



TRANSPOSIÇÃO ARTIFICIAL DE AREIAS: SISTEMAS FIXOS, MÓVEIS E MISTOS. VANTAGENS E DESVANTAGENS.

Ricardo Carvalho¹; Cristina Afonso¹; Pedro Figueira¹; Malcolm Pound²; Carlos Coelho³; Paulo A. Silva³;
Tiago Oliveira³; André Cardoso⁴; Márcia Lima⁴; Celso Pinto⁵; Bruno Pires⁵

¹OCEANING, ²MALCPerl, ³Universidade de Aveiro, ⁴R5 Marine Solutions, ⁵Agência Portuguesa do Ambiente

geral@oceaning.pt, malcolm@malcperl.com.au, ccoelho@ua.pt, psilva@ua.pt, toliveira@ua.pt,
marine@r5engineers.com, celso.pinto@apambiente.pt, bruno.pires@apambiente.pt

Resumo

Embocaduras em zonas costeiras energéticas, como é o caso das costas Oeste (O) de Portugal e Leste (L) da Austrália, tendem a apresentar barras e canais instáveis em decorrência da elevada magnitude dos processos costeiros. Apesar de estabilizadas por molhes, apresentam alterações a longo prazo, devido à retenção de sedimentos a barlar e aos assoreamentos nas barras e canais. Como tal, é importante equacionar uma gestão planeada dos sedimentos costeiros, nomeadamente através de sistemas de Transposição Artificial de Areias (TAA).

Neste artigo são abordadas as vantagens da proteção costeira com recurso a sistemas de TAA, tais como prevenção da acumulação a barlar, na manutenção de canais navegáveis e controlo da erosão a sotamar, referindo-se igualmente algumas desvantagens ligadas a estes sistemas. São listados os princípios para a sua implementação e é discutida a sua aplicação na Figueira da Foz, Portugal.

São também apresentadas as características gerais de um sistema fixo de TAA aplicado na Figueira da Foz, conforme estudos desenvolvidos para a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) em 2021, pelo consórcio Universidade de Aveiro (UA) e R5 Marine Solutions (R5), com colaboração da OCEANING e da MALCPerl.

Sistemas de transposição artificial de areias (TAA)

Loza (2008) divide os sistemas de TAA em embocaduras em categorias conforme os seus objetivos, a mobilidade e flexibilidade que permitem, o princípio de captação das areias, os horários de operação e a capacidade instalada.

A mobilidade e a flexibilidade dependem do facto do sistema incluir, ou não, componentes móveis, ou seja, equipamentos e maquinaria com capacidade autopropulsora para recolha de sedimentos, que podem provir diretamente do mar ou das praias.

Os sistemas de TAA podem ser categorizados quanto à sua mobilidade em:

- **Sistemas Fixos:** assentam em estruturas fixas, tais como plataformas sobre estacas ou instalações em molhes, nas quais se colocam sistemas de bombeamento com diferentes tipos de funcionamento. Essas instalações possuem bombas de jato que com injeção de água limpa aspiram uma mistura de água e areias, a qual é transportada para sotamar num circuito hidráulico. Nestes sistemas a recolha dos sedimentos é realizada diretamente na faixa ativa do transporte litoral;
- **Sistemas Móveis:** possuem uma estrutura física que pode ser realocada para alcançar várias áreas da zona de transposição. Estes sistemas podem ainda dividir-se em:
 - **Sistema Móvel Aquático:** quando o meio móvel recolhe os sedimentos a transportar no meio aquático; é o caso das dragagens de manutenção portuárias, em que dragas recolhem sedimentos de um canal portuário assoreado, para os depositar na faixa ativa do transporte litoral, visando a alimentação de praias a sotamar;
 - **Sistema Móvel Terrestre:** quando a recolha de sedimentos ocorre no meio terrestre, por exemplo a partir de uma grua ou braço articulado com bomba de jato

suspensa na extremidade, ou de maquinaria móvel de recolha mecânica de areias. Estes sedimentos são depois depositados num sistema emulsionador que envia a mistura através de um circuito hidráulico até aos locais de descarga.

- Sistemas Mistos: são sistemas que incorporam componentes fixas e móveis em simultâneo.

Pound (2002), coautor do estudo de viabilidade desenvolvido pelo Consórcio UA/R5 para a APA, refere que, para os sistemas fixos de TAA serem eficazes, devem verificar-se as seguintes condições:

- A topografia costeira deve ser relativamente simples, estando devidamente caracterizada ao nível da compreensão dos processos costeiros e do transporte e dinâmica sedimentar adjacentes à embocadura;
- A deriva litoral deve ter uma direção predominante para permitir que um sistema de transposição unidirecional seja usado;
- A embocadura deve ser estável e definida no local, com pelo menos um molhe para atuar como retenção de areia;
- Deve haver espessura suficiente de areia na área proposta para permitir a escavação de uma caixa de areia;
- Os benefícios provenientes da embocadura estabilizada devem ser suficientes para cobrir os custos de instalação, operação e manutenção do sistema de transposição.

Nos pontos seguintes apresenta-se uma descrição das características gerais e tipologias de cada um destes sistemas.

Sistema fixo – trincheira de areias, tipo GCS e TRESBP

São exemplos clássicos de sistemas fixos de transposição artificial de areias de grande capacidade, os sistemas instalados na Gold Coast no L da Austrália, como o Gold Coast Seaway (GCS, ver Figura 1) e o Tweed River Entrance Sand Bypassing Project (TRESBP), projetados para garantir a transposição da totalidade do saldo do transporte sólido litoral (TSL) e em operação com sucesso desde há décadas (Pound, 2002).



Figura 1. Gold Coast Seaway, na Austrália. Vista geral, edifício de controlo e descarga superficial.

Nos Sistemas Fixos, uma trincheira de areias retém uma percentagem variável do TSL em circulação, qualquer que seja a sua direção. A areia retida e transposta reflete assim o transporte sólido real. A areia que não é retida pela trincheira acaba armazenada na praia junto ao molhe, podendo ser posteriormente devolvida à trincheira por mecanismos naturais de transporte. No caso de transporte costeiro quase unidirecional, a taxa de retenção total poderá ser superior a 90%, ou seja, menos de 10% dos sedimentos passarão para sotamar.

A areia é transposta e em simultâneo a praia a Norte (barlamar) recua desde que a trincheira de areias capture o volume de areia necessário. Numa situação típica, a trincheira é concebida para permitir o recuo da linha de praia em relação à situação atual, numa largura que depende da largura da faixa ativa, com o objetivo de criar capacidade de encaixe do sistema na praia de barlamar.

Usualmente os volumes de TAA nos primeiros 5 anos serão substancialmente maiores do que nos anos posteriores. Dessa forma, o sistema deverá ter capacidade para captar um volume muito maior de areia nos anos iniciais, para recuar rapidamente a praia. Como o sistema é operado para manter uma trincheira de areia aberta, ele automaticamente transpõe a areia à taxa máxima disponível.

Após a praia recuar para a posição planeada, o sistema manterá automaticamente a linha de costa através de um Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados, que realiza a gestão automatizada e em tempo real (em inglês, sistema SCADA). O sistema fixo opera sempre que houver areia suficiente na trincheira e a operação não depende das condições climáticas ou do estado do mar. O sistema normalmente opera sem vigilância, com controle automático e com pouco impacto no uso normal da praia.

A areia transposta é descarregada, principalmente, na faixa ativa do transporte litoral, ao longo da qual os processos naturais encaminham as areias que alimentarão as praias a sotamar. Este processo também gera melhores condições de navegação portuária, dada a redução dos assoreamentos. Por sua vez, uma fração menor de sedimentos transpostos pode ainda ser descarregada no perfil emerso das praias a sotamar, através de saídas temporárias do circuito de descarga hidráulica.

Sistema Misto - Tipo Adelaide e Capbreton

Esses sistemas extraem areia da praia acima do nível médio da maré-baixa. O volume de areia extraído depende do operador que seleciona as áreas de extração de areia e o tempo de extração. Caso o sistema seja operado para transpor um volume de areia maior que o saldo do TSL, a praia de extração de areias será recuada para uma posição projetada. As operações podem ter de ser restringidas em mau tempo ou durante tempestades.

O sistema tipo Adelaide (Figura 2) remove uma espessura controlada de areias de uma grande área e deixa a praia numa condição segura, suave e plana. Em comparação, o sistema do tipo Capbreton (Figura 3) deixa a praia em condições adversas devido aos cones de extração, com depressões cheias de água onde as bombas de jato atuaram. A praia pode demorar algum tempo a restabelecer um perfil regular e seguro, ou mesmo necessitar de intervenção mecânica, o que configura uma desvantagem deste sistema.



