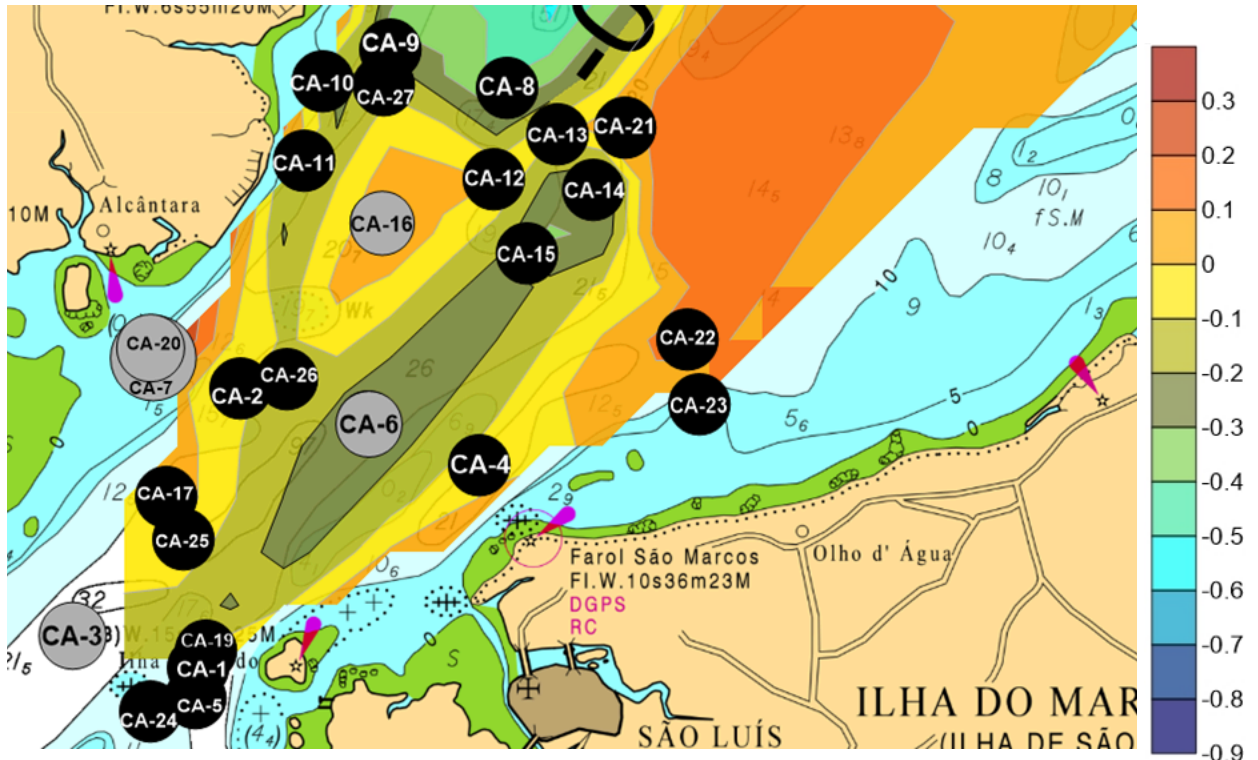
Na parte central da baía, observa-se uma população de grãos bem misturados, com predominância de amostras apresentando assimetria negativa, positiva e aproximadamente simétrica, representadas pelos tons de verde claro e escuro, amarelo e laranja. A amostra CA-6, localizada na isóbata de 26 m, no interior do canal da baía, apresenta valor de $-0,3 \phi$, classificando-se como areia grossa com assimetria muito negativa, representada pela cor verde-escura. O ponto CA-3 apresenta valor de $0,1 \phi$, indicando assimetria negativa.

Nas áreas intermediárias, os tons variam para o laranja-claro até o vermelho, que correspondem a valores entre $-0,1$ e $0,3 \phi$, indicando distribuições aproximadamente simétricas a muito positivas. Próximo à margem continental (lado de Alcântara), o ponto CA-20 apresenta coloração vermelha, com areia grossa e assimetria muito positiva ($0,3 \phi$). O ponto CA-7, composto por areia média, apresenta assimetria aproximadamente simétrica; ambos são espacialmente próximos, o que explica a variação tonal entre laranja intenso e vermelho.

Na porção mais próxima à margem continental da Ilha de São Luís, os valores variam entre $0,2$ e $-0,1 \phi$, representados por tons amarelos a laranja, correspondendo a distribuições simétricas a positivas.

Na região próxima à boca da baía, observam-se valores entre $-0,1$ e $-0,3 \phi$, indicando assimetria negativa a simétrica. O ponto CA-16 apresenta tom alaranjado, representando assimetria positiva de $0,2 \phi$ e areia grossa. Em direção à desembocadura, predominam tons de amarelo e verde claro e escuro, indicando uma área de assimetria negativa a simétrica.

Figura 17: Distribuição da assimetria granulométrica dos sedimentos na porção interna da Baía de São Marcos. O gradiente de cores varia de tons azulados a verde, indicando valores negativos (assimetria negativa), até tons amarelados a vermelho, correspondendo a valores de 0 a 3 (assimetria positiva). Os círculos em cinza destacam as amostras mencionadas no texto. (Fonte: Autor).

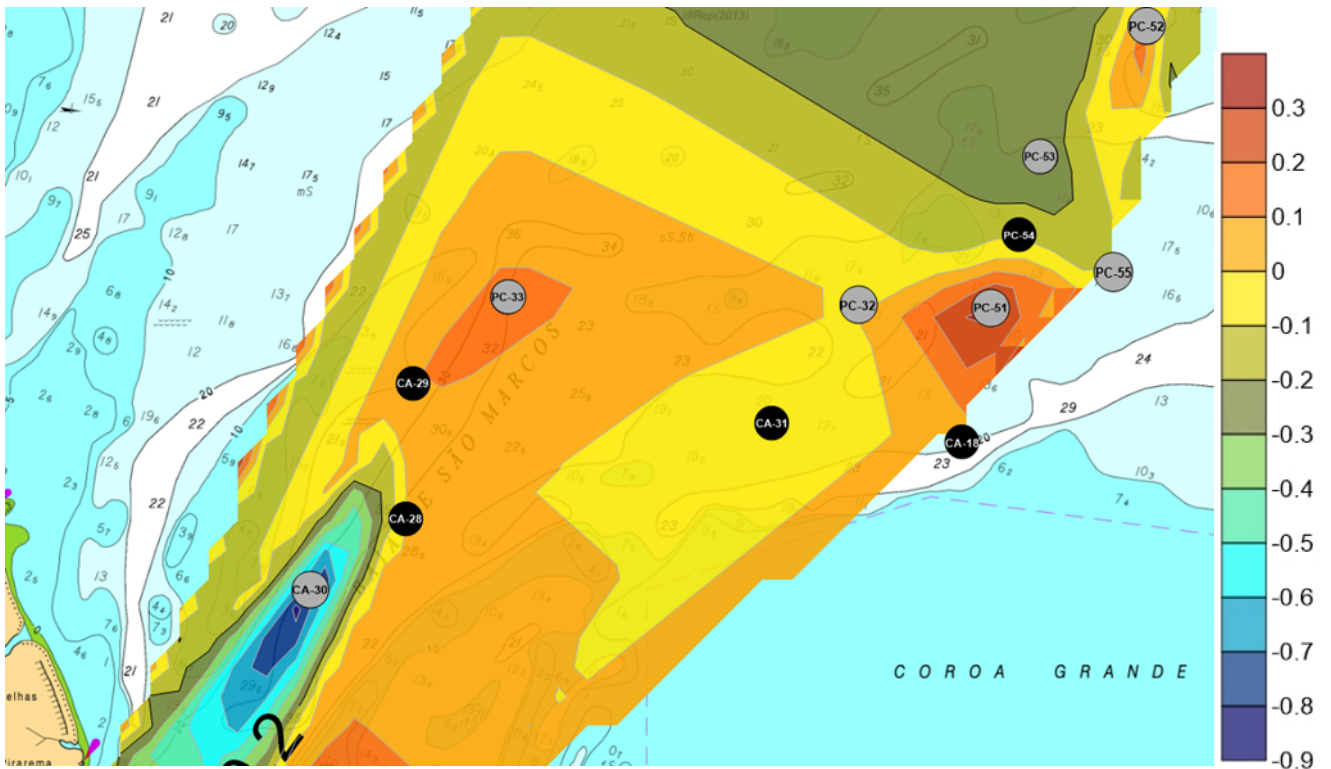


Na desembocadura da baía (figura 18), observa-se uma variação em forma de “círculo” com camadas cromáticas, onde predominam tons de verde (escuro a claro) e azul (claro a escuro). Nas bordas do círculo, os tons sugerem assimetria negativa a simétrica. Os tons de azul representam valores entre $-0,6$ e $-0,9 \phi$, indicando assimetria muito negativa, como demonstrado pela amostra CA-30 (argila). Nas porções mais externas da desembocadura, surgem valores entre $-0,1$ e 0ϕ , representados por tons amarelados (distribuição simétrica) e tons alaranjados (assimetria positiva).

Na plataforma continental adjacente interna (figura 18), os valores de assimetria variam entre $0,3$ e $-0,3 \phi$, indicando grande variação, com distribuições que vão de muito positivas a negativas. Os tons esverdeados indicam valores entre $-0,2$ e $-0,3 \phi$, caracterizando sedimentos com assimetria negativa, como nos pontos PC-55 e PC-53. Nas áreas centrais da plataforma interna, predominam tons amarelos e amarelo-alaranjados, que correspondem a valores entre $-0,1$ e $0,2 \phi$, representando sedimentos aproximadamente simétricos a positivos, como evidenciado pelos pontos PC-32 e PC-33. Em áreas pontuais, observam-se tons

alaranjados e vermelhos, que indicam valores entre 0,2 e 0,3 ϕ , correspondentes a sedimentos positivamente assimétricos, conforme Folk e Ward (1957), como nos pontos PC-51 e PC-52.

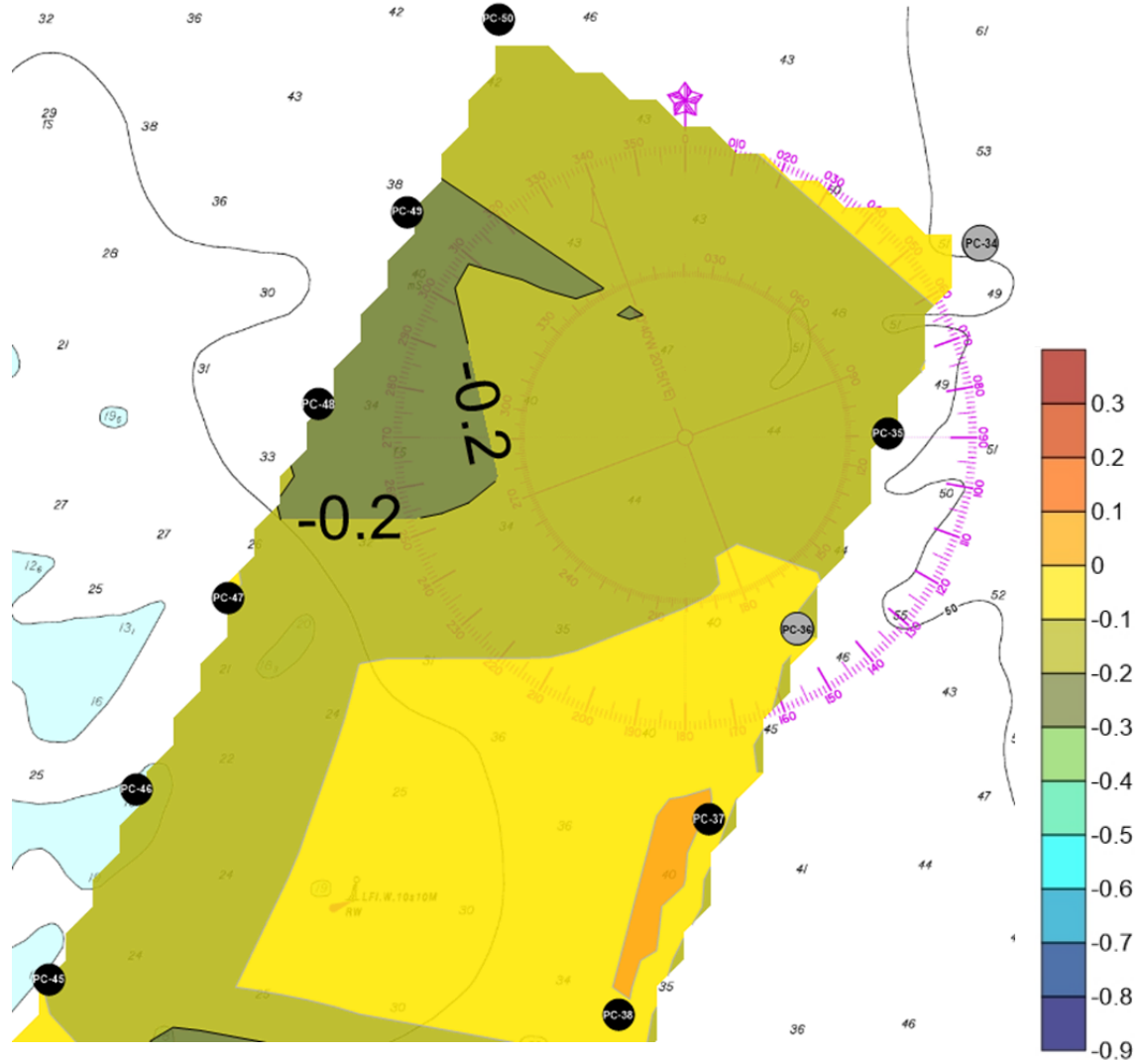
Figura 18: Distribuição da assimetria granulométrica dos sedimentos na região da desembocadura da Baía de São Marcos e na plataforma continental interna. O gradiente de cores varia de tons azulados a verde, representando valores negativos (assimetria negativa), até tons amarelados a vermelho, correspondendo a valores de 0 a 3 (assimetria positiva). Os círculos em cinza destacam as amostras mencionadas no texto. (Fonte: Autor).



Na plataforma continental adjacente média (Figura 19), observa-se um comportamento já diferenciado; embora ainda haja mistura de assimetrias, os valores tendem a se expressar majoritariamente como aproximadamente simétricos a muito negativos, variando entre 0,3 e $-0,5 \phi$. Essa faixa ocorre devido à proximidade entre o ponto PC-39, que apresenta assimetria muito negativa, e o ponto PC-44, que apresenta assimetria positiva, resultando em um gradiente evidente de tons que vão do vermelho ao verde. A porção central desse setor apresenta tons verde-escuros, indicando valores entre $-0,3$ e $-0,5 \phi$, caracterizando sedimentos moderadamente a negativamente assimétricos.

Na plataforma continental adjacente externa (Figura 20), os valores de assimetria variam aproximadamente entre $-0,3$ e $0,1 \phi$, que, segundo Folk e Ward (1957), correspondem a distribuições negativamente assimétricas e aproximadamente simétricas. A porção central da plataforma externa apresenta tons verde-escuros, indicando valores entre $-0,2$ e $-0,3 \phi$,

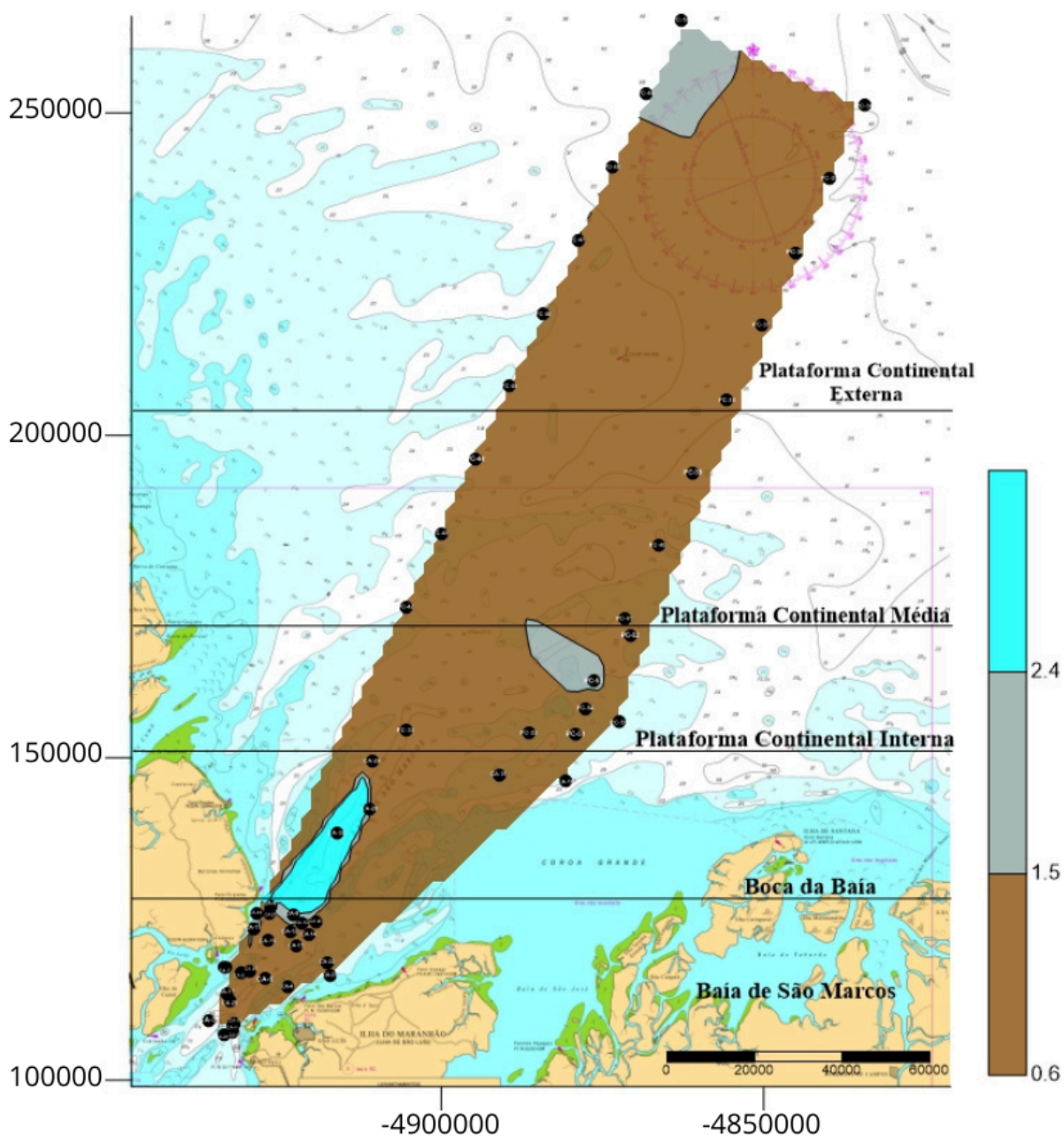
Figura 19: Distribuição da assimetria granulométrica dos sedimentos na plataforma continental externa. O gradiente de cores varia de tons azulados a verde, representando valores negativos (assimetria negativa), até tons amarelados a vermelho, correspondendo a valores de 0 a 3 (assimetria positiva). Os círculos em cinza destacam as amostras mencionadas no texto. (Fonte: Autor).



