

## Revista Brasileira de Geografia Física



Homepage: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe

### Análise Espaço-Temporal da Pluma de Dispersão dos Sedimentos Dragados do Porto de Maceió, Alagoas

Anderson Marques Araújo do Nascimento<sup>1</sup>, Paulo Ricardo Petter Medeiros<sup>2</sup>, Geovânia Ricardo dos Santos<sup>3</sup>, Geórgenes Hilário Cavalcante Segundo<sup>4</sup>

Artigo recebido em 23/04/2020 e aceito em 26/04/2021

#### RESUMO

O entendimento da dinâmica sedimentar é importante na caracterização dos impactos causados pelas dragagens e este conhecimento torna-se decisivo para o discernimento dos mesmos O objetivo deste artigo foi analisar a pluma de dispersão dos sedimentos do Porto de Maceió. As análises foram realizadas em três campanhas amostrais, antes, durante e após as obras portuárias, na qual foram plotados os pontos de coleta nas áreas de dra gagem e descarte. Foram analisados o material particulado em suspensão (MPS) pelo método gravimétrico e realizadas amostragens in situ dos parâmetros turbidez, oxigênio dissolvido e porcentagem de saturação, salinidade e condutividade elétrica com sonda multiparâmetros e de transparência da água com disco de Secchi. Os parâmetros MPS, turbidez e transparência foram analisados por interpolação linear, enquanto as demais varáveis foram submetidas à análise em curva de calibração polinomial. Os multiparâmetros trabalhados foram submetidos à análise em box plot de modo a avaliar a variância entre as campanhas. A variação de MPS nas campanhas amostrais mostrou comportamento espacial e temporal dinâmicos; A interpolação promoveu melhor visualização dos parâmetros físicos que expressam diretamente a pluma de dispersão; As variáveis suplementares apresentaram padrões de tendência em relação à carga de sedimentos; A análise em box plot mostrou-se ser pertinentemente útil para avaliar e interpretar os resultados de forma integrada, principalmente devido ao grande número de parâmetros analisados; As obras de dragagem tiveram gestão equilibrada entre a quantidade de sedimentos dragados e a disposição espacial dos mesmos no local de descarte quando comparado a área de dragagem. Palavras-chave: Dragagem. Material particulado em suspensão. Variação Multiparamétrica.

# Spatio-Temporal Analysis of the Dredged Sediment Scattering Plume in the Port of Maceió, Alagoas

#### ABSTRACT

The understanding of the sedimentary dynamics is important in the characterization of impacts caused by dredging and this knowledge becomes decisive for their discernment. The aim of this article was to analyze the plume of dispersion of the sediments of the Port of Maceió. The analyzes were carried out in three sampling campaigns, before, during and after the port works, in which the collection points in the dredging and discard areas were plotted. The suspended particulate material (SPM) was analyzed using the gravimetric method and *in situ* sampling of the parameters turbidity, dissolved oxygen and percentage of saturation, salinity and electrical conductivity with a multiparameter probe and water transparency with Secchi disk. The parameters SPM, turbidity and transparency were analyzed by linear interpolation, while the other variables were subjected to analysis on a polynomial calibration curve. The multiparameters worked were submitted to box plot analysis in order to assess the variance between campaigns. The variation of SPM in the sample campaigns showed dynamic spatial and temporal behavior; The interpolation promoted a better visualization of the physical parameters that directly express the plume of dispersion; The supplementary variables showed trend patterns in relation to the sediment charge; Box plot analysis proved to be pertinently useful for evaluating and interpreting the results in an integrated manner, mainly due to the large number of parameters analyzed; The dredging works had a balanced

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Discente do Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas (PPGG/IGDEMA/UFAL), e-mail: <a href="mailto:anderson.nascimento@igdema.ufal.br">anderson.nascimento@igdema.ufal.br</a> (autor correspondente); <sup>2</sup> Professor Titular do PPGG/IGDEMA/UFAL, e-mail: <a href="mailto:paulopetter@hotmail.com;">paulopetter@hotmail.com;</a> <sup>3</sup> Mestra pelo PPGG/IGDEMA/UFAL, e-mail: <a href="mailto:geovaniaricardos@gmail.com;">geovaniaricardos@gmail.com;</a> <sup>4</sup> Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, do Instituto de Ciências Atmosféricas, da Universidade Federal de Alagoas (PPGMET/ICAT/UFAL), e-mail: <a href="mailto:georgenes.cavalcante@icat.ufal.br">georgenes.cavalcante@icat.ufal.br</a>.

management between the amount of dredged sediments and their spatial disposition at the discard site when compared to the dredging area.

Keywords: Dredging. Suspend particulate material. Multiparametric variation.

#### Introdução

Nos últimos anos, fatores como a demanda ambiental, comercial e turística, juntamente com a viabilidade de manutenção e expansão da atual capacidade do Porto de Maceió gerou a necessidade da realização de obras de dragagem, executadas no ano de 2018, visando à melhoria das condições de navegabilidade de seu canal de acesso.

Em linhas gerais, a dragagem é definida, conforme a lei n° 12.815/13, como sendo uma obra de engenharia que consiste no desassoreamento, alargamento, desobstrução, remoção, derrocamento ou escavação de material de fundo de rios, lagoas, mares, baías ou canais; geralmente com o intuito de realizar a manutenção ou aumentar a profundidade dos canais de navegação utilizados por grandes navios, cargueiros e autotransportadoras de contêineres para acesso aos portos (Menegazzo e Petterini, 2018).

As três etapas básicas de uma atividade de dragagem são a escavação, o transporte e a disposição final dos sedimentos, que são realizadas repetidas vezes até que seja alcançada a profundidade desejada (Wit el al., 2014). Diferentes tecnologias equipamentos denominados de dragas são utilizados, dependendo do tipo de material e do local do trabalho (Rojas-Sola e De-la Morena De-la Fuente, 2018). Os sedimentos dragados são removidos dos cursos de água e, em seguida, devem ser geridos de forma que atenda às normas regulatórias e tenha uma gestão equilibrada entre custos e riscos (Bates et al., 2015).

Trata-se de uma técnica eficaz, tendo, no entanto, como consequências mudanças na hidrodinâmica, nas características geofísicas e eventualmente alterações na geoquímica da água e do sedimento (Reis et al., 2020), já que a maior parte do material dragado é destinado no mar, uma vez que grande parte desse material não apresenta nível de contaminantes preocupantes e é semelhante aos sedimentos de áreas não antropizadas (Oliveira e Correia, 2019). Entretanto, a parte restante que é poluída, oriunda das atividades humanas (fertilizantes químicos, resíduos industriais, lançamento de esgotos e efluentes não tratados, rejeitos de minério, etc.) possui significativa contaminação e é capaz de causar danos ambientais e perda de espécies desejáveis (Fonseca e Palma, 2018; Vezzone et al., 2018; Ferreira, 2019; Ferreira et al., 2020).

A pluma de dispersão do material dragado que fica na superfície da água é chamado na literatura de material particulado em suspensão (ou, simplesmente, MPS), também denominado TMS (total de matéria suspensa), TSS (total de sólidos suspensos), ou ainda CSS (concentração de sólidos suspensos). O MPS é constituído por partículas inorgânicas (sedimento) e elementos biogênicos (matéria orgânica dissolvida e particulada) em suspensão na água. Essas partículas possuem a capacidade de inibir ou enriquecer os ecossistemas costeiros, fixar ou adsorver poluentes de metal, produtos químicos ou de origem orgânica, podendo causar eutrofização e a degradação de habitats marinhos biologicamente produtivos (Fathollahzadeh et al., 2015; Song et al., 2016; Yu et al., 2017; Liu et al., 2019; Delgado et al., 2020; Fonseca et al., 2020). Entre outras consequências estão a elevação da turbidez, da sedimentação e a diminuição de oxigênio dissolvido na água (Cesar et al., 2014; Falção Filho et al., 2016; Caballero et al., 2018).

O MPS é constituído de três frações sólidas principais: areia, argila e silte. As partículas mais grosseiras, principalmente areia, constituem a principal fonte do material particulado em suspensão, principalmente em ambientais costeiros. O silte e a argila, por sua vez, são materiais coesivos, e dependendo da quantidade de água podem ser classificados como lama (mud) (Snellings et al., 2016; Simões Neto et al., 2017). São facilmente transportadas, com tempos de residência, de decantação e evaporação, temporal e espacial, variáveis (Shao et al., 2015).

No que se refere às obras de dragagem, milhões de metros cúbicos de material sólido e em suspensão são retirados do local de origem e sua análise deve ocorrer prévia, durante e posteriormente à obra no sentido de avaliar possíveis danos ambientais (Haguenauer et al., 2020).

Desde seu início e durante séculos, os resíduos de dragagem eram dispostos de forma totalmente aleatória, em locais onde muitas vezes prejudicavam seriamente o meio ambiente, sem que houvesse nenhum questionamento em relação a este aspecto. A preocupação com a gestão

adequadado material dragado só passou a aparecer, realmente, em meados dos anos 1970 com a Conferência de Estocolmo, em 1972 e com a Convenção de Londres, realizada no mesmo ano, na qual deram origem às regulamentações internacionais de depósito dos materiais dragados em áreas marítimas, retificada em 1996 com o Protocolo de Londres e só entrando em vigor a partir de 2006, ratificada por 44 países, entre eles o Brasil como um de seus signatários (Frohlich et al., 2015).

A intensificação das atividades de dragagem no Brasil, todavia, externalizou diversas lacunas no marco regulatório até então existente, de modo que até meados dos anos 2000 não havia uma lei em nível nacional que regesse àquelas postuladas no Protocolo de Londres, o que culminou na criação das diretrizes implementadas pela Resolução CONAMA n° 357/2005, com vias de fiscalização e preservação ambiental. Entretanto, ela não definia limites de concentrações de constituintes, o que a tornava incompleta, já que a coluna sedimentar é constituída de sedimentos mais a água intersticial em contato direto com a coluna d'água (Kanashiro e Xie, 2016).

Recentemente, em 2012, a Resolução CONAMA n° 454 incrementou as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional, contemplando uma revisão mais abrangente dos valores orientadores de qualidade e dos procedimentos que aprimoram o gerenciamento de materiais a serem dragados em área portuárias (Frohlich et al., 2015; Kanashiro e Xie, 2016).

Os entraves promovidos pela destinação dos sedimentos dragados em áreas marítimas citados acima, acrescidos da necessidade de um monitoramento contínuo da água e controle de variáveis relacionadas ao plano de gestão ambiental contido nos sedimentos, entre os quais a pluma de dispersão, pode ser utilizada efetivamente como indicadora e como importante ferramenta de monitoramento ambiental, a

exemplo das áreas submetidas à atividades e descarte de sedimentos oriundos de dragagem portuária (Murta et al., 2019).

Diante do exposto, o objetivo deste artigo foi analisar a pluma de dispersão dos sedimentos dragados do Porto de Maceió, Alagoas.

#### Material e métodos

Caracterização geral da área de estudo

A pesquisa foi realizada no município de Maceió, capital do estado de Alagoas, situado na Mesorregião Geográfica do Leste Alagoano e Microrregião Geográfica de Maceió, nas coordenadas 09°39'57" S e 35°44'07" W (Figura 1), na altitude de 16 m (Governo do Estado de Alagoas, 2018). O município está sob o domínio climático As' - tropical quente com chuvas de outono/inverno, de acordo com a classificação de Köppen, com precipitação pluviométrica média de 1.700 mm. Os solos dominantes são os Latossolos Amarelos, com afloramentos de Argissolos. Na área experimental, em específico, predomina, majoritariamente, a presença de Neossolos Ouartzarênicos, derivados de sedimentos arenoquartzosos do Grupo Barreiras do período Terciário e sedimentos marinhos do período Holoceno (EMBRAPA, 2014). A vegetação do município é a Floresta subperenifólia, de formações alta e densa, com presença de Floresta Perenifólia de mangue e restinga na zona costeira (IBGE, 2012).

#### Descrição da área experimental

O Porto de Maceió está localizado na área leste da capital alagoana, entre as praias da Pajuçara e Jaraguá. A área é limitada a leste pelo Oceano Atlântico e nas demais direções pelo município de Maceió (Figura 1), nas coordenadas geográficas 09°40'25" S e 35°43'17" W (SEP/PR, 2015).

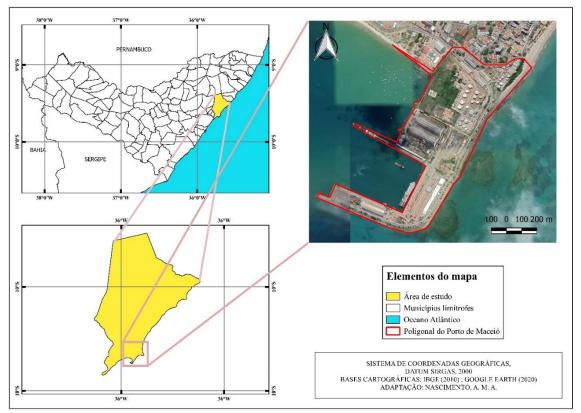


Figura 1. Mapa de localização do Porto de Maceió, Alagoas. Fonte: Autores.

A estrutura do Porto de Maceió contém oito berços de acostagem adequados para realização de operações de carga ou descarga de mercadorias, abastecimento, movimentação de passageiros e de suprimentos. Além disso, conta com cinco armazéns, sendo quatro externos e um interno, no Cais Comercial, com um canal de acesso de 120 metros de largura (Ministério da Infraestrutura, 2019).

#### Dragagem e pontos de coleta

A obra de dragagem do Porto de Maceió teve duração de três meses, executada a partir de 19 de março de 2018 pela draga autotransportadora de sucção e arrasto — TSHD (Trailing Suction Hopper Dredge) e por uma outra draga mecânica do tipo restroescavadeira para a finalização das áreas inacessíveis à draga previamente mencionada, da empresa belga Jan de Nul, responsável pelas obras de aprofundamento do canal de acesso, da bacia de evolução e dos berços. A draga, fabricada em 1994, possui comprimento de 89,6 metros, 18,4 metros de largura e 3,6 metros de calado (Ministério da Infraestrutura, 2018).

As dragas TSHD, como a utilizada na dragagem do Porto de Maceió, são do tipo

hidráulicas ou de sucção, em que os navios apresentam tanques (cisternas) de fundo móvel, onde o material dragado é depositado. As dragas hidráulicas desse tipo operam por meio de um sistema de dutos e braços de dragagem e ao aspirar o sedimento, trazem junto uma grande quantidade de água. Conforme os tanques vão se enchendo a água excedente é eliminada, processo este conhecido por overflow (transbordamento), por meio de uma saída vertical, enquanto o sedimento dragado se deposita no fundo. Esse fluxo forma uma pluma de turbidez (overflow plume) sob a quilha, que apresenta comportamento e capacidade de visualização variável, composta principalmente de argila e areia fina (Wit et al., 2014).

Cada ponto de dragagem no Porto teve um objetivo de calado (profundidade) a ser atingido. Dentro da bacia de evolução o calado passou de 9,5 metros para 11 metros, o berço de 5 metros para 9 metros e o Terminal de Açúcar de 5 metros para 10,5 metros. O volume estimado de sedimento dragado no Porto de Maceió foi de mais de um milhão e cem mil metros cúbicos de sedimentos (Ministério da Infraestrutura, 2018).

O material dragado foi descartado a aproximadamente 2,7 milhas náuticas  $(\pm 5 \text{ km})$  da costa e a cerca de 7 km da área de dragagem (Figura

2). Na área de dragagem, antes da execução das obras, em março/2018, foram realizadas coletas de água em pontos cardeais seccionados à posição da embarcação: à bombordo (lado esquerdo – A1), à estibordo (lado direito – A2), à proa (parte frontal – A3) e à popa (parte traseira – A4). Em cada ponto as amostras de água foram coletadas com auxílio de galões plásticos de 5 L, devidamente asseados, em dois pontos específicos: na superfície, a uma profundidade de até 1 m abaixo da linha de água, e no fundo, a uma profundidade de até 11 metros.

Já na área de descarte, as coletas foram realizadas nos meses de março (pré-dragagem), maio (período de dragagem) e agosto/2018 (pósdragagem). Os pontos amostrais foram distribuídos em área preliminarmente definida para o descarte dos sedimentos dragados, seccionados a partir do ponto central (OO) em: Norte (1N e 2N), Sul (1S e 2S), Leste (1L e 2L) e Oeste (1O e 2O). As coletas de água também foram realizadas em duplicata em cada ponto amostral: em superfície, até 1 m, e no fundo, a uma profundidade de até 21 metros.

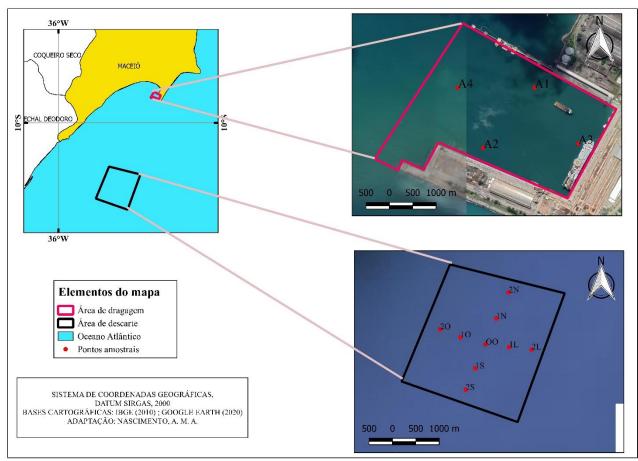


Figura 2. Mapa dos pontos amostrais das áreas de dragagem e descarte dos sedimentos dragados do Porto de Maceió. Fonte: Autores.

As amostras coletadas, previamente identificadas, foram estocadas em caixa térmica com gelo para conservação e então encaminhadas para análise do material particulado em suspensão (MPS) em laboratório.

#### Análise e amostragem multiparamétrica

Em laboratório o MPS foi determinado pela técnica gravimétrica da seguinte forma: foi filtrado em kitassato um volume conhecido de amostra de água, medido em proveta graduada, sobre papel-filtro Whatman GF/C, com porosidade de 47 mm, para a retenção das partículas dos sedimentos dragados, previamente tratados e calcinados em mufla à 450° C durante três horas. Estes filtros foram resfriados em dessecador, na presença de sílica-gel, pré-pesados em balança analítica com precisão de cinco casas decimais e envolvidos em papel-alumínio devidamente etiquetados. Após a filtração e pesagem os filtros foram submetidos ao congelamento em freezer durante 48 horas. Posteriormente foram levados à secagem em estufa a uma temperatura de 65° C, por

aproximadamente quatro horas, para a obtenção do peso constante. Após isso, os filtros foram novamente dessecados e pesados em balança analítica para determinação do material em suspensão pela diferença de peso entre os filtros com e sem amostras.

