

---

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS TÉCNICAS *DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM (DSAS)* E POLÍGONO DE MUDANÇA PARA CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA LINHA DE COSTA NA PRAIA DA CAL, LITORAL SUL DO BRASIL**

COMPARATIVE STUDY BETWEEN DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM (DSAS) AND CHANGE POLYGON TECHNIQUES FOR CHARACTERIZATION OF SHORELINE VARIATION AT CAL BEACH, SOUTHERN BRAZIL

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LAS TÉCNICAS DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM (DSAS) Y POLÍGONO DE CAMBIO PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA LÍNEA COSTERA EN LA PLAYA DA CAL, LITORAL SUR DE BRASIL

**Vitória Gonçalves Souza**

Universidade Federal do Rio Grande, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio Grande, Brasil. [vitoriagoncalvessouza@gmail.com](mailto:vitoriagoncalvessouza@gmail.com).  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6462-6350>.

**Miguel da Guia Albuquerque**

Instituto Federal do Rio Grande do Sul - Campus Rio Grande, Departamento de Geoprocessamento, Rio Grande - RS, Brasil. E-mail: [migueldaguia@gmail.com](mailto:migueldaguia@gmail.com).  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2063-492X>.

**Jean Marcel de Almeida Espinoza**

Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Garopaba, Garopaba, Brasil. [espinoza.almeida@gmail.com](mailto:espinoza.almeida@gmail.com).  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7933-2897>.

**Matheus Cordeiro Façanha**

Universidade Estadual do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, Brasil. [matheus.facanha@aluno.UECE.br](mailto:matheus.facanha@aluno.UECE.br).  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3161-0325>.

**RESUMO**

As flutuações na posição da linha de costa refletem a interação de fatores meteo-oceanográficos, continentais e antrópicos. Compreender seu comportamento é importante para a gestão e o planejamento dos municípios costeiros. Este estudo quantificou as taxas de variação sazonal da linha de costa da Praia da Cal em Torres, Rio Grande do Sul, entre setembro de 2023 e setembro de 2024 através das abordagens: Polígono de Mudança e *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*. Os resultados

indicaram tendências de recuo de 0,92 m (DSAS) e 1,85 m (Polígono de Mudança) para o período estudado. Sazonalmente, ambos os métodos apontaram tendências similares do deslocamento da linha de costa: avanço significativo na primavera e recuo acentuado no inverno. A presença de reentrâncias na linha de costa contribuiu para a superestimação de valores obtidos pelo DSAS, que calcula alterações lineares e pontuais em transectos pré-estabelecidos. O Polígono de Mudança, ao considerar todo o segmento costeiro, apresentou maior confiabilidade para áreas com características geomorfológicas heterogêneas, como a Praia da Cal. Por fim, esse estudo reforça a relevância do uso integrado de tecnologias de alta resolução e de diferentes métodos para a caracterização sazonal do comportamento da linha de costa.

**Palavras-chave:** Gestão costeira; Geotecnologias; Variação do segmento costeiro; Aeronave remotamente pilotada.

## ABSTRACT

Shoreline position fluctuations reflect the interaction of meteo-oceanographic, continental, and anthropogenic factors. Understanding this behavior is crucial for the management and planning of coastal municipalities. This study quantified the seasonal shoreline variation rates at Praia da Cal, in Torres, Rio Grande do Sul, from September 2023 to September 2024 using two approaches: the Change Polygon method and the Digital Shoreline Analysis System (DSAS). The results indicated retreat trends of 0.92 m (DSAS) and 1.85 m (Change Polygon) for the period studied. Seasonally, both methods revealed similar shoreline displacement trends: significant advance during spring and pronounced retreat in winter. The presence of shoreline embayments contributed to the overestimation of values obtained through DSAS, which calculates linear and point-based changes along pre-established transects. The Change Polygon method, by considering the entire coastal segment, proved to be more reliable for areas with heterogeneous geomorphological characteristics, such as Praia da Cal. Ultimately, this study underscores the importance of integrating high-resolution technologies and different methods to characterize the seasonal behavior of the shoreline.

**Keywords:** Coastal management; Geotechnologies; Coastal segment variations; Unmanned aerial vehicle.

## RESUMEN

Las fluctuaciones en la posición de la línea de costa reflejan la interacción de factores meteo-oceanográficos, continentales y antropogénicos. Comprender su comportamiento es fundamental para la gestión y planificación de los municipios costeros. Este estudio cuantificó las tasas de variación estacional de la línea de costa de la Praia da Cal, en Torres, Rio Grande do Sul, entre septiembre de 2023 y septiembre de 2024, utilizando dos enfoques: el método del Polígono de Cambio y el Digital Shoreline Analysis System (DSAS). Los resultados indicaron tendencias de retroceso de 0,92 m (DSAS) y 1,85 m (Polígono de Cambio) durante el período estudiado. Estacionalmente, ambos métodos señalaron las mismas tendencias de desplazamiento de la línea de costa: un avance significativo en primavera seguido de un retroceso pronunciado en invierno. La presencia de entrantes en la línea de costa contribuyó a la sobreestimación de los valores obtenidos por el DSAS, que calcula cambios lineales y puntuales en transectos preestablecidos. El método del Polígono de Cambio, al considerar todo el segmento costero, demostró mayor fiabilidad en áreas con características geomorfológicas heterogéneas, como la Praia da Cal. Finalmente, este estudio refuerza la relevancia del uso integrado de tecnologías de alta resolución y de diferentes métodos para caracterizar el comportamiento estacional de la línea de costa.

**Palabras clave:** Gestión costera; Geotecnologías, Variaciones del segmento costero; Vehículo aéreo no tripulado.

## 1 - Introdução

As zonas costeiras são espaços de elevado valor social e ambiental, caracterizadas por uma diversidade de usos e interesses que frequentemente geram conflitos entre a conservação dos ecossistemas naturais e as demandas associadas ao desenvolvimento das atividades humanas. Os ambientes que compõem essas áreas são sensíveis e dinâmicos, onde as praias arenosas se destacam por ocuparem mais de um terço das costas de todo o mundo, fornecendo diversos serviços ecossistêmicos à sociedade (Luijendijk *et al.*, 2018).

Considerando a elevação do nível do mar e as mudanças na intensidade e frequência das tempestades associadas aos cenários de alterações climáticas, a compreensão da evolução dos sistemas costeiros deve ser considerado prioridade. As transformações que ocorrem nesses sistemas agravam os riscos em áreas densamente povoadas, tornando-as ainda mais suscetíveis a impactos (Oppenheimer *et al.*, 2019) que incluem redução de terrenos, inundações mais frequentes, salinização de aquíferos, destruição de infraestruturas urbanas e portuárias. Com isso torna-se fundamental compreender as mudanças na posição da linha de costa ao longo do tempo, bem como fazer projeções para o futuro, tendo em vista que, através da análise da evolução dessa feição geomorfológica é possível reconhecer padrões do balanço sedimentar local, como a progradação (avanço/ganho) e a retrogradação (reco/perda).

O desconhecimento das flutuações da linha de costa em diferentes escalas temporais e/ou espaciais, ou a interpretação falha desses dados conduz os gestores municipais a tomar decisões equivocadas (Stive *et al.*, 2002). A retração da linha de costa pode causar prejuízos socioeconômicos significativos aos municípios costeiros, interferindo no desenvolvimento de atividades econômicas essenciais para a subsistência, além de contribuir para o desgaste ou destruição de infraestruturas e para a perda de territórios.

O mapeamento sistemático e o acompanhamento das mudanças ocorridas no litoral representam informações importantes para o planejamento das ações de gestão da linha de costa, especialmente em litorais suscetíveis à ação de eventos de tempestades. Esse monitoramento fornece subsídios para o estabelecimento de faixas de recuos (*setback*), além de contribuir para a determinação de áreas de risco de erosão costeira e também com informações para a

implantação de obras de intervenção direta na linha de costa (guias correntes, molhes, engordamento de praia etc.) (Crowell *et al.*, 1991).

Na literatura costeira existem diversas metodologias que podem ser utilizadas para quantificar de forma métrica, as variações ocorridas em um segmento costeiro. Para dar suporte a esses métodos, informações obtidas por coletas de campo (i.e. RTK-GPS ou perfis topográficos), imagens de satélites e/ou sobrevoos com aeronave remotamente pilotada (ARP) são também incorporadas. Independentemente do método ou da fonte de dados é importante que os levantamentos estejam relacionados a um geoindicador costeiro (i.e. linha de costa, escarpa das dunas, entre outros).

De acordo com Boak e Turner (2005), devido à grande dinâmica da linha de costa e da presença de morfologia complexa, torna-se necessário classificar indicadores que determinam as linhas perceptíveis na costa, ou seja, as que podem ser vistas fisicamente. Logo, é evidente que o conhecimento acerca da dinâmica da linha de costa de uma região é de grande relevância para gestores de municípios costeiros, especialmente quando se trata de orlas altamente urbanizadas, onde as populações estão mais expostas aos riscos das oscilações do nível do mar e de eventos climáticos.

No contexto do litoral do Rio Grande do Sul (RS), o setor norte se destaca por apresentar as maiores taxas de crescimento demográfico, em termos relativos, dentre todas as regiões do estado conforme revelaram os Censos Demográficos de 1991, 2000 e 2010 (Cabette e Strohaecker, 2019) e 2022 (IBGE, 2023). Apesar de ser uma das maiores cidades litorâneas do RS, com população permanente e metade da sua costa urbanizada (8,4 km de extensão), o estudo realizado por Esteves *et al.* (2003) foi o último realizado com enfoque na dinâmica da linha de costa.

Diante das lacunas existentes sobre a dinâmica costeira atual das praias de Torres, o presente estudo buscou aplicar e comparar duas técnicas para quantificação da variação da linha de costa da Praia da Cal, através de imagens de alta resolução obtidas por aerolevantamentos com uso de aeronave remotamente pilotada (ARP) para o período de setembro de 2023 a setembro de 2024, com intervalos amostrais a cada dois meses.

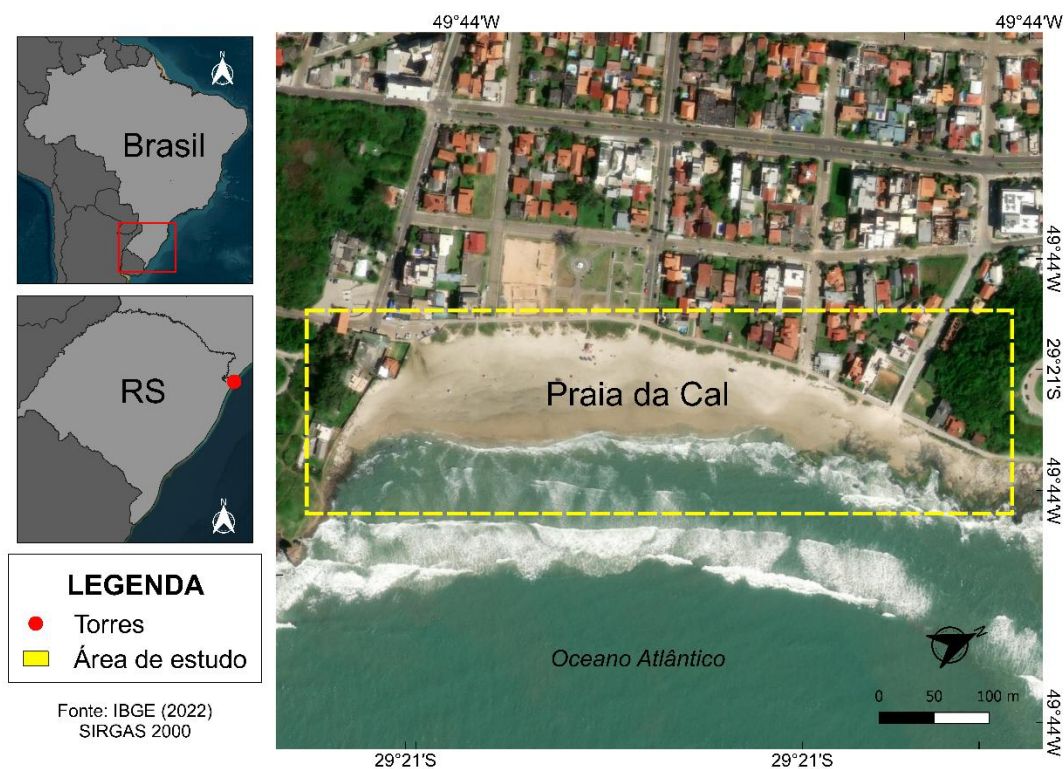
### **Caracterização da Área de Estudo**

O litoral gaúcho é composto por uma extensa planície predominantemente arenosa e com orientação quase uniforme NE-SW ao longo dos seus 615 km (Muehe, 2018). À medida que a

linha de costa do RS ondula suavemente, os diferenciais de transporte litorâneo oscilam de acordo, resultando em áreas com balanço sedimentar negativo e altas taxas de erosão, alternando com áreas caracterizadas por progradação de longo prazo (Dillenburg *et al.*, 2000; Martinho *et al.*, 2009).

A Praia da Cal, foco desse estudo, está situada no município de Torres, Rio Grande do Sul (RS) (Figura 1). Essa localidade, segundo Villwock e Tomazelli (1995), apresenta uma planície costeira mais estreita, e tem seu limite interno marcado pelas escarpas da Serra Geral, borda leste da Bacia do Paraná, que chegam até a linha de costa atual, formando ali o único promontório rochoso com formações rochosas constituídas de arenitos, basaltos e sequencias vulcano-clásticas.

**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo.



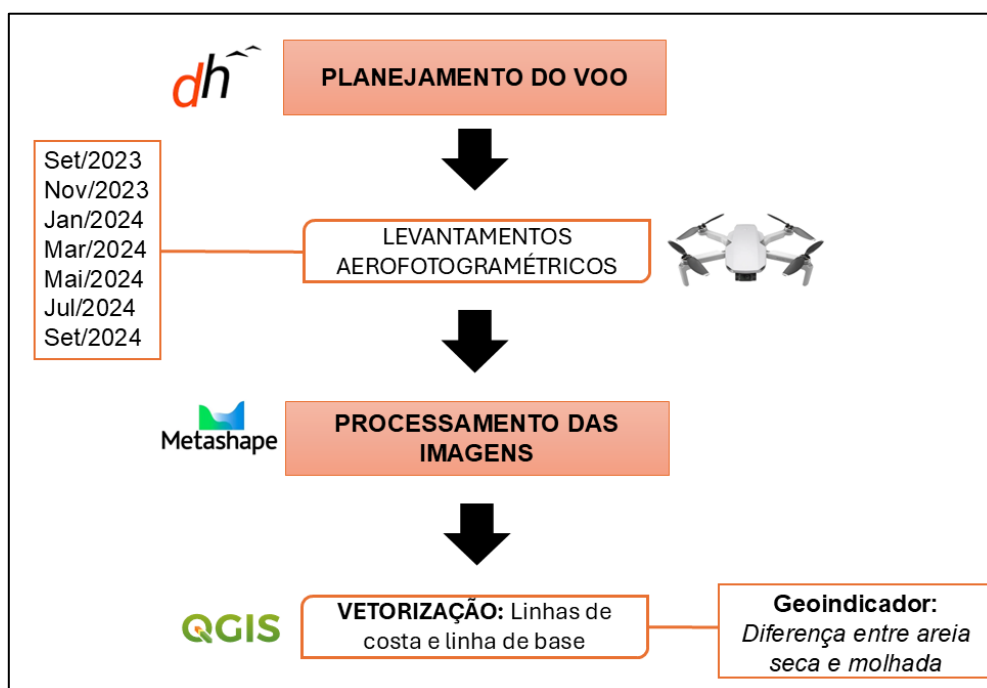
Fonte: IBGE, 2022. Elaboração: os autores, 2024.

Em termos morfodinâmicos, a Praia da Cal é caracterizada como sendo uma praia intermediária, segundo a classificação de Wright e Short (1984). O regime de maré é do tipo semidiurna, com altura média de 0,30 m, enquanto a maré meteorológica ou ressaca pode alcançar 1,20 m (Calliari *et al.*, 1996). Os ventos predominantes dos quadrantes nordeste (NE) e sul (S) (Tomazelli, 1993). No litoral norte, a Praia da Cal é um dos principais destinos turísticos procurados pelos banhistas na temporada de veraneio.

## 2 – Metodologia

A Figura 2 apresenta um resumo das etapas iniciais que consistem na coleta, pré-processamento dos dados e vetorização das linhas de costa. A etapa inicial consistiu na elaboração do plano de voo em laboratório, de forma a constituir o banco de dados de imagens sazonais da Praia da Cal.

**Figura 2.** Fluxograma metodológico das etapas de pré-processamento dos dados.



Fonte: Os autores, 2024.

No total foram realizados sete (07) aerolevantamentos com uso de uma aeronave remotamente pilotada (ARP) modelo DJI Mavic Mini, entre o período de setembro de 2023 e setembro de 2024 e amostragens a cada dois meses. O planejamento do voo foi construído no *software Drone Harmony*, com base nos parâmetros apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1**– Parâmetros definidos para o voo de ARP.

<b>Parâmetros do Voo de ARP</b>	
Distância	3535 metros
Velocidade do voo	8 m/s
Altura máxima de voo	80 metros
Pontos de passagem	112
Tempo estimado	7 minutos e 21 segundos
Gimbal	a nadir (90°)
Sobreposição lateral e frontal	70%

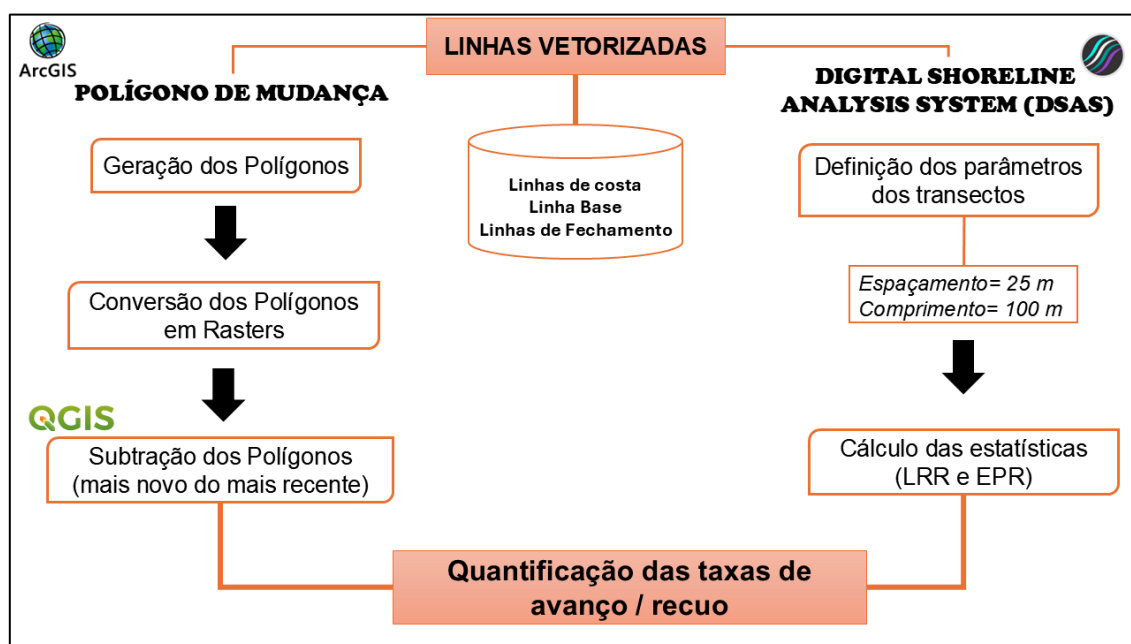
Fonte: Os autores, 2024.

Ao total foram geradas 6 linhas de voo ao longo do litoral, coletando um total de 112 fotos em levantamento realizado. Para apoiar o georreferenciamento dessas imagens, pontos de controle (GCPs) foram distribuídos uniformemente no trecho estudado na forma de alvos visíveis cujas coordenadas foram obtidas com uso com um receptor GNSS Geodésico (L1, L2 e L2C) Leica GS15, operando no modo *stop and go* (PDOP<4).

As imagens coletadas foram processadas no *software Agisoft Metashape* permitindo a geração da nuvem de pontos e do ortomosaico. Na etapa seguinte, o ortomosaico foi trabalhado no *software QGis 3.28* onde foi realizado o processo de vetorização das linhas de costa de cada mês, na escala fixa de 1:400. O geoindicador utilizado foi o limite entre a areia seca e molhada, seguindo a proposição de Boack e Turner (2005). A escolha desse indicador se deu no fato do mesmo ser identificável visualmente em todas as imagens.

Para quantificar as variações métricas da linha de costa, o presente estudo utilizou duas abordagens consolidadas na literatura costeira: o DSAS e o Polígono de Mudança. A Figura 3 apresenta um fluxograma metodológico contendo as etapas aplicadas para o cálculo de movimentação da linha de costa.

**Figura 3.** Fluxograma metodológico das etapas para quantificação da variação da linha de costa através do Método do Polígono de Mudanças e DSAS.



Fonte: Os autores, 2024.

O método do Polígono de mudança (Smith e Cromley, 2012; Albuquerque *et al.*, 2013; Anfuso *et al.*, 2016; Leal *et al.*, 2018; Moreira *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2023) baseia-se na álgebra de polígonos para quantificar mudanças na posição da linha de costa. A partir da vetorização das linhas de costa de toda série temporal, uma linha base continental paralela a costa comum para todos os dados, e duas linhas de fechamento perpendiculares que delimitam a área de interesse e interceptam todas as linhas de costa vetorizadas, são construídos uma série de polígonos correspondentes a cada data.

No *software* ArcGis 10.8, o conjunto de linhas foram transformadas para polígonos e em seguida para o formato *raster*. Com a subtração do polígono de data mais recente pelo de data mais antiga foi possível identificar, em metros quadrados ( $m^2$ ), áreas em recuo e/ou progradação. Para a obtenção do deslocamento da linha de costa em metros foi feita a divisão da área do polígono diferença, pela média aritmética do comprimento das duas linhas de costa que compõem o período analisado.

A ferramenta *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*, desenvolvida pelo Centro de Pesquisa em Geologia dos Estados Unidos (USGS), consiste em uma análise baseada em transectos distribuídos ao longo do segmento costeiro de forma equidistante. O DSAS possibilita estimar



as taxas de deslocamento da linha de costa de uma série temporal a partir de vetores. Para o presente estudo foi utilizado a versão 6.0 do DSAS, que diferentemente das versões anteriores apresenta sua interface independente do ArcGis.

Primeiramente foram adicionadas as linhas de costa vetorizadas para cada data e a linha base paralela a costa, e em seguida foi estabelecido um espaçamento de 20 metros e 130 metros de comprimento para os transectos. A partir desses dados, o DSAS traçou automaticamente os demais transectos, de modo que estes interceptam as linhas de costa em pontos distintos ao longo das mesmas. Dessa forma, os cálculos de deslocamento são realizados pontualmente em cada transecto, com possibilidade de geração de dados estatísticos pelos métodos *End Point Rate* (EPR), *Linear Regression Rate* (LRR) e *Weighted Linear Regression Rate* (WLR), além dos métodos *Shoreline Change Envelope* (SCE) e *Net Shoreline Movement* (NSM), que estimam a distância entre a linha mais antiga e mais recente.

