PREFEITURA DE
Itapema

ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE MEIA PRAIA, EM ITAPEMA/SC



Atendimento às condicionantes da Licença Ambiental Prévia nº 3895/2024

Condicionante nº 7 – Aspectos Ambientais das Dragas

Agosto/2025

CARUSO

Sumário

1. INTRODUÇÃO 6

1.1 DADOS DO EMPREENDEDOR 8

1.2 DADOS DA OBRA 9

1.3 DADOS DA CONSULTORIA AMBIENTAL 9

1.4 DADOS DA EQUIPE TÉCNICA MULTIDISCIPLNAR 10

2. TIPOS DE DRAGA 11

2.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS 14

Mecânica – Draga de Alcatruzes 14

Mecânica – Draga de Caçamba 16

Mecânica – Draga Retroescavadeira (*Backhoe*) 17

Mecânica – Draga de Pá (*Dipper* – escavadeira frontal) 19

Hidráulica – Draga Dustpan 21

Hidráulica – Draga de Injeção de Água 22

Hidráulica – Draga de Sucção Simples (Estacionária) 23

Hidráulica – Draga de Sucção e Recalque (THSD) 25

Combinadas – Draga de Sucção com Cortador (CSD) 27

Combinadas – Draga de Sucção com Cortador Vertical 28

2.2 QUADRO COMPARATIVO 28

2.2.1 EQUIPAMENTOS DE DRAGAGEM COM MENOR IMPACTO EM ORGANISMOS BENTÔNICOS 29

2.2.2 RECOLONIZAÇÃO DE ORGANISMOS BENTÔNICOS APÓS DRAGAGEM: EVIDÊNCIAS CIENTÍFICAS 30

2.3 DEFINIÇÕES PARA A OBRA 32

2.3.1 VANTAGENS AMBIENTAIS DA DRAGA TSDH 34

3. TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA DRAGAGENS 35

4. MEDIDAS DE CONTROLE AMBIENTAL 47

5. CONCLUSÃO 49

6. REFERÊNCIAS 50

Lista de Figuras

Figura 1. Localização da alimentação artificial de praia em Meia Praia, Itapema/SC. 6

Figura 2. Localização da jazida sedimentar a ser utilizada na alimentação artificial em Meia Praia em Itapema/SC. 7

Figura 3. Poligonal norte delimitada para dragagem (área hachurada) para a obra de engorda da Praia de Itapema/SC. 7

Figura 4. Exemplo de draga de alcatruzes em um dique seco. Fonte: Escalante, 2017a. 14

Figura 5. Exemplo de draga de caçamba. Fonte: Escalante, 2019a. 16

Figura 6. Exemplo de draga do tipo retroescavadeira (*backhole*) depositando o material na barcaça auxiliar (esquerda) e esquema lateral da draga (direita). Fonte: Van Oord (esquerda) e Escalante, 2017c (direita). 18

Figura 7. Esquema de draga de pá (Dipper). Fonte: Oliveira, 2010. 19

Figura 8. Esquema de draga do tipo Dustpan. Fonte: Escalante, 2017b. 21

Figura 9. Exemplo de draga de injeção de água (esquerda) e esquema de operação e funcionamento (direita). Fonte: Vuyk Engineering Rotterdam (esquerda) e Wagner e Lewis, 2022 (direita). 23

Figura 10. Fotografia de draga de sucção simples (estacionária) a esquerda e desenho técnico à direita. Fonte: Escalante, 2019b (direita). 23

Figura 11. Esquema de draga de sucção por arraste (THSD) de um ou dois braços de dragagem. Fonte: Van Oord (esquerda) e Allonda (direita). 25

Figura 12. Desenho dos cabeçotes comuns com jatos de água (esquerda) e do cabeçote Califórnia (direita). Fonte: Miedema, 2012. 36

Figura 13. Exemplo de cabeçotes da IHC para sedimentos finos (esquerda) e para rochas com dentes curvos (direita). Fonte: Royal IHC. 36

Figura 14. Fotografia do sistema *Wild Dragon* em cabeçotes da draga. 37

Figura 15. Exemplo de sistema *overflow* na cisterna da draga. Fonte: Royal IHC. 39

Figura 16. Exemplo ilustrativo de diversos tipos de tubulações flutuantes para dragagem: confeccionadas em aço e borracha em combinação com curvas, peças em Y, válvulas de retenção, válvulas de aeração e válvulas gaveta. Fonte: Royal IHC. 41

Figura 17. Exemplos de defletores flexíveis (de correntes). Fonte: Porto do Açu, 2021. 42

Figura 18. Exemplos de defletores semirrígido. Fonte: Porto do Açu, 2021. 42

Figura 19. Exemplos de múltiplos defletores, flexível a esquerda do braço de dragagem e defletor rígido a direita instalada no cabeçote da draga. Fonte: Porto do Açu, 2021. 43

Figura 20. Exemplo de caixa para filtragem do material dragado em draga antes do despejo na cisterna. Fonte: Porto do Açu, 2021. 44

Figura 21. Observador de bordo removendo fauna capturada durante a inspeção das telas na entrada da cisterna. Fonte: Porto do Açu, 2021. 44

Lista de Quadros

Quadro 1. Parâmetros operacionais típicos de dragas de alcatruzes. Fonte: Escalante, 2017a. 15

Quadro 2. Parâmetros operacionais típicos de dragas de caçamba. Fonte: Escalante, 2019ª. 17

Quadro 3. Parâmetros operacionais típicos de dragas retroescavadeiras. Fonte: Escalante, 2017c. 19

Quadro 4. Parâmetros operacionais típicos de dragas Dipper. Fonte: Escalante, 2017c. 20

Quadro 5. Parâmetros operacionais típicos de dragas do tipo Dustpan. Fonte: Escalante, 2017b. 22

Quadro 6. Parâmetros operacionais típicos de dragas de sucção simples. Fonte: Escalante, 2019b. 25

Quadro 7. Parâmetros operacionais típicos de dragas TSHD. 27

Quadro 8. Quadro comparativo entre os principais tipos de dragas. 29

Quadro 9. Características do equipamento de dragagem a ser utilizado na alimentação artificial de Meia Praia. Fonte: Alleanza, 2024. 32

Quadro 10. Equipamentos disponíveis para dragagem e obra de alimentação artificial de Meia Praia, com destaque para as dragas utilizadas nas últimas obras de alimentação artificial no Brasil. 33

Quadro 11. Equipamentos disponíveis para dragagem e obra de alimentação artificial de Meia Praia e sua localização atual verificada via *Marine Traffic* em julho de 2025. 34

Quadro 12. Relação do tipo de cabeçote com o tipo de solo. Fonte: adaptado de Royal IHC. 35

Quadro 13. Síntese das medidas de controle ambiental propostas de acordo com seu objetivo e impacto a ser mitigado/controlado. 48

1. INTRODUÇÃO

O empreendimento em licenciamento consiste na obra de **alimentação artificial de Meia Praia em Itapema/SC**. O local de implantação da obra está localizado no norte do estado de Santa Catarina, no município de Itapema, entre o rio Taboleiro dos Oliveiras e o rio Parquê (Figura 1). A jazida de empréstimo definida para este projeto refere-se a mesma utilizada para o alargamento de Praia Central em Balneário Camboriú, localizada a cerca de 19km da área do projeto (Figura 2).



Figura 1. Localização da alimentação artificial de praia em Meia Praia, Itapema/SC.

Quadro 1. Vértices da poligonal norte definida para a obra de engorda da Praia de Itapema/SC.

	COORDENADAS UTM – DATUM SIRGAS2000	
VÉRTICES	X (m)	Y (m)
V1	751487,177	7013487,050
V2	750870,922	7013180,517
V3	750907,661	7012848,521
V4	751645,627	7013172,126

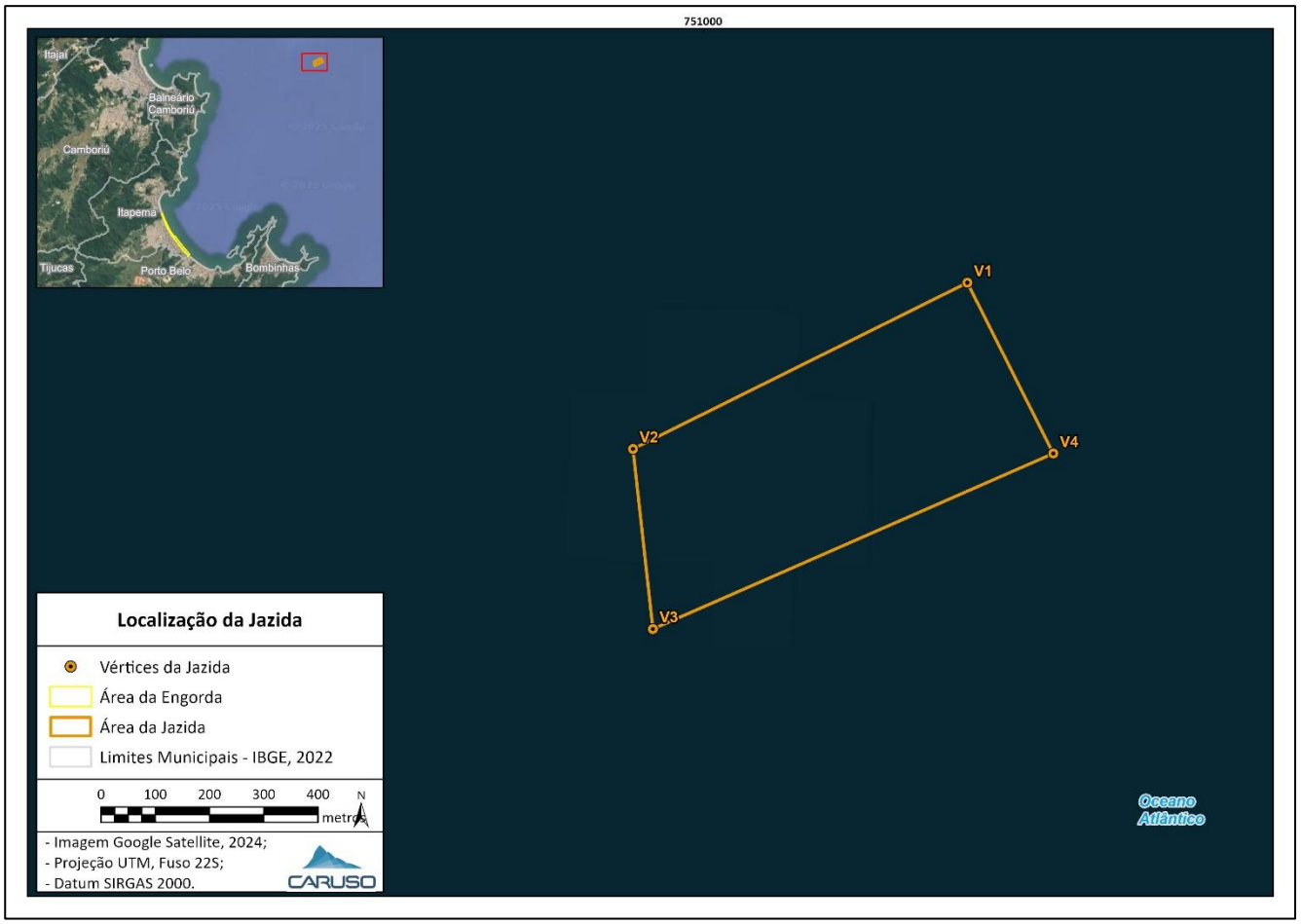


Figura 2. Localização da jazida sedimentar a ser utilizada na alimentação artificial em Meia Praia em Itapema/SC.

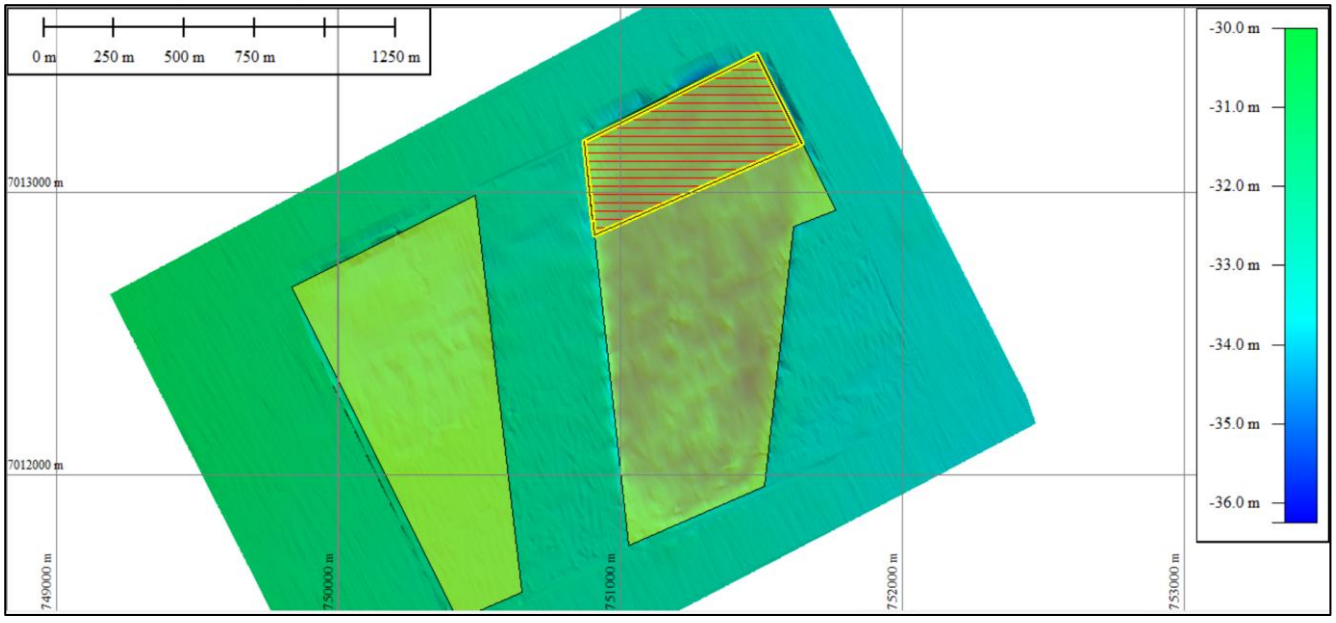


Figura 3. Poligonal norte delimitada para dragagem (área hachurada) para a obra de engorda da Praia de Itapema/SC.

A alimentação artificial de praias é uma técnica empregada para combater a erosão e recuperar áreas praiais degradadas, promovendo a proteção da orla e a manutenção das atividades recreativas. Contudo, a extração e realocação de sedimentos via dragagem podem ocasionar impactos ambientais relevantes, que devem ser avaliados de forma abrangente, considerando os meios físico, socioeconômico e biótico, além da qualidade do material dragado.

As obras de alimentação artificial de Meia Praia têm como principal objetivo reforçar a proteção costeira, promovendo uma defesa natural contra a ação erosiva das ondas. Além de proteger a infraestrutura existente, a intervenção visa garantir uma praia com largura adequada e boa qualidade para fins recreativos. A área de intervenção compreende a faixa de Meia Praia situada entre as estruturas de molhes, estendendo-se desde a foz do rio Taboleiro dos Oliveiras até o limite da futura obra do Píer Turístico no rio Perequê, totalizando uma extensão de 4.750 metros. A localização entre os molhes proporciona maior estabilidade ao trecho alimentado, uma vez que essas estruturas reduzem a ação da deriva litorânea, minimizando a ação erosiva das correntes e das ondas e favorecendo a permanência do material depositado.

Diante do exposto, o presente documento tem como objetivo o atendimento da condicionante nº 7 da Licença Ambiental Prévia nº 3895/2024 emitida pelo Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA) para a atividade. A condicionante solicita uma análise detalhada dos aspectos positivos e negativos das dragas consideradas para utilização nas obras do alargamento artificial de Meia Praia, com foco especial nos aspectos ambientais, em atendimento neste documento. É dada ênfase aos equipamentos que geram menor impacto à fauna bentônica na área da jazida e que minimizam a formação de buracos profundos, buscando manter a topografia o mais rasa possível. Além disso, são apresentadas medidas de controle ambiental a serem implementadas durante a operação de dragagem, como monitoramento de turbidez, controle de emissão de sedimentos em suspensão, e protocolos para mitigação de impactos sobre os ecossistemas locais.

1.1 DADOS DO EMPREENDEDOR

RAZÃO SOCIAL	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAPEMA
CNPJ	82.572.207/0001-03
ENDEREÇO	Avenida Nereu Ramos, nº 134. CEP: 88.220-000 – Itapema/SC
FONE/FAX	(47) 3268 8000
RESPONSÁVEL LEGAL	Carlos Alexandre de Souza Ribeiro

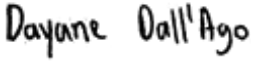
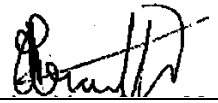
1.2 DADOS DA OBRA

DENOMINAÇÃO	Alimentação artificial de Meia Praia de Itapema/SC utilizando a Jazida Sedimentar de Balneário Camboriú/SC
LOCALIZAÇÃO	Meia Praia, Itapema/SC

1.3 DADOS DA CONSULTORIA AMBIENTAL

NOME OU RAZÃO SOCIAL	CARUSO JR. ESTUDOS AMBIENTAIS & ENGENHARIA LTDA
CNPJ	02.550.302/0001-69
ENDEREÇO	Rua Dom Jaime Câmara, Nº 170 – 12° Andar, Centro. CEP: 88.015-120 – Florianópolis/Sc.
TELEFONE	(48) 3223-4620
E-MAIL	contato@carusojrea.com.br
RESPONSÁVEL LEGAL	Francisco Caruso Gomes Júnior
E-MAIL	caruso@carusojrea.com.br
DIRETORA TÉCNICA	Carolina Claudino dos Santos
E-MAIL	carolina.claudino@carusojrea.com.br
TELEFONE	(48) 3223-4620 / (48) 99994-0169

1.4 DADOS DA EQUIPE TÉCNICA MULTIDISCIPLNAR

PROFISSIONAL	FORMAÇÃO/ FUNÇÃO	CTF IBAMA	REGISTRO NO CONSELHO DE CLASSE	ASSINATURA
Francisco Caruso Gomes Jr.	Geólogo, Dr. / Coordenação Geral / Responsável Legal	163.516	CREA/SC 026850-0	
Carolina Claudino dos Santos	Bióloga, MBA em Auditoria, Gestão e Perícia Ambiental / Diretora técnica	2664893	CRBio 63.918/03-D	
Dayane Dall'Ago Conejo e Silva	Oceanógrafa, Mestra em Engenharia Ambiental / Gerente do projeto	5473533	AOCEANO nº 2135	
Ana Carolina Massulini Acosta	Geóloga, Mestra em Geologia / Coordenação técnica do projeto	8344399	CREA/SC 186181-5	
Lais Pool da Silva Freitas	Engenheira Civil Costeira e Portuária, Mestra em Geociências / Elaboração do documento	8506575	CREA/SC 203335-8	
Pedro Henrique Machado Porath	Geógrafo, Analista e Desenvolvedor de Sistemas, Mestre em Engenharia de Transporte e Gestão Territorial / Coordenação técnica do Geoprocessamento	8060413	CREA-SC 125447-2	

2. TIPOS DE DRAGA

A dragagem consiste no processo de escavação e remoção de sedimentos submersos, como areias, lamas e rochas decompostas, através de equipamentos mecânicos e/ou hidráulicos, sendo uma atividade comumente realizada em ambientes marinhos, estuarinos e fluviais (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Essa intervenção é fundamental para a manutenção da navegabilidade, recuperação de áreas degradadas e execução de obras costeiras e portuárias, podendo envolver diferentes tipos de dragas, cujas características operacionais e ambientais variam de acordo com o tipo de material a ser removido, as condições hidrodinâmicas locais e os objetivos do empreendimento. A seleção do equipamento adequado influencia diretamente nos impactos ambientais associados à atividade, como a suspensão de sedimentos, alteração da qualidade da água e perturbação de habitats bentônicos, exigindo, portanto, planejamento técnico criterioso e medidas de mitigação compatíveis.

As obras de dragagem podem ter finalidades diferentes. Em alguns casos, a dragagem é a atividade principal do projeto, como nas dragagens de manutenção de canais de navegação. Em outros casos, a dragagem faz parte de um projeto maior, sendo apenas uma etapa da obra principal. No caso de alimentação artificial de praia, a dragagem não é o objetivo final, mas sim uma atividade necessária para transportar e depositar a areia que vai recompor a faixa de praia. Por isso, ela é considerada uma parte do projeto de proteção e recuperação costeira.

Além disso, as dragagens também se diferenciam quanto ao tipo de obra (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Segundo os autores, as dragagens de implantação correspondem a obras novas, realizadas para criar ou ampliar áreas navegáveis ou estruturas costeiras. Já as dragagens de manutenção têm como objetivo restabelecer as condições originais (gabarito) de obras já existentes, removendo sedimentos que se acumularam ao longo do tempo e que comprometem sua funcionalidade (ALFREDINI e ARASAKI, 2009).

No caso da alimentação artificial de praia, a dragagem é considerada, na maioria dos casos, uma obra de implantação, pois envolve a adição de sedimentos em trechos da costa com o objetivo de ampliar a faixa de areia, recuperar áreas erodidas ou proteger infraestruturas costeiras. Trata-se, portanto, de uma intervenção nova, planejada para modificar positivamente as condições da linha de costa. Entretanto, em projetos futuros ou recorrentes no mesmo local realizados para repor volumes perdidos por erosão natural ao longo do tempo, a dragagem pode ser classificada como manutenção, já que seu objetivo passa a ser o restabelecimento das condições previamente implantadas, como largura da praia ou volume de areia. Nesse caso, trata-se da reposição de material para manter a eficácia da proteção costeira instalada anteriormente.

O transporte do material dragado pode ser realizado por diferentes meios, dependendo do tipo de draga utilizada, da distância até o local de destinação e das condições operacionais da obra. As principais formas de transporte incluem:

- **Tubulações:** utilizadas principalmente em dragas de sucção, permitem o transporte contínuo do material (mistura de sedimento e água) diretamente da área de dragagem até o local de despejo ou alimentação da praia. São indicadas para curtas e médias distâncias e permitem maior controle do destino do sedimento.
- **Barcaças auxiliares:** empregadas, em geral, nas operações mecânicas, consistem no carregamento do material dragado em embarcações específicas, que posteriormente transportam os sedimentos até o local de descarte ou reaproveitamento. São utilizadas quando as distâncias são maiores ou quando o descarte é *offshore* e a draga não é auto transportadora.
- **Cisterna da draga (*hopper*):** presente em dragas auto transportadoras, onde o material é armazenado temporariamente em tanques ou cisternas internas da própria draga. Após o enchimento, a draga se desloca até o local de despejo, onde o material é descarregado, geralmente por fundo basculante ou por bombeamento.

A seleção do tipo de draga considera, entre outros fatores, as características do material a ser removido. No presente projeto de alimentação artificial de Meia Praia, o sedimento a ser dragado é composto predominantemente por areia. De modo geral, diferentes tipos de dragas podem ser empregados na remoção de areias e lamas, desde que compatíveis com as condições operacionais e ambientais da área de intervenção, como, por exemplo, a profundidade do local a ser dragado.

As dragas podem ser classificadas, em primeiro nível, de acordo com o princípio básico de escavação empregado no processo de remoção do material. Sob essa perspectiva, dividem-se em dragas **mecânicas**, que realizam a escavação por meio de caçambas, alcatruzes ou outros dispositivos físicos; dragas **hidráulicas**, que utilizam sucção e fluxo de água para desagregar e transportar os sedimentos; e dragas **combinadas**, que integram elementos mecânicos e hidráulicos em uma mesma operação (ALFREDINI e ARASAKI, 2009).

De forma secundária, as dragas também podem ser classificadas quanto à sua mobilidade e capacidade operacional: podem ser autopropulsadas, quando possuem sistemas próprios de locomoção, ou não autopropulsadas, quando necessitam de rebocadores para se deslocar. Além disso, essa classificação pode

considerar a abrangência das etapas do processo, diferenciando dragas que realizam apenas a escavação, somente o transporte, ou ambas as funções integradas em um único equipamento.

Dragas Mecânicas

As dragas mecânicas utilizam o princípio do corte direto para a remoção do material submerso, operando de forma semelhante a equipamentos de escavação utilizados em terra (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Essas dragas são caracterizadas pela ação física de ferramentas que penetram e cortam o sedimento, promovendo sua extração por meio de movimentos repetitivos de escavação e elevação. Embora sejam eficazes na remoção de materiais mais compactos ou localizados em áreas restritas, apresentam baixa eficiência no que se refere ao controle da perturbação do leito e à diluição do material removido, gerando maior suspensão de sedimentos no ambiente (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Entre os principais exemplos de dragas mecânicas destacam-se a draga de alcatruzes, a draga de caçambas, a draga retroescavadeira e a draga de pá.

Dragas Hidráulicas

As dragas hidráulicas utilizam bombas centrífugas de alta capacidade para gerar o fluxo de água responsável por mobilizar e transportar os sedimentos (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Nesse tipo de operação, a sucção da água gera um diferencial de pressão que mobiliza o material dragado, transportando-o em suspensão através de tubulações. O sedimento pode ser conduzido diretamente até a área de disposição, como no caso da alimentação de praia, ou armazenado temporariamente na cisterna (*hopper*) da própria draga, quando se trata de dragas autotransportadoras. Posteriormente, o material armazenado é descarregado no local de destinação por meio de descarga por fundo basculante ou bombeamento.

Esse método é especialmente eficiente para a remoção de sedimentos não coesivos, como areias e lamas (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Entre os principais tipos de dragas hidráulicas destacam-se: draga Dustpan, draga de injeção de água, draga de sucção simples e draga de sucção e arraste. Esses equipamentos são amplamente utilizados em dragagens de grande escala, devido à sua elevada produtividade e capacidade de operação contínua.

2.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Mecânica – Draga de Alcatruzes

A draga de alcatruzes é composta por uma série de canecas (ou baldes) montadas sobre uma corrente em movimento contínuo, denominada rosário (Figura 4). Durante a operação, as canecas escavam o fundo, elevam o material e o descarregam por gravidade na parte superior do rosário, de onde o material é conduzido por planos inclinados até as barcaças de transporte (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Esse tipo de draga é versátil e pode ser utilizado para a remoção de diferentes tipos de sedimentos, incluindo materiais compactos e rochas brandas (ESCALANTE, 2017a).



Figura 4. Exemplo de draga de alcatruzes em um dique seco. Fonte: Escalante, 2017a.

A movimentação da draga é feita por âncoras acionadas por guinchos (ESCALANTE, 2017a). O guincho de proa é o mais potente, responsável por opor-se à força de dragagem e permitir o deslocamento da draga contra a frente de corte. Os quatro guinchos laterais promovem o movimento transversal da embarcação, enquanto o guincho traseiro atua no equilíbrio geral, compensando variações no nível da água e na resistência do solo. Em algumas configurações, o sistema de ancoragem pode ser substituído por dois calões. Essas dragas operam deslocando-se paralelamente ao seu eixo central, liberando os cabos de um lado e tencionando-os do outro, permitindo que os baldes removam continuamente o material do fundo. A lubrificação do sistema de rosário deve ser constante, geralmente à base de graxa, o que pode representar risco de contaminação ambiental. O desgaste das peças é elevado, exigindo manutenção rigorosa e frequente.

A escavação ocorre pela força de ruptura aplicada pelo lábio ou dente do balde sobre o solo. Essa força é determinada por fatores como o peso e o tamanho da draga, o formato e a capacidade dos baldes, bem como a potência e as características do sistema de arraste (ESCALANTE, 2017a). Para materiais duros, são utilizados baldes menores, mais pesados e com velocidades reduzidas do rosário. Em casos específicos, como dragagem de rochas, é possível equipar um balde com dentes a cada três unidades (sistema *ripper tine*). A classificação das dragas de alcatruzes é feita com base na capacidade dos baldes, que varia entre 150 e 1.200 litros (ESCALANTE, 2017a). A velocidade do rosário pode atingir até 30 baldes por minuto (ESCALANTE, 2017a).

As dragas de alcatruzes possuem **vantagens** importantes, como: a dragagem contínua (única entre as dragas mecânicas), baixa diluição do material removido, maior aproveitamento de carga nas barcaças com reduzido derramamento, e boa precisão do fundo dragado com pouca necessidade de sobredragagem[1]. São pouco sensíveis à presença de lixo ou pequenas rochas, e operam de forma estável mesmo com ondulações moderadas, desde que associadas a sistemas elásticos de fixação (ESCALANTE, 2017a).

Entretanto, apresentam **desvantagens** relevantes: interferência das âncoras na navegação, dependência de barcaças (o que limita o uso direto do material para preenchimento de áreas), baixa eficiência para remoção de camadas finas, ruído elevado durante a operação; dificuldades no esvaziamento de baldes com materiais argilosos ou pegajosos, limitações para operar em águas rasas devido ao tamanho da catenária do rosário (ESCALANTE, 2017a). Além disso, apresentam altos custos de investimento, operação e mobilização, especialmente em resposta a sua grande sensibilidade a ação de ondas (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). A presença de cabos ou correntes submersas pode interromper completamente a operação, exigindo manobras de liberação complexas e dispendiosas (ESCALANTE, 2017a).

Com relação aos limites operacionais, as dragas de alcatruzes geralmente operam dentro das seguintes condições, destacadas na Quadro 2.

Quadro 2. Parâmetros operacionais típicos de dragas de alcatruzes. Fonte: Escalante, 2017a.

Parâmetro	Valor Máximo
Profundidade mínima de operação	5,0 m
Profundidade máxima de dragagem	35,0 m
Largura máxima de corte (em uma só passada)	150 m
Altura máxima de onda	1,5 m
Swell máximo (ondulação)	1,0 m
Corrente transversal máxima	2,0 nós
Espessura máxima de gelo	100 mm
Tamanho máximo de pedra	1.500 mm
Força de compressão máxima da rocha (sã)	10 MPa

[1] Dragagem adicional ao volume projetado, realizada para garantir o nivelamento do fundo e compensar imprecisões operacionais, garantindo que a cota final desejada seja efetivamente atingida. Geralmente necessárias para dragagem de canais de navegação.

Mecânica – Draga de Caçamba

A draga de caçamba consiste em um guindaste montado sobre uma balsa, equipado com cabos que sustentam uma caçamba articulada (Figura 5). A escavação ocorre pela queda livre da caçamba, que penetra no solo devido ao seu peso próprio (ESCALANTE, 2019a). Ao ser fechada, a caçamba realiza o corte do material por efeito de cisalhamento, que é então içado e descarregado em uma barcaça auxiliar para transporte. A profundidade máxima de operação é limitada pelo comprimento dos cabos de suspensão e pelo diâmetro do carretel (ESCALANTE, 2019a). Essas dragas não são autopropulsadas e utilizam âncoras ou calões para seu posicionamento e reposicionamento, que ocorre sempre que toda a área sob o raio de ação da grua for dragada (ALFREDINI e ARASAKI, 2009).

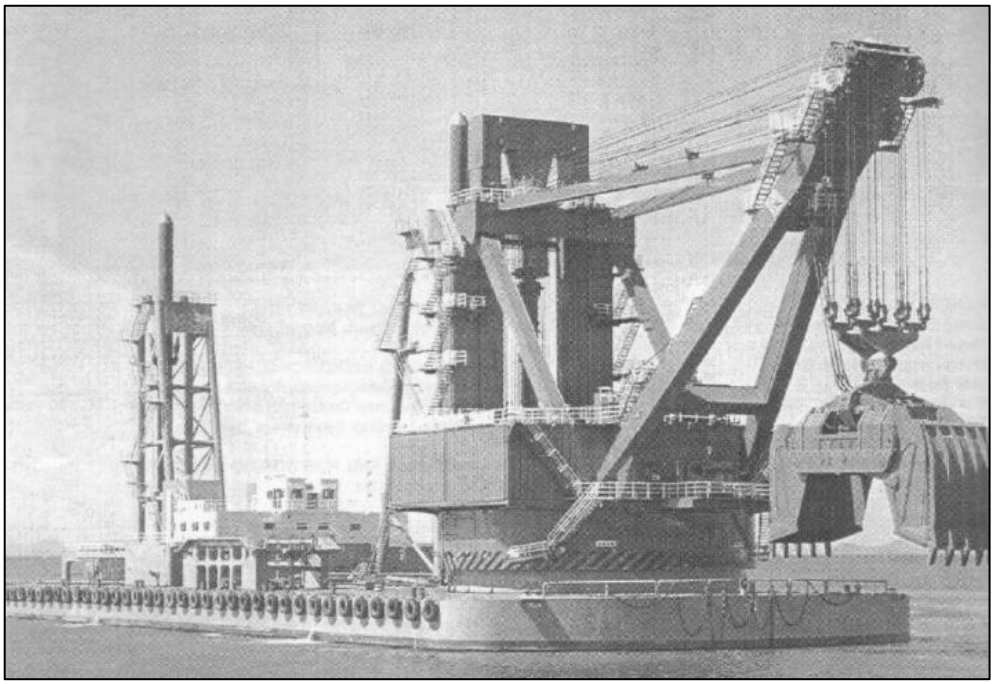


Figura 5. Exemplo de draga de caçamba. Fonte: Escalante, 2019a.

As dragas de caçamba são especificadas principalmente pelo volume da caçamba, que pode variar de 0,75 a 200m³, embora volumes superiores a 20m³ sejam pouco comuns, e a maioria das dragas utiliza caçambas com capacidade entre 2 e 3m³ (ESCALANTE, 2019a). O processo de dragagem segue a tradicional lógica de ciclos: o material é removido dentro do raio de alcance da grua até que o nível de projeto seja atingido, enquanto as barcaças são carregadas alternadamente nos bordos da balsa (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Areias finas e bem classificadas requerem o uso de caçambas com lábios afiados para aumentar a eficiência do corte.

As dragas de caçamba possuem algumas **vantagens** importantes, como a baixa perturbação do leito e pouca diluição do material dragado, o que permite maior proporção de sólidos por volume (ESCALANTE,

2019a). Além disso, não são afetadas pela presença de pedras, resíduos ou lixo flutuante. Mesmo no caso de materiais como cabos ou correntes, o risco está mais associado ao travamento das comportas das barcaças do que à operação da draga em si. Além disso, essas dragas são particularmente adequadas para operar em áreas confinadas, como costados de molhes, canais estreitos e regiões ao redor de quebra-mares (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Seu pequeno calado permite a operação em águas rasas, sendo o limite operacional determinado geralmente pelo calado das barcaças. A flexibilidade de posicionamento também favorece a dragagem em espaços restritos ou com obstáculos laterais (ALFREDINI e ARASAKI, 2009).

Dentre as **desvantagens** dessas dragas, destaca-se a baixa produtividade, já que o tempo efetivo de escavação representa apenas uma pequena parte do ciclo completo de operação (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Há ainda dificuldade em obter um fundo regular e com nível preciso, exigindo frequentemente sobredragagens para atender ao gabarito exigido (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Essa combinação de baixa eficiência e necessidade de retrabalho resulta em custos unitários elevados, especialmente quando se trata de camadas extensas e delgadas. A penetração da caçamba no solo depende exclusivamente de seu peso próprio, o que limita a dragagem de materiais mais resistentes ou muito compactados (ESCALANTE, 2019a). Assim, o intervalo de materiais que podem ser dragados de forma econômica é relativamente pequeno, tornando esse tipo de draga menos competitivo frente a tecnologias mais modernas em grandes projetos.

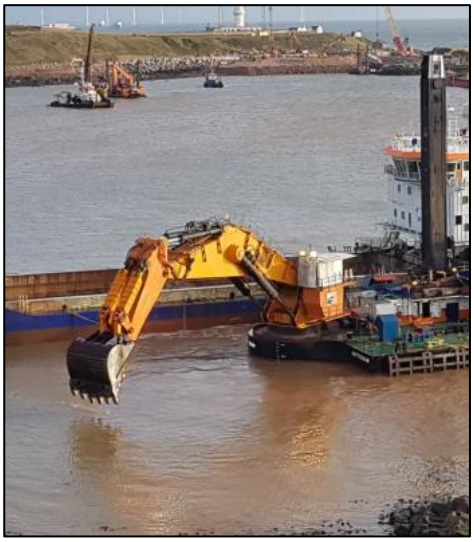
Com relação aos limites operacionais, as dragas de caçamba geralmente operam dentro das seguintes condições, destacadas na Quadro 3.

Quadro 3. Parâmetros operacionais típicos de dragas de caçamba. Fonte: Escalante, 2019ª.

Parâmetro	Valor Máximo
Profundidade mínima da água	1,0 m
Profundidade máxima de água	50,0 m
Altura máxima de onda	2,0 m
Máxima corrente de través	1,5 nós
Máxima tensão de corte (argilas)	300 kPa
Máxima compressão (rochas)	1 MPa

Mecânica – Draga Retroescavadeira (*Backhoe*)

A draga retroescavadeira é formada por uma retroescavadeira convencional, instalada sobre uma balsa flutuante (Figura 6). Essa configuração evoluiu a partir das escavadeiras utilizadas em terra, adaptadas para operação em ambientes aquáticos (ESCALANTE, 2017c). A movimentação da draga é realizada com o auxílio do próprio braço da retroescavadeira, dispensando em muitos casos o uso de âncoras e calões para reposicionamento, o que reduz interferências na navegação e facilita o trabalho em áreas confinadas (ESCALANTE, 2017c).



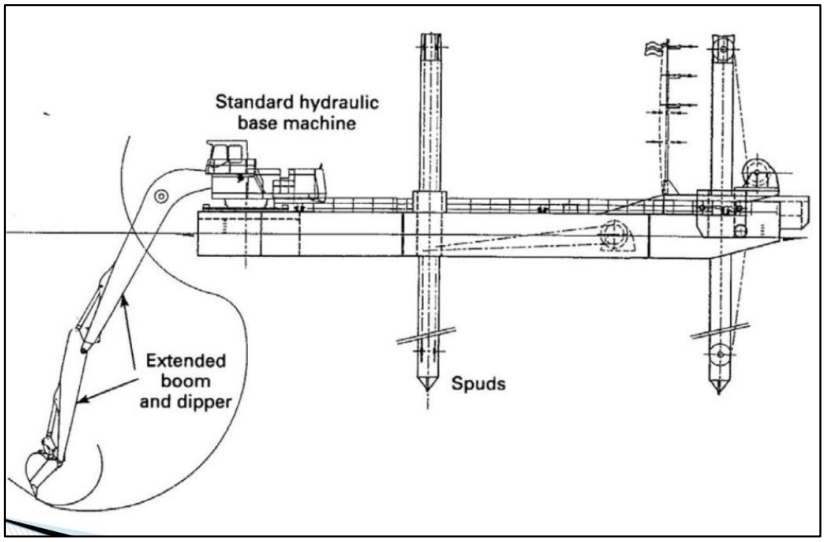


Figura 6. Exemplo de draga do tipo retroescavadeira (*backhole*) depositando o material na barcaça auxiliar (esquerda) e esquema lateral da draga (direita). Fonte: Van Oord (esquerda) e Escalante, 2017c (direita).

Durante a operação, o material escavado é removido por ação mecânica direta e depositado em barcaças de transporte posicionadas ao lado da balsa (Figura 6 à esquerda). A profundidade de escavação é limitada pelo alcance do braço da máquina, com profundidade padrão de dragagem variando entre 4 e 24 metros (ESCALANTE, 2017c). As dragas retroescavadeiras são especificadas em função do volume da caçamba, que normalmente varia entre 1 e 20m³, sendo mais comum a utilização de caçambas com 2 a 3m³ de capacidade (ESCALANTE, 2017c).

Para melhorar a precisão da escavação e compensar a dependência da habilidade do operador, as dragas são equipadas com sistemas automatizados, como o monitor de posição de escavação, que permite visualizar, em tempo real, a posição do braço da draga em relação ao fundo, bem como acompanhar o nível da água e as alterações no relevo do fundo (ESCALANTE, 2017c).

As dragas retroescavadeiras se destacam por algumas **vantagens** como a capacidade de dragar uma ampla variedade de materiais, incluindo seixos, argilas duras e até rochas fragmentadas. Operam bem em espaços confinados, como margens de canais e áreas portuárias com obstáculos laterais (ESCALANTE, 2017c). Outro ponto positivo é o controle preciso da posição e profundidade, aliado à ausência de cabos e âncoras, o que reduz a interferência com outras embarcações (ESCALANTE, 2017c). Além disso, o tamanho compacto e a tripulação reduzida (2 a 3 pessoas, sendo apenas uma na operação) tornam essa draga uma opção com custos de investimento relativamente baixos para equipamentos de porte comercial (ESCALANTE, 2017c).

Apesar das vantagens, as dragas retroescavadeiras apresentam algumas **desvantagens** consideráveis, como o baixo rendimento operacional quando comparadas a dragas de maior porte e

produtividade (ESCALANTE, 2017c). A qualidade do acabamento do fundo dragado pode variar significativamente conforme a habilidade do operador, o que justifica o uso de sistemas automatizados para aumentar a precisão (ESCALANTE, 2017c). Outro ponto de atenção é a necessidade de manutenção regular, especialmente em mar agitado, o que pode acarretar períodos frequentes de parada da operação e impacto na produtividade total do empreendimento (ESCALANTE, 2017c).

Com relação aos limites operacionais, as dragas retroescavadeiras geralmente operam dentro das seguintes condições, destacadas na Quadro 4.

Quadro 4. Parâmetros operacionais típicos de dragas retroescavadeiras. Fonte: Escalante, 2017c.

Parâmetro	Valor Máximo
Profundidade mínima da água	2,0 m
Profundidade máxima de água	24,0 m a 33,0 m (especial)
Máxima largura de corte	25,0 m
Altura máxima de onda	1,5 m
Swell máximo	1,0 m
Máxima corrente de través	2,0 nós
Máxima compressão (rochas)	10 MPa

Mecânica – Draga de Pá (*Dipper* – escavadeira frontal)

A draga de pá (ou escavadeira frontal) é composta por uma pá-carregadeira montada sobre uma balsa, configurada de forma semelhante às dragas retroescavadeiras (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). A operação da escavação ocorre com o movimento da pá para frente e para cima (Figura 7), escavando o material do fundo e o carregando diretamente em barcaças posicionadas ao lado da embarcação. Em ambientes com materiais muito duros, é comum o uso de dentes acoplados à pá para facilitar a desagregação do solo.

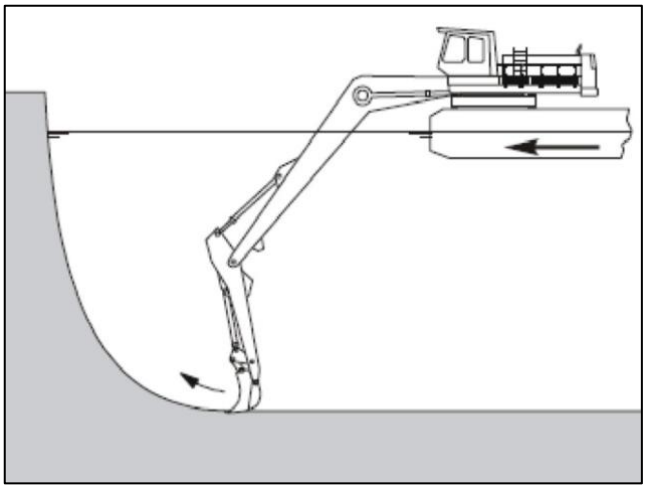


Figura 7. Esquema de draga de pá (Dipper). Fonte: Oliveira, 2010.

A reação à força de escavação é garantida pela presença de calões – dispositivos que ancoram a balsa ao fundo – os quais devem ser suficientemente pesados para estabilizar a estrutura durante a operação (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Assim como outras dragas mecânicas, a draga de pá não possui propulsão própria, sendo necessária a utilização de rebocadores para reposicionamento e deslocamentos maiores. A escavação é feita por ciclos, e o cálculo da produção diária segue a mesma lógica utilizada nas dragas retroescavadeiras, considerando o volume da pá, o percentual de enchimento, o fator de expansão do solo, a frequência de ciclos por hora, o número de horas efetivas por dia e o fator de rendimento operacional.

A draga de pá tem como **vantagem** sua capacidade de remover uma ampla gama de materiais de difícil dragagem, como rochas brandas, argilas endurecidas e sedimentos altamente compactados (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). A aplicação de dentes na pá melhora ainda mais sua eficiência em terrenos resistentes. Outra vantagem é sua capacidade de operar em lâminas d'água rasas, uma vez que a própria escavação cria as condições necessárias para o avanço (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Além disso, quando equipada com sistemas de operação por cabos, pode manter estabilidade em condições moderadas de ondulação, o que amplia seu campo de aplicação em ambientes abrigados ou parcialmente expostos.

Apesar de sua robustez e versatilidade frente a materiais difíceis, a draga de pá apresenta algumas **desvantagens** como o baixo nível de produtividade quando comparada a outros tipos de dragas mais tecnológicas (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). A profundidade máxima de operação também é limitada, sendo restringida pelo alcance do braço da pá. Em operações que demandam escavações mais profundas ou maior rendimento, costuma ser substituída por dragas retroescavadeiras ou hidráulicas. Além disso, os custos de investimento e operação são relativamente elevados em função da capacidade produtiva reduzida (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Em casos de lamas muito viscosas ou rochas de grandes dimensões, podem surgir dificuldades operacionais significativas, impactando negativamente o rendimento da dragagem.

Com relação aos limites operacionais, as dragas Dipper geralmente operam dentro das seguintes condições, destacadas na Quadro 5.

Quadro 5. Parâmetros operacionais típicos de dragas Dipper. Fonte: Escalante, 2017c.

Parâmetro	Valor Máximo
Profundidade mínima da água	3,5 m
Profundidade máxima de água	20,0 m
Máxima largura de corte	30,0 m
Altura máxima de onda	1,5 m
Swell máximo	1,0 m
Máxima corrente de través	2,5 nós

Hidráulica – Draga Dustpan

A draga Dustpan é indicada para operações em águas interiores, como rios, lagos e estuários. Ela é constituída por uma balsa equipada com um cabeçote aspirador de fundo localizado na proa (Figura 8). A aspiração de água e sedimentos ocorre por meio de sucção gerada por bombas centrífugas (ESCALANTE, 2017b). A mistura entre água e sedimentos é facilitada por jatos d'água instalados no cabeçote, que ajudam a mobilizar o material, o qual é transportado e descarregado através de tubulações. Este tipo de draga é especialmente eficaz para remoção de sedimentos inconsolidados, em camadas de espessura variável, sendo adequada para atuação em grandes áreas (ESCALANTE, 2017b).

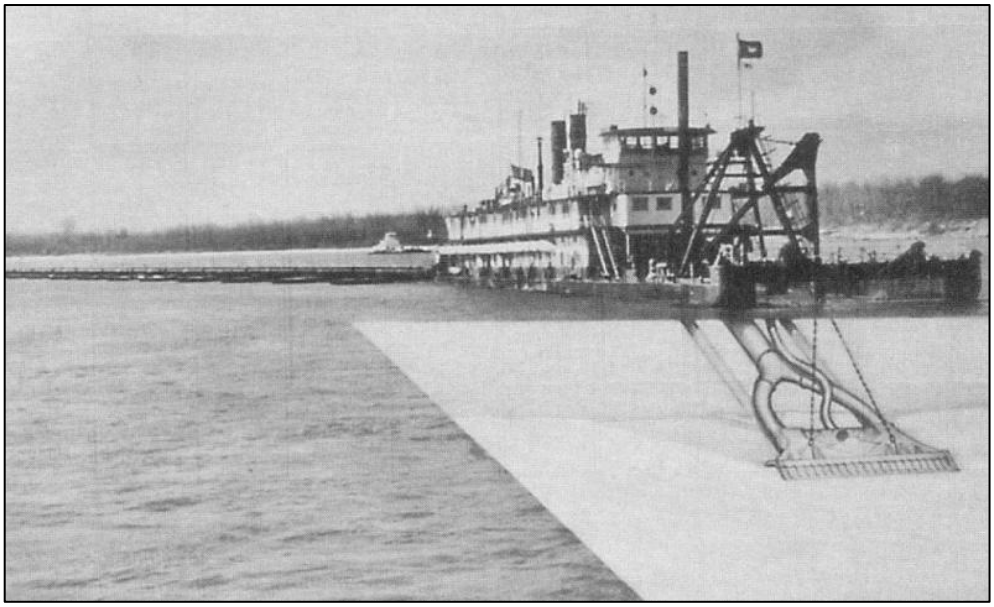


Figura 8. Esquema de draga do tipo Dustpan. Fonte: Escalante, 2017b.

A draga do tipo Dustpan apresenta um campo de aplicação bastante restrito no que se refere aos tipos de material que pode dragar (ESCALANTE, 2017b). Este equipamento não é adequado para a remoção de areias compactas, areias cementadas, gravas, seixos (cantos rolados) ou rochas, sendo totalmente limitado a materiais inconsolidados e de fácil mobilização (ESCALANTE, 2017b). Seu desempenho é considerado muito eficiente na dragagem de lamas, especialmente em operações típicas de manutenção de calados em grandes rios, onde há necessidade de remoção de bancos de sedimentos (ESCALANTE, 2017b).

A draga do tipo *Dustpan* apresenta diversas **vantagens** operacionais, especialmente em ambientes fluviais de grande porte. Trata-se de um equipamento independente, capaz de operar de forma autônoma com reduzida necessidade de apoio externo (ESCALANTE, 2017b). Destaca-se por sua elevada adaptabilidade a rios de grande escala, sendo bastante eficiente na remoção de camadas finas de sedimentos em áreas amplas

(ESCALANTE, 2017b). O autor também comenta que seu sistema de posicionamento por guinchos confere flexibilidade às operações, facilitando manobras e ajustes mesmo em condições complexas de correnteza ou espaço limitado.

Entretanto, a draga *Dustpan* também apresenta **desvantagens** que devem ser consideradas na sua seleção para projetos específicos. Sua principal desvantagem é a ausência de componentes mecânicos para desagregação do material, o que restringe sua atuação à remoção de sedimentos inconsolidados e de deposição recente (ESCALANTE, 2017b). Além disso, apesar da flexibilidade proporcionada pelos guinchos, o equipamento não oferece alta precisão no posicionamento horizontal, o que pode comprometer a eficiência em áreas que exigem maior controle geométrico (ESCALANTE, 2017b). Essas características tornam sua aplicação mais adequada a contextos naturais de deposição recente, com baixa resistência dos materiais a serem dragados.

Com relação aos limites operacionais, as dragas do tipo Dustpan geralmente operam dentro das seguintes condições, destacadas na Quadro 6.

Quadro 6. Parâmetros operacionais típicos de dragas do tipo Dustpan. Fonte: Escalante, 2017b.

Parâmetro	Valor Máximo
Profundidade mínima da água	1,5 m
Profundidade máxima de água	20,0 m
Máxima largura de corte	10 m
Distância máxima de recalque	500 m
Máxima corrente de través	0,5 nós

Hidráulica – Draga de Injeção de Água

A draga de injeção de água utiliza jatos de água pressurizada para fluidizar os sedimentos do fundo (Figura 9). Esse processo gera uma corrente de turbidez que é transportada pelas correntes naturais do local (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). É especialmente indicada para dragagens em portos com equipamentos de pequeno porte, oferecendo um processo de baixo custo, como já utilizado nos Portos de Itajaí/SC, Ponta da Madeira/MA e ALUMAR/MA (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). De acordo com os autores, a draga é ideal para a remoção de lamas, argilas não consolidadas e areias finas.

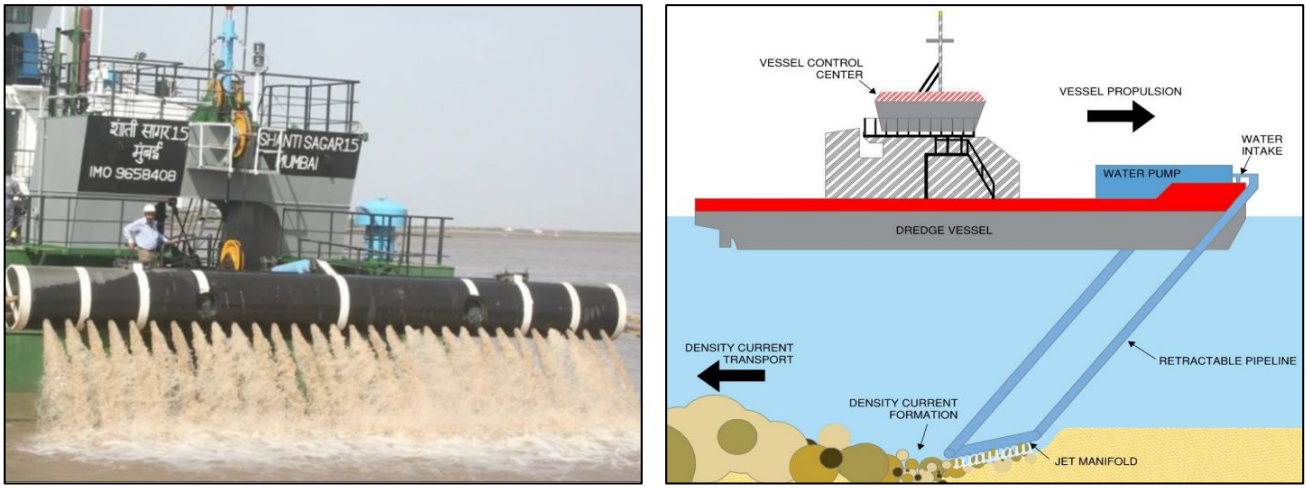


Figura 9. Exemplo de draga de injeção de água (esquerda) e esquema de operação e funcionamento (direita). Fonte: Vuyk Engineering Rotterdam (esquerda) e Wagner e Lewis, 2022 (direita).

Hidráulica – Draga de Sucção Simples (Estacionária)

A draga de sucção simples (estacionária) é composta por um barco fundeado, equipado com um tubo de sucção que realiza a elevação da mistura de água e sedimentos até a cisterna da própria draga ou até uma barcaça auxiliar (Figura 10). A sucção é promovida por bombas centrífugas, e a profundidade operacional está diretamente relacionada ao comprimento da tubulação de sucção utilizada (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Esse tipo de draga é especialmente eficaz para a remoção de materiais não consolidados, como areias e cascalhos, sendo amplamente utilizada na extração de sedimentos destinados à construção civil, tanto para aterros quanto como agregados (como exemplo: areia para concreto) (ESCALANTE, 2019b).

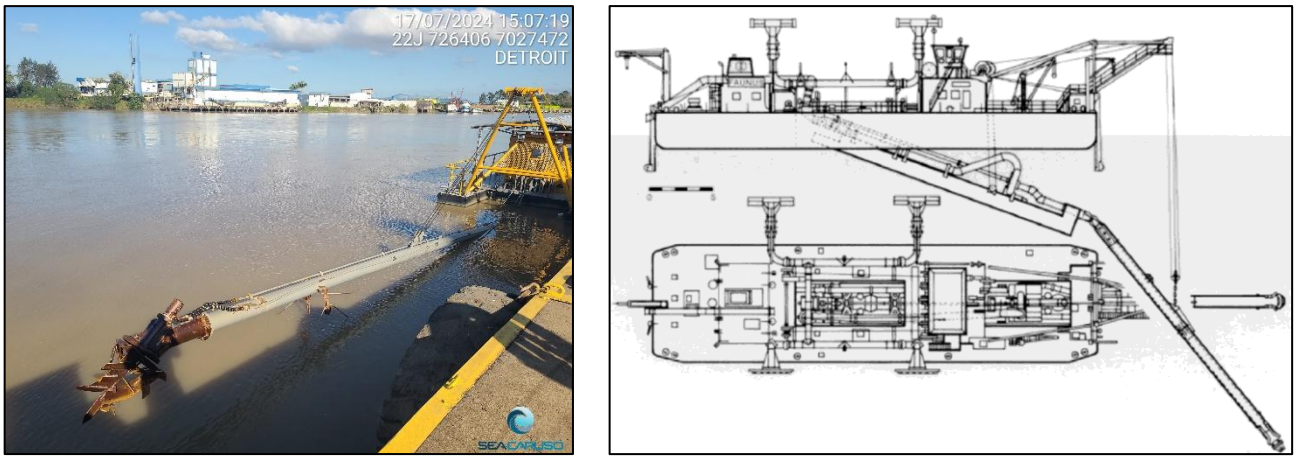


Figura 10. Fotografia de draga de sucção simples (estacionária) a esquerda e desenho técnico à direita. Fonte: Escalante, 2019b (direita).

Embora compartilhe algumas características operacionais com as dragas de sucção por arraste (THSD), a principal diferença é que a draga de sucção simples opera de forma estacionária, ou seja, não realiza a dragagem em movimento (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). O tubo de sucção, nesse caso, encontra-se posicionado na proa da embarcação, ao contrário do que ocorre nas dragas por arraste, em que a sucção ocorre pelas laterais enquanto a draga avança (ESCALANTE, 2019b).

O formato do fundo escavado pelas dragas de sucção simples tende a assumir a forma de um poço cônico invertido, devido à ação concentrada da sucção em um único ponto (ESCALANTE, 2019b). Por esse motivo, não são recomendadas para a abertura ou manutenção de canais navegáveis, onde se exige regularidade e precisão na geometria do fundo dragado. Algumas dessas dragas contam com cisternas internas, o que lhes permite transportar o material dragado a longas distâncias, outras operam com barcaças auxiliares para remoção do material ou realizam o bombeamento do sedimento fluidizado por meio de tubulações até o local de destinação (ESCALANTE, 2019b). O cabeçote de dragagem pode ser equipado com jatos de água pressurizada, o que facilita a desagregação e fluidização do material de fundo, aumentando a eficiência do processo de sucção.

Entre as principais **vantagens** da draga de sucção simples destacam-se sua alta eficiência na remoção de areias e cascalhos não consolidados, tornando-a ideal para a extração de materiais destinados à construção civil (ESCALANTE, 2019b). Quando equipada com cisterna própria ou sistemas de bombeamento por tubulações, permite o transporte do material dragado a grandes distâncias. O cabeçote com jatos de água contribui para a fluidização do sedimento, aumentando o desempenho em materiais soltos (ESCALANTE, 2019b). Além disso, sua operação estacionária proporciona maior controle sobre o ponto de dragagem, sendo especialmente útil em ambientes confinados ou de baixa energia (ESCALANTE, 2019b). Essa draga também apresenta boa flexibilidade de aplicação em jazidas submersas, sendo uma opção eficiente para a mineração subaquática (ALFREDINI e ARASAKI, 2009).

Por outro lado, suas **desvantagens** incluem a impossibilidade de realizar dragagem em movimento, o que restringe sua aplicação em operações contínuas e de grande escala. A geometria do fundo escavado tende a assumir a forma de um poço, o que a torna inadequada para obras que exigem perfilamento regular, como a abertura ou manutenção de canais, também podendo afetar a fauna local (ESCALANTE, 2019b). Além disso, quando não possui cisterna própria, depende de barcaças ou infraestrutura auxiliar para o transporte do material (ESCALANTE, 2019b). Por fim, como a produção se concentra em pontos fixos, o tempo necessário para dragar grandes áreas pode ser significativamente maior (ESCALANTE, 2019b).

Com relação aos limites operacionais, as dragas de sucção simples geralmente operam dentro das seguintes condições, destacadas na Quadro 7.

Quadro 7. Parâmetros operacionais típicos de dragas de sucção simples. Fonte: Escalante, 2019b.

Parâmetro	Valor Máximo
Profundidade mínima da água	3,0 m
Profundidade máxima de água	50,0 m
Altura máxima de onda	3,0 m
Máxima corrente de través	3,0 nós

Hidráulica – Draga de Sucção e Recalque (THSD)

A draga de sucção por arraste ou sucção e recalque, conhecida pela sigla em inglês *Trailing Suction Hopper Dredger* (THSD), é atualmente uma das dragas mais importantes e amplamente utilizadas em operações de dragagem no mundo (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Trata-se de um navio autopropulsado, altamente especializado e tecnologicamente avançado, que opera com grande eficiência tanto em áreas costeiras protegidas quanto em mar aberto (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). A embarcação é equipada com uma ou duas tubulações laterais de sucção, que são abaixadas até o fundo marinho durante a operação e recolhidas a bordo durante a navegação (Figura 11). A sucção do material é promovida por bombas centrífugas, localizadas na casa de máquinas ou, em alguns casos, diretamente nos tubos de sucção, o que aumenta a profundidade de dragagem e a produtividade (ALFREDINI e ARASAKI, 2009).

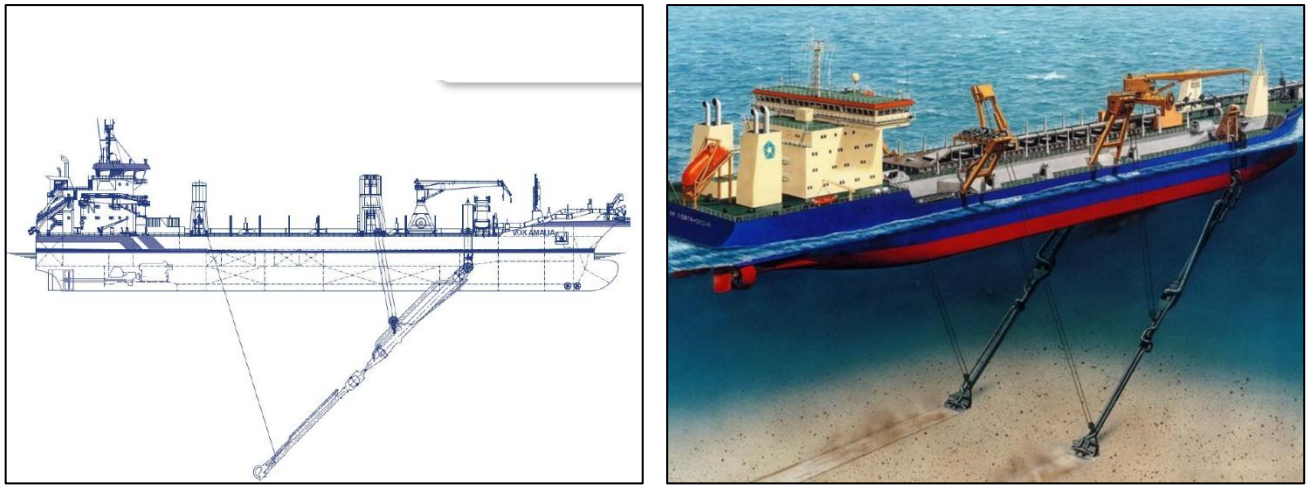


Figura 11. Esquema de draga de sucção por arraste (THSD) de um ou dois braços de dragagem. Fonte: Van Oord (esquerda) e Allonda (direita).

Ao contrário das dragas estacionárias, a THSD realiza a dragagem em movimento, enquanto o navio se desloca lentamente sobre a área de interesse. Os tubos de sucção, operados por guinchos, permanecem em

contato com o leito marinho, enquanto o sedimento é aspirado e armazenado na cisterna interna da embarcação. A posição do tubo de sucção é lateral, e o cabeçote pode ser equipado com jatos de água para fluidização, dentes para desagregação mecânica, e grades que impedem a entrada de detritos que possam danificar as bombas (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). O projeto, resistência e qualidade do cabeçote são determinantes para o desempenho da dragagem, sobretudo em materiais mais densos ou abrasivos (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). O uso de dentes, embora amplie a capacidade de desagregação, exige maior potência da draga para manter a eficiência operacional.

A cisterna, ou *hopper*, é o porão da draga onde o material dragado se deposita por decantação. A entrada do material ocorre por meio de uma rampa de acesso posicionada na descarga do tubo de sucção, projetada para reduzir a turbulência e favorecer a sedimentação (ALFREDINI e ARASAKI, 2009). Embora as cisternas sejam projetadas para armazenar até 100% de materiais sedimentares, seu valor pode variar entre 40% para sedimentos muito finos e 85% para areia grossa (BRAY et al, 2005).

As dragas podem apresentar dois vertedouros (*overflow*) por cisterna, responsáveis por liberar o excesso de água após a sedimentação do material dragado. O ajuste da altura do *overflow* deve ser compatível com o tipo de material: mais alto para materiais finos (menor concentração de sólidos na cisterna e no *overflow*) e mais baixo para materiais grossos (maior concentração na cisterna). No entanto, esse processo representa uma das principais fontes de impacto ambiental durante a dragagem, pois pode liberar sedimentos suspensos e contaminantes de volta ao meio aquático (ALFREDINI e ARASAKI, 2009).

Entre os principais componentes do sistema de dragagem estão: bombas centrífugas (normalmente duas, podendo chegar a quatro), tubos de sucção (um ou dois - Figura 11), cabeçotes de dragagem, cisterna, sistema de *overflow*, comportas de descarga e sistemas de posicionamento dinâmico. A profundidade máxima de dragagem é limitada pela capacidade de sucção e pelo comprimento dos tubos. O uso de bombas instaladas nos próprios tubos de sucção permite aumentar a profundidade e a eficiência da operação.

A descarga do material dragado pode ocorrer de diversas formas, conferindo grande versatilidade à THSD: por comportas de fundo (descarga direta no mar), por conexão com tubulações para terra (alimentação artificial de praias), por jatos de proa (também para alimentação de praias), ou ainda por cascos bipartidos (*split-hull*) e comportas de pré-descarga (ALFREDINI e ARASAKI, 2009).

Entre as principais **vantagens** da draga de sucção por arraste, destacam-se sua alta produtividade e eficiência em operações de grande escala, aliadas à capacidade de operar em mar aberto e enfrentar condições adversas, graças à sua estrutura naval robusta (Royal IHC). Por ser uma embarcação autopropulsada, dispensa o uso de barcaças auxiliares, o que simplifica a logística da operação e reduz a necessidade de apoio externo. A

operação também é considerada limpa, com menor interferência no tráfego aquaviário e nas atividades portuárias (Royal IHC). Outro ponto positivo é a capacidade de transporte de material a longas distâncias, viabilizada pela cisterna interna. Além disso, a mobilização desse tipo de draga é simples e econômica se comparada a dragas estacionárias de grande porte. Modelos com apenas um tubo de sucção exigem menor investimento inicial e atendem bem às dragagens de manutenção, em que apenas uma margem do canal é trabalhada por vez (Royal IHC).

Em contrapartida, as **desvantagens** da THSD incluem seu alto custo de investimento e operação, tanto na construção quanto na manutenção e na operação por tripulações especializadas. Sua utilização não é indicada para materiais muito duros ou coesos, como rochas compactas, nem para áreas confinadas, onde o espaço de manobra é limitado. A diluição do material durante a operação pode comprometer a eficiência do processo, e o *overflow*, embora necessário, representa uma fonte relevante de impacto ambiental, com risco de turbidez e dispersão de poluentes (Royal IHC). A draga também é sensível à presença de resíduos sólidos no fundo, como cabos ou objetos metálicos, que podem causar danos ao sistema de sucção. No caso de modelos com apenas um tubo, eventuais avarias podem paralisar totalmente a operação, além de haver maior dificuldade de manter a embarcação estável devido ao desequilíbrio das forças geradas na dragagem.

Com relação aos limites operacionais, as dragas TSHD geralmente operam dentro das seguintes condições, destacadas na Quadro 8.

Quadro 8. Parâmetros operacionais típicos de dragas TSHD.

Parâmetro	Valor Máximo
Profundidade mínima da água	4,0 m
Profundidade máxima de água	50,0 m a 155 m (especial)
Mínimo círculo de giro	75 m
Altura máxima de onda	5,0 m
Máxima corrente de través	3,0 nós
Máximo tamanho de partícula	300 mm
Máxima tensão de corte	75 kPa

Combinadas – Draga de Sucção com Cortador (CSD)

A draga de sucção com cortador (*Cutter Suction Dredger* – CSD) é uma draga estacionária composta por uma balsa ou embarcação equipada com bombas hidráulicas e uma estrutura que alcança o fundo, sustentando um eixo rotativo com cortador na extremidade. O cortador atua desagregando mecanicamente o material sedimentar, que em seguida é succionado pelas bombas e conduzido por tubulações. O posicionamento da draga é mantido por meio de calões e sistemas de ancoragem, permitindo pequenos deslocamentos laterais durante a operação.

O material dragado pode ser transportado até sua destinação final por meio de tubos de descarga, carregamento em barcaças ou, em alguns modelos, armazenado temporariamente em cisternas. Esse tipo de draga apresenta elevada capacidade de produção e é adequada para uma ampla variedade de materiais, desde areias e argilas até rochas duras, quando devidamente equipada com cabeçotes reforçados.

Combinadas – Draga de Sucção com Cortador Vertical

A draga de sucção com cortador vertical é uma variação da CSD tradicional. Nessa configuração, o cortador está posicionado no eixo do tubo de sucção e gira no sentido vertical, o que permite maior precisão e eficiência na desagregação de materiais, especialmente em operações que exigem escavação mais direcionada. Essa tecnologia é amplamente utilizada em operações de mineração subaquática, onde se busca boa produtividade em ambientes com materiais mais resistentes e profundidades controladas.

Além dos tipos de dragas aqui apresentados, existem outras configurações e tecnologias em constante desenvolvimento, voltadas à otimização da eficiência operacional, redução de impactos ambientais e adaptação a diferentes condições técnicas e hidrodinâmicas. Novas soluções vêm sendo incorporadas à frota mundial, como sistemas automatizados de controle de profundidade e tecnologias específicas para mineração em águas profundas.

A escolha do tipo de draga mais adequado para um determinado empreendimento depende de uma série de fatores, incluindo as características do material a ser dragado, a profundidade de operação, o volume estimado, as condições ambientais e logísticas do local, os requisitos técnicos do projeto e os objetivos da dragagem. Por isso, uma avaliação técnica criteriosa é fundamental para garantir a viabilidade econômica e ambiental da intervenção.

2.2 QUADRO COMPARATIVO

A seguir, apresenta-se um quadro comparativo entre os principais tipos de dragas utilizados em operações de dragagem, considerando suas características operacionais e adequações a diferentes tipos de materiais e condições de trabalho (Quadro 9). A comparação desses dados auxilia na seleção do equipamento mais apropriado conforme os objetivos do empreendimento, tipo de sedimento, profundidade necessária, condições ambientais e logística de transporte do material dragado.

Quadro 9. Quadro comparativo entre os principais tipos de dragas.

Características	Draga de Alcatruzes	Draga de Caçamba	Draga *Backhole*	Draga de Sucção Simples	Draga de Sucção com Cortador	THSD	Draga Hopper em geral
Dragagem de materiais arenosos	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Dragagem de materiais argilosos	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim
Dragagem de materiais rochosos	sim	não	sim	não	sim	não	não
Utilização de cabos de ancoragem	sim	sim	sim	sim	sim	não	não
Utiliza propulsão	não	não	não	não	não	sim	sim
Profundidade máxima de dragagem (m)	30	>100	20	70	25	100	50
Operação em condições *offshore*	não	sim	não	sim	sim	sim	sim
Dragagem em densidade *in situ* *	sim	sim	sim	não	limitada	não	não

* O fator de expansão representa o aumento de volume do solo ao ser dragado, comparado ao seu volume/densidade *in situ*. Esse fator é relevante para calcular volumes no transporte e na deposição do material.

2.2.1 EQUIPAMENTOS DE DRAGAGEM COM MENOR IMPACTO EM ORGANISMOS BENTÔNICOS

Do ponto de vista biótico, a dragagem pode causar redução das comunidades bentônicas no local de extração. A remoção de habitats bentônicos na área da jazida impacta diretamente organismos que atuam na ciclagem de nutrientes e servem de base alimentar para espécies superiores. A suspensão de sedimentos pode ainda afetar organismos filtradores, dificultando a alimentação e reduzindo a qualidade da água.

Outro fator relevante são os impactos causados pelo ruído e pelas vibrações gerados pelas máquinas e equipamentos durante a dragagem, que podem afugentar a fauna local, alterando seus hábitos alimentares, reprodutivos e de deslocamento. Animais marinhos sensíveis, como peixes e mamíferos aquáticos, podem evitar áreas essenciais para alimentação e reprodução, com consequências para a dinâmica populacional. Além disso, o risco de acidentes com a fauna, seja por contato direto com os equipamentos ou pela desorientação causada pelos barulhos e movimentos, deve ser considerado.

A dragagem é uma atividade que, inevitavelmente, gera alterações nos habitats bentônicos devido à remoção física do sedimento e da fauna associada. No entanto, diferentes equipamentos e estratégias de operação podem minimizar os impactos, favorecendo a resiliência e a recolonização das comunidades bentônicas (NEWELL et al., 1998).

- **Dragagem com draga de arrasto (trailing suction hopper dredger – TSHD)**: Em comparação com dragas de sucção estacionárias (CSD), a draga TSHD tem sido

considerada uma alternativa de menor impacto sobre a fauna bentônica. Em estudo realizado no Reino Unido, verificou-se que a operação com TSHD não alterou significativamente a estrutura das comunidades bentônicas dentro da área dragada, ao contrário da dragagem com sucção estacionária, que reduziu a diversidade e a densidade populacional (NEWELL et al., 1998).

- **Dragagens em pequenas escalas ou com áreas rotativas**: Operações de dragagem de pequena escala, também chamadas *small-patch dredging*, permitem uma reestruturação mais rápida do sedimento e um retorno ágil da comunidade bentônica (GUERRA-GARCÍA et al., 2003). Além disso, estratégias que utilizam rodízio de áreas dragadas demonstraram níveis mais elevados de diversidade e produtividade, atribuídos à criação de habitats variados e à mobilização de recursos alimentares (GRAVE e WHITAKER, 1999).
- **Equipamentos com menor penetração no sedimento**: Dragagens realizadas com menor profundidade preservam parte da fauna, o que promove uma recolonização mais rápida das áreas afetadas. Estudos comparativos entre operações com e sem escarificação do fundo mostraram que a menor penetração no sedimento reduz significativamente os impactos sobre essas comunidades (NEWELL et al., 1998).

2.2.1.1 RECOLONIZAÇÃO DE ORGANISMOS BENTÔNICOS APÓS DRAGAGEM: EVIDÊNCIAS CIENTÍFICAS

A recolonização bentônica após dragagens é um processo complexo e dependente de múltiplos fatores, como intensidade da operação, tipo de sedimento, hidrodinâmica local e características biológicas das espécies. A seguir, apresentam-se evidências científicas que descrevem os principais aspectos desse processo.

- **Efeitos imediatos da dragagem**: A dragagem provoca remoção direta da fauna e alteração no substrato, resultando em perdas significativas de riqueza e abundância de espécies. Em ambientes portuários, reduções de até 75% na abundância e 65% na riqueza foram registradas nos primeiros dias após a atividade (GUERRA-GARCÍA et al., 2003).
- **Início da Recolonização:** A colonização inicial tende a ocorrer em poucas semanas, com predomínio de espécies oportunistas, como poliquetas e pequenos crustáceos (NEWELL et al., 1998). Mecanismos como migração de organismos adultos/juvenis das

margens, transporte pelo fundo e chegada de larvas desempenham papéis fundamentais nesse processo (NEWELL et al., 1998; WILBER e CLARKE, 2021).

- **Tempo de recuperação:** Em áreas de menor escala, a comunidade bentônica pode se restabelecer em seis a oito meses, incluindo a estrutura sedimentar e a composição de espécies (NEWELL et al., 1998; GUERRA-GARCÍA et al., 2003). Entretanto, em dragagens mais intensas, sedimentos mais grossos e inorgânicos ou ambientes mais profundos, a recuperação pode levar anos (WILBER e CLARKE, 2021). Por exemplo, impactos persistentes foram observados seis anos após dragagem em locais de extração intensiva (BOYD et al., 2004).
- **Padrões de sucessão**: A sucessão ecológica segue uma sequência previsível: espécies oportunistas → espécies intermediárias → espécies dominantes e estáveis. Contudo, diversidade e biomassa não retornam necessariamente no mesmo ritmo: a diversidade tende a se restabelecer antes da biomassa total (NEWELL et al., 1998).

Um dos principais fatores que influenciam a colonização de áreas por organismos bentônicos é o tipo de sedimento de fundo, pois este condiciona a adequação do habitat, a retenção de matéria orgânica e a disponibilidade de recursos. Algumas espécies apresentam preferências marcantes por determinados substratos durante o processo de recolonização (GUERRA-GARCÍA e GARCÍA-GÓMEZ, 2006). Esse aspecto está diretamente relacionado à dinâmica morfológica do fundo, uma vez que sulcos e formas sedimentares podem ser retrabalhados em escalas de um a dez anos, dependendo das condições locais (LE BOT et al., 2012). Em áreas dragadas, por exemplo, cavidades profundas em formato de taça (cone) podem reter matéria orgânica e tornar-se anóxicas, o que dificulta o estabelecimento persistente da macrofauna nas zonas mais profundas e altera a sequência esperada de recolonização (KOTWICKI e GRACA, 2006). De modo geral, revisões indicam que sedimentos finos e móveis favorecem uma recolonização mais rápida por espécies oportunistas, enquanto sedimentos mais grossos e estáveis demandam trajetórias sucessórias mais longas até a recomposição de comunidades em equilíbrio (BOLAM, 2003).

A magnitude e a recorrência da dragagem também exercem papel determinante sobre a velocidade e o ponto final da recuperação bentônica. A intensidade das operações define o grau de remoção do substrato e a alteração na composição sedimentar, influenciando diretamente a trajetória sucessional. Estudos mostram que áreas submetidas a dragagens intensas tendem a manter abundância reduzida e menor riqueza de espécies por vários anos, com assembleias ainda perturbadas ao menos quatro a seis anos após a interrupção das atividades (BOYD et al., 2005). Em alguns casos, diferenças marcantes entre locais de alta e baixa intensidade

persistem por mais de seris anos (COOPER, 2007). Além disso, em áreas sujeitas a dragagens recorrentes, observa-se que a recolonização inicial é frequentemente acelerada por espécies oportunistas, mas a comunidade nem sempre progride até o estado de equilíbrio pré-impacto, já que a retomada das operações pode reiniciar ou prolongar o processo de recuperação (COOPER, 2007; BOYD, 2003).

Outro fator de relevância é a hidrodinâmica local, que modula tanto a mobilidade dos sedimentos quanto os padrões de deposição, além de afetar o suprimento de colonizadores provenientes de diferentes escalas (locais ou regionais). Em planícies arenosas expostas à ação de ondas e correntes, a instabilidade do fundo induzida pela energia do vento e pela dinâmica de ondas reduz as taxas de recuperação e gera padrões de recolonização que variam de acordo com a escala espacial (THRUSH et al., 1998).

A utilização de equipamentos de dragagem menos impactantes, como a TSHD, estratégias de dragagem pontual ou rotativa e operações com menor penetração no sedimento, contribui para reduzir os efeitos sobre as comunidades bentônicas. A recolonização desses organismos, apesar de iniciar rapidamente com espécies oportunistas, pode variar de meses a anos até a recuperação completa, dependendo da intensidade da dragagem, das características do sedimento e da dinâmica hidrodinâmica local. Dessa forma, a escolha adequada da técnica de dragagem, é essencial para mitigar impactos e favorecer a resiliência dos ecossistemas bentônicos.

2.3 DEFINIÇÕES PARA A OBRA

O Projeto Executivo de Dragagem definiu que o equipamento mais adequado para a execução da obra de alimentação artificial da Praia de Meia Praia será uma draga de sucção por arraste com cisterna (TSHD), cujas especificações operacionais estão descritas no Quadro 10 (CARUSO, 2025). Estas dragas são altamente utilizadas em dragagem de canais de navegação e bacias de evolução, devido ao seu sistema de dragagem (CARUSO, 2025). Por se tratar de equipamento que draga enquanto navega, não causa interferências em canais em operação, dispensando assim de sinalização náutica especial na área de dragagem, além disso, os recortes de dragagem são realizados em tiras, qualificando este sistema como ótimo para dragagem de seções longas. Sua precisão horizontal é excelente em função da distribuição geral de propulsores na embarcação (propulsores principais e laterais de popa e proa).

Quadro 10. Características do equipamento de dragagem a ser utilizado na alimentação artificial de Meia Praia. Fonte: Alleanza, 2024.

Equipamento	Capacidade da cisterna mínima	Profundidade máxima de operação
TSHD	7.500 m³	37m

Entre os parâmetros estabelecidos, destaca-se a recomendação de evitar extensões excessivas de tubulação flutuante, a fim de otimizar o controle do lançamento e reduzir perdas de carga. Para isso, o projeto da engorda indica que o comprimento máximo recomendado de até 2.300 metros. Essa extensão indica que a posição de conexão com a draga deverá ocorrer próxima da isóbata de 10 metros, indicando a compatibilidade dessa profundidade com o calado da draga.

Além deste, também é considerado a capacidade da draga de acordo com a profundidade da jazida. A jazida de empréstimo prevista para a obra localiza-se na isóbata de 37m, o que implica que o sistema de dragagem deverá contar com tubos de sucção capazes de operar nessa profundidade, exigindo tecnologia compatível com as condições de profundidade, granulometria e distância do ponto de descarga.

Adicionalmente, conforme exigência da Resolução ANP nº 789/2019, em vigor desde janeiro de 2020, as dragas mobilizadas para o empreendimento deverão estar aptas a operar com combustíveis marítimos de baixo teor de enxofre (*Low Sulphur Marine Gasoil* – LS MGO), cujo teor de enxofre não ultrapasse 0,5% m/m, atendendo aos padrões nacionais e internacionais de controle de emissões atmosféricas no setor marítimo.

Dessa forma, foi elaborado um quadro síntese com as dragas disponíveis no mercado que atendem às especificações técnicas recomendadas pelo Projeto Executivo de Dragagem, destacando-se, entre elas, aquelas que foram utilizadas nas últimas obras de alimentação artificial de praias realizadas no Brasil, servindo como referência para a seleção do equipamento a ser mobilizado no presente empreendimento (Quadro 11 e Quadro 12).

Quadro 11. Equipamentos disponíveis para dragagem e obra de alimentação artificial de Meia Praia, com destaque para as dragas utilizadas nas últimas obras de alimentação artificial no Brasil.

Embarcação	Cisterna (m³)	Calado carregado (m)	Profundidade de dragagem (m)	Tubos de sucção	Empresa / Armador	Origem
Galileo Galilei	18000	9,75	86	1	Jan De Nul	Luxemburgo
Charles Darwin	30.500	13	93,5	2	Jan De Nul	Espanha
Leiv Eiriksson	46.000	15,15	155	2	Jan De Nul	Luxemburgo
Al Idrisi	7500	8,15	43	1	Jan de Nul	Bélgica
Vitus Bering	7500	8,15	43	1	Jan de Nul	Bélgica
HAM 318	39.467	13,55	135	2	Van Oord	Grã-Bretanha
Vox Amalia	18.900	10,53	61	-	Van Oord	Holanda
Queen of The Netherlands	35.500	13,67	83	2	Boskalis	Chipre
Gateway	12.000	10,00	62	1	Boskalis	Chipre
Fairway	35.500	13,67	70	2	Boskalis	Chipre
Antigoon	8.460	8,68	45	1	Deme	Bélgica
Bonny River	15.016	8,00	102	-	Deme	Luxemburgo
Brabo	11.650	9,10	43	1	Deme	Bélgica
Ortelius	6000	7,20	35	-	Jan de Nul	Bélgica
Elbe	2800	5,30	30	1	Baggerbedrijf De Boer	Holanda
Lesse	1540	5,30	23	1	Baggerbedrijf De Boer	Holanda

Nota: As categorias marcadas com – indicam que não foi encontrada tal informação nas fichas técnicas das embarcações.

Dados os requisitos da obra, especialmente a profundidade de dragagem, entende-se que a draga deverá ter uma cisterna com capacidade mínima de 7.500 m³. Capacidades maiores do que esta poderão ser adotadas desde que a operadora da draga assegure que, em caso de possuir um calado maior, a draga será capaz de bombear o material pela distância necessária.

Quadro 12. Equipamentos disponíveis para dragagem e obra de alimentação artificial de Meia Praia e sua localização atual verificada via *Marine Traffic* em julho de 2025.

Embarcação	Local *	País *	Última atualização do rastreamento
Galileo Galilei	Leste da América do Sul	Brasil	22/08/2025
Charles Darwin	Dubai	Emirados Árabes	22/08/2025
Leiv Eiriksson	Golfo Persa	Emirados Árabes	22/08/2025
Al Idrisi	Oeste da América do Sul	Equador	22/08/2025
Vitus Bering	Mar Norte	Holanda	22/08/2025
HAM 318	Mar Leste da China	China	22/08/2025
Vox Amalia	América do Sul (rio Amazonas)	Brasil	22/08/2025
Queen of The Netherlands	Estreito de Malaca	Malásia	22/08/2025
Gateway	Oeste da África	Holanda (rumo)	22/08/2025
Fairway	Estreito de Malaca	Malásia	22/08/2025
Antigoon	Baía Bengal	Índia	22/08/2025
Bonny River	Golfo da Guiné	Nigéria	22/08/2025
Brabo	Mar Java	Indonésia	20/08/2025
Ortelius	Leste da América do Sul	Argentina	22/07/2025
Elbe	Oeste da África	Saara Ocidental	22/07/2025
Lesse	Oeste da África	Marrocos	22/07/2025

Nota: A localização indicada refere-se à posição registrada no *Marine Traffic* em julho e agosto de 2025.

2.3.1 VANTAGENS AMBIENTAIS DA DRAGA TSDH

A utilização da draga do tipo *Trailing Suction Hopper Dredger* (TSHD) apresenta vantagens ambientais relevantes quando comparada a outras técnicas de dragagem. Como a operação ocorre de forma contínua durante a navegação, a draga não permanece fixa em um único ponto, **evitando a formação de sulcos profundos** e concentrações excessivas de remoção em áreas restritas.

Esse modo de operação também resulta em um **distúrbio mais moderado** do sedimento, já que a penetração no fundo marinho tende a ser menos intensa do que a provocada por dragas de cortador fixo. Além disso, quando operada com controles adequados de *overflow*, a TSHD contribui para **reduzir a dispersão de sedimentos finos** em suspensão, mitigando impactos relacionados à turbidez local. Outro aspecto positivo refere-se às comunidades bentônicas, em que estudos indicam que, em comparação às dragas estacionárias, a TSHD tende a gerar impactos menos severos (NEWELL et al., 1998).

3. TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA DRAGAGENS

Diversas tecnologias vêm sendo aplicadas em dragagens com o objetivo de aumentar a eficiência operacional e, ao mesmo tempo, mitigar os impactos ambientais decorrentes dessas atividades. A seguir, são apresentadas algumas das principais soluções atualmente utilizadas.

Cabeçotes de Dragagem Especiais

O cabeçote de dragagem é a parte do equipamento que fica em contato com o fundo, assim desempenha um papel central na eficiência operacional das atividades de dragagem, e diversas tecnologias podem ser acopladas a ele para aprimorar seu desempenho. Os cabeçotes são classificados como normais, ativos ou especiais (Quadro 13).

Quadro 13. Relação do tipo de cabeçote com o tipo de solo. Fonte: adaptado de Royal IHC.

Tipo	Aplicação
Cutter Head	Siltes, argilas macias, areia solta e rocha
Silt	Siltes
California	Areias, especialmente areias compactas / areias grossas / cascalhos
Waterjet	Areias firmes e argilas médias
Ativo (com dentes)	Areias firmes e argilas médias

Entre essas tecnologias, destacam-se os cabeçotes ativos, que apresentam jatos de água ou sistemas de injeção de água para auxiliar na fluidização do material dragado, mantendo a mistura suficientemente fluida para otimizar a sucção. No entanto, embora os jatos de água aumentem a eficiência do processo, seu uso pode ocasionar impactos ambientais adversos, como a formação de plumas sedimento, que se dispersam na coluna d'água e podem comprometer a qualidade ambiental da área dragada.

Além destes, os cabeçotes podem contar com dentes cortantes, que são especialmente úteis na dragagem de solos mais compactos e resistentes, e as grades de proteção, que evitam a entrada de detritos de maior porte, preservando a integridade das bombas (Royal IHC).

Os cabeçotes comumente utilizados em dragas do tipo TSHD, são compostos por apenas um segmento e a linha/dentes de corte, e podem ser equipados com dentes que auxiliam na remoção e corte do material dragado ou jatos de água (Figura 12 – esquerda). Já o cabeçote Califórnia possui dois segmentos com visores independentes, aumentando a velocidade de fluxo e, portanto, a erosão do material (Figura 12 – direita).

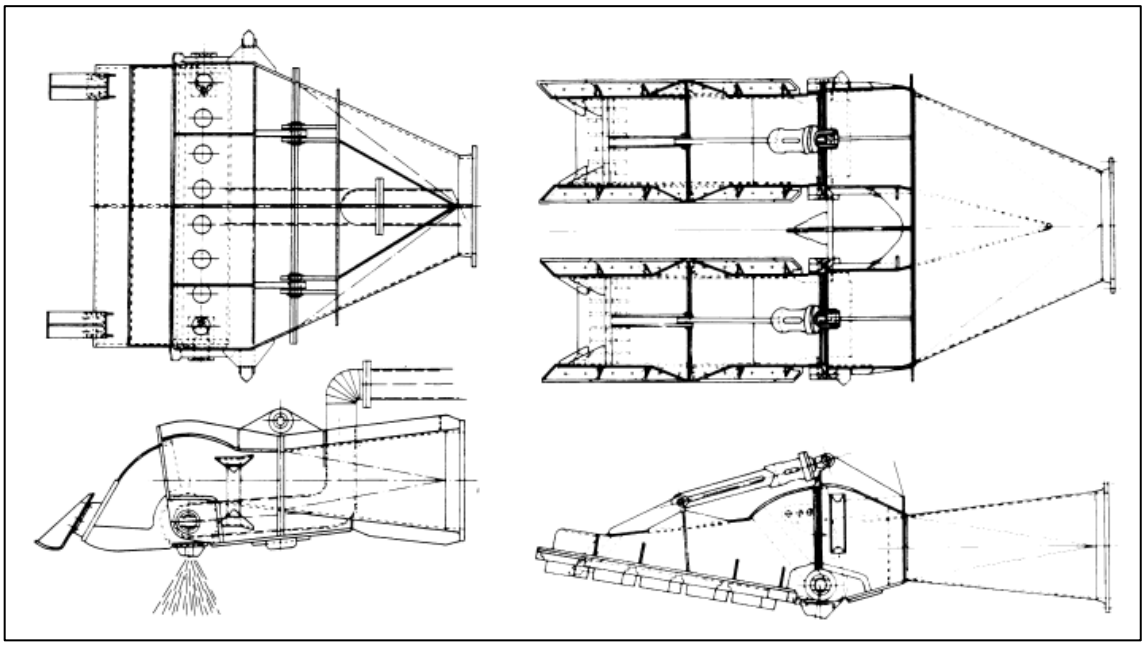


Figura 12. Desenho dos cabeçotes comuns com jatos de água (esquerda) e do cabeçote Califórnia (direita). Fonte: Miedema, 2012.

A IHC desenvolveu o cabeçote *silt* especial para dragagem de lamas que apresentou melhor desempenho que o Califórnia (Royal IHC). Além deste, alguns cabeçotes giratórios comumente utilizados pelas dragas estacionárias tanto para sedimentos finos como areias, como para rochas com dentes maiores e mais degradadores é chamado de *Cutter head* (Figura 13).



Figura 13. Exemplo de cabeçotes da IHC para sedimentos finos (esquerda) e para rochas com dentes curvos (direita). Fonte: Royal IHC.

O sistema DRACULA (*Dredging and Cutting Using Liquid Action*) foi desenvolvido com o objetivo de aumentar a produtividade das dragas do tipo TSHD, especialmente em fundos de argilas duras e muito compactadas (VANDYCKE, 2002). Esse tipo de material representa uma limitação significativa para as TSHDs, reduzindo sua eficiência, o que frequentemente leva à preferência pelo uso de dragas mecânicas nessas situações. Contudo, o uso de dragas mecânicas em mar aberto enfrenta limitações relacionadas ao tempo de operação, condições adversas de ondas e instabilidade durante o mau tempo. Nesse contexto, o sistema DRACULA surge como uma solução para manter o uso de TSHDs mesmo em solos difíceis.

O sistema consiste na incorporação de jatos de água de alta pressão diretamente ao cabeçote de dragagem, o que facilita a penetração no solo, evita o acúmulo de material argiloso na entrada do cabeçote e permite manter velocidades operacionais elevadas, resultando em um aumento da produtividade (VANDYCKE, 2002). Além disso, o sistema foi projetado de forma modular, podendo ser instalado em diferentes modelos de dragas, o que amplia sua aplicabilidade e viabiliza a modernização de frotas existentes.

Além do mencionado, existe também o chamado sistema *Wild Dragon*, projetado para dragagem de areias muito finas e compactadas (60–100 µm), normalmente difíceis para TSHDs, esse sistema aplica jatos de água diretamente nos dentes do cabeçote, facilitando a ruptura do material (Figura 14). Isso permite o uso de dragas por arraste mesmo em condições antes restritas a dragas de cortador (Royal IHC).



Figura 14. Fotografia do sistema *Wild Dragon* em cabeçotes da draga.

Compensador de Ondas

A distância entre o cabeçote de dragagem e o leito marinho é um fator crucial para a eficiência produtiva da extração. Quando o cabeçote está muito afastado do fundo, há maior entrada de água em relação ao sedimento, resultando em uma mistura diluída e menos eficiente. Por outro lado, se estiver muito próximo

ao leito, a fluidez da mistura é reduzida, prejudicando a sucção. Essa condição é agravada pelas irregularidades do fundo e pelos movimentos verticais da embarcação causados pela ação das ondas.

Para lidar com essa instabilidade, utiliza-se o compensador de ondas, um sistema eletromecânico instalado entre o cabeçote e o guincho que regula automaticamente a pressão exercida sobre o leito. O equipamento é capaz de compensar deslocamentos verticais da embarcação, garantindo que o cabeçote mantenha uma distância ideal do fundo durante toda a operação.

Sistemas de Descarga: Overboard e Overflow

O descarte *overboard* refere-se à liberação de material diretamente sobre a borda da embarcação para o mar e, embora não possa ser totalmente evitado, sua duração é geralmente curta. Esse descarte ocorre, principalmente, em dois momentos da operação: no início da dragagem, durante o ajuste da profundidade do cabeçote, quando o fluxo de sedimento ainda é instável e a mistura de água e material dragado não apresenta densidade adequada para ser armazenada na cisterna. No final do processo, quando é necessário limpar a tubulação de sucção antes de içá-la, momento em que apenas água é aspirada e descartada diretamente no mar. Embora o tempo de duração do *overboard* seja reduzido, ele pode causar impactos ambientais localizados devido à liberação de material em suspensão na coluna d'água. Ainda assim, por ser pontual e de curta duração, é considerado um impacto controlável dentro dos padrões operacionais, desde que monitorado adequadamente.

O sistema de *overflow* é composto por válvulas de escape que permitem a liberação da água sobrenadante (depois da decantação na cisterna) contida na cisterna da draga, com o objetivo de aumentar sua capacidade de carga útil, concentrando o material sólido armazenado (Royal IHC). A água é descartada por meio de tubulações (Figura 15). A eficiência desse sistema, assim como o impacto de seu uso, depende da natureza granulométrica do material dragado (Royal IHC). Quando os sedimentos são mais grossos, sua decantação ocorre rapidamente, permitindo que a água sobrenadante tenha menor concentração de sólidos, o que possibilita operar com posições de *overflow* mais baixos na cisterna. Já no caso de sedimentos muito finos, como siltes ou argilas, a sedimentação é mais lenta, exigindo a subida da válvula do *overflow* na cisterna para evitar a perda significativa de sólidos em suspensão (Royal IHC).



Figura 15. Exemplo de sistema *overflow* na cisterna da draga. Fonte: Royal IHC.

Um problema crítico relacionado ao uso inadequado do *overflow* é a chamada dragagem por aspersão. Essa situação ocorre quando o sedimento é tão fino que sua densidade na mistura é praticamente igual à da água descartada pelo *overflow*. Com isso, quase todo o material dragado retorna ao ambiente marinho, dispersando-se na coluna d'água. Essa prática representa um significativo impacto ambiental, pois embora o material seja contabilizado pela batimetria como volume efetivamente dragado, ele não é efetivamente removido do sistema costeiro, gerando extensas plumas de turbidez e prejudicando a qualidade da água.

Válvula Verde

Durante operações de dragagem com *overflow*, especialmente em áreas com sedimentos finos, a liberação da água sobrenadante pode gerar extensas plumas de sedimentos em suspensão na superfície do mar. Essa condição é altamente visível e frequentemente causa preocupação em órgãos ambientais e na população local, mesmo quando os impactos efetivos são de curto prazo.

Para mitigar esse efeito visual e reduzir a dispersão superficial dos sedimentos, foi desenvolvida a chamada válvula verde. Essa tecnologia é projetada para evitar a entrada de bolhas de ar no fluxo de saída do *overflow*. As bolhas, ao interagirem com os sedimentos finos, reduzem sua densidade aparente e favorecem sua

ascensão e dispersão na coluna d'água, contribuindo para a formação de plumas visíveis na superfície. Ao impedir a formação dessas bolhas, a válvula verde direciona o fluxo de sedimentos diretamente para o fundo, onde se deposita na forma de uma camada de lama fluida.

Embora essa abordagem minimize os impactos visuais e a percepção pública de contaminação, ela transfere o problema para o substrato marinho. A lama fluida acumulada no fundo pode alterar as características físico-químicas do sedimento, dificultar processos de bioturbação e impactar a fauna bentônica local, além de representar um risco de remobilização futura por correntes. A maior parte das dragas atualmente disponíveis no mercado dispõem desse tipo de tecnologia.

Tubulações (ou pipelines) flutuantes

As tubulações flutuantes, também conhecidas como *pipelines* ou mangotes flutuantes, são componentes essenciais nos sistemas de descarga de material dragado, principalmente em operações de aterro hidráulico (ou alimentação artificial de praias). Essas estruturas são utilizadas para transportar a mistura de água e sedimentos desde a draga até o local de disposição. O projeto e a seleção das tubulações flutuantes devem considerar cuidadosamente as condições operacionais, como altura de onda, marés e correntezas, e os tipos de solo envolvidos na dragagem.

Uma tubulação mal dimensionada pode resultar em perdas de eficiência, desgaste prematuro ou falhas estruturais durante a operação. Por isso, o comportamento das linhas flutuantes pode ser analisado por meio de *softwares* de simulação dinâmica, que permitem prever a resposta do conjunto a diferentes condições ambientais, garantindo maior segurança e desempenho. As mangueiras flutuantes tradicionais são compostas por revestimentos internos de borracha, sendo mais indicadas para o transporte de materiais menos abrasivos, como silte, argila ou lamas (Royal IHC). Já em casos em que o material dragado apresenta maior granulometria, como areias grossas, cascalhos ou misturas com alta concentração de sólidos, recomenda-se a utilização de mangueiras flutuantes blindadas, equipadas com anéis de desgaste em aço forjado de alta resistência (Figura 16). Essa proteção adicional confere maior durabilidade ao sistema, reduzindo paradas por manutenção e aumentando a vida útil do equipamento (Royal IHC).

Além de oferecerem flexibilidade de movimentação, as tubulações flutuantes permitem acompanhar os deslocamentos da draga durante a operação, adaptando-se ao contorno da superfície d'água. Em conjunto com sistemas de ancoragem e flutuadores modulares, elas formam um circuito eficiente e seguro para a condução contínua do material dragado. Por sua versatilidade, são amplamente utilizadas em obras de alimentação de praia, abertura de canais e extração de sedimentos para fins comerciais.



Figura 16. Exemplo ilustrativo de diversos tipos de tubulações flutuantes para dragagem: confeccionadas em aço e borracha em combinação com curvas, peças em Y, válvulas de retenção, válvulas de aeração e válvulas gaveta. Fonte: Royal IHC.

Defletores de Tartarugas

O principal objetivo dos defletores para tartarugas marinhas é afastar os animais que estejam repousando no fundo marinho, desviando-os do traçado da cabeça de dragagem e evitando sua captura ou ferimento durante a operação de sucção (BANKS e ALEXANDER, 1994). Existem três tipos principais de defletores: flexíveis, semirrígidos e rígidos, cuja escolha e eficiência dependem das características do projeto, da draga mobilizada e do tipo de sedimento a ser dragado.

Os defletores flexíveis consistem em uma espécie de “cortina” formada por correntes suspensas abaixo do braço da draga, posicionadas à frente da cabeça de dragagem (Figura 17). Seu funcionamento baseia-se na geração de vibrações e ruídos no leito marinho, com o intuito de afugentar tartarugas marinhas e outros animais bentônicos por estímulo sensorial. Para que esse sistema seja eficaz, é essencial que a draga opere em velocidade reduzida, inferior a 3 nós, e que os defletores sejam inspecionados regularmente, preferencialmente ao final de cada ciclo de dragagem, com acompanhamento dos observadores de bordo (Porto do Açu, 2021).

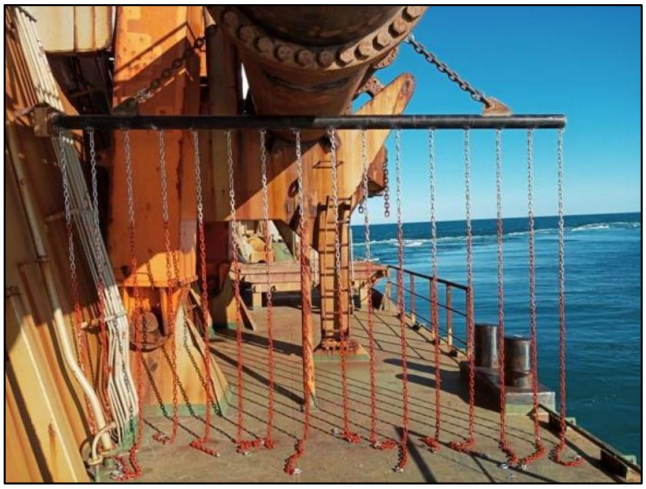


Figura 17. Exemplos de defletores flexíveis (de correntes). Fonte: Porto do Açu, 2021.



Figura 18. Exemplos de defletores semirrígido. Fonte: Porto do Açu, 2021.

Já os defletores semirrígidos e rígidos apresentam funcionamento semelhante entre si e geralmente possuem formato em "V", sendo instalados de modo que fiquem em contato direto com o fundo do mar (Figura 18). Durante a operação, devem ser parcialmente enterrados no leito para mobilizar uma onda de sedimentos à frente da cabeça de dragagem, cuja função é "empurrar" ou suspender os animais do fundo, afastando-os da área de atuação da sucção (Porto do Açu, 2021). A manutenção do contato constante com o substrato é essencial para a eficácia desses dispositivos e para evitar impactos acidentais à fauna marinha.

A seleção do tipo de defletor a ser utilizado deve considerar variáveis como o tamanho da draga, a velocidade de avanço, o tipo e volume de sedimento, bem como a sensibilidade ecológica da área. Em determinados casos, é possível adotar o uso concomitante de diferentes tipos de defletores, otimizando a eficiência do sistema de desvio de fauna conforme a dinâmica operacional e as condições ambientais (Figura 19). Essa medida reforça o compromisso com a minimização de impactos à fauna protegida, especialmente no contexto de áreas com ocorrência de espécies ameaçadas.



Figura 19. Exemplos de múltiplos defletores, flexível a esquerda do braço de dragagem e defletor rígido a direita instalada no cabeçote da draga. Fonte: Porto do Açu, 2021.

Inflow Screen - caixa para filtragem

Embora o uso de defletores na cabeça de sucção da draga contribua significativamente para a redução do impacto sobre a fauna aquática, ainda é possível que alguns exemplares sejam sugados durante as operações. Para mitigar esse risco e possibilitar o monitoramento, é utilizado um dispositivo denominado *inflow screen*, que atua como uma caixa de triagem do material aspirado antes de ser depositado na cisterna da draga. Esse compartimento permite a inspeção visual por parte do observador de bordo, viabilizando a coleta de material biológico e a avaliação direta dos impactos sobre organismos aquáticos.

Por essa razão, é imprescindível que os pontos ou compartimentos destinados à inspeção estejam acessíveis ao observador de bordo. Além do material biológico, a *inflow screen* também retém detritos maiores (como fragmentos de rocha, argila consolidada, madeira ou resíduos sólidos), exigindo que a inspeção e a limpeza sejam realizadas a cada ciclo de dragagem, conforme já adotado em projetos como o do Porto do Açu (2021) (Figura 20 e Figura 21).

As telas que compõem o sistema de triagem normalmente apresentam aberturas de 10,2 cm x 10,2 cm, podendo ser ajustadas conforme as especificidades do material dragado (Porto do Açu, 2021). O dimensionamento adequado dessas malhas deve ser previamente definido e justificado no Plano de Dragagem. A inspeção do dispositivo deve ser realizada apenas em condições que garantam total segurança ao observador de bordo, sempre com o acompanhamento de um membro da tripulação designado pelo comandante da draga (Porto do Açu, 2021).



Figura 20. Exemplo de caixa para filtragem do material dragado em draga antes do despejo na cisterna. Fonte: Porto do Açu, 2021.

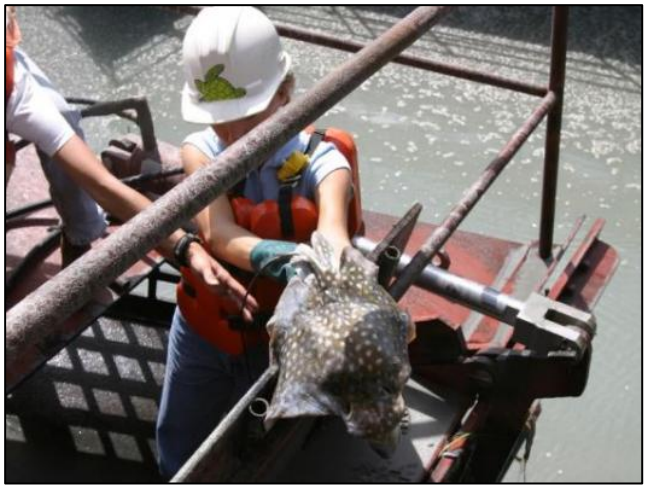


Figura 21. Observador de bordo removendo fauna capturada durante a inspeção das telas na entrada da cisterna. Fonte: Porto do Açu, 2021.

Posicionamento Dinâmico

O sistema de Posicionamento Dinâmico (DP - *Dynamic Positioning*) é essencial para operações de dragagem que exigem alta precisão, especialmente em ambientes complexos como taludes, trincheiras profundas, sobredragagens e áreas com forte influência de correntes transversais. Esse sistema utiliza hélices de manobra posicionadas na proa e na popa da embarcação, controladas por computadores de bordo que recebem dados em tempo real de sensores GPS, acústicos subaquáticos e plataformas inerciais. Com base nessas informações, o sistema calcula a posição da draga e aciona automaticamente os motores das hélices, corrigindo continuamente a posição e a orientação da embarcação sem a necessidade de ancoragem ou cabos.

Ao substituir os antigos métodos de posicionamento, como pontões, guinchos e âncoras, o Posicionamento Dinâmico permite uma operação mais ágil, precisa e segura, sendo amplamente empregado em cenários que demandam controle refinado do cabeçote de dragagem. A tecnologia é especialmente vantajosa em águas profundas ou em áreas onde a mobilização de estruturas de ancoragem seria inviável ou ineficiente.

As tecnologias aplicadas às operações de dragagem têm evoluído significativamente, não apenas para aumentar a eficiência e a produtividade, mas também para mitigar impactos ambientais e ampliar a segurança das atividades em diferentes condições operacionais. Sistemas como o posicionamento dinâmico, compensadores de ondas, cabeçotes especializados, válvulas de controle de pluma e entre outras soluções demonstram como a engenharia tem se adaptado às crescentes exigências técnicas e ambientais. A escolha e a integração dessas tecnologias devem considerar as características do material a ser dragado, as condições

oceanográficas e os critérios ambientais do local, de modo a garantir operações mais sustentáveis, precisas e alinhadas às melhores práticas do setor.

Rastreamento por Satélite

A adoção de tecnologias avançadas para o monitoramento das atividades de dragagem é uma exigência crescente dos órgãos ambientais e um componente essencial para garantir a rastreabilidade e o controle das operações. Entre essas tecnologias, destaca-se o rastreamento por satélite como o uso do sistema AIS (*Automatic Identification System*), que permite o monitoramento em tempo real da posição da draga durante todas as etapas da obra.

Esses sistemas viabilizam não apenas a localização contínua da embarcação, como também o controle rigoroso sobre a conformidade das operações, possibilitando a identificação imediata de desvios das áreas previamente autorizadas para dragagem e descarte de sedimentos. Todos os sensores embarcados devem possuir capacidade de registrar dados com frequência mínima, assegurando uma resolução temporal suficiente para detecção de variações operacionais e avaliação de conformidade ambiental.

Como exemplo, podem-se citar:

- **Spire Maritime / exactEarth**: A *Spire Global*, que adquiriu o serviço exactEarth, opera uma constelação robusta de satélites em órbita baixa, oferecendo dados AIS com latência de menos de um minuto em rotas marítimas importantes. É amplamente utilizada para rastreamento em alta frequência e abrangência global (https://spire.com/maritime/);
- **ORBCOMM**: Uma das pioneiras em AIS via satélite, que possui uma constelação especializada com cobertura global. É fonte de dados para plataformas como *MarineTraffic* (https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:-12.0/centery:25.0/zoom:4) e utilizada por agências governamentais e setores industriais para monitoramento de frotas.
- **Vesseltracker**: Oferece rastreamento AIS global, com cobertura satelital e terrestre. Contabiliza dados de dezenas de milhares de embarcações com interface web e funcionalidades de análise histórica (https://www.vesseltracker.com/);
- **Autotrac Supervisor**: Plataforma nacional voltada para rastreamento e gestão de frotas, utilizada também no setor marítimo-portuário. Permite acompanhar em tempo

real a movimentação de embarcações e equipamentos, gerar relatórios históricos detalhados e integrar informações de telemetria, garantindo maior eficiência e transparência das operações (https://www.autotrac-online.com.br/supervisor/Pages/login.aspx).

Esses sistemas são amplamente adotados para rastreamento de navios em tempo real, e muitos oferecem APIs abertas ou dashboards customizáveis. Integrá-los ao monitoramento de dragagem garante alta confiabilidade operacional, transparência ambiental e rastreabilidade dos locais de operação, alinhando-se às exigências dos programas de controle e licenciamento ambiental.

As também dragas devem ser equipadas com sensores de alta precisão, capazes de indicar de forma automática o momento exato da abertura da cisterna, a duração e intensidade do *overflow*, e demais parâmetros relevantes da dragagem. Esses dados são consolidados em arquivos diários que contém coordenadas geográficas e as variáveis de interesse, tais como: volume dragado, volume descartado, densidade de material e tempo estimado das operações de jateamento. Com essa abordagem, garante-se não apenas a transparência operacional, mas também uma base robusta de dados para auditorias e ajustes técnicos durante a execução da dragagem.

4. MEDIDAS DE CONTROLE AMBIENTAL

Uma das medidas mais comuns e eficazes, especialmente em operações de alimentação artificial de praia, é a instalação de grades na saída da tubulação de descarga. Essa estrutura tem como objetivo reter fragmentos de maior tamanho que possam ter sido aspirados durante a dragagem, como detritos, resíduos sólidos ou objetos não inertes, impedindo que sejam lançados diretamente sobre a praia ou na zona de espraiamento. Essa prática minimiza riscos à segurança dos banhistas, evita a contaminação do ambiente e reduz o retrabalho na limpeza da faixa costeira.

Quando a operação ocorre próxima a formações sensíveis como recifes de corais, bancos de gramas marinhas ou costões rochosos, é recomendada a utilização de cortinas de silte ou de bolhas. Essas barreiras flutuantes, ancoradas ao fundo, atuam como um filtro físico, reduzindo a propagação das plumas de sedimentos em suspensão geradas durante a dragagem ou disposição do material. Ao limitar a dispersão da turbidez, essas cortinas ajudam a preservar a qualidade da água nas áreas adjacentes e a proteger organismos filtradores e fotossintetizantes que dependem da penetração da luz solar.

Nas dragas equipadas com cisterna interna, como as THSD, é essencial o controle do *overflow*. O ajuste correto da altura do vertedouro, conforme o tipo de sedimento dragado, pode reduzir significativamente a liberação de material fino em suspensão em forma de pluma. Em áreas ambientalmente sensíveis, pode-se inclusive restringir ou condicionar o uso do *overflow*, ou empregar sistemas auxiliares de retenção e decantação para minimizar o impacto sobre a qualidade da água. Assim o uso de sistemas de *overflow* que possibilitem esse ajuste conforme o tempo de decantação do material durante a operação é essencial.

Outra medida complementar relevante é a utilização de barreiras de contenção, dispositivos flutuantes projetados para limitar a dispersão de substâncias indesejadas em ambientes aquáticos. Comumente aplicadas em casos de derramamento de óleo, essas barreiras formam um perímetro ao redor da área afetada, impedindo a propagação para regiões adjacentes. Após a contenção, o material pode ser removido por meio de *skimmers*, mantas absorventes ou outros equipamentos específicos. Além da função principal, essas estruturas também podem ser empregadas na retenção de sedimentos em suspensão, atuando como importante ferramenta de mitigação de impactos durante atividades potencialmente poluidoras.

Em regiões onde se conheça a ocorrência de espécies da fauna aquática protegida ou vulnerável, como tartarugas marinhas, recomenda-se considerar a instalação de defletores de tartarugas (*turtle deflectors*) nos cabeçotes de sucção ou nos sistemas de bombeamento. Esse equipamento direciona ou impede o ingresso desses animais na área de sucção, reduzindo significativamente o risco de captura acidental ou ferimentos

durante a operação. A adoção dessa medida é particularmente relevante em áreas de desova ou migração sazonal, sendo frequentemente exigida em licenciamentos ambientais federais e estaduais.

Além disso, é recomendável a implementação de um programa de monitoramento da fauna aquática, por meio de campanhas realizadas antes, durante e após a dragagem. Tais levantamentos permitem avaliar as alterações nas comunidades de organismos de fundo e na população de quelônios e mamíferos, mensurar os impactos efetivos da intervenção e subsidiar medidas compensatórias, quando aplicável. Nesses casos, a presença de um observador de bordo treinado, responsável por registrar ocorrências de fauna sensível e apoiar decisões operacionais, também se mostra uma estratégia eficiente, sobretudo em áreas de alta relevância ecológica.

O conjunto dessas ações deve ser associado a um programa de monitoramento ambiental contínuo, que inclua o acompanhamento da turbidez da água, da qualidade dos sedimentos, da fauna aquática e do desempenho das próprias medidas de controle. Esse monitoramento permite ajustes em tempo real nas operações de dragagem, reforçando a abordagem preventiva e garantindo a compatibilidade da atividade com os princípios da gestão ambiental responsável. O Quadro 14 apresenta uma síntese das medidas propostas.

Quadro 14. Síntese das medidas de controle ambiental propostas de acordo com seu objetivo e impacto a ser mitigado/controlado.

Medida de controle ambiental	Aspecto a ser mitigado/controlado	Impacto ambiental a ser mitigado/controlado	Objetivo da medida
Instalação de grades na saída da tubulação de descarga	Lançamento de detritos e materiais indesejáveis na praia ou zona de espraiamento	Alteração da qualidade dos sedimentos	Reter fragmentos sólidos aspirados, proteger os banhistas e evitar contaminação da faixa costeira
Utilização de cortinas de silte ou de bolhas	Dispersão de pluma de sedimentos em áreas sensíveis	Alteração da qualidade da água; Alteração na estrutura e dinâmica de comunidades da fauna	Conter a turbidez e proteger recifes, costões e organismos sensíveis à luminosidade
Controle e ajuste do *overflow* conforme tipo de sedimento	Liberação excessiva de material fino em suspensão (pluma de *overflow*)	Alteração da qualidade da água;	Reduzir a formação de plumas e mitigar impactos sobre a qualidade da água
Instalação de barreiras de contenção flutuantes	Dispersão de poluentes ou sedimentos em suspensão	Alteração da qualidade da água	Limitar a dispersão e permitir posterior remoção do material poluente ou particulado
Instalação de defletores de tartarugas nos cabeçotes de sucção ou bombas	Captura acidental de fauna tartarugas	Perda de indivíduos da fauna	Reduzir riscos à fauna vulnerável, especialmente em áreas de desova ou migração
Presença de observador de bordo	Perturbação de comunidades aquáticas e fauna sensível	Perda de indivíduos da fauna	Avaliar impactos reais sobre a fauna e orientar medidas mitigadoras ou compensatórias

5. CONCLUSÃO

Diante da complexidade dos impactos potenciais, a dragagem para alimentação artificial de praias deve ser precedida por estudos ambientais detalhados. O monitoramento contínuo durante e após as operações é fundamental para garantir a mitigação dos impactos e o sucesso ambiental do projeto. A incorporação de tecnologias avançadas, como sistemas de posicionamento dinâmico, cabeçotes especializados e controle de turbidez representam medidas de controle ambiental que contribuem para a realização de dragagens mais eficientes, precisas e ambientalmente responsáveis.

A análise técnica dos tipos de dragas, das tecnologias disponíveis e dos respectivos impactos ambientais associados à operação de dragagem no contexto da alimentação artificial da Praia de Meia Praia evidencia a importância da seleção criteriosa dos equipamentos e da adoção de medidas de controle ambiental. A diversidade de dragas existentes no mercado permite que sejam selecionadas aquelas mais adequadas às características do sedimento, à profundidade da jazida, às condições operacionais e, sobretudo, à minimização dos impactos ambientais.

Considerando as especificações do Projeto de Dragagem, a draga do tipo TSHD (*Trailing Suction Hopper Dredger*) mostra-se a mais apropriada para a execução do empreendimento, por sua elevada eficiência, capacidade de operação em mar aberto e menor interferência nas atividades costeiras. A compatibilidade desse tipo de embarcação com as características da jazida prevista, bem como a existência de modelos similares amplamente empregados em obras costeiras brasileiras, reforça a viabilidade técnica da sua utilização.

Ressalta-se a importância da adoção de medidas de controle ambiental ao longo de todas as etapas da dragagem, com destaque para o monitoramento da turbidez da água, o controle da pluma de sedimentos em suspensão, a utilização de cabeçotes adequados ao tipo de material dragado, o emprego de válvulas verdes para reduzir impactos visuais e a correta operação dos sistemas de overflow. A implementação de programas de monitoramento ambiental contínuos, voltados à qualidade da água, integridade da fauna bentônica e conformidade batimétrica da jazida, é essencial para mitigar os impactos negativos e garantir a eficácia ambiental da intervenção. Além disso, protocolos de prevenção e resposta a acidentes ambientais, como derramamentos de óleo, devem estar plenamente estabelecidos e operacionais durante todo o período da obra.

Dessa forma, o presente estudo atende à condicionante nº 7 da Licença Ambiental Prévia nº 3895/2024, fornecendo subsídios técnicos e ambientais para a tomada de decisão quanto ao tipo de draga a ser mobilizada e às ações preventivas e corretivas necessárias à realização de uma dragagem ambientalmente segura e eficiente, em consonância com os objetivos do projeto de alimentação artificial de Meia Praia, em Itapema/SC.

6. REFERÊNCIAS

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. Obras e gestão de portos e costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2009.

ALLEANZA. 2024. Estudo Ambiental Simplificado para as Obras de Preenchimento Artificial com Areia da Praia em Meia Praia Itapema/SC – Versão 03. Alleanza Arquitetura Urbana e Engenharia. 708p.

ALLONDA. *Draga: conheça diferentes equipamentos*. Blog Allonda, 2018. Disponível em: <https://allonda.com/blog/gestao-de-residuo-pt/draga-conheca-diferentes-equipamentos/>. Acesso em: 15 de julho de 2025.

BANKS, G. E., ALEXANDER, M. P. (1994). **Development and Evaluation of a Sea TurtleDeflecting Hopper Dredge Draghead.** US Army Corps of Engineers. Waterways Experiment Station. 31 p. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA283896.pdf>. Acesso em: 15 de julho de 2025.

BOLAM, S. G. Minimizing impacts of maintenance dredged material disposal in the coastal environment: a habitat approach. *Environmental Management*, 2003.

BOYD, S. E. et al. Preliminary observations of the effects of dredging intensity on the re-colonisation of dredged sediments off the southeast coast of England (Area 222). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v. 57, p. 209–219, 2003. DOI: 10.1016/S0272-7714(02)00346-3.

BOYD, S. E.; LIMPENNY, D. S.; REES, H. L.; COOPER, K. M. The effects of marine sand and gravel extraction on the macrobenthos at a commercial dredging site (results 6 years post-dredging). *ICES Journal of Marine Science*, v. 62, p. 145–162, 2005. DOI: 10.1016/J.ICESJMS.2004.11.014.

BOYD, S. E.; LIMPENNY, D. S.; REES, H. L.; COOPER, K. M. The effects of marine sand and gravel extraction on the macrobenthos at a commercial dredging site (results 6 years post-dredging). *ICES Journal of Marine Science*, v. 62, p. 145–162, 2005. DOI: 10.1016/J.ICESJMS.2004.11.014.

BOYD, S.E., COOPER, K.M., LIMPENNY, D.S., KILBRIDE, R., REES, H.L., DEARNALEY, M.P., STEVENSON, J., MEADOWS, W.J., & MORRIS, C.D. (2004). Assessment of the re-habilitation of the seabed following marine aggregate dredging. Science Series Technical Report, CEFAS Lowestoft, 121, 154pp.

BRAY, R.N., BATES, A.D., LAND, J.M. – Dredging / A Handbook for Engineers, 2ª edição, Butterworth Heinemann, 2005.

COOPER, K. M. et al. Recovery of the seabed following marine aggregate dredging on the Hastings Shingle Bank off the southeast coast of England. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v. 75, p. 547–558, 2007. DOI: 10.1016/J.ECSS.2007.06.004.

ESCALANTE, R. S. (2017a). *Draga de alcatruzes*. Escola de Pós-Graduação em Engenharia Portuária – Engenharia de Dragagem. Disponível em: <https://www.graduadosportuaria.com.ar/IngDragado/DRA_Tema%206_Draga%20de%20cangilones.pdf>. Acesso em: 15 de julho de 2025.

ESCALANTE, R. S. (2017b). *Draga Dustpan*. Escola de Pós-Graduação em Engenharia Portuária – Engenharia de Dragagem. Disponível em: <https://www.graduadosportuaria.com.ar/IngDragado/DRA_Tema%2011_Draga%20Dustpan.pdf>. Acesso em: 15 de julho de 2025.

ESCALANTE, R. S. (2017c). *Draga retroescavadeira*. Escola de Pós-Graduação em Engenharia Portuária – Engenharia de Dragagem. Disponível em: <https://graduadosportuaria.com.ar/IngDragado/DRA_Tema%208_Draga%20tipo%20retroexcavadora.pdf>. Acesso em: 15 de julho de 2025.

ESCALANTE, R. S. (2019a). *Outras dragas*. Escola de Pós-Graduação em Engenharia Portuária – Engenharia de Dragagem. Disponível em: <https://www.graduadosportuaria.com.ar/descarga/vias_Navegables/ingenieria_dragado/DRA_T13.pdf>. Acesso em: 15 de julho de 2025.

ESCALANTE, R. S. (2019b). *Draga de caçamba*. Escola de Pós-Graduação em Engenharia Portuária – Engenharia de Dragagem. Disponível em: <https://www.graduadosportuaria.com.ar/descarga/vias_Navegables/ingenieria_dragado/DRA_T7.pdf>. Acesso em: 15 de julho de 2025.

GRAVE, S, WHITAKE, A. (1999). Benthic Community Re-adjustment following Dredging of a Muddy-Maerl Matrix. Marine Pollution Bulletin, Vol. 38, No. 2, pp. 102-108.

GUERRA-GARCÍA, J. M., GARCÍA-GÓMEZ, J. C., & ESPINOSA, F. (2003). Short-Term Benthic Recolonization after Dredging in the Harbour of Ceuta, North Africa. **Marine Ecology**, 24 (3): 217–229. https://doi.org/10.1046/j.0173-9565.2003.00810.x.

GUERRA-GARCÍA, J. M.; GARCÍA-GÓMEZ, J. C. Recolonization of defaunated sediments: Fine versus gross sand and dredging versus experimental trays. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v. 68, p. 328–338, 2006. DOI: 10.1016/J.ECSS.2006.01.021.

KOTWICKI, L.; GRACA, B. Benthic re-colonization in post-dredging pits in the Puck Bay (Southern Baltic Sea). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v. 68, p. 575–585, 2006.

LE BOT, S.; LAFITE, R.; FOURNIER, M.; BALTZER, A.; DESPREZ, M. Morphological and sedimentary impacts and recovery on a mixed sandy to pebbly seabed exposed to marine aggregate extraction (Eastern English Channel, France). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v. 88, p. 221–231, 2010. DOI: 10.1016/J.ECSS.2010.06.012.

MIEDEMA, S. (2012). **Dredging Processes, The cutting of Sand, Clay & Rock, Excavating Equipment**. Lecture Notes. 10.13140/2.1.5072.4162.

NEWELL, R. C., SEIDERER, L. J., & HITCHCOCK, D. R. (1998). The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the sea bed. **Oceanography and Marine Biology**: An Annual Review ,36, 127-178.

OLIVEIRA, U. B. G. DE. **Dragagem e os Imapctos ao Meio Ambiente.** Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, 2010.

PORTO DO AÇU. (2021). Protocolo Padrão para Dragagens de Manutenção: Medidas de proteção e monitoramento relacionadas às tartarugas marinhas durante as dragagens de manutenção realizadas no Porto do Açu. Disponível em: <https://esg.portodoacu.com.br/wp-content/uploads/2022/02/Protocolo-padrao_dragagem_maio2021_rev00.pdf>. Acesso em: 16 de julho de 2025.

ROYAL IHC. Royal IHC: Creating the maritime future. Página inicial. Disponível em: <https://www.royalihc.com/dredging>. Acesso em: 15 de julho de 2025.

THRUSH, S. F.; WHITLATCH, R. B.; HEWITT, J. E. Scale-dependent recolonization: the role of sediment stability in a dynamic sandflat habitat. *Ecology*, 1998.

VAN ES, B., PILLE, N., DE VLAMING, R., & DE VRIES, J. (2004). ***Construction of Wellhead Protection Glory Holes for White Rose Project, Canada.*** Terra et Aqua, (95), 2004. Disponível em: <https://www.seatools.com/wp-content/uploads/2002/06/Article-on-GES-development-and-operations.pdf>. Último acesso: 14 de julho de 2025.

VAN OORD. Van Oord: We create a better world for future generations by delivering Marine ingenuity. Página inicial. Disponível em: <https://www.vanoord.com/>. Acesso em: 15 de julho de 2025.,

VANDYCKE, S. (2002). Dredging Stiff to Very Stiff Clay in theWielingen Using the DRACULA® System on a Hopper Dredger. Terra et Aqua, n. 89. Disponível em: < https://www.iadc-dredging.com/wp-content/uploads/2017/03/article-dredging-stiff-to-very-stiff-day-in-the-wielingen-using-the-dracula-system-on-a-hopper-dredger-89-01.pdf>. Acesso em: 22 de julho de 2025.

VUYK ENGINEERING ROTTERDAM. Vuyk Engineering Rotterdam: The maritime design house. Página inicial. Disponível em: <https://www.vuykrotterdam.com/>. Acesso em: 15 de julho de 2025.

WAGNER, R. J., LEWIS, R. E. *Water injection dredging in the US, challenges and solutions*. In: **Western Dredging Association (WEDA)**. *2022 Dredging Summit & Expo*. Houston: WEDA, 2022. Disponível em: <https://www.westerndredging.org/phocadownload/2022_Houston/Proceedings/2C-4.pdf>. Acesso em: 15 de julho de 2025.

WILBER, D. H.; CLARKE, D. G. Defining and assessing benthic recovery following dredging and dredged material disposal. Vicksburg: U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2021.

Documento assinado digitalmente
gov.br
ANA MARIA MOTTER PEREIRA
Data: 12/08/2026 18:16:25-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br