O cálculo de material particulado em suspensão foi determinado por intermédio da equação:

$$MPS = \frac{(P2 - P1)}{V} \cdot 1000$$

em que:  $P_1$  = peso do filtro limpo/vazio (g);  $P_2$  = peso do filtro com material em suspensão seco (g); V = volume de amostra filtrada (mL); 1000 = fator de conversão de g/mL para mg/L.

Ainda em campo, foram realizadas em cada ponto de coleta medidas *in loco* de transparência da água com auxílio de um disco de Secchi, com diâmetro de 30 cm, suspenso a um cabo de fio graduado. O disco foi imergido e as medições de transparência foram estimadas por dedução entre o ponto de profundidade anotado em que o disco desaparece do campo de visão, submerso em água, e o nível de reaparição do disco emerso à superfície. A transparência verdadeira foi a média das duas medidas.

Em campo foram realizadas também amostragens dos parâmetros turbidez, oxigênio dissolvido e saturação, salinidade e condutividade elétrica com sonda multiparamétrica (YSI-6600 V2) acoplada com sensor óptico. Para a obtenção da saturação de oxigênio dissolvido foram realizadas medidas de temperatura da água; a porcentagem de saturação foi determinada então mediante a equação:

% Saturação de Oxigênio Dissolvido = 
$$\frac{\text{OD}}{\text{sat/OD}} \cdot 100$$

onde: OD = taxa de oxigênio dissolvido (mg/L); sat/OD = taxa de saturação de oxigênio dissolvido a uma dada temperatura (ppm) pré-determinado em tabela; 100 = fator de conversão para porcentagem.

Após a realização dos experimentos laboratoriais e das amostragens *in situ* nos meses amostrais os dados foram organizados e tabulados em planilhas eletrônicas e então gerada a análise dos dados.

Análise dos dados

Os parâmetros físicos que expressam diretamente a pluma de dispersão dos sedimentos

dragados, MPS, turbidez e transparência foram analisados por interpolação linear, utilizando técnicas de geoprocessamento, mediante a geração de um sistema de informações geográficas (SIGs), com o uso do software multiplataforma Qgis, versão 2.18, na qual foram reunidas as bases de dados geográficas (vetoriais, matriciais e planilhas eletrônicas).

Preliminarmente foram inseridas as coordenadas dos pontos amostrais plotados em campo, dos materiais cartográficos analógicos digitalizados, das bases de dados digitais acessadas e das planilhas com os dados paramétricos tabulados no editor Excel, versão 2016.

Feito isso, foi realizada a manipulação espacial para a construção de uma base de dados em sistema plano de coordenadas, com informações básicas que possibilitassem a análise dos dados e elaboração do leiaute final dos cartogramas.

Os planos de informação dos parâmetros MPS, turbidez e transparência nas três campanhas foram gerados utilizando o método de interpolação matemática IDW (Inverse Distance Weighted -Ponderação do Inverso da Distância). Com os dados desses parâmetros foram realizadas as interpolações, gerando planos de informação de superfícies de estimativas geoestatísticas, em formato matricial (raster), incorporados à base de dados geográfica digital. Feito isso, foi gerado um polígono vetorial com os limites das áreas de dragagem e descarte, objetivando limitar a abrangência da interpolação, evitando que fosse realizada a estimativa dos parâmetros para fora dos limites delineados. Em especial na área de descarte a delimitação se deu através da elaboração de um quadrado regular circunscrito, de modo a contomar os pontos amostrais.

Os demais parâmetros analisados, oxigênio dissolvido e saturação, salinidade e condutividade elétrica foram tratados como variáveis suplementares, demonstrados em gráficos de dispersão e submetidos à análise em curva de calibração polinomial, de modo a avaliar a linha de tendência entre os dados nos meses amostrais.

Integralmente, todos os parâmetros analisados em campo e em laboratório foram submetidos à análise em gráficos de Box Plot, elaborados no Programa R, versão 3.6.0., para melhor visualização da variabilidade e discrepância dos dados entre os meses estudados.

#### Resultados e discussão

Na área de dragagem, em março/2018, o material particulado em suspensão apresentou concentração variável nos pontos amostrais, entre superfície e fundo, porém no fundo foram constatadas as maiores taxas de MPS (Tabela 1).

No ponto à estibordo (A2) foram registrados os maiores valores de MPS, tanto em superfície (32,53 mg/L) quanto no fundo (34,67 mg/L), resultando assim no maior acúmulo de MPS total (67,20 mg/L). A amplitude estatística entre a mínima e máxima registradas foi de 28,90.

Ponto	MPS (Superfície)	MPS (fundo)	MPS total (mg/L)
A1 (Bombordo)	16,13	34,27	50,40
A2 (Estibordo)	32,53	34,67	67,20
A3 (Proa)	25,60	12,70	38,30
A4 (Popa)	29,00	28,60	57,60

Tabela 1. Concentração do material particulado em suspensão (MPS) nos pontos amostrais da área de dragagem do Porto de Maceió, em março/2018

A partir da análise de interpolação, observou-se maior incidência da pluma nas porções seccionadas à estibordo (A2) e à popa (A4) (66,1 e 59,4 mg/L, respectivamente), em decorrência dos

maiores acúmulos de MPS total constatados (67,20 e 57,60 mg/L, respectivamente); no ponto à proa (A3), com menor MPS acumulado (38,30 mg/L), a menor incidência de pluma (39,2 mg/L, figura 3).

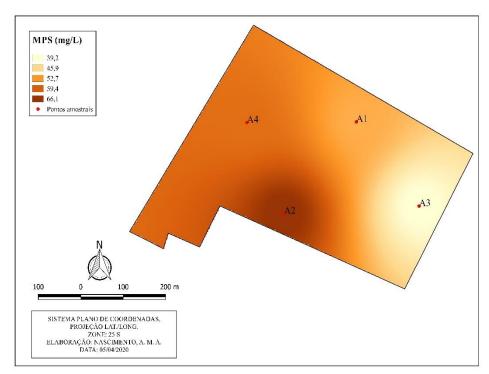


Figura 3. Interpolação linear do MPS nos pontos amostrais da área de dragagem, em março/2018. Fonte: Autores.

Observou-se também maior turbidez à estibordo (22,2 Unidades Nefelométricas de Turbidez – UNT, figura 4), evidenciando, assim, uma nítida relação deste parâmetro com uma maior concentração de MPS, diferentemente do que

ocorrera comos pontos à proa e à popa (3,62 a 8,25 UNT); a pequena concentração da pluma de turbidez na área à popa, que apresentou elevada concentração de MPS, pode evidenciar a presença de sedimentos em suspensão com composição não

coesiva; nas áreas à estibordo e bombordo, por sua vez, as de granulometria coesiva (aderente).

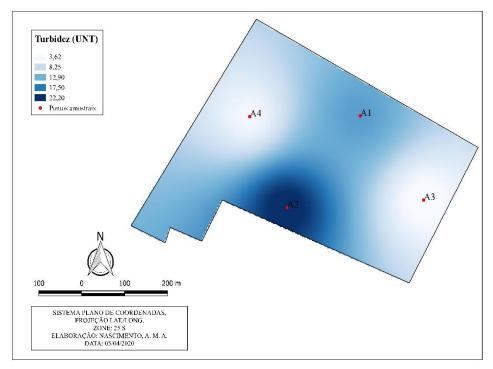


Figura 4. Interpolação linear da turbidez nos pontos amostrais da área de dragagem, em março/2018. Fonte: Autores.

Estudos de Manap e Voulvoulis (2015) apontam que o tamanho das partículas na superfície da água pode interferir diretamente na turbidez, pois partículas menores, principalmente silte (0.005 - 0.05 mm) e argila  $(\le 0.005 \text{ mm})$ permanecem em suspensão por mais tempo, enquanto que as maiores, principalmente areia grossa (2,0-4,8 mm), média (0,42-2,0 mm) e fina (0.05 - 0.42 mm) tendem a se decantar gradativamente. De acordo com os autores, as principais fontes intensificadoras de turbidez são as argilas, as turfas, os siltes de alto teor consolidado e as partículas com alto teor de matéria orgânica; segundo eles, sedimentos com tal granulometria possuem maior capacidade de turvação (coloração intensa) e são em geral pouco densos.

Todavia, não foi observado maior estratificação de transparência da água para os pontos amostrais com menor turvação (A3 e A4) em relação aos pontos que registraram maior registro dos mesmos (A1 e A2), como deveria ser. Nos pontos à proa e à popa a transparência variou entre 1,52 a 1,68 m, enquanto que à bombordo e estibordo esta variação foi igual ou superior a 2 metros (Figura 5).

A hidrodinâmica, de acordo com Pereira et al. (2017), pode afetar esteticamente a transparência da água, pois ela está intimamente condicionada pela topografia do fundo e do vento, que acomete a coluna d'água, promovendo assim a ressuspensão de materiais, nutrientes e organismos pequenos a partir da camada superficial do sedimento.

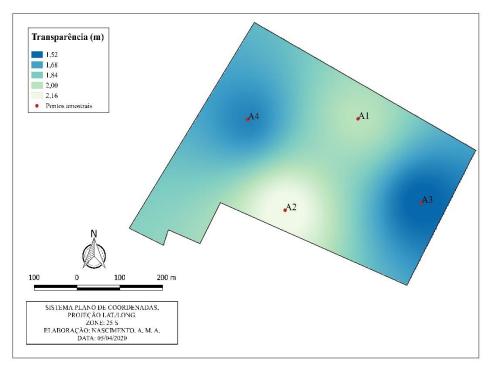
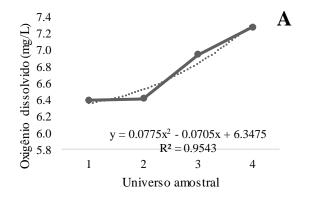


Figura 5. Interpolação linear da transparência da água nos pontos amostrais da área de dragagem, em março/2018. Fonte: Autores.

Com relação ao oxigênio dissolvido e a porcentagem de saturação, observou-se uma linha consecutiva para ambos os parâmetros, indicando susceptibilidade de tendência alta ou acumulativa (0,9543 e 0,9525, respectivamente). O oxigênio dissolvido entre os pontos amostrais variou entre 6,39 e 7,27 mg/L (Figura 6A), enquanto a taxa de saturação oscilou entre 97,55 e 110,85% (Figura 6B). De acordo com a literatura inerente, com valores pré-tabulados, a concentração em relação a

porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido, do ponto de vista ambiental e biológico, pode ser interpretada sob quatros perspectivas: Pobre (menor que 60%), Aceitável (entre 60 e 79%), Excelente (entre 80 e 125%) e Muito Alta (acima de 125%). Desta forma, conclui-se que os teores para ambos os parâmetros na área de dragagem, antes da execução das obras, apresentaram porcentagem de saturação de oxigênio (% satOD) Excelente, favorável a produtividade biológica.



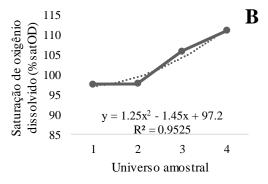


Figura 6. Curva de calibração polinomial dos parâmetros oxigênio dissolvido e saturação na área de dragagem do Porto de Maceió, relativo a março/2018.

Para salinidade e condutividade elétrica, observou-se uma linha de tendência de lado ou indefinida, em virtude da leve variação e

estabilidade em seus maiores valores, 37,95 parts per thousands (ppt) para salinidade e 5.710 miliSiemens por centímetro (mS/cm) para 2095 condutividade elétrica. Coincidentemente, a curva de calibração para ambos os parâmetros foi de 0,933 (Figuras 7A e 7B).

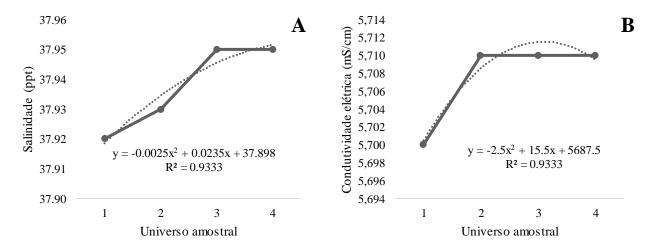


Figura 7. Curva de calibração polinomial dos parâmetros salinidade e condutividade elétrica na área de dragagem do Porto de Maceió, relativo a março/2018.

Já na área de descarte, em março/2018, o MPS, de forma majoritária esteve concentrado ao fundo dos pontos amostrais, à exceção dos pontos 2L e 1N (Tabela 2). Este último foi o que apresentou o maior MPS (31,67 mg/L), em superfície, bem como o maior MPS total (46,83

mg/L). A amplitude estatística acumulada (16,98) foi menor que a da área de dragagem (28,90), no mesmo período. Essa diferença inferior é atribuída especialmente ao período de pré-dragagem, em virtude de a draga ainda não estar em funcionamento e isenta de descarte de sedimentos.

Tabela 2. Concentração do material particulado em suspensão (MPS) nos pontos amostrais da área de descarte dos sedimentos dragados do Porto de Maceió, em marco/2018

Ponto	MPS (Superfície)	MPS (Fundo)	MPS total (mg/L)
1N	31,67	15,16	46,83
2N	16,70	17,35	34,05
1S	16,35	17,30	33,65
2S	13,20	20,80	34,00
1L	16,60	16,60	33,20
2L	17,00	15,45	32,45
10	12,30	17,55	29,85
20	16,85	19,05	35,90
00	12,60	20,70	33,30

Os valores interpolados de MPS variou entre 32,14 a 41,84 mg/L (Figura 8), com maior adensamento da pluma na área correspondente ao ponto amostral 1N, que apresentou maior MPS total. A pluma de MPS apresentou tendência de

dispersão mais a norte; os demais pontos amostrais apresentaram pluma de dispersão praticamente similares ou constantes em função dos menores valores de MPS total.

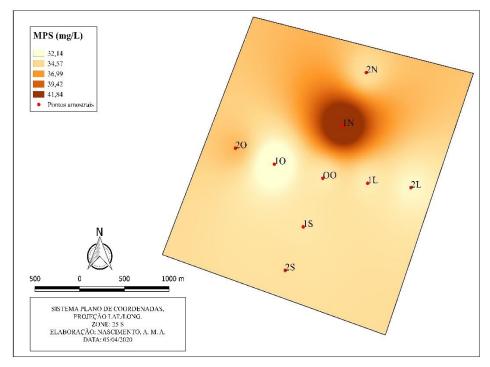


Figura 8. Interpolação linear do MPS nos pontos amostrais da área de descarte, em março/2018.

Com relação à turbidez, observou-se também, maior incidência de turvação nas porções a norte dos pontos amostrais, 1N e 2N (18,10 UNT, figura 9) e relação de incidência direta com a maior taxa de MPS acumulado. Nas porções a centro-oeste e sul dos pontos amostrais a incidência de turvação mostrou-se similar, com os menores registros (entre 5,70 e 8,81 UNT), também atribuídos a menor ocorrência de MPS.

Além de partículas inorgânicas, derivadas do material particulado em suspensão, Medeiros et al. (2015) mencionam outros fatores responsáveis pela turbidez da água, tais como coloides, matéria orgânica (dissolvida e particulada), organismos microscópicos e algas, que variam tanto espacialmente quanto temporalmente. De acordo

com Fonseca et al. (2020), a turbidez advém do grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a coluna d'agua. Esta redução se dá por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral, etc. Neste processo, as partículas mais finas se associam entre elas e em vez de permanecerem em suspensão (constituindo a turbidez) acabam se depositando (Caballero et al., 2018).

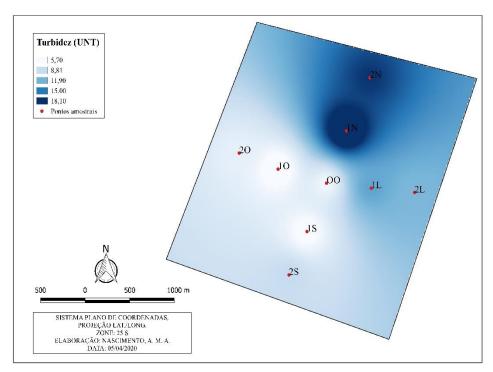


Figura 9. Interpolação linear da turbidez nos pontos amostrais da área de descarte, em março/2018.

A transparência, por sua vez, apresentou maior reflectância nos pontos OO (8,53 m) e 1N (8,07 m), que apresentou maior MPS total e turbidez, caracterizando assim anomalia de estratificação (Figura 10), como também ocorreu na área de dragagem, no mesmo período. Essa anomalia pode ser indicativa, também, da presença de partículas com granulometria grosseira, principalmente areia, conforme apontam Dorij e

Fearns (2017). De acordo com Yao et al (2014), as partículas pequenas possuem um menor comprimento de onda do que a luz incidente, assim, a intensidade de luz dispersa por elas é aproximadamente igual em todas as direções, enquanto que a luz difundida pelas partículas maiores é muito mais intensa em direção frontal do que em outras direções.

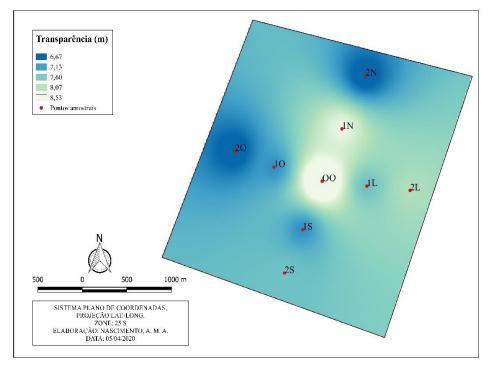


Figura 10. Interpolação linear da transparência da água nos pontos amostrais da área de descarte, em março/2018.

Com relação ao oxigênio dissolvido e a porcentagem de saturação, observou-se uma linha de tendência consecutiva (0,9705 e 0,9656, respectivamente) para ambos os parâmetros, indicando susceptibilidade de tendência alta ou acumulativa. Para o oxigênio dissolvido essa acumulação variou entre 6,87 e 7,77 mg/L (Figura

11A) e para o oxigênio dissolvido saturado entre 103,75 e 116,30% (Figura 11B). As taxas acumuladas, antecedente às obras de dragagem na área de descarte, também apresentaram padrão de saturação Excelente (entre 80 e 125%) para a consumação de oxigênio dissolvido.

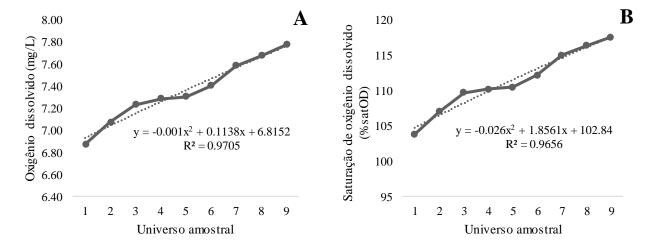


Figura 11. Curva de calibração polinomial dos parâmetros oxigênio dissolvido e saturação na área de descarte, relativo a março/2018.

A salinidade e condutividade elétrica, por sua vez, apresentaram valores praticamente estáveis, configurando consequentemente uma linha de tendência de lado ou indefinida (Figuras

12A e 12B), em virtude da leve variação verificada entre seus maiores valores (37,95 ppt para salinidade e 5.710 mS/cm para condutividade

elétrica), refletindo assim num maior inclinação na curva (0,6572 e 0,6241, respectivamente).

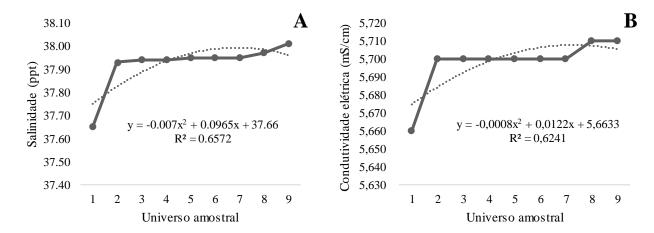


Figura 12. Curva de calibração polinomial dos parâmetros salinidade e condutividade elétrica na área de descarte, relativo a março/2018.

Já em maio/2018, correspondente ao período de descarte dos sedimentos dragados, o MPS apresentou padrão de concentração em superfície e ao fundo variáveis entre os pontos amostrais, e, comparativamente, houve maior

amplitude estatística (31,29) quando comparado as coletas realizadas no mês de março, na prédragagem (Tabela 3). Os maiores valores de MPS total estiveram concentrados nos pontos 1S (64,08 mg/L), 1N (62,07 mg/L) e 1L (61,88 mg/L).

Tabela 3. Concentração do material particulado em suspensão (MPS) nos pontos amostrais da área de descarte dos sedimentos dragados do Porto de Maceió, em maio/2018.

Ponto	MPS (Superfície)	MPS (fundo)	MPS total (mg/L)
1N	22,82	39,25	62,07
2N	22,39	10,40	32,79
1S	20,58	43,50	64,08
2S	19,75	21,75	41,50
1L	27,21	34,67	61,88
2L	19,35	25,80	45,15
10	31,60	8,91	40,51
20	23,75	14,11	37,86
00	12,93	27,92	40,85

O aumento de material particulado em suspensão em relação a março, no período de execução e descarte das obras de dragagem, constatou uma mobilidade na dispersão da pluma dos sedimentos dragados, com avanço em sentido

longitudinal curvo a leste, abrangendo os pontos amostrais 1N, 1L e 1S (± 59,7 mg/L), que apresentaram os maiores valores de MPS acumulado (Figura 13).

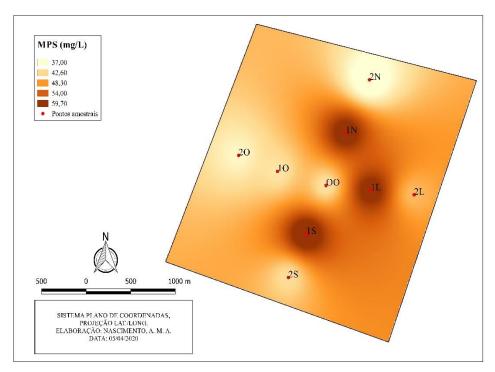


Figura 13. Interpolação linear do MPS nos pontos amostrais da área de descarte, em maio/2018. Fonte: Autores.

Dinâmica similar na pluma de dispersão também foi constatada por Dorij e Fearns (2017) durante estudos em área submetida a atividade de dragagem no Porto Onslow, Austrália. Os autores constataram que os sedimentos que se encontravam em suspensão na água permaneciam em constante mobilidade devido a turbulência de fatores físicos (ventos, ondas, marés de quadratura e sizígia...), das correntes convectivas da água e da repulsão provocada pelas cargas elétricas existentes na superfície das partículas, processo este conhecido como equilíbrio hidrodinâmico.

A pluma de turbidez esteve concentrada incidentemente nos pontos 1L e 1S (48,6 UNT, figura 14). O ponto amostral 1N que também apresentou alta concentração de MPS total, a exemplo dos pontos 1O e OO, apresentaram

similaridade de turvação (entre 32,8 a 38,0 UNT); já o ponto 2N, com menor índice de MPS total, por sua vez, a menor turbidez (27,5 UNT).

Segundo Yao et al. (2014), o material particulado em suspensão, dentro de certas condições, faz comque o feixe de luz incidente seja dispersado, ao invés de ser absorvido e transmitido em linha reta; logo, quanto maior a dispersão da luz, maior será a turbidez. Ademais, a turbidez pode ser gerada no mar pelo processo de ressuspensão, que ocorre pela remobilização de sedimentos, resultante da ação das correntes e das ondas, e uma vez em suspensão eles vão disponibilizar microrganismos, metais pesados e outros contaminantes para a coluna d'água, inclusive nutrientes (Delgado et al., 2020).

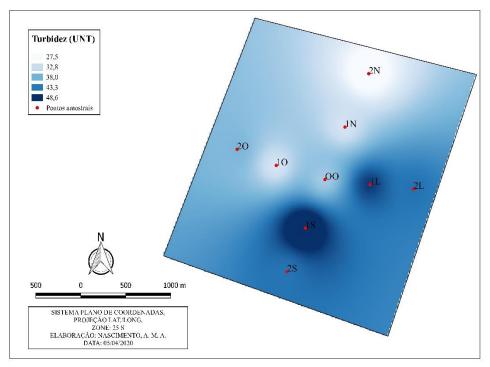


Figura 14. Interpolação linear da turbidez nos pontos amostrais da área de descarte, em maio/2018. Fonte: Autores.

A transparência da água de maneira uniforme refletiu pertinentemente ao ponto amostral com menor turbidez e material particulado em suspensão, no caso, o ponto 2N (3,66 m). Nos demais pontos amostrais, com maior ou menor turbidez, essa tendência mostrou-se similar ou praticamente estável (Figura 15).

De acordo com Bessell-Browne et al. (2017), a interação entre concentrações elevadas de sedimentos em suspensão geralmente resulta na redução da luz, e consequentemente no menor retroespalhamento (transparência) da água.

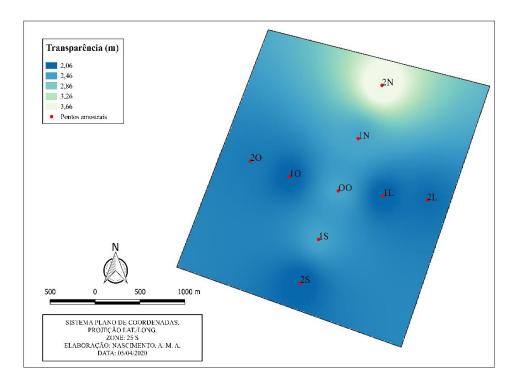


Figura 15. Interpolação linear da transparência da água nos pontos amostrais da área de descarte, em maio/2018. Fonte: Autores.

Em comparação a março, a curva de calibração polinomial para o oxigênio dissolvido e saturação em maio apresentaram linha de tendência de lado ou indefinida (0,8401 e 0,8649, respectivamente), fator este atribuído ao maior acúmulo de MPS registrado nos estratos em superfície e fundo entre os pontos amostrais, variando entre 5,86 e 8,63 mg/L para o oxigênio dissolvido (Figura 16A) e entre 91,05 e 132,75% para a porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido (Figura 16B), como consequência do lançamento dos dejetos dragados. Observou-se então oscilação na % satOD de Excelente a Muito

Alta. Taxas percentuais acima de 125%, conforme estudos anteriores de Junjie et al (2014) e Kjelland et al (2015) configuram-se como de riscos danosos ou perigosos a biota marinha, mas dentro do esperado por abrigar sedimentos oriundos de dragagem. Adicionalmente, Chagas et al (2018) mencionam que concentração de OD advém dos processos químicos e biológicos que ocorrem no mar, relacionados intimamente à poluição orgânica contida no sedimento, tanto em superfície quanto próximo ao fundo e da floração de algas na superfície, ocorrendo assim uma supersaturação.

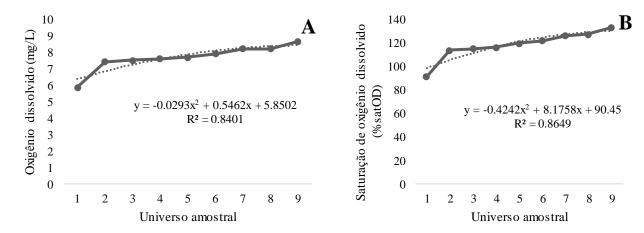
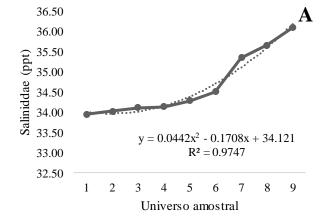


Figura 16. Curva de calibração polinomial dos parâmetros oxigênio dissolvido e saturação na área de descarte, relativo a maio/2018.

A salinidade e condutividade elétrica, em contrapartida a março, apresentaram uma curva de calibração do tipo alta ou acumulativa (0,9747 e 0,9773, respectivamente), fator este também atribuído a maior concentração de material

particulado em suspensão verificado. A salinidade variou entre 33,94 e 36,08 ppt (Figura 17A), enquanto que para a condutividade elétrica essa oscilação variou entre 5.170 e 5.460 mS/cm (Figura 17B)



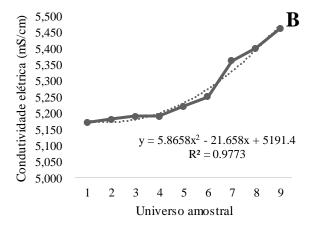


Figura 17. Curva de calibração polinomial dos parâmetros salinidade e condutividade elétrica na área de descarte, relativo a maio/2018.

Na pós-dragagem, em agosto/2018, as taxas de material particulado em suspensão apresentaram dinamismo de valores em superfície e fundo dos pontos amostrais (Tabela 4). Mais uma vez, a exemplo das duas campanhas anteriores, o ponto amostral 1N registrou os maiores valores em superfície (29,08 mg/L) e fundo (34,31), refletindo

assim num maior valor de MPS total (63,39 mg/L). A amplitude estatística foi também a maior registrada (47,16), quando comparada a maio (31,29) e março (16,98) na área de descarte, e na área de dragagem (28,90), antes da execução das obras.

Tabela 4. Concentração do material particulado em suspensão (MPS) nos pontos amostrais da área de descarte dos sedimentos dragados do Porto de Maceió, em agosto/2018.

Ponto MPS (Superfície) MPS (fundo) MPS total (mg/L) 1N 29,08 63,39 34,31 2N12,00 10,68 22,68 37,38 **1S** 23,88 13,50 **2S** 9,20 15,50 24,70 34,25 1L10,50 23,75 2L10,23 13,95 24,18 10 18,00 20,75 38,75 20 9,53 6,70 16,23 8,07 00 12,83 20,90

A pluma de MPS total esteve então exclusivamente concentrada a 1N dos pontos amostrais (49,9 mg/L), em virtude do maior valor acumulado, quando comparado aos demais pontos (Figura 18). Pôde-se observar, ainda, tendência de

agregação nos pontos circunvizinhos ao ponto central, 1O, 1Le 1S ( $\geq 28$ , 4a42, 7 mg/L), enquanto nos pontos extremos, 2N, 2O, 2Le 2S, incluindo o próprio ponto central, OO, observou-se os menores registros ( $\geq 21$ , 2a28, 4 mg/L).

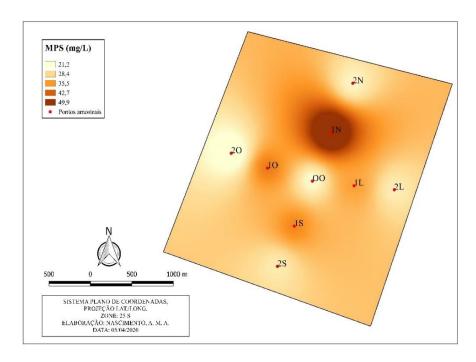


Figura 18. Interpolação linear do MPS nos pontos amostrais da área de descarte, em agosto/2018.

Como reflexo do maior adensamento da pluma no ponto 1N, foi registrado também a maior turbidez (28,2 UNT) com tendência de agregação a norte (Figura 19), enquanto os pontos commenores

concentrações da pluma (2O, OO, 2L e 2S) as menores turbidezes (11,2 UNT); nos demais pontos amostrais a turbidez oscilou entre 15,4 e 23,9 UNT.

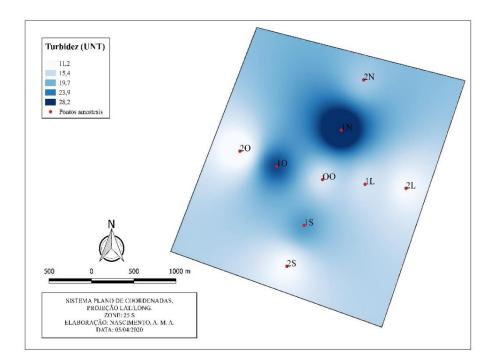


Figura 19. Interpolação linear da turbidez nos pontos amostrais da área de descarte, em agosto/2018.

A transparência da água em agosto, a exemplo do que ocorreu na área de dragagem, em

março, mais uma vez apresentou anomalia de estratificação em relação às áreas menos turvas

(Figura 20). Observou-se maior espectro de transparência (4,91 m) nos pontos 2O, com os menores valores de MPS total e turbidez, dentro do esperado; 1O, com MPS acumulado e turbidez

medianos; e a 1N, que apresentou o maior adensamento de MPS e turbidez, caracterizando assim a anomalia.

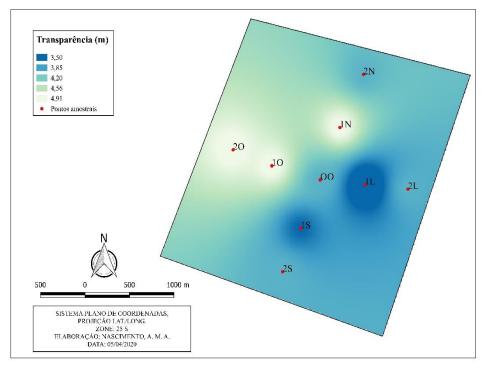


Figura 20. Interpolação linear da transparência da água nos pontos amostrais da área de descarte, em agosto/2018. Fonte: Autores.

A transparência do oceano em função da turbidez está relacionada, conforme Chagas et al (2018), às suas propriedades ópticas inerentes (absorção e espalhamento). Estas propriedades variam mediante a concentração, a natureza e dos tipos de materiais dissolvidos e particulados presentes na água, tal qual apontam Grasso et al (2018). Segundo Jones et al (2015), a turbidez, dentro de certas condições, pode aumentar a demanda evaporativa em grandes porções de água relativamente clara; assim, há possibilidade de penetração da radiação solar na água, então, a massa hídrica armazena quantidades expressivas de energia, porém, quando há redução da transparência da água (turbidez) devido à absorção e espalhamento da luz por matéria em suspensão, altera-se a capacidade de armazenamento, devido à elevação da taxa evaporativa.

Para o oxigênio dissolvido e a saturação, a curva de calibração em agosto, a exemplo do que

ocorreu em maio, apresentou linha de tendência de lado ou indefinida, inferior a campanha anterior (0,7626 e 0,7532, respectivamente), indicando estabilidade nos dados obtidos. As taxas de OD oscilou entre 5,80 e 7,45 mg/L (Figura 21A), enquanto que para a % de saturação essa oscilação variou entre 88,45 e 113,85% (Figura 21B). As porcentagens de saturação configuraram um caráter Excelente para as espécies consumidoras, como consequência da pós-dragagem.

O grande hidrodinamismo das águas costeiras não intensifica fenômenos de acumulação de matéria orgânica a longo prazo, responsáveis pela saturação de oxigênio dissolvido na água, mesmo em zonas dragadas, apesar de se verificar uma pluma dispersa no momento do descarte dos dejetos dragados, favorecida pela alta capacidade de diluição do oceano e pelo próprio ciclo tidal (marés de sizígia e quadratura), como apontam Grasso et al (2018).

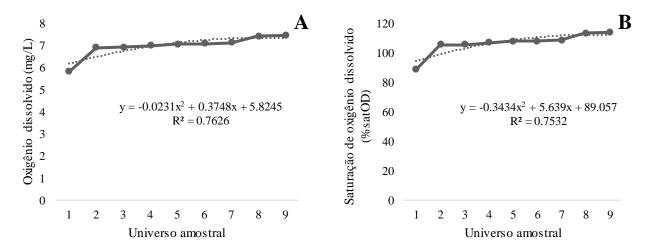


Figura 21. Curva de calibração polinomial dos parâmetros oxigênio dissolvido e saturação na área de descarte, relativo a agosto/2018.

A salinidade por sua vez, apresentou linha de tendência acumulativa (0,9502), em oposição à condutividade elétrica, que apresentou linha tendência de lado ou indefinida (0,8621), em virtude da menor variação (Figura 22B) e

estabilização contínua em seu maior valor registrado (5.640 mS/cm). Para a salinidade essa variação oscilou entre 37,34 e 37,48 ppt (Figura 22A).

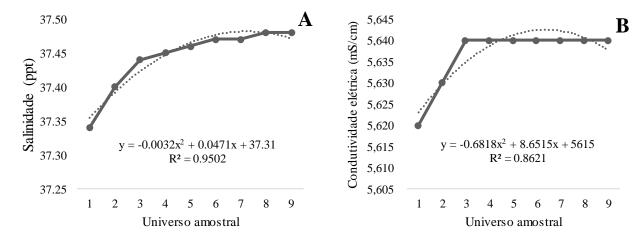


Figura 22. Curva de calibração polinomial dos parâmetros salinidade e condutividade elétrica na área de descarte, relativo a agosto/2018.

A análise em box plot permitiu uma visão mais abrangente dos multiparâmetros analisados nas três campanhas (antes, durante e após), entre as áreas de dragagem e descarte do Porto de Maceió. A concentração de MPS na área de dragagem, antes da execução da mesma, foi maior quando comparada à área de descarte, prévia (março), durante (maio) e pós-dragagem (agosto), indicativo este que sugere uma gestão equilibrada entre a carga de material dragado nos meses que se seguiram e a quantidade de espalhamento do mesmo no local de descarte. O aumento da carga

de MPS em maio em relação a março na área de descarte evidenciou maior adensamento da pluma como consequência do lançamento dos rejeitos dragados, equivalente ao período de execução das obras. A maior discrepância entre as mínimas e máximas em agosto pode evidenciar maior processo de decantação ou evaporação dos sedimentos dragados na pós-dragagem (Figura 23A).

A turbidez, às previas das obras de dragagem, em março, esteve praticamente similar nas duas áreas, quando levada em conta a mediana

dos valores. Em maio foram registrados os maiores teores de turbidez, como consequência do maior adensamento da pluma na área de descarte dos dejetos dragados. Essa tendência diminuiu consideravelmente em agosto, em virtude de um maior estágio de decantação/evaporação dos sedimentos, no período de pós-dragagem (Figura 23B).

Para a transparência da água, que apresentou anomalia de reflectância entre os pontos amostrais, foi verificado padrão de estratificação desproporcional e decrescente nas três campanhas. Na área de descarte, em março, foram registradas maiores estratificações de transparência, antecedentes às atividades de descarte que sucederiam. As estratificações de transparência diminuíram consideravelmente em correspondente ao período de descarte dos sedimentos, com tendência de aumento na transparência pós-dragagem, em agosto (Figura 23C).

Os parâmetros oxigênio dissolvido e saturação, por sua vez, apresentaram tendência acumulativa nas primeiras duas campanhas. Em especial no mês de maio, o maior consumo de oxigênio e da porcentagem de saturação esteve

Descarte

(março/2018)

Descarte

(maio/2018)

Dragagem

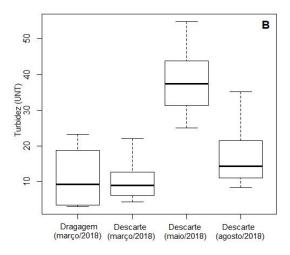
(março/2018)

Descarte

(agosto/2018)

atribuída a maior presença de sedimentos em suspensão, favorecendo desta forma maior consumo dos mesmos pelos produtores primários e aquáticos. A tendência de decréscimo no mês de agosto, em contrapartida, é sugerida pelo maior tempo de compactação dos sedimentos (decantação), com valores e percentuais de oxigênio tendendo a ficar próximo do ideal, como na campanha antecedente às obras de dragagem do Porto, em março (Figuras 23D e 23E).

A salinidade nas duas áreas, por sua vez, apresentou similaridade na concentração de sais, campanhas amostrais antecedente posteriormente às obras de dragagem (março e medianas agosto), com e discrepâncias praticamente constantes. No mês de maio, em contrapartida, a exceção, fato atribuído a maior concentração de MPS verificado (Figura 23 F). Paralelamente, a condutividade elétrica, à exceção do mês de maio, também esteve relativamente estável. A maior oscilação correspondente ao mês de execução das obras de dragagem, com maior presença de materiais, favoreceu sua disseminação, em virtude da maior presença de sólidos em suspensão, e assim maior variância e discrepância entre os valores máximo e mínimo (Figura 23G).



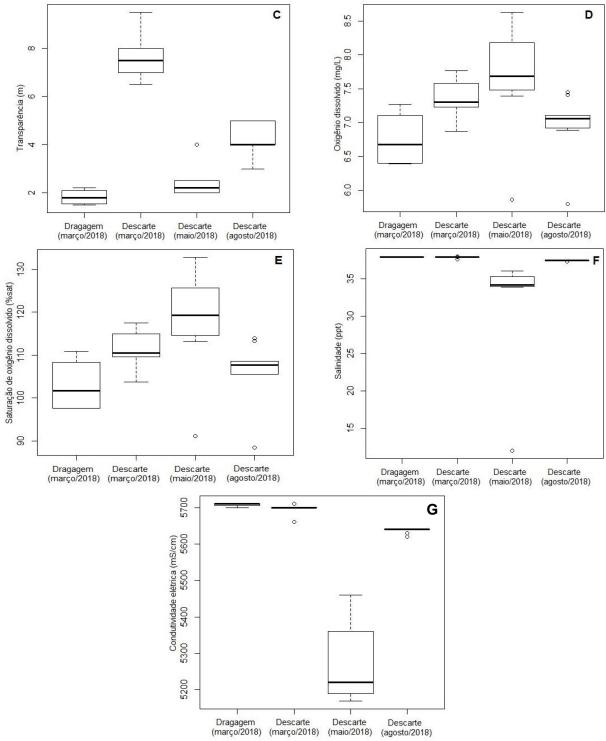


Figura 23. Análise box plot dos parâmetros MPS (A), turbidez (B), transparência (C), oxigênio dissolvido (D), saturação de oxigênio dissolvido (E), salinidade (F) e condutividade elétrica (G) nas áreas de dragagem e descarte dos sedimentos dragados do Porto de Maceió.

#### Conclusões

1. A variação de material particulado em suspensão nas campanhas amostrais mostrou comportamento espacial e temporal dinâmicos

prévia, durante e após as obras de dragagem do Porto de Maceió;

2. As variáveis suplementares analisadas (oxigênio dissolvido e % de saturação, salinidade e condutividade elétrica) apresentaram padrões de

oscilação em resposta à concentração em maior ou menor grau na carga de sedimentos;

- 3. Sumariamente, as obras de dragagem no Porto de Maceió tiveram gestão equilibrada entre a quantidade de sedimentos dragados e a disposição espacial dos mesmos no local de descarte quando comparado a área de dragagem antes da execução das mesmas;
- 4. A utilização dos métodos geoestatísticos para a interpolação também promoveu melhor visualização dos parâmetros físicos que expressam diretamente a pluma de dispersão e assim melhor discernimento dos mesmos entre os pontos amostrais:
- 5. A aplicação da análise em box plot mostrou-se ser pertinentemente útil para avaliar e interpretar os resultados de maneira integrada, principalmente devido ao grande número de parâmetros analisados, podendo ser amplamente difundido e aplicado em estudos afins.

#### Agradecimentos

À Fundação Euclides da Cunha (FEC) de Apoio Institucional, da Universidade Federal Fluminense (UFF) pela concessão das bolsas e disponibilização dos dados coletados. Ao CNPq através do Instituto do Milênio Estuários CNPq/MCT (Protocolo n° 420.050/2005-1) e (Protocolo **CNP**q INCT-TMCOcean 573.601/2008-9) pelos equipamentos utilizados na coleta e processamento dos dados, e também veículo utilizado para transporte de amostras e equipe de pesquisadores. Ao Laboratório Integrado de Ciências do Mar e Naturais (LABMAR, setor de Hidroquímica) e ao Laboratório de Geoquímica Ambiental (LGA), da Universidade Federal de Alagoas, pela infraestrutura de suporte, execução e laboratoriais, repetição dos experimentos essenciais para a análise dos sedimentos. Adicionalmente, os autores também agradecem aos editores da Revista Brasileira de Geografia Física pelas críticas e sugestões apontadas para o aprimoramento deste presente trabalho.

#### Referências

Bates, M. E., Fox-Lent, C., Seymour, L., Wender, B. A., Linkov, I. 2015. Life cycle assessment for dredged sediment placement strategies. Science of the Total Environment [online] 511. Disponível:

https://doi.org/10.1142/9789814689977\_0115. Acesso: 26 mar. 2020.

- Bessell-Browne, P., Negri, A.P., Fisher, R., Clode, P. L., Duckworth, A., Jones, R. 2017. Impacts of turbidity on corals: The relative importance of light limitation and suspended sediments. Marine Pollution Bulletin [online] 117. Disponível:
  - https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.05 0. Acesso: 31 mar. 2020.
- Caballero, I., Navarro, G., Ruiz, J. 2018. Multiplatform assessment of turbidity plumes during dredging operations in a major estuarine system. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinfomation [online] 68. Disponível:
  - https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.01.014. Acesso: 26 mar. 2020.
- Cesar, A., Lia, L. R. B., Pereira, C. D. S., Santos, A. R., Cortez, F. S., Choueri, R. B., De Orte, M. R., Rachid, B. R. F. 2014. Environmental assessment of dredged sediment in the major Latin American seaport (Santos, São Paulo Brazil): An integrated approach. Science of the Total Environment [online] 498. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.037. Acesso: 31 mar. 2020.
- Chagas, V. O., Bonecker, S. L. C., Cruz, M. B. 2018. Avaliação ambiental de atividade de dragagem através da aplicação de indicadores de qualidade da água. Rev. Bras. Gest. Amb. Sustent. [online] 5. Disponível: 10.21438/rbgas.051024. Acesso: 31 mar. 2020.
- Delgado, J. F., Lima, L. S., Britto, E. B. C. C., Almeida, M. P., Vieira, K. S., Amorim, R. M., Baptista Neto, J. A., Fonseca, E. M. 2020. Evaluation of metal pollution in sediments and water of Sao Marco harbor (Maranhão, Brazil). Oceanography & Fisheries Open Access Journal [online] 1. Disponível: 10.19080/OFOAJ.2020.12.555837. Acesso: 21 abr. 2021.
- Dorij, P., Fearns, P. 2017. Impact of the spatial resolution of satellite remote sensing sensors in the quantification of total suspended sediment concentration: A case study in turbid waters of Northern Western Australia. Plos One [online] 12. Disponível: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175042. Acesso: 25 mar. 2020.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2014. Sistema Brasileiro de classificação de solos. Brasília.
- Falcão Filho, C. A. T., Strenzel, G. M. R., de Paula, F. C. F. 2016. Dados TM aplicados a

- modelagem da pluma sedimentar na Costa do Cacau, Ilhéus-Bahia, Brasil. Caminhos de Geografia 17, 117-135.
- Fathollahzadeh, H., Kaczala, F., Bhatnagar, A., Hogland, W. 2015. Significance of environmental dredging on metal mobility from contaminated sediments in the Oskarshamn Harbor, Sweden. Chemosphere [online] 119. Disponível:
  - https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.07. 008. Acesso: 31 mar. 2020.
- Ferreira, A. R. L., Cesar, R. G., Siqueira, D. M., Rodrigues, A. P. C., Vezzone, M., Monte, C., Machado, W. T., Castilhos, Z. C., Campos, T. M., Polivanov, H., Leite, S. G. F. 2020. Potencial tóxico de sedimentos dragados das Baías de Sepetiba e da Guanabara (RJ) em cenário de disposição em latossolo. Geociências 39, 1141-1161.
- Ferreira, W. L. S. 2019. Marés de lama: impactos socioambientais dos rejeitos da mineração e dragagem portuária. Estudos de caso de Mariana (MG) e Rio Grande (RS). Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental 10, 1-5.
- Fonseca, E. M., Fernandes, J. R., Lima, L. S., Delgado, J., Correa, T. R., Costa, P. M. S., Baptista Neto, J. A., Aguiar, V. M. C. 2020. Effects of dredged sediment dumping on trace metals concentrations and macro benthic assemblage at the continental shelf adjacent to a tropical urbanized estuary. Ocean & Coastal Management [online] 196. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.1052 99. Acesso: 21 abr. 2021.
- Fonseca, R. M., Palma, C. 2018. Problemas ambientais relacionados com a dragagem de sedimentos poluídos. Jornadas de Engenharia Hidrográfica 5, 1-4.
- Frohlich, M. F., Naspolini, B. F., Volschan Jr, I. 2015. A evolução do processo de avaliação e gerenciamento de material relacionado às atividades de dragagem no Brasil: Uma análise comparativa entre as Resoluções CONAMA n° 344/04 e n° 454/12. Eng Sanit Ambient [online] 20. Disponível: DOI: 10.1590/S1413-41522015020000123410. Acesso: 30 mar. 2020.
- Governo do Estado de Alagoas. 2018. Perfil Municipal: Maceió.
- Grasso, F., Verney, R., Le Hir, P., Thouvenin, B., Schulz, E., Kervella, Y., Fard, I. K. P., Lemoine, J.-P., Dumas, F., Garnier, V. 2018. Suspended sediment dynamics in the Macrotidal Seine

- Estuary (France): 1. Numerical modeling of turbidity maximum dynamics. Journal of Geophysical Research: Oceans [online] 123. Disponível:
- https://doi.org/10.1002/2016JC012638. Acesso: 31 mar. 2020.
- Haguenauer, G. M., Paiva, D. M. E., Kvassay, G., Silva, G. D. P. 2020. Uso de indicadores de gestão como critério na alocação de recursos de dragagem em portos públicos brasileiros. Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios [online] 13. Disponível: http://dx.doi.org/10.19177/reen.v13e0II202014 9-177. Acesso: 16 fev. 2021.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro.
- Jones, R., Fisher, R., Stark, C., Ridd, P. 2015. Temporal patterns in seawater quality from dredging in tropical environments. Plos One [online] 10. Disponível: DOI:10.1371/journal.pone.013711. Acesso: 15 mar. 2020.
- Junjie, R. K., Browne, N. K., Erftemeijer, P. L. A., Todd, P. A. 2014. Impacts of sediments on coral energetics partitioning the effects of turbidity and settling particles. Plos One [online] 9. Disponível: doi:10.1371/journal.pone.0107195. Acesso: 25 mar. 2020.
- Kanashiro, A. M., Xie, J. 2016. Evaluation of Chemical Properties of Dredged Materials, Paranagua Port, Brazil, according to Dredging Legislation CONAMA 454/2012. RISUS – Journal on Innovation and Sustainability 7, 3-16
- Kjelland, M. E., Woodley, C. M., Swannack, T, M., Smith, D. L. 2015. A review of the potential effects of suspended sediment on fishes: potential dredging-related physiological, behavioral, and transgenerational implications. Environ Syst Decis [online] 35. Disponível: DOI 10.1007/s10669-015-9557-2. Acesso: 15 mar. 2020.
- Liu, W., Wang, P., Zhou, B., Chen, Q., Ma, J., Li, Q., Zhang, J. 2019. Experimental simulation of nitrogen and phosphorus release during marine dumping of dredged sediment. ICAEER [online] 4. Disponível: https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911803031. Acesso: 19 abr. 2021.
- Manap, N., Voulvoulis, N. 2015. Environmental management for dredging sediments The requirement of developing nations. Journal of

- Environmental Management [online] 147. Disponível:
- http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.09.0 24. Acesso: 25 mar. 2020.
- Medeiros, P. R. P., Segundo, G. H. C., Magalhães, E. M. M. 2015. Comportamento da turbidez e material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em cascata: Rio São Francisco (NE, Brasil). Geochimica Brasiliensis [online] 29. Disponível: DOI: 10.5327/Z0102-9800201500010004. Acesso: 16 jan. 2019.
- Menegazzo, L., Petterini, F. 2018. Maiores navios no mundo, mais um desafio no Brasil: uma análise do Programa Nacional de Dragagem. Estud. Econ. [online] 48. Disponível: http://dx.doi.org/10.1590/0101-
  - 41614816175lmf. Acesso: 1 abr. 2020.
- Ministério da Infraestrutura. 2019. Plano mestre: Complexo Portuário de Maceió. Brasília.
- Ministério da Infraestrutura. 2018. Ordem de serviço da dragagem do Porto de Maceió é assinada. Brasília.
- Murta, A. L. S., Kvassay, G. E. C., Diniz, G. S., Freitas, M. A. V., Murta, M. P. A. 2019. Environmental monitoring of dredging at the Port of Angra dos Reis. Holos [online] 2. Disponível: 10.15628/holos.2019.7725. Acesso: 3 jan. 2021.
- Oliveira, G. A. F., Correia, R. S. 2019. A necessidade da dragagem no Porto de Santos. FatecLOG 10, 1-10.
- Pereira, M. E. G. S., Asp Neto, N. E., Moura, H. T. G. S., Nunes, Z. M. P. 2017. Influência das variáveis ambientais na qualidade da água de uma lagoa costeira tropical no Norte do Brasil. Arq. Ciên. Mar 50, 81-93.
- Reis, F. B., Lima, L., Fonseca, E. M., Belém, A. 2020. Atividade de dragagem e circulação de massas de águas oceânicas: possíveis influências nas características físico-químicas na plataforma continental interna adjacente à Baía de Guanabara (RJ). Arq. Ciên. Mar [online] 53. Disponível: http://dx.doi.org/10.32360/acmar.v53,supl.,426 84. Acesso: 20 abr. 2021.
- Rojas-Sola, J. I., De la Morena-De la Fuente, E. 2018. Agustin de Betancourt's mechanical dredger in the Port of Kronstadt: Analysis through computer-aided engineering. Appl. Sci. [online] 8. Disponível: doi:10.3390/app8081338. Acesso 31 mar. 2020.

- SEP/PR. Secretaria de Portos da Presidência da República. 2015. Plano Mestre: Porto de Maceió. Florianópolis.
- Shao, D., Purnama, A., Sun, T. 2015. Modeling the temporal evolution of dredging-induced turbidity in the far field. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering [online] 141. Disponível: https://doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000295. Acesso: 26 mar. 2020.
- Simões Neto, J. A., Souza, M. C., Trzaskos, B., Angulo, R. J., Besser, M. L. 2017. Possibilidade de aproveitamento dos sedimentos de dragagem do porto de Paranaguá. Quaternary and Environmental Geosciences 8, 55-61.
- Snellings, R., Cizer, O., Horckmans, L., Durdzinsk, P. T., Dierckx, P., Nielsen, P., Balen, K. V., Vandewalle, L. 2016. Properties and pozzolanic reactivity of flash calcined dredging sediments. Applied Clay Science [online] 129. Disponível: http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2016.04.019. Acesso: 15 mar. 2020.
- Song, Y., Ammami, M-T., Benamar, A., Mezazigh, S., Wang. H. 2016. Effect of EDTA, EDDS, NTA and citric acid on electrokinetic remediation of As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn contaminated dredged marine sediment. Environmental Science and Pollution Research [online] 23. Disponível: https://doi.org/10.1007/s11356-015-5966-5. Acesso: 31 mar. 2020.
- Vezzone, M., Cesar, R., Polivanov, H., Serrano, A., Siqueira, D., Abreu, L., Bianchi, M., Correia, M. A., Castilhos, Z., Campos, T. 2018. Ecotoxicological evaluation of dredged sediments from Rodrigo de Freitas Lagoon (Rio de Janeiro State, Brazil) using bioassays with earthworms and collembolans. Environmental Earth Sciences [online] 77. Disponível: https://doi.org/10.1007/s12665-018-7930-4. Acesso: 20 abr. 2021.
- Wit, L. d., Talmon, A. M., van Rhee, C. 2014. 3D CFD simulations of trailing suction hopper dredger plume mixing: Comparison with field measurements. Marine Pollution Bulletin [online] 88. Disponível: http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.08. 04. Acesso: 26 mar. 2020.
- Yao, M., Nan, J., Chen, T. 2014. Effect of particle size distribution on turbidity under various water quality levels during flocculation processes. Desalination [online] 354. Disponível:

https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.09.029. Acesso: 1 abr. 2020.

Yu, J., Ding, S., Zhong, J., Fan, C., Chen, Q., Yin, H., Zhang, L., Zhang, Y. 2017. Evaluation of simulated dredging to control internal phosphorus release from sediments: Focused on

phosphorus transfer and resupply across the sediment-water interface. Science of the Total Environment [online] 592. Disponível: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.21. Acesso: 31 mar. 2020.