Dentre as estatísticas fornecidas pelo DSAS, foram escolhidas para avaliar o comportamento da linha de costa deste trabalho o método LRR, que utiliza todas as datas da série temporal na realização dos cálculos através de uma regressão linear e o método EPR, que fornece a taxa de variação com base na distância entre a posição da linha de costa da data mais recente e da mais antiga, dividido pelo tempo total analisado. Para auxiliar na interpretação e caracterização dos resultados foi adotada a escala de erosão proposta por Esteves e Finkl (1998) e Luijendijk *et al.* (2018) (Tabela 2), que utiliza intervalos de deslocamento para classificar o estado da linha de costa.

**Tabela 2**– Escala de classificação do segmento costeiro.

<b>Caracterização da linha de costa</b>	<b>Escala de variação</b>
Progradação	> 0,5 m/ano
Estável	-0,5 m/ano a 0,5 m/ano
Recuo	-1,0 m/ano a -0,5 m/ano
Recuo intenso	-3,0 m/ano a -1,0 m/ano
Recuo Severo	-5,0 m/ano a -3,0 m/ano
Recuo extremo	<-5,0 m/ano

Fonte: Adaptado de Esteves e Finkl (1998) e Luijendijk *et al.* (2018).

### 3 – Resultados e Discussões

Em termos de quantificação da movimentação da linha de costa (Tabela 3), as variações mais significativas foram observadas nos meses de setembro de 2023 a novembro de 2023, com um avanço da linha de costa de 21,41 m, e de maio a julho de 2024 uma retrogradação de 20,14 m.

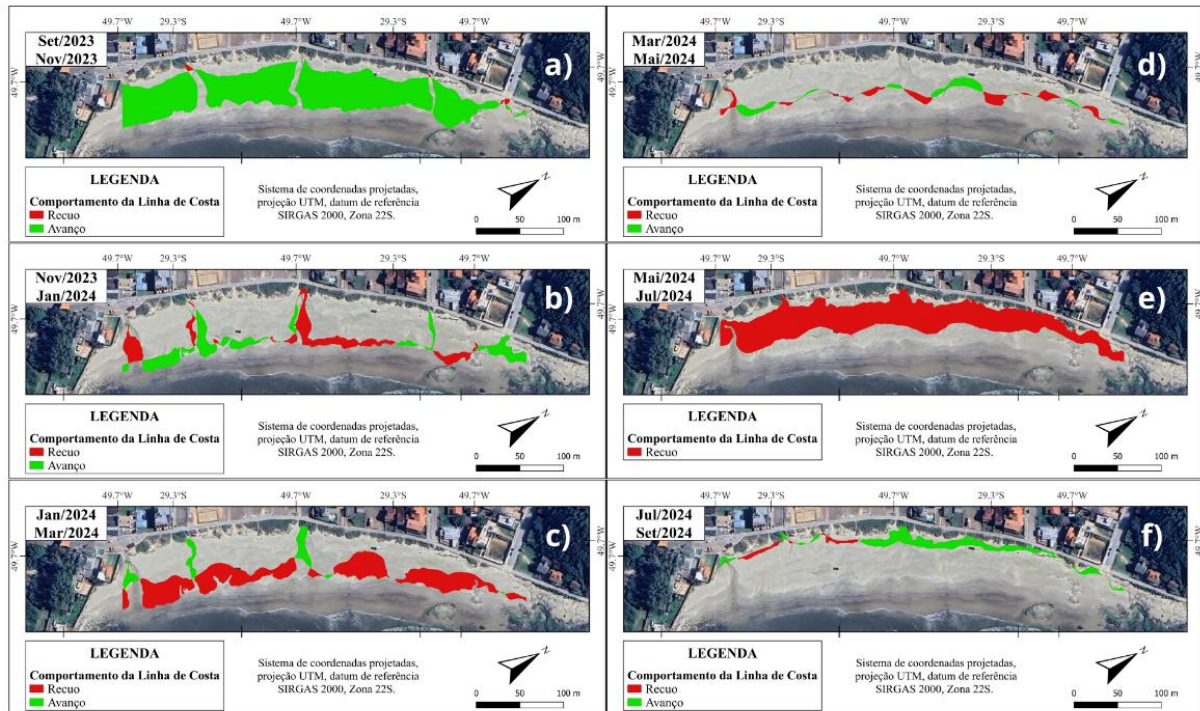
**Tabela 3**– Valores de deslocamento da linha de costa da Praia da Cal através do Método do Polígono de Mudança.

<b>Período</b>	<b>Recuo (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Avanço (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Variação Total (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Deslocamento (m)</b>	<b>Situação da Linha de Costa</b>
Set/2023 a Nov/2023	-92,93	15481,38	15388,44	21,42	Progradação
Nov/2023 a Jan/2024	-2551,12	2894,37	343,25	0,35	Progradação
Jan/2024 a Mar/2024	-5102,51	973,36	-4129,15	-4,93	Retrogradação
Mar/2024 a Mai//2024	-1178,205	1017,078	-161,127	-0,26	Retrogradação
Mai/2024 a Jul/2024	-12560,96	0	-12560,96	-20,14	Retrogradação
Jul/2024 a Set/2024	-342,67	2152,20	1809,53	2,84	Progradação
<b>Set/2023 a Set/2024</b>	<b>-1863,93</b>	<b>789,54</b>	<b>-1074,39</b>	<b>-1,85</b>	Retrogradação

Fonte: Os autores, 2024.

De setembro a novembro de 2023 (Figura 4a) houve o maior período de ganho de faixa praial, com predomínio das áreas de progradação (15481,38 m<sup>2</sup>) ao longo de quase todo segmento costeiro, com pequenas áreas com recuo na ordem de 92,93 m<sup>2</sup>, e avanço de 21,42 m da linha de costa. Nos meses seguintes, de novembro de 2023 a janeiro de 2024 (Figura 4b), a linha de costa da Praia da Cal se mostrou estável, mas com uma leve tendência progradacional de 0,35 m.

**Figura 4**– Representação da variação da linha de costa para a Praia da Cal, através do Método do Polígono de Mudança, para os intervalos amostrais: a) Setembro de 2023 a novembro de 2023; b) Novembro de 2023 a janeiro de 2024; c) Janeiro de 2024 a março de 2024; d) Março de 2024 a maio de 2024; e) Maio de 2024 a julho de 2024; e f) Julho de 2024 a setembro de 2024.



Fonte: Os autores, 2024.

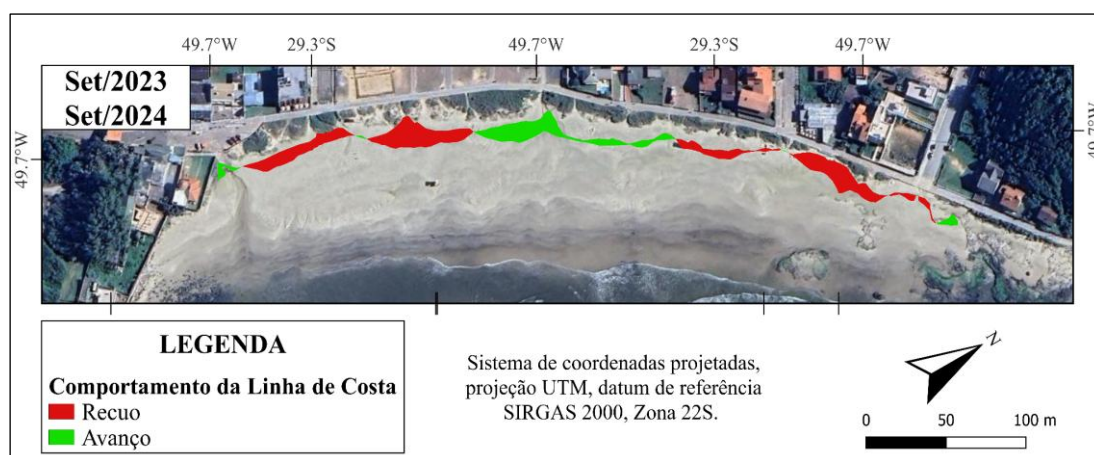
Entre janeiro e março de 2024 (Figura 4c), a Praia da Cal apresentou um recuo da linha de costa de 4,93 m. Nesse intervalo amostral, as perdas em área de praia foram de 5.102,51 m<sup>2</sup>. As localidades que apresentaram um ganho de área (973,36 m<sup>2</sup>) foram aquelas próximas aos sangradouros. De março a maio de 2024 (Figura 4d), a linha de costa voltou a apresentar uma estabilidade, e leve recuo da linha de costa de 0,26 m.

Entre maio e julho de 2024, a localidade apresentou a maior taxa de recuo da linha de costa (20,14 m) para a série estudada. Este período representou o cenário de maior perda de área de praia (12.560,96 m<sup>2</sup>) da série temporal analisada, e está associado ao período em que o estado do Rio Grande do Sul enfrentou diversos eventos climáticos extremos, incluindo ciclones e chuvas intensas que provocaram enchentes em várias regiões, além de fortes marés meteorológicas nas regiões litorâneas do estado.

Para o período de julho a setembro de 2024, foi verificado o processo de recuperação dos estoques sedimentares da Praia da Cal, principalmente no setor central e norte da Praia da Cal

(Figura 4f). A linha de costa apresentou um avanço de 2,84 m, e ganhos na área de praia que totalizaram 2152,20 m<sup>2</sup>. Tendo em vista a magnitude dos eventos meteo-oceanográficos ocorridos no período entre maio e julho de 2024, o saldo total para série temporal (setembro de 2023 a setembro de 2024) indicou uma tendência de retrogradação de 1,85 m da linha de costa da Praia da Cal, e perda de 1.863,93 m<sup>2</sup> de área de praia. A Figura 5 mostra que as áreas de recuo situam-se nas extremidades norte e sul do segmento, enquanto na porção central observa-se um avanço da linha de costa.

**Figura 5**– Representação da variação da linha de costa para a Praia da Cal através do Método do Polígono de Mudança para o período de setembro de 2023 a setembro de 2024.



Fonte: Os autores, 2024.

Em relação aos resultados obtidos pelo DSAS para quantificação da linha de costa (Tabela 4) foi observado que, de maio a julho de 2024 houve o maior recuo registrado nas análises de dados (28,36 m), enquanto que de setembro a novembro de 2023 foi observada a maior taxa de progradação da linha de costa (37,57 m). Para o período total (setembro de 2023 a setembro de 2024), da mesma forma que para o Polígono de Mudança, verificou-se que a Praia da Cal apresentou uma tendência de retrogradação de sua linha de costa, com deslocamento negativo de 0,92 m.

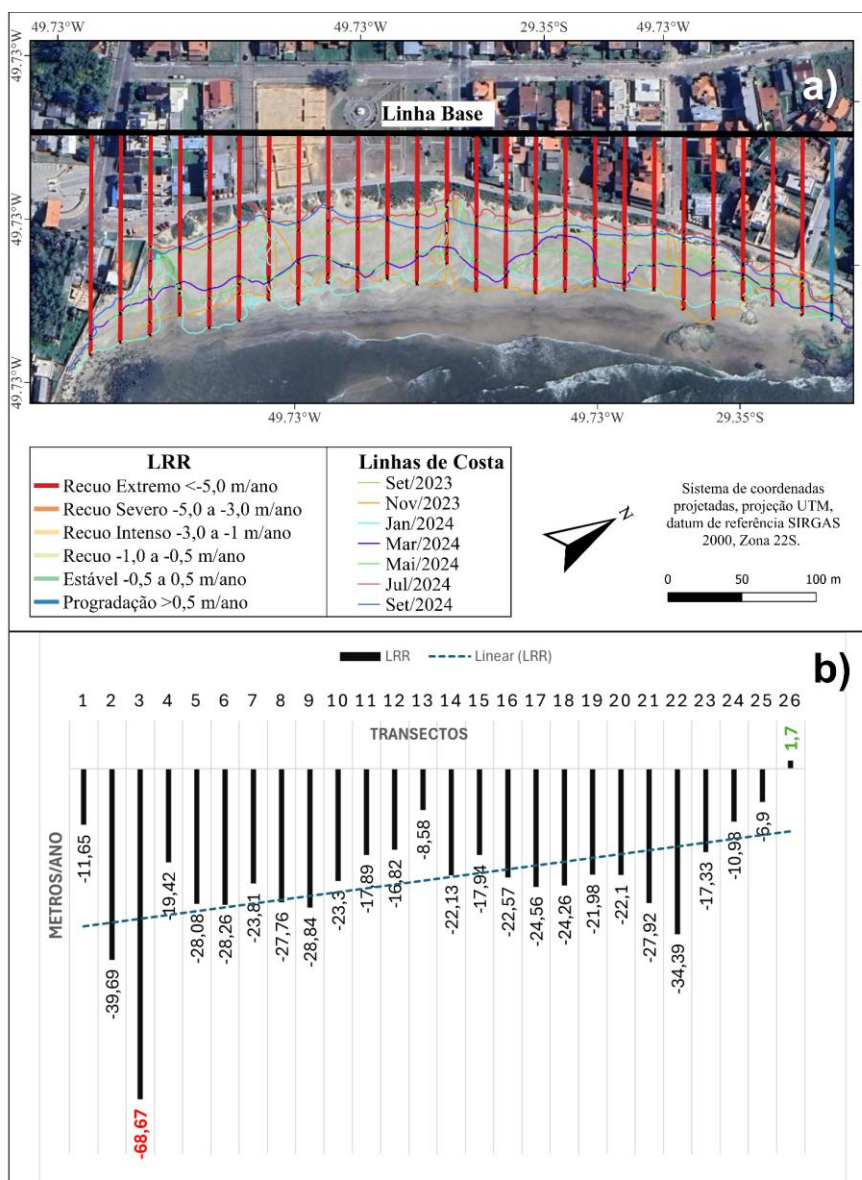
**Tabela 4**– Resultado da variação da linha de costa da Praia da Cal através do DSAS.

<b>Período</b>	<b>Varição da Linha de Costa (m)</b>	<b>Situação da Linha de Costa</b>
Set/2023 a Nov/2023	37,57	Progradação
Nov/2023 a Jan/2024	2,87	Progradação
Jan/2024 a Mar/2024	-14,85	Retrogradação
Mar/2024 a Mai//2024	-3,39	Retrogradação
Mai/2024 a Jul/2024	-28,36	Retragradação
Jul/2024 a Set/2024	5,24	Progradação
<b>Set/2023 a Set/2024</b>	<b>-0,92</b>	<b>Retrogradação</b>

Fonte: Os autores, 2024.

A partir das taxas de variação da linha de costa, os resultados foram comparados com a classificação proposta por Esteves e Finkl (1998) e Luijendijk *et al.* (2018), a qual foi enquadrada o segmento costeiro em diferentes níveis de retrogradação, estabilidade ou progradação. Através do método LRR foi identificado um cenário de recuo extremo em quase todo o segmento costeiro, exceto por um transecto em progradação na porção norte da Praia da Cal (Figura 6a). O gráfico ilustrado na Figura 6b exibe a relação da variação da linha de costa em cada transecto, onde é possível notar que o maior recuo (68,67 m/ano) ocorreu no transecto 3, situado ao sul, e a maior taxa de progradação se deu no transecto 26, com deslocamento de 1,7 m/ano.

**Figura 6**– Representação da variação da linha de costa para a Praia da Cal pelo DSAS para o período de setembro de 2023 a setembro de 2024 através do método LRR. a) Classificação do segmento. b) Gráfico da variação da linha de costa em cada transecto.

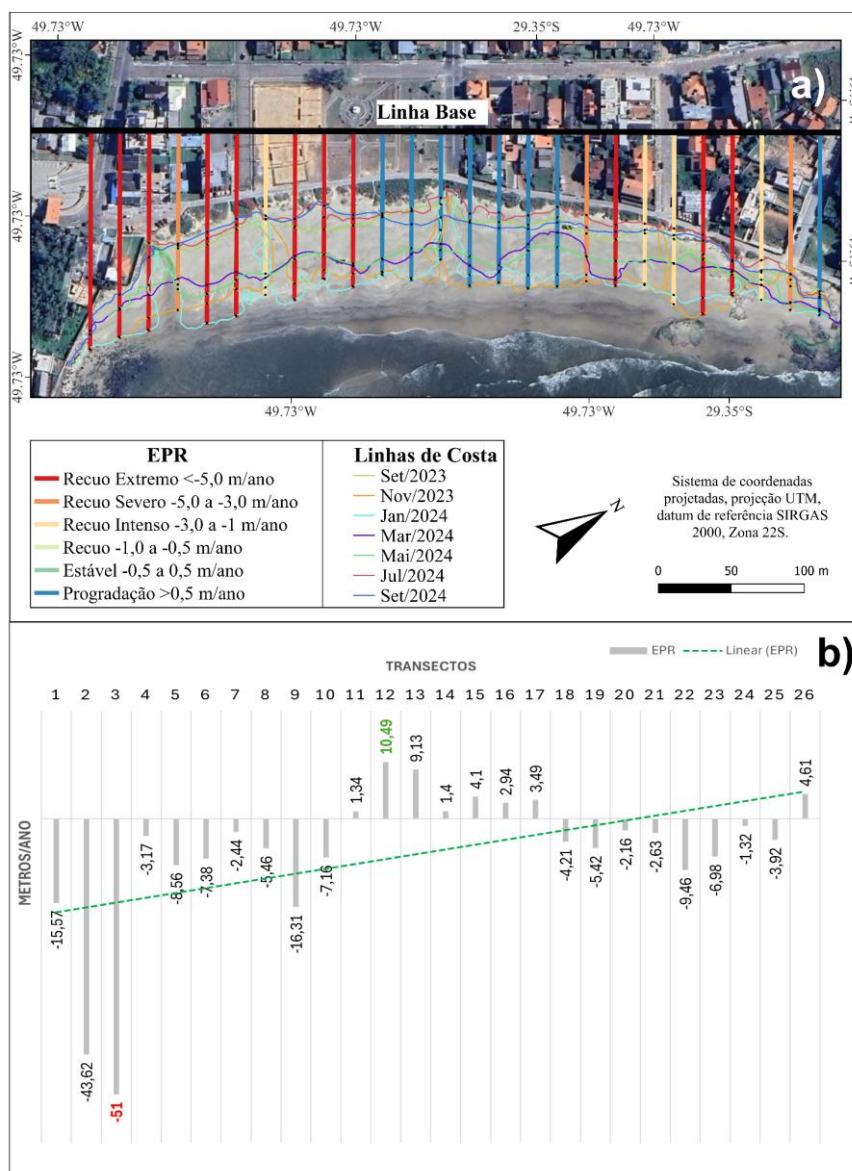


Fonte: Os autores, 2024.

A estatística EPR revelou um cenário distinto, principalmente no setor central da praia, entre os transectos 11 a 17 (Figura 7), onde percebe-se uma tendência de avanço, com a maior taxa no transecto 12 (10,49 m/ano). Da mesma forma que os resultados obtidos pelo LRR, o transecto 26 também foi classificado como progradante (4,61 m/ano) e o maior recuo identificado se deu no transecto 3 (51 m/ano). Além disso, para o EPR, os valores de recuo

encontrados oscilaram entre recuo extremo, severo e intenso ao longo do litoral, com predominância de recuo extremo (<-5,0 m/ano) em 11 dos 26 transectos.

**Figura 7**– Representação da variação da linha de costa para a Praia da Cal pelo DSAS para o período de setembro de 2023 a setembro de 2024 através do método EPR. a) Classificação do segmento. b) Gráfico da variação da linha de costa em cada transecto.



Fonte: Os autores, 2024.

A média de deslocamento da linha de costa para os dois métodos estatísticos constou situação de uma retração, com uma taxa média de 22,85 m/ano para o LRR e de 6,12 m/ano para o EPR. Ainda, nota-se por meio das retas de tendências representadas por linhas pontilhadas (Figura 6b e 7b), que para os dois métodos estatísticos, os valores de recuo tendem a diminuir em

direção ao norte do litoral, coincidindo com a direção predominante da deriva litorânea, a qual segundo Motta (1967) apresenta sentido final para NE. Para Tomazelli e Villwock (1992), o sistema de correntes de deriva litorânea promovidas pelas ondas que incidem obliquamente à linha de costa, é o fator mais significativo para determinação da morfologia costeira do Litoral Norte do Rio Grande do Sul.

As tendências encontradas pelo EPR são semelhantes às identificadas pelo Método do Polígono de Mudança (Figura 5) para o intervalo anual (setembro de 2023 a setembro de 2024), onde observa-se um avanço no setor central da Praia da Cal e recuos nas extremidades sul e norte. Isto indica que as taxas obtidas por esse método estatístico apresentam maior confiabilidade para avaliar o deslocamento total da linha de costa por esta considerar a data mais antiga e a mais recente para realização dos cálculos. Já o LRR, por utilizar todas as datas para quantificar as variações através de uma regressão linear, pode ser considerado mais adequado para estimar prognósticos de tendências futuras.

A análise sazonal permitiu identificar que durante a primavera a Praia da Cal teve um ganho significativo do segmento costeiro, com avanço médio da linha de costa de 29,49 m. No verão foi verificado um cenário de acresção para o período entre novembro de 2023 e janeiro de 2024 seguido por um de erosão entre janeiro e março de 2024, com uma taxa média de 1,61 m e -9,89 m, respectivamente. O outono, que compreende os meses de março a maio de 2024, retratou uma tendência de recuo da linha de costa, com deslocamento médio de 1,82 m. Em relação ao inverno, este apresentou um comportamento similar ao verão, onde foi constatado uma tendência de retrogradação da linha de costa de maio a julho seguido por um avanço da mesma de julho a setembro, com taxas médias de 24,25 m e 4,04 m, respectivamente.

Pivel e Calliari (1998) destacam que a Praia da Cal apresenta um comportamento intermediário, caracterizado por alta mobilidade sedimentar em razão das expressivas variações verticais. Embora o ambiente não revele um padrão sazonal bem definido, os autores apontam uma tendência à formação de perfis erosivos durante o inverno e deposicionais no verão. Com base nos resultados obtidos pelos dois métodos de quantificação utilizados neste estudo, observa-se que a região apresentou comportamento progradante na primavera, contrastando com tendências predominantes de retração nas demais estações do ano.



A Tabela 5 mostra a comparação dos resultados obtidos pelo Método do Polígono de Mudança e pelo DSAS, a estação do ano de cada período da série temporal, a diferença entre os resultados e a média das tendências encontradas.

**Tabela 5**– Comparação dos resultados das taxas de variação da linha de costa da Praia da Cal e identificação da estação de cada período.

<b>Período</b>	<b>Estação</b>	<b>DSAS Variação da Linha de Costa (m)</b>	<b>Polígono de Mudança Variação da Linha de Costa (m)</b>	<b>Difereça (m)</b>	<b>Variação Média (m)</b>
Set/2023 a Nov/2023	Primavera	37,57	21,42	16,15	29,49
Nov/2023 a Jan/2024	Verão	2,87	0,35	2,52	1,61
Jan/2024 a Mar/2024	Verão	-14,85	-4,93	9,92	-9,89
Mar/2024 a Mai//2024	Outono	-3,39	-0,26	3,13	-1,82
Mai/2024 a Jul/2024	Inverno	-28,36	-20,14	8,22	-24,25
Jul/2024 a Set/2024	Inverno	5,24	2,84	2,42	4,04
<b>Set/2023 a Set/2024</b>	-	-0,92	-1,85	0,93	-1,38

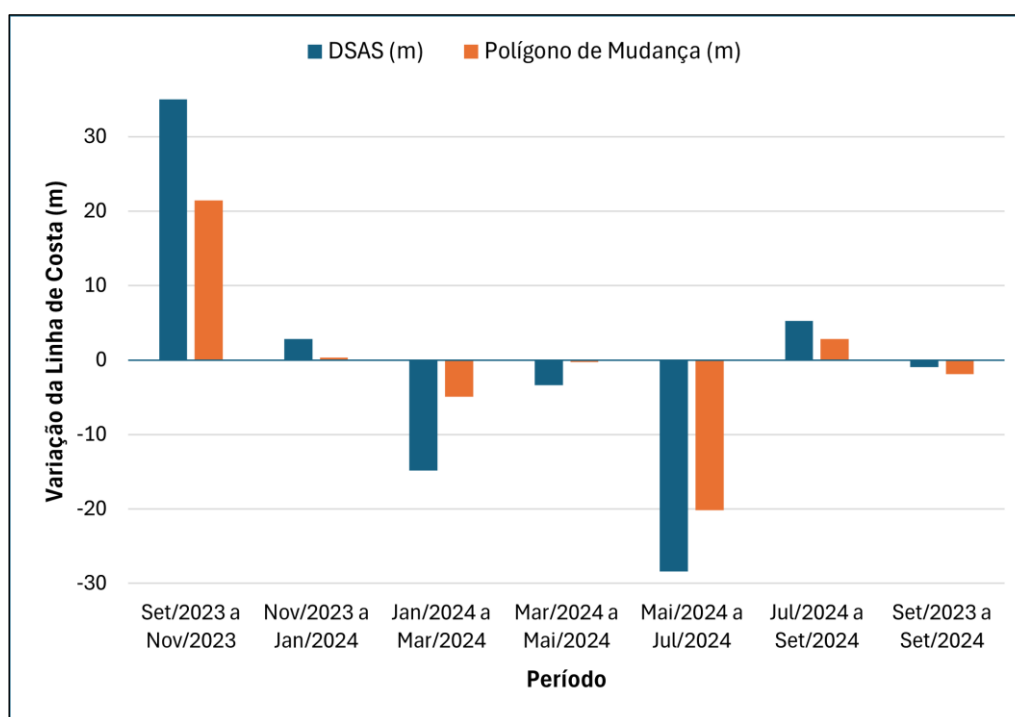
Fonte: Os autores, 2024.

Um monitoramento pretérito realizado por Esteves *et al.* (2004) para o período de novembro de 1997 a abril de 2002 através de fotografias aéreas e monitoramento com DGPS para todo litoral do Rio Grande do Sul, identificou que para o litoral norte, de novembro de 1997 a 1998 o movimento dominante da linha de costa foi um avanço médio de 21,6 m e para o período de novembro de 1998 a 1999, as tendências de recuo foram mais expressivas, com uma média de 2,54 m. No presente estudo, a análise anual de setembro de 2023 a 2024 da Praia da Cal revelou que a retração da linha de costa foi o comportamento predominante, indicando que, ao longo

do período analisado, as perdas sedimentares superaram os ganhos. No entanto, a compreensão de que tais valores reflitam um processo de erosão estrutural ou episódica somente poderá ser confirmada mediante investigações que abranjam uma escala temporal mais ampla.

Em relação aos valores de variação da linha de costa deste estudo, para quase todos os períodos analisados via DSAS para praia da Cal, os resultados foram considerados superestimados, se comparados aos valores obtidos pelo Polígono de Mudança, onde as maiores discrepâncias foram observadas entre os meses setembro a novembro de 2023, janeiro a março de 2024 e maio a julho de 2024 (Figura 8). Apesar das divergências entre os saldos totais obtidos pelos dois métodos, ambas as abordagens indicam a mesma tendência geral de recuo da linha de costa.

**Figura 8**– Comparativo entre os resultados obtidos através do método do Polígono de Mudança e DSAS.



Fonte: Os autores, 2024.

Adotando uma abordagem comparativa semelhante, o estudo realizado por Moreira *et al.* (2020) na Praia do Icarai, no litoral do Ceará, também identificou uma superestimação das taxas geradas pelo DSAS em relação ao Polígono de Mudança. Segundo os autores, essa diferença se deve, em parte, ao fato de a linha de costa da área analisada não ser predominantemente retilínea. Nesse contexto, dependendo da configuração do segmento costeiro, o cálculo das

taxas de deslocamento pelo DSAS pode ser comprometido, especialmente se alguma reentrância não for contemplada por um dos transectos gerados pelo *software*.

Smith e Cromley (2012), Albuquerque *et al.* (2013), Anfuso *et al.* (2016), Leal *et al.* (2018), Moreira *et al.* (2020) e Souza *et al.* (2023) concluíram que para litorais que apresentam uma linha de costa com reentrâncias, os resultados gerados pelo método do Polígono de Mudança são mais próximos à realidade, uma vez que essa abordagem trabalha com todo o segmento costeiro. O mesmo não ocorre com o DSAS, onde as taxas de variação da linha de costa são quantificadas pontualmente em cada transecto. Nesse contexto, ao considerar a morfologia da área de estudo, caracterizada pela presença de sangradouros ao longo da costa, verificou-se uma maior confiabilidade do método do Polígono de Mudança, quando comparado ao DSAS.

#### **4 – Conclusões**

A análise sazonal do comportamento da linha de costa da Praia da Cal possibilitou uma atualização do estado da praia, principalmente no que diz respeito às respostas do ambiente aos ciclos de progradação e retrogradação do segmento costeiro. Ambas as metodologias utilizadas mostraram uma tendência de recuo para a linha de costa da Praia da Cal. No entanto, os resultados do Polígono de Mudança apresentaram maior confiabilidade e aproximação da realidade de campo, pois consideraram todo segmento costeiro para realização dos cálculos de movimentação da linha de costa. Apesar da superestimação mencionada para os valores encontrados, as principais vantagens do DSAS são a automatização dos cálculos, as análises estatísticas robustas, e a possibilidade de projeções de cenários futuros de posição da linha de costa. Para o Polígono de Mudança, os cálculos de deslocamento das linhas de costa devem ser calculados de forma manual, além de não fornecer análises estatísticas.

A fácil logística para realização de aerolevanteamento com ARP de pequeno porte, a celeridade dos trabalhos de campo (tempo de voo de 8 minutos e 30 minutos para posicionamento dos alvos), e a qualidade das imagens obtidas se mostraram satisfatórias, quando comparado ao uso imagens de sensores orbitais (baixa resolução temporal) e outras abordagens de campo (levantamentos topográficos). Além dos dados coletados em campo, a escolha do melhor método a ser utilizado nas análises, por parte dos gestores costeiros, depende, principalmente, das características morfológicas da área a ser monitorada. Nesse sentido, os resultados obtidos neste estudo reforçam a relevância da utilização de diferentes abordagens tecnológicas de alta resolução. Estas acabam por fornecer subsídios aos gestores costeiros na compreensão do

comportamento da linha de costa em termos sazonais, e auxiliam no preenchimento de lacunas existentes em estudos pretéritos.

