

Assinaturas microtexturais de processos, ambientes e fontes sedimentares. O depósito de tsunami de 1755 na Boca do Rio - um caso de estudo

Pedro J. M. Costa¹, César Andrade² e Maria da Conceição Freitas³

Resumo: Neste trabalho apresenta-se o caso de estudo da Boca do Rio, onde um tsunami mobilizou e transportou areias quártzicas, médias a finas, redepositando-as em ambiente estuarino. Neste caso, a técnica de análise microtextural foi aplicada, com sucesso, para diferenciar ambientes, identificar sedimentos-fonte do depósito de tsunami e caracterizar assinaturas microtexturais típicas deste evento de alta energia.

No caso da Boca do Rio, o estudo microtextural identificou como fontes sedimentares preferenciais do depósito de tsunami as areias de praia, duna e fundos submarinos proximais. Demonstrou-se também que o transporte por eventos de inundação costeira de alta energia, apesar de breve e de envolver reduzidas distâncias, permite a impressão de microtexturas; sugere-se que a concentração de sólidos na lâmina de água possa modular a tipologia microtextural.

Este trabalho confirma o potencial da utilização da análise microtextural como técnica de análise sedimentológica, nomeadamente em estudos de proveniência, aplicada a ambientes costeiros desde que enquadrados no contexto geomorfológico e sedimentar local a regional.

A aplicação de análise microtextural em estudos sedimentares tem sido especialmente orientada no sentido de determinar a origem dos grãos de quartzo e identificar os processos activos até à sua deposição ou pós-deposicionais, com incidência especial nos episódios de imobilização (pedogénese), transporte em contextos recentes, fluviais e glaciais.

Palavras-chave: Microtexturas, Proveniência, Sedimentologia, Ambientes costeiros, Tsunamis, Exoscopia

Abstract: In this work, Boca do Rio study case is presented. In this area a tsunami mobilized and transported medium to fine quartz sand, redepositing them in an estuarine environment. In this specific study case, the microtextural analysis was applied with success in the differentiation of sedimentary environments, in the identification of source material and in the characterization of tsunamigenic microtextural signatures.

In Boca do Rio, the microtextural study identified beach, dune and inshore as the most likely sediment sources of the tsunami deposit. It was demonstrate that high energy ma-

¹Centro de Geologia da Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Edifício C6, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal. E-mail: ppcosta@fc.ul.pt

²Centro de Geologia da Universidade de Lisboa e Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Edifício C6, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal. E-mail: candrade@fc.ul.pt

³Centro de Geologia da Universidade de Lisboa e Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Edifício C6, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal. E-mail: cfreitas@fc.ul.pt

rine inundations, despite the short distances travelled and brief duration, are capable of carving microtextures in grains surfaces; which led to the suggestion that sediment concentration plays a decisive role in the type of microtexture imprinted in the grain.

Keywords: Microtextures, Provenance, Sedimentology, Coastal environments, Tsunamis, Exoscopy

1. Introdução

Desde a década de 1960 que um número considerável de trabalhos foi publicado sobre assinaturas microtexturais em grãos de areia quártzica (Tabela 1). Alguns autores elencam as microtexturas detectadas e os ambientes sedimentares que se lhes associam, através de uma organização em atlas (Gillott 1974, Krinsley e Doornkamp 1973, Le Ribault 1977, Mahaney 2002). Os atlas que têm sido mais usados (e citados na bibliografia) são os de Krinsley e Doornkamp (1973) e Mahaney (2002).

Tabela 1. Publicações centradas na análise microtextural de sedimentos.
Table 1. Published research focusing microtextural analysis of sediments.

	Referências
Atlas (vários ambientes e processos)	Krinsley e Doornkamp 1973, Gillott 1974, Le Ribault 1977, Mahaney, 2002
Sedimentos eólicos	Bonatti e Arrhenius 1965, Nieter e Krinsley 1976, Pye 1983, Thomas 1987, Newsome e Ladd 1999, Abu-Zeid <i>et al.</i> 2001, Costa <i>et al.</i> 2013
Sedimentos costeiros	Bettencourt <i>et al.</i> 1989, Pyokari 1997, Abd-Alla 1991, Sagga 1992, Costa <i>et al.</i> 2012a,b
Sedimentos fluviais	Frihy e Stanley 1987, Moral-Cardona <i>et al.</i> 1996, Helland <i>et al.</i> 1997, Kasper-Zubillaga e Dickinson, 2001, Mahaney <i>et al.</i> 2001
Sedimentos glaciais	Dowdeswell <i>et al.</i> 1985, Gomez <i>et al.</i> 1988, Mahaney <i>et al.</i> 1988, Damiani <i>et al.</i> 2006
Sedimentos marinhos	Strass 1978, Haines e Mazzullo, 1988, Mazullo e Peterson 1989 Helland e Holmes 1997, Mazzullo <i>et al.</i> 1988, Strand <i>et al.</i> 2003
Solos	Asumadu <i>et al.</i> 1987, Huang <i>et al.</i> 1990
Estudos estratigráficos	Bhatt 1976, Bull e Culver 1979, Georgiev e Stoffers 1980, Borak e Friedman 1981, Kanaori 1985, Ahmed e Soliman 1988, Mahaney 1988, Stokes <i>et al.</i> 1989, Khalaf 1990, Goltrant <i>et al.</i> 1991, Chen <i>et al.</i> 1997, Moral Cardona <i>et al.</i> 1997, Donaldson e de Kemp 1998, Damiani <i>et al.</i> 2006, Kenig 2006, Bernet <i>et al.</i> 2007
Depósitos associados a inundações marinhas abruptas	Bruzzi e Prone 2000, Dahanayake e Kulasena 2008, Costa <i>et al.</i> 2009, Costa <i>et al.</i> 2012a, 2012b
Outros	Patro e Sahu 1977, Williams e Thomas 1989, Williams <i>et al.</i> 1998, Bull e Morgan 2006, Pye, 2007, Morgan <i>et al.</i> 2008

Outros trabalhos trataram ambientes sedimentares específicos e as associações de microtexturas exibidas pelas partículas transportadas, retomadas ou depositadas. Sem pretensão de exaustividade, indicam-se nos parágrafos seguintes alguns desses trabalhos, organizados por ambientes sedimentares ou processos genéticos.

Abu-Zeid *et al.* (2001) detectaram, em amostras de areias dunares e de sedimentos interdunares da Arábia Saudita, que os grãos de quartzo exibem microtexturas diversas (p. ex. marcas de arrancamento, fracturas), induzidas por processos mecânicos e químicos. Costa *et al.* (2013), realizaram uma experiência em túnel de vento com o objectivo de determinar microtexturas resultantes da colisão entre partículas mobilizadas por transporte eólico e de investigar relações entre a velocidade do vento e a frequência de ocorrência dessas marcas. Para tal, utilizaram microesferas de vidro como análogas de quartzo e os resultados indicaram o desenvolvimento de superfícies recentes, fracturas e marcas de abrasão como microtexturas características,

embora ocupando fracções diferentes da superfície das partículas. Estes resultados são idênticos aos obtidos em areias de dunas contemporâneas, activas, que, regra geral, tendem a apresentar também rolamento mais elevado e forte dissolução superficial, nalguns casos com presença de partículas aderentes.

Bettencourt *et al.* (1989) estudaram os sedimentos detríticos costeiros da região da Ria Formosa (Algarve) e concluíram sobre a existência de duas fontes sedimentares principais que alimentam as ilhas daquele sistema de barreira, discriminando grãos de origem fluvial, grãos resultantes da erosão de arribas e outros com origem na plataforma interna; esta distinção fundamenta-se, essencialmente, na caracterização e quantificação de microtexturas de dissolução e também nas diferenças de rolamento exibidas por (sub)populações de grãos. Pyokari (1997) usou imagens obtidas ao Microscópio Electrónico de Varrimento (MEV) de grãos de quartzo provenientes de zonas costeiras da ilha de Rodes (Grécia), para caracterizar a textura e composição dos sedimentos e estudar os processos de transporte de partículas na praia, bem como a capacidade de rolamento associada a este ambiente. Os resultados permitiram ainda identificar populações de grãos distintas relativamente aos atributos microtexturais, mas foram inconclusivos na identificação objectiva de materiais-fonte.

Mahaney *et al.* (2001) caracterizaram e quantificaram microtexturas em grãos de areias fluviais, glacio-fluviais e glaciais colhidas em ambientes activos na Estónia e Letónia e usaram métodos estatísticos para agrupar amostras, com resultados relevantes do ponto de vista da associação aos ambientes modeladores das partículas. Em estudo envolvendo grãos de quartzo considerados de origem glacial e eólica, na Antártida, Damiani *et al.* (2006) observaram, em fácies laminadas, um elevado número de grãos com microtexturas indicativas de transporte sub-aquático (p. ex. fracturas e extremidades angulosas), sugerindo ainda que algumas dessas características indicam transporte por carga de fundo ou mesmo processos turbidílicos. Helland *et al.* (1997), analisaram aspectos microtexturais de grãos de quartzo dispersos em blocos argilosos quaternários, em Huangshan (China), os quais, anteriormente, eram tidos como de origem glacial estabelecendo uma origem aluvial/coluvial devido à elevada expressão de microtexturas de dissolução. Em estudo envolvendo sondagens do programa ODP (Ocean Drilling Program site 1166, Antártida), Strand *et al.* (2003) analisaram as assinaturas microtexturais de glaciação oligocénica em grãos de quartzo. Kenig (2006) observou microtexturas de grãos de quartzo de depósitos de loess glacial da Europa central, tendo proposto uma reconstrução ambiental e tipologias de transporte fundamentadas nestes critérios.

Moral-Cardona *et al.* (1997) analisaram a superfície de grãos de quartzo de arenitos miocénicos a holocénicos da região de Arcos (SW Espanha) interpretando, a partir do estudo exoscópico e das justaposições observadas nas microtexturas, as fases de evolução sedimentar. Os autores identificaram ainda as fontes do depósito arenítico, a partir de critérios de análise microtextural.

Dahanayake e Kulasena (2008) investigaram critérios sedimentológicos que permitissem distinguir depósitos de tsunami e de tempestade na zona austral do Sri Lanka. Entre as técnicas exploradas, conta-se a análise de microtexturas ao MEV; no entanto, esta metodologia apenas permitiu concluir que os grãos de depósitos de tsunami eram mais arredondados que os depositados por tempestade. Um trabalho anterior que aborda a mesma temática, foi realizado por Bruzzi e Prone (2000), no qual se comparam assinaturas microtexturais de grãos de quartzo depositados pelo tsunami de 1755 na depressão da Boca do Rio, Portugal, e de

grãos também de quartzo mas associados a uma tempestade de Novembro de 1997, no delta do Reno (França). De acordo com este estudo, existem muitas semelhanças entre as microtexturas de ambas as populações, dificultando por isso a diferenciação do agente de transporte. Outro aspecto que merece relevo é a identificação de microtexturas mecânicas peculiares, detectadas em ambos os casos, mas principalmente no depósito tsunamigénico: marcas de arrancamento, de microfracturação e de choque, todas com dimensões consideráveis. Ao estudar depósitos associados ao tsunami de 2004 na Indonésia, Paris (com. pessoal, 20 Abril 2008) fez observações não sistemáticas em imagens MEV de grãos de quartzo depositados por aquela inundação; porém, as características microtexturais observadas não permitiram uma associação evidente com o tsunami, ou seja, não foi possível a identificação de uma assinatura microtextural peculiar, exclusiva deste evento tsunamigénico. No entanto, este resultado ficou condicionado pelo reduzido número de amostras observadas e pela ausência de comparação com grãos provenientes de ambientes sedimentares costeiros locais.

Costa *et al.* (2012a) estudaram grãos de quartzo recolhidos em ambientes costeiros activos e em depósitos de tsunami e tempestade na sequência de eventos de alta energia que afectaram a zona costeira portuguesa, escocesa e indonésia, com o objectivo de investigar relações de proveniência entre os diferentes ambientes-fonte e os depósitos de inundação. Os resultados indicaram que os depósitos de tsunami tendem a apresentar um número mais elevado de superfícies recentes e de marcas de percussão quando comparados com as potenciais fontes sedimentares. Estes autores desenvolveram um modelo conceptual que procura relacionar as características microtexturais dos depósitos de tsunami e tempestade com as dos sedimentos-fonte, realçando a importância do tipo de transporte sólido e da concentração de grãos na coluna de água na determinação das assinaturas microtexturais encontradas nos depósitos de inundação abrupta (Figura 1).

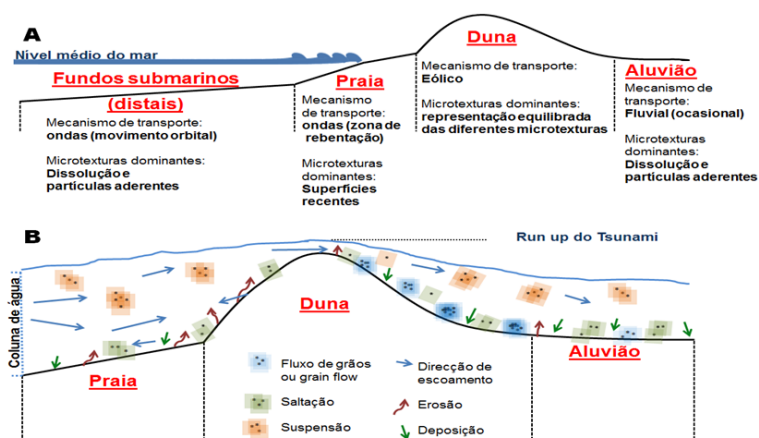


Figura 1. Modelo conceptual que relaciona modos de transporte, assinaturas microtexturais e ambientes sedimentares (adaptado de Costa *et al.* 2012a).

Figure 1. Conceptual model correlating the different transport modes, microtextural signatures and sedimentary environments (adapted from Costa *et al.* 2012a).

2. Boca do Rio – um caso de estudo

2.1. Enquadramento

Para ilustrar a aplicação da análise microtextural a estudos de proveniência, dispersão e processos sedimentares, apresenta-se seguidamente o caso de estudo da Boca do Rio, uma depressão costeira localizada no estuário da Ribeira de Budens, próximo da Praia da Salema (concelho de Vila do Bispo – Algarve) (Figura 3).

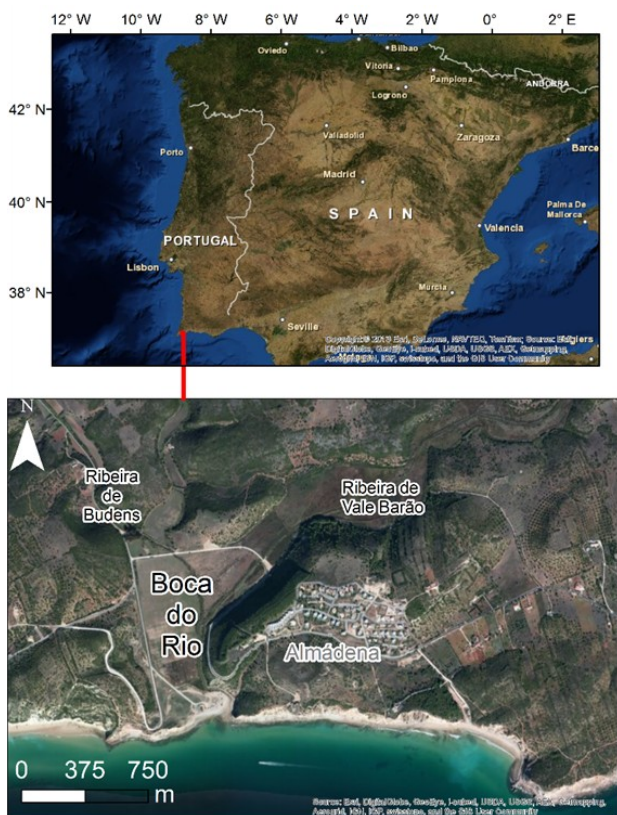


Figura 3. Enquadramento regional da área de estudo - Boca do Rio.

Figure 3. Regional location of Boca do Rio.

O enchimento sedimentar da depressão da Boca do Rio foi investigada por diversos autores (p. ex. Dawson *et al.* 1995, Hindson *et al.* 1996, Hindson e Andrade 1999, Oliveira *et al.* 2009, Cunha *et al.* 2010), que descreveram e associaram uma unidade arenosa (enquadrada superior e inferiormente por lodos estuarinos, cujo topo corresponde aos depósitos actuais da planície aluvial) à inundação ocorrida na sequência do tsunami de 1 de Novembro de 1755. A coluna litoestratigráfica da secção mais superficial da sequência sedi-

mentar encontra-se sumariada na Figura 4. A unidade que se encontra a topo (Unidade A) consiste em silte argiloso, de cor castanha avermelhada, com fácies estuarina-fluvial, e tem espessura praticamente constante de 0,80-1 m. Assenta sobre sedimentos detríticos majoritariamente grosseiros, de proveniência marinha, relacionados com o tsunami de 1755 (Unidade B) que, por sua vez, repousam sobre unidade de fácies estuarina/lagunar (Unidade C) essencialmente lodosa (silto-argilosa), castanha, contendo macro-restos de plantas e carvão e alguma matéria orgânica, com espessura variável entre 0,5 e 1 m. O conjunto formado pelos lodos estuarino-fluviais e sedimentos de tsunami intercalados assenta sobre um conjunto detrítico espesso (da ordem de 20 – 25 m, não representado na Figura 4), de cor cinzenta, que preenche a maior parte do espaço de acomodação oferecido pelo paleo-vale da Ribeira de Budens. Este conjunto é essencialmente arenoso e de fácies marinha, passando a cascalheiras grosseiras na base, junto ao contacto com o substrato carbonatado mesozoico.

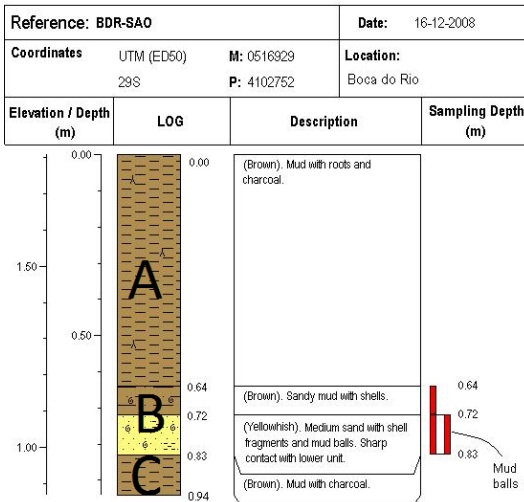


Figura 4. Log litoestratigráfico do metro de topo dos sedimentos da planície aluvial da Boca do Rio.

Figure 4. Schematic lithostratigraphic log of the Boca do Rio alluvial plain topmost meter.

O depósito tsunamigénico (Figura 5) encontra-se até uma distância de ca. 1500 m da linha de costa actual e a sua espessura diminui para terra – desde cerca de 0,50 m na zona mais próxima da costa, até pouco mais de 1 cm, a norte, ainda na planície aluvial da Boca do Rio ou invadindo a secção terminal das ribeiras afluentes, onde perde continuidade lateral. O depósito apresenta uma variação lateral da litofácies e é heterogéneo do ponto de vista textural ao longo da coluna sedimentar, apesar de corresponder a um evento deposicional de curta duração. Na região sul da planície aluvial, a unidade tsunamigénica apresenta a máxima diversidade e foi dividida por Hindson e Andrade (1999) em cinco sub-unidades diferentes, no que respeita à textura e conteúdo paleoecológico, variando entre areia siltosa fina azóica a areia grosseira bioclástica, marinha, depositadas sobre uma sub-unidade basal, “caótica”, muito grosseira, que inclui conchas espessas e fragmentos de conchas de grande dimensão, seixos e até blocos calcários, alguns com perfurações de espongiários e bivalves endolíticos

bem conservados. No entanto, na generalidade da depressão a unidade tsunamigénica apresenta uma organização progressivamente mais simples com o aumento da distância ao mar. Tipicamente, consiste em areia média, bioclástica, contendo seixos de quartzo e intraclastos de vasa, ambos preferencialmente oblatos e alinhados paralelamente ao contacto basal. O sedimento apresenta-se massivo, sem que seja possível distinguir estruturas sedimentares ou sub-unidades diferenciadas por critérios composicionais ou texturais e separadas por superfícies conspícuas. Em algumas sondagens e trincheiras observou-se granotriagem vertical positiva, mas noutras não há contraste granulométrico entre tecto e muro da camada tsunamigénica. O contacto basal desta unidade é claramente erosivo e sobe em cota para terra (de 1,0 a 1,6 m acima do nível médio do mar), enquanto o contacto a topo com os lodos da Unidade A varia entre abrupto e gradual (como no caso ilustrado na Figura 5), sendo por vezes difícil distinguir com rigor a superfície de separação entre as duas unidades.

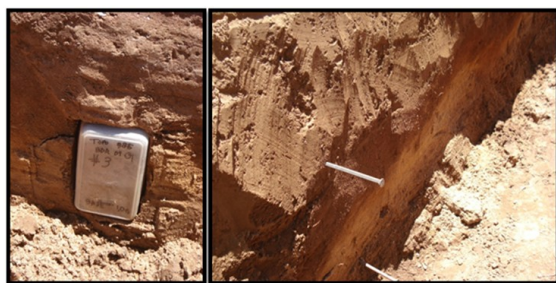


Figura 5. Fotografias obtidas numa trincheira escavada na planície aluvial. A unidade arenosa amarela é a unidade sedimentar associada ao tsunami de 1 de Novembro de 1755 (Unidade B na Figura 4). A caixa de plástico tem 0,30 m de comprimento.

Figure 5. Photographs of sampling in one trench within the alluvial plain of Boca do Rio. The yellowish sand is the unit associated with the AD 1755 tsunami (Unit B in Figure 4). The plastic box is 0,30 m long.

A interpretação de relatos históricos indica a destruição de uma duna com cerca de 8-10 m de cota apical pelas ondas do tsunami de 1755 (veja-se a este respeito Oliveira *et al.* 2009) modificando irreversivelmente a morfologia local. A remoção deste corpo eólico, de que restam raras bolsadas de areia preenchendo cavidades cársticas do esporão rochoso que protege a boca da depressão a poente, descobriu e expôs à erosão ruínas romanas que permanecem visíveis. Daqui se depreende que as areias eólicas possam ter constituído fonte sedimentar do depósito de tsunami, mas as evidências micropaleontológicas sugerem também intervenção de sedimentos arenosos costeiros, residentes em praia, semelhante à actual, ou nos fundos submarinos. O problema da compatibilidade textural entre sedimentos de tsunami e de duna, bem como a avaliação da correspondência entre o volume de areias retido na duna do séc. XVIII e o volume de areia tsunamigénica conservado no depósito da Boca do Rio foram discutidos em Oliveira *et al.* (2009). O segmento costeiro do Algarve ocidental vizinho da Boca do Rio caracteriza-se por geomorfologia típica de litoral rochoso, com escassez de areia, e fundos marinhos também rochosos. As (raras) acumulações de areia em praias, sempre encaixadas, ou nos fundos submarinos próximos, correspondem a mantos descontínuos, de reduzida espessura, móveis, capeando rocha *in situ* ou corpos de cascalho. Este contexto oferece um enquadramento excelente para testar a aplicabilidade de análise microtextural na diferenciação de ambientes de sedimentação e determinação das principais fontes sedimentares que alimentaram o depósito tsunamigénico.

2.2. Métodos

Para os efeitos do presente estudo, foram recolhidas amostras arenosas do depósito tsunamigénico e de análogos actuais (possíveis fontes sedimentares – praia, duna, aluvião, fundos submarinos – Figura 6). Estudaram-se três amostras dos sedimentos tsunamigénicos (T_SAO, T_SAM e T_SS3 colhidas ao longo de um perfil transversal à costa, Figura 6), seis amostras de sedimento do fundo submarino (N_5m, N_7.5m, N_10m, N_12.5m, N_15m e N_20m) (colhidas e cedidas pela ARH do Algarve I.P.), três amostras de areia de duna (D_P6, D_P8 e Duna_T), uma amostra de areia de praia (Praia) e duas amostras de sedimento aluvial (Alv_D e Alv_L). Os sedimentos dos fundos submarinos foram colhidos ao longo de um perfil com profundidades entre 20 m e 5 m abaixo do nível médio do mar (Figura 6A), isto é, para fora e para terra da profundidade de fecho da zona costeira, que orça aproximadamente 8 m abaixo do nível do mar. Duas das amostras de duna (D_P6 e D_P8) consistem em material eólico preservado em depressões cársicas do substrato, na região das ruínas romanas, e outra, pedogenizada, interpretada como resto de uma antiga duna trepadora (Duna_T) foi recolhida junto à crista da arriba viva na região oeste da barreira calcária.

A análise microtextural foi efectuada de acordo com o Capítulo 10 deste volume e os resultados encontram-se sumariados na Figura 7 e na Tabela 2 e ilustrados na Figura 8 .

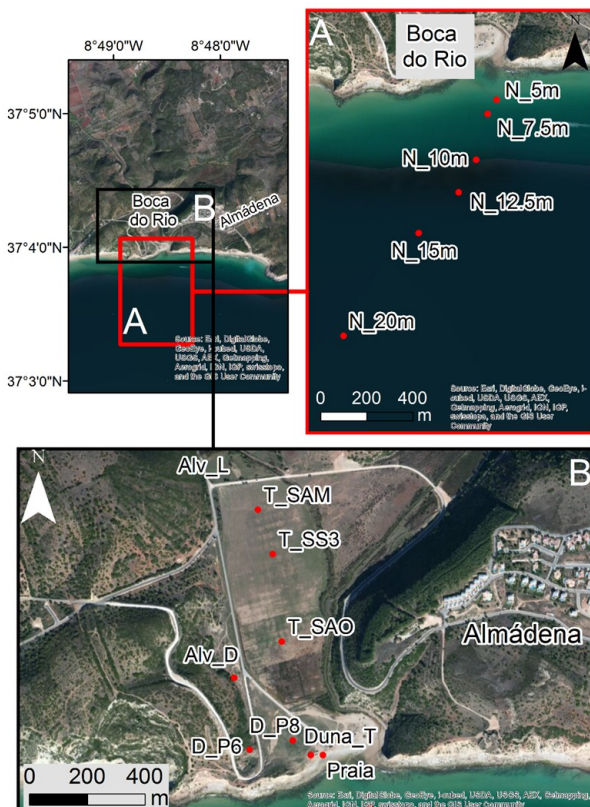


Figura 6. Enquadramento regional da amostragem. A – Amostras recolhidas nos fundos submarinos. B – Amostras recolhidas na planície aluvial, praia e duna.

Figure 6. Sampling locations within Boca do Rio area. A – Samples collected offshore Boca do Rio. B - Samples collected within the alluvial plain, beach and dune.

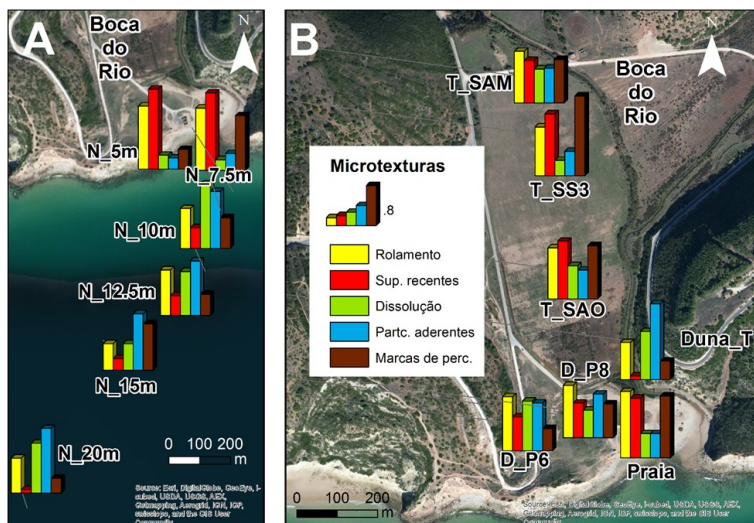


Figura 7. Resultados microtexturais e sua distribuição espacial na Boca do Rio. A- Amostras de fundos submarinos. B- Amostras de praia, duna e tsunami.

Figure 7. Microtextural results and their spatial distribution in Boca do Rio. A- Offshore samples. B- Beach, dune and tsunami samples.

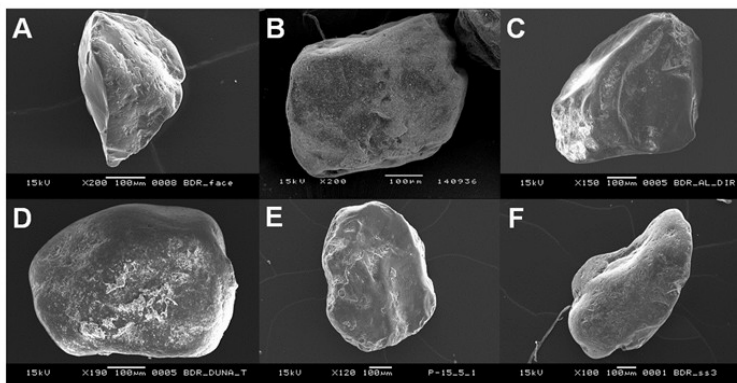


Figura 8. Exemplos de grãos de quartzo típicos dos ambientes sedimentares analisados na Boca do Rio. A - face de praia. B - areias de base (unidades arenosas subjacentes ao depósito lodoso referido como Unidade C). C - depósito aluvionar. D - duna. E - fundos submarinos distais. F - depósito tsunamigênico.

Figure 8. Examples of quartz grains characterizing sedimentary environments of Boca do Rio. A - beach face. B - basal sand unit underlying muds of Unit C. C - alluvial deposit. D - dune. E - offshore. F - tsunamigenic deposit.

Tabela 2 . Resultados microtexturais das amostras recolhidas na Boca do Rio
Table 2 . *Microtextural results of samples from Boca do Rio*

Amostra	Profundidade abaixo da superfície (m)	Ambiente sedimentar/ processo	Número de grãos	Rolamento	Superfícies recentes	Dissolução	Partículas aderentes	Marcas de Percussão
T_SAM	1,04-1,17	Tsunami	25	2,32	1,92	1,52	1,56	1,96
T_S53	1,00-1,20	Tsunami	10	2,20	2,80	0,70	1,10	3,60
T_SAO	0,87-0,98	Tsunami	20	2,30	2,60	1,50	1,30	2,40
Praia	0	Praia	10	3,00	2,70	1,10	1,10	2,80
Duna_T	0	Duna	12	1,67	0,17	2,17	3,42	0,83
D_P6	0	Duna	21	2,43	1,52	2,24	2,14	1,00
D_P8	0	Duna	25	2,36	1,56	1,24	1,96	1,52
N_5m	0	Fundo proximal	13	3,46	4,39	0,77	0,62	1,08
N_7_5m	0	Fundo proximal	12	3,42	4,25	0,58	0,92	3,00
N_10m	0	Fundo distal	20	2,20	1,15	3,55	3,15	1,70
N_12_5m	0	Fundo distal	12	2,50	1,08	2,42	3,00	1,17
N_15m	0	Fundo distal	11	1,45	0,64	1,45	3,09	2,55
N_20m	0	Fundo distal	11	1,91	0,18	2,73	3,55	0,82
Alv_L	0	Alluvial	9	2,44	0,22	3,56	4,22	0,33
Alv_D	0	Alluvial	10	2,40	0,30	3,50	3,90	0,40

2.3. Resultados e Discussão

Em termos de rolamento, todas as amostras apresentam valores entre 2,2 e 2,5, com excepção das amostras Praia (3,0) e fundos submarinos proximais (3,5 e 3,4; N_5m e N_7,5m, respectivamente), com valores mais elevados (rolamento menos acentuado), e dos valores inferiores (rolamento mais acentuado) em duas amostras de fundos submarinos distais (1,46 e 1,91, respectivamente) e na amostra de duna trepadora (1,67). No que diz respeito a superfícies recentes, estas apresentam os valores mais elevados nas amostras de fundos submarinos proximais (N_5m e N_7,5m, 4,39 e 4,25, respectivamente); a amostra Praia apresentou um resultado de 2,70, enquanto as tsunamigénicas exibem valores entre 1,9 e 2,8; as dunas apresentam valores no intervalo 1,5 a 1,6 (amostras D_P6 e D_P8) e todas as restantes amostras produziram valores inferiores a 1,15. Por sua vez, em termos de dissolução, observou-se que as amostras com valores inferiores a 1 provêm de fundos submarinos proximais (N_5m e N_7,5m) e uma única do sedimento tsunamigénico (T_SS3); de facto, outras amostras tsunamigénicas (T_SAM e T_SAO) apresentam valores de 1,50 e 1,52, respectivamente. Os valores mais elevados de dissolução (> 3,5) foram observados numa amostra de fundo submarino distal (N_10m) e em duas amostras de material aluvionar. As partículas aderentes discriminam as amostras em quatro grupos: as de duna, com valores *ca.* 2; as de tsunami e praia no intervalo 1,1 a 1,6; as aluvionares, Duna_T e fundos submarinos distais, com valores >3,0 e os fundos submarinos proximais com valores <1,0. Finalmente, em termos de marcas de percussão, os sedimentos aluvionares exibem os valores mais baixos, de 0,33 e 0,40; as amostras dunares apresentam valores intermédios entre 0,8 e 1,5, correspondendo o valor mais baixo à amostra Duna_T; as amostras tsunamigénicas apresentam valores de 2 a 3,6, com o valor mais elevado de toda a amostragem (T_SS3). A amostra de praia apresenta o valor de 2,80. Por sua vez, os fundos submarinos exibem valores entre 0,8 e 3.

Em síntese, os resultados anteriores, sugerem as seguintes considerações:

- As amostras de fundos submarinos (proximais e distais relativamente à profundidade de fecho) apresentam características distintas: os grãos de fundos proximais exibem valores muito elevados de rolamento e superfícies recentes e valores baixos de partículas aderentes e dissolução; por sua vez, os grãos de fundos submarinos distais apresentam valores diametralmente opostos destas microtexturas.
- A amostra de praia apresenta maior semelhança em termos de rolamento, superfícies recentes e marcas de percussão, com as dos fundos proximais, sugerindo partilha de processos genéticos das microtexturas.
- As amostras de duna apresentam valores intermédios (*i.e.* na região central da curva de distribuição) da generalidade das características microtexturais estudadas; os grãos da amostra Duna_T produziram valores elevados de dissolução e de partículas aderentes, sugerindo uma idade superior ou um processo de pedogénese mais intenso em comparação com D_P6 e D_P8.
- As amostras de aluvião revelaram valores baixos de superfícies recentes e marcas de percussão (mecânicas) mas valores elevados de dissolução e partículas aderentes (químicas).
- As amostras de tsunami apresentaram valores de rolamento de *ca.* 2,25, e valores bastante elevados de superfícies recentes. Em particular, T_SS3 apresenta o valor mais elevado de marcas de percussão.

Na Figura 9 apresentam-se projecções das amostras estudadas em diagramas triangulares, que auxiliam a distinção entre grãos de diferentes ambientes sedimentares. A representação das amostras reporta-se a valores normalizados de cada atributo/marca, obtido pela razão entre o respectivo valor mediano e o somatório dos valores medianos de cada terno de atributos/marcas.

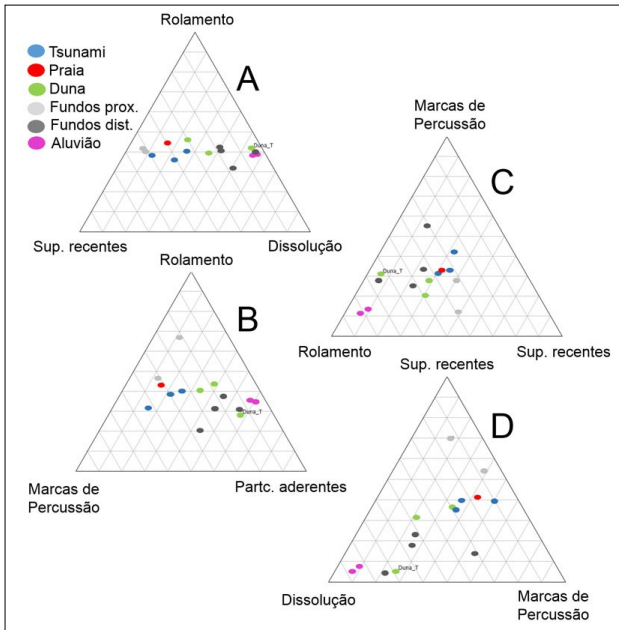


Figura 9. Diagramas triangulares traduzindo relações de correlação entre os valores por amostra dos diferentes atributos/marcas microtexturais. A- Rolamento, superfícies recentes e dissolução. B- Rolamento, marcas de percussão e partículas aderentes. C- Rolamento, marcas de percussão e superfícies recentes. D- Dissolução, marcas de percussão e superfícies recentes.

Figure 9. Ternary plots that illustrate correlations between the different microtextural marks per sample. A- Roundness, fresh surfaces and dissolution. B- Roundness, percussion marks and adhering particles. C- Roundness, percussion marks and fresh surfaces. D- Dissolution, percussion marks and fresh surfaces.

As Figuras 9A e B mostram que o rolamento tem menor capacidade de discriminação ambiental relativamente aos pares superfícies recentes/dissolução e marcas de percussão/partículas aderentes. Na Figura 9A verifica-se que as amostras de fundo distal, aluvião e duna trepadora se encontram em região onde a razão dissolução/superfícies recentes excede 0,5; em contraste, 7 das 8 amostras dos restantes ambientes partilham um campo no qual aquela razão é inferior a 0,5. Os valores mais baixos ($< 0,1$) desta razão correspondem a fundos proximais. A projecção dos pontos figurativos das mesmas amostras na Figura 9B é semelhante, embora com maior dispersão em termos do rolamento; a razão marcas de percussão/partículas aderentes separa as amostras de tsunami, praia e fundos proximais (com valores $> 0,5$) das amostras de fundo distal, aluvião e dunas (com valores $< 0,5$). Em ambos os diagramas, a amostra de duna trepadora agrupa-se preferencialmente com os sedimentos de aluvião e fundos distais.

Na Figura 9C observa-se que os pontos figurativos dos fundos proximais, praia, dunas e duas de três amostras de tsunami indicam predomínio de superfícies recentes sobre marcas de percussão, e o inverso sucede com todas as outras amostras.

A projecção dos pontos figurativos no diagrama da Figura 9D separa claramente três conjuntos amostrais em função da proporção relativa de superfícies recentes (SR) e razão dissolução/marcas de percussão: um conjunto ocupado exclusivamente por grãos de fundos proximais com valores de SR > 0,5 e razão < 0,5; as amostras de fundos distais, aluvião e duna trepadora com valores de SR baixos, inferiores a 0,3 e razão geralmente > 0,5; um campo intermédio (SR 0,5 a 0,3 e razão geralmente <0,5) onde se encontram os grãos de duna, praia e tsunami.

O conjunto de resultados apresentados acima mostra que, embora com um número limitado de amostras, as cinco variáveis microtexturais indicam máxima dissemelhança entre as amostras de tsunami e as de aluvião, fundos distais e duna trepadora, sugerindo reduzida probabilidade destes materiais como fonte para o sedimento tsunamigénico. Em contraste, as areias de praia, duna e fundos proximais parecem ter sido fontes mais plausíveis, por ordem decrescente de importância relativa. A associação, nos diagramas triangulares, de partículas provenientes de ambientes sedimentares completamente diferentes como sejam grãos de duna trepadora, fundos submarios distais e aluvião, pode ser interpretada como resultado de assinaturas microtexturais muito influenciadas pela reduzida mobilidade das partículas, característica comum a estes ambientes. A imobilização prolongada favorece a multiplicação e preservação de marcas/atributos de natureza química que, em ambiente mais energético, dificilmente poderiam conservar-se. Os grãos dos fundos proximais, praia e de tsunami apresentam valores elevados de superfícies recentes, espelhando o nível energético dos processos genéticos, mas com valores máximos nos fundos proximais. Tal sugere que este ambiente morfossedimentar poderá não corresponder a fonte sedimentar primordial do depósito de tsunami, excepto na hipótese de estas marcas terem sido substituídas durante a inundação abrupta por outras marcas mecânicas, como as de percussão.

A Figura 10 apresenta os resultados da análise em componentes principais das populações estudadas, quanto às variáveis (Figura 10A) e quanto aos casos (amostras) (Figura 10B). A Figura 10A ilustra claramente a dicotomia entre marcas/atributos de feição química e de feição mecânica, as quais ocupam hemisférios opostos ao longo do factor 1, o qual explica quase $\frac{3}{4}$ da variância total. Por sua vez, a projecção das amostras na Figura 10B confirma as ilações anteriormente expostas e reforça a semelhança entre grãos de tsunami com praia, duna e fundos proximais. A dispersão observada ao longo do factor 2 sugere que as amostras de tsunami exibem aumento das marcas de percussão quando comparadas com as restantes.

O aumento de marcas de percussão nos grãos tsunamigénicos relativamente aos das fontes sedimentares mais prováveis (Figura 10B), sugere que os grãos foram retrabalhados durante o transporte para terra, apesar da curta distância e do curto intervalo de tempo envolvido nesse processo, confirmando que eventos de curta duração são capazes de imprimir assinaturas microtexturais nos grãos de quartzo, como previamente sugerido por Mahaney *et al.* (2010) e Costa *et al.* (2012a). A elevada concentração sedimentar na coluna de água produzida pela erosão do edifício eólico terá favorecido a diminuição da distância entre partículas vizinhas em transporte, diminuindo a capacidade de ganharem velocidade (e energia cinética) elevadas, antes de colidirem entre si, justificando-se assim que as marcas de percussão nos grãos de areia do tsunami sejam de reduzida dimensão e mais frequentes que outras marcas de feição mecânica (nomeadamente, superfícies recentes).

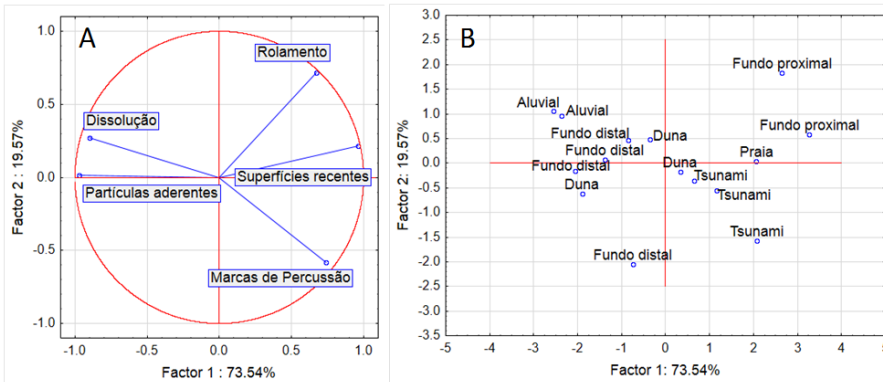


Figura 10. Resultados da análise em componentes principais. A – Variáveis. B – Amostras.
Figure 10. Results of Principal Component Analysis. A – Variables. B – Samples.

Apesar dos resultados do caso de estudo aqui apresentado fornecerem indicações sobre as fontes sedimentares fundamentais deste depósito tsunamigénico, nem sempre é fácil estabelecer com precisão relações entre fonte e depósito de inundação abrupta de alta energia. Esta dificuldade deve-se: (1) à propagação das ondas de tsunami em condições de mobilização efectiva do fundo se efectuar em diversos ambientes que se sucedem no espaço; (2) ao transporte por inundação tsunamigénica ter capacidade para modificar marcas microtexturais pré-existentes nos grãos ou esculpir novas marcas, embora nada obrigue a uma remodelação completa da superfície de cada grão. Assim, uma população de grãos sujeita a transporte e deposição por ondas de tsunami, pode reflectir em termos microtexturais não só os diversos ambientes sedimentares atravessados até ao último evento deposicional, mas também as marcas que os grãos adquirem durante o transporte tsunamigénico. Um factor suplementar, igualmente relevante mas pouco estudado, é a influência da concentração de partículas na coluna de água durante o percurso de inundação.

Apesar destas ressalvas, que representam outras tantas linhas de investigação, o caso de estudo aqui tratado confirmou a utilidade e a viabilidade da aplicação da análise microtextural em estudos de proveniência sedimentar em contextos de inundações marinhas abruptas em ambientes costeiros. O potencial de aplicação desta técnica sedimentológica a outros estudos de proveniência fica demonstrado, desde que integrado em estudo abrangente, contendo enquadramento morfológico e sedimentar local e regional, bem como uma caracterização dos processos activos e dos produtos que caracterizam os análogos actuais.

3. Conclusão

Neste estudo apresenta-se uma síntese de publicações sobre o análise microtextural e sua aplicação a estudos sobre a génese de microtexturas; discutem-se as relações entre microtexturas, proveniência, ambientes sedimentares e processos de transporte.

O estudo microtextural do depósito arenoso da Boca do Rio (Algarve ocidental), de origem tsunamigénica e associado à inundação abrupta de 1755, bem como de análogos actuais

(aluviões, areias de duna, praia e fundos submarinos) presentes no sistema costeiro, demonstrou a eficácia desta abordagem na diferenciação de ambientes morfossedimentares, na determinação de fontes sedimentares preferenciais do depósito de tsunami (praia, duna, fundos proximais) e na discriminação de grãos de areia do depósito tsunamigénico. Verificou-se que os sedimentos residentes no fundo submarino para além da profundidade de fecho do sistema costeiro, bem como os depósitos aluvionares, apresentam dissemelhança com as amostras tsunamigénicas, pelo que a sua importância como fonte sedimentar terá sido negligenciável. Concluiu-se ainda que os efeitos de transporte por eventos abruptos de alta energia em ambientes costeiros imprimem características microtexturais nos grãos de quartzo mobilizados, apesar da curta duração e reduzido transporte; os resultados sugerem também que o tipo de transporte (expresso pela concentração de sedimento arenoso incorporado na lâmina de água em movimento) parece modular a tipologia, dimensão e frequência de marcas de percussão (marcas em crescente e marcas em V), impressas nos grãos do depósito de tsunami.

Em síntese, este capítulo apresenta o potencial de utilização da análise microtextural como técnica útil em estudos sedimentológicos, nomeadamente de proveniência, quando aplicada a ambientes costeiros, incluindo discriminação das fontes de depósitos resultantes de eventos de inundação marinha de alta energia, desde que enquadrados no contexto geológico, geomorfológico e oceanográfico local a regional.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Professor William Mahaney (York University and Quaternary Surveys, Canadá) a inestimável colaboração e ensinamentos sobre a aplicação da análise microtextural em trabalhos de geologia costeira. A colaboração de um número alargado de colegas (em trabalho de campo, de laboratório e na concretização de experiências) foi fundamental para a recolha e interpretação dos dados sumariamente apresentados neste capítulo. Os autores gostariam, em particular, de exprimir uma palavra de muito apreço a Ana Nobre Silva, Tiago Silva, Vera Lopes, Alexandra Oliveira, Telmo Nunes, Sue Dawson, Yong-Sung Park, Raphael Paris, Sebastião Teixeira, Alastair Dawson e Lenka Lisa.

Este trabalho beneficiou de apoio financeiro da FCT através da concessão de bolsas de estudos pós graduados (SFRH/BPD/84165/2012; SFRH/BD/35900/2007) e de projectos de I&D (GETS - PTDC/CTE-GEX/65948/2006). Os projectos NEAREST (EU-037110-GOCE-2006) (UE) e NERC-UK "Will climate change in the Arctic increase the landslide-tsunami risk to the UK?" apoiaram também parte dos trabalhos aqui apresentados.

Uma última palavra de apreço para o editor, o colega Pedro Dinis, pelo convite endereçado para colaborar na construção deste livro.

Referências

- Abd-Alla M.A.A. 1991. Surface textures of quartz grains from recent sedimentary environments along the Mediterranean Coast, Egypt. *Journal of African Earth Sciences* 13: 367-375.
- Abu-Zeid M.M., Baghdady A.R., El-Etr H.A. 2001. Textural attributes, mineralogy and provenance of sand dune fields in the greater Al Ain area, United Arab Emirates. *Journal of Arid Environments* 48: 475-499.
- Ahmed E.A., Soliman M.A. 1988. Quartz surface textures of some cretaceous Nubian sandstone exposures, Central Eastern desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences* 7: 873-878.

- Asumadu K., Gilkes R.J., Churchward H.M., Armitage T.M. 1987. Detailed characterization of quartz grains in two sandy soils, Western Australia. *Geoderma* 41: 29-47.
- Bernet M., Kapoutsos D., Bassett K. 2007. Diagenesis and provenance of Silurian quartz arenites in south-eastern New York State. *Sedimentary Geology* 201: 43-55.
- Bettencourt P., Jouanneau J.M., Legigan P. 1989. Origine des sediments du système d'îles barrières de l'Algarve: apport de l'exoscopie des quartz. *Anais Instituto Hidrográfico Português* 80: 51-57.
- Bhatt J.J. 1976. Carbonate petrology of an Upper Ordovician-Silurian section at the Lone Mountain, Eureka County, Nevada. *Sedimentary Geology* 15: 173-191.
- Bonatti E., Arrhenius G. 1965. Eolian sedimentation in the pacific off Northern Mexico. *Marine Geology* 3: 337-348.
- Borak B., Friedman G.M. 1981. Textures of sandstones and carbonate rocks in the world's deepest wells (in excess of 30,000 ft. or 9.1 km): Anadarko Basin, Oklahoma. *Sedimentary Geology* 29: 133-151.
- Bruzzi C., Prone A. 2000. A method of sedimentological identification of storm and tsunami deposits: Exoscopic analysis, preliminary results. *Quaternaire* 11 (3-4): 167-177.
- Bull P.A., Culver S.J. 1979. An application of scanning electron microscopy to the study of ancient sedimentary rocks from the Saionia Scarp, Sierra Leone. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 26: 159-172.
- Bull P.A., Morgan R.M. 2006. Sediment Fingerprints: A forensic technique using quartz sand grains. *Science & Justice* 46: 107-124.
- Chen Y., Feng J., Gao J., Taylor L., Grün R. 1997. Observations on the micro-texture and ESR spectra of quartz from fault gouge. *Quaternary Science Reviews* 16: 487-493.
- Costa P.J.M., Andrade C., Mahaney W.C., Marques da Silva F., Freire P., Freitas M.C., Janardo C., Oliveira M.A., Silva T., Lopes V. 2013. Aeolian microtextures in silica spheres induced in a wind tunnel experiment: comparison with aeolian quartz. *Geomorphology* 180-181: 120-129.
- Costa P.J.M., Andrade C., Dawson A.G., Mahaney W.C., Paris R., Freitas M.C., Taborda R. 2012b. Microtextural characteristics of quartz grains transported and deposited by tsunamis and storms. *Sedimentary Geology* 275-276: 55-69.
- Costa P.J.M., Andrade C., Freitas M.C., Oliveira M.A., Lopes V., Dawson A.G., Moreno J., Fatela F., Jouanneau J.M. 2012a. A tsunami record in the sedimentary archive of the central Algarve coast, Portugal: characterizing sediment, reconstructing sources and inundation paths. *The Holocene* 22 (8): 899-914.
- Costa P.J.M., Andrade C., Freitas M.C., Oliveira M.A., Jouanneau J.M. 2009. Preliminary results of exoscopic analysis of quartz grains deposited by a palaeotsunami in Salgados lowland (Algarve, Portugal). *Journal of Coastal Research* SI 56: 39-43.
- Cunha P.P., Buylaert J.P., Murray A.S., Andrade C., Freitas M.C., Fatela F., Munhá J.M., Martins A.A., Sugisaki S. 2010. Optical dating of clastic deposits generated by an extreme marine coastal flood: the 1755 tsunami deposits in the Algarve (Portugal). *Quaternary Geochronology* 5 (2-3): 329-335.
- Dahanayake K., Kulasena N. 2008. Recognition of diagnostic criteria for recent- and paleo-tsunami sediments from Sri Lanka. *Marine Geology* 254: 180-186.
- Damiani D., Giorgetti G. 2008. Provenance of glacial-marine sediments under the McMurdo-Ross Ice Shelf (Windless Bight, Antarctica): Heavy minerals and geochemical data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 260: 262-283.
- Damiani D., Giorgetti G., Turbanti I.M. 2006. Clay mineral fluctuations and surface textural analysis of quartz grains in Pliocene-Quaternary marine sediments from Wilkes Land continental rise (East-Antarctica): Palaeoenvironmental significance. *Marine Geology* 226: 281-295.
- Dawson A.G., Hindson R., Andrade C., Freitas C., Parish R., Baternan R. 1995. Tsunami sedimentation associated with the Lisbon earthquake of 1 November AD 1755: Boca do Rio, Algarve, Portugal. *The Holocene* 5 (2): 209-215.
- Donaldson J.A., De Kemp E.A. 1998. Archaean quartz arenites in the Canadian Shield: examples from the Superior and Churchill Provinces. *Sedimentary Geology* 120: 153-176.

- Dowdeswell J.A., Osterman L.E., Andrews J.T. 1985. Quartz sand grain shape and other criteria used to distinguish glacial and non-glacial events in a marine core from Frobisher Bay, Baffin Island, N.W.T., Canada. *Sedimentology* 32: 119-132.
- Frihy O.E., Stanley D.J. 1987. Quartz grain surface textures and depositional interpretations, Nile Delta region, Egypt. *Marine Geology* 77: 247-255.
- Gillott J.E. 1974. Atlas of quartz sand surface textures. *Earth-Science Reviews* 10: 235-236.
- Georgiev V.M., Stoffers P. 1980. Surface textures of quartz grains from Late Pleistocene to Holocene sediments of the Persian Gulf/Gulf of Oman - An application of the scanning electron microscope. *Marine Geology* 36: 85-96.
- Goltrant O., Cordier P., Doukhan J.C. 1991. Planar deformation features in shocked quartz; a transmission electron microscopy investigation. *Earth and Planetary Science Letters* 106: 103-115.
- Gomez B., Dowdeswell J.A., Sharp M. 1988. Microstructural control of quartz sand grain shape and texture: Implications for the discrimination of debris transport pathways through glaciers. *Sedimentary Geology* 57: 119-129.
- Haines J., Mazzullo J. 1988. The original shapes of quartz silt grains: A test of the validity of the use of quartz grain shape analysis to determine the sources of terrigenous silt in marine sedimentary deposits. *Marine Geology* 78: 227-240.
- Helland P.E., Holmes M.A. 1997. Surface textural analysis of quartz sand grains from ODP Site 918 off the southeast coast of Greenland suggests glaciation of southern Greenland at 11 Ma. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 135: 109-121.
- Higgs R. 1979. Quartz-grain surface features of Mesozoic-Cenozoic sands from the Labrador and western Greenland continental margins. *J. Sediment. Petrol.* 49 (2): 599-610.
- Hindson R.A., Andrade C., Dawson A.G. 1996. Sedimentary processes associated with the tsunami generated by the 1755 Lisbon earthquake on the Algarve coast, Portugal. *Physics and Chemistry of the Earth* 21 (1-2): 57-63.
- Hindson R.A., Andrade C. 1999. Sedimentation and hydrodynamic processes associated with the tsunami generated by the 1755 Lisbon earthquake. *Quaternary International* 56 (1): 27-38.
- Huang R.C., Pan G.X., Xiong D.X., Lowell A.D. 1990. SEM Observation of Quartz Sand Grain Morphology as Applied to Parent Material Origin of some Albic Soils in East China. In *Developments in Soil Science*. Elsevier 19: 501-510.
- Kanaori Y. 1985. Surface textures of intrafault quartz grains as an indicator of fault movement. *Catena* 12: 271-279.
- Kasper-Zubillaga J.J., Dickinson W.W. 2001. Discriminating depositional environments of sands from modern source terranes using modal analysis. *Sedimentary Geology* 143: 149-167.
- Kenig K. 2006. Surface microtextures of quartz grains from Vistulian loesses from selected profiles of Poland and some other countries. *Quaternary International* 152-153: 118-135.
- Khalaf F.I. 1990. Occurrence of phreatic dolomite within Tertiary clastic deposits of Kuwait, Arabian Gulf. *Sedimentary Geology* 68: 223-239.
- Krinsley D.H., Doornkamp J.C. 1973. *Atlas of quartz sand surface textures*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Krinsley D.H., Donahue J. 1968. Environmental Interpretation of Sand Grain Surface Textures by Electron Microscopy. *Geological Society of America Bulletin* 79 (6): 743-748.
- Le Ribault L.L. 1977. *L'Exoscopie des Quartz*. Ed. Masson.
- Mahaney W.C., Dohm J.M., Costa P., Krinsley D.H. 2010. Tsunamis on Mars: Earth analogues of projected Martian sediment. *Planetary and Space Science* 58 (14-15): 1823-1831.
- Mahaney W.C., 2002. *Atlas of sand grain surface textures and applications*. Oxford University Press, Oxford.
- Mahaney W.C., Stewart A., Kalm V. 2001. Quantification of SEM microtextures useful in environment discrimination. *Boreas* 30: 165-171.
- Mahaney W.C. 1998. Scanning electron microscopy of Pleistocene sands from Yamal and Taz peninsulas, Ob River Estuary, northwestern Siberia. *Quaternary International* 45-46: 49-58

- Margolis S.V., Krinsley D.H., 1974. Processes of formation and environmental occurrence of microfeatures on detrital quartz grains. *Am. J. Sci.* 274: 449–464.
- Mazzullo J., Leschak P., Prusak D. 1988. Sources and distribution of late Quaternary silt in the surficial sediment of the northeastern continental shelf of the United States. *Marine Geology* 78: 241-254.
- Mazzullo J., Peterson M. 1989. Sources and dispersal of late Quaternary silt on the northern Gulf of Mexico continental shelf. *Marine Geology* 86: 15-26.
- Moral Cardona J.P., Gutiérrez Mas J.M., Sánchez Bellón A., López-Aguayo F., Caballero M.A., 1997. Provenance of multicycle quartz arenites of Pliocene age at Arcos, southwestern Spain. *Sedimentary Geology* 112: 251–261.
- Morgan R.M., Little M., Gibson A., Hicks L., Dunkerley S., Bull P.A. 2008. The preservation of quartz grain surface textures following vehicle fire and their use in forensic enquiry. *Science & Justice* 48: 133-140.
- Newsome D., Ladd, P. 1999. The use of quartz grain microtextures in the study of the origin of sand terrains in Western Australia. *Catena* 35: 1-17.
- Nieter W.M., Krinsley D.H. 1976. The production and recognition of aeolian features on sand grains by silt abrasion. *Sedimentology* 23 (5): 713.
- Oliveira M.A., Andrade C., Freitas M.C., Costa, P. J. 2009. Modeling Volume Transfer between Beach-Foredune and the Backshore by the 1755 Lisbon Tsunami at Boca do Rio Lowland, Algarve (Portugal). *Journal of Coastal Research* SI 56: 1547-1551.
- Patro B.C., Sahu B.K. (1977). Discriminant analysis of sphericity and roundness data of clastic quartz grains in rivers, beaches and dunes. *Sedimentary Geology* 19: 301-311.
- Pye K. 2007. Sediment Fingerprints: A forensic technique using quartz sand grains - A comment. *Science & Justice* 47: 34-36.
- Pye K. 1983. Formation of quartz silt during humid tropical weathering of dune sands. *Sedimentary Geology* 34: 267-282.
- Pyökäri M. 1997. The provenance of beach sediments on Rhodes, southeastern Greece, indicated by sediment texture, composition and roundness. *Geomorphology* 18: 315-332.
- Sagga A.M.S. 1992. The use of the textural parameters of sand in studying the characteristics and depositional processes of coastal sediments south of Jeddah, Saudi Arabia. *Marine Geology* 104: 179-186.
- Stokes S., Nelson C.S., Healy T.R. 1989. Textural procedures for the environmental discrimination of late Neogene coastal sand deposits, southwest Auckland, New Zealand. *Sedimentary Geology* 61: 135-150.
- Strand K., Passchier S., Näsi J. 2003. Implications of quartz grain microtextures for onset Eocene/Oligocene glaciation in Prydz Bay, ODP Site 1166, Antarctica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 198: 101-111.
- Strass I.F. 1978. Microtextures of quartz sand grains in coastal and shelf sediments, Møre, western Norway. *Marine Geology* 28: 107-134.
- Thomas D.S.G. 1987. The roundness of aeolian quartz sand grains. *Sedimentary Geology* 52: 149-153.
- Vos K., Vandenberghe N., Elsen J. 2014. Surface textural analysis of quartz grains by scanning electron microscopy (SEM): From sample preparation to environmental interpretation. *Earth-Science Reviews* 128: 93-104.
- Williams A.T., Thomas M.C. 1989. Analysis of barrier island surface sediments by scanning electron microscopy. *Marine Geology* 86: 101-118.
- Williams A.T., Wiltshire R.J., Thomas M.C. 1998. Sand grain analysis-image processing, textural algorithms and neural nets. *Computers & Geosciences* 24: 111-118.