

## **TERMO DE REFERÊNCIA 4**

### **PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA BIODIVERSIDADE AQUÁTICA ANEXO 4 - MONITORAMENTO DE POTENCIAIS IMPACTOS DO REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO NA PRAIA E ANTEPRAIA ADJACENTES DA DESEMBOCADURA DO RIO DOCE**

#### **1. CONTEXTO:**

Em 5 de novembro de 2015 houve o rompimento da barragem de rejeitos de minério de ferro na localidade de Mariana (MG), deslocando volume de contaminantes ao longo de quase 700 km até à foz do Rio Doce na localidade de Regência (ES) e na plataforma continental adjacente. Em 7 de dezembro, a mancha de material em suspensão se espalhou ao longo da costa em quase 80 km, sendo que 57 km para o norte e 17,5 km para o sul, além de 18 km costa-à-fora.

A possibilidade de contaminação das areias das praias adjacentes levou à retirada de ninhos de ovos de tartaruga, e seu deslocamento para outras praias, e à proibição de banho de mar, prejudicando as atividades econômicas e recreacionais da região costeira.

Tendo em vista a preocupação relativa à contaminação das praias, faz-se necessário o monitoramento do sistema praial, afim de se obter respostas para as seguintes questões:

Qual o alcance máximo dos contaminantes ao longo da costa?

Qual seu deslocamento ao longo do tempo?

Quais processos morfodinâmicos envolvidos na distribuição dos contaminantes?

Existe a possibilidade dos contaminantes atingirem a berma alta da praia e a costa e, em caso afirmativo, em que condições de energia de onda?

Qual a resiliência do sistema praia-antepraia para neutralizar a ação dos contaminantes ao longo do tempo nos sedimentos e na fauna bentônica?

Ao responder a estas questões será possível avaliar a balneabilidade da praia ao uso recreativo e avaliar as condições ambientais dos ecossistemas a distribuição espacial e a magnitude dos impactos e as consequências sobre as atividades ecológicas e econômicas do litoral.

#### **2. ÁREA DE ESTUDO:**

A área de abrangência do monitoramento físico, químico e biológico ao longo do litoral deverá ser entre os municípios de Aracruz e São Mateus.

Deverão ser estabelecidas 10 estações amostrais ao longo deste litoral conforme Tabela 1 e Figura 1. As estações ao longo da planície do Rio Doce estão localizadas na área da

Reserva Biológica de Comboios e ao sul, no litoral de Aracruz, na Área de Proteção Ambiental Costa das Algas e Refúgio de Vida Silvestre de Santa Cruz.

**Tabela 1.** Localização aproximada das Estações amostrais do monitoramento do sistema praial. Coordenadas em UTM (Universal Transverse Mercator System; UTM 0,1km 24k)

ESTAÇÕES	LESTE	SUL
ARACRUZ 1 REFUGIO	379908.84	7787892.11
ARACRUZ 2 PADRES - APA	382270.68	7795558.15
DOCE SUL 1 BARRA DO RIACHO	389347.01	7807767.30
DOCE SUL 2 COMBOIOS	398484.04	7818545.93
DOCE SUL 3 REGENCIA	407416.77	7824460.67
DOCE NORTE 1 POVOAÇÃO	417864.00	7834350.00
DOCE NORTE 2: VILA DE CACIMBAS	426647.00	7857980.00
DOCE NORTE: PONTAL DO IPIRANGA	425785.00	7877396.00
DOCE NORTE 4: URUSSUQUARA	423027.00	7897769.00
DOCE NORTE 5: GURIRI	421309.00	7929528.00