Figura 2. Adelaide-AU, praias urbanas. Exemplo de sistema misto de TAA com recurso a tratores-raspadores, sistema emulsionador de areias e circuito hidráulico de descarga.

Tal como na solução fixa acima descrita, a areia transposta também é depositada principalmente na faixa ativa do TSL, onde os processos naturais transportam as areias para alimentar as praias a sotamar. Este sistema igualmente conduz a melhores resultados para as condições de navegação no acesso portuário ou na embocadura.



Figura 3. Capbreton, Landes, Nova-Aquitânia-FR. Exemplo de sistema misto de TAA.

Soluções de dragagem

A TAA é também possível com recurso unicamente a dragas (Figura 4). A sua viabilidade é, no entanto, dependente dos objetivos a atingir, volumes a transpor e regularidade dessa operação. O método preferencial adotado pelos portos para manutenção periódica das suas acessibilidades marítimas assenta, usualmente, no recurso unicamente a dragas, ou seja, no designado sistema Móvel Aquático.



Figura 4. Figueira da Foz. Exemplo de sistema móvel de TAA baseado em dragagem regular. A deposição é feita a sotamar na faixa ativa do transporte e/ou com métodos auxiliares em terra.

Realizar uma TAA por Sistema Móvel baseada unicamente em dragas permite uma gestão eficiente da erosão costeira, aproveitando os ditos “sedimentos de oportunidade” (Pinto et al., 2020). Em Portugal, nos últimos anos, tem-se feito uma gestão efetiva da erosão costeira com recurso a dragagens de manutenção/aprofundamento dos canais de navegação/barras. Quase 90% das alimentações de praia feitas em Portugal foram feitas com recurso a dragagens associadas à atividade portuária/pesca/recreio (Pinto et al., 2020).

Pretendendo-se a transposição de volumes anuais da ordem do saldo anual do TSL, a abordagem técnica é um pouco diferente. A dragagem tem de ser realizada numa área mais extensa, por períodos mais prolongados e na faixa ativa do TSL. Para atingir o objetivo de criar capacidade de encaixe haverá que recuar a praia N (barlamar), pelo que nos primeiros anos haverá que dragar frente à praia um volume de areias superior ao TSL real. Este recuo da praia é necessário à captação posterior de areias que o sistema móvel não pode extrair em tempo real, nomeadamente em situações de tempestade.

O recuo da praia também se traduz num reassoreamento do canal de navegação com menor intensidade e menos aleatório, permitindo maior antecipação no planeamento de dragagens, com a consequente redução das designadas “dragagens de emergência”, necessárias por regra na sequência de grandes tempestades que transportam volumes significativos de areia que assoreiam o canal da barra.

Para operação em segurança das dragas, além dos condicionamentos de natureza balnear e ambiental, têm de se verificar condições de ondulação adequadas para as dragas atuarem na faixa da rebentação frente à praia (Van de Graaff, 2020).

A dragagem intensiva fora da faixa mais ativa do transporte não seria tão eficiente, dado que a



renovação das areias é inferior nessa faixa. A título de exemplo, no caso da Figueira da Foz estima-se que a percentagem do transporte sólido total que ocorre para além da cota -6,0 m(ZH) (profundidade média de 8,0 m) é cerca de 20% do transporte total (Carvalho *et al.*, 2021).

Vantagens dos sistemas fixos de grande capacidade

Um sistema fixo de TAA de grande capacidade, transpondo em média a totalidade do saldo do TSL, reflete quase na totalidade o comportamento natural, apesar da existência de obstáculos de origem antrópica como, por exemplo, molhes de fixação de uma embocadura portuária.

Sistemas de qualquer tipologia, desde que transpondo a totalidade do TSL, previnem a acumulação excessiva de sedimentos a barlar de uma embocadura portuária, reduzem o volume de dragagem em canais de navegação e controlam a erosão a sotamar.

Zonas costeiras energéticas como as da Austrália Oriental possuem barras e canais instáveis devido aos intensos processos costeiros. Muitas dessas embocaduras foram estabilizadas pela construção de extensos molhes exteriores, com funções abrigo. Essas obras revelaram-se, no entanto, desfavoráveis à gestão costeira no longo prazo, pois retêm parcialmente o TSL, originando assoreamentos da barra e canal de navegação e erosão costeira a sotamar.

A instalação de sistemas fixos de TAA nessa costa, como é o caso do GCS em 1986 e do TRESBP em 2001, assegurando a transposição integral do saldo do TSL, permitiu a estabilização de embocaduras e a expansão de atividades privadas e comerciais, náuticas e pesqueiras. O desenvolvimento dessas novas atividades também possibilitou a construção em terrenos costeiros adjacentes, bem como o estabelecimento de canais de navegação seguros.

Os referidos sistemas fixos de grande capacidade apresentam benefícios gerais conforme adiante listados.

Gestão da erosão costeira

Um sistema artificial de TAA pode ajudar a reabilitar um trecho costeiro que entrou em erosão, quer por razões naturais ou por ações antrópicas, como a construção de molhes portuários que tendem a reduzir a transposição de sedimentos nas embocaduras, diminuindo a circulação do TSL para sotamar.

Áreas com acumulação excessiva de areias podem ser restabelecidas e a praia de barlar pode ser recuada em direção ao seu alinhamento original. A areia extraída é então transferida para as praias erodidas a sotamar com vista a restaurá-las à sua condição original.

Um caso típico é a costa de Southport na Gold Coast, em Queensland, Austrália, onde uma costa instável e que com mobilidade frequente, com uma embocadura perigosa para o estuário de Broadwater, foi dotada do sistema GCS, que desde então garante uma embocadura segura para a navegação e praias estáveis.

O sistema de TAA pode igualmente ser usado para controlar a posição das linhas de praia em ambos os lados da embocadura, a barlar e a sotamar, através de ajustamentos nos procedimentos de operação.

Requisitos de dragagem

Um sistema de TAA reduzirá o volume com dragagens de manutenção para manter a navegação numa embocadura portuária. As tempestades que promovem TSL de elevada magnitude podem transportar areias para o anteporto e canal de navegação, dependendo da areia acumulada a barlar, da capacidade de encaixe existente nessa praia, e do modo de operação do sistema, podendo levar algum tempo para ajustamento às novas condições e se atingir a eficiência do sistema.

Segurança da navegação

Os canais de navegação dragados são projetados, fundamentalmente, para grandes embarcações comerciais, por vezes potenciando condições menos favoráveis para a navegação

das menores embarcações, devido à presença de bancos de areia transitórios que se formam na barra exterior. Um sistema de TAA resultará em condições na barra mais estáveis e reduzirá incidentes com pequenas embarcações em mares agitados.

Usufruto turístico

O sistema de TAA australiano do GCS foi inicialmente construído sem permissão para acesso de turistas ou visitantes públicos. O pontão originalmente tinha apenas um estreito pavimento de madeira adequado para atividades de manutenção. O pavimento do pontão foi posteriormente substituído por um pavimento de betão, dotado de corrimão moderno adequado para acesso do público.

A estrada de acesso construída para a construção do GCS abriu o miradouro The Spit para visitantes e turistas, cujas paisagens e áreas naturais atraem muitos visitantes. O pontão acabou por ser aberto ao público, no qual os visitantes pagam uma taxa por passear ou pescar no pontão.

Eventual formação de spots de surf

Em situações específicas, podem gerar excelentes condições de surf, com ondas bem formadas nos pontos de descarga dos sistemas de TAA, desde que a deposição ocorra na faixa ativa do TSL, devido ao enchimento local das falhas batimétricas e inclinação das encostas submarinas. Um exemplo clássico é o mundialmente famoso Superbank na Austrália, localizado em Snapper Rocks, diretamente na zona de influência a sotamar do TRESBP.

Desvantagens dos sistemas fixos de grande capacidade

Acumulação de detritos

A acumulação de detritos na trincheira de areia de um sistema fixo (Figura 5) é uma questão frequentemente levantada. James Clausner (WES-USACE) visitou o GCS 3 anos após a entrada em serviço e foi crítico do sistema referindo que falharia devido à acumulação de detritos.



Figura 5. TRESBP, na Austrália. Tela de gradagem vibratória, pedras e seixos extraídos da mistura, fragmentos de madeira junto aos cones de extração e tronco de grandes dimensões na trincheira de areias.

Apesar do sistema inicial não incluir disposições específicas para a remoção desses detritos, os



operadores rapidamente desenvolveram procedimentos para a sua remoção e o sistema opera com sucesso desde então, há mais de 35 anos. Os sistemas modernos possuem mecanismos para lidar com os detritos.

