http://lsie.unb.br/ugb/
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 22, nº 3 (2021)

http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v22i3.1971

Nota técnica

Coastal MD: programa de cálculo de parâmetros adimensionais para classificação morfodinâmica de praias arenosas

Coastal MD: program for calculating dimensionless parameters for the morphodynamic classification of sandy beaches

Silvio Roberto de Oliveira Filho[1] e Guilherme Borges Fernandez[2]

[1] Universidade Federal Fluminense, Departamento de Geografia, Niterói, Brasil. E-mail: silviooliveira@id.uff.br
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8923-285X

[2] Universidade Federal Fluminense, Departamento de Geografia, Niterói, Brasil. E-mail: guilhermefernandez@id.uff.br
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4217-9021

Recebido: 29/06/2020; Aceito: 19/05/2021; Publicado: 01/07/2021.

Resumo: A classificação morfodinâmica de praias é um tema consagrado nos estudos da geomorfologia costeira. A classificação mais abrangente e referenciada na literatura científica foi desenvolvida nas praias do sudeste australiano, a partir da análise de perfis transversais e fotografias aéreas, classificando as praias como refletivas, dissipativas ou intermediárias, em função das características morfológicas da praia. O modelo de classificação morfodinâmica também teve seu ancoramento em determinados parâmetros empíricos, envolvendo aspectos relativos a hidrodinâmica e a sedimentação. Neste sentido, foram utilizados diferentes parâmetros adimensionais, desenvolvidos desde o final da década de 1960, para determinação da classificação morfodinâmica de praias, como o parâmetro de similaridade de surfe (ξ), o parâmetro de escala de surfe (ϵ), o parâmetro ômega (Ω), o parâmetro de amplitude relativa da maré (RTR) e o parâmetro delta (Δ). O cálculo de cada um destes parâmetros adimensionais exige não somente um dispêndio de tempo, mas também um esforço para a realização do cálculo matemático, mesmo com facilidades computacionais. Neste sentido, esta nota técnica tem por objetivo apresentar o programa *Coastal MD*, que propõe a automatização dos cálculos para determinar a classificação morfodinâmica das praias, aumentando o desempenho relacionado ao processamento de dados de campo ou simulados, de maneira rápida e precisa.

Palavras-chave: morfodinâmica de praia; geomorfologia costeira; perfil de praia.

Abstract: Beach Morphodynamic classification is an established theme in coastal geomorphology studies. The more comprehensive and referenced classification in scientific literature was developed on the beaches of southeastern Australia, from topographic profiles and aerial photographs, classifying beaches as reflected, dissipative or intermediate, according to the morphological characteristics of the beach. The morphodynamic classification model was also anchored in function of determined empirical parameters, involving aspects related to hydrodynamics and sedimentation. In this sense, different dimensionless parameters were used, developed since the late 1960s, to determine the morphodynamic classification of beaches, such as the surf similarity parameter (ξ), the surf scale parameter (ϵ), the omega parameter (Ω), the Relative Tide Range parameter (RTR) and delta parameter (Δ). The calculation of each of these dimensionless parameters requires not only a expend of time, but also an effort to perform the mathematical calculation, even with computational resource. In this sense, this technical note aims to present the *Coastal MD* program, that proposes an automatization of calculations to determine the morphodynamic classification of the beaches, increasing the performance related to the processing of field or simulated data, quickly and accurately.

Keywords: beach morphodynamic; coastal geomorphology; beach profile.

1. Introdução

Praias são ambientes deposicionais formados por sedimentos inconsolidados, com granulometria variada, sendo majoritariamente depositados por ação das ondas, e secundariamente por marés, tendo, portanto, suas alterações morfológicas governadas pela ação hidrodinâmica correlacionada com fatores sedimentológicos. Apresentam uma ampla distribuição geográfica, podendo ser encontradas em diferentes áreas costeiras, havendo a necessidade de uma área para deposição sedimentar pela ação hidrodinâmica. As praias podem ser interpretadas a partir de diferentes feições ou por diferentes subambientes descritos desde a zona submarina até o contato com alguma feição mais interiorizada, e mais raramente atingida pelas ondas, por exemplo, as dunas frontais.

Alguns dos principais subambientes deposicionais observados em praias arenosas podem ser mais claramente observados na Figura 1, em que estão apresentadas, por exemplo, a berma e a formação de uma escarpa erosiva no contato com as dunas frontais, face de praia, cúspides, calhas e bancos longitudinais. Estes subambientes podem ser subaéreos, como as bermas ou submersos, como bancos e calhas.

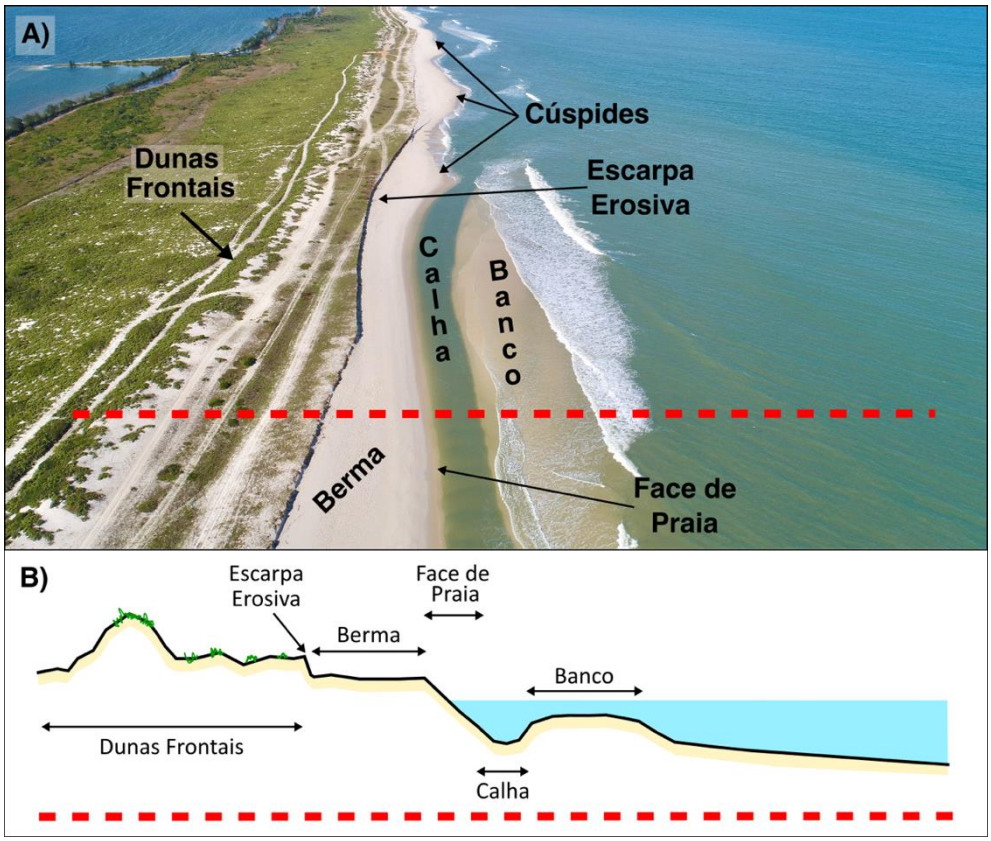

Figura 1. Algumas das principais feições de praia subaéreas e submarinas observadas em praias arenosas. (A) Vista em planta, a partir de uma fotografia oblíqua, e (B) Vista em perfil, representando a linha pontilhada vermelha em (A), sem levar em consideração escalas verticais e horizontais.

Recentemente, Muehe (2019) fez uma proposta de nomenclatura para estas diferentes feições, mas de maneira alguma esta nota técnica tem o objetivo de se aprofundar no tema, haja vista que existem nomenclaturas, muitas vezes locais, que são traduzidas da nomenclatura inglesa, que tampouco inviabilizam o conhecimento sobre estes subambientes. O que é interessante e relevante nos estudos em praias é o reconhecimento de que estas feições são muito dinâmicas, pois apresentam alterações ao longo do tempo, de maneira que há uma sistemática alteração

morfológica envolvendo a ação flutuante da energia das ondas, ajustada às variações diárias das marés, reorganizando a fisiografia dos diferentes subambientes praiais.

O trabalho seminal de Shepard (1950) sugere isso claramente, ao identificar que perfis transversais à costa, obtidos durante o verão, apresentavam estoques sedimentares subaéreos maiores que os de inverno. Tal diferenciação sazonal se dava pela maior frequência de tempestades que atingiam as praias da Califórnia durante o inverno, removendo grande parte dos sedimentos para a zona submarina, que seriam posteriormente recuperados durante a presença de ondas construtivas, mais frequentes no verão. Mesmo que atualmente não se utilize mais os termos perfis de verão e inverno, e sim perfis associados às condições de ondas (bom e mau tempo), que podem ocorrer em qualquer uma das estações, como apontado por Aagaard e Masselink (1999), ou marcas sazonais (*seasonal imprint*), como recentemente abordado por Senechal e Alegría-Arzaburu (2020), fica evidente que existe não somente uma alteração sistemática da morfologia praial em função da variação energética das ondas, como também uma ciclicidade anual, que é periódica, geralmente regular e relativamente previsível, normalmente abordada como morfodinâmica de praias.

O desenvolvimento de uma abordagem morfodinâmica nos estudos de praia foi iniciado na década de 1970 (WRIGHT, THOM, 1977; SHORT, JACKSON, 2013; JACKSON, SHORT, 2020), fornecendo um novo paradigma que permitiu melhor compreensão acerca dos processos e formas derivadas em ambientes praiais. De forma bastante resumida, a morfodinâmica de praia refere-se às interações dinâmicas entre os processos hidrodinâmicos, relativos a propagação e quebra das ondas em águas rasas, e a resposta morfológica dos diferentes subambientes praiais (em função da sedimentação), em uma variedade de escalas de tempo-espaço, tornando-se ainda mais complexa com processos adicionais, como marés e ventos, e diferentes condições de contorno, como morfologia antecedente das feições de praia, características de sedimentos e biota (SHORT, JACKSON, 2013).

A morfodinâmica de praia tem sido estudada através de diferentes tipos de abordagens, por exemplo, através de relações empíricas, a partir de experimentos em praias, relacionadas a parâmetros adimensionais com a finalidade de classificação de praias em estados modais (WRIGHT et al., 1979; WRIGHT, SHORT, 1984; WRIGHT, SHORT, GREEN, 1985; MASSELINK, SHORT, 1993; MUEHE, 1998; SHORT, 2006; SHORT, JACKSON, 2013), praias geologicamente controladas (JACKSON, COOPER; DEL RIO, 2005; JACKSON, COOPER, 2009; SHORT, 2010; GALLOP, BRYAN, WINTER, 2020), interação ondas-praia-dunas (SHORT, HESP, 1982; HESP, 1983; PSUTY, 1988; AAGAARD et al., 2004; DAVIDSON-ARNOTT, MACQUARRIE, AAGAARD, 2005; HESP, 2012; HOUSER, ELLIS, 2013; HESP, SMYTH, 2016; MALVARÉZ et al., 2019), impactos gerados por tempestade (MORTON, GIBEAUT, PAINE, 1995; SALLENGER, 2000; ZHANG, DOUGLAS, LEATHERMAN, 2002; MORTON, SALLENGER, 2003; AAGAARD, GREENWOOD, HUGHES, 2013; EICHENTOPF, KARUNARATHNA, ALSINA, 2019), impactos provocados por obras de engenharia (SHERMAN et al., 1990; JEUKEN, WANG, 2010; VAN RIJN, 2011; MONGE-GANUZAS, CEARRETA, EVANS, 2013; WANG et al., 2015).

A classificação de praias a partir da morfodinâmica é um tema consagrado no cenário da geomorfologia costeira, mas assume-se que a classificação mais utilizada é a descrita por Wright e Short (1984) e Wright, Short e Green (1985) para as praias australianas, em que as praias são classificadas como refletivas, dissipativas ou intermediárias (ver SHORT, 1999; GÓMEZ-PUJOL, ORFILA, 2020). De 1970 até o presente, foram criados diferentes parâmetros adimensionais para classificação morfodinâmica de praias (BATTJES, 1974; GUZA, INMAN, 1975; WRIGHT, SHORT, 1984; MASSELINK, SHORT, 1993; MUEHE, 1998), onde a maioria deles utilizam como dados de entrada variáveis semelhantes, envolvendo hidrodinâmica, morfometria e sedimentação. As principais variáveis são: altura de onda na arrebentação (H_b); período de onda (T); diâmetro mediano dos sedimentos (D_{50}); declividade da face de praia (β); amplitude da maré (AM); distância percorrida pelo espraiamento (D_{esp}); tempo do espraiamento (T_{esp}). A partir desses dados, outras variáveis podem ser inferidas, como comprimento de onda (L) e velocidade de queda do grão (W_s).

O cálculo de cada parâmetro adimensional para classificação de praias em estados modais exige um esforço, não somente de trabalhos de campo para a obtenção de dados, mas bastante tempo para o cálculo matemático de cada parâmetro, mesmo sendo reconhecido que este tempo foi significativamente reduzido nas últimas décadas com a maior popularização de computadores e programas computacionais, que efetuam estes cálculos em planilhas eletrônicas ou em rotinas de programas que usam linguagens de programação. Nas planilhas,

geralmente, os cálculos são realizados de forma individual, onde, para se definir três classificações distintas, utilizando três parâmetros adimensionais diferentes, teriam que ser realizados três cálculos. Quando se leva em consideração a quantidade de pontos de monitoramento de uma praia, a quantidade de praias estudadas e a quantidade de monitoramentos realizados, calcular cada parâmetro adimensional relacionado a morfodinâmica, de forma individualizada, requer relativo esforço na tabulação e organização dos dados.

Visando a otimização do tempo e o aumento do desempenho relacionado ao processamento de dados de campo, fundamentais para a classificação morfodinâmica das praias, e por conseguinte melhor compreensão dos processos físicos que determinam a morfodinâmica costeira, esta nota técnica tem o objetivo de apresentar o programa *Coastal MD*. O programa foi sistematizado para calcular diferentes parâmetros adimensionais para classificação da morfodinâmica praial, através de dados levantados em campo, ou mesmo modelados, de maneira rápida e precisa.

2. O programa *Coastal MD*

O programa *Coastal MD* é escrito em linguagem VBA (*Visual Basic for Applications*), acoplado a uma planilha do programa *Excel*. O programa utiliza dados coletados em campo, sintetizados na Tabela 1, e os aplicam nos diferentes parâmetros adimensionais desenvolvidos e, cientificamente estabelecidos, para classificação morfodinâmica, a saber: parâmetro de Similaridade de Surfe (ξ) (BATTJES, 1974); parâmetro de Escala de Surfe (ϵ) (GUZA; INMAN, 1975); parâmetro ômega (Ω) (WRIGHT; SHORT, 1984); parâmetro de amplitude relativa da maré (RTR) juntamente com o parâmetro ômega (Ω) (MASSELINK; SHORT, 1993); e, parâmetro Delta (Δ) (MUEHE, 1998).

Tabela 1. Dados de entrada solicitados pelo programa *Coastal MD*.

Dados de entrada	Descrição
Altura de onda na arrebentação (H_b)	Altura média das ondas em uma série, medida em metros.
Período de onda (T)	Período de onda na arrebentação, calculado através do tempo da passagem de 11 cristas consecutivas, dividindo-se o tempo total por 10.
Diâmetro mediano dos sedimentos (D_{50})	Valor estatístico da mediana de uma amostra sedimentar da face de praia em micrometro (μm).
Alcance Máximo do Espraiamento	Distância horizontal (arbitrária) e altimetria da posição alcançada pelo espraiamento durante o levantamento, ambos obtidos através de levantamento topográfico.
Recuo Máximo do Espraiamento	Distância horizontal (arbitrária) e altimetria da posição do refluxo do espraiamento durante o levantamento, ambos obtidos através de levantamento topográfico.
Amplitude da maré (AM)	Diferença entre a preamar e a baixa-mar de sizígia.
Tempo do espraiamento (T_{esp})	Tempo do percurso apenas da subida do espraiamento, medido em segundos.
Direção da Face de Praia	Ângulo medido em graus referente a direção da face de praia, direcionando uma bússola perpendicularmente ao alinhamento da praia.

Direção de Propagação das Ondas	Ângulo medido em graus, referente a aproximação das ondas, direcionando uma bússola perpendicularmente à direção da crista das ondas.

3. Parâmetros adimensionais utilizados para classificação morfodinâmica

O primeiro parâmetro adimensional utilizado em uma abordagem de classificação morfodinâmica foi o parâmetro de Escala de Surfe (ϵ), estabelecido por Guza e Inman (1975). O parâmetro foi originalmente criado para caracterização da zona de surfe, enquanto os autores estudavam a relação entre cúspides de praia e ondas de borda (*edge waves*), onde o parâmetro apresenta a dominância de ondas de borda em zonas de surfe dissipativas, em detrimento das zonas de surfe refletivas. A partir do parâmetro ϵ, Wright et al. (1979) estabeleceram valores de referência para determinação dos estados modais mais extremos, que seriam os estados refletivo (de menor energia) e dissipativo (de maior energia), com estágios intermediários entre os dois. Para os autores, quando o $\epsilon < 2{,}5$ as praias estariam no domínio refletivo, quando $\epsilon > 33$ estariam no domínio dissipativo, e intermediárias quando $2{,}5 < \epsilon < 33$. Em Wright e Short (1984) esses valores foram revistos, onde o valor de referência para praias dissipativas foi alterado para $\epsilon > 20$, alterando também os valores intermediários que passaram a ser $2{,}5 < \epsilon < 20$. De acordo com Wright e Short (1984), o parâmetro (ϵ) é calculado através da Eq. (1):

$$\epsilon = \frac{a_b \omega_i^2}{g.tan^2\beta} \tag{1}$$

Onde a_b representa a amplitude da onda na arrebentação, ou seja, metade da altura da onda ($H_b/2$), ω_i corresponde a frequência angular da onda incidente ($2\pi.T^{-1}$), g representa a aceleração da gravidade (9,81 $m.s^{-2}$) e β corresponde a declividade do perfil da praia. A Eq. (1) pode também ser reescrita na forma da Eq. (2):

$$\epsilon = \frac{2\pi^2 H_b}{gT^2 tan^2\beta} \tag{2}$$

Onde H_b representa altura de onda na arrebentação e T representa o período de onda.

Wright e Short (1983) também utilizaram o parâmetro de Similaridade do Surfe (ξ) para caracterização de estados modais de praias. Segundo Battjes (1974) esse parâmetro foi primeiramente utilizado por Iribarren e Nogales (1949), para determinar se haveria a ocorrência ou não da quebra da onda. Battjes sugere que o parâmetro seja denominado de *Iribarren Number* (número de Iribarren) em honra ao cientista que o introduziu. O autor utilizou o parâmetro para caracterização da zona de surfe, apresentando sua utilidade para além do critério relacionado à ocorrência ou não da quebra da onda, ao determinar o tipo de quebra (ascendente, progressiva ou mergulhante), altitude alcançada pelo espraiamento da onda, a determinação quanto a forma de dissipação da energia das ondas, apresentando aspectos relacionados a zonas de surfe dissipativas e refletivas. De acordo com Battjes (1974) o parâmetro de Similaridade do Surfe (ξ) é descrito pela Eq. (3):

$$\xi = \frac{\tan\beta}{\left(\frac{H_b}{L_0}\right)^{0,5}} \tag{3}$$

Onde, tan β representa a tangente do ângulo de declividade da face de praia (β), H_b representa a altura de onda na quebra e L_0 o comprimento de onda em águas profundas, definido pela Eq. (4).

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \tag{4}$$

Wright e Short (1983) estabeleceram valores de referência para classificação morfodinâmica através do parâmetro de similaridade do surfe (ξ), onde praias dissipativas possuem $\xi < 0{,}3$, refletivas $\xi > 1{,}25$ e intermediárias $0{,}3 < \xi < 1{,}25$.

Em Wright e Short (1984) os autores apresentam o parâmetro ômega (Ω), utilizando-o para classificação das praias australianas em estados morfodinâmicos distintos. O parâmetro (Ω) foi primeiramente proposto por Gourlay (1968), quando ainda não se chamava ômega (Ω), para identificar a direção do transporte de sedimentos transversalmente à praia, se ocorreria da costa para o mar (*offshore*) ou do mar para a costa (*onshore*). O trabalho de Dean (1973) utilizou o mesmo parâmetro, com o mesmo propósito, mas sem qualquer relação com o trabalho de Gourlay (1968). Ou seja, aparentemente, ambos criaram o mesmo parâmetro, para o mesmo propósito, em épocas distintas, mas na literatura atual, na maioria das vezes quem recebe o crédito é Dean (1972), pois o parâmetro passou a ser conhecido como parâmetro de Dean. Wright e Short (1984) utilizaram o parâmetro ômega para classificação morfodinâmica em seis estados distintos, entretanto, o parâmetro definiria a distinção apenas entre os três estados principais, onde as praias seriam refletivas quando $\Omega < 1$, intermediárias quando $1 < \Omega < 6$, e dissipativas quando $\Omega > 6$. O parâmetro ômega (Ω) é obtido através da Eq. (5):

$$\Omega = \frac{H_b}{W_s T} \tag{5}$$

Onde H_b representa a altura de onda na zona de arrebentação, W_s corresponde a velocidade de decantação do grão e T é o período de ondas na arrebentação. A velocidade de decantação dos grãos (W_s) é obtida através da Eq. (6), proposta por Gibbs, Matthews e Link (1971):

$$W_s = \frac{-3\mu + \sqrt{9\mu^2 + gr^2\rho(\rho_s - \rho)(0{,}015476 + 0{,}19841r)}}{\rho(0{,}011607 + 0{,}14881r)} \tag{6}$$

Onde μ representa a viscosidade dinâmica da água, g a aceleração da gravidade (981 cm.s^{-2}), ρ é a densidade da água (1,03 g.cm^{-3} para água do mar), ρ_s é a densidade do grão (2,65 g.cm^{-3} para o quartzo), e r representa o raio esférico do grão (cm).

Wright, Short e Green (1985) realizaram uma tentativa de relacionar o parâmetro ômega (Ω) com as mudanças entre os seis estados morfodinâmicos, utilizando diferentes praias da costa australiana, quando criaram o parâmetro ômega de equilíbrio (Ω_e), relacionando os estados morfodinâmicos às condições de equilíbrio. Os valores do parâmetro (Ω_e) relacionados às mudanças de estado modal são apresentados na Tabela 2, com seus respectivos desvios-padrões, e a Figura 2 apresenta as taxas de mudança entre os estados morfodinâmicos, a partir de uma condição de equilíbrio.

Tabela 2. Associação de equilíbrio entre estado da praia e Ω_e.

Estado da Praia	Ω_e	Desvio Padrão
Refletivo	<1,5	-
Terraço de Baixa-Mar	2,40	0,19
Banco Transversal	3,15	0,64
Banco e Praia Rítmica	3,50	0,76
Banco e Calha Longitudinal	4,70	0,93
Dissipativo	>5,5	-

Fonte: Traduzido de Wright, Short e Green (1985).

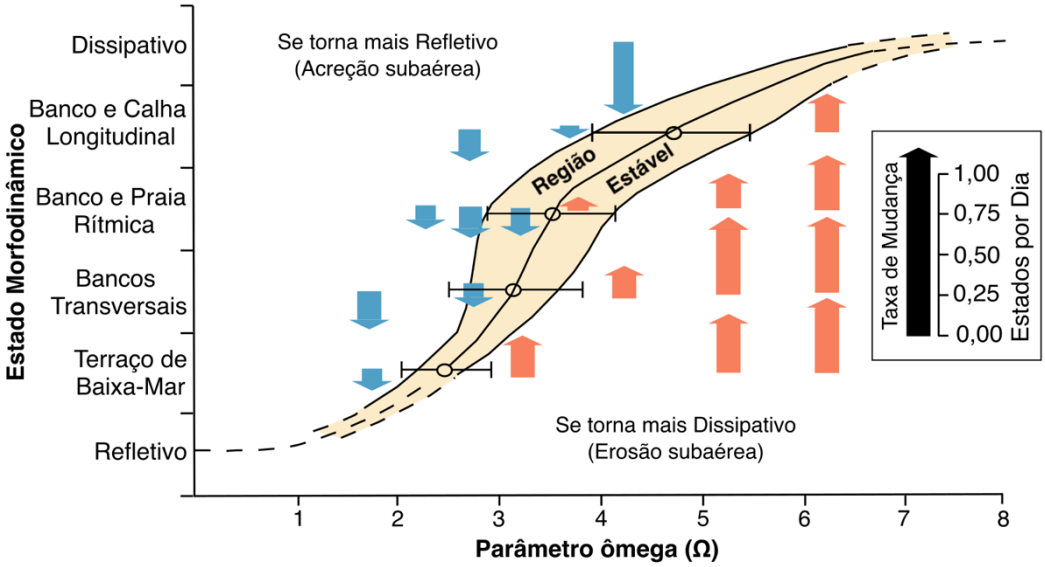

Figura 2. Equilíbrio do estado praial, direção e taxas de mudanças. A curva central indica o equilíbrio médio associado entre o estado morfodinâmico e o parâmetro Ω. Traduzido e modificado de Wright, Short e Green (1985).

Apesar do grande esforço promovido nos trabalhos da escola australiana, que versavam sobre morfodinâmica de praia, até a década de 1980, o parâmetro ômega (Ω) era adequado apenas para praias expostas, em regime de micromaré, funcionando adequadamente em praias com amplitude máxima de maré de até 3 m, onde praias submetidas a meso e macromarés estariam fora desse espectro (SHORT, 1991). Para adequar a classificação morfodinâmica às praias submetidas a todos os diferentes tipos de amplitude de maré (micro, meso e macromaré), Masselink e Short (1993) elaboraram o parâmetro RTR (*Relative Tide Range*), que representa a relação entre a amplitude média das marés de sizígia e a altura das ondas na arrebentação, através da Eq. (7):

$$RTR = \frac{AM}{H_b} \tag{7}$$

Onde, *AM* representa a amplitude média de variação da maré, ou seja, a diferença entre a altimetria máxima da preamar e altimetria mínima da baixa-mar, ambas obtidas durante a sizígia. A classificação morfodinâmica elaborada por Masselink e Short (1993) também leva em consideração o parâmetro ômega (Ω) descrito anteriormente na Eq. (5). A Figura 3 apresenta os diferentes estados morfodinâmicos propostos por Masselink e Short (1993).

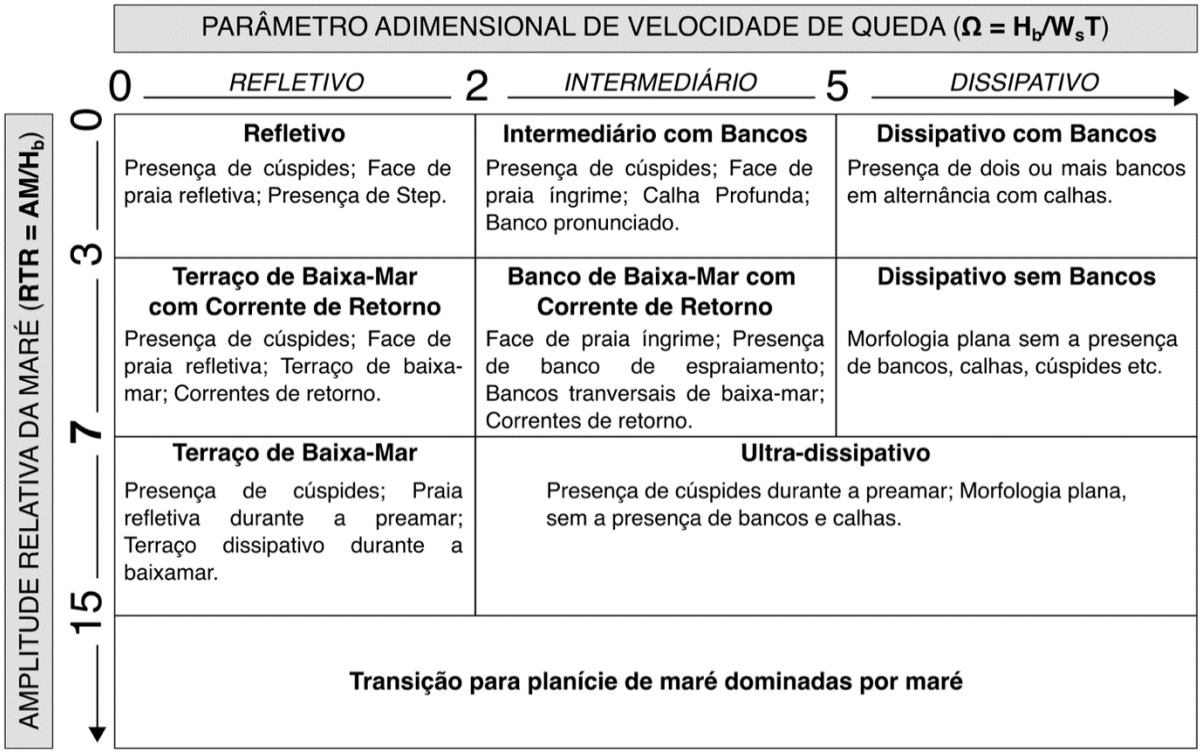

Figura 3. Modelo conceitual de praias. Os estados morfodinâmicos são classificados a partir da combinação entre o parâmetro ômega (Ω) e a RTR (amplitude relativa da maré). Modificado de Masselink e Short (1993).

Muehe (1998) abordou a baixa correlação entre o parâmetro ômega (Ω) e o estado praial observado em campo. Segundo o autor, apesar da baixa correlação, existe ainda a dificuldade de se obter levantamentos diários, necessários para determinação do parâmetro ômega de equilíbrio (Ω_e). Dessa forma, Muehe (1998) elaborou o parâmetro delta (Δ), que busca classificar as praias em cinco estados morfodinâmicos distintos entre si, entretanto, semelhantes aos apresentados por Wright, Short e Green (1985), com exceção do estado "banco e praia de cúspides", que foi excluído pelo autor, por não ter sido observado durante as campanhas utilizadas para elaboração do parâmetro delta. O parâmetro delta (Δ) é definido pela Eq. (8).

$$\Delta = \frac{\frac{sen\beta . D_{esp}}{H_b}}{\frac{T_{esp}}{T}} \tag{8}$$

Onde $sen\beta$ representa o seno do ângulo de declividade da face de praia (β), D_{esp} a distância percorrida pelo espraiamento entre o refluxo e topo da face de praia, e T_{esp} o período de tempo de uma excursão de subida do espraiamento. Muehe (1998) utiliza relações entre as características de onda na zona de arrebentação e na zona de espraiamento para obtenção do parâmetro delta. A primeira relação, no topo da função, aborda a relação entre a altura alcançada pelo espraiamento na face de praia ($sen\beta.D_{esp}$) e a altura de onda na arrebentação (H_b). A segunda, aborda a relação entre o período de tempo da excursão de subida do espraiamento (T_{esp}) e o período de tempo relativo à passagem de uma onda (T). A classificação morfodinâmica baseada no parâmetro delta (Δ), sugerida por Muehe (1998), é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Associação de equilíbrio entre estado da praia e Ω_e.

Estado Morfodinâmico	Delta (Δ)
Dissipativo	<0,5
Banco e Calha Longitudinal	0,5 – 0,8

Bancos Transversais	0,8 – 1,0
Terraço de Baixa-Mar	1,0 – 2,0
Refletivo	>2,0

Fonte: Muehe (1998).

É necessário marcar que a declividade da face de praia (β) é calculada a partir das características topográficas na face de praia, obtidas entre o alcance máximo e o recuo máximo do espraiamento. O valor disponibilizado pelo programa *Coastal MD* se refere a tangente desse ângulo (tanβ), em radianos, uma vez que esse valor é o mais utilizado nos cálculos de parâmetros relacionados à geomorfologia costeira. Para transformação de unidades, o valor da tanβ pode ser multiplicado por 57,3 para obtenção do valor da declividade em graus.

Além das funções principais do *Coastal MD*, relativas à caracterização de praias arenosas em estados modais, o programa auxilia ainda na classificação do tipo de quebra das ondas, inferência da direção preferencial de transporte longitudinal à costa, cálculo da velocidade de decantação de grãos (W_s) e da declividade do perfil de praia (tanβ). O programa conta também com uma calculadora de transformação de unidades do diâmetro de grãos, auxiliando na transformação de unidades logarítmicas em geométricas e vice-versa.

A classificação quanto ao tipo de quebra das ondas, é obtido através dos parâmetros de escala do surfe (ϵ) e de similaridade do surfe (ξ), discutidos anteriormente através das Eq. (1) a (3). Utilizando o parâmetro de escala do surfe (ϵ) de Guza e Inman (1975), Wright e Short (1984) estabeleceram valores de referência para os tipos de quebra. Quando $\epsilon \leq 2{,}5$, o tipo de quebra seria "ascendente"; quando $2{,}5 < \epsilon < 20$, o tipo de quebra seria "mergulhante"; quando $\epsilon > 20$, a quebra seria "progressiva". Utilizando-se do parâmetro de Similaridade do Surfe (ξ), Short (1999) aponta, a partir de Battjes (1994), que o tipo de quebra será progressiva quando $\xi < 0{,}64$, progressiva à mergulhante quando $0{,}64 < \xi < 5$; e ascendente quando $\xi > 5$.

A direção do transporte sedimentar é calculada utilizando o método descrito no trabalho de Muehe (1995). Para tal, deve-se medir com o auxílio de uma bússola, preferencialmente bússola de geólogo, o ângulo perpendicular ao alinhamento da linha de costa e o ângulo perpendicular ao alinhamento da crista das ondas. A diferença entre ambos aponta a direção preferencial do transporte de sedimentos, no momento da observação. Se a diferença der como resultado um valor negativo, indica que o transporte longitudinal seguirá da direita para esquerda em relação ao observador, entretanto, se o valor for positivo, indica que o transporte será oposto, ou seja, da esquerda para a direita. Caso o resultado seja zero, o transporte será nulo. Essa inferência se baseia no ângulo de aproximação das ondas em relação ao ângulo de alinhamento da costa, apresentando como resultante um ângulo relativo, que representa o ângulo de incidência das ondas na costa. O trabalho de Ashton e Murray (2006) aponta que quando esse ângulo relativo for $\cong 45°$, estaria relacionado ao ângulo crítico, que corresponderia a situação de maior transporte longitudinal, provocando instabilidade na linha de costa.

4. Discussão e Conclusão

Embora o programa *Coastal MD* tenha a capacidade de agilizar cálculos relativos aos parâmetros adimensionais, utilizados em classificações morfodinâmicas, além de outras funções úteis inerentes ao processamento de dados de campo de estudos costeiros, é de reponsabilidade do usuário a qualidade dos dados de entrada e interpretação dos resultados. Dessa forma, a coleta dos dados de campo de forma coerente com a literatura é fator determinante. É importante lembrar aos usuários que, apesar dos parâmetros adimensionais utilizados em classificações morfodinâmicas apresentarem uma taxa satisfatória de acerto em relação ao estado modal de praias expostas, observações empíricas relativas as características de feições praiais, como cúspides, gradiente da praia, presença e forma de bancos e calhas, devem ser levadas em consideração.

Os autores desse trabalho sugerem que os parâmetros estatísticos dos dados relativos à granulometria sejam processados pelo programa *Gradistat*, elaborado por Simon Blott em 2001 (BLOTT; PYE, 2001), também em linguagem VBA. O programa *Gradistat* é gratuito e tem sido utilizado por profissionais de diversos ramos das Geociências com sucesso. Assim, apesar do programa facilitar o trabalhoso cálculo estatístico, apresenta como dado de saída o valor estatístico da mediana (D_{50}) na unidade utilizada no *Coastal MD*, ou seja, em micrômetro (μm).

Para o usuário que tenha o diâmetro do grão em unidade diferente, o *Coastal MD* possui uma calculadora para transformação de unidades, tanto entre unidades geométricas (mm e μm), como para unidade logarítmica (φ).

Apesar do programa ser bastante vantajoso em relação ao processamento de dados referentes a geomorfologia costeira, principalmente em relação a parâmetros adimensionais, este possui certas limitações. A principal limitação se refere a análise de dados de praias onde a composição sedimentar seja distinta de praias arenosas compostas majoritariamente por quartzo, uma vez que a velocidade de decantação utilizada no programa se refere especificamente a este mineral, ou seja, é possível ocorrer alterações nos parâmetros caso as praias analisadas tenham a maior presença de outros minerais, e portanto, podem apresentar velocidades de decantação que não correspondem a realidade, em decorrência da diferença da densidade específica do quartzo em relação a outros minerais. Outro fator que pode influenciar nos valores de velocidade de decantação dos grãos se refere às características da água, que para o cálculo, foram definidas como água do mar a 20°C, implicando em valores padrões de viscosidade dinâmica e densidade. Dessa forma, quando as características do ambiente físico forem distintas aos valores utilizados como referência, a velocidade de decantação deve ser tomada como uma aproximação.

Para além da aplicação da classificação morfodinâmica, estes dados parametrizados em praias podem ser importantes em diversos tipos de estudos, por exemplo, na descrição conjunta com impactos de ondas geradas por tempestades, uma vez que praias com diferentes características morfodinâmicas podem apresentar respostas distintas em relação não somente às características dos impactos, mas também a capacidade de retorno às condições iniciais, conforme recentemente apresentado por Oliveira Filho, Santos e Fernandez (2020).

Cabe informar que nenhum dos dados solicitados na entrada são obrigatórios para o cálculo dos parâmetros. Se o usuário não possuir algum dos dados pode negligenciá-lo, entretanto, isso pode interferir nos dados de saída. Por exemplo, caso o usuário não tenha dados de direção de incidência das ondas, poderá calcular os demais parâmetros morfodinâmicos sem prejuízo, entretanto, caso o usuário não possua dados de diâmetro de grão, os parâmetros admensionais de morfodinâmica que utilizam esse dado serão seriamente prejudicados.

Ademais, o programa é capaz de realizar análises rápidas de dados relacionados à geomorfologia costeira, aumentando a capacidade de processamento e comparação de séries temporais. É também ideal para familiarização de alunos de graduação com a temática da geomorfologia costeira através da abordagem morfodinâmica. Para informações de uso do programa, consultar aba "Sobre", dentro da planilha do programa.

5. Acesso ao programa *Coastal MD*

Para a utilização do *Coastal MD* é necessário que o usuário tenha instalado o programa *Excel*, da empresa *Microsoft*, com versão referente ao ano de 2004 ou posterior (não funciona na versão online). O programa *Coastal MD* é gratuito e está disponível através do URL: http://bit.ly/coastalmd.

Os autores solicitam que os utilizadores do programa reconheçam os direitos autorais através de citação desta nota técnica em seus trabalhos.

Financiamento: Esta pesquisa foi financiada pelo Programa Nacional de Pós-Doutorado da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (PNPD/CAPES), bolsa n° 88882.306165/2018-01, por meio do Programa de Pós-Graduação em Geografia (POSGEO) da Universidade Federal Fluminense (UFF), campus da praia Vermelha, Niterói – RJ.

Agradecimentos: O autor principal reconhece os esforços da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) na concessão de bolsa de Pós-doutorado. Os autores agradecem a Simon Blott, criador do programa *Gradistat*, que pela ideia fundamental de facilitar o cálculo de dados estatísticos relacionados granulometria, serviu como fonte de inspiração para o desenvolvimento do programa *Coastal MD*. Um agradecimento especial para Alexandra Elbakyan, pela luta contra as barreiras no caminho da Ciência. Os autores agradecem ainda aos comentários dos avaliadores, que contribuíram sobremaneira para a finalização deste trabalho.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse. Os financiadores não tiveram interferência no desenvolvimento do estudo; na coleta, análise ou interpretação dos dados; na redação do manuscrito, ou na decisão de publicar os resultados.

Referências

1. AAGAARD, T.; DAVIDSON-ARNOTT, R.; GREENWOOD, B.; NIELSEN, J. Sediment supply from shoreface to dunes: Linking sediment transport measurements and long-term morphological evolution. **Geomorphology**, v. 60, n. 1–2, p. 205–224, 2004. DOI: 10.1016/j.geomorph.2003.08.002
2. AAGAARD, T.; GREENWOOD, B.; HUGHES, M. G. Sediment transport on dissipative, intermediate and reflective beaches. **Earth-Science Reviews**, v. 124, p. 32–50, set. 2013. DOI: 10.1016/j.earscirev.2013.05.002
3. AAGAARD, T.; MASSELINK, G. The Surfzone. In: SHORT. A. D. (Ed) **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Chichester, Wiley, p. 72-118, 1999.
4. ASHTON, A.; MURRAY, A. B. High-Angle Wave Instability and Emergent Shoreline Shapes: 1. Modeling of Sand Waves, Flying Spits, and Capes. **Journal of Geophysical Research**, Earth Surface, v. 111, 2006. DOI:10.1029/2005JF000422.
5. BATTJES, J. A. **Surf Similarity**. Coastal Engineering Proceedings, v. 1, n. 14, p. 26, 29 jan. 1974. DOI: 10.9753/icce.v14.26
6. BATTJES, J. A. Shallow water wave modelling, Proceedings to International Symposium: **Waves – Physical and Numerical Modeling**, eds. M. ISAACSON and M. QUICK, Vancouver, University of British Columbia, I, pp. 1–23, 1994.
7. BLOTT, S. J.; PYE, K. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 26, n. 11, p. 1237–1248, out. 2001. DOI: 10.1002/esp.261
8. DAVIDSON-ARNOTT, R. G.; MACQUARRIE, K.; AAGAARD, T. The effect of wind gusts, moisture content and fetch length on sand transport on a beach. **Geomorphology**, v. 68, n. 1–2, p. 115–129, 2005. DOI: 10.1016/j.geomorph.2004.04.008
9. DEAN, R. G. **Heuristic Models of Sand Transport in the Surf Zone**. First Australian Conference on Coastal Engineering: Engineering Dynamics of the Coastal Zone. Sydney, N.S.W.: Institution of Engineers, Australia, p. 215-221, 1973.
10. EICHENTOPF, S.; KARUNARATHNA, H.; ALSINA, J. M. Morphodynamics of sandy beaches under the influence of storm sequences: Current research status and future needs. **Water Science and Engineering**, v. 12, n. 3, p. 221–234, 2019. DOI: 10.1016/j.wse.2019.09.007
11. GALLOP, S. L.; KENNEDY, D. M.; LOUREIRO, C.; NAYLOR, L. A.; MUÑOZ-PÉREZ, J. J.; JACKSON, D. W. T.; FELLOWES, T. E. Geologically controlled sandy beaches: Their geomorphology, morphodynamics and classification. **Science of the Total Environment**, v. 731, p. 139123, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139123
12. GIBBS, R. J.; MATTHEWS, M. D.; LINK, D. A. The Relationship Between Sphere Size and Settling Velocity. **Journal of Sedimentary Research**, v. 41, n. 1, p. 7–18, 1971. DOI: 10.1306/74d721d0-2b21-11d7-8648000102c1865d
13. GÓMEZ-PUJOL, L.; ORFILA, A. Reflective–dissipative continuum. In: **Sandy Beach Morphodynamics**. Elsevier, 2020. p. 421–437. DOI: 10.1016/B978-0-08-102927-5/00018-7
14. GOURLAY, M. R. **Beach and Dune Erosion Tests**. Delft Hydraulics Laboratory, Report M935/M936, p. 701–707, 1968.
15. GUZA, R. T.; INMAN, D. L. Edge waves and beach cusps. **Journal of Geophysical Research**, v. 80, n. 21, p. 2997–3012, 1975. DOI: 10.1029/JC080i021p02997
16. HESP, P. Morphodynamics of incipient foredunes in new south wales, Australia. In: BROOKFIELD, M. E.; AHLBRANDT, T. S. (Eds.). **Eolian Sediments and Processes**. Elsevier, 1983. v. 38, p. 325–342. DOI: 10.1016/S0070-4571(08)70802-1
17. HESP, P. A. **Surfzone-beach-dune interactions**. NCK-days 2012: Crossing borders in coastal research: jubilee conference proceedings. The Netherlands: University of Twente, Department of Water Engineering & Management, p. 35-40, 2012. DOI: 10.3990/2.168
18. HESP, P. A.; SMYTH, T. A. G. Surfzone-Beach-Dune interactions: Flow and Sediment Transport across the Intertidal Beach and Backshore. **Journal of Coastal Research**, v. 75, n. sp1, p. 8–12, 2016. ISSN: 0749-0208
19. HOUSER, C.; ELLIS, J. Beach and Dune Interaction. In: SHRODER, J. (Editor in Chief), SHERMAN, D. J. (Ed.). **Treatise on Geomorphology**. Academic Press, San Diego, CA, vol. 10, Coastal Geomorphology, pp. 308–327, 2013. DOI: 10.1016/B978-0-12-374739-6.00283-9
20. JACKSON, D. W. T.; COOPER, J. A. G. Geological Control on Beach Form: Accommodation Space and Contemporary Dynamics. **Journal of Coastal Research**, v. SI, n. 56, p. 69–72, 2009. ISSN: 0749-0208
21. JACKSON, D. W. T.; COOPER, J. A. G.; DEL RIO, L. Geological control of beach morphodynamic state. **Marine Geology**, v. 216, n. 4, p. 297–314, 2005. DOI: 10.1016/j.margeo.2005.02.021
22. JACKSON, D. W. T.; SHORT, A. D. Introduction to beach morphodynamics. In: JACKSON, D. W. T.; SHORT, A. D (Ed.) **Sandy Beach Morphodynamics**. Elsevier, 2020. p. 1–14. DOI: 10.1016/B978-0-08-102927-5.00001-1
23. JEUKEN, M. C. J. L.; WANG, Z. B. Impact of dredging and dumping on the stability of ebb-flood channel systems. **Coastal Engineering**, v. 57, n. 6, p. 553–566, 2010. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2009.12.004

24. MALVÁREZ, G.; NAVAS, F.; GUISADO-PINTADO, E.; JACKSON, D. W. T. Morphodynamic interactions of continental shelf, beach and dunes: the Cabopino dune system in southern Mediterranean Spain. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 44, n. 8, p. 1647–1658, 2019. DOI: 10.1002/esp.4600
25. MASSELINK, G.; SHORT, A. D. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: A conceptual beach mode. **Journal of Coastal Research**, v. 9, n. 3, p. 785–800, 1993.
26. MONGE-GANUZAS, M.; CEARRETA, A.; EVANS, G. Morphodynamic consequences of dredging and dumping activities along the lower Oka estuary (Urdaibai Biosphere Reserve, southeastern Bay of Biscay, Spain). **Ocean and Coastal Management**, v. 77, p. 40–49, 2013. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2012.02.006
27. MORTON, R. A.; GIBEAUT, J. C.; PAINE, J. G. Meso-scale transfer of sand during and after storms: implications for prediction of shoreline movement. **Marine Geology**, v. 126, n. 1–4, p. 161–179, 1995. DOI: 10.1016/0025-3227(95)00071-6
28. MORTON, R. A.; SALLENGER, A. H. Morphological impacts of extreme storms on sandy beaches and barriers. **Journal of Coastal Research**, v. 19, n. 3, p. 560–573, 2003. ISSN: 0749-0208
29. MUEHE, D. Geomorfologia costeira. In: A. J. T. GUERRA & S. B. CUNHA (orgs.) **Geomorfologia: Exercícios, técnicas e aplicações.** p.191-238. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 7ª ed., 1995. ISBN: 978-8528605488
30. MUEHE, D. Estado morfodinâmico praial no instante da observação: uma alternativa de identificação. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 46, n. 2, p. 157–169, 1998. DOI: 10.1590/S1413-77391998000200005.
31. MUEHE, D. Pós-praia não deve ser traduzido como backshore – uma revisão da terminologia brasileira do sistema praia – antepraia. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 10, n. 1, p. 40–43, 2019. ISSN: 2176-6142
32. PSUTY, N. P. Sediment budget and dune-beach interaction. **Journal of Coastal Research**, v. SI 3, n. 3, p. 1–4, 1988.
33. VAN RIJN, L. C. Coastal erosion and control. **Ocean and Coastal Management**, v. 54, n. 12, p. 867–887, 2011. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2011.05.004
34. SALLENGER, A. H. Storm impact scale for barrier islands. **Journal of Coastal Research**. v. 16, n. 3, p. 890–895, 2000.
35. SENECHAL, N.; ALEGRÍA-ARZABURU, A. R. Seasonal imprint on beach morphodynamics. In: **Sandy Beach Morphodynamics**. Elsevier, 2020. p. 461–486. DOI: 10.1016/B978-0-08-102927-5/00020-5
36. SHERMAN, D. J.; BAUER, B. O.; NORDSTROM, K. F.; ALLEN, J. R. A Tracer Study of Sediment Transport in the Vicinity of a Groin: New York, U.S.A. **Journal of Coastal Research**, v. 6, n. 2, p. 427–438, 1990.
37. SHEPARD, F. P. 1950. **Beach cycles in Southern California**. Beach Erosion board. Technical Memorandum, n. 20, 1950, 26p.
38. SHORT, A. D. Macro-meso tidal beach morphodynamics: an overview. **Journal of Coastal Research**, v. 7, n. 2, p. 417–436, 1991.
39. SHORT, A. D. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Sydney, Australia: John Wiley & Sons, 1999. 379 p.
40. SHORT, A. D. Australian Beach Systems—Nature and Distribution. **Journal of Coastal Research**, v. 221, p. 11–27, jan. 2006. DOI: 10.2112/05A-0002.1
41. SHORT, A. D. Sediment Transport around Australia—Sources, Mechanisms, Rates, and Barrier Forms. **Journal of Coastal Research**, v. 263, n. 3, p. 395–402, 2010. DOI: 10.2112/08-1120.1
42. SHORT, A. D.; HESP, P. A. Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia. **Marine Geology**, v. 48, n. 3–4, p. 259–284, 1982. DOI: 10.1016/0025-3227(82)90100-1
43. SHORT, A. D.; JACKSON, D. W. T. Beach Morphodynamics. In: SHRODER, J. (Editor in Chief), SHERMAN, D.J. (Ed.). **Treatise on Geomorphology**. Academic Press, San Diego, CA, vol. 10, Coastal Geomorphology, p. 106–129, 2013. DOI: 10.1016/B978-0-12-374739-6.00275-X
44. WANG, Z. B.; MAREN, D. S. VAN; DING, P. X.; YANG, S. L.; PROOIJEN, B. C. VAN; VET, P. L. M. DE; WINTERWERP, J. C.; VRIEND, H. J. DE; STIVE, M. J. F.; HE, Q. Human impacts on morphodynamic thresholds in estuarine systems. **Continental Shelf Research**, v. 111, p. 174–183, 2015. DOI: 10.1016/j.csr.2015.08.009
45. WRIGHT, L. D.; CHAPPELL, J.; THOM, B. G.; BRADSHAW, M. P.; COWELL, P. Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems: Southeastern Australia. **Marine Geology**, v. 32, n. 1–2, p. 105–140, 1979. DOI: 10.1016/0025-3227(79)90149-X
46. WRIGHT, L.D., SHORT, A.D. Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. In: Komar, P.D. (Ed.), CRC **Handbook of Coastal Processes and Erosion.** CRC Press, Boca Raton, pp. 35–64, 1983.
47. WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. **Marine Geology**, v. 56, n. 1–4, p. 93–118, 1984. DOI: 10.1016/0025-3227(84)90008-2

48. WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D.; GREEN, M. O. Short-term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: An empirical predictive model. **Marine Geology**, v. 62, n. 3–4, p. 339–364, 1985. DOI: 10.1016/0025-3227(85)90123-9
49. WRIGHT, L.D.; THOM, B.G. Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment** v. 1, n. 3, 1977. DOI: 10.1177/030913337700100302
50. ZHANG, K.; DOUGLAS, B.; LEATHERMAN, S. Do storms cause long-term beach erosion along the U.S. East Barrier Coast? **Journal of Geology**, v. 110, n. 4, p. 493–502, 2002. DOI: 10.1086/340633

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.