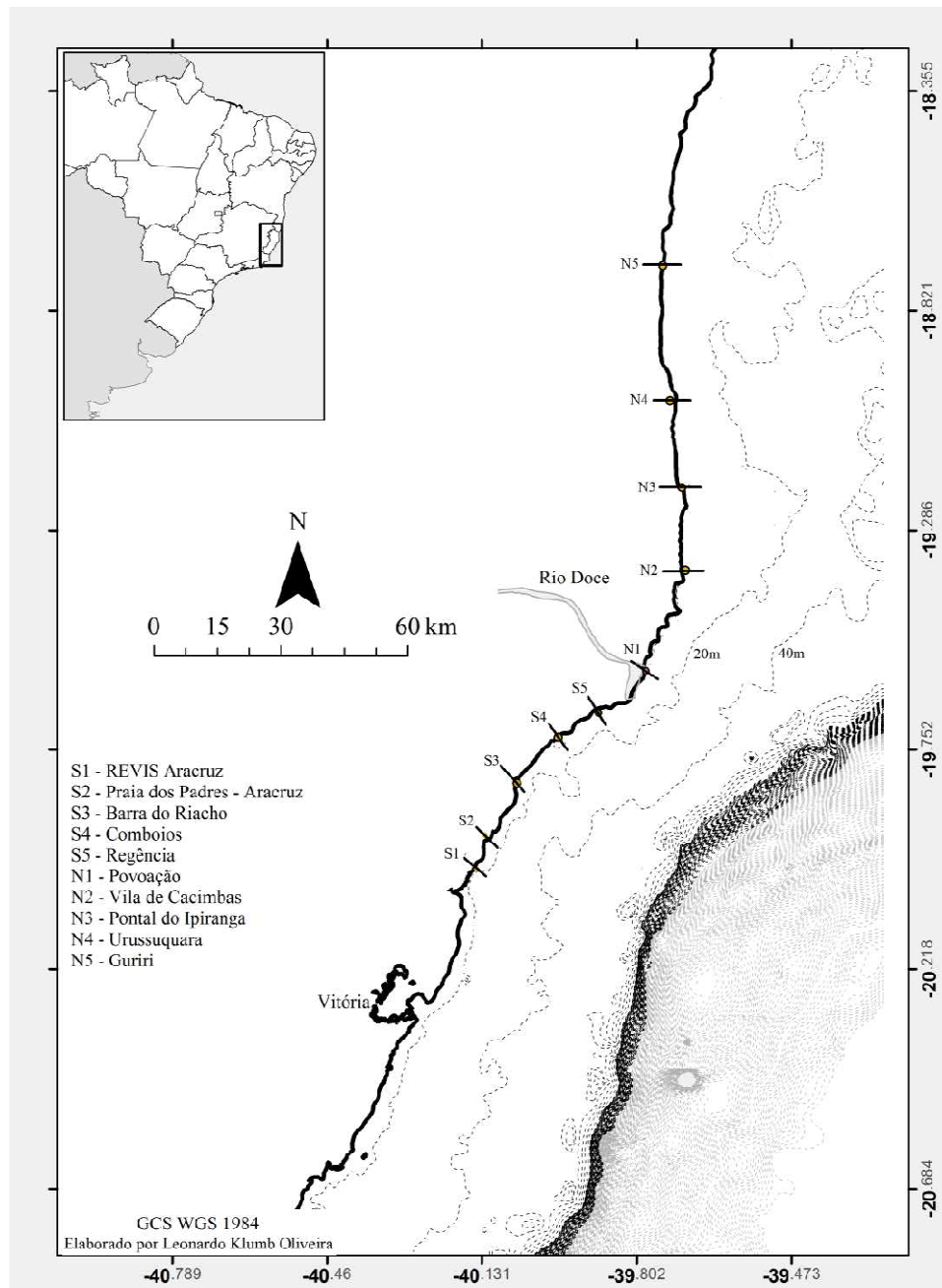


Figura 1: Representação esquemática da área de estudo, indicando as estações amostrais de coleta. Batimetria: SRTM15-Plus.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Estações, distribuição e sazonalidade das coletas

O monitoramento das praias adjacentes a desembocadura do rio Doce deverá ser realizado através de levantamentos de perfis topobatimétricos praias transversais à costa, com coleta de sedimentos para análises físicas, químicas e biológicas. O levantamento dos perfis topográficos deverá ser estendido até a isóbata de 10m, onde

deverão ser obtidos, com auxílio de uma embarcação e mergulhador, dados batimétricos e de sedimentos, por meio de coleta superficial e testemunhagem.

As informações deverão ser analisadas de forma integrada a fim de permitir conhecer a distribuição e alcance da lama ao longo das praias. Informações sobre o clima de ondas permitirão o desenvolvimento de modelos aplicados na interpretação adequada dos processos envolvidos na distribuição do material, na identificação das áreas preferenciais de deposição e ainda, na discussão da resiliência e adaptação morfodinâmica da praia em função da incorporação da fração lamosa.

### 3.2 Morfologia e sedimentologia

#### *3.2.1 Caracterização multidecadal do clima de ondas*

Com a finalidade de embasar a interpretação morfodinâmica de curto prazo, assim como para verificar tendências de longo prazo, deverá ser realizada uma avaliação multidecadal do clima de ondas, a partir das principais variáveis estatísticas, como altura significativa ( $h_s(m)$ ), período de pico ( $T_p(s)$ ) e direção de pico ( $\theta^\circ$ ). Os dados de longo prazo deverão ser obtidos a partir de modelos globais de ondas superficiais, como o *Global Ocean Waves* (Reguero et al. 2012) e NOAA-WW3 (Tolman, 2009). O comportamento do espectro de ondas deverá ser propagado para águas rasas utilizando-se para tanto modelos numéricos específicos para tal finalidade, como SMC-Brasil, Sisbahia ou Delft 3D-WAVE, com resolução de malha adequada à batimetria disponível.

#### *3.2.2 Monitoramento de perfis topobatimétricos*

Perfis topobatimétricos deverão ser monitorados ao longo da costa entre as estações (UTM - WGS 1984) 379908.84/7787892.11 e 421309.00/7929528.00 e consistirão em cinco perfis ao norte e cinco ao sul da desembocadura do Rio Doce.

Os perfis deverão ser levantados a partir do limite da pós praia e devem se estender para a zona submarina até o limite da antepraia média, ou seja até a profundidade de fechamento, em torno da isóbata de 10 m.

O levantamento dos perfis de praia deverá ser feito por meio de posicionamento espacial e altimétrico por meio de posicionamento em tempo real (GPS RTK) ou outros métodos como nivelamento topográfico por meio em estação total, nível ou teodolito. Os perfis topográficos deverão ser estendidos para além da zona de arrebentação para subsequente acoplagem com o levantamento de perfis batimétricos.

O levantamento da zona submarina (antepraia) deverá ser feita por meio de embarcação (jet ski, traineira ou lancha) com posicionamento por GPS RKT empregando ecobatimetria de dupla frequência para definir a profundidade e a espessura da camada de lama.

A acoplagem do perfil da praia com o da antepraia deverá ser feita empregando metodologia proposta por Muehe (MUEHE, 2004) e consiste em transportar a cota altimétrica definida para o perfil de praia, por meio de ajuste à previsão maregráfica (MUEHE, 2003), por nivelamento desta cota à profundidade da posição da embarcação com a colocação de uma mira topográfica ao lado da embarcação.

A determinação do estágio morfodinâmico praiial (SHORT, 1979; WRIGHT & SHORT1984), deverá ser utilizada como indicação de sua variabilidade topográfica, a partir de observações de altura (Hb) e período da onda (T) na arrebentação e sua comparação com a distância (Dup) e duração (Tup) do espraiamento da onda na face da praia, através da equação proposta por MUEHE (1998):

$$\Delta = [(\text{sen}\beta \text{ Dup})/\text{Hb}]/(\text{Tup}/\text{T})$$

A caracterização morfodinâmica da praia juntamente com a caracterização do clima de ondas permitirá avaliar a amplitude de mobilidade da praia e o alcance máximo vertical das ondas (*run up*) ao longo da praia e áreas de desova das tartarugas, objetivando determinar a vulnerabilidade das praias quanto a mobilidade e/ou possibilidade de contaminação nas áreas de proteção.

### 3.2.3 Análise Sedimentológica

Ao longo dos perfis topobatimétricos deverão ser abertas trincheiras e coletados testemunhos em 3 subfeições a saber: berma, face praia e antepraia. Nas porções emersas deverão ser utilizados trados e na antepraia, um testemunhador com o auxílio de um mergulhador. Amostras superficiais deverão ser coletadas, utilizando-se draga estilo Van Veen.

Os sedimentos das diferentes camadas sedimentares identificadas deverão ser analisadas quanto à granulometria e composição. Os mesmos sedimentos deverão ser coletados para as análises geoquímicas e análises da macro e meio fauna.

As análises granulométricas deverão ser realizadas com auxílio de um granulômetro (análise à laser). As amostras devem passar por uma preparação prévia que consiste em lavagem, secagem, quarteamento e extração, e posterior quantificação, da matéria orgânica. Os parâmetros estatísticos serão determinados a partir do proposto por Folk e Ward (1957) utilizando o programa livre GRADISTAT (BLOTT e PYE, 2001).

As análises composicionais devem constituir na determinação dos teores e composição dos carbonatos, casos abundantes, e na determinação dos teores e composição dos minerais pesados. Os minerais pesados deverão ser separados da fração leve por separação dessimétrica, de acordo com (Dias, 2004) e a identificação deverá ser realizada em lupas, conforme proposto por Addad (2001).

#### 3.2.4 Integração morfodinâmica

A partir das informações morfológicas e sedimentológicas e análise dos perfis topobatimétricos deverá ser identificado o gradiente topográfico submarino e realizada a comparação com o perfil de equilíbrio teórico. Deverá ser avaliada a distribuição e espessura da cobertura de lama sobre o substrato arenoso e sua atuação na morfodinâmica praial.

A caracterização da morfodinâmica da praia juntamente com a caracterização do clima de ondas permitirá avaliar a amplitude de mobilidade da praia e o alcance máximo vertical das ondas (*run up*) a partir de modelos como os propostos por Stockdon et al (2006) e Sallenger et al (2002) ao longo da praia.

O monitoramento deve permitir compreender as alterações morfodinâmicas, adaptação e resiliência do sistema praial em função da incorporação, mobilização e redistribuição da fração lamosa incorporada às praias.

### 3.3. Monitoramento da Fauna Bentônica

Para o monitoramento da estrutura da comunidade de invertebrados bentônicos marinhos serão coletadas amostras de meiofauna e macrofauna nas praias do litoral norte do Espírito Santo. Durante três anos, deverão ser realizadas coletas semestrais e, a partir disso, as coletas ocorrerão em anos intercalados. O objetivo do monitoramento deve ser avaliar os impactos provenientes do resíduo de mineração no comportamento da fauna bentônica marinha nas praias arenosas sob possível influência da pluma de sedimento. Nessa região, algumas áreas já possuem dados anteriores que devem ser usados para fins de comparação.

#### 3.3.1 Procedimentos de campo

Coletas semestrais deverão ser realizadas em dez pontos distribuídos ao longo do litoral norte do Espírito Santo, em diferentes faixas de praia: antepraia (infralitoral), face praial (mesolitoral) e berma (supralitoral), sempre em maré baixa de sizígia. Em cada faixa de cada ponto, deverão ser coletadas amostras de macrofauna e meiofauna sempre em triplicatas.

Para as análises da fauna bentônica (macro e meiofauna), as amostras deverão ser tomadas com amostradores cilíndricos (para a macrofauna - 15 cm de diâmetro e 20 cm de profundidade; para a meiofauna - 2 cm de diâmetro e 10 cm de profundidade). As amostras da macrofauna devem ser lavadas em campo em malha de 0,5mm, acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados e fixadas em solução de formalina a 5%. Já as amostras de meiofauna devem ser diretamente acondicionadas em frascos plásticos em solução de formalina a 5%. Dados de salinidade e temperatura da água devem ser registrados com refratômetro e multiparâmetro.

### 3.3.2 *Análise das amostras e tratamento dos dados*

Em laboratório, a macrofauna deverá ser triada manualmente e os organismos encontrados deverão ser identificados sob microscópio estereoscópico e óptico, com auxílio de bibliografia especializada. As amostras de meiofauna devem ser lavadas em peneira de 0,063mm. A meiofauna deve ser extraída através de uma solução açucarada com gravidade específica de 1,14 e montadas lâminas semi-permanentes onde os organismos serão quantificados e identificados em grandes grupos e a nematofauna deverá ser identificada a categoria de gênero, sob microscópio óptico.

Como descritores univariados da fauna deverão ser utilizados os valores de densidade, riqueza (número de espécies), diversidade de Shannon-Wiener ( $H' \log_2$ ) e densidade dos organismos mais abundantes. Para testar a significância dos descritores univariados da fauna deve-se aplicar análises de variância (ANOVA). Para as estatísticas multivariadas devem ser utilizadas análises de ordenação (MDS), de variância permutacional (PERMANOVA) e de classificação (SIMPER) como proposto por Clarke & Ainsworth (1993), Clarke & Warwick (1994) e Anderson et al. (2008). Para a realização das análises estatísticas devem ser utilizados os aplicativos STATISTICA, PRIMER.

#### 3.4.1. Monitoramento da qualidade química das areias

A praia é constituída basicamente por areia, que é um sedimento de origem mineral, cuja composição química é majoritariamente quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), podendo conter também minerais dispersos, como feldspato entre outros. Na berma ocorre a maior parte da utilização das praias para fins de lazer por parte da população, e é, geralmente, escolhida como área de desova das tartarugas marinhas. Sendo assim, monitorar a presença de contaminantes químicos na areia das praias torna-se bastante relevante. Desta forma, o objetivo deste procedimento deve ser avaliar a presença de elementos traço por espectrometria atômica na areia das praias e avaliar o impacto causado a este local após o acidente. A coleta deve ser realizada conjuntamente ao estudo de morfologia e sedimentologia.

#### 3.4.1 *Pré-Tratamento das amostras*

No laboratório as amostras devem ser secadas a 60 °C, moídas, homogeneizadas adequadamente e peneiradas para obtenção de uma fração representativa para posterior análise química.

**Fração Biodisponível:** Para extração da fração biodisponível deve ser utilizada a norma ASTM D3974–09 (ASTM, 2015), para a qual uma massa de amostra seca é pesada e transferida para um recipiente de polipropileno, onde são adicionados 100 mL de HCl 2,5% m/v. O sistema deve ser submetido ao agitador mecânico por 16 h a temperatura controlada de 25°C. O extrato obtido após filtração deve ser analisado por ICP OES.

**Fração Total:** O procedimento de decomposição das amostras deve ser adaptado a partir da norma EPA SW-846-3051 (U.S. EPA,2007). Esta metodologia preconiza a digestão pseudo-total de amostras de solos e sedimentos utilizando radiação micro-ondas para aquecimento e diferentes combinações de reagentes. Deve ser utilizada uma massa de aproximadamente 0,25 g de amostra. Após a decomposição das amostras, as soluções amostrais deverão ser filtradas e avolumadas a 25,00 mL. Essas soluções devem ser armazenadas em local adequado para posterior determinação dos elementos traço por espectrometria atômica.

#### *3.4.2 Análise das amostras e tratamento dos dados*

A determinação dos metais deverá ser realizada em ICP OES, modelo Optima 7000DV (PerkinElmer, USA), ICP-MS NexIon 300D (PerkinElmer, USA) e AAS (Analytik Jena, Alemanha), utilizando as condições operacionais estabelecidas por (SOUSA, 2015).

Os resultados das análises realizadas deverão ser avaliados estatisticamente em termos de estudos de correlação e análise exploratória de dados, seguindo os princípios da Quimiometria. Aos dados deve-se aplicar a técnica de Análise por Componentes Principais (PCA) e Análise Hierárquica de Clusters (HCA). Os dados devem ser tratados nos softwares Microsoft Excel e Matlab. MINITAB, versão 16 (JURADO, 2005; WOLD, 1987).

As análises e interpretação deverão ser realizadas a partir da integração dos dados de morfodinâmica da praia, sedimentologia das areias, geoquímica dos sedimentos e composição bentônica.

## **4. PERIODICIDADE**

O monitoramento deverá ser realizado ao longo de 5 (cinco) anos, sendo que nos 3 (três) primeiros anos deverão ser realizadas no mínimo quatro campanhas anuais para as análises físicas e geoquímicas e duas campanhas para a análise da comunidade bentônica. Nos anos seguintes deverão ser realizadas campanhas anuais. Contudo, a frequência de repetição e extensão espacial das campanhas deverão estar sujeitas a alteração a partir dos resultados, sendo importante realizar uma campanha após um evento de tempestade excepcional que poderá remobilizar sedimentos da plataforma e antepraia e levar a depositar contaminantes na berma da praia, dunas e terraços arenosos por transposição das ondas.

## **5. PRODUTOS**

- a) Cronograma e planejamento logístico de execução dos estudos, a ser apresentado ao ICMBio em até 15 dias antes da primeira coleta;
- b) Relatórios científicos semestrais, contendo a metodologia empregada, resultados e discussões; análise integrada abrangendo todos os componentes monitorados; proposição



de ações e medidas de recuperação; avaliação da necessidade de ajustes metodológicos e sugestões.

c) Base de dados do monitoramento, contendo as planilhas eletrônicas com os dados de campo e as imagens em formato digital - a ser entregue semestralmente.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDAD JE. 2001 Minerais Pesados: uma ferramenta para prospecção, proveniência, paleogeografia e análise ambiental. São Paulo: Imprensa Universitária. Centro Gráfico da UFMG, 80p.
- ANDERSON MJ, GORLEY RN, CLARKE KR 2008 PERMANOVA for PRIMER: guide to software and statistical methods. PRIMER-E, Plymouth.
- BLOTT S; PYE, K 2001 Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surf. Process. Landforms* 26, 1237–1248.
- CLARKE KR 1993 Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Austr J Ecol* 18:117–143
- CLARKE KR, AINSWORTH M 1993 A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Mar Ecol Prog Ser* 92:205–219
- DIAS, J.A. 2004 A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos (Uma Introdução à Oceanografia Geológica). E-book [http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb\\_Sediment.html](http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_Sediment.html)
- FOLK, R, WARD, W. 1957 Brazos river bar. A study in the significance of grain size parameters. *Journal. Sed. Petrology*, 27 (1): 3-26.
- JURADO, JM, ALCAZAR, A, PABLOS, F, MARTÍN, MJ, GONZÁLES, AG, 2005 Classification of aniseed drinks by means of cluster, linear discriminant analysis and soft independent modelling of class analogy based on their Zn, B, Fe, Mg, Ca, Na and Si content. *Talanta* 66:1350-1354.
- MUEHE, D 1998 Estado Morfodinâmico Praial no Instante da Observação: uma alternativa de identificação. *Revista Brasileira de Oceanografia, Instituto Oceanográfico USP*, v. 46, n.2, p. 157-169.
- MUEHE, D, ROSO, R, SAVI, DC 2003 Avaliação de método exedito de determinação do nível do mar como datum vertical para amarração de perfis de praia. *Revista Brasileira de Geomorfologia, Goiânia*, v. 4, n.1, p. 53-57.
- MUEHE, D 2004 Método de levantamento topo-batimétrico do sistema praia-antepraia. *Revista Brasileira de Geomorfologia, Uberlândia*, v. 5, n.1, p. 95-100.
- SALLENGER, A H; KRABILL, W; BROCK, J; SWIFT, R; MANIZADE, S; STOCKDON, H 2002 Sea-cliff erosion as a function of beach changes and extreme wave runup during the 1997-1998 El Niño. *Marine Geology*: 279-297.
- SOUSA, RM 2015 *Avaliação da Contaminação das Areias de Praia do Litoral do Espírito Santo por Elementos-traço*. 120p. Dissertação de Mestrado – PPGQUI/CCE/UFES, Vitória.

STOCKDON, HF, HOMAN, RA, HOWD, PA., SALLENGER, AH, 2006 Empirical parameterization of setup, swash and runup. *Coast. Eng.* 53, 573-588.

SHORT, AD, 1979. Three dimensional beach stage model. *Journal of Geology.* 87:553-571.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Method 3051A – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Washington, DC, 2007. 30p. Disponível em: <<http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>> Revision 1, Acesso em: 17 Junho de 2007.

WOLD, S.; 1987 Principal Componente Analysis. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 2:37–52.

WRIGHT, LD, SHORT, AD 1984 Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. Marine Geology, 56:93-118.