Os resultados deste estudo não só ampliam o conhecimento sobre os processos costeiros que atuam na Praia da Cal, mas também oferecem subsídios para o desenvolvimento de estratégias de gestão costeira mais eficazes, podendo auxiliar na implementação de planos de manejo que considerem as dinâmicas sazonais identificadas, além de medidas de adaptação e mitigação em caso de eventos extremos de alta energia. Por fim, o presente trabalho reforça a importância do uso de geotecnologias no monitoramento costeiro e de integrar diferentes abordagens metodológicas para enfrentar os desafios impostos na gestão dos ambientes litorâneos.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) - Campus Rio Grande, a Universidade Federal do Rio Grande (FURG), e o Programa de Pós-Graduação em Geografia da FURG pelo apoio logístico. Este estudo foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Processo Nº 406334/ 2023-4). Este estudo foi financiado, em parte, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Brasil - Financiamento 23 Código 001.

### **Referências**

ALBUQUERQUE, M.G., ESPINOZA, J.M, TEIXEIRA, P., OLIVEIRA, A., CORRÊA, I., CALLIARI, L. **Erosion or coastal variability: an evaluation of the DSAS and the change polygon methods for the determination of erosive processes on sandy beaches.** *Journal of Coastal Research*, 65, SI, 1710-1714, 2013. <https://doi.org/10.2112/SI65-2891>.

ANFUSO, G., BOWMAN, D., DANESE, C., PRANZINI, E. **Transect based analysis versus area based analysis to quantify shoreline displacement: spatial resolutions issues.** *Environment Monitoring Assessment*, 188, 10, 568, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5571-1>.

BOAK, E.H., TURNER, I.L. **Shoreline Definition and Detection: A Review.** *Journal of Coastal Research*, 21, 4, 688-703, 2005. <http://dx.doi.org/10.2112/03-0071.1>

CABETTE A, STROHAECKER T. **A configuração socioespacial do litoral norte do estado do Rio Grande do Sul.** *e-metropolis*, p. 30-35, 2019.

CALLIARI, L.J.; TOZZI, H.A.M.; KLEIN, A.H.F. **Erosão associada a marés meteorológicas na costa sul-riograndense** (COMEMIR/OSNLR). *Anais, 34º Congresso Brasileiro de*

Geologia, Salvador. SBG, 4: 682-684, 1996.

CROWELL, M.; LEATHERMAN, S.P.; BUCKLEY, M.K. **Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy.** Journal of Coastal Research (ISSN: 1551- 5036), 7(3):839-852, 1991. <http://www.jstor.org/stable/4297899>

DILLENBURG, S.R., ROY, P.S., COWELL, P.J., TOMAZELLI, L.J. **Influence of Antecedent Topography on Coastal Evolution as tested by the Shoreface Translation-Barrier model (STM).** Journal of Coastal Research, vol 16, p. 71–81, 2000.

ESTEVEES, L.S., FINKL, C.W. **The problem of critically eroded areas (CEA): an evaluation of Florida beaches.** Journal of Coastal Research, 26, SI, 11-18, 1998.

ESTEVEES, L.S.; SILVA, A.R.P.; AREJANO, T.B.; PIVEL, M.A.G., VRANJAC, M.P. **Coastal development and human impacts along the Rio Grande do Sul beaches, Brazil.** Journal of Coastal Research, SI 35, 548-556, 2003.

ESTEVEES, L. S. **Shoreline Changes and Coastal Evolution as Parameters to Identify Priority Areas for Management in Rio Grande do Sul, Brazil.** Pesquisas Em Geociências, 31(2), 15–30, 2004. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.19571>

IBGE., 2023. **Sinopse do censo demográfico de 2022.** Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>

LEAL, K.B., OLIVEIRA, U.R., ESPINOZA, J.M.A. **Variação do limite de praia duna nos Balneários Mostardense, Mar Grosso, Cassino e Barra do Chuí – RS no intervalo entre 2003-2015.** Quaternary and Environmental Geosciences, 9, 1, 25-37, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v9i1.53226>.

LUIJENDIJK, A., HAGENAARS, G., RANASINGHE, R., BAART, F., DONCHYTS, G., AARNINKHOF, S. **The state of world's beaches.** Nature, 8, 6641, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6>.

MARTINHO, C.T., DILLENBURG, S.R., HESP, P. **Wave Energy and Longshore Sediment Transport Gradients Controlling Barrier Evolution in Rio Grande do Sul Brazil.** Journal of Coastal Research, vol 252, p. 285-293, 2009.

MUEHE, D. **Panorama da Erosão Costeira no Brasil.** Brasília, DF. Ministério do Meio Ambiente. 759 p, 2018.

MOREIRA, T. F., ALBUQUERQUE, M.G., ESPINOZA, J.M.A, DE PAULA, D.P., ALVES, D.C.L., BARROSO, E.L., BENDÔ, A.R.R., CONCEIÇÃO, T.F. **Estudo do Comportamento da Linha de Costa na Praia do Icaraí (Caucaia, Ceará), a partir dos Métodos Digital Shoreline Analysis System e do Polígono de Mudança.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 07, p. 3395, 2020.

MOTTA, V.F. **Estudo em modelo reduzido da regulamentação da embocadura lagunar de Tramandaí (Rio Grande do Sul).** Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

OPPENHEIMER, M., GLAVOVIC, BC, HINKEL, J., WAL, R., MAGNAN, AK, ABD-ELGAWAD, A., CAI, R., CIFUENTES-JARA, M., DECONTO, RM, GHOSH, T., HAY, J., ISLA, F., MARZEION, B., MEYSSIGNAC, B., SEBESVARI, Z. **Chapter 4 - Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities**. Cambridge University Press, 2019. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.006>

PIVEL, M.A.G., CALLIARI, L.J. **Caracterização preliminar das praias de Torres (RS) sob um enfoque morfodinâmico**. Anais., XI Semana Nacional de Oceanografia, Rio Grande, FURG, 1998.

SMITH, M.J., CROMLEY, R.G. **Measuring Historical Coastal Change using GIS and the Change Polygon Approach**. Transactions in GIS, 16, 1, 3–15, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2011.01292.x>

STIVE, M.J.F., AARNINKHOF, S.G.J., HAMM, L., HANSON, H., LARSON, M., WIJNBERG, K.M., NICHOLLS, R.J., CAPOBIANCO, M. **Variability of shore and shoreline evolution**. Coastal Engineering, V. 47, n. 2, p. 211-235, 2022. [http://dx.doi.org/10.1016/s0378-3839\(02\)00126-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0378-3839(02)00126-6).

SOUZA, V.G., ALBUQUERQUE, M.G., CRUZ, L.F. **Aplicação de métodos de quantificação da variação da linha de costa para o balneário São Simão, Rio Grande do Sul, Brasil**. In: De Paula, D.P., Oliveira, E.C., Dias, J.A., Fonseca, L.C., Rodrigues, M.A.C., Albuquerque, M.G., Palma, M., Pereira, O.N.A., Bergamaschi, S. (Org.). Gestão das zonas costeiras: a influência continental na qualidade ambiental- Tomo XII da Rede BRASPOR. Rio de Janeiro: FGEL- UERJ, 2023, Cap. 21, 325-237. ISBN: 978-65-88808-76-4

TOMAZELLI, L.; VILLWOCK, J. **Considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil**. Pesquisas em Geociências, v. 19, n. 1, p. 3–12, 1992.

TOMAZELLI, L. J. **O Regime dos Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil**. Pesquisas, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 18-26, 1993.

VILLWOCK J. A., TOMAZELLI L. J. **Geological Evolution of Rio Grande do Sul Coastal Plain during the Quaternary**. In: LOICZ Scientific Meeting, São Paulo. Extended Abstracts. São Paulo, SP.: USP, v. 1, 11-13p, 1995.

WRIGHT, L. D., SHORT, A. D. **Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis**. Marine Geology, v. 56, p. 93-118, 1984.