

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AUDITORIA AMBIENTAL

ALEXANDRE FIGUEIRA DE PONTES JUNIOR

**Variação espacial da abundância de *pellets* plásticos na
praia de Santos, São Paulo, Brasil**

SANTOS/SP

2022

ALEXANDRE FIGUEIRA DE PONTES JUNIOR

**Variação espacial da abundância de *pellets* plásticos na
praia de Santos, São Paulo, Brasil**

Dissertação apresentada à
Universidade Santa Cecília como parte
dos requisitos para obtenção de título
de mestre em Auditoria Ambiental, sob
a orientação do Prof. Dr. Roberto
Pereira Borges.

SANTOS/SP

2022

363.7285 de Pontes Junior, Alexandre Figueira de Pontes Junior.
P858v Variação espacial da abundância de pellets plásticos na praia de Santos,
São Paulo, Brasil. /
Alexandre Figueira de Pontes Junior.
2022.
69 f.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Pereira Borges.

Dissertação (Mestrado)-- Universidade Santa Cecília,
Programa de Pós-Graduação em Auditoria Ambiental, Santos,
SP, 2022.

1. Resíduos sólidos. 2. Deposição. 3. Distribuição. 4. Baía de Santos.
5. "Linha do deixa" I. Borges, Roberto Pereira. II. Variação espacial da
abundância de pellets plásticos na praia de Santos, São Paulo, Brasil.

Dedico este trabalho à minha esposa, Iane, companheira de projeto de vida, e às minhas filhas, Mariane e Adriane, alegrias da minha existência.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Unisanta – Universidade Santa Cecília, pela bolsa de estudos concedida para o Mestrado em Auditoria Ambiental.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação de Auditoria Ambiental, que ampliaram grandemente meus conhecimentos, em especial ao professor doutor Roberto Pereira Borges pela atenção e orientação e ao professor doutor Walter Barrella pela paciência e entusiasmo no caminhar da pesquisa.

Aos dedicados laboratoristas do Laboratório de Solos da Universidade Santa Cecília, que estiveram ao meu lado durante parte da pesquisa com muita ajuda e companheirismo.

“Uma das principais violências que o ser humano comete contra a natureza é a poluição das águas de rios, oceanos, lagos e outras fontes hídricas.”

Jacques Yves Costeau

RESUMO

O descarte irregular de resíduos sólidos é um dos grandes problemas da atual sociedade, principalmente porque os oceanos e praias são os seus destinos finais. *Pellets* são grânulos de plástico que constituem a principal forma com que as resinas plásticas são produzidas e comercializadas, servindo de matéria prima na indústria de transformação. Produzidos em Cubatão e transportados através do Porto de Santos, os *pellets* plásticos alcançam as praias de Santos pela movimentação da maré no canal do estuário do porto. Vários estudos que buscam analisar e quantificar *pellets* plásticos nas praias em todo o mundo e alguns tiveram como objeto praias da Baía de Santos, que estão relacionadas com o maior porto da América Latina e o maior polo petroquímico do estado de São Paulo, onde, desde 1958, produz-se grânulos de polietileno de baixa densidade. Assim, este estudo tem por objetivo determinar a atual distribuição espacial de *pellets* plásticos na praia de Santos, tanto ao longo do eixo longitudinal da praia como ao longo da linha das marés, avaliar a quantidade da entrada desse material e caracterizá-los quimicamente e morfologicamente. Para determinar a distribuição espacial de *pellets* plásticos, foram coletados 108 elementos amostrais de área quadrada de 1,0 m de lado retirado do sedimento com 10 cm de profundidade, totalizando 0,1m³. A amostragem ocorreu no verão de 2020, entre os dias 08/01 a 21/03. No total foram coletados 11.979 *pellets* e observou-se a maior densidade numérica próximo a entrada do Porto de Santos onde ocorre o transporte ativo destes microplásticos (trecho 9 = 2337 *pellets*/0,1 m³ e trecho 8 = 1951 *pellets*/0,1 m³). Os *pellets* também foram encontrados em abundância na região central da praia devido à hidrodinâmica e às correntes marinhas que influenciam a baía (trecho 5 = 2379 *pellets*/0,1 m³). Ao analisar a densidade numérica de *pellets* por zonas, a zona “linha do deixa”, onde ocorre a deposição de material trazido pelas correntes marinhas, apresentou a maior abundância (9423 *pellets*/0,1m³). Cerca de 54% do *pellets* foram compostos por Polietileno de Baixa Densidade; 65% tinham a forma cilíndrica achatado; o tamanho médio foi cerca de 2,1 a 2,5mm de altura e 3,6 a 4,0mm de diâmetro; 66% tinham coloração amarelo claro e a maior parte dos *pellets* apresentou-se relativamente preservado. Os resultados apontam que a zona deposicional de *pellets* ocorra entre os canais 3 e 4 e Ponta da Praia.

Palavras-Chave: Resíduos sólidos. Deposição. Distribuição. Baía de Santos. “Linha do deixa”.

ABSTRACT

Spatial variation in the abundance of plastic pellets at Santos beach, São Paulo, Brazil.

Irregular disposal of solid waste is one of the great problems of today's society, mainly because the oceans and beaches are its final destinations. Pellets are plastic granules that constitute the main way in which plastic resins are produced and marketed, serving as raw material in the transformation industry. Produced in Cubatão and transported through the Port of Santos, the plastic pellets reach the beach of Santos through the movement of the tide in the port's estuary channel. Several studies that seek to analyze and quantify plastic pellets on beaches around the world and some had as their object the beaches of Santos Bay, which are related to the largest port in Latin America and the largest petrochemical complex in the state of São Paulo, where since 1958, low density polyethylene granules are produced. Thus, this study aims to determine the current spatial distribution of plastic pellets on Santos beach, both along the longitudinal axis of the beach and along the tide lines, evaluate the amount of entry of this material and characterize them chemically and morphologically. To determine the spatial distribution of plastic pellets, 108 sample elements were collected with a square area of 1.0 m on the side removed from the sediment with a depth of 10 cm, totaling 0.1 m³. Sampling took place in the summer of 2020, from 01/08 to 03/21. In total, 11,979 pellets were collected, and the highest numerical density was observed near the entrance to the Port of Santos where the active transport of these microplastics occurs (section 9 = 2337 pellets/0.1 m³ and section 8 = 1951 pellets/0.1 m³). Pellets were also found in abundance in the central region of the beach due to hydrodynamics and marine currents that influence the bay (section 5 = 2379 pellets/0.1 m³). When analyzing the numerical density of pellets by zones, the "leave line" zone, where the deposition of material brought by marine currents occurs, presented the highest abundance (9423 pellets/0.1 m³). About 54% of the pellets were composed of Low-Density Polyethylene; 65% had a flattened cylindrical shape; the average size was about 2.1 to 2.5mm in height and 3.6 to 4.0mm in diameter; 66% were light yellow in color and most pellets were relatively preserved. The results indicate that the pellets deposition zone occurs between channels 3 and 4 and the tip of the beach.

Keywords: Solid waste. Deposition. Distribution. Santos Bay. Wrack line.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Localização do estuário de Santos, que abriga o porto de Santos, esc: 1/190000.....	20
Figura 2	Trechos amostrados ao longo da praia da Baía de Santos – SP.....	22
Figura 3	Localização das zonas perpendiculares a praia. A: zona seca, B: zona intermediária, C: zona “linha do deixa”; D: zona submersa.....	23
Figura 4	Esquema de separação física dos pellets por diferenças de densidades. PEBD (Polietileno).....	25
Figura 5	Principais formas de pellets coletados nos trechos de praias de Santos.....	26
Figura 6	Parte da tabela universal das 256 combinações de RGB (Red/Green/Blue).....	27
Figura 7	Principais padrões de cores coletados nos trechos de praia de Santos (de transparente a preto translúcido).....	27
Figura 8	Densidade numérica de pellets/ 0,1 m3 por trecho da praia de Santos- SP.....	29
Figura 9	Média, mediana e quartis de pellets/ 0,1 m3 por zonas no trecho 1.....	30
Figura 10	Média, mediana e quartis de pellets/ 0,1 m3 por zonas no trecho 2.....	31
Figura 11	Média, mediana e quartis de pellets/ 0,1 m3 por zonas no trecho 3.....	32
Figura 12	Média, mediana e quartis de pellets/ 0,1 m3 por zonas no trecho 4.....	33
Figura 13	Média, mediana e quartis de pellets/ 0,1 m3 por zonas no trecho 5.....	33
Figura 14	Média, mediana e quartis de pellets/ 0,1 m3 por zonas no trecho 6.....	34
Figura 15	Média, mediana e quartis de pellets/ 0,1 m3 por zonas no trecho 7.....	35
Figura 16	Média, mediana e quartis de pellets/ 0,1 m3 por zonas no trecho 8.....	35
Figura 17	Média, mediana e quartis de pellets/ 0,1 m3 por zonas no trecho 9.....	36
Figura 18	Densidade numérica de pellets/ 0,1 m3 por zonas na praia de Santos- SP.....	38
Figura 19	Média, mediana e quartis de pellets/ 0,1 m3 por trechos da praia na zona seca.....	39
Figura 20	Média, mediana e quartis de pellets/ 0,1 m3 por trechos da praia zona intermediária.....	40
Figura 21	Média, mediana e quartis de pellets/ 0,1 m3 por trechos da praia na “linha do deixa”.....	41
Figura 22	Média, mediana e quartis de pellets/ 0,1 m3 por trechos da praia na zona submersa.....	42
Figura 23	Tipos de Polímeros dos 1000 pellets analisados. PP= Polipropileno; PEAD= Polietileno de Alta Densidade; PEBD= Polietileno de Baixa Densidade.....	43
Figura 24	Forma dos pellets analisados.....	44
Figura 25	Classes de tamanhos dos pellets analisados.....	44
Figura 26	Diâmetro em milímetros dos pellets analisados.....	45
Figura 27	Abundância de pellets de acordo com as cores principais.....	46
Figura 28	Abundância de pellets nas categorias de cores RGB identificadas na amostra.....	46
Figura 29	Abundância de pellets em cada intervalo de 20% de craquelamento.....	47
Figura 30	Abundância de pellets em cada intervalo de 20% de incrustação.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Densidade numérica e porcentagem (%) de pellets/ 0,1 m ³ por trecho da praia de Santos- SP.....	29
Tabela 2	Densidade numérica e porcentagem (%) de pellets/ 0,1 m ³ por zonas no trecho 1 da praia de Santos - SP.....	30
Tabela 3	Densidade numérica e porcentagem (%) de pellets/ 0,1 m ³ por zonas no trecho 2 da praia de Santos- SP.....	31
Tabela 4	Densidade numérica e porcentagem (%) de pellets/ 0,1 m ³ por zonas no trecho 3 da praia de Santos- SP.....	31
Tabela 5	Densidade numérica e porcentagem (%) de pellets/ 0,1 m ³ por zonas no trecho 4 da praia de Santos- SP.....	32
Tabela 6	Densidade numérica e porcentagem (%) de pellets/ 0,1 m ³ por zonas no trecho 5 da praia de Santos- SP.....	33
Tabela 7	Densidade numérica e porcentagem (%) de pellets/ 0,1 m ³ por zonas no trecho 6 da praia de Santos- SP.....	34
Tabela 8	Densidade numérica e porcentagem (%) de pellets/ 0,1 m ³ por zonas no trecho 7 da praia de Santos- SP.....	34
Tabela 9	Densidade numérica e porcentagem (%) de pellets/ 0,1 m ³ por zonas no trecho 8 da praia de Santos- SP.....	35
Tabela 10	Densidade numérica e porcentagem (%) de pellets/ 0,1 m ³ por zonas no trecho 9 da praia de Santos- SP.....	36
Tabela 11	Valores do p resultante análise de Nemenyi.....	37
Tabela 12	Densidade numérica e porcentagem (%) de pellets/ 0,1 m ³ por zona da praia de Santos- SP.....	37
Tabela 13	Densidade numérica e porcentagem (%) de pellets/ 0,1 m ³ por trechos na zona seca praia de Santos- SP.....	38
Tabela 14	Densidade numérica e porcentagem (%) de pellets/ 0,1 m ³ por trechos na zona intermediária praia de Santos- SP.....	39
Tabela 15	Densidade numérica e porcentagem (%) de pellets/ 0,1 m ³ por trechos na zona “linha do deixa” praia de Santos- SP.....	40
Tabela 16	Densidade numérica e porcentagem (%) de pellets/ 0,1 m ³ por trechos na zona submersa praia de Santos- SP.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Tipos de plásticos, características e a suas aplicações.....	15
Quadro 2	Divisão da praia em trechos amostrados.....	22
Quadro 3	Divisão da praia em zonas amostradas.....	23
Quadro 4	Intervalo de classes para diâmetro e altura.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACC – American Chemistry Council

AV – Avenida

MSFD - Marine Strategy Framework Directive

NOAA - Administração Nacional Oceânica e Atmosférica

OCS – Operation Clean Sweep

ONU – Organização das Nações Unidas

PA – Poliamida

PC – Policarbonato

PCB – Bifenilpoliclorado

PE – Polietileno

PEAD – Polietano de Alta Densidade

PEBD – Polietano de Baixa Densidade

PET – Polietileno Tereftato

POP – Poluentes Orgânicos Persistentes

PP – Polipropileno

PS – Poliestireno

PU – Poliuretano

PVC – Policloreto de Vinila

UV – Ultravioleta

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	20
2.1	ÁREA DE ESTUDO.....	20
2.2	AMOSTRAGEM.....	21
2.3	CARACTERIZAÇÃO DOS <i>PELLETS</i>	24
2.3.1	<i>Tipos de Polímeros</i>.....	24
2.3.2	<i>Caracterização Morfológica</i>	25
2.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	27
3.	RESULTADOS	28
3.1	DISTRIBUIÇÃO DOS <i>PELLETS</i> AO LONGO DOS TRECHOS DA PRAIA (DISTRIBUIÇÃO PARALELA À LINHA DA ÁGUA).....	28
3.2	DISTRIBUIÇÃO DOS <i>PELLETS</i> POR ZONAS DA PRAIA (DISTRIBUIÇÃO PERPENDICULAR À LINHA DA ÁGUA)	36
3.3	DENSIDADE NUMÉRICA DA ENTRADA DOS <i>PELLETS</i>	41
3.4	CARACTERIZAÇÃO DOS <i>PELLETS</i>	41
3.4.1	<i>Tipos de Polímeros</i>.....	42
3.4.2	<i>Caracterização Morfológica</i>	42
3.4.3	<i>Coloração dos pellets</i>	44
4.	DISCUSSÃO.....	46
4.1	DISTRIBUIÇÃO DOS <i>PELLETS</i> AO LONGO DOS TRECHOS DA PRAIA (DISTRIBUIÇÃO PARALELA À LINHA DA ÁGUA).....	46
4.2	DISTRIBUIÇÃO DOS <i>PELLETS</i> POR ZONAS DA PRAIA (DISTRIBUIÇÃO PERPENDICULAR À LINHA DA ÁGUA)	50
4.3	DENSIDADE NUMÉRICA DA ENTRADA DE <i>PELLETS</i>	52
4.4	CARACTERIZAÇÃO DOS <i>PELLETS</i>	53
4.4.1	<i>Tipos de Polímeros</i>.....	53
4.4.2	<i>Caracterização Morfológica</i>	54
5.	CONCLUSÃO	58
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

1. INTRODUÇÃO

O descarte irregular de resíduos sólidos é um dos grandes problemas da sociedade contemporânea e a solução para isso se mostra como um objetivo a ser alcançado urgentemente. Dos resíduos sólidos que alcançam o mar, 80% têm sua origem nos continentes e a maior parte é formada por elementos plásticos, filtros de cigarro, borrachas, metais, vidros, têxteis e papéis (BRASIL, 2019).