De qualquer modo, o sistema fixo de TAA tenderá a reter tudo o que estiver sendo transportado ao longo da costa, incluindo detritos de madeira, rochas e seixos, todo o tipo de resíduos humanos, geotêxteis, algas marinhas, etc. Assim, previamente à instalação de um sistema deste tipo, será necessário estudar e apurar, através de uma campanha específica, as características e proporções dos resíduos locais que potencialmente poderão afetar a trincheira de retenção de areias.

Conceções inadequadas

Um número relevante de sistemas de TAA falhou, ou não atingiu os seus objetivos iniciais. Tal ocorreu por variados motivos, a saber:

- Compreensão incorreta ou inadequada dos processos costeiros no local da instalação;
- Conceção incorreta (por exemplo, Porto de Ngqura, na Baía de Algoa, África do Sul);
- Sistemas alterados por intervenções costeiras em áreas adjacentes;
- Materiais inadequados e/ou manutenção deficiente;
- Desenvolvimento por organizações sem experiência necessária em toda a gama de disciplinas exigidas nas suas equipas;
- Capacidade de transposição inadequada.

Diversos sistemas de TAA falham os seus objetivos principais pois não foram dimensionadas para lidar com a totalidade do saldo do TSL, o que limita ou impede a sua capacidade para produzir mudanças nos trechos litorais adjacentes. Uma revisão de sistemas de TAA pelo mundo mostra isso claramente.

No que se refere aos sistemas fixos de TAA, considera-se que as falhas ocorridas em outros sistemas de transposição não são condicionantes para os novos sistemas, desde que as lições adquiridas dos sistemas anteriores sejam aplicadas para evitar que determinadas falhas possam voltar a ocorrer.

Um moderno sistema fixo de TAA deve ser projetado para uma vida útil longa (superior a 30 anos) num ambiente marítimo, sendo essencial o recurso a materiais resistentes e duradouros à agressividade da água do mar e à erosão das componentes pela mistura abrasiva de água e areias.

Porque não existem mais sistemas?

A maioria das embocaduras onde é necessário transpor areia são portos sob o controle das autoridades portuárias, que realizam as dragagens essenciais para manter os acessos marítimos, não se envolvendo na gestão costeira fora da sua área de jurisdição. Também assumem que as condições da embocadura são inevitavelmente dinâmicas, desconsiderando a possibilidade de uma instalação fixa, cuja amplitude e valor de investimento excede claramente o seu âmbito.

Adicionalmente, existe a ideia que a dragagem convencional é necessariamente mais flexível, rápida e barata. A dragagem é vista como uma operação periódica de custo aceitável, financiada como despesa de manutenção, em comparação com um sistema de TAA que requer elevado investimento inicial e aprovações especiais. Na realidade é mais simples somente dragar.

As receitas das autoridades portuárias assentam em taxas portuárias, sendo necessárias fontes alternativas de financiamento caso se pretenda obter outros benefícios. Tais fontes podem provir, por exemplo, de entidades nacionais, responsáveis pela gestão do litoral, e/ou de entidades locais que beneficiam os territórios nos seus municípios.

O envolvimento do governo nacional, de autoridades regionais e/ou de outras partes interessadas é essencial quando se pretende a implementação de um sistema de TAA, pois pela

sua visão mais abrangente podem considerar e ponderar todos os benefícios e riscos, incluindo benefícios advindos de melhores condições na gestão do litoral, de segurança da navegação, para o turismo, a prática do surf, etc.

Aplicação à Figueira da Foz

A adoção de sistemas de TAA na barra da Figueira da Foz (e também na barra de Aveiro) tem vindo a ser proposta desde a década de sessenta do século XX, e o Grupo de Trabalho do Litoral também recomenda no seu relatório, referindo que a implementação deve ser precedida de análise detalhada de soluções, análises custo-benefício e multicritérios e estudos ambientais baseados na modelação da dinâmica costeira (Santos *et al.*, 2014).

O “*Estudo de Viabilidade da Transposição Aluvionar das Barras de Aveiro e da Figueira da Foz. Tarefa T5 - Definição e Comparação de Soluções Técnicas de Transposição Sedimentar*”, desenvolvido pelo Consórcio UA/R5, enquadra-se nas orientações estratégicas daquele relatório de referência. Nele se abordam várias soluções de TAA, nomeadamente por estacada com sistema de bombas de jato (tipo GSC e TRESBP-AU), por tratores-rasadores das areias ao longo da linha de costa (Adelaide-AU), por gruas móveis com bombas de jato nas suas extremidades (Capbreton-FR) ou por dragas atuando na faixa ativa do transporte litoral (Figura 6).



Figura 6. Soluções de TAA através de sistemas fixos:
(a) Gold Coast Seaway-AU, (b) Adelaide-AU e (c) Capbreton-FR.

Estes sistemas diferem, fundamentalmente, no modo de captação das areias, uma vez que o sistema de bombeamento e circuito hidráulico de descarga é muito similar nas várias soluções. Como anteriormente referido, no caso de sistema fixo similar ao GCS ou o TRESBP-AU, a captação das areias é assegurada a partir de uma estacada com plataforma equipada com um conjunto de bombas de jato, que aspiram as areias e as encaminham por meio de um circuito hidráulico para as praias a sotamar.

Um sistema de TAA, independentemente da tipologia de extração de areias adotada, terrestre ou marítima, deverá ter capacidade para transpor a totalidade do TSL, assegurando um equilíbrio dinâmico do troço costeiro a barlar e sotamar. Além disso, nos primeiros anos de operação, deverá possibilitar a transposição de volumes superiores, de modo a fazer recuar parcialmente a praia a sotamar e criar capacidade de encaixe.

No caso da Figueira da Foz, o saldo do TSL foi estimado em 746.000 m³/ano no sentido N-S (Silva *et al.*, 2021). São realizadas dragagens portuárias de ~300.000 m³/ano na zona da barra e anteporto, com deposição por draga na faixa ativa entre os esporões n.º 2 e n.º 4 da Cova-Gala, e alimentações artificiais ocasionais de pequena magnitude de reforço do cordão dunar e da berma da praia, de que são exemplo as intervenções realizadas em 2019 e 2021 nos 300 m a Sul do esporão n.º 5 da Cova-Gala.

Os estudos de viabilidade realizados para a APA apontaram para a viabilidade técnica de diversos sistemas de TAA, nomeadamente do sistema fixo tipo GCS ou TRESBP-AU (Coelho *et al.*, 2021a), para o qual se identificou como economicamente vantajosa a implementação na zona costeira da Figueira da Foz (Figura 7).



Figura 7. Figueira da Foz. Solução fixa de TAA, captação de areias, edifício de controlo, atravessamento do canal e circuito hidráulico fixo. Fonte: Carvalho *et al.* (2021).

Nesta solução, assume-se que o sistema de TAA funcionará durante todo o ano, sempre que a acumulação de areia na trincheira o torne necessário. O tempo de funcionamento típico será cerca de 30 horas/semana, para o qual é necessária uma capacidade de transferência de $640 \text{ m}^3/\text{h}$ para se manter uma trincheira eficaz. Esta capacidade requer 3, 4 ou 5 bombas de jato *standard* para funcionar em conjunto, dependendo da seleção das bombas de jato ao longo da estacada.

Nos casos em que ocorre grande acumulação de areias, entram em operação as bombas de jato na extremidade do pontão, de modo a gerar cones de extração na faixa ativa do perfil e a estender a trincheira em direção ao mar. Este sistema deixa a praia disponível para uso público e a operação não tem impacto adverso na praia para além do recuo da linha de costa e da presença de cones de extração de areia sob a estacada.

Os conjuntos das bombas de jato são conectados à tubagem fixa da estacada usando mangueiras de borracha flexíveis. As bombas de jato são equipadas com transdutores ultrassônicos, para monitorizar a profundidade dos cones de extração.

Propõe-se duas tipologias de descarga dos sedimentos (mistura água-areia) nas praias da zona costeira situada para S da embocadura do rio Mondego, as quais podem ser comuns para diferentes tipologias de sistema de extração de areias na praia de barlamar:

- Descargas permanentes, localizadas onde se pretende seja descarregado um grande volume de areia por um longo período, com uma tubagem de saída aérea permanente para um ponto de ligação adequado no topo da praia;
- Saídas temporárias, localizadas apenas onde uma pequena quantidade de areia seja descarregada, para utilização apenas num reduzido número de dias.

Foi identificado nos estudos, suportados por modelações matemáticas da evolução da linha de costa que a saída permanente poderá ser localizada entre o 1º e o 5º esporão da Cova Gala (Coelho *et al.*, 2021b).



Descargas permanentes (→). Localizadas onde um grande volume de areia seja descarregado por um longo período. A descarga da mistura é realizada por via aérea diretamente na faixa ativa do transporte litoral;

Saídas temporárias (→). Localizadas apenas onde uma pequena quantidade de areia seja descarregada para utilização apenas num reduzido número de dias. Visa a deposição do perfil emerso da praia, para sua alimentação e reforço. Requer modelação de terreno por maquinaria específica.

Figura 8. Figueira da Foz. Solução de descarga de sedimentos baseada em descargas permanentes e saídas temporárias. Fonte: Carvalho *et al.* (2021).

As saídas permanentes incluem uma tubagem aérea para permitir que a areia seja rejeitada diretamente na faixa da rebentação.

Os estudos de viabilidade recomendam o seguinte:

- Montar uma tubagem (circuito hidráulico em pressão) para descarga da mistura água-areia até à localização da saída permanente, no campo de esporões da Cova Gala, cujo 1º esporão se situa ~1 km para S do molhe S e o 5º esporão a cerca de 3,1 km;
- Estabelecer pontos de descarga temporários ao longo da tubagem entre o molhe S e a descarga permanente, para permitir descargas temporárias no topo do perfil de praia, até que se estabeleça um perfil estável;
- Após o estabelecimento de uma linha de costa estável, gerada pelas operações iniciais, construir uma descarga permanente, sobre pilaretes, a descarregar diretamente na faixa ativa do transporte litoral.

A localização das descargas do sistema nas praias a S da embocadura é independente da solução de captação das areias na praia de barlar. Assume no entanto, como pressuposto, que o volume de TAA anual é igual e da ordem do saldo do TSL em todos os sistemas.

Um sistema de TAA não é considerado uma infraestrutura essencial pelo que não há duplicação de equipamentos para suprir falhas do equipamento. O sistema é desligado durante eventuais reparações de equipamentos defeituosos, uma interrupção de um mês não é relevante para a transposição geral, pois o défice pode ser compensado após as reparações.

Conclusões

O “Estudo de Viabilidade da Transposição Aluvionar das Barras de Aveiro e da Figueira da Foz. Tarefa T5 - Definição e Comparação de Soluções Técnicas de Transposição Sedimentar” foi desenvolvido pelo consórcio Universidade de Aveiro (UA) e R5 Marine Solutions (R5), com o suporte da OCEANING e MALCPEARL, para a APA no período de dezembro de 2019 a maio de 2021.

O estudo abordou a viabilidade técnica de várias soluções de TAA na praia da Figueira da Foz,



por via terrestre e marítima, nomeadamente estacada com sistema de bombas de jato (tipo GSC e TRESBP-AU), tratores que atuam como raspadores das areias na linha de costa (Adelaide-AU), gruas móveis com bombas de jato nas suas extremidades (Capbreton-FR), ou dragas atuando intensivamente na faixa ativa do TSL.

Foi identificado nos estudos, suportados por modelações matemáticas da evolução da linha de costa, que a saída permanente poderá ser localizada entre o 1º e o 5º esporão da Cova Gala. O sistema fornecerá capacidade de bombeamento suficiente para alimentar uma saída permanente imediatamente a S do 5º esporão, situado a uma distância de ~3,1 km.

São possíveis duas tipologias de descarga dos sedimentos (mistura água-areia): (i) descargas permanentes, localizadas onde um grande volume de areia **seja** descarregado por um longo período, com uma tubagem de saída subterrânea permanente para um ponto de ligação adequado no topo da praia; e (ii) saídas temporárias, localizadas apenas onde uma pequena quantidade de areia seja descarregada, para utilização apenas num reduzido número de dias.

Estas tipologias de descarga, que se podem usar de modo alternado ao longo do ciclo anual de transporte sedimentar, permitem uma gestão flexível dos sedimentos costeiros, dirigindo-os para a zona costeira por deposição na faixa ativa, onde serão movimentados sob a ação dos agentes naturais (ação difusa) ou para alimentação do perfil de praia (ação local).

Todas as soluções estudadas têm como vantagem principal a proteção costeira generalizada da costa a S, com resultados favoráveis em relação à situação de referência. Os resultados previstos em todas as soluções são equiparáveis, uma vez que todas elas apresentam flexibilidade equiparável no que respeita à deposição de dragados nos perfis de praia imerso e emerso.

Em qualquer das soluções não se eliminará a dragagem do canal de navegação, mas ela será potencialmente reduzida com o passar dos anos, dada a diminuição do afluxo de sedimentos de barlamar. Eventualmente, a dragagem poderá ser reduzida a um ciclo plurianual. A segurança do canal de navegação do porto será melhorada, dadas as soluções permitirem cotas mais estáveis da barra submersa na embocadura.

Face ao objetivo de TAA, a opção por captação das areias por via marítima, frente à praia da Figueira da Foz com recurso a dragas, apresenta alguns condicionamentos, por exemplo operacionais, dado que as dragas se não podem aproximar demasiado da costa para atuar na faixa ativa do transporte litoral com a mesma eficácia que os sistemas fixos e mistos.

Nos sistemas fixos e mistos, e opcionalmente num sistema móvel, a descarga da mistura de areias é realizada por um circuito hidráulico fixo, cujo traçado se estende da praia a barlamar, atravessa o canal de navegação, e se prolonga por alguns quilómetros, até ao campo de esporões a sotamar que defende a zona costeira mais vulnerável à erosão.

A implementação de qualquer das soluções, realizando uma TAA superior ao saldo do TSL, baseada em recolha de areias na praia, permitirá controlar o tamanho da praia a N da embocadura (Praia da Figueira da Foz), bem como nas praias a S (praias do Cabedelo - Cova-Gala – Costa de Lavos) e mitigar a erosão costeira nestas áreas.

Referências bibliográficas

Coelho, C., Ferreira, M., Silva, P. A., Bernardes, C., Santos, F., Baptista, P., Lima, M., Carvalho, R. (2021a). “Estudo de Viabilidade de Transposição Aluvionar das Barras de Aveiro e da Figueira da Foz - Relatório Intercalar 2: Tarefa 4, Figueira da Foz”. Consórcio UA/R5.

Coelho, C., Roebeling, P. Ferreira, A.M., Silva, P., Nolasco, A., Cardoso, A., Rocha, B., Lima, M., Narra, P., Carvalho, R. (2021b). Estudo de Viabilidade da Transposição Aluvionar das Barras de Aveiro e da Figueira da Foz. Relatório Intercalar, #3, Tarefa 7, Figueira da Foz, versão 2, 97p. (Março de 2021).



Carvalho, R., Pound, M., Coelho, C., Silva, P., Bernardes, C., A., Baptista, P., Oliveira, T., Afonso, A., Cardoso, A., (2021). Estudo de Viabilidade da Transposição Aluvionar das Barras de Aveiro e da Figueira da Foz. Relatório Intercalar, #3, Tarefa 5, Figueira da Foz, versão 2 (Março de 2021).

Loza (2008). Sand Bypassing Systems. Masters in Environmental Engineering. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto.

Pinto, C.A., Silveira, T.M., Teixeira, S.B. (2020). Beach nourishment practice in mainland Portugal (1950–2017): Overview and retrospective. *Ocean & Coastal Management*, 192, 105211.

Pound, M.D. (2002). Fifteen years operations of the Gold coast Seaway Sand Bypassing System. 30th PIANC-AIPCN Congress, Sydney, Australia 22-26 September, 2002.

Pound, M.D. (2002). The use of Fixed Sand Bypassing Systems at Tidal Entrances.

NSW and Queensland governments, Australia (2022). Tweed Sand Bypassing Project (TRESBP). Disponível em: <https://www.tweedsandbypass.nsw.gov.au>. Acesso em: 28-01-2022.

Pinto, C., Silveira, T., Teixeira, S. (2018). Alimentação artificial de praias na faixa costeira de Portugal Continental: Enquadramento e retrospectiva das intervenções realizadas (1950–2017).

Santos, F., Lopes, A., Moniz, G., Ramos, L., Taborda, R., 2014. Gestão da Zona Costeira - O Desafio da Mudança. Relatório do Grupo de Trabalho do Litoral, 237p.

Silva, P. A., Monteiro, N., Oliveira, T., Abreu, T., Coelho, C., Lima, M., Carvalho, R. (2021) “Estudo de Viabilidade de Transposição Aluvionar das Barras de Aveiro e da Figueira da Foz - Relatório Intercalar 2: Tarefa 3, Figueira da Foz”. Consórcio UA/R5.

Soares (2007). Sand Bypass Study. Aveiro Lagoon Mouth and Figueira da Foz River Mouth Case Studies. Master in Civil Engineering— Specialisation in Hydraulics. FEUP.

Van de Graaff, Jan (2020). "Coastal Wiki - Sand By-Pass Systems: Some sand by-pass possibilities - Sea-route". Delft University of Technology. Acedido em 12-01-2022: http://www.coastalwiki.org/wiki/Sand_by-pass_systems.