5.4 CURTOSE:

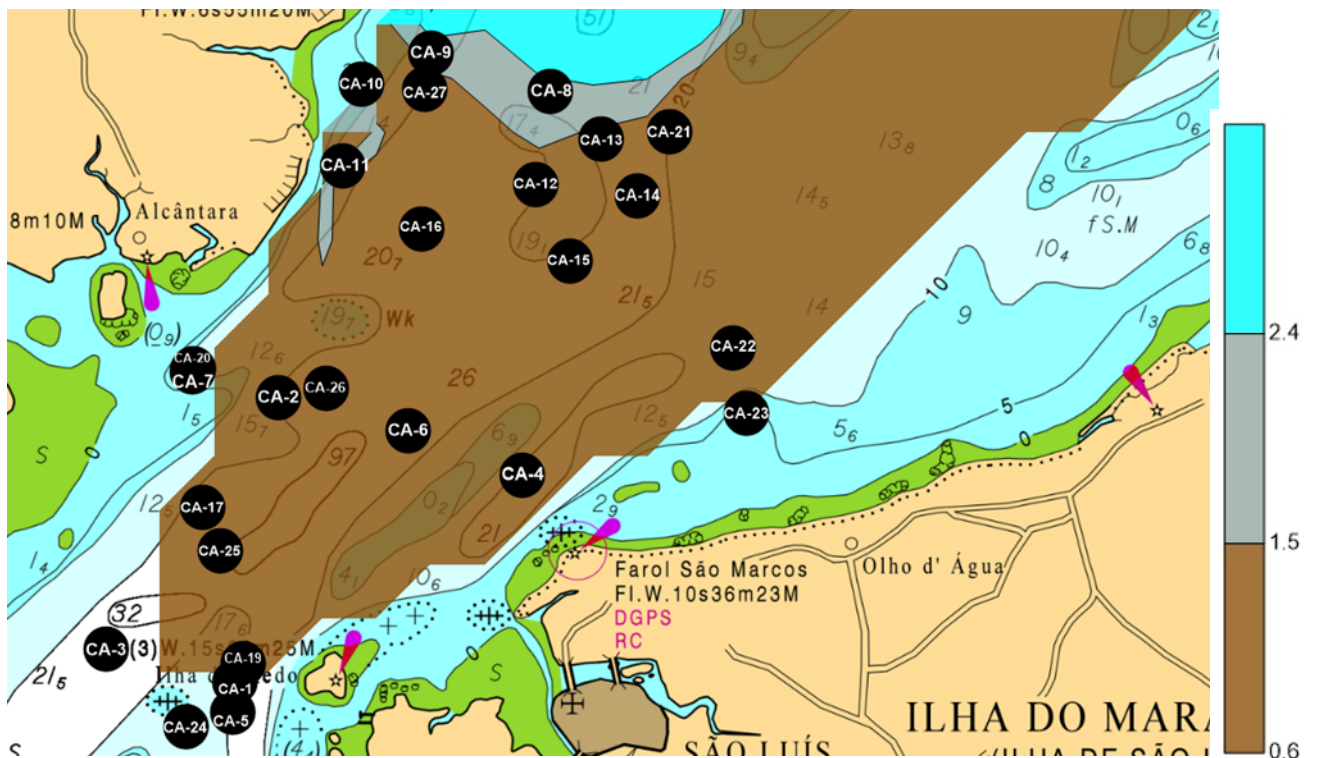
Os valores de curtose ao longo do sistema Baía de São Marcos–plataforma continental adjacente revelam variações na forma das distribuições granulométricas, refletindo diferenças no grau de concentração dos tamanhos de grãos, típicas de ambientes transicionais influenciados por distintos regimes hidrodinâmicos.

Figura 20: Distribuição da curtose dos sedimentos desde a Baía de São Marcos até a plataforma continental adjacente. O gradiente de cores varia de marrom, representando os menores valores de curtose, passando por tons de cinza, correspondentes aos valores intermediários, até azul claro, que indica os maiores valores do parâmetro. (Fonte: Autor).



Na porção interna da Baía de São Marcos (figura 21), os valores de curtose (K_9) variam aproximadamente entre 0,6 e 2,4, apresentando resultados classificados como platicúrticos, mesocúrticos e leptocúrticos, conforme Folk e Ward (1957). A maior parte da área é representada por tons marrom-escuros, que correspondem a valores em torno de 0,6, caracterizando distribuições platicúrticas, ou seja, mais achatadas. Sobre essa faixa principal, observa-se uma distribuição intermediária em tons cinza, com valores próximos de 1,5, correspondentes a distribuições mesocúrticas, cuja forma se aproxima da distribuição normal. Nas áreas mais centrais, os tons azul-claro indicam valores máximos próximos de 2,4, classificados como leptocúrticos, caracterizando sedimentos com distribuição mais afilada e maior concentração de frequências em torno da média.

Figura 21: Distribuição da curtose dos sedimentos na porção interna da Baía de Marcos. O gradiente de cores varia de marrom, indicando os menores valores de curtose, passando por tons de cinza para valores intermediários, até azul claro, correspondente aos maiores valores do parâmetro. (Fonte: Autor).

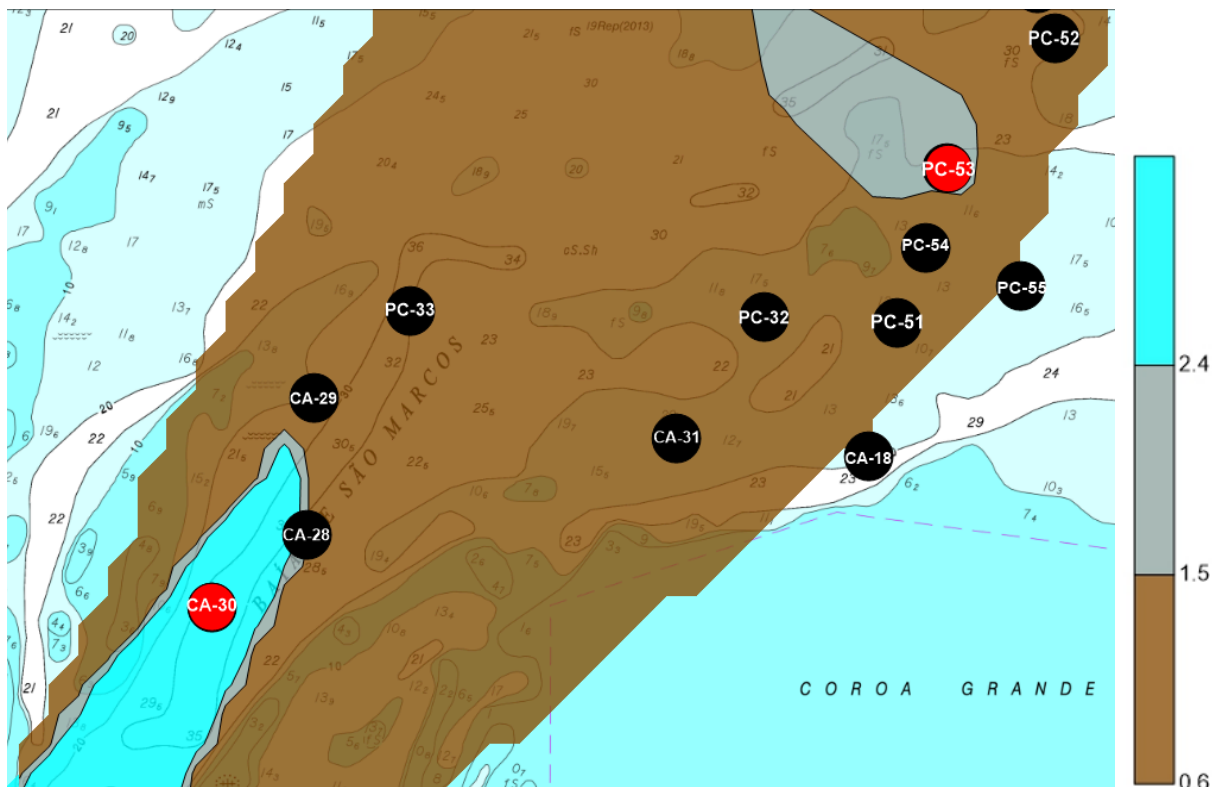


Na região da boca da Baía de São Marcos (figura 22), os valores interpolados de curtose (K_9) variam aproximadamente entre 0,6 e 2,4, conforme indicado pelos tons marrom-escuros, cinzas e azulados. Esses valores correspondem às categorias platicúrtica, mesocúrtica e leptocúrtica, com predominância de distribuições platicúrticas ao longo da maior parte da área. No interior do canal da boca da baía, uma amostra pontual, CA-30, dominada por argila, apresenta curtose igual a 12,82, representada por um círculo amarelo.

Esse valor extremamente elevado indica uma distribuição altamente leptocúrtica, com forte concentração dos grãos em torno da média e caudas muito estreitas. Tal valor excede o intervalo representado na legenda e os limites adotados na interpolação, sendo excluído da superfície para evitar distorções matemáticas.

Na plataforma continental adjacente interna (figura 22), os valores de curtose (K_9) variam aproximadamente entre 0,6 e 1,5, correspondendo a distribuições platicúrticas a mesocúrticas. A maior parte da área apresenta tons marrom-escuros, associados a valores próximos de 0,6, caracterizando curtose platicúrtica, predominante em praticamente toda a extensão da plataforma interna. Em pequenas áreas pontuais, principalmente na transição para a plataforma média, surgem tons mais claros associados a valores próximos de 1,5, correspondendo a curtose mesocúrtica, como observado na amostra PC-53.

Figura 22: Distribuição da curtose dos sedimentos na região da desembocadura da Baía de São Marcos e na plataforma continental interna. O gradiente de cores varia de marrom, indicando os menores valores de curtose, passando por tons de cinza para valores intermediários, até azul claro, correspondente aos maiores valores do parâmetro. Os círculos em vermelho destacam as amostras mencionadas no texto. (Fonte: Autor).



Na plataforma continental adjacente média, os valores de curtose (K_9) variam aproximadamente entre 0,6 e 1,5, indicando classificações platicúrticas e mesocúrticas (figura

23). A maior parte da superfície apresenta tons de marrom, associados a valores próximos de 0,6, caracterizando distribuições platicúrticas, como nos pontos PC-38 e PC-45.

Na plataforma continental adjacente externa (figura 24), os valores de curtose apresentam baixa variabilidade espacial, concentrando-se majoritariamente entre 0,6 e 1,5. Essa predominância de valores platicúrticos indica distribuições granulométricas mais achatadas, com menor concentração de classes em torno da média, como nos pontos amostrais PC-34 e PC-50, que formam uma mancha acinzentada no final da plataforma externa, indicando amostras classificadas como platicúrticas e mesocúrticas.

Figura 23: Distribuição da curtose dos sedimentos na plataforma continental média. O gradiente de cores varia de marrom, indicando os menores valores de curtose, passando por tons de cinza para valores intermediários, até azul claro, correspondente aos maiores valores do parâmetro. (Fonte: Autor).

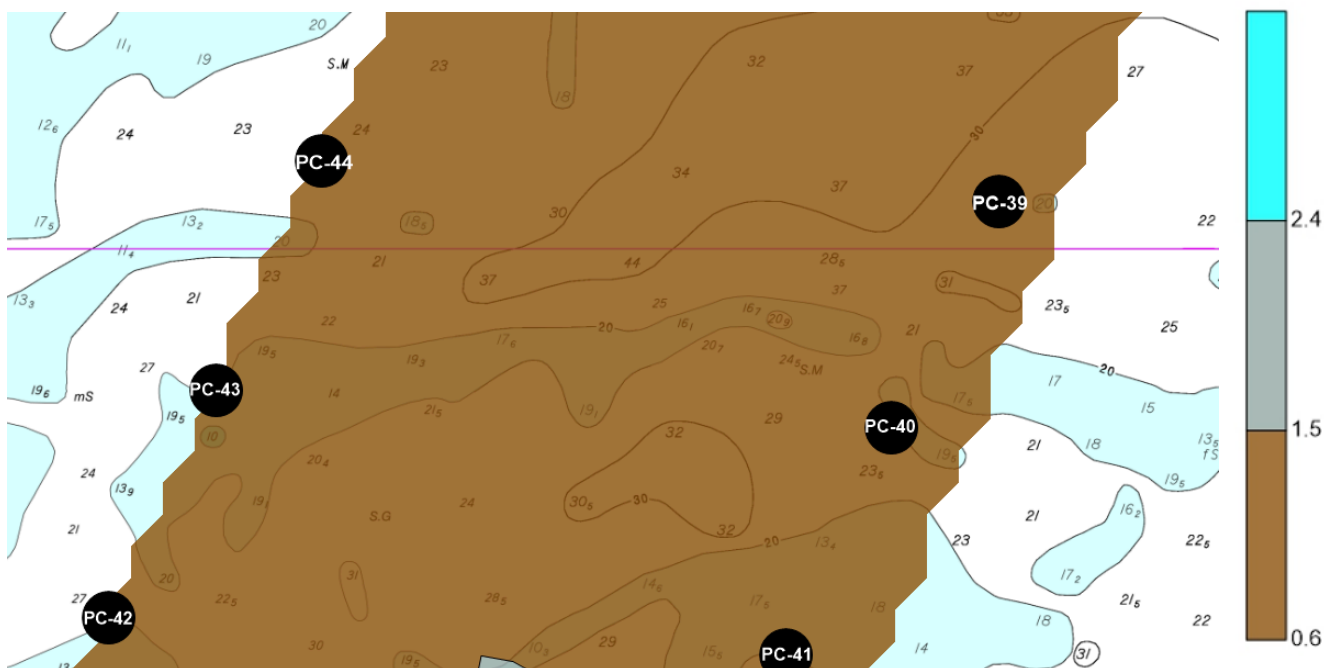
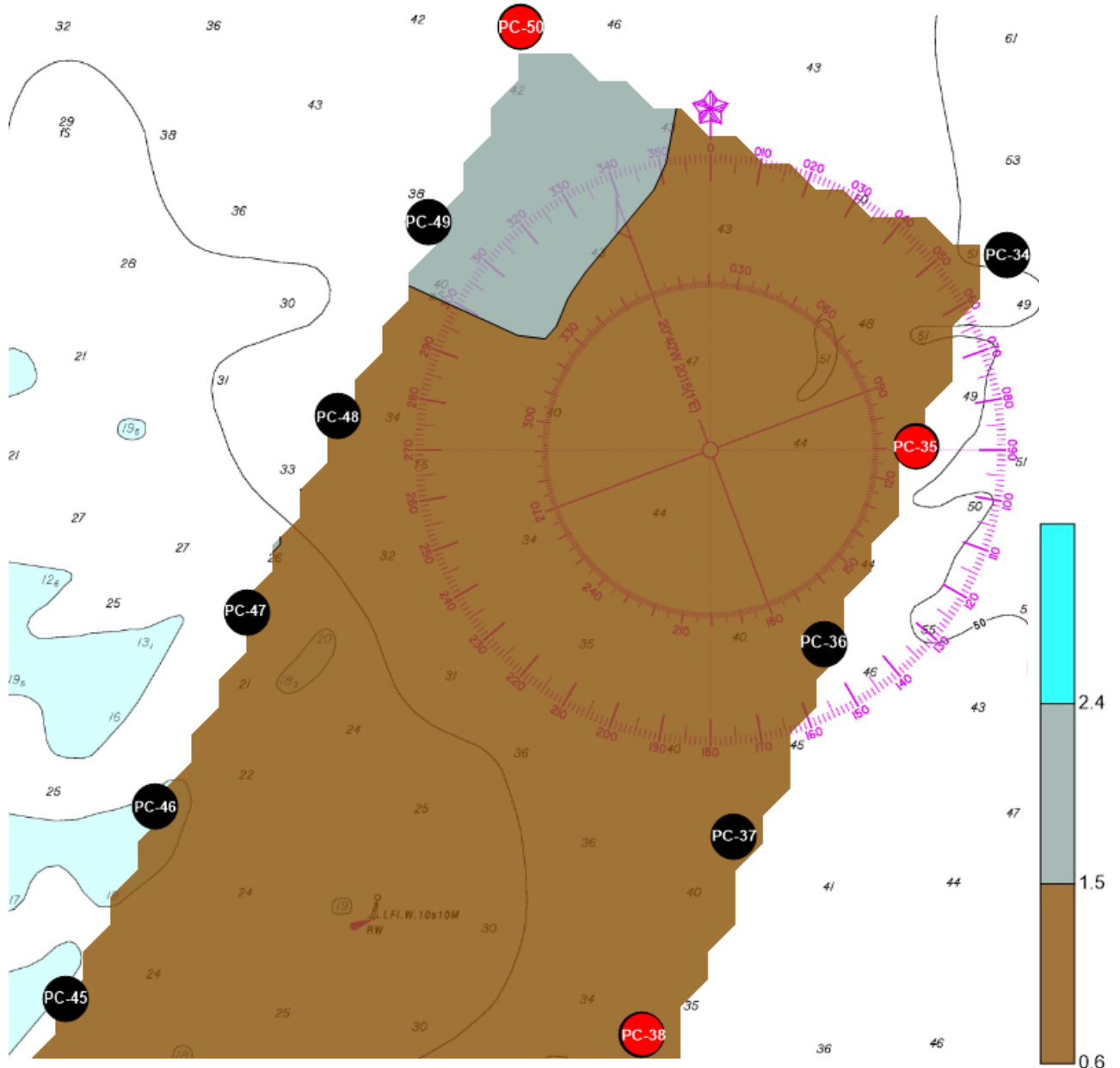


Figura 24: Distribuição da curtose dos sedimentos na plataforma continental externa. O gradiente de cores varia de marrom, representando os menores valores de curtose, passando por tons de cinza para valores intermediários, até azul claro, indicando os maiores valores do parâmetro. Os círculos em vermelho destacam as amostras mencionadas no texto. (Fonte: Autor).



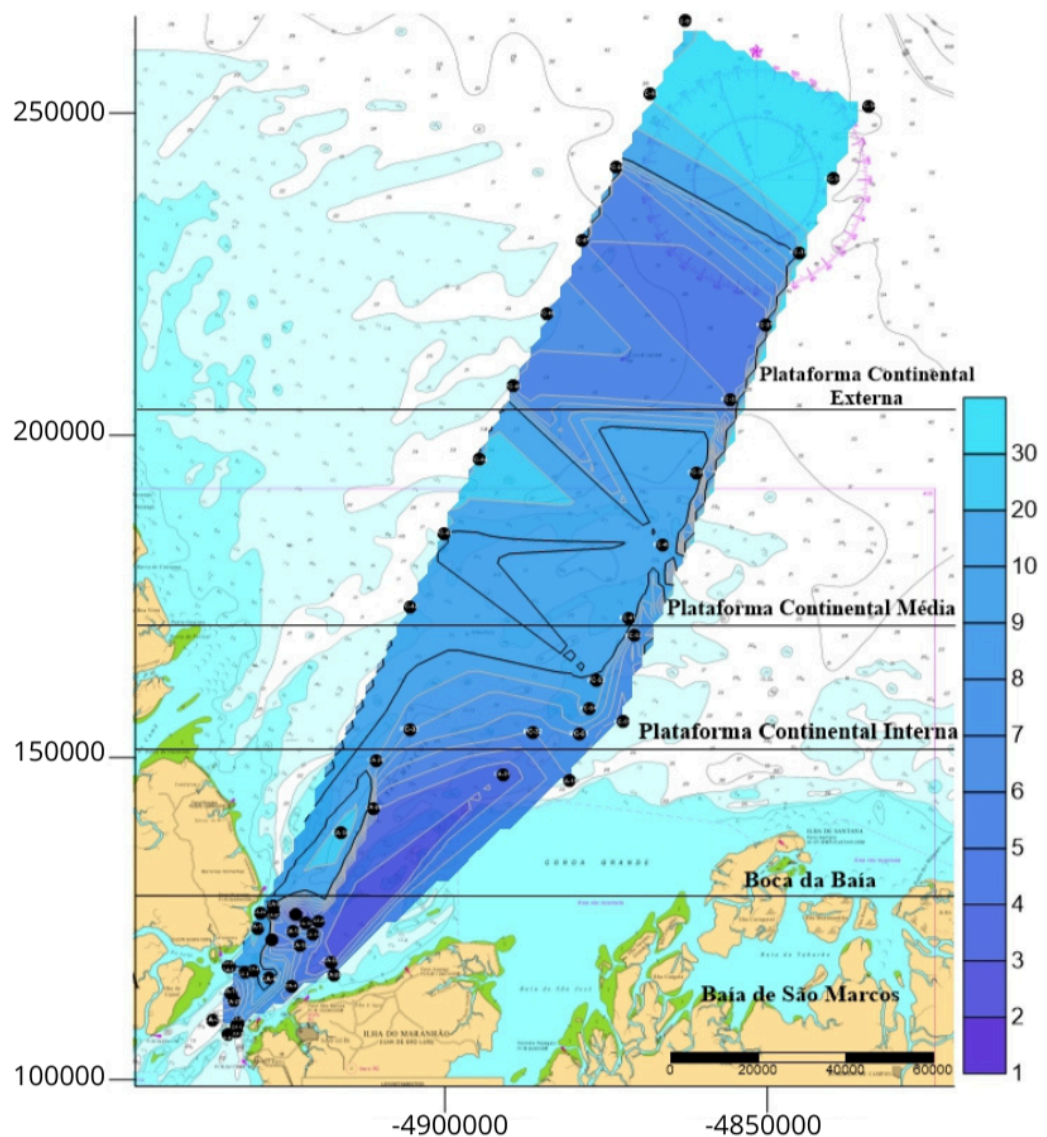
5.5 TEOR DE CARBONATO:

O teor de carbonato na área de estudo apresenta um gradiente espacial bem definido, refletindo a influência das condições hidrodinâmicas e da natureza das fontes sedimentares. Foi utilizado um intervalo de 1 a 30% de teor de carbonato no mapa (figura 25), por corresponder aos valores predominantes na maioria das amostras, exceto os pontos PC-34 e

PC-35, que apresentaram valores significativamente elevados e, por esse motivo, foram representados no mapa por círculos vermelhos, uma vez que, se incluídos na interpolação, distorceriam a superfície amostral.

Figura 24: Distribuição do teor de carbonato (%) dos sedimentos desde a Baía de São Marcos até a plataforma continental adjacente. O gradiente de cores varia do azul claro ao azul escuro, onde tonalidades mais claras representam maiores porcentagens de carbonato e tonalidades mais escuras indicam menores teores.

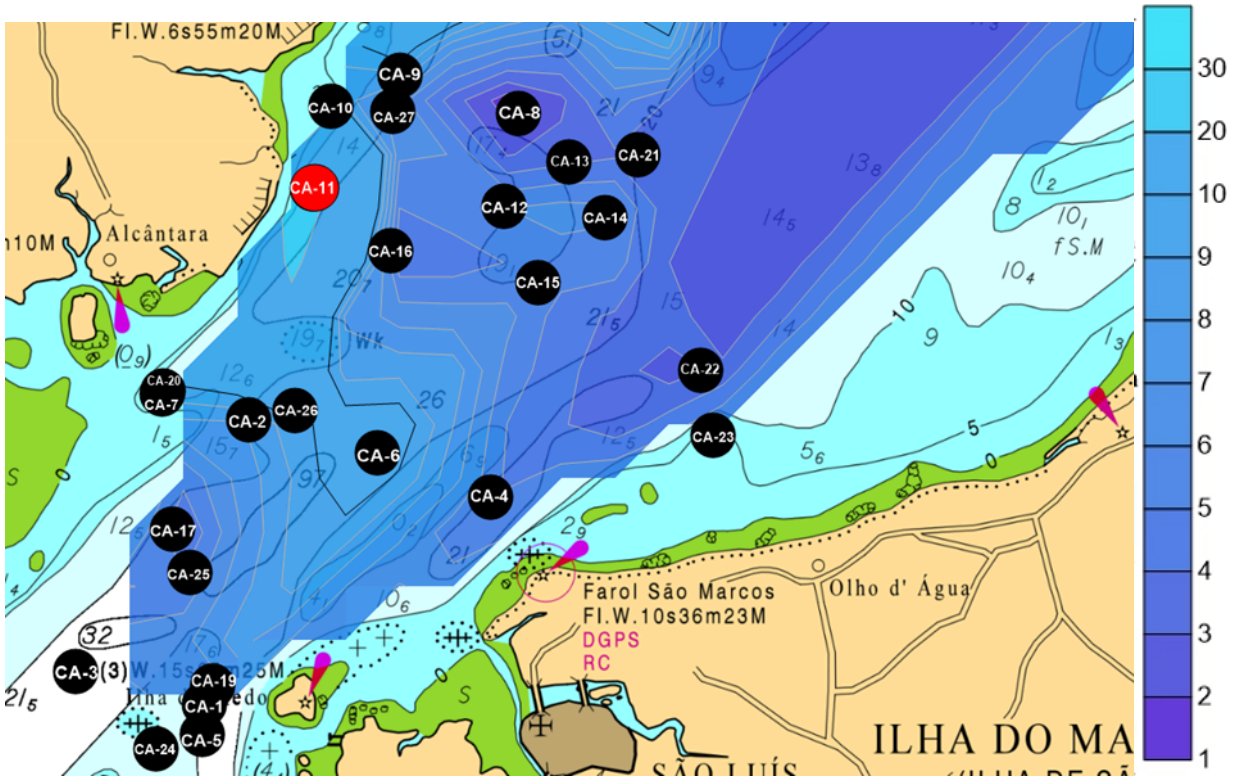
(Fonte: Autor).



Na porção mais interna da Baía de São Marcos, predominam concentrações entre 1% e 9%, exceto a amostra CA-11, que apresenta 28% de teor de carbonato e está representada no mapa por um tom de azul mais claro e por um círculo vermelho (figura 25).

Figura 25: Distribuição do teor de carbonato (%) dos sedimentos na porção interna da Baía de São Marcos. O gradiente de cores varia do azul claro ao azul escuro, onde tonalidades mais claras indicam maiores

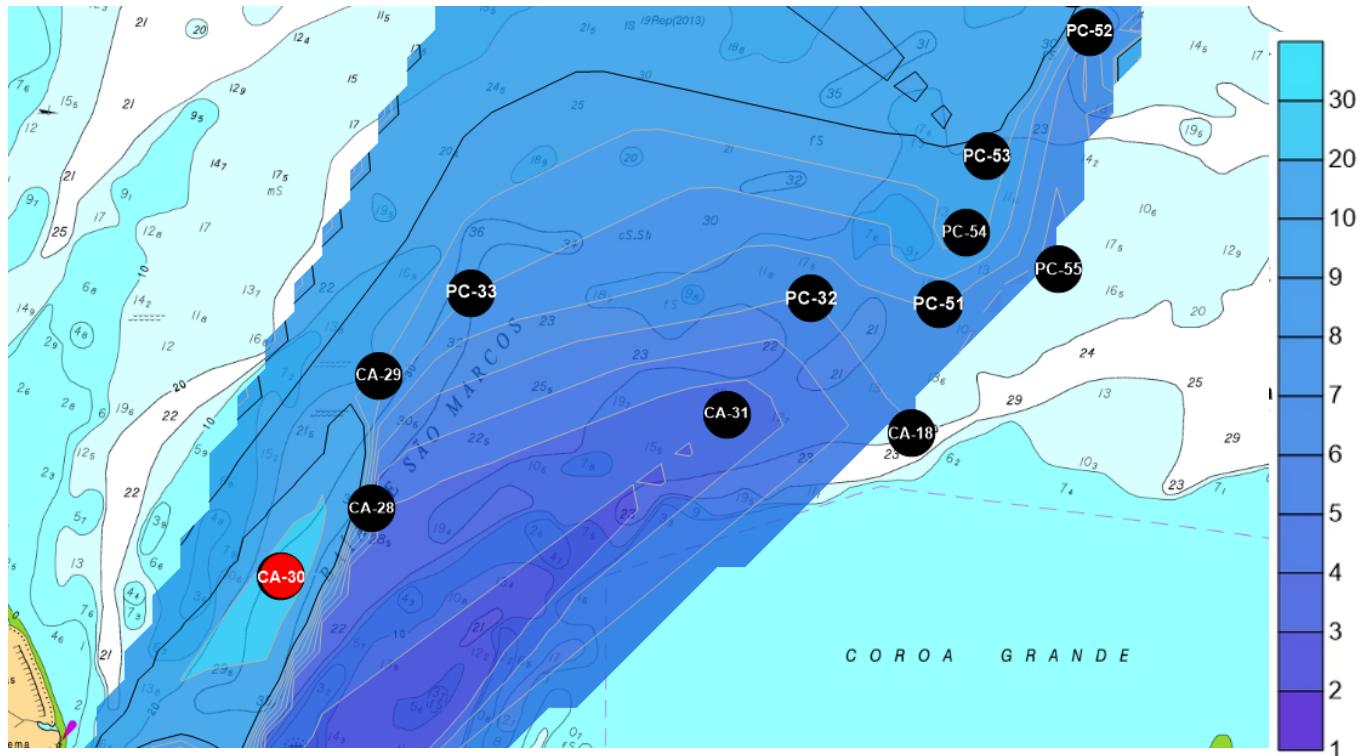
porcentagens de carbonato e tonalidades mais escuras representam menores teores. Os círculos em vermelho destacam as amostras mencionadas no texto. (Fonte: Autor).



Em direção à desembocadura da baía (figura 26), observa-se um leve aumento no teor de CaCO_3 devido ao ponto amostral CA-30, que apresenta 32% de carbonato, representado pelo tom de azul mais claro. Os demais pontos na boca da baía apresentam baixa concentração de carbonato.

Na plataforma continental interna, os teores mostram-se mais homogêneos, com oscilações entre 6% e 13% (figura 26).

Figura 26: Distribuição do teor de carbonato (%) dos sedimentos na região da desembocadura da Baía de São Marcos e na plataforma continental interna. O gradiente de cores varia do azul claro ao azul escuro, onde tonalidades mais claras representam maiores porcentagens de carbonato e tonalidades mais escuras correspondem a menores teores. Os círculos em vermelho destacam as amostras mencionadas no texto. (Fonte: Autor).



Ao alcançar a plataforma continental média (figura 27), percebe-se um enriquecimento em carbonato nos pontos PC-39 e PC-44, que apresentam 16% e 32%, respectivamente.

Na plataforma continental externa concentram-se os maiores teores de carbonato de toda a área de estudo, com destaque para as amostras PC-34 (168%), PC-35 (85%), PC-49 (32%) e PC-50 (24%). Esses valores são representados por tonalidades de azul claro e localizam-se predominantemente na extremidade da superfície interpolada. Observa-se, nesse setor, um gradiente espacial que varia de azul mais escuro para azul mais claro, refletindo o aumento relativo do teor de carbonato em direção à porção externa da plataforma, uma vez que as demais amostras não apresentam porcentagens tão elevadas (Figura 28). Os valores extremamente elevados registrados nas amostras PC-34 e PC-35 não foram incluídos no processo de interpolação, pois valores extremos tendem a distorcer os métodos de suavização e triangulação. Assim, esses pontos foram representados por marcadores pontuais (círculos cinza) sobre a superfície interpolada.

Figura 27: Distribuição do teor de carbonato (%) dos sedimentos na plataforma continental média. O gradiente de cores varia do azul claro ao azul escuro, onde tonalidades mais claras indicam maiores porcentagens de carbonato e tonalidades mais escuras representam menores teores. Os círculos em vermelho destacam as amostras mencionadas no texto. (Fonte: Autor).

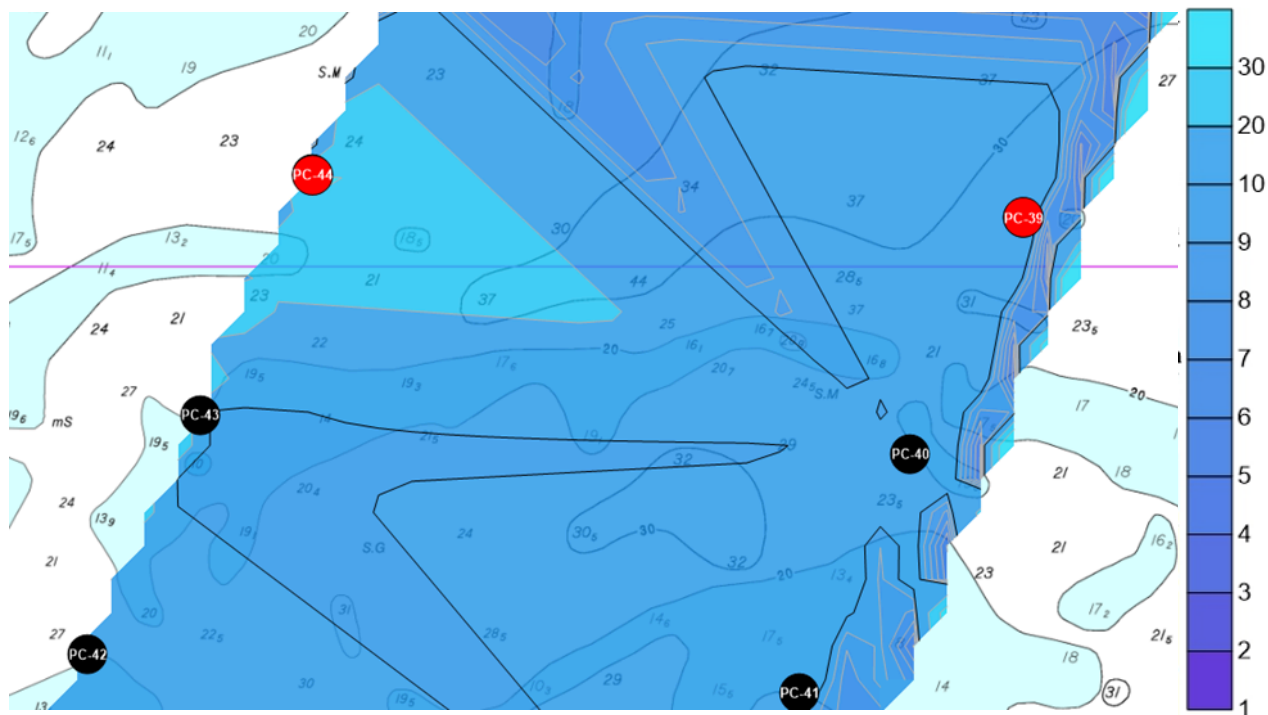
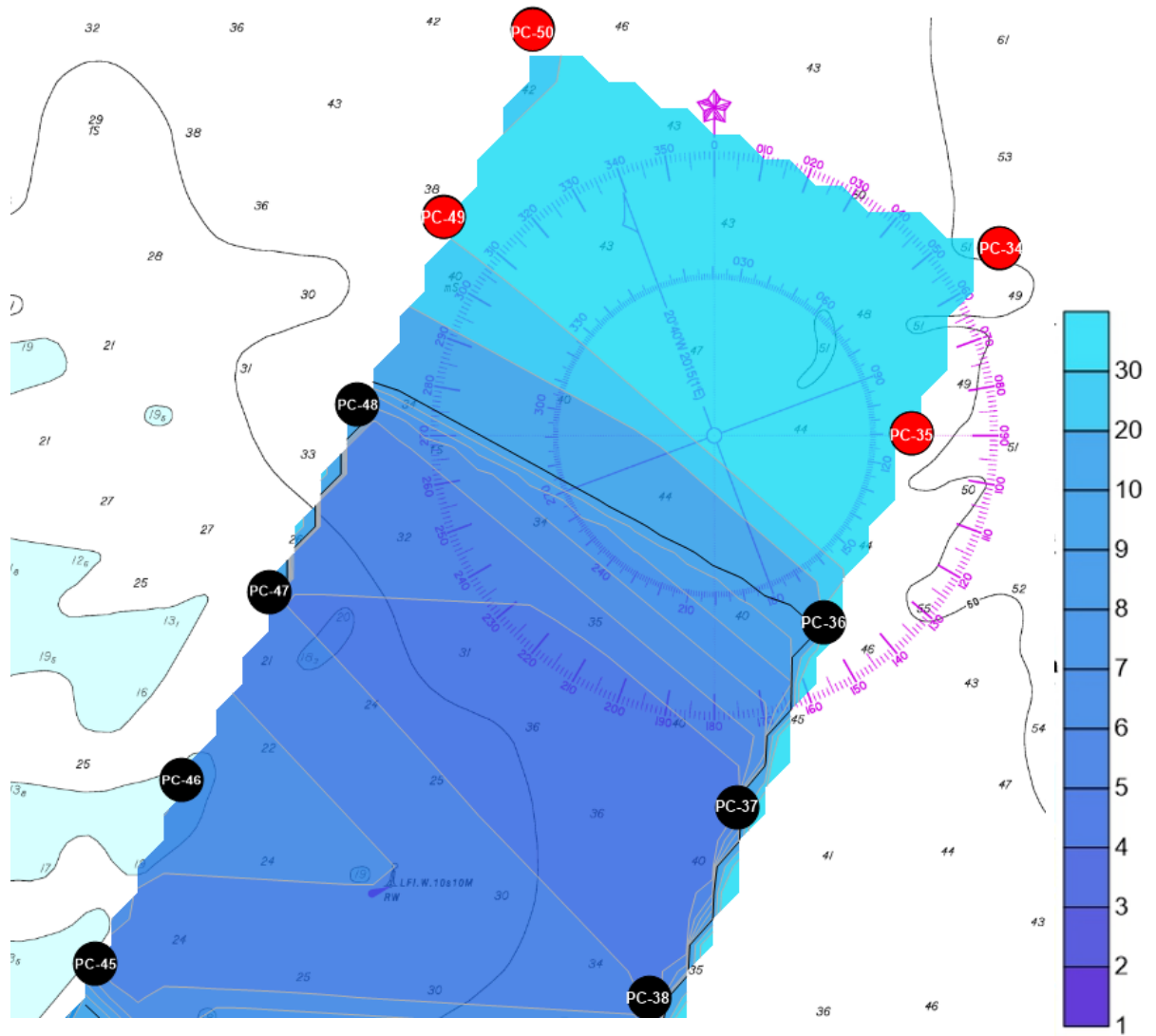


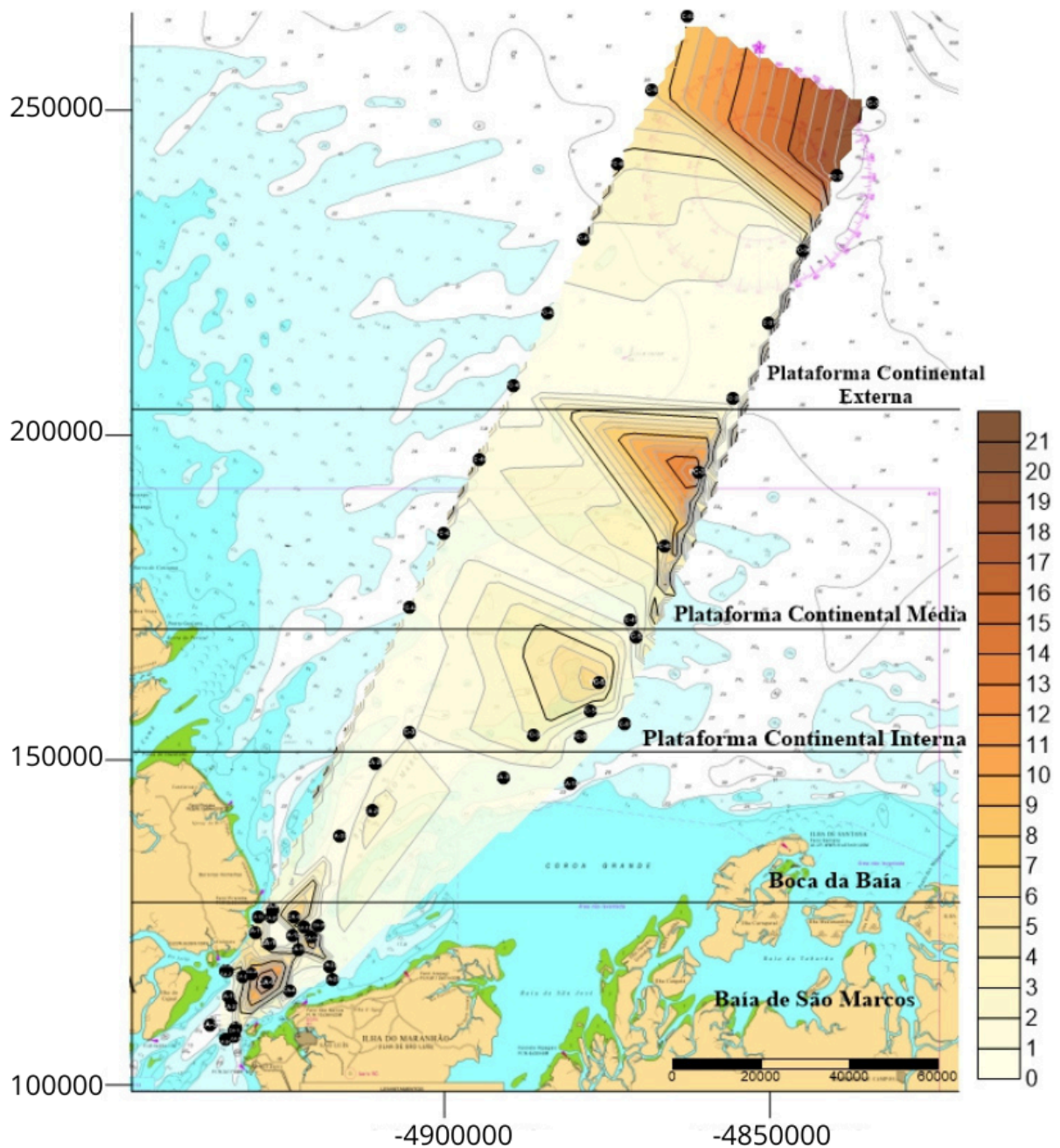
Figura 28: Distribuição do teor de carbonato (%) dos sedimentos na plataforma continental externa. O gradiente de cores varia do azul claro ao azul escuro, onde tonalidades mais claras correspondem a maiores porcentagens de carbonato e tonalidades mais escuras indicam menores teores. Os círculos em vermelho destacam as amostras mencionadas no texto. (Fonte: Autor).



5.6 CASCALHO:

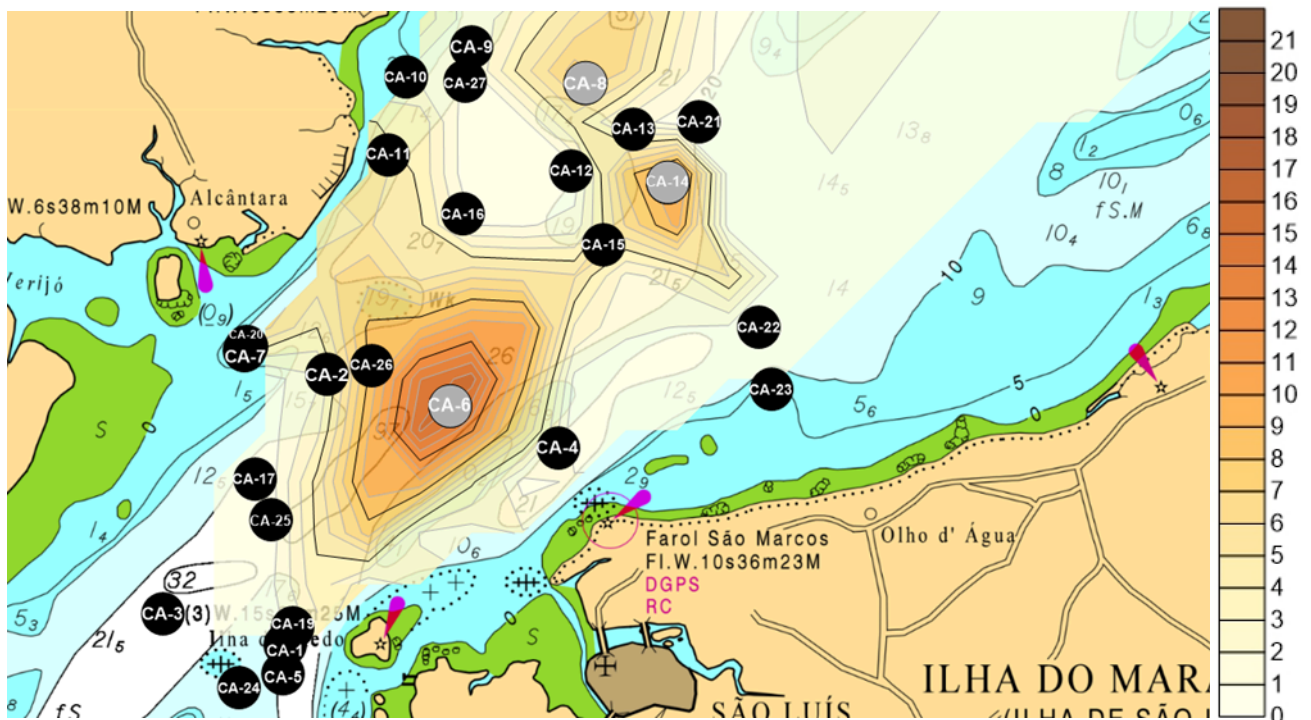
Os resultados para a fração cascalho (%) na área de estudo mostram um padrão dominado por baixos teores (figura 29).

Figura 29: Distribuição do teor de cascalho (%) dos sedimentos desde a Baía de São Marcos até a plataforma continental adjacente. O gradiente de cores varia do amarelo claro ao laranja e castanho escuro, onde tonalidades mais claras representam menores valores de cascalho e tonalidades mais escuras correspondem aos maiores teores. (Fonte: Autor).



Na porção interna da Baía de São Marcos (figura 30), a concentração é bastante reduzida, exceto nos pontos CA-6 (18,24%), CA-8 (8,539%) e CA-14 (14,49%), representados por tons de amarelo mais intenso.

Figura 30: Distribuição do teor de cascalho (%) dos sedimentos na porção interna da Baía de São Marcos. O gradiente de cores varia do amarelo claro ao laranja e castanho escuro, onde tonalidades mais claras indicam menores valores de cascalho e tonalidades mais escuras representam maiores teores. Os círculos em cinza destacam as amostras mencionadas no texto. (Fonte: Autor).



Em direção à desembocadura, a concentração permanece muito baixa, apresentando valores de 0% em alguns pontos, como CA-18, CA-30 e CA-31, representados por tons de amarelo bem claro (figura 31).

Na plataforma continental interna e média (figura 32), a maior parte da área mantém concentrações baixas, inferiores a 6%, também representadas por tons de amarelo claro. Entretanto, destaca-se um ponto amostral na plataforma média, PC-39, que apresenta 14,98% de cascalho e é representado por um tom amarelo-alaranjado.

Figura 31: Distribuição do teor de cascalho (%) dos sedimentos na região da desembocadura da Baía de São Marcos e na plataforma continental interna. O gradiente de cores varia do amarelo claro ao laranja e castanho escuro, onde tonalidades mais claras representam menores valores de cascalho e tonalidades mais escuras correspondem aos maiores teores. Os círculos em cinza destacam as amostras mencionadas no texto. (Fonte: Autor).

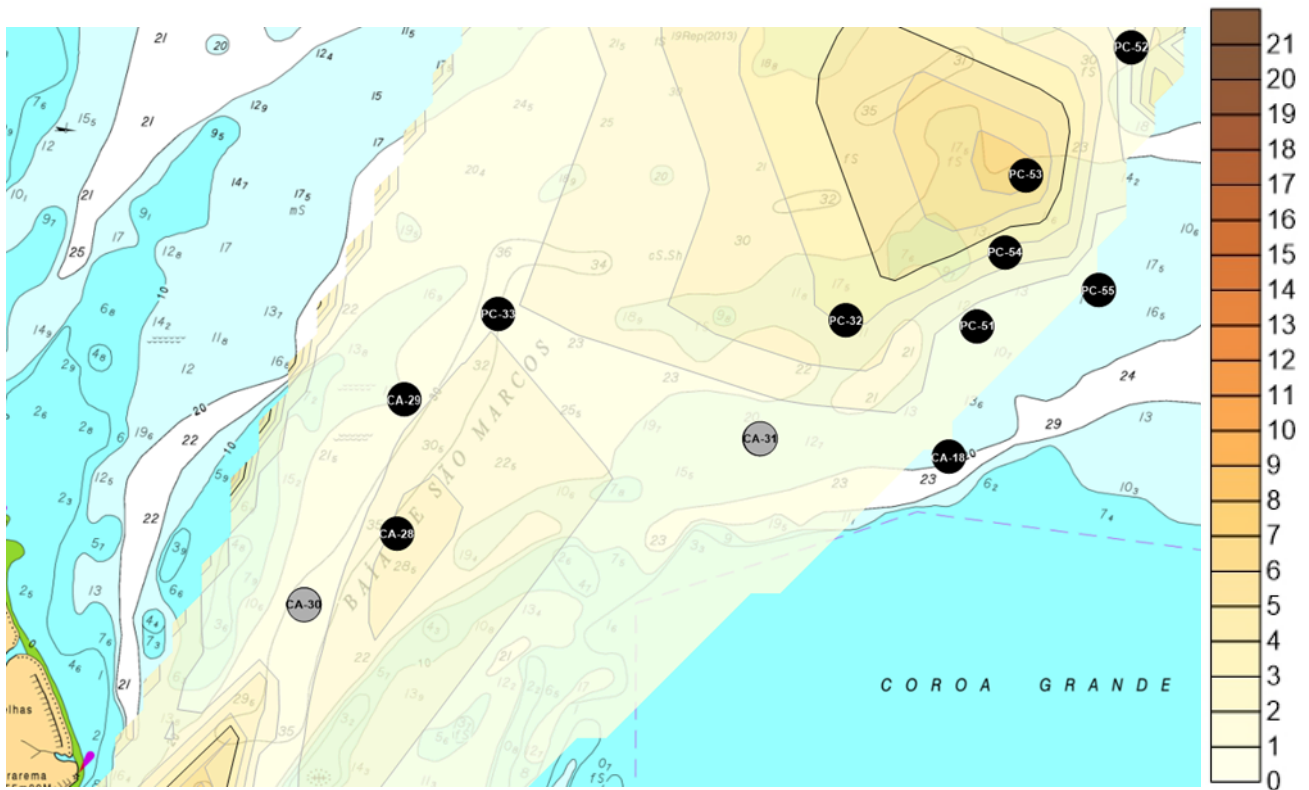
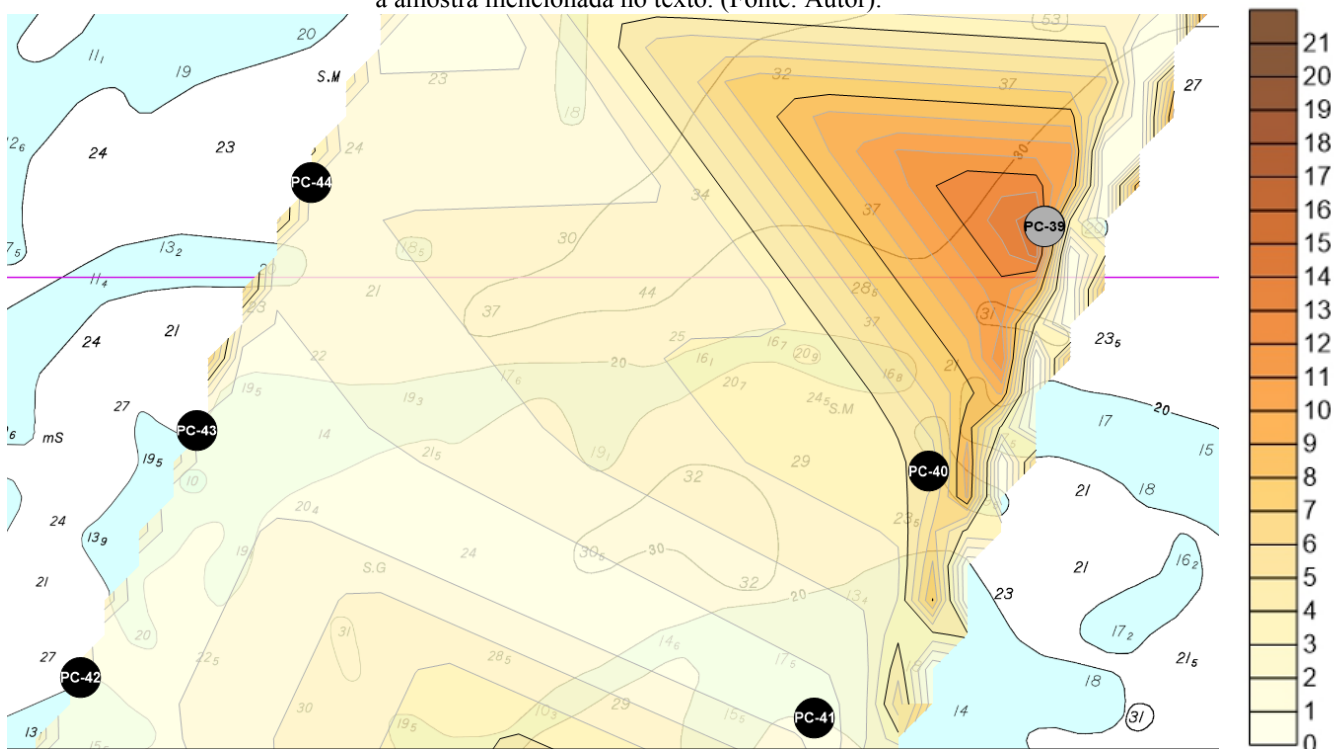
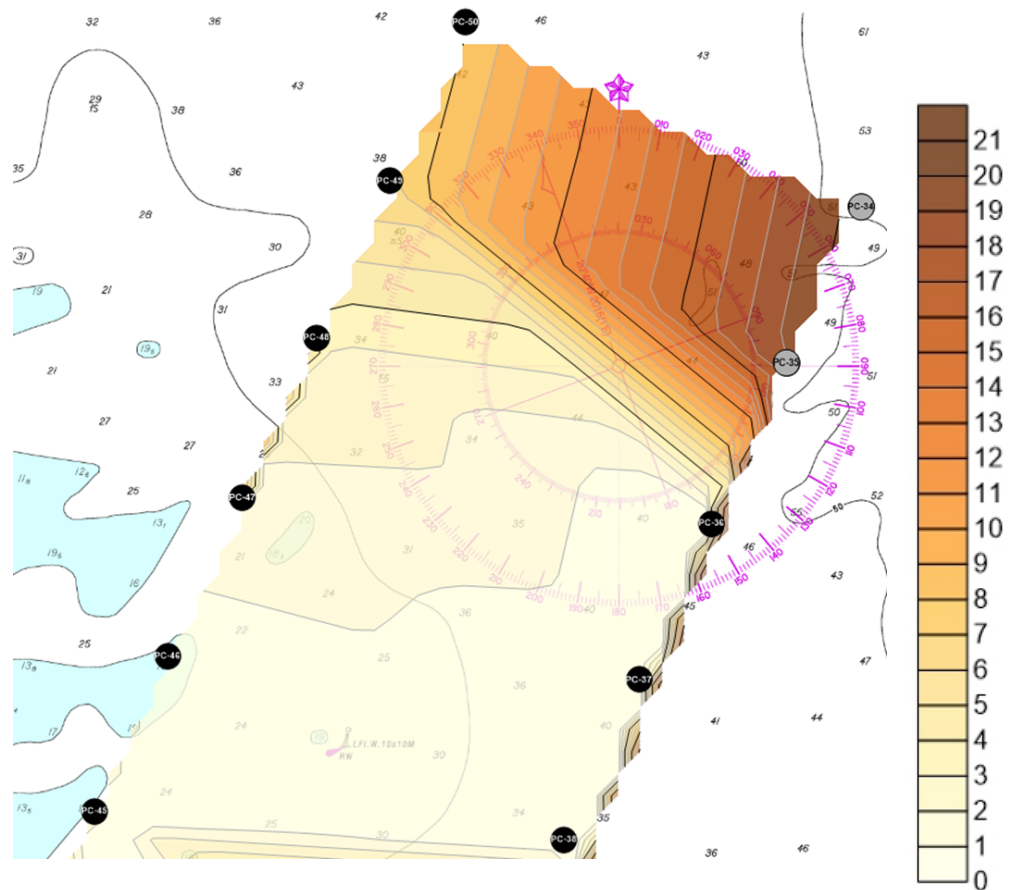


Figura 32: Distribuição do teor de cascalho (%) dos sedimentos na plataforma continental média. O gradiente de cores varia do amarelo claro ao laranja e castanho escuro, onde tonalidades mais claras indicam menores valores de cascalho e tonalidades mais escuras representam maiores teores. O círculo em cinza destaca a amostra mencionada no texto. (Fonte: Autor).



Na plataforma externa (figura 33), observa-se o principal enriquecimento da fração cascalho, com um gradiente de coloração variando entre amarelo e castanho-escuro, especialmente na porção final da plataforma. Esse padrão decorre dos valores registrados nos pontos PC-35 (19,36%) e PC-34 (20,57%). Apesar disso, uma parte significativa da plataforma externa permanece representada por tons de amarelo claro, indicando baixa concentração de cascalho.

Figura 33: Distribuição do teor de cascalho (%) dos sedimentos na plataforma continental externa. O gradiente de cores varia do amarelo claro ao laranja e castanho escuro, onde tonalidades mais claras representam menores valores de cascalho e tonalidades mais escuras correspondem aos maiores teores. Os círculos em cinza destacam as amostras mencionadas no texto. (Fonte: Autor).

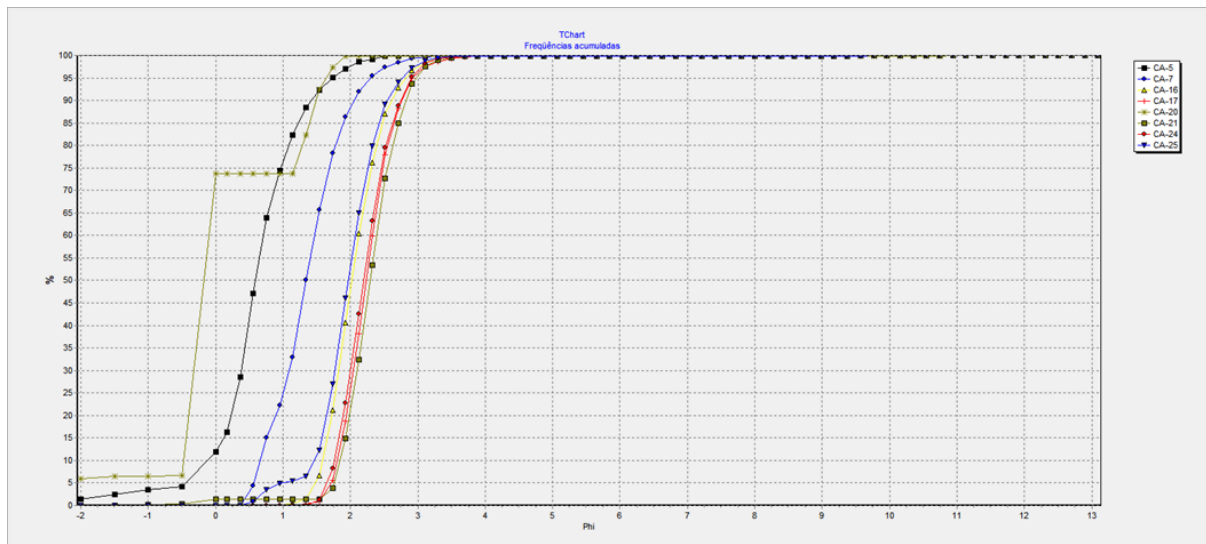


5.7 FREQUÊNCIA ACUMULADA

Para a parte interna da baía, foram selecionadas as amostras CA-5, CA-7, CA-16, CA-17, CA-20, CA-21, CA-24 e CA-25 com diferentes tipos e classificação.

As curvas de frequência acumulada (figura 34) evidenciam diferenças granulométricas marcantes entre as amostras. As amostras CA-5 e CA-20 apresentam distribuição deslocada para valores negativos de phi, indicando predominância de sedimentos grossos, além de uma transição mais longa, sugerindo seleção pobre. Em contraste, as amostras CA-17, CA-24 e CA-25 apresentam curvas mais verticais e centradas entre 1,5 e 2,5 ϕ , caracterizando sedimentos arenosos bem selecionados. Esse comportamento reforça a heterogeneidade típica da Baía de São Marcos, onde populações grossas retrabalhadas coexistem com sedimentos mais finos depositados em condições de menor energia.

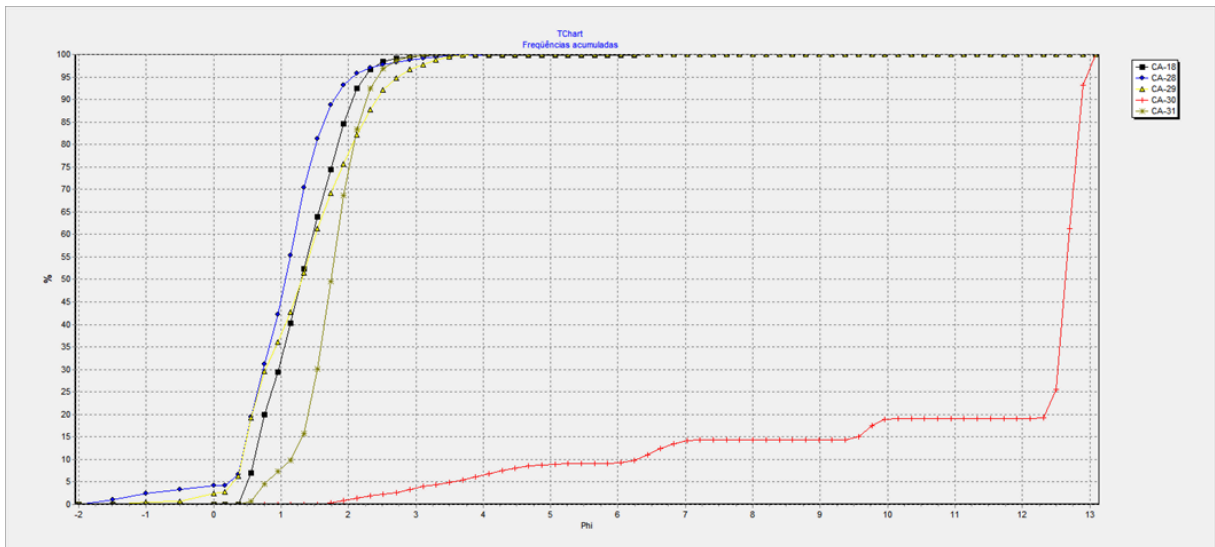
Figura 34: Gráfico 1 – Curvas de frequência acumulada das amostras selecionadas, representando a distribuição granulométrica em escala Φ . As curvas mostram a variação do percentual acumulado de partículas ao longo das classes de tamanho, permitindo visualizar diferenças texturais entre as amostras CA-5, CA-7, CA-16, CA-17, CA-20, CA-21, CA-24 e CA-25. (Fonte: Autor).



As curvas de frequência acumulada da boca da Baía de São Marcos (figura 35) revelam dois comportamentos distintos. As amostras CA-18, CA-28, CA-29 e CA-31 apresentam curvas concentradas no intervalo entre 0 e 3 ϕ , indicando sedimentos arenosos moderadamente a bem selecionados, com predominância de areia média a fina. Em contraste, a amostra CA-30 apresenta curva deslocada para valores superiores a 10 ϕ , com ascensão muito gradual e apenas atingindo 100% próximo de 12–13 ϕ , caracterizando um depósito

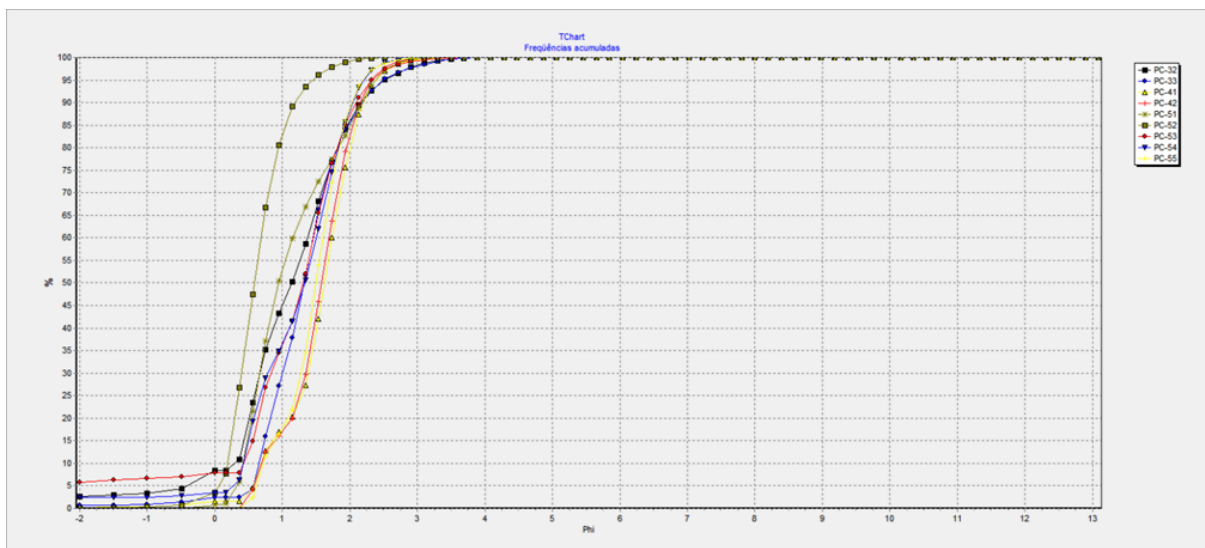
significativamente mais fino, composto essencialmente por silte e argila, além de seleção muito pobre. Esse padrão destaca a heterogeneidade granulométrica na boca da baía, onde populações arenosas típicas de ambientes de maior energia coexistem com material lamoso depositado sob condições mais calmas.

Figura 35: Gráfico 2 – Curvas de frequência acumulada das amostras CA-18, CA-28, CA-29, CA-30 e CA-31, representando a distribuição granulométrica em escala Φ . As curvas ilustram o comportamento textural distinto entre as amostras, evidenciando variações na proporção acumulada das partículas ao longo das classes de tamanho. (Fonte: Autor).



As curvas de frequência acumulada da plataforma continental interna (figura 36) apresentam comportamento bastante homogêneo, caracterizado por distribuições essencialmente arenosas. A maior parte das amostras inicia a ascensão entre 0 e 1 ϕ e atinge 50% entre aproximadamente 1,2 e 2,0 ϕ , com 95–100% sendo alcançado entre 2,3 e 3,0 ϕ . Esse padrão indica predomínio de areia média a fina, com boa a moderada seleção. As amostras PC-32, PC-33, PC-41, PC-42, PC-53, PC-54 e PC-55 exibem curvas mais verticais, evidenciando melhor seleção, enquanto PC-52 apresenta inclinação mais suave e início de ascensão em valores negativos de ϕ , sugerindo maior contribuição de frações grossas. No conjunto, os resultados demonstram relativa uniformidade textural típica da plataforma interna, com pequenas variações associadas a diferenças locais na energia de fundo e no retrabalhamento dos sedimentos.

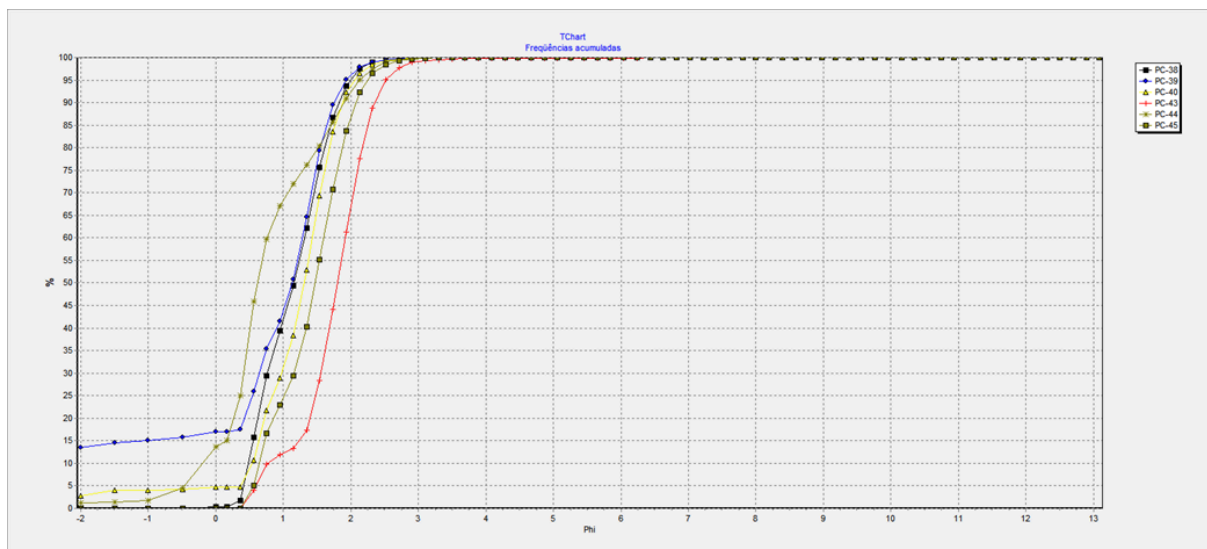
Figura 36: Gráfico 3 – Curvas de frequência acumulada das amostras PC-32, PC-33, PC-41, PC-42, PC-51, PC-52, PC-53, PC-54 e PC-55, representando a distribuição granulométrica em escala Φ . As curvas permitem visualizar a variação do percentual acumulado das partículas ao longo das classes de tamanho, evidenciando diferenças texturais entre as amostras da plataforma continental. (Fonte: Autor).



As curvas de frequência acumulada da plataforma continental média apresentam comportamento bastante uniforme, caracterizado por distribuições essencialmente arenosas. A maior parte das amostras inicia a ascensão entre 0 e 1 ϕ e atinge 50% entre aproximadamente 1,2 e 2,0 ϕ , com 95–100% alcançados entre 2,5 e 3,0 ϕ . Esse padrão indica predomínio de areia média a fina, com boa seleção.

As amostras PC-38, PC-40, PC-43, PC-44 e PC-45 apresentam curvas mais verticais, mostrando boa seleção e predominância de areia média (figura 37). A amostra PC-44 inicia sua ascensão em valores levemente negativos de ϕ , sugerindo maior participação de frações grossas. Em contraste, PC-39 apresenta fração mais fina. Mesmo assim, o conjunto mantém baixa variabilidade textural, típica da plataforma média, onde processos hidrodinâmicos mais constantes promovem sedimentos bem selecionados.

Figura 37: Gráfico 4 – Curvas de frequência acumulada das amostras PC-38, PC-39, PC-40, PC-43, PC-44 e PC-45, representando a distribuição granulométrica em escala Φ . As curvas mostram a progressão do percentual acumulado das partículas ao longo das classes de tamanho, permitindo comparar o comportamento textural das amostras da plataforma continental. (Fonte: Autor).



As curvas de frequência acumulada da plataforma continental externa (figura 38) exibem maior variabilidade textural em comparação às porções mais internas da plataforma. A maioria das amostras inicia a ascensão entre -1 e 1ϕ e atinge 50% no intervalo entre $1,0$ e $1,8 \phi$, alcançando 95–100% entre $2,3$ e $3,0 \phi$. Esse padrão caracteriza sedimentos predominantemente arenosos, variando de areia média a grossa, com seleção geral de moderada a boa.

As amostras PC-34 e PC-35 apresentam curvas deslocadas para valores mais baixos de ϕ , indicando maior contribuição de areia grossa. Em contraste, PC-36, PC-46 e PC-47 exibem curvas mais inclinadas e início tardio da ascensão, sugerindo maior participação de frações finas. O conjunto formado por PC-37, PC-48, PC-49 e PC-50 apresenta subidas mais verticais, representando sedimentos de areia média bem selecionados. No geral, as curvas demonstram heterogeneidade granulométrica na plataforma externa, refletida em diferentes contribuições de frações grossas e variações no grau de seleção.

Figura 38: Gráfico 5 – Curvas de frequência acumulada das amostras PC-34, PC-35, PC-36, PC-37, PC-46, PC-47, PC-48, PC-49 e PC-50, representando a distribuição granulométrica em escala Φ . As curvas demonstram a variação do percentual acumulado das partículas ao longo das classes de tamanho, permitindo comparar o comportamento textural das amostras da plataforma continental externa. (Fonte: Autor).

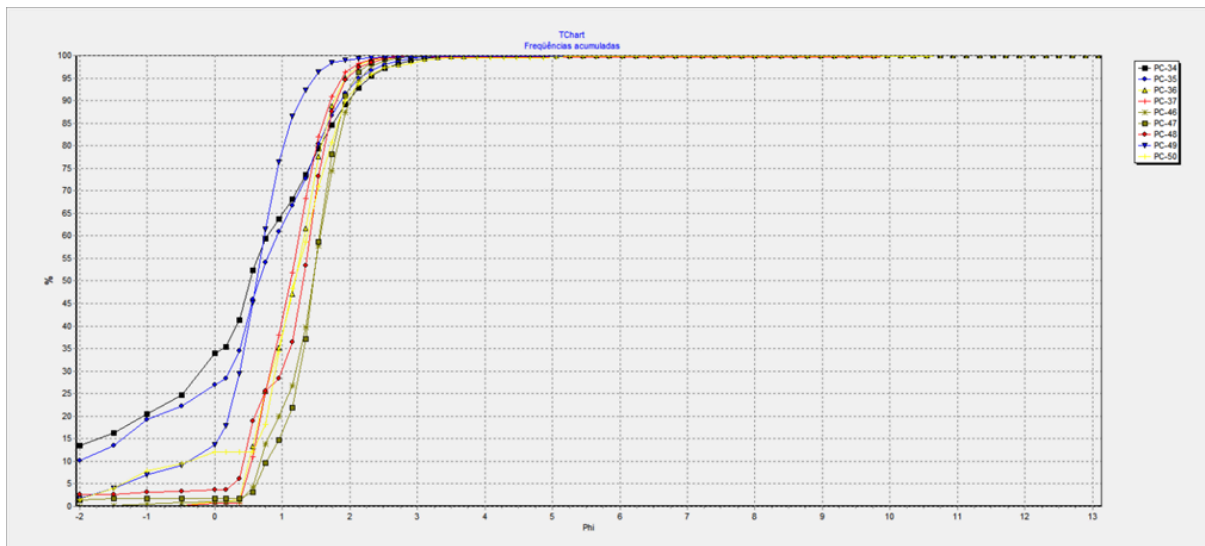
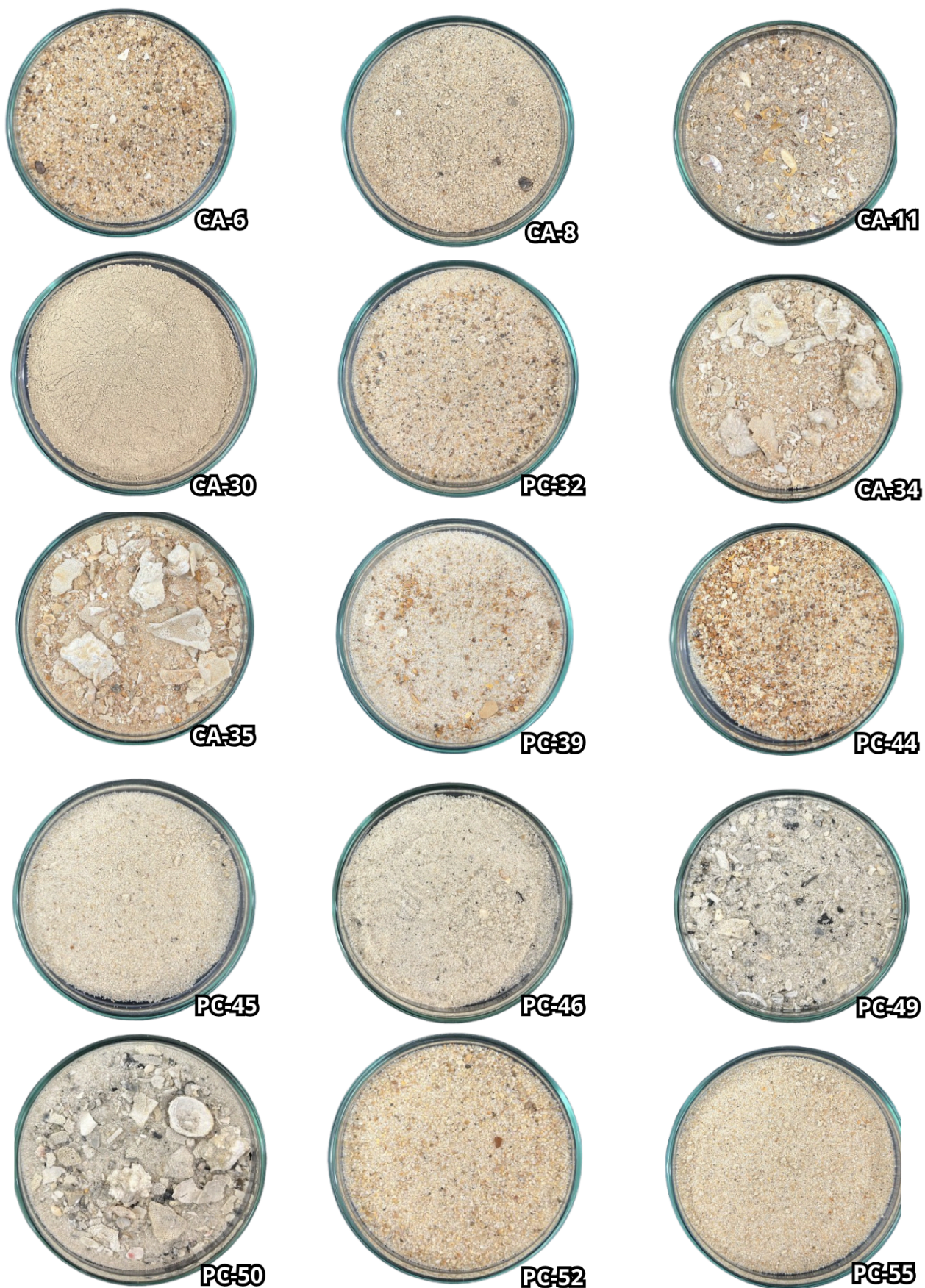


Figura 39: Aspecto macroscópico dos sedimentos superficiais representativos da Baía de São Marcos e da plataforma continental adjacente, evidenciando a variabilidade textural e composicional entre as amostras CA e PC analisadas. (Fonte: Autor).

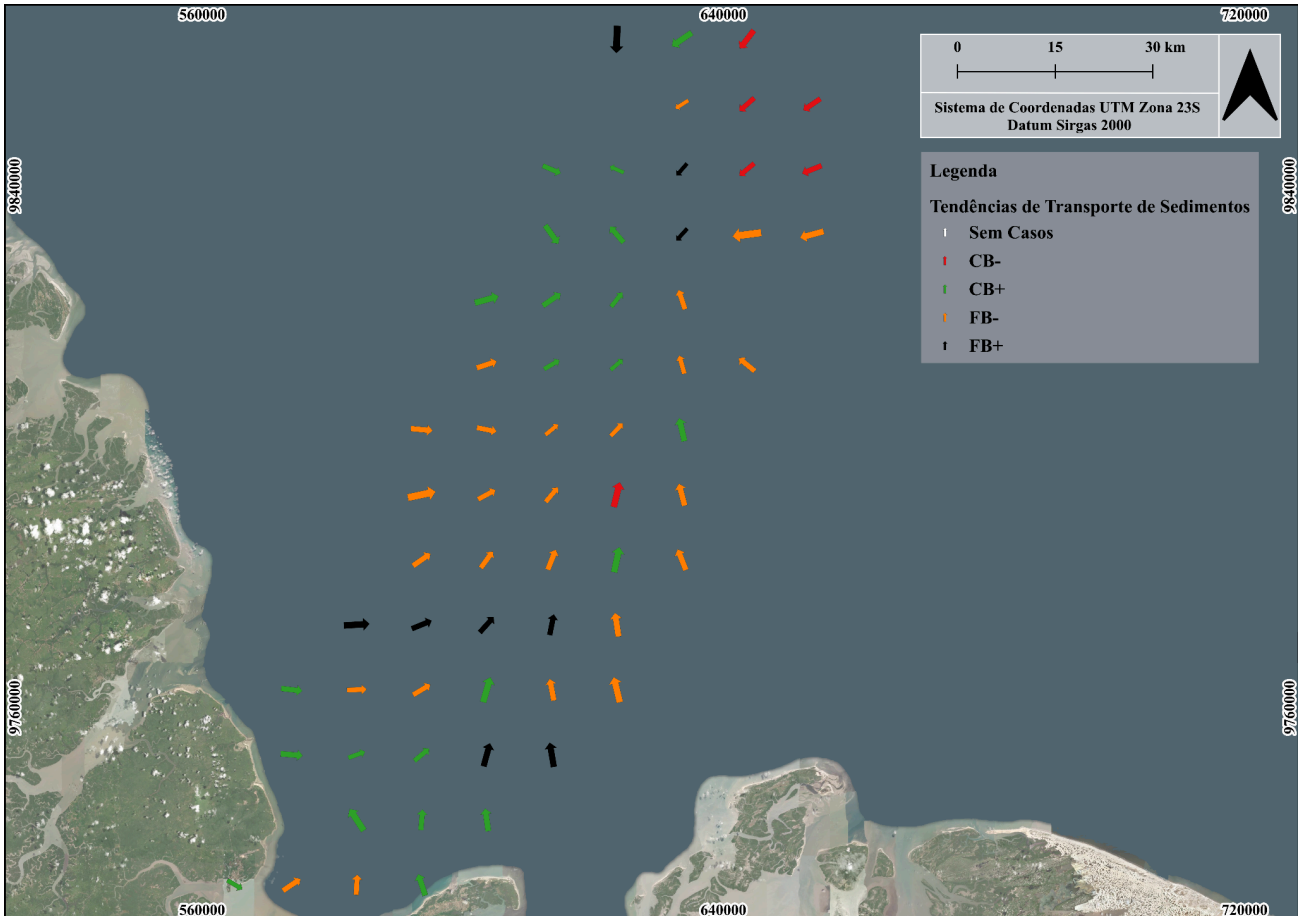


5.8 ANÁLISE DE TENDÊNCIAS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS ATRAVÉS DA VARIAÇÃO DE PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS (MSTA)

A aplicação do MSTA mostra que, na porção interna da Baía de São Marcos, ocorrem predominantemente vetores FB⁻ (*Finer Better*) (laranja), associados às áreas rasas, juntamente com diversos vetores CB⁺ (*Coarser Better*) (verde) e dois vetores FB⁺ (*Finer Better*) (preto) próximos à transição para a plataforma, indicando direcionamentos voltados a setores mais profundos da baía. Na região da baía e da desembocadura, mantém-se a combinação de FB⁻ e CB⁺, definindo um campo de transporte que orienta parte do material para o canal principal e parte para um alinhamento paralelo ao canal.

Na plataforma interna, observa-se um arranjo composto por vetores CB⁺ distribuídos ao longo da borda do canal, vetores FB⁺ alinhados a um aumento na batimetria e segmentos FB⁻ vinculados aos bancos rasos, caracterizando vetores direcionados ao aumento de profundidade. Na plataforma média, há predominância de vetores FB⁻, acompanhados por alguns casos CB⁺ e um vetor isolado CB⁻ (*Coarser Better*) (vermelho), configurando tendências orientadas de forma consistente ao gradiente batimétrico. Na plataforma externa, a ocorrência conjunta de vetores CB⁺, FB⁺ e FB⁻ mantém esse padrão, enquanto o agrupamento final de vetores CB⁻ delimita um setor onde a fração grossa apresenta direcionamento horizontal igualmente orientado ao aumento de profundidade.

Figura 40: Tendências de transporte sedimentar obtidas a partir da aplicação do método MSTA (*Multiple Sediment Trend Analysis*) na Baía de São Marcos e plataforma continental adjacente. As setas indicam a direção preferencial do transporte sedimentar, sendo classificadas conforme a combinação dos parâmetros granulométricos: CB- (vermelho), CB+ (verde), FB- (laranja) e FB+ (preto). Os símbolos em cinza indicam áreas sem casos identificados pelo método. (Fonte: Autor).



6. DISCUSSÃO

A análise integrada dos parâmetros granulométricos ao longo do sistema Baía de São Marcos–plataforma continental externa adjacente revela um padrão sedimentar coerente com a hidrodinâmica típica de ambientes macromarés tropicais (ASP *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2022). Os resultados indicam que a distribuição textural dos sedimentos responde diretamente ao gradiente energético estabelecido desde o interior da Baía de São Marcos, fortemente influenciado por correntes de maré e aporte fluvial (MOCHEL; ARAÚJO; COSTA, 2001), até a plataforma continental externa, onde predominam processos menos energéticos e maior estabilidade sedimentar (KLEIN; MENEZES; DIAS, 2019). Essa variação espacial reflete não uma alternância marcante, mas a atuação contínua de elevados níveis de energia na baía contrastando com condições progressivamente mais estáveis em direção à plataforma, conforme demonstrado por Machado *et al.* (2022).

A Baía de São Marcos apresenta um sistema macromaré com características hidrodinâmicas que dialogam diretamente com o comportamento da costa amazônica do Pará, permitindo uma analogia entre esses ambientes dominados por maré (ASP *et al.*, 2018). Nos estuários paraenses, como os dos rios Caeté e Quatipuru, observa-se alta amplitude de maré, forte assimetria entre enchente e vazante e predominância de correntes residuais que mantêm circulação intensamente energética, favorecendo elevada mistura e ressuspensão de sedimentos (ASP *et al.*, 2012; FRANKLIN *et al.*, 2020). De maneira semelhante, a Baía de São Marcos apresenta amplitude e circulação comparáveis, resultando em padrões de distribuição sedimentar marcados por heterogeneidade granulométrica, coexistência de frações arenosas e lamosas e redistribuição de partículas finas ao longo de seus canais, comportamento típico de estuários macromarés da costa amazônica, conforme descrito por Gomes *et al.* (2020).

A Baía de São Marcos funciona como um sistema de distribuição de material fino para a plataforma continental adjacente, que se comporta, ao longo do sentido baía–plataforma, com energia que se estabiliza progressivamente, assim como a morfodinâmica do transporte sedimentar dominado pela maré em estuários do Pará, onde a exportação de sedimentos suspensos e a formação de zonas de turbidez máxima são controladas pela hidrodinâmica macromareal (GOMES *et al.*, 2021). Dessa forma, a Baía de São Marcos se insere no mesmo contexto de sistemas amazônicos de macromaré, compartilhando mecanismos hidrodinâmicos e sedimentares semelhantes, embora apresente especificidades locais relacionadas à sua

morfologia mais ampla e profunda quando comparada aos estuários do Pará, como discutido por Gomes *et al.* (2020).

A média granulométrica indica que, apesar da predominância de sedimentos arenosos em toda a área, há ocorrência de variação textural conforme se avança da baía para a plataforma externa, esse padrão semelhante ocorre em estuários dominados por maré em diferentes regiões do mundo, onde a variação granulométrica ao longo do gradiente estuário–plataforma reflete diretamente a diminuição progressiva da energia hidrodinâmica e o aumento da estabilidade deposicional (DALRYMPLE; CHOI, 2007).

Valores mais elevados de média ($\Phi > 2$), indicam que sedimentos mais finos, concentram-se no interior da baía e principalmente na amostra CA-30, onde o valor extremo (neste estudo) de 11,71 Φ caracteriza sedimento essencialmente lamoso. Esse resultado evidencia que a lama fluida presente não é permanentemente depositada nessa região, mas indica períodos favoráveis à deposição de sedimentos finos, comportamento típico de estuários macromarés sujeitos a pulsos de energia e remobilização sazonal de lama (GOMES *et al.*, 2021).

Próximo a ilha de São Luís (figura 7), a composição sedimentar é majoritariamente definida por areias finas a médias, padrão compatível com sistemas internos de enseadas macromarés tropicais (NASCIMENTO *et al.*, 2019). Estudos regionais reforçam esse comportamento (NASCIMENTO *et al.*, 2019), mostrando lentes lamosas intercaladas com areias finas ao longo dos canais estuarinos. Esse comportamento é alterado completamente quando se trata da plataforma externa, principalmente nos pontos PC-34 e PC-35 que indicam a forte presença de sedimentos grossos.

O parâmetro média (Φ) indica que valores mais baixos representam sedimentos de granulometria mais grossa, enquanto valores mais altos correspondem a sedimentos mais finos. A partir disso, é possível identificar áreas onde há maior retrabalhamento sedimentar, como nos canais principais da baía, onde a amostra CA-6 (figura 39) pertence a uma área profunda e com elevada energia de correntes de maré. O estudo de Morais (1977) demonstrou que os canais principais da Baía de São Marcos funcionam como zonas de elevada força de cisalhamento residual, o que permite o favorecimento de acúmulo de sedimentos grossos e cascalho, fato que se confirma nas amostras CA-6, CA-8 e CA- 14 (figura 39).

A seleção sedimentar na Baía de São Marcos evidencia o papel dominante da hidrodinâmica na distribuição textural. Na porção interna da baía, os sedimentos variam de bem selecionados a moderadamente selecionados, padrão que pode ser explicado pela elevada energia local, onde correntes de maré intensas promovem retrabalhamento contínuo e remoção preferencial de frações finas, resultando em populações mais homogêneas (FOLK, 1968; DALRYMPLE; CHOI, 2007). A presença do Porto do Itaqui nessa área reforça a intensa atividade hidrodinâmica cujo tráfego constante de navios e manobras de rebocadores gera ondas de proa e perturbações no fundo, intensificando a ressuspensão e a redistribuição dos sedimentos, mecanismo igualmente descrito em estuários macromarés sujeitos a atividades portuárias (ANTHONY *et al.*, 2014; DIAS *et al.*, 2016). Estudos regionais confirmam que a Baía de São Marcos apresenta forte turbulência nos canais centrais, produzindo mistura granulométrica e selecionando grãos mais grossos e uniformes em áreas de maior energia (ROCHA *et al.*, 2016; LIMA *et al.*, 2022).

À medida que se avança para a boca da baía, observa-se um comportamento de seleção mais heterogêneo, com classes variando de muito pobremente a bem selecionado. Esse padrão é particularmente evidente no ponto CA-30, que apresenta seleção muito pobre e caráter textural essencialmente argiloso, que se localiza no canal principal. A presença de argila nesse ponto está associada à dinâmica típica de ambientes macromarés, que apresentam uma combinação entre fortes correntezas e momentos de queda de energia, promovendo a concentração temporária de partículas finas (DYER, 1995; UNCLES; STEPHENS; ELLIOTT, 2006). Logo, estuários de grande amplitude de maré como a Baía de São Marcos, mesmo com forte energia podem acumular sedimentos muito finos quando ocorre a retenção de lama fluida (MORAIS, 1977; MOCHEL; EL-ROBRINI, 1992).

Conforme os resultados indicam, a seleção melhora gradualmente ao avançar para a plataforma interna, que, embora ainda receba influência hidrodinâmica da Baía de São Marcos, apresenta sedimentos variando entre moderadamente e bem selecionados. Essa tendência torna-se ainda mais evidente na plataforma média, onde todos os pontos analisados exibem valores de seleção moderada, indicando maior homogeneidade textural. Freire (2025) descreve que a melhora na seleção granulométrica ao longo da plataforma maranhense indica estabilização hidrodinâmica. Esse comportamento também é observado no presente estudo, especialmente na transição da boca da baía para a plataforma interna e média. À medida que diminui a influência direta das correntes de maré e da descarga fluvial, o regime de energia

tende a estabilizar-se, permitindo melhor uniformização granulométrica (COSTA *et al.*, 2017; ARAÚJO *et al.*, 2016).

Na plataforma externa, observa-se maior variabilidade na seleção, com sedimentos que variam de bem a moderadamente selecionados, mas incluem também áreas pobremente selecionadas, como nos pontos PC-34 e PC-35. Esses depósitos apresentam maior proporção de frações grossas e bioclastos, o que explica a baixa seleção, já que populações dominadas por grãos grossos tendem a ser intrinsecamente mal selecionadas, mesmo em ambientes hidrodinamicamente mais estáveis (CORRÊA, 2003). A presença desses valores extremos gera a cauda do modelo de interpolação e intensifica o gradiente de cores observado. Esse comportamento é coerente com o descrito por Freire (2025) para a plataforma maranhense, onde a variabilidade textural da plataforma externa resulta da interação entre correntes costeiras, depósitos biogênicos e diferenças locais no retrabalhamento sedimentar.

A assimetria mostrou-se um parâmetro sensível para distinguir os contrastes hidrodinâmicos da Baía de São Marcos e da plataforma continental. A variação entre valores positivos, negativos e próximos de zero indica a alternância entre diferentes modos de transporte sedimentar, típica de estuários dominados por maré (DALRYMPLE; CHOI, 2007; MARTINS *et al.*, 2020). Assimetria positiva, como observado em CA-20, indica a incorporação episódica de frações finas sobre uma matriz arenosa mais grossa, fenômeno comum em ambientes com oscilações rápidas de energia (ANTHONY *et al.*, 2014). Em contraste, valores negativos, como o registrado em CA-6, revelam cauda voltada para grãos mais grossos, indicando remoção preferencial de finos e predomínio de tração residual.

Ao longo da plataforma continental, a assimetria reforça as transições hidrodinâmicas do gradiente estuário–oceano. Na plataforma interna, valores levemente negativos ou positivos demonstram influência residual da baía em um regime mais estável. Na plataforma média, o contraste entre PC-39 (muito negativo) e PC-44 (positivo) evidencia microambientes submetidos a energias distintas, coerentes com zonas alternadas de tração e deposição descritas para a margem equatorial brasileira (ARAÚJO *et al.*, 2016). Na plataforma externa, valores negativos e próximos da simetria, como em PC-35 e PC-49, apontam para maior estabilidade de fundo e retrabalhamento contínuo de areias grossas, compatíveis com padrões sedimentares observados em setores distais da margem equatorial (VIANA *et al.*, 2018).

A curtose evidencia a heterogeneidade da baía, sobretudo pelo valor extremo de CA-30 (12,82), que indica uma distribuição fortemente leptocúrtica típica de sedimentos lamosos concentrados em um intervalo granulométrico muito estreito, características de bancos de lamas fluidizadas e semi-consolidadas transportadas junto ao fundo (SUGUIO, 1973; FLETCHER; MCCAVE, 2003). Por isso, sua exclusão da interpolação é adequada, pois valores tão elevados distorcem o restante da superfície modelada.

Na plataforma média e externa, predominam valores platicúrticos (0,6–1,0), indicando populações granulométricas mais uniformes e pouco afiladas, coerentes com setores estáveis e sujeitos ao retrabalhamento persistente das correntes costeiras, conforme observado por Costa *et al.* (2021).

A comparação entre o teor de carbonato e a fração cascalho evidencia como cada componente responde de forma distinta à energia do ambiente e à história sedimentar ao longo do gradiente baía–plataforma. Enquanto o carbonato aumenta progressivamente rumo à plataforma externa devido à maior preservação biogênica devido ao menor retrabalhamento (COSTA *et al.*, 2017; VIANA *et al.*, 2018), o cascalho exibe um padrão mais pontual e associado a eventos hidrodinâmicos intensos ou à herança sedimentar. Na baía, o cascalho aparece apenas em zonas de alta energia, como CA-6, CA-8 e CA-14, refletindo retrabalhamento vigoroso e remoção de finos, comportamento coerente com regimes macromarés turbulentos (SILVA *et al.*, 2012; BESSA *et al.*, 2020). Já o carbonato, mais frágil, tende a ser destruído ou exportado nessas mesmas áreas.

Na plataforma interna e média, o carbonato aumenta gradualmente devido à maior estabilidade, enquanto o cascalho permanece baixo, exceto em PC-39, que sugere um sedimento relíquia ou uma reativação hidrodinâmica localizada (ARAÚJO *et al.*, 2016). Por fim, na plataforma externa, ambos os componentes atingem valores elevados, mas por mecanismos distintos: o carbonato se concentra pela forte produção biogênica e pela preservação em ambiente de baixa variabilidade energética (VIANA *et al.*, 2018), enquanto o cascalho reflete herança de depósitos antigos e condições de aporte reduzido, permitindo sua manutenção (AMARAL, 1998; ARAÚJO *et al.*, 2016).

A aplicação do MSTA indica que a Baía de São Marcos funciona como um sistema altamente dinâmico, marcado por zonas de remoção e de aprisionamento de sedimentos que controlam a direção e a intensidade das tendências texturais. A predominância de vetores FB–

nas áreas de profundidade mais rasas indica regiões de remoção, onde sedimentos sobre bancos são erodidos e deslocados em direção a setores mais profundos, comportamento típico de estuários macromarés descritos por Morais (1977) e Mochel (2004). A presença simultânea de vetores CB+ na porção central da baía evidencia que os sedimentos já posicionados dentro do canal principal tendem a migrar ainda mais para a sua zona de maior profundidade, reforçando o papel do canal como área de aprisionamento sedimentar.

Na desembocadura, o mesmo padrão se repete: sedimentos sobre bancos laterais são direcionados ao centro do canal, enquanto outra parcela é transportada paralelamente ao seu eixo, representando rotas longitudinais coerentes com a hidrodinâmica oscilatória do estuário (POIZOT; MÉAR; SCHMITT, 2008). Assim, o MSTA mostra que a boca da baía concentra tanto processos de remoção quanto de aprisionamento, funcionando como uma área de convergência sedimentar, o que também foi observado por Bessa *et al.* (2020).

Na plataforma continental, observa-se continuidade e reorganização desses padrões. Na plataforma interna, os vetores CB+ ao longo da borda do canal principal indicam que sedimentos grosseiros são removidos de bancos rasos e direcionados ao aprofundamento, enquanto vetores FB+ e FB- revelam a exportação simultânea de frações finas, compondo um campo de transporte misto característico de regiões de transição entre estuário e plataforma (ARAÚJO *et al.*, 2016; COSTA *et al.*, 2021). Na plataforma média, essa tendência torna-se ainda mais evidente: a predominância de vetores orientados ao gradiente batimétrico confirma que os sedimentos evoluem sistematicamente para regiões mais profundas da plataforma, configurando zonas de aprisionamento em níveis inferiores e remoção nos setores mais rasos.

Esse padrão é semelhante ao observado na boca da baía, reforçando o papel do gradiente de profundidade na organização das rotas sedimentares. Já na plataforma externa, a coexistência de vetores CB+, FB+ e FB-, seguida pelo agrupamento de vetores CB-, indica movimentação lateral de sedimentos grossos preservados, típica de áreas de baixa energia com ocorrência de sedimentos relíquia, conforme descrito por Amaral (1998) e Viana *et al.* (2018). Dessa forma, o MSTA demonstra que todo o sistema Baía de São Marcos-plataforma continental do Maranhão opera como um continuum sedimentar, no qual bancos funcionam como zonas de remoção e canais como zonas de aprisionamento, enquanto a plataforma organiza o transporte em direção às suas regiões mais profundas, confirmando a eficácia do método em ambientes hidrodinamicamente complexos (POIZOT; MÉAR, 2010).

Apesar dos avanços alcançados, algumas limitações metodológicas devem ser consideradas. A interpolação utilizada no Surfer 13 pode suavizar transições granulométricas acentuadas, o que é especialmente relevante em ambientes de forte heterogeneidade sedimentar como a Baía de São Marcos. A presença de valores extremos, como a média e a curtose elevadas da amostra CA-30, ou o alto teor de carbonato em PC-34 tende a distorcer a escala cromática dos mapas, exigindo sua exclusão para evitar interpretações equivocadas, comportamento já reconhecido em análises granulométricas clássicas (FOLK & WARD, 1957; SUGUIO, 1973). Somam-se a isso as limitações impostas pela setorização da plataforma continental: a morfologia singular da Baía de São Marcos, marcada por canais profundos, migração de bancos arenosos e intensa ação macromareal, dificulta a aplicação das isóbatas tradicionais utilizadas para delimitar plataformas interna, média e externa (NITTROUER; WRIGHT, 1994; DIAS *et al.*, 2016).

Este trabalho permitiu analisar de forma integrada a dinâmica sedimentar da Baía de São Marcos e da plataforma continental adjacente ao estado do Maranhão, demonstrando que os processos sedimentares desses ambientes estão fortemente inter-relacionados. Essa relação é condicionada pela hidrodinâmica macromareal e pela configuração morfológica da região, que atuam conjuntamente na organização espacial dos sedimentos.

Os resultados granulométricos indicaram a predominância de sedimentos arenosos em toda a área de estudo, com variações texturais bem definidas entre a baía e os diferentes setores da plataforma continental. Na Baía de São Marcos, a elevada heterogeneidade granulométrica reflete a intensa atuação das correntes de maré, responsáveis pelo retrabalhamento contínuo dos sedimentos, pela concentração de frações grossas nos canais principais e pela deposição episódica de sedimentos finos em áreas mais profundas. Em contraste, a plataforma continental apresenta maior homogeneidade textural, especialmente nos setores interno e médio, enquanto a plataforma externa se destaca pelo enriquecimento em carbonato e pela presença de frações grossas, associadas à preservação de depósitos biogênicos.

A aplicação conjunta da análise granulométrica clássica (Folk e Ward, 1957) e da metodologia MSTA permitiu caracterizar a textura superficial e inferir tendências de transporte sedimentar, com resultados espacialmente coerentes ao longo da área de estudo.

A aplicação do MSTA evidenciou padrões consistentes de transporte sedimentar, nos quais os bancos rasos atuam como zonas de remoção, enquanto os canais funcionam como zonas de aprisionamento, direcionando os sedimentos para regiões progressivamente mais profundas, desde a baía até a plataforma continental. Esses resultados confirmam a forte conectividade hidrodinâmica e sedimentar entre os compartimentos analisados.

Apesar das limitações associadas à interpolação dos dados e à presença de valores extremos, os resultados obtidos são coerentes com modelos conceituais de ambientes macromarés tropicais e com estudos regionais prévios. Assim, este trabalho contribui para o avanço do conhecimento sedimentológico da Baía de São Marcos e da plataforma continental do Maranhão, além de demonstrar a aplicabilidade do MSTA como ferramenta robusta para a interpretação de tendências de transporte sedimentar em sistemas costeiros complexos.

Apesar dessas restrições, o estudo apresenta contribuições importantes para a sedimentologia regional. A integração inédita entre baía e plataforma maranhense permite compreender o gradiente sedimentar de forma contínua, abordagem rara nos estudos costeiros da região (COSTA *et al.*, 2017; ARAÚJO *et al.*, 2016; FREIRE, 2025). A análise combinada de parâmetros granulométricos, estatísticos e composicionais possibilitou interpretar de maneira robusta a dinâmica sedimentar, alinhando-se a metodologias sedimentológicas clássicas (FOLK, 1968; NICHOLS; BIGGS, 1985). Os resultados revelam uma forte conectividade hidrodinâmica: a Baía de São Marcos atua como exportadora de sedimentos finos, enquanto a plataforma externa funciona como zona de maior preservação e enriquecimento biogênico, padrão compatível com plataformas tropicais dominadas por maré (ANTHONY *et al.*, 2014). Assim, o estudo avança no entendimento integrado da dinâmica sedimentar da margem maranhense e estabelece fundamentos relevantes para futuras investigações científicas e aplicações ambientais

7. CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu analisar de forma integrada a dinâmica sedimentar da Baía de São Marcos e da plataforma continental adjacente ao estado do Maranhão, demonstrando que os processos sedimentares desses ambientes estão fortemente inter-relacionados. Essa relação é condicionada pela hidrodinâmica macromareal e pela configuração morfológica da região, que atuam conjuntamente na organização espacial dos sedimentos.

Os resultados granulométricos indicaram a predominância de sedimentos arenosos em toda a área de estudo, com variações texturais bem definidas entre a baía e os diferentes setores da plataforma continental. Na Baía de São Marcos, a elevada heterogeneidade granulométrica reflete a intensa atuação das correntes de maré, responsáveis pelo retrabalhamento contínuo dos sedimentos, pela concentração de frações grossas nos canais principais e pela deposição episódica de sedimentos finos em áreas mais profundas. Em contraste, a plataforma continental apresenta maior homogeneidade textural, especialmente nos setores interno e médio, enquanto a plataforma externa se destaca pelo enriquecimento em carbonato e pela presença de frações grossas, associadas à preservação de depósitos biogênicos.

A aplicação conjunta da análise granulométrica clássica (Folk e Ward, 1957) e da metodologia MSTA permitiu caracterizar a textura superficial e inferir tendências de transporte sedimentar, com resultados espacialmente coerentes ao longo da área de estudo.

A aplicação do MSTA evidenciou padrões consistentes de transporte sedimentar, nos quais os bancos rasos atuam como zonas de remoção, enquanto os canais funcionam como zonas de aprisionamento, direcionando os sedimentos para regiões progressivamente mais profundas, desde a baía até a plataforma continental. Esses resultados confirmam a forte conectividade hidrodinâmica e sedimentar entre os compartimentos analisados.

Apesar das limitações associadas à interpolação dos dados e à presença de valores extremos, os resultados obtidos são coerentes com modelos conceituais de ambientes macromarés tropicais e com estudos regionais prévios. Assim, este trabalho contribui para o avanço do conhecimento sedimentológico da Baía de São Marcos e da plataforma continental do Maranhão, além de demonstrar a aplicabilidade do MSTA como ferramenta robusta para a interpretação de tendências de transporte sedimentar em sistemas costeiros complexos.

8. REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Províncias geomorfológicas do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 22, n. 2, p. 47–48, 1960.
- ALMEIDA, Z. S. de. *Erosão e sedimentação costeira no litoral oriental do Maranhão*. Monografia (Especialização em Geografia) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2008.
- AMARAL, C. A. B. *Sedimentação quaternária na plataforma continental do Maranhão*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1998. (Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra, v. 14, p. 55–72).
- AMARAL, G. Características morfológicas e sedimentares da plataforma continental do Maranhão. *Boletim Técnico da CPRM*, v. 27, n. 2, p. 21–40, 1998.
- ANDRADE, C. F. et al. Análise da vulnerabilidade socioambiental da Baía de São Marcos (MA). *Revista Caminhos de Geografia*, v. 10, n. 31, p. 203–218, 2009.
- ANTHONY, E. J. et al. Nearshore megadeltas and sediment dispersal systems in the tropical belt. *Earth-Science Reviews*, v. 137, p. 1–24, 2014.
- ANTHONY, E. J. et al. Sediment dynamics of river-dominated estuaries: implications for the vulnerability of deltaic coasts. *Marine Geology*, v. 354, p. 1–5, 2014.
- ANTHONY, E. J.; GRASSET, M.; PROISY, C. Coastal sediment dynamics in a tropical megatidal estuary: the Amazon-influenced coast of South America. *Marine Geology*, v. 351, p. 1–17, 2014.
- ARAÚJO, C. et al. Morfodinâmica e sedimentologia da plataforma continental externa do Maranhão. *Revista Brasileira de Geologia*, v. 46, n. 3, p. 563–582, 2016.
- ASP, N. E. et al. The dynamics of a frictionally-dominated Amazonian estuary. *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 60, n. 3, p. 391–403, 2012.
- ASP, N. E. et al. Sediment dynamics of a tropical tide-dominated estuary: Turbidity maximum, mangroves and the role of the Amazon River sediment load. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 214, p. 10–24, 2018.

- ASSELMAN, N. E. M. Grain size trends used to assess the transport of suspended sediment through a shallow tidal basin. *Marine Geology*, v. 155, n. 1–2, p. 37–52, 1999.
- BARBOSA, O.; PINTO, I. M. Reconhecimento preliminar das unidades geomorfológicas do litoral oriental do Maranhão. *Boletim de Geografia Teorética*, v. 3, p. 17–24, 1973.
- BESSA, R. D. et al. Sediment dynamics and depositional environments of the São Marcos Bay, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 241, p. 106–107, 2020.
- BRANDÃO, A. M. C.; FEIJÓ, F. J. Bacias Sedimentares Brasileiras: Bacia de Barreirinhas. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 8, p. 7–25, 1994.
- BÜHLER, R. M. M.; SOUZA, M. L. de. Sedimentologia e dinâmica sedimentar em bacias hidrográficas: contribuições à gestão ambiental. *Revista Ambiente & Água*, v. 13, n. 3, p. 1–17, 2018.
- CAMARGO, M. G. *SYSGRAN 3.0 – Sistema de Análise Granulométrica*. Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Rio Claro, 2006.
- CARVALHO, M. S. Geologia da Bacia de São Luís. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30, n. 1, p. 65–78, 2000.
- CHANG, Y. M. et al. GSTAT: A tool for statistical validation in sediment trend analysis. *Computers & Geosciences*, v. 27, n. 1, p. 69–75, 2001.
- Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM). (2019). Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (REMPLAC). Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar;
- CORRÊA, I. C. S. Textura dos sedimentos de fundo da plataforma continental interna do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, v. 30, p. 45–56, 2003.
- COSTA, D. F. et al. Caracterização granulométrica e mineralógica da plataforma continental interna do Maranhão. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 18, n. 3, p. 665–682, 2017.
- COSTA, D. F. et al. Sedimentological dynamics on the Maranhão shelf (NE Brazil). *Continental Shelf Research*, v. 215, p. 104–117, 2021.

DALRYMPLE, R. W.; CHOI, K. Morphologic and facies trends through the fluvial–marine transition in tide-dominated depositional systems: a schematic framework for environmental and sequence-stratigraphic interpretation. *Earth-Science Reviews*, v. 81, n. 3–4, p. 135–174, 2007.

DIAS, J. A. *Sedimentologia: princípios e métodos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

DIAS, J. A. Análise granulométrica dos sedimentos. Apostila Didática do Curso de Geologia Marinha, Universidade de Aveiro, 2005.

DIAS, J. A.; MARTINS, I.; FERREIRA, Ó. Environmental and morphodynamic impacts of port activity on coastal systems. In: FERREIRA, Ó.; COOPER, J. A. G. (Eds.). *Coastal Zones*. Cham: Springer, 2016. p. 133–152.

DYER, K. R. *Coastal and Estuarine Sediment Dynamics*. Chichester: John Wiley & Sons, 1995.

EL-ROBRINI, M. Geomorfologia da plataforma continental brasileira setentrional. *Revista de Geociências*, v. 9, n. 3, p. 21–36, 1990.

EL-ROBRINI, Maamar; SILVA, M. S.; SOUZA FILHO, P. W. M.; COSTA, J. B. S. Geomorfologia e evolução costeira da Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 7, n. 1, p. 19–34, 2006.

ÊNFASE. *Diagnóstico geoambiental da Ilha de São Luís: levantamento preliminar*. São Luís: Ênfase Estudos Ambientais, 2000.

FEITOSA, F. A. N. *Análise da dinâmica costeira do litoral oriental do Maranhão*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

FENG, X. et al. Sediment dynamics in tropical estuarine-shelf systems: new insights from machine learning. *Marine Geology*, v. 457, p. 106911, 2023.

FERREIRA, A. P. et al. Distribuição granulométrica e composição mineralógica da plataforma continental do Maranhão. *Geochimica Brasiliensis*, v. 33, n. 1, p. 71–88, 2019.

FIGUEIREDO JÚNIOR, A. G.; SILVA, C. G.; VITAL, H.; STATTEGGER, K. Sedimentary processes and morphological patterns on the Amazon–Barreirinhas continental shelf, northern Brazil. *Marine Geology*, v. 362, p. 1–16, 2015.

FLETCHER, C. H.; MCCAVE, I. N. Sediment distribution and processes on continental shelves. *Sedimentology*, v. 50, p. 107–131, 2003.

FOLK, R. L. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin: Hemphill's, 1968.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 27, p. 3–26, 1957.

FRANKLIN, J. A. et al. Sediment transport and hydrodynamics in tide-dominated estuaries of the Amazon coast. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 103, p. 102–118, 2020.

FREIRE, G. S. *Dinâmica sedimentar e tendências de transporte na Plataforma Continental de Barreirinhas – Maranhão*. 2025. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025.

GAO, S., 1996. A Fortran program for grain-size trend analysis to define sand sediment transport pathways. *Computers & Geosciences* 22 (4), 449–452.

GAO, S., COLLINS, M., 1992. Sand sediment transport patterns inferred from grain-size trends based upon definition of “transport vectors”. *Sedimentary Geology* 80, 47–60.

GAO, S., COLLINS, M., 1994. Analysis of grain size trends, for defining sediment transport pathways in marine environments. *Journal of Coastal Research* 10 (1), 70–78.

GOMES, V. J. C. et al. Connection between macrotidal estuaries along the southeastern Amazon coast and its role in coastal progradation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 240, p. 106794, 2020.

GOMES, V. J. C. et al. Suspended-sediment distribution patterns in tide-dominated estuaries on the eastern Amazon coast: geomorphic controls of turbidity-maxima formation. *Water*, v. 13, p. 1568, 2021.

GORINI, M. A. The tectonic fabric of the Equatorial Atlantic and adjoining continental margins: Gulf of Guinea to Northeastern Brazil. In: ASMUS, H. E. (Ed.). *Estruturas e tectonismo da margem continental brasileira e suas implicações nos processos sedimentares e*

na avaliação do potencial de recursos minerais. Rio de Janeiro: PETROBRAS/CENPES/DINTEP, 1981. (Série Projeto REMAC, n. 9). p. 11–116

GUALBERTO, C. A. F. *Caracterização morfobatimétrica e sedimentológica da plataforma continental do Maranhão*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002.

HOUBOLT, J. J. H. Recent sedimentation in the southern North Sea. *Geologie en Mijnbouw*, v. 47, p. 245–269, 1968.

INMAN, D. L. Measures for describing the size distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 24, p. 125–145, 1954.

KLEIN, A. H. da F.; MENEZES, J. T.; DIAS, J. A. Sistemas praias e processos costeiros: dinâmicas sedimentares em ambientes tropicais e subtropicais. *Brazilian Journal of Geology*, v. 49, n. 3, p. 1–22, 2019.

KRUMBEIN, W. C. Size frequency distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 4, p. 65–77, 1934.

LE ROUX, J. P. A review of the STA method in sediment transport trend analysis. *Earth-Science Reviews*, v. 36, n. 4, p. 261–281, 1994.

LE ROUX, J. P. et al. Validity of vectorial trend analysis in revealing sediment transport paths. *Sedimentary Geology*, v. 152, n. 1–2, p. 161–174, 2002.

LE ROUX, J., Rojas, E., 2007. Sediment transport patterns determined from grain size parameters: overview and state of the art. *Sedimentary Geology* 202, 473–488.

LIMA, J. S. et al. Sediment dynamics in macrotidal tropical embayments of the Brazilian equatorial margin. *Regional Studies in Marine Science*, v. 54, p. 102595, 2022.

LIMA, L. G. et al. Morfodinâmica da praia da Ponta da Areia: considerações sobre a construção de um espigão costeiro em ambiente de macromaré. *Geociências*, v. 41, n. 2, p. 547–562, 2022. DOI: 10.5016/geociencias.v41i02.16457.

MACHADO, M. R. et al. Hydrodynamic control on sediment distribution in tide-influenced tropical continental shelves. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 117, p. 103–130, 2022.

- MARTINS, C. C. et al. Sediment dynamics in macrotidal estuaries of the Brazilian equatorial margin. *Continental Shelf Research*, v. 209, p. 104268, 2020.
- MARTINS, R. P. et al. Sedimentary processes in estuarine channels: a case study in a macrotidal environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 239, p. 106–113, 2020.
- McLAREN, P.; BOWLES, D. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 55, p. 457–470, 1985.
- McLAREN, P. et al. Sediment trend analysis: a new approach. *Sedimentology Today*, v. 25, n. 3, p. 122–129, 2007.
- MOCHEL, F. R. *Morfologia e sedimentação na Baía de São Marcos (MA)*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.
- MOCHEL, F. R.; ARAÚJO, T. C. M.; COSTA, R. M. Características sedimentológicas e hidrodinâmicas da Baía de São Marcos, Maranhão. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, v. 14, p. 45–58, 2001.
- MOCHEL, F. R.; EL-ROBRINI, M. Distribuição e dinâmica dos sedimentos modernos da Baía de São Marcos, Maranhão. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, Universidade Federal do Maranhão, v. 5, p. 45–62, 1992.
- MORAIS, J. O. Aspectos hidrodinâmicos e sedimentológicos da Baía de São Marcos. *Boletim Técnico do Instituto de Pesquisas Hidrográficas*, v. 4, p. 1–40, 1977.
- MORAIS, J. O. *Sedimentação e dinâmica de fundos na Baía de São Marcos (MA)*. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1977. (Dissertação de Mestrado).
- MORAIS, J. O. Sedimentação e hidrodinâmica da Baía de São Marcos. 1977. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1977.
- NASCIMENTO, A. A. et al. Sedimentologia e dinâmica de fundo em canais estuarinos macromarés na margem equatorial brasileira. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi – Ciências Naturais*, v. 14, n. 3, p. 541–560, 2019.
- NASCIMENTO, L. R. et al. Características texturais dos sedimentos superficiais da Baía de São Marcos (MA). *Geochimica Brasiliensis*, v. 33, n. 1, p. 55–70, 2019.

- NICHOLS, M. M.; BIGGS, R. B. Estuaries. In: DAVIS, R. A. (Ed.). *Coastal Sedimentary Environments*. New York: Springer-Verlag, 1985. p. 77–186.
- NITTROUER, C. A.; WRIGHT, L. D. Transport and deposition of sediment on continental shelves. *Reviews of Geophysics*, v. 32, n. 1, p. 85–113, 1994.
- PALMA, M. R. Reconhecimento geoquímico preliminar da plataforma continental do Maranhão. *Boletim Técnico da CPRM*, v. 21, p. 23–39, 1979.
- POIZOT, E.; MÉAR, Y.; SCHMITT, A. A new method for sediment trend analysis based on a multi-vectorial approach. *Computers & Geosciences*, v. 34, n. 3, p. 239–250, 2008.
- POIZOT, Emmanuel; MÉAR, Yann. Using a GIS to enhance grain size trend analysis. *Environmental Modelling & Software*, v. 25, n. 4, p. 513–525, 2010.
- PONTES, Paulo Henrique Parente. *Identificação e caracterização das massas d'água da Plataforma Continental do Maranhão, durante os períodos seco (novembro, 1997) e chuvoso (junho, 1999)*. 2007. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.
- PORTOBRAS. *Relatório Técnico Hidrográfico da Baía de São Marcos*. Rio de Janeiro, 1988.
- ROCHA, A. D. C.; MOURA, D. G.; ALMEIDA, D. O. Influência das marés na sedimentação da Baía de São Marcos. *Revista Geonorte*, v. 7, n. 2, p. 92–110, 2016.
- ROCHA, F. A.; MARTINS, I. R.; LIMA, G. G. S. Caracterização sedimentológica da Baía de São Marcos – Maranhão. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, v. 11, n. 2, p. 357–374, 2016.
- RZĄSA, P.; OWCZARZAK, R. Sediment grain size characteristics and sediment transport on sandy coast. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 65, p. 712–717, 2013.
- SANTOS, A. A. de. *Dinâmica sedimentar da Plataforma Continental Norte Brasileira*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.
- SANTOS, L. et al. Transporte e distribuição de sedimentos em estuários amazônicos. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 28, n. 2, p. 31–49, 2020.
- SHEPARD, Francis P. *Submarine geology*. 2. ed. New York: Harper & Row, 1963.

SILVA, C. G.; FONSECA, V. P.; COUTINHO, P. N. Morphological and sedimentary characterization of the Barreirinhas continental shelf, Equatorial Brazilian Margin. *Brazilian Journal of Geology*, v. 50, n. 2, e20190067, 2020.

SILVA, M. et al. Processos sedimentares na Baía de São Marcos. *Revista Geonorte*, v. 13, n. 1, p. 34–51, 2012.

SUGUIO, K. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

SUGUIO, K. *Geologia sedimentar*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

SUMMERHAYES, Colin P.; THORPE, Stuart A. *Oceanography: an illustrated guide*. London: Manson Publishing, 1996.

SUMMERHAYES, C. P.; EMEIS, K. C.; ANGELOPOULOS, J. Shelf sedimentation. *Marine Geology*, Amsterdam, v. 22, n. 3–4, p. 201–214, 1976.

SWIFT, D. J. P. Dynamic stratigraphy of modern continental shelves. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 45, p. 3–30, 1975.

SWIFT, D. J. P.; LUDWICK, J. C. Shelf sediment transport processes and shelf depositional sequences. In: STANLEY, D. J.; SWIFT, D. J. P. (Eds.). *Marine sediment transport and environmental management*. New York: Wiley, 1976. p. 529–559.

TRASK, P. D. *Origin and environment of source sediments of petroleum*. Houston: Gulf Publishing, 1930.

UNCLES, R. J.; STEPHENS, J. A.; ELLIOTT, R. The estuarine turbidity maximum: fine-sediment dynamics in a macrotidal estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 67, p. 3–12, 2006.

VIANA, A. R. et al. Reworking and preservation of sediment deposits on the shelf. *Continental Shelf Research*, v. 161, p. 42–53, 2018.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, v. 30, p. 377–392, 1922.