Com sua criação datada de pouco mais de um século, o plástico trouxe inúmeras facilidades à vida contemporânea, contudo, tornou-se a origem de grandes problemas que atingem o meio ambiente (VASCONCELOS, 2019). Segundo Barnes *et al.* (2009), desde que a produção em massa de plástico teve impulso por volta da metade do século XX, se observou acúmulo de resíduos desse material em vários ambientes, incluindo os oceanos.

Nas últimas décadas, a poluição por plástico vem aumentando continuamente, até o ponto de se tornar um problema ambiental em escala mundial (ZALASIEWICZ *et al.*, 2016).

A elevada utilização do plástico para as mais diversas finalidades tem dado causa a poluição ambiental não só devido ao descarte irregular, mas também pela perda de *pellets* durante a cadeia de produção. Referidos *pellets* são pequenas partículas em formato de grãos de plástico que se apresentam como a forma mais comum como as resinas plásticas são produzidas e comercializadas, servindo de matéria prima nas indústrias de transformação de plásticos (MANZANO, 2009). Uma vez que possui características únicas como o baixo custo de produção, a alta resistência em comparação com seu peso e a capacidade de ser moldado nas mais variadas formas, o plástico é utilizado em diversos setores de produção (ARAÚJO e COSTA, 2004).

O plástico tornou-se extremamente necessário à vida moderna, sendo utilizado como matéria prima na produção de utensílios, ferramentas e produtos de uso diário, entre outros, conforme ressaltado por Zalasiewicz *et al.* (2016).

A enorme variedade de usos dos produtos plásticos cria a necessidade de diferentes tipos de resinas, dentre as quais se destacam dois principais tipos: as resinas termoplásticas e as termorrígidas (EPA, 1992; ANDRADY, 2000; PIATTI, 2005; MANO, 2010; ABIPLAST, 2020).

Em vista de sua imensa abrangência de usos, a produção de plástico tem crescido: no Brasil, a produção de produtos plásticos totalizou 6,2 milhões de toneladas no ano de 2018, de acordo com dados da ABIPLAST (2018), enquanto a produção mundial anual totalizou 359 milhões de toneladas nesse mesmo ano (GARSIDE, 2020).

Diversos tipos de polímeros constituem os produtos plásticos utilizados atualmente, entre os quais os constantes do Quadro 1, onde estão resumidas suas características e aplicações.

Quadro 1. Tipos de plásticos, características e a suas aplicações.

Tipo de plástico	Sigla	Características	Produtos
Polietileno de alta densidade	PEAD	Impermeável, rígido, leve e suporta baixas temperaturas	Potes para freezer e cerdas de escovas
Polietileno de baixa densidade	PEBD	Leve, flexível, transparente e impermeável	Filme de uso geral, mangueiras e garrafas
Polipropileno	PP	Brilhante, rígido, inquebrável e resistente a mudanças de temperatura	Baterias de automóveis e produtos hospitalares descartáveis
Poliestireno	PS	Impermeável, rígido, leve e transparente	Autopeças e aparelhos de barbear
Policloreto de vinila	PVC	Estabilidade elétrica e resistência química	Pisos e revestimentos de fios e cabos
Poliéster	PET	Transparente, inquebrável, leve e impermeável	Embalagens de alimentos
Poliamida	PA	Boa resistência ao impacto	Meias femininas
Polycarbonato	PC	Resistências a altas temperaturas e choques	Lentes de óculo e capacetes
Poliuretano	PU, TPU, PUR	Resistência a quebra por impactos ou carga	Formação de solados e pneus

Fonte: Adaptado de ABIPLAST (2015) e MENDA (2011).

Os *pellets* são produzidos em indústrias de polímeros, se apresentam normalmente na forma cilíndrica ou discoide, com diâmetro de alguns milímetros,

sendo transportados do local de produção até as fábricas onde o produto final será moldado ou extrusado do material virgem. Em qualquer das etapas da cadeia produtiva, os *pellets* podem ser perdidos (KARLSSON, 2018).

Os *pellets* são classificados como microplásticos primários, juntamente com as microesferas adicionadas em cosméticos, ou microplásticos secundários resultantes da degradação de objetos maiores como resíduos plásticos expostos às intempéries ambientais (JONES, 2019). O termo “microplástico” foi mencionado pela primeira vez no ano de 2004 para categorizar pedaços muito pequenos de plástico e, em 2009, foi proposto que os microplásticos incluíssem pedaços de plástico menores que 5 mm (HIDALGO-RUZ *et al.*, 2012).

A poluição por *pellets* plásticos nos oceanos tem recebido atenção por parte dos analistas ambientais e Dussud *et al.* (2016) verificaram que microplásticos são colonizados por organismos e constituem um novo habitat para a diversidade de seres vivos. A colonização dos microplásticos acaba interferindo em uma característica de grande importância, ou seja, em sua flutuabilidade. A incrustação biológica pode acarretar um acréscimo na densidade do microplástico. Essa densidade varia de acordo com as espécies colonizadoras e o tipo do plástico. Em vista da dispersão do microplástico nas águas, verifica-se que possuem potencial de operar como vetores para espécies nocivas e invasoras em novos ambientes (ZHANG, 2017). Microrganismos patogênicos podem aderir aos plásticos flutuantes e, com isso, ser transportados por longos trajetos se apresentando em lugares onde podem vir a perturbar o equilíbrio do ecossistema local (ZETTLER *et al.*, 2013).

Os *pellets* plásticos adsorvem também vários micropoluentes orgânicos, tais como bifenilpoliclorados (PCBs), dicloro-difenil-dicloroetileno (DDE) e nonilfenóis (NP) como foi observado em *pellets* de resina plástica coletados em praias (MATO *et al.*, 2001). Também podem adsorver metais vestigiais como Cromo, Cobalto, Níquel, Cobre, Zinco, Cádmio e Chumbo, como verificado em *pellets* coletados em praias da Inglaterra, que contêm concentrações variáveis desses metais e, em alguns casos, excedem as concentrações relatadas para sedimentos estuarinos locais (HOLMES *et al.*, 2012).

Os metais vestigiais são ambientalmente preocupantes pois não são biodegradáveis, são facilmente bioacumulados e podem ser tóxicos, mesmo em baixos níveis de concentração. Importante ressaltar que os metais vestigiais são necessários ao metabolismo em quantidades muito baixas e a alteração de seus

níveis pode desencadear modificações no crescimento e no desenvolvimento dos organismos vivos (ZANDVOORT *et al.*, 2006).

As cargas de *pellets* plásticos, direta ou indiretamente perdidas para o meio ambiente, podem sofrer degradação produzida pela luz em sua superfície e, segundo a fórmula preconizada por Andrady (2017), um *pellet* de 3,5mm de diâmetro pode dar origem a cerca de 73 458 000 microplásticos de 1 micron de diâmetro, que, por sua vez, podem acarretar os mesmos problemas ambientais que os *pellets* de onde se originaram. Relativamente à escala de tamanho, não há consenso sobre um tamanho específico para caracterizar microplásticos, sugerindo-se que sejam partículas menores que 5 mm, sendo que para *pellets* plásticos a referência para diâmetro está entre 1 e 5 mm, sendo típico o diâmetro de 3,5 mm (HIDALGO-RUZ *et al.*, 2012). Dos lançamentos globais de microplásticos primários para os oceanos do mundo, 0,3% se referem a *pellets*, segundo o relatório da IUCN (União Internacional para Conservação da Natureza) sobre a avaliação global de fontes de microplásticos primários nos oceanos (TAGG e DO SUL, 2019).

A *Operation Clean Sweep* (OCS), criada pela *Plastic Industry Association* e pela *American Chemistry Council* (ACC) manifesta-se sobre a importância de atuar na prevenção das perdas de *pellets* para o meio ambiente, melhorando as operações de manuseio. As indústrias petroquímicas Braskem e RadicGroup aderiram ao programa da OCS com o intuito de minimizar suas perdas (ABIPLAST, 2019).

As publicações OCS e o Manual Perdas Zero de *Pellets*, lançado pela Plastivida (2018) manifestam a intenção de reduzir a quantidade de *pellets* plásticos perdidos acidentalmente para o meio ambiente. É grande a preocupação dessas instituições relativamente ao assunto, sendo que o Manual traz ilustrações para as instalações industriais e outros locais (PLASTIVIDA, 2018).

Anteriormente ao lançamento dessas publicações, vários estudos buscavam analisar e quantificar *pellets* plásticos nas praias ao redor do mundo, com diversas metodologias que, segundo Hidalgo Ruz (2012), não se mostravam unificadas. Porém, a quantidade de estudos referindo-se à poluição por microplásticos e por *pellets* demonstram a importância do tema, o qual é referido desde o início dos anos 1970 (HIDALGO-RUZ *et al.*, 2012). Dentre os estudos, alguns tiveram como objeto praias do Estado de São Paulo e, em particular as praias da Baía de Santos, que guardam relação com o maior porto da América Latina e com o maior polo

petroquímico do estado de São Paulo, localizado na cidade de Cubatão, que desde o ano de 1958 produz grânulos de polietileno de baixa densidade (COUTO, 2003).

O desenvolvimento de vários estudos nas praias da Baía de Santos indica a importância do diagnóstico de poluição por *pellets* na região. Na última década, Manzano (2009) realizou pesquisas sobre a distribuição dos grânulos tanto em profundidade, como em linhas paralelas e linhas perpendiculares à linha d'água; Fisner (2012) estudou a toxicidade de *pellets* e D'Antonio *et al.* (2012) investigaram a presença de *pellets* na composição do microlixo na praia do Boqueirão, em Santos.

Também nas praias da cidade de Santos, Orlandi *et al.* (2015) pesquisaram as características e a quantidade de materiais sólidos encontrados na linha d'água entre o emissário e o Canal 4, enquanto Pedrosa *et al.* (2016) realizaram a contagem de resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos em trechos da areia, tanto junto aos canais como no espaço entre eles.

Silva-Balthazar (2016) estudou a distribuição espacial, a entrada e dispersão de *pellets* nas zonas costeiras e Nobre (2016) avaliou a toxicidade de *pellets* de plástico virgens e coletados nas praias no desenvolvimento embrionário de ouriços do mar.

Turra *et al.* (2014) estudaram a distribuição dos *pellets* em relação à profundidade nas areias da praia de Santos, retirando amostras a cada 20 cm de profundidade no sedimento até 2 metros. Em seu trabalho, demonstraram que as estimativas de *pellets* em uma praia podem estar subestimadas, em vista da existência de *pellets* abaixo da superfície do sedimento, principalmente em profundidades de até 40 cm.

Em seu trabalho, Cordeiro *et al.* (2018) classificaram os resíduos coletados em 80 amostras efetuadas em diferentes estações do ano, maré e fases da lua e em seu estudo, Izar *et al.* (2019) avaliaram a densidade numérica de *pellets* nas praias do litoral do Estado de São Paulo além de testarem a toxicidade em amostras de água e sedimentos, enquanto Ribeiro (2020) estudou se seis praias da Bacia de Santos atuam como distribuidoras ou estocadoras de *pellets* plásticos.

O estudo de Carminatto *et al.* (2017) era referente à deposição de resíduos sólidos na "linha do deixa" - definida no estudo como o limite das águas do mar na praia, e teve a finalidade de diagnosticar o impacto e a origem dos resíduos encontrados abrangendo toda a extensão da praia de Santos. A "linha do deixa" também foi objeto de estudos por Manzano (2009) e Ribeiro (2020), porém estes

tiveram a finalidade de calcular a densidade numérica de entrada de *pellets* em praias da região.

Os trabalhos mencionados concluem sobre a presença de microplásticos e, principalmente, *pellets* nas praias da Baía de Santos, demonstrando sua toxicidade sobre organismos marinhos e outros impactos.

Considerando o panorama apresentado, este estudo tem por objetivo determinar a atual distribuição espacial de *pellets* plásticos na praia de Santos, tanto ao longo do eixo longitudinal da praia como ao longo da linha das marés, observando-se a eventual zonação na ocorrência de *pellets* e avaliar quantitativamente a entrada desse material. Para tal, pretende-se:

a) quantificar a ocorrência dos *pellets* ao longo dos trechos da praia situados entre os canais de drenagem da cidade de Santos, paralelamente à linha da água;

b) quantificar a ocorrência dos *pellets* ao longo do perfil perpendicular à linha d'água, de acordo com as zonas: i) zona seca – área onde esporadicamente a maré alcança, ii) zona intermediária – área localizada à meia distância entre a área seca e a área submersa; iii) zona “linha do deixa” – área que sofre a ação deposicional tanto da maré como das ondas, correspondendo ao médio litoral inferior; iv) zona submersa – área junto à linha d'água com ação contínua das ondas;

c) quantificar a entrada de *pellets*, tomando como marcador a zona “linha do deixa”, contabilizando os *pellets* trazidos pelo movimento da água, que inclui ondas e maré;

d) determinar as zonas nas quais ocorrem maior deposição de *pellets* nas praias;

e) determinar diferenças estatisticamente significativas na ocorrência de *pellets* tanto paralela, quanto perpendicularmente à praia;

f) caracterizar quimicamente os *pellets* relativamente ao polímero do qual se constituem e caracterizar morfológicamente os *pellets* coletados, com a observação da forma, do tamanho, da cor, do desgaste da superfície e da existência de incrustações.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende parte da praia da cidade de Santos ($23^{\circ}56'27''\text{S}$ e $45^{\circ}19'48''\text{W}$) e integra a Baía de Santos, parte central do litoral do Estado de São Paulo, Região Sudeste do Brasil.

A cidade de Santos abriga o maior porto marítimo da América Latina, situado no estuário que recebe em seu interior sedimentos providos da Serra do Mar e da Baixada Santista, transportados pelo sistema hídrico de rios e canais que nele desaguam, provocando, de forma constante, o assoreamento ao longo do canal de navegação. Na boca do estuário, na entrada da barra, a ocorrência de frequentes ressacas, principalmente no inverno, acaba conduzindo ao canal sedimentos que reduzem a profundidade no trecho (PORTO DE SANTOS, 2020) (Figura 1).



Figura 1. Localização do estuário de Santos, que abriga o porto de Santos, escala: 1 / 170 732.

$23^{\circ}56'27''\text{S}$ – $45^{\circ}19'48''\text{W}$

Fonte: Anotações do Autor sobre Google Earth

A praia da Baía de Santos abrange dois municípios, São Vicente e Santos, numa extensão praial total de 7320 metros (7,32 km), sendo 1920 metros referentes ao município de São Vicente e 5400 metros referentes ao município de Santos, de acordo com medições efetuadas no Google Earth. As praias de Santos são cortadas por 6 canais que se tornam divisas entre as praias que recebem nomes dos bairros aos quais pertencem. Esses canais são uma particularidade da cidade de Santos, construídos perpendicularmente à linha da costa, com a finalidade de ligar o mar ao ambiente estuarino interno para proporcionar a circulação da maré e do sistema de drenagem do solo da cidade (CARRIÇO, 2016). A numeração dos canais se inicia próximo à divisa com o município de São Vicente, no centro da Baía, e termina junto ao encontro com o canal do Estuário de Santos, entrada e saída para o porto.

2.2 AMOSTRAGEM

Para determinar a distribuição espacial de *pellets* plásticos na praia de Santos, definiu-se como elemento amostral 100 litros de sedimento, obtidos da delimitação de um quadrado de 1,0 m de lado com 0,1m de profundidade. A coleta da amostra ocorreu no verão de 2020, entre os dias 08/01/2020 a 21/03/2020.

Para responder ao objetivo sobre a ocorrência dos *pellets* ao longo da praia da Baía de Santos, (distribuição paralela à linha da água), 9 trechos foram estabelecidos desde o Emissário Submarino até a Ponta da Praia, no encontro com o Canal do Estuário, conforme disposto na figura 2. Os 9 trechos foram determinados principalmente pela existência dos canais de drenagem na faixa de areia, que são elementos referenciais na cidade de Santos juntamente com as duas principais avenidas que chegam na orla da praia. Cada trecho de praia possui uma determinada extensão, conforme mostra o quadro 2, e, como o menor trecho mede 300 metros, foram definidos três transectos de 100 metros para cada trecho (perpendiculares à linha da água) (Quadro 2).



Figura 2. Trechos amostrados ao longo da praia da Baía de Santos - SP.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 2. Divisão da praia em trechos amostrados.

Trechos	Nome dos trechos da praia	Extensão (m)
Trecho 1 (T1)	Canal 1 (entre Emissário e Canal1)	400
Trecho 2 (T2)	Canal 2 (entre Canal 1 e Canal 2)	635
Trecho 3 (T3)	Av. Ana Costa (entre Canal 2 e Av. Ana Costa)	610
Trecho 4 (T4)	Canal 3 (entre Av. Ana Costa e Canal 3)	400
Trecho 5 (T5)	Av. Cons. Nébias (entre Canal 3 e Av. Cons. Nébias)	520
Trecho 6 (T6)	Canal 4 (entre Av. Cons. Nébias e Canal 4)	300
Trecho 7 (T7)	Canal 5 (entre Canal 4 e Canal 5)	705
Trecho 8 (T8)	Canal 6 (entre Canal 5 e Canal 6)	880
Trecho 9 (T9)	Ponta da Praia (entre Canal 6 e Estuário)	300

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para responder ao objetivo sobre a ocorrência dos *pellets* perpendicularmente à praia entre os nove trechos, foram estabelecidas quatro zonas, conforme apresentado na figura 3 e no quadro 3.

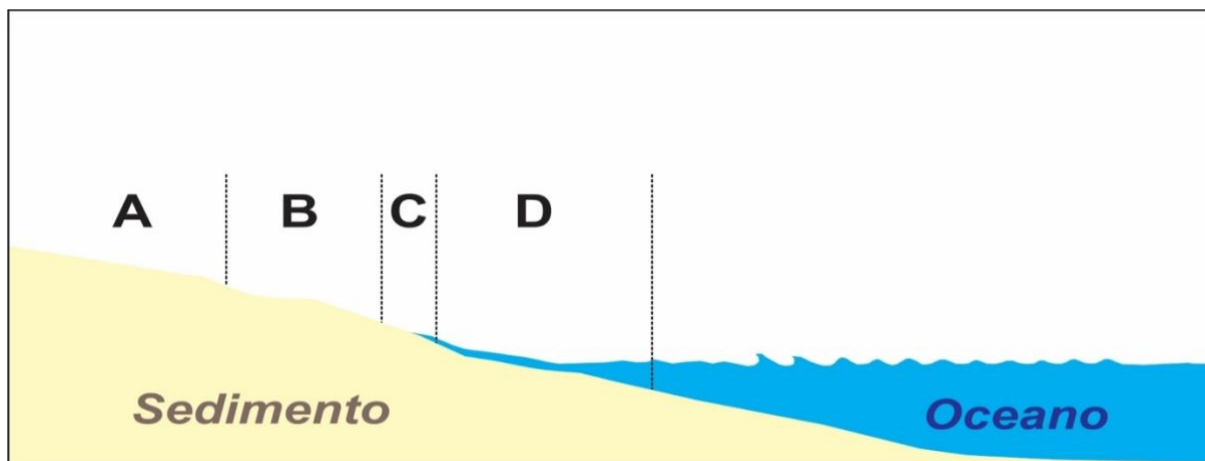


Figura 3. Localização das zonas perpendiculares a praia. A: zona seca, B: zona intermediária, C: zona "linha do deixa"; D: zona submersa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 3. Divisão da praia em zonas amostradas.

Zonas	Nome das zonas	Descrição
A	zona seca	supralitoral; área junto à calçada do jardim urbanizado, banhada em eventos extremos de ressacas com marés altas.
B	zona intermediária	Região entremarés; área a meia distância entre a zona seca e submersa, diariamente banhada pela água
C	zona "linha do deixa"	área onde ocorre a deposição de material trazido pelas ondas, que depositam material distinto do sedimento
D	zona submersa	Sublitoral; área junto à linha da maré baixa, constantemente submersa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em cada um dos 9 trechos de praia, foram sorteados 3 transectos de 100m de extensão longitudinal, abrangendo as 4 zonas, totalizando 27 transectos. Em cada transecto, os elementos amostrais foram coletados no ponto médio de cada uma das 4 zonas estudadas: na zona seca, na zona intermediária, na "linha do deixa" e na zona submersa. No total, coletou-se 108 elementos amostrais de sedimento.

Para facilitar a separação dos *pellets* do sedimento coletado, este foi agitado em peneira de malha de 1 mm dentro de recipientes com água do mar no próprio ponto de coleta, recolhendo-se os *pellets* na peneira e indicando-se o local onde o elemento amostral foi coletado para posterior separação por flotação, contagem (quantidade de *pellets*/0,1 m³), caracterização polimérica e morfológica. Esse

procedimento, adaptado a partir da proposta de McDermid e McMullen (2004), permitiu que a triagem do sedimento fosse realizada em campo de uma forma rápida, uma vez que o sedimento nas zonas submersa e intermediária mostrava-se muito compactado, dificultando o peneiramento.

Para cada trecho de praia foi calculada a média aritmética entre as densidades numéricas de *pellets* dos três elementos amostrais de cada zona, procurando-se observar o quanto cada zona representa dentro do trecho.

A entrada de *pellets* na praia de Santos foi calculada com base na densidade numérica de *pellets* por 0,1m³ coletadas na zona “linha do deixa”. Para tanto, foi avaliado um total de 27 elementos amostrais, sendo 3 elementos amostrais em cada um dos 9 trechos de praia.

Cada elemento amostral totaliza 100 litros de sedimento obtido da delimitação de um quadrado de 1,0 m de lado e 0,1 m de profundidade. O sedimento foi triado e os *pellets* foram contados. A taxa de entrada de *pellets* na praia foi calculada com base na densidade de *pellets* por 0,1m³ de sedimento.

Os elementos amostrais da zona do deixa foram coletados em horário anterior à limpeza diária das praias efetuada pela prefeitura com tratores e caminhões, o que ocorre pela manhã entre as 5:00 e 6:00 h. Dessa forma, puderam ser coletados os *pellets* que foram depositados pelas ondas e pelo movimento da maré durante a noite anterior à coleta.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PELLETS

2.3.1 Tipos de Polímeros

Com relação aos tipos de polímero do qual são constituídos os *pellets*, estes foram determinados com um método simples proposto por Spinacé e De Paoli (2005), mas bastante eficiente, inclusive adotado em empresas de reciclagem de polímeros, onde os *pellets* foram imersos em soluções aquosas de diferentes densidades. Este método foi escolhido, pois em Manzano (2009), fez-se um teste comparativo entre este e a Microscopia Raman na identificação dos polímeros plásticos, resultando uma baixa taxa de diferença ($\pm 10\%$) entre ambas. Desta forma, o método de densidade possui vantagens como baixo custo, independência de equipamentos e resultado

rápido. Segundo Prata *et al.* (2019) a separação por densidade com o uso de NaCl é recomendada tanto pelo subgrupo técnico MSFD quanto pelo NOAA.

Para tanto, foram sorteados ao acaso 1000 *pellets* do total coletado que foram imersos em água de $d=1,0 \text{ g cm}^{-3}$. Nesta condição, os polímeros PEBD, PEAD e PP flutuaram e os polímeros PVC e PS afundaram. Os polímeros PVC e PS que afundaram foram imersos em solução de água e sal ($d=1,2 \text{ g cm}^{-3}$), e nesta condição, o PS flutuou e o PVC afundou. Os polímeros PEBD, PEAD e PP que flutuaram inicialmente, foram inseridos em solução de água e álcool ($d=0,93 \text{ g cm}^{-3}$), PEAD afundou e PEBD e PP flutuaram. Finalmente, os polímeros PEBD e PP foram inseridos em solução de água e álcool ($d=0,91 \text{ g cm}^{-3}$), PP flutuou e PEBD afundou (Figura 4).

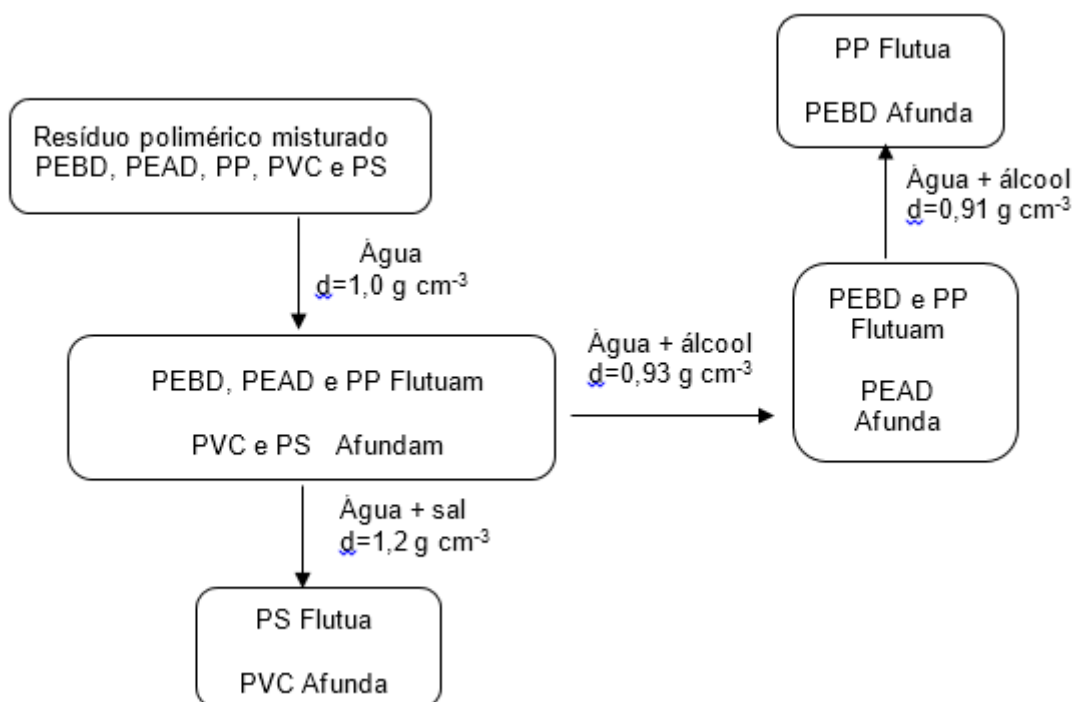


Figura 4. Esquema de separação física dos *pellets* por diferenças de densidades: PEBD (Polietileno de Baixa Densidade), PEAD (Polietileno de Alta Densidade), PP (Polipropileno), PS (Poliestireno) e PVC (Policloreto de Vinila).

Fonte: SPINACÉ e DE PAOLI (2005).

Baseado na metodologia aplicada por Manzano (2009), os *pellets* foram analisados relativamente à forma, tamanho, cor, desgaste da superfície e incrustação. A forma foi categorizada em 8 tipos, de acordo com as características morfológicas: esférica, esférica achatada, cilíndrica, cilíndrica achatada, cúbica, retangular,

retangular achatada, disforme (que não se enquadra em nenhuma das anteriores) (Figura 5).



Figura 5. Principais formas de *pellets* coletados nos trechos de praias de Santos: a) esférica, b) esférica achatada, c) cilíndrica, d) cilíndrica achatada, e) cúbica, f) retangular, g) disforme.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto ao tamanho, as medidas foram realizadas com paquímetro. A altura corresponde à maior dimensão do *pellet* e o diâmetro corresponde à medida média entre a maior e a menor dimensão do *pellet*. As classes de frequência foram divididas de 0,5 mm em 0,5 mm, totalizando 11, conforme o quadro 4.

Quadro 4. Intervalo de classes para diâmetro ou altura.

Classe	Diâmetro ou Altura
1	0,0 a 0,5
2	0,6 a 1,0
3	1,1 a 1,5
4	1,6 a 2,0
5	2,1 a 2,5
6	2,6 a 3,0
7	3,1 a 3,5
8	3,6 a 4,0
9	4,1 a 4,5
10	4,6 a 5,0
11	5,1 a 5,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise da cor foi efetuada com base na tabela universal das 256 combinações de RGB (Red/Green/Blue), que é o sistema que regula as cores dos

corpos que refletem luz, adotado por Manzano (2009). (Figuras 6 e 7). Cada *pellet* foi posicionado sobre a tabela de cores e foi comparado, verificando-se a cor à qual mais se assemelhava. As cores predominantes nos *pellets* se relacionam aos tons de amarelo e marrom-alaranjado.

Cor														
Código	2	24	25	28	29	30	31	32	33	41	204	217	218	224
RGB	0-0-0	255-204-51	255-204-102	255-255-102	255-255-153	255-255-204	204-153-0	204-153-51	204-153-102	204-204-153	153-102-0	153-51-0	153-102-51	102-51-0

Figura 6. Parte da tabela universal das 256 combinações de RGB (Red/Green/Blue).
Fonte: Manzano (2009).

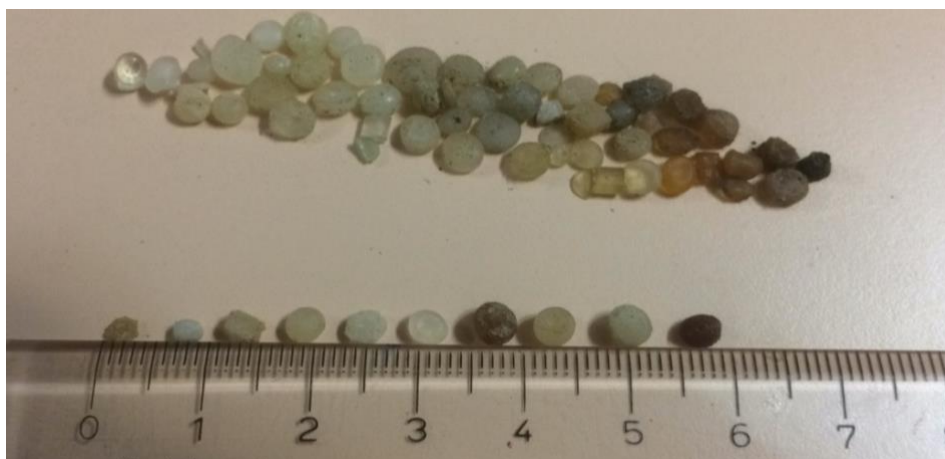


Figura 7. Principais padrões de cores coletados nos trechos de praia de Santos (de transparente a preto translúcido).
Fonte: Elaborado pelo autor.

A porcentagem de desgaste superficial foi observada em Microscópio estereoscópico e categorizada em 5 níveis com variação de 20% de desgaste (0-20%, 20-40%, 40-60%, 60-80% e 80-100%) e a incrustação (material de qualquer origem aderido) também categorizada em 5 níveis de aderência (0-20%, 20-40%, 40-60%, 60-80% e 80-100%).

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Buscando determinar diferenças estatisticamente significativas na ocorrência de *pellets* tanto paralelamente, quanto perpendicularmente à praia de Santos (densidade numérica de *pellets*/ 0,1 m³), inicialmente tentou-se uma análise de variância trifatorial (ANOVA “three way”) considerando como fatores:

1. trechos de praia (9 níveis),
2. transectos (3 níveis),
3. zonas (4 níveis: zona seca, zona intermediária, zona “linha do deixa” e zona submersa).

Em caso de detecção de diferenças estatísticas entre fatores ($p < 0,5$), testou-se a interação entre eles na ANOVA “two way”.

Apesar dos dados serem balanceados, foi adotada uma análise de resíduos a fim de atender os pressupostos da ANOVA (BOX, 1953). O teste de Shapiro-Wilk não evidenciou normalidade ($p\text{-valor} < 0,05$) e o teste de Levene não evidenciou homogeneidade ($p\text{-valor} < 0,05$).

Os dados foram transformados primeiro em $\sqrt{Y + 0,5}$ e depois em $\ln(Y+1)$ e nenhuma dessas transformações normalizou os dados e não eliminou um forte *outlier* que havia sido detectado na análise anterior, e como não se tem nenhum motivo para eliminá-lo, decidiu-se aplicar o teste de Kruskal-Wallis para os dois fatores em separado: trecho e zona. Posteriormente, ao se detectar significância estatística para as duas análises, foi aplicado o teste de comparação múltipla de Nemenyi para evidenciar diferenças entre as medianas de cada nível (ZAR, 2010).

Buscou-se determinar diferenças estatisticamente significativas na ocorrência de *pellets* tanto paralelamente, quanto perpendicularmente à praia de Santos (densidade numérica de *pellets*/ 0,1 m²).

3. RESULTADOS

3.1 DISTRIBUIÇÃO DOS *PELLETS* AO LONGO DOS TRECHOS DA PRAIA (DISTRIBUIÇÃO PARALELA À LINHA DA ÁGUA)

No total foram coletados 11.979 *pellets* na praia de Santos. Embora a análise de Kruskal-Wallis utilizando o fator trecho de praia não tenha evidenciado diferença significativa (qui-quadrado = 2.1769, graus de liberdade = 8, valor de $p = 0.9751$), ao analisar a densidade numérica de *pellets* por trecho, observa-se que o trecho 5 (Av. Cons. Nébias) apresentou a maior representatividade (19,86%) seguido por T9 (Ponta da Praia) (19,51%) e T8 (Canal 6) (16,29%). As menores representatividades foram observadas no T6 (Canal 4) (6,53%), T7 (Canal 5) (5,96%) e T2 (Canal 2) (4,86%) (Tabela 1 e Figura 8).

Tabela 1- Total absoluto e porcentagem (frequência relativa) de *pellets* por trecho da praia de Santos - SP

Trechos	Número de <i>pellets</i>	%
T1	917	7,66
T2	582	4,86
T3	1007	8,41
T4	1310	10,94
T5	2379	19,86
T6	782	6,53
T7	714	5,96
T8	1951	16,29
T9	2337	19,51

Fonte: Elaborado pelo autor.

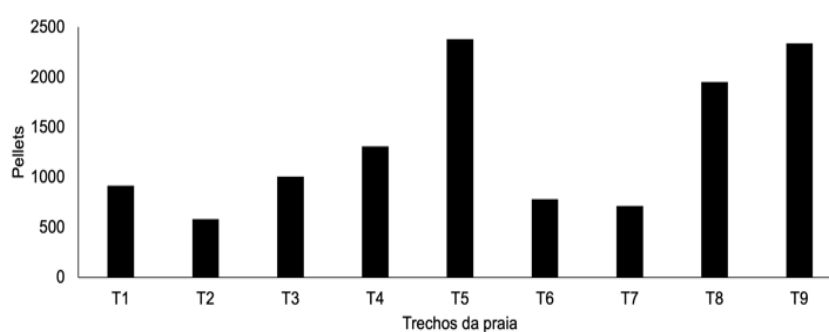


Figura 8. Total de *pellets* por trecho da praia de Santos- SP.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar a quantidade de *pellets* do trecho 1 (Canal 1) (n=917), verificou-se que a zona “linha do deixa” apresentou a maior representatividade (60,20%) e a zona submersa a menor (0%) (Tabela 2).

Tabela 2- Totais e porcentagem (%) de *pellets* por zonas no trecho 1 da praia de Santos - SP.

Trecho 1		
Zonas	Total	%
zona seca	278	30,32
zona intermediária	87	9,49
zona "linha do deixa"	552	60,20
zona submersa	0	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior média entre as densidades numéricas dos elementos amostrais de *pellets*/ 0,1m³ foi observada na zona “linha do deixa” (184±106,127 *pellets*/ 0,1 m³),

sendo a menor observada na zona submersa (0 ± 0 *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$) (Figura 9). É importante observar a elevada variabilidade, em vista do grande valor numérico do desvio padrão em relação à média.

Doravante, as médias são apresentadas junto aos respectivos valores de desvio padrão.

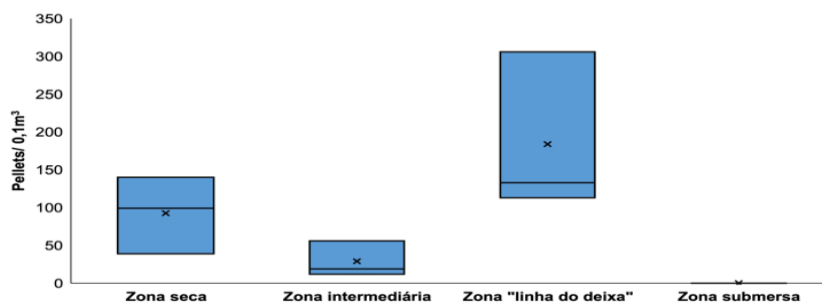


Figura 9. Média, mediana e quartis de *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$ por zonas no trecho 1.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na quantidade ($n=582$) de *pellets* do trecho 2 (Canal 2) verificou-se que a zona “linha do deixa” apresentou a maior representatividade (68,04%) e a zona submersa a menor (0%) (Tabela 3).

Tabela 3- Totais e porcentagem (%) de *pellets* por zonas no trecho 2 da praia de Santos- SP.

Trecho 2		
Zonas	Total	%
zona seca	100	17,18
zona intermediária	86	14,78
zona "linha do deixa"	396	68,04
zona submersa	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior média entre as densidades numéricas dos elementos amostrais foi observada na zona “linha do deixa” ($132 \pm 20,785$ *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$), sendo a menor observada na zona submersa (0 ± 0 *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$) (Figura 10). Destaca-se o desvio padrão com valor numérico menor em relação à média que no trecho 1.

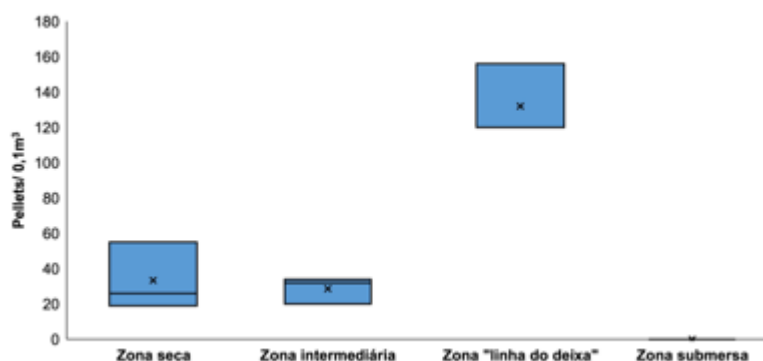


Figura 10. Média, mediana e quartis de *pellets* por zonas no trecho 2.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando a quantidade ($n=1007$) de *pellets* do trecho 3 (Av. Ana Costa) verificou-se que a zona “linha do deixa” apresentou a maior representatividade (77,36%) e a zona submersa a menor (0%) (Tabela 4).

Tabela 4- Totais e porcentagem (%) de *pellets* por zonas no trecho 3 da praia de Santos- SP.

Trecho 3		
Zonas	Total	%
zona seca	139	13,80
zona intermediária	89	8,84
zona "linha do deixa"	779	77,36
zona submersa	0	0,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior média entre as densidades numéricas dos elementos amostrais foi observada na zona “linha do deixa” ($259,666 \pm 150,11$ *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$), sendo a menor observada na zona submersa (0 ± 0 *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$) (Figura 11). Como no trecho 1, o desvio padrão é de valor numérico grande em relação à média.

Figura 11. Média, mediana e quartis de *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$ por zonas no trecho 3.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando a quantidade total ($n=1310$) de *pellets* do trecho 4 (Canal 3) verificou-se que a zona “linha do deixa” apresentou a maior representatividade (61,45%) e a zona submersa a menor (0,08%) (Tabela 5).

Tabela 5- Totais e porcentagem (%) de *pellets* por zonas no trecho 4 da praia de

Santos- SP.		
Trecho 4		
Zonas	Total	%
zona seca	441	33,664
zona intermediária	63	4,8092
zona "linha do deixa"	805	61,45
zona submersa	1	0,0763

Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior média entre as densidades numéricas dos elementos amostrais foi observada na zona “linha do deixa” ($268,33 \pm 171,97$, *pellets*/ 0,1 m³), sendo a menor observada na zona submersa ($0,33 \pm 0,577$ *pellets*/ 0,1 m³) (Figura 12). Assim como nos trechos 1 e 3, o valor numérico do desvio padrão é grande em relação à média.

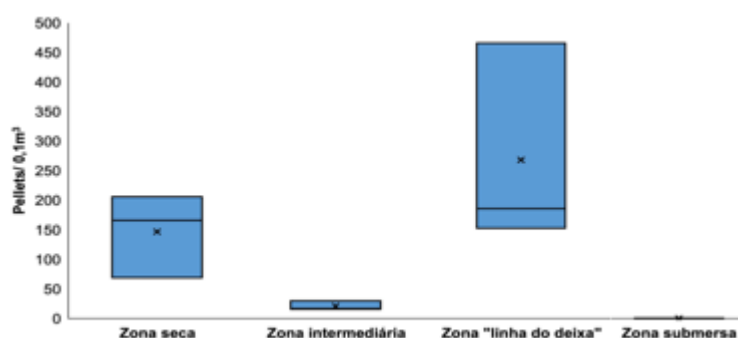


Figura 12. Média, mediana e quartis de *pellets*/ 0,1 m³ por zonas no trecho 4.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No trecho 5 (Av. Cons. Nébias), considerando a quantidade total de *pellets* (n=2379) verificou-se que a zona “linha do deixa” apresentou a maior representatividade (73,64%) e a zona submersa a menor (0,08%) (Tabela 6).

Tabela 6- Totais e porcentagem (%) de *pellets* por zonas no trecho 5 da praia de Santos- SP.

Trecho 5		
Zonas	Totais	%
zona seca	566	23,79
zona intermediária	59	2,48
zona "linha do deixa"	1752	73,64
zona submersa	2	0,084

Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior média entre as densidades numéricas dos elementos amostrais foi observada na zona “linha do deixa” ($584 \pm 343,17$ *pellets*/ 0,1 m³), sendo a menor

observada na zona submersa ($0,67 \pm 0,577$ *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$) (Figura 13). Neste trecho, observa-se um valor numérico grande para a média e para o desvio padrão.

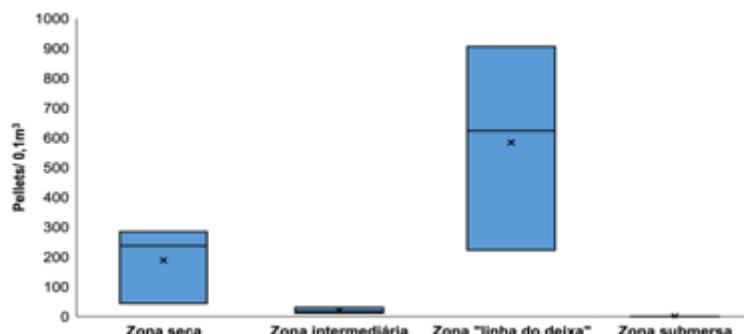


Figura 13. Média, mediana e quartis de *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$ por zonas no trecho 5.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na quantidade ($n=782$) de *pellets* do trecho 6 (Canal 4) verificou-se que a zona "linha do deixa" apresentou a maior representatividade (69,31%) e a zona submersa a menor (0,38%) (Tabela 7).

Tabela 7- Totais e porcentagem (%) de *pellets* por zonas no trecho 6 da praia de Santos- SP.

Trecho 6		
Zonas	Total	%
zona seca	175	22,38
zona intermediária	62	7,928
zona "linha do deixa"	542	69,31
zona submersa	3	0,38

Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior média entre as densidades numéricas dos elementos amostrais foi observada na zona "linha do deixa" ($180,67 \pm 43,88$ *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$), sendo a menor observada na zona submersa ($1 \pm 1,73$ *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$) (Figura 14).

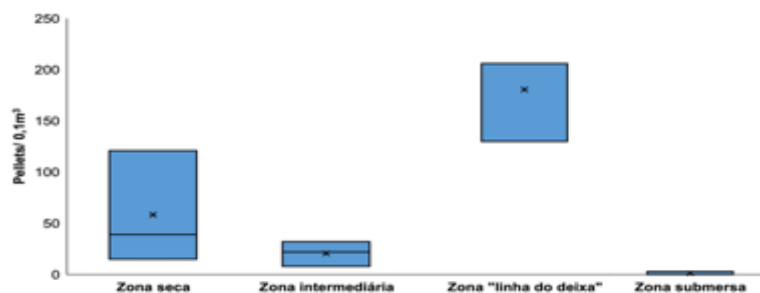


Figura 14. Média, mediana e quartis de *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$ por zonas no trecho 6.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando a quantidade ($n=714$) de *pellets* do trecho 7 (Canal 5) verificou-se que a zona “linha do deixa” apresentou a maior representatividade (72,69%) e a zona submersa a menor (0,28%) (Tabela 8).

Tabela 8- Totais e porcentagem (%) de *pellets* por zonas no trecho 7 da praia de Santos- SP.

Trecho 7		
Zonas	Total	%
zona seca	179	25,07
zona intermediária	14	1,961
zona "linha do deixa"	519	72,69
zona submersa	2	0,28

Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior média entre as densidades numéricas dos elementos amostrais foi observada na zona “linha do deixa” ($173 \pm 44,933$ *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$), sendo a menor observada na zona submersa ($0,67 \pm 1,155$ *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$) (Figura 15).

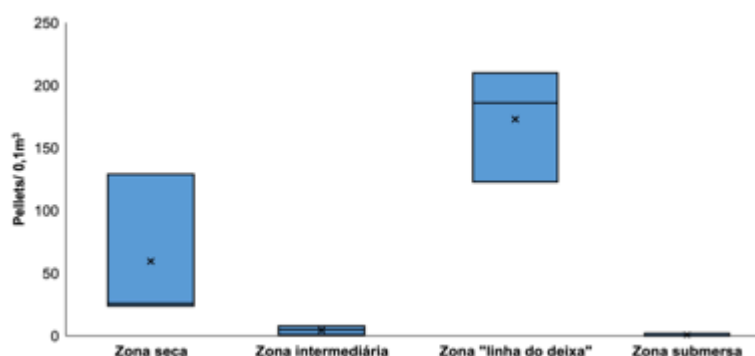


Figura 15. Média, mediana e quartis de *pellets*/ $0,1 \text{ m}^3$ por zonas no trecho 7.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando a quantidade total ($n=1951$) de *pellets* do trecho 8 (Canal 6) verificou-se que a zona “linha do deixa” apresentou a maior representatividade (94,93%) e a zona submersa a menor (0,0%) (Tabela 9).

Tabela 9- Totais e porcentagem (%) de *pellets* por zonas no trecho 8 da praia de Santos- SP.

Trecho 8		
Zonas	$0,1 \text{ m}^3$	%
zona seca	88	4,511
zona intermediária	11	0,564
zona "linha do deixa"	1852	94,93
zona submersa	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior média entre as densidades numéricas dos elementos amostrais foi observada na zona “linha do deixa” ($617,33 \pm 77,242$ pellets/ $0,1 \text{ m}^3$), sendo a menor observada na zona submersa ($0 \pm 0,0$ pellets/ $0,1 \text{ m}^3$) (Figura 16).

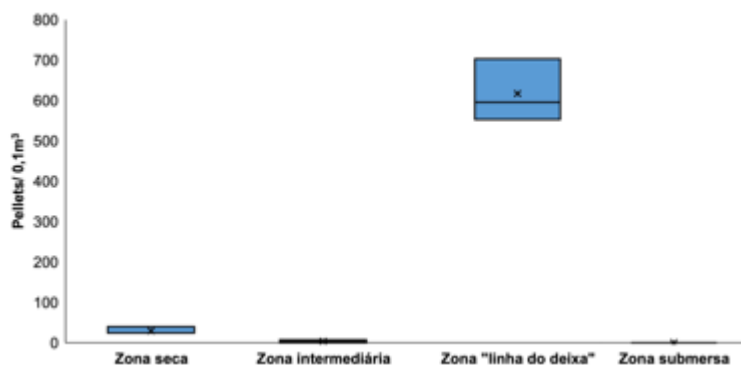


Figura 16. Média, mediana e quartis de pellets/ $0,1 \text{ m}^3$ por zonas no trecho 8.
Fonte: Elaborado pelo autor.

No trecho 9 (Ponta da Praia), considerando a quantidade total de pellets ($n=2337$), verificou-se que a zona “linha do deixa” apresentou a maior representatividade (95,25%) e a zona submersa a menor (2,74%) (Tabela 10).

Tabela 10- Totais e porcentagem (%) de pellets por zonas no trecho 9 da praia de Santos- SP.

Trecho 9		
Zonas	Total	%
zona seca	41	1,754
zona intermediária	6	0,257
zona "linha do deixa"	2226	95,25
zona submersa	64	2,739

Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior média entre as densidades numéricas dos elementos amostrais foi observada na zona “linha do deixa” ($742 \pm 237,76$ pellets/ $0,1 \text{ m}^3$), sendo a menor observada na zona submersa ($2 \pm 0,000$ pellets/ $0,1 \text{ m}^3$) (Figura 17). Neste trecho observa-se a média de valor numérico mais alto assim como o desvio padrão, porém, é proporcionalmente menor do que observado nos demais trechos.



Figura 17. Média, mediana e quartis de *pellets*/ 0,1 m³ por zonas no trecho 9.
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 DISTRIBUIÇÃO DOS *PELLETS* POR ZONAS DA PRAIA (DISTRIBUIÇÃO PERPENDICULAR À LINHA DA ÁGUA)

Ao analisar a quantidade de *pellets* por zonas, referente ao conjunto de todos os trechos, a análise inicial de Kruskal-Wallis detectou forte diferença significativa (qui-quadrado = 85,015, graus de liberdade = 3, valor de $p < 2.2e-16$) e o teste de Nemenyi detectou diferenças significativas entre todos os níveis ($p < 0,05$) (Tabela 11). Observa-se que a zona "linha do deixa" apresentou a maior representatividade (78,86%) seguido pela zona seca (16,80%), zona intermediária (3,74%) e zona submersa (0,60%) (Tabela 12 e Figura 18).

Tabela 11-Valores do p resultante análise de Nemenyi.

Zonas		P
Zona seca	Zona intermediária	0,043
Zona seca	Zona submersa	<0,000
Zona seca	Zona "linha do deixa"	0,007
Zona intermediária	Zona submersa	0,0149
Zona intermediária	Zona "linha do deixa"	<0,000
Zona submersa	Zona "linha do deixa"	<0,000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 12- Totais e porcentagem (%) de *pellets* por zona da praia de Santos- SP.

Zonas	Total	%
Zona seca	2007	16,80
Zona intermediária	447	3,74
Zona "linha do deixa"	9423	78,86
Zona submersa	72	0,60

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 18. Total de *pellets* por zonas na praia de Santos- SP.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar a quantidade de *pellets* da zona seca (n=2007) verificou-se que o trecho 5 (Av. Cons. Nébias) apresentou a maior representatividade (28,20%), seguido por trecho 4 (Canal 3) (21,97%) e trecho 1 (Canal 1) (13,85%), sendo a menor em trecho 9 (Ponta da Praia) (2,04%) (Tabela 13).

Tabela 13- Totais e porcentagem (%) de *pellets* por trechos na zona seca praia de Santos- SP.

Zona seca		
Trechos	Total	%
T1	278	13,85
T2	100	4,98
T3	139	6,93
T4	441	21,97
T5	566	28,20
T6	175	8,72
T7	179	8,92
T8	88	4,38
T9	41	2,04

Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior média foi observada no trecho 5 ($188,67 \pm 127,563$ *pellets*/ 0,1 m³), seguido por T4 ($147 \pm 70,449$ *pellets*/ 0,1 m³) e T1 ($92,67 \pm 50,797$ *pellets*/ 0,1 m³). A menor média observada foi no trecho 9 ($13,67 \pm 18,502$ *pellets*/ 0,1 m³) (Figura 19).

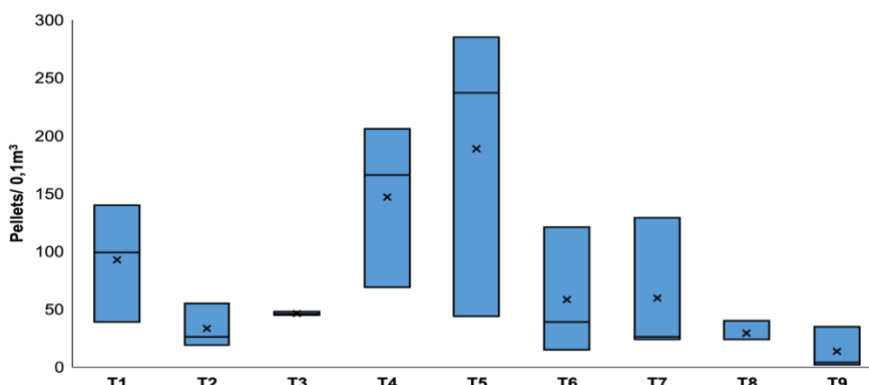


Figura 19. Média, mediana e quartis de *pellets*/ 0,1 m³ por trechos da praia na zona seca.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na quantidade total ($n=477$) de *pellets* da zona intermediária verificou-se que o trecho 3 da praia (Av. Ana Costa) apresentou a maior representatividade (18,66%), seguido por trecho 1 (Canal 1) (18,24%) e trecho 2 (Canal 2) (18,03%), sendo a menor em trecho 9 (Ponta da Praia) (1,26%) (Tabela 14).

Tabela 14. Totais e porcentagem (%) de *pellets* por trechos na zona intermediária praia de Santos- SP.

Zona intermediária		
Trechos	Total	%
T1	87	18,24
T2	86	18,03
T3	89	18,66
T4	63	13,21
T5	59	12,37
T6	62	13,00
T7	14	2,94
T8	11	2,31
T9	6	1,26

Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior média foi observada no trecho 3 ($29,67 \pm 25,325$ *pellets*/ 0,1 m³), seguido por T1 ($29,00 \pm 23,643$ *pellets*/ 0,1 m³) e T2 ($28,67 \pm 7,572$ *pellets*/ 0,1 m³), sendo a menor observada no T9 ($2 \pm 0,000$ *pellets*/ 0,1 m³) (Figura 20).

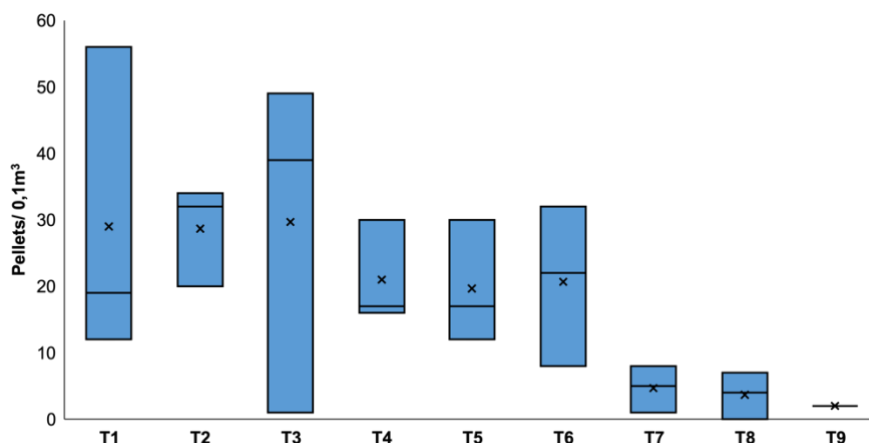


Figura 20. Média, mediana e quartis de *pellets*/ 0,1 m³ por trechos da praia zona intermediária.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando a quantidade total (n=9423) de *pellets* da zona “linha do deixa” verificou-se que o trecho 9 (Ponta da Praia) apresentou a maior representatividade (23,62%), seguido por T8 (Canal 6) (19,65%) e T5 (Av. Cons. Nébias) (18,59%), sendo T2 (Canal 2) a menor (4,20%) (Tabela 15).

Tabela 15- Totais e porcentagem (%) de *pellets* por trechos na zona “linha do deixa” praia de Santos- SP.

Zona "linha do deixa"		
Trechos	Total	%
T1	552	5,86
T2	396	4,20
T3	779	8,27
T4	805	8,54
T5	1752	18,59
T6	542	5,75
T7	519	5,51
T8	1852	19,65
T9	2226	23,62

Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior média foi observada no trecho 9 da praia ($742,00 \pm 237,765$ *pellets*/ 0,1 m³), seguido por T8 ($617,33 \pm 86,40$ *pellets*/ 0,1 m³), T5 ($584,00 \pm 343,166$ *pellets*/ 0,1 m³), T4 ($268,33 \pm 171,98$ *pellets*/ 0,1 m³), T3 ($259,67 \pm 150,11$ *pellets*/ 0,1 m³), T1 ($184,00 \pm 106,13$ *pellets*/ 0,1 m³), T6 ($180,67 \pm 43,88$ *pellets*/ 0,1 m³), T7 ($173,00 \pm 44,93$ *pellets*/ 0,1 m³) sendo a menor observada no trecho 2 ($132,00 \pm 20,785$ *pellets*/ 0,1 m³). (Figura 21).

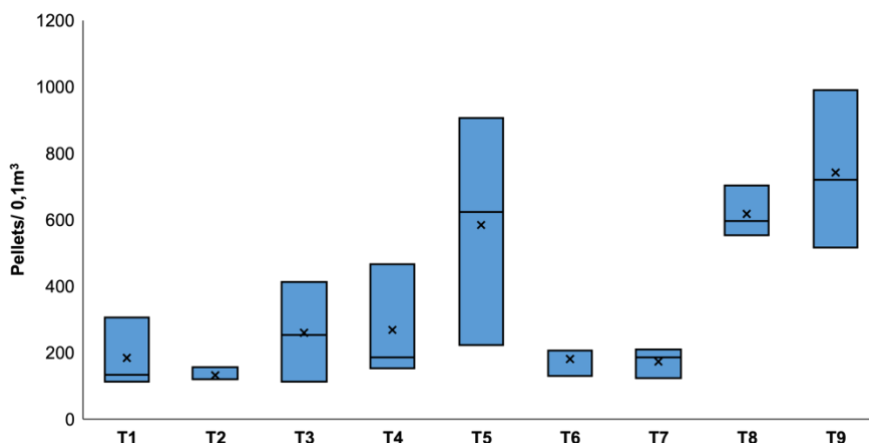


Figura 21. Média, mediana e quartis de *pellets*/ 0,1 m³ por trechos da praia na “linha do deixa”.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando a quantidade total (n=72) de *pellets* na zona submersa verificou-se que o trecho 9 (ponta da praia) apresentou a maior representatividade (88,89%) e os trechos 1, 2, 3 e 8 a menor (0,00%) (Tabela 16).

Tabela 16- Totais e porcentagem (%) de *pellets* por trechos na zona submersa praia de Santos- SP.

Zona submersa		
Trechos	Total	%
T1	0	0,00
T2	0	0,00
T3	0	0,00
T4	1	1,39
T5	2	2,78
T6	3	4,17
T7	2	2,78
T8	0	0,00
T9	64	88,89

Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior média foi observada no trecho da praia 9 ($21,33 \pm 15,308$ *pellets*/ 0,1 m³), seguido T6 ($1,00 \pm 1,732$ *pellets*/ 0,1 m³), e T5 e T7 ($0,67 \pm 0,577$ e $0,67 \pm 1,155$ *pellets*/ 0,1 m³, respectivamente), sendo a menor observada nos trechos 1, 2, 3 e 8 ($0,00 \pm 0,000$ *pellets*/ 0,1 m³) (Figura 22).

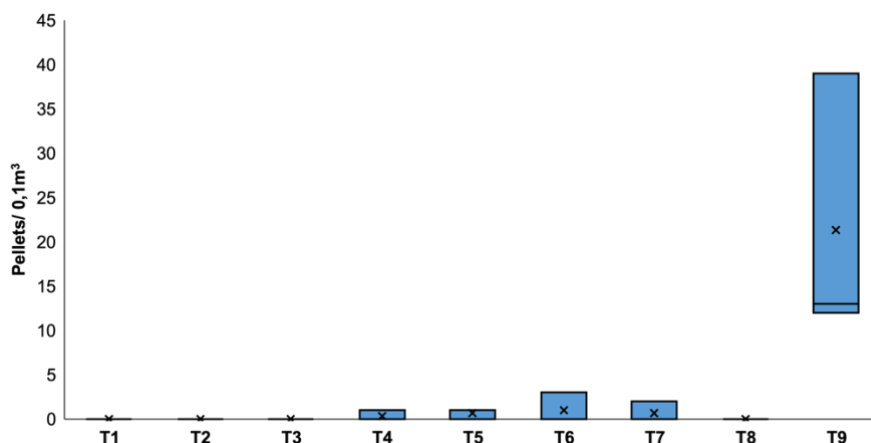


Figura 22. Média, mediana e quartis de *pellets*/ 0,1 m³ por trechos da praia na zona submersa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 DENSIDADE NUMÉRICA DA ENTRADA DOS *PELLETS*

Ao analisar a quantidade da entrada de *pellets* considerando a zona “linha do deixa”, embora a análise de Kruskal-Wallis não tenha evidenciado diferença significativa entre os trechos de praia (qui-quadrado = 2.1769, graus de liberdade = 8, valor de $p = 0.9751$), a maior média entre as densidades numéricas dos elementos amostrais foi observada no trecho 9 - Ponta da Praia ($742,00 \pm 237,765$ *pellets*/ 0,1 m³), seguido pelo trecho 8 - Canal 6 ($617,33 \pm 86,40$ *pellets*/ 0,1 m³), trecho 5 - Av. Cons. Nébias ($584,00 \pm 343,166$ *pellets*/ 0,1 m³), trecho 4 – Canal 3 ($268,33 \pm 171,98$ *pellets*/ 0,1 m³), trecho 3 – Av. Ana Costa ($259,67 \pm 150,11$ *pellets*/ 0,1 m³), trecho 1 – Canal 1 ($184,00 \pm 106,13$ *pellets*/ 0,1 m³), trecho 6 – Canal 4 ($180,67 \pm 43,88$ *pellets*/ 0,1 m³), trecho 7 – Canal 5 ($173,00 \pm 44,93$ *pellets*/ 0,1 m³) sendo a menor observada no trecho 2 – Canal 2 ($132,00 \pm 20,785$ *pellets*/ 0,1 m³).

3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS *PELLETS*

Para as caracterizações do tipo de polímero e da morfologia dos *pellets* da praia de Santos, os 1000 *pellets* sorteados ao acaso representaram 8,4% do total coletado.

3.4.1 Tipos de Polímeros

A análise dos tipos de polímeros dos *pellets* baseada no método de densidade apontou que, dos 1000 *pellets* analisados, 543 foram compostos por PEBD (Polietileno de Baixa Densidade), 234 por PEAD (Polietileno de Alta Densidade) e 223 por PP (Polipropileno) (Figura 23).

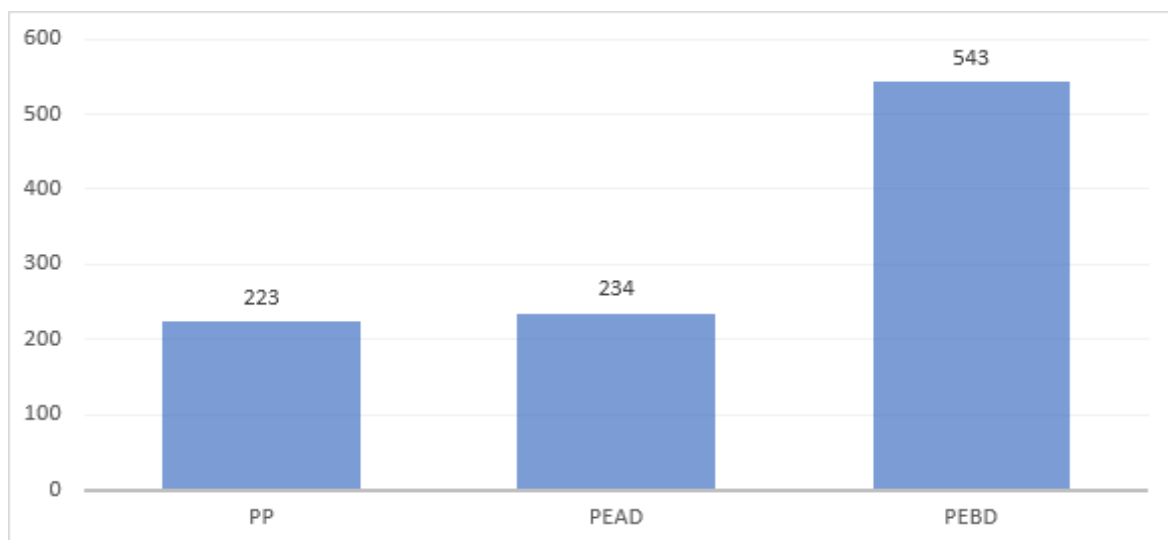


Figura 23. Tipos de Polímeros dos 1000 *pellets* analisados.
PP= Polipropileno; PEAD= Polietileno de Alta Densidade; PEBD= Polietileno de Baixa Densidade.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.2 Caracterização Morfológica

A maioria dos *pellets* analisados foram classificados na forma cilíndrica achatado (651), 190 esférico achatado, 101 na forma disforme, 31 cilíndrico, 18 cúbico e 9 esférico achatado (Figura 24).

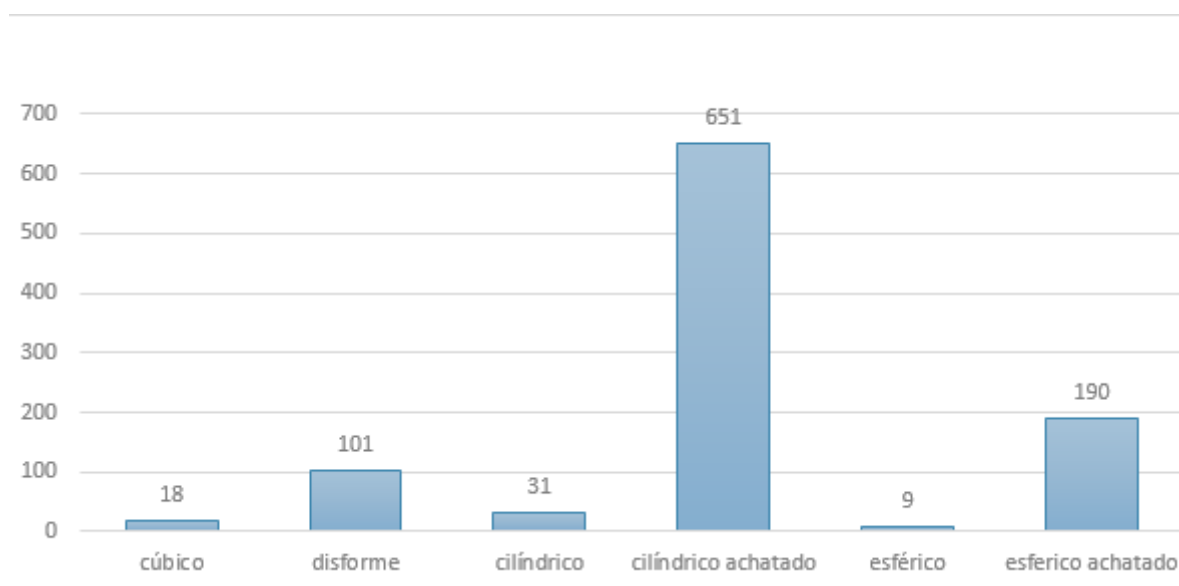


Figura 24. Forma dos *pellets* analisados.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto ao tamanho, a altura corresponde à maior dimensão do *pellet*. As classes de tamanho em milímetros mais representativas foram 2,1 a 2,5 ($n = 305$) e 2,6 a 3,0 ($n = 221$), seguido de 1,6 a 2,0 ($n = 171$) e 3,1 a 3,5 ($n = 154$) (Figura 25).

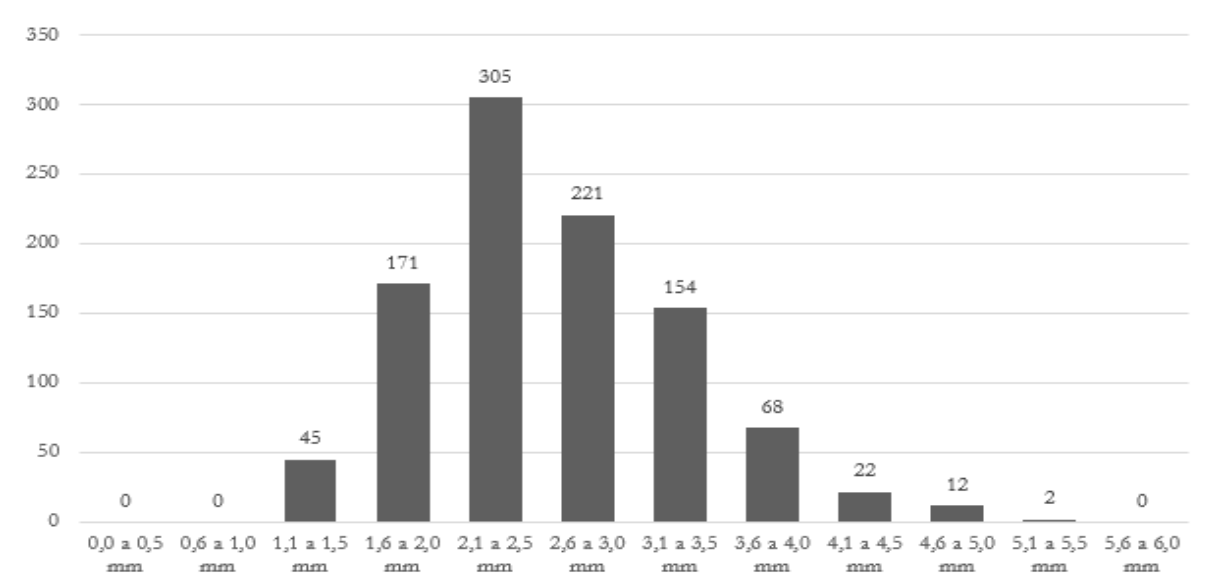


Figura 25. Classes de tamanhos dos *pellets* analisados.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto ao tamanho, o diâmetro corresponde à medida média entre a maior e a menor dimensão do *pellet*. As classes de diâmetro em milímetros mais representativas foram 3,6 a 4,0 ($n = 335$), 3,1 a 3,5 ($n = 284$) e entre 4,1 a 4,5 (23%; $n = 230$) (Figura 26).

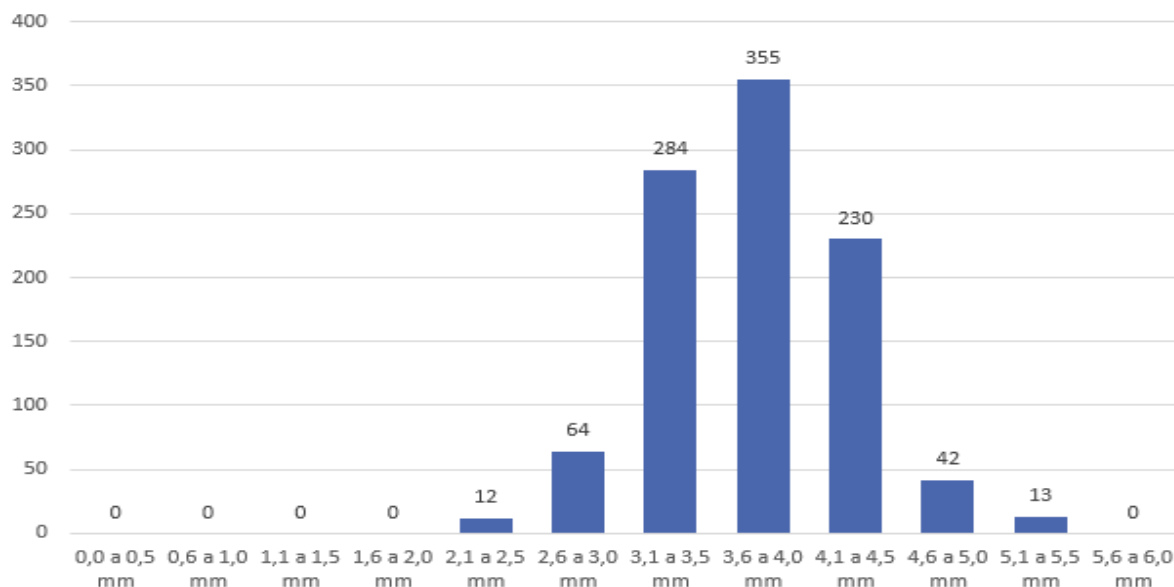


Figura 26. Diâmetro em milímetros dos *pellets* analisados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.3 Coloração dos *pellets*

Em relação à coloração dos *pellets*, em cuja determinação foi utilizada a tabela universal das 256 combinações de vermelho, verde e azul (R/G/B), relativamente ao padrão de cor amarelada ou amarronzada, 662 *pellets* apresentaram um padrão de cor em tons de amarelo claro, principalmente as cores referentes aos códigos 29 (n= 223), 30 (n= 215) e 25 (n= 152). Os demais 338 *pellets* apresentaram tons de marrom alaranjado, principalmente referente aos códigos 217 (n= 85), 41 (n= 62) e 218 (n= 43) (Figura 27).

A distribuição das cores nos diversos padrões é apresentada na Figura 28, de acordo com os códigos de R/G/B da tabela universal.

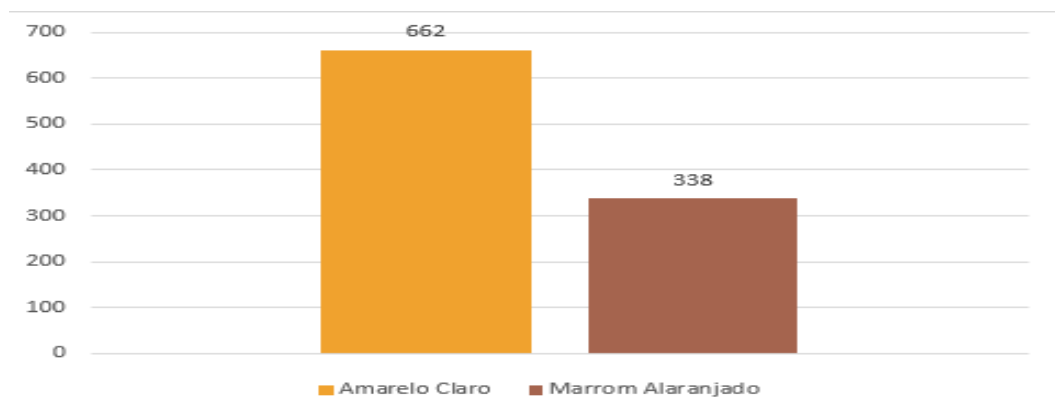


Figura 27. Abundância de *pellets* de acordo com as cores principais.
Fonte: Elaborado pelo autor.

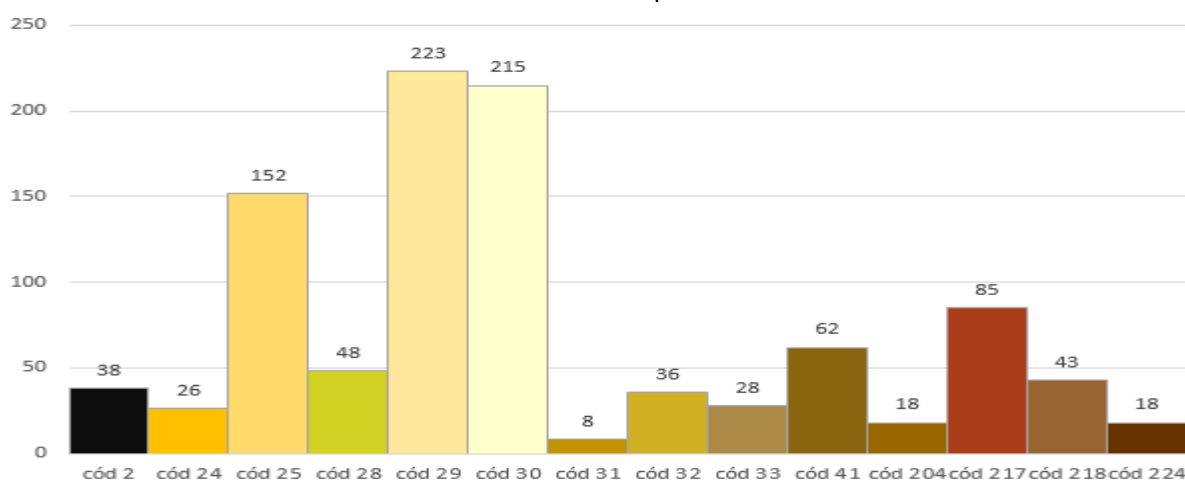


Figura 28. Abundância de *pellets* nas categorias de cores RGB identificadas na amostra.
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.4 Craquelamento e incrustação

A maioria dos *pellets* analisados mostrou-se relativamente preservado, com baixos índices de craquelamento ($n = 603$) e incrustações ($n = 615$), conforme as figuras 29 e 30.

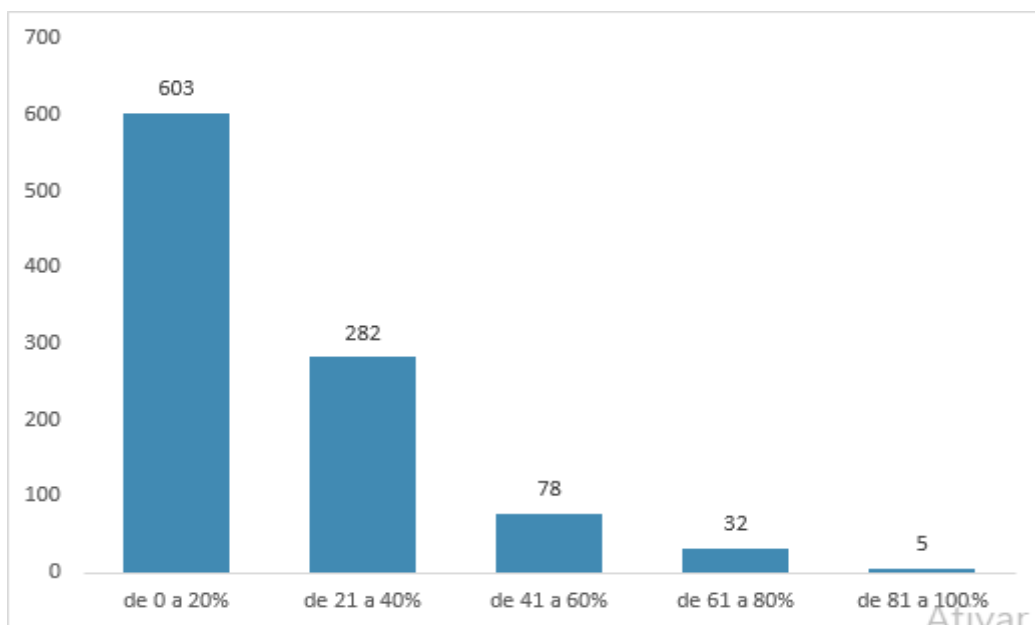


Figura 29. Abundância de *pellets* em cada intervalo de 20% de craquelamento.
Fonte: Elaborado pelo autor.

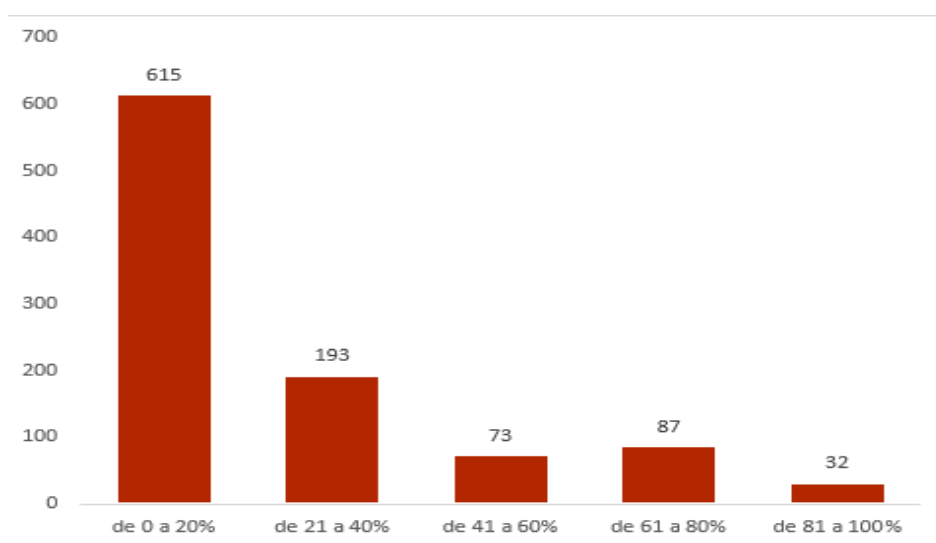


Figura 30. Abundância de *pellets* em cada intervalo de 20% de incrustação.
Fonte: Elaborado pelo autor.

4. DISCUSSÃO

4.1 DISTRIBUIÇÃO DOS *PELLETS* AO LONGO DOS TRECHOS DA PRAIA (DISTRIBUIÇÃO PARALELA À LINHA DA ÁGUA)

Devido a distribuição tridimensional dos *pellets*, considera-se que a amostragem do sedimento seja feita em alguns centímetros ou metros de

profundidade. Turra *et al.* (2014), Moreira *et al.* (2016) e Fisner *et al.* (2017) propuseram que os *pellets* fossem melhor amostradas até 2 metros de profundidade, devido à limpeza que ocorre nas praias, que pode remover os *pellets* das camadas superficiais ou enterrá-los em camadas mais profundas. Mas assim como Izar *et al.* (2019) os resultados do presente estudo, resultantes de amostras com 10 cm de profundidade, são corroborados por McDermid *et al.* (2004) que efetuaram amostras com 5,5 cm de profundidade e por Ng *et al.* (2006) que coletaram amostras a 1 cm de profundidade.

Também Fisner *et al.* (2013) coletaram amostras na superfície do sedimento das praias e Manzano (2009) demonstrou em seu trabalho que os estoques permanentes de *pellets* se encontram nas camadas superficiais do sedimento decrescendo à medida em que a profundidade aumenta.

Os trechos ao longo da praia de Santos apresentam características naturais muito semelhantes, todos são dissipativas e apresentam declividade sub-horizontais (inclinação < 10°) (MAGINI *et al.*, 2007). A deposição de *pellets* foi heterogênea, mesmo que não estatisticamente significativa.

Em relação ao total de *pellets* das quatro zonas nos trechos de praia, observa-se que o trecho 5 (Av. Cons. Nébias) apresentou a maior abundância total (2379) seguido por trecho 9 (Ponta da Praia) (2337), trecho 8 (Canal 6) (1951), trecho 3 (Av. Ana Costa) (1007) e trecho 4 (Canal 3) (1310). As menores abundâncias foram observadas no trecho 1 (Canal 1) (917), trecho 6 (Canal 4) (782), trecho 7 (Canal 5) (714) e trecho 2 (Canal 2) (582).

A deposição de *pellets* na praia de Santos foi numericamente maior na Ponta da Praia (trecho 9) e entre os canais 5 e 6 (trecho 8), ambos próximos à entrada do Porto de Santos onde ocorre o transporte ativo dos microplásticos, como destacado por Manzano (2009). No entanto, os *pellets* foram encontrados também em abundância na região central da praia, mais especificamente entre a Av. Ana Costa e Av. Conselheiro Nébias (trechos 4 e 5). Porém, apesar da distância entre o local do estudo e a fonte de poluição do *pellet* parecer um fator importante para a dispersão do *pellet*, essa dispersão também pode ser influenciada por outros fatores, como o vento e as correntes marinhas de superfície, conforme apresentado por Browne *et al.* (2010) e Batzan *et al.* (2014). No presente estudo isso não foi testado.

Na Baía de Santos, os ventos predominantes fluem para oeste, e as correntes oceânicas superficiais tendem a fluir no sentido anti-horário (HARARI e CAMARGO,

1998, HARARI e GORDON, 2001). Desta forma, a abundância de *pellets* na região central da praia de Santos pode ser explicada por conta da hidrodinâmica e as correntes marinhas que influenciam na baía, como apontado por Venâncio (2018). As figuras a seguir demonstram as correntes predominantes na Baía de Santos (Venâncio, 2018) e o sentido de transporte de material residual (FUNDESPA, 2014).



Figura 31. Sentido do transporte longitudinal de sedimentos na Ponta da Praia.
Fonte: Venâncio, 2018.

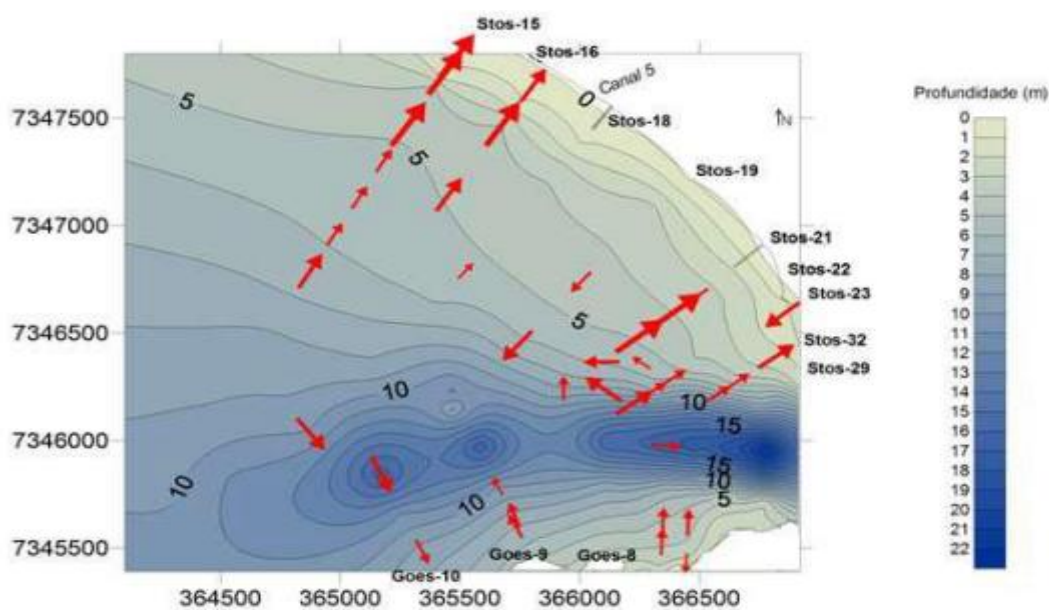


Figura 32. Sentido do transporte sedimentar residual na região da Ponta da Praia.
Fonte: FUNDESPA, 2014.

Apesar da falta de réplicas temporais, é possível evidenciar esse gradiente e o resultado do presente estudo sugere que a fonte de entrada de *pellets* na praia de Santos seja oriunda do Porto de Santos assim como evidenciado por Manzano (2009), Fisner *et al.* (2013), Turra *et al.* (2014) e Izar *et al.* (2019).

Silva (2016) mostrou que apesar da distância entre a praia de Itaquitanduva (localizada em São Vicente) e o Porto de Santos, fonte de poluição dos *pellets*, as correntes de superfície e ventos na região resultaram em muitos *pellets* encontrados na praia.

De acordo com Fundespa (2012), ainda que tenham ocorrido diversas intervenções e alterações, as praias da Baía de Santos aparentam manter-se em equilíbrio, com baixo risco de erosão costeira. Importante destacar que em Santos, o setor deposicional da praia sempre esteve (pelo menos desde a década de 1960) localizado entre os canais 1 e 3 onde se comportou como área de deposição ou de transporte, e onde ocorrem as mais importantes zonas de convergência de células de deriva da praia. Os trechos mais erosivos da praia, historicamente sempre estiveram localizados entre o Canal 4 e a Ponta da Praia, em especial na Ponta da Praia onde predomina o processo erosivo destacado pela elevada ocorrência de zonas de divergência de células de deriva litorânea. Apesar do suposto equilíbrio das praias de Santos, alguns trechos têm sofrido processos erosivos progressivos, resultando numa diminuição da faixa de areia, como tem ocorrido no trecho entre o Canal 4 e a Ponta da Praia, principalmente entre o Canal 6 e a Ponta da Praia (VENANCIO, 2018). Os resultados do presente estudo apontam que a zona deposicional tenha se deslocado para a região entre os canais 3 e 4. A Ponta da Praia recebeu grande aporte de *pellets* devido à proximidade com o Porto.

O sentido das correntes marítimas predominantes na Baía de Santos e o sentido do transporte sedimentar residual, apresentados nas figuras 31 e 32, explicam a maior quantidade total de 2379 *pellets* observadas na região central da baía, que corresponde ao trecho 5 - Av. Cons. Nébias.

Para o trecho 9 - Ponta da Praia que apresentou uma quantidade total de 2337 *pellets*, um fator que colabora para esse fato corresponde à manutenção da praia com a transferência de sedimentos trazidos de locais situados principalmente entre o Canal 2 e o Canal 3 e do desassoreamento dos Canais 1, 2 e 3 (FUNDESPA, 2012). O material retirado da porção superior da praia, junto ao calçadão, onde ocorre a maior quantidade de *pellets*, é transportado para a Ponta da Praia pela Secretaria de Obras

da Prefeitura de Santos como forma de mitigar a erosão causada por ressacas que ocorrem com a entrada de frentes frias (GANDINI, 2020; PREFEITURA DE SANTOS, 2018)

Do mesmo modo que evidenciado por Manzano (2009) e Izar *et al.* (2019), o porto de Santos é provavelmente a principal fonte de microplásticos no litoral de São Paulo, sendo que as densidades numéricas de *pellets* encontradas nas praias localizadas na Baía de Santos estão entre as maiores do mundo. Isso é reforçado pelos resultados obtidos em outras regiões por Ross *et al.* (1991) e Claessens *et al.* (2001) onde áreas próximas aos portos são pontos comuns em abundância de microplásticos em relação a outras regiões litorâneas.

Fisner *et al.* (2013) descreveram que o transporte de grânulos plásticos pelo porto de Santos é responsável por 50.000 toneladas de grânulos/mês e de acordo com Manzano (2009), a presença de microplásticos na Baía de Santos se dá pelas atividades portuárias de exportação desta matéria prima e pela perda acidental de *pellets* das indústrias produtoras da região.

4.2 DISTRIBUIÇÃO DOS *PELLETS* POR ZONAS DA PRAIA (DISTRIBUIÇÃO PERPENDICULAR À LINHA DA ÁGUA)

A zona “linha do deixa”, representada pela zona onde ocorre a deposição de material trazido pela movimentação da água, apresentou a maior abundância (9423). A influência constante da maré e das ondas leva ao acúmulo de material natural ou antropogênico no litoral, neste caso representado por *pellets* que recentemente se acumularam na praia (IZAR *et al.*, 2019).

O resultado do presente estudo destacou que a fonte de entrada de *pellets* na praia de Santos seja oriunda do Porto de Santos bem como evidenciado por Manzano (2009), Fisner *et al.* (2013), Turra *et al.* (2014) e Izar *et al.* (2019). Ao serem trazidos pelo mar, os microplásticos se depositam primeiramente na zona “linha do deixa”, uma região de caráter transitório, dinâmico e sazonal (GREGORY, 2009; BATZAN *et al.*, 2014). A quantidade de *pellets* que chega na “linha do deixa” pode ser explicada por células de deriva, que determinam o transporte ao longo da costa (MANZANO, 2019).

Nem todos os microplásticos que estão na zona “linha do deixa” permanecem, pois, uma parte é transportada pelos dos ventos para o supralitoral, onde, no presente estudo, foi observada a segunda maior abundância (2007). Uma vez no supralitoral,

devido a influência dos ventos, os microplásticos poderão ser transportados para outras zonas do pós praia ou de volta para a zona “linha do deixa” (GREGORY, 2009).

Silva (2016), estudando durante um ano a distribuição de *pellets* ao longo das praias de Paranapuã e Itaquitanduva integrantes do parque Xixová-Japuí em São Vicente (SP), também apontou que a maior entrada de microplásticos foi na zona “linha do deixa” (total de 600 microplásticos com uma concentração de 5,16 partículas/m²), comparado à zona do supralitoral (total de 290 microplásticos com uma concentração de 4,32 partículas/m²). Na área, o mar é a fonte principal da entrada dos microplásticos, já que a praia possui acesso restrito à população, eliminando a entrada de microplásticos trazidos por seus frequentadores. Também observou que o vento e sua direção são os principais responsáveis pelo transporte e acúmulo dos *pellets* devido a sua baixa densidade.

Um estudo realizado em praias do Havaí também corroborou com o resultado do presente estudo, pois McDermid e McMullen (2004) coletaram microplásticos tanto na zona “linha do deixa” quanto na berma e mais de 90% foi encontrado na “linha do deixa”, e o restante na zona de berma.

Na mesma área do presente trabalho, Manzano (2009) registrou maior abundância nas zonas superiores da praia e explicou devido ao processo de espriamento durante eventos de tempestade ocorridos ao longo dos anos na área. O autor destacou também que na sequência ocorre um refluxo, que devido a gravidade, a água se movimenta no sentido contrário, em direção ao oceano e remove as partículas no meio do caminho. Esse fato explica a menor abundância de *pellets* nas zonas intermediárias (477) e zonas submersas (72) amostradas no presente levantamento.

Está evidenciado que a variação de concentração de *pellets* em praias do mundo está relacionada a fatores físicos - distância às fontes, forma, fisiografia e orientação da praia. Em relação aos fatores abióticos, os mais importantes são a direção do vento, ondas superficiais e correntes (DEBROT *et al.*, 1999).

Martins e Sobral (2011) relacionaram a acumulação de *pellets* em praias da costa oeste de Portugal, às marés altas equinociais, à orientação das praias e às correntes marinhas. Hidalgo-Ruz e Thiel (2013) relacionaram o acúmulo de microplásticos das praias de Ilha de Páscoa com as correntes superficiais no Giro Subtropical do Pacífico Sul. Turra *et al.* (2014) explicam a deposição de *pellets* nas praias do litoral de São Paulo por meio dos processos oceanográficos, tais como

correntes costeiras, marés e vento. Cordeiro *et al.* (2018) em estudo na praia de Santos sugerem que o efeito mais forte da deposição de *pellets* foi devido às variações sazonais e às atividades humanas.

A interferência humana acaba influenciando na distribuição destas partículas no sedimento da praia, como reportado por Kusui e Nosa (2003) e Carvalho e Neto (2016) podendo também ser citada a sua remoção nas camadas superficiais ou enterro em camadas mais profundas através da limpeza diária da praia, como ocorre em Santos (MOREIRA *et al.*, 2016).

4.3 DENSIDADE NUMÉRICA DA ENTRADA DE *PELLETS*

Devido às diferentes metodologias de estudo, diferentes características das praias e fatores ambientais que influenciam a deposição e distribuição dos *pellets*, comparar a quantidade de microplásticos encontrados nas pesquisas é complexo (WILLIAMS *et al.*, 2005). Existe uma preponderância das energias associadas aos efeitos de maré na circulação da área (HARARI e GORDON, 2001). Correntes ao longo da costa transportam o material paralelo à linha costeira, combinadas com as marés cheias, resultando em deposição de resíduos plásticos ao longo das “linhas do deixa” (CORCORAN *et al.*, 2009).

Apesar da complexidade nas comparações, o presente estudo obteve para a “zona do deixa” densidades numéricas médias de 742,00 *pellets*/0,1 m³ na Ponta da Praia (trecho 9 – T9) e de 147 *pellets*/0,1 m³ para a praia do Gonzaga (trecho 4 – T4). Na região da Baía de Santos, Ribeiro (2020) calculou o índice de Poluição por *Pellets* durante o inverno e observou para a “zona do deixa” na Ponta da Praia densidade numérica de 178 *pellets*/1,5 m³ que corresponde a 11,87 *pellets*/0,1m³ e para a praia do Gonzaga, 1983 *pellets*/1,5 m³ que corresponde a 132,2 *pellets* / m³. Tais valores equivalem a uma diferença a maior de 6151% em relação à Ponta da Praia e uma diferença a maior de 11,2% em relação ao Gonzaga.

Manzano (2009) concluiu, em vista da heterogeneidade encontrada nas amostras, que os valores observados não indicavam que houvesse um padrão claro de deposição de *pellets* na “linha do deixa”, ao menos na escala temporal e espacial estudada, corroborando o que se observou no presente trabalho.

Destaca-se também que, como explicado por Manzano (2009), a estimativa da entrada de *pellets* na praia de Santos pode estar subestimada, pois a cidade

apresenta praias altamente utilizadas para práticas esportivas durante todo o ano e ocorrem limpezas diárias nas praias, intensificada nos meses de verão devido à chegada dos turistas, com limpeza mecânica realizada por caminhões e tratores junto à linha d'água, o que acaba soterrando os *pellets*. Também ocorre a limpeza manual com rastelo realizada por funcionários da limpeza urbana, o que permite que *pellets* sejam retirados em meio a outros resíduos. Esses fatores somados dificultam a visualização e posterior coleta do material. Sem contar a falta de réplicas temporais não realizadas durante este estudo e que também influencia na possível subestimativa durante a análise da quantidade da entrada dos *pellets*.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS PELLETS

4.4.1 Tipos de Polímeros

A análise dos tipos de polímeros dos *pellets* foi baseada no método de densidade (SINACÉ & DE PAOLI, 2005) e apontou que, dos 1000 *pellets* analisados, 78% foram compostos por Polietileno (PE), sendo 54% de baixa densidade e 24% de alta densidade e os 22% restante de Polipropileno (PP). Esse resultado é corroborado por Manzano (2009), que observou que cerca de 80% dos *pellets* analisados na praia de Santos e de São Vicente (SP) eram compostos de Polietileno e apenas 18% de Polipropileno. Em 2012, Fisner encontrou na mesma área de estudo grânulos plásticos de Polietileno correspondendo quase que a totalidade (94%) das coletas e 6% de Polipropileno. Um estudo de Silva (2016) de contaminação por microplásticos realizado nas praias de Paranapuã e Itaquitanduva, inseridas no Parque Estadual Xixová-Japuí e localizadas na Baía de Santos (SP), corroborou com o maior tipo de polímeros dos *pellets* analisados neste estudo, sendo 43% dos elementos amostrais compostas de Polietileno e 12% de Polipropileno. Porém, ainda foram encontrados nesta área microplásticos compostos de Poliestireno (6%) e Acrilonitrila Butadieno Estireno (3%).

Desde 1996, os principais polímeros encontrados nos resíduos sólidos urbanos de grandes cidades brasileiras foram e continua sendo os Polietileno de Alta (PEAD) e de Baixa Densidade (PEBD), Polipropileno (PP), Policloreto de Vinila (PVC), Poliestireno (PS) e o Tereftalato de Polietileno (PET) (AGNELLI, 1996; PLASTIVIDA,

2018). Sendo estes compostos mais utilizados também pelas indústrias, reflexo do alto consumo pela sociedade (EPA, 1992; ANDRADY e NEAL, 2009; ANDRADY, 2011).

Polietileno (PE) e Polipropileno (PP) tiveram maior abundância e de acordo com Engler (2012) a alta abundância destes compostos estão relacionadas as suas menores densidades que a água do mar, e no ambiente marinho tende a flutuar na superfície. Em adição, Turra *et al.* (2014) enfatizou a abundância de *pellets* PE e PP com a produção e exportação destes compostos na região da Baixada Santista e durante a manipulação de carregamento e descarregamento na área portuária de Santos que podem ser perdidos para o ambiente marinho.

4.4.2 Caracterização Morfológica

Assim como observado em 2009 por Manzano, a maioria dos *pellets* analisados no presente estudo foram classificados em 65% na forma cilíndrica achatado, 19% esférico achatado e 10% na forma disforme. Alves (2018) em praias do litoral norte do estado de São Paulo, mais especificamente Caraguatatuba, Ilhabela e Ubatuba, Lima (2012) e Hirata *et al.* (2017) no litoral de São Paulo, na praia do Tombo no Guarujá, constataram que a maioria dos *pellets* encontrados foi do formato cilíndrico achatado, de forma semelhante ao observado no presente estudo. Manzano (2009) indicou que a porcentagem representativa de *pellets* com essas formas cilíndricas e esféricas achatadas é reflexo da produção de matéria prima da indústria plástica.

Já o trabalho desenvolvido por Contatori (2015) constatou que 73% dos grânulos encontrados nas praias de Itanhaém, São Paulo, foram do formato esférico achatado e 14% eram do formato cilíndrico achatado (apesar de se tratar de um trabalho de conclusão, o estudo foi o único encontrado relativo ao município de Itanhaém). O mesmo padrão de formato foi encontrado na praia de Santa Cruz dos Navegantes no Guarujá (SP) onde 28% dos grânulos foram do formato esférico achatado e 25% do formato cilíndrico achatado (RIBEIRO, 2019).

Em relação ao tamanho dos *pellets*, as medidas de altura e diâmetro apresentaram um padrão homogêneo, concentrando os valores entre 2,1-3,0 mm de altura e 3,1-4,0 mm de diâmetro. Tais resultados foram corroborados pelos valores encontrados por Manzano (2009) no mesmo local estudado.

Consoante Rios *et al.* (2010), Kershaw e Rochman (2015), microplásticos são partículas que apresentam tamanho na escala de 5 mm a 1nm. Porém há autores que consideram microplástico, apenas partículas de pequeno tamanho (<1 mm) (BROWNE *et al.*, 2011; CLAESSENS *et al.*, 2011). A variedade de tamanhos das partículas plásticas disponíveis e sua persistência no meio ambiente significam que os microplásticos se tornam menores e mais tóxicos ao longo do tempo, devido ao aumento da superfície de contato (FENDALL E SEWELL, 2009). O tamanho do plástico em conjunto com sua resistência natural e consequente persistência ambiental, representam potencial ameaça aos animais marinhos que muitas vezes ingerem os grânulos confundindo-os com alimentos (RIOS *et al.*, 2010). E devido ao pequeno tamanho, especialmente a propriedade de flutuabilidade, os grânulos possuem uma grande facilidade de dispersão (MORET-FERGUSON *et al.*, 2010).

Um aspecto importante e que foi abordado em alguns trabalhos, como o de Cai *et al.* (2018) refere-se ao tempo que os pellets ficam no ambiente sofrendo ação de agentes naturais, como o sol e ação química na água, alterando suas características físicas, especialmente no caso do Polietileno – PE, o tipo de material mais encontrado no presente estudo. O trabalho desses autores indicou tempo superior a três meses para que haja efetiva alteração de cor e, principalmente, craquelamento em PE. Tal resultado indica que a maior parte dos pellets encontrados no presente estudo são relativamente novos, dada a baixa incidência de craquelamento.

O PE pode apresentar maior potencial de agregação de contaminantes, o que pode indicar maior risco ambiental em áreas em que esse tipo de plástico seja predominante (FOTOPOULOU e KARAPANAGIOTI, 2012). Esse é um aspecto que deve ser levado em consideração na gestão desse material na região da Baía de Santos.

O padrão de coloração dos *pellets* observado no presente estudo, sendo 66,2% de cor amarelo claro e 33,8% de marrom-alaranjado, é semelhante aos resultados encontrados por Manzano (2009) observados nas praias de Santos e São Vicente, com cerca de 60% de cor amarelo claro e 40% de marrom-alaranjado. Porém em 2012, Fisner observou nas mesmas praias grânulos mais escuros, ou seja, mais tempo expostos no ambiente. Próximo ao local do presente estudo, Silva (2016) registou nas praias de Paranapuã e Itaquitanduva, em São Vicente, 65% dos *pellets* de coloração clara como branca e transparente e 35% de coloração mais escurecida como laranja, marrom, preta e outros pigmentos.

Hirata *et al.* (2017) em levantamento com 463 *pellets* coletados na praia do Tombo, no município de Guarujá (SP), registraram 62% em cores claras, do branco ao bege translúcido. Outro estudo abrangendo as praias do estado de São Paulo, desde a Ilha Comprida até Ubatuba, onde foram coletados 13.138 *pellets*, as colorações claras como branca e amarela somaram 80% enquanto as alaranjadas, marrons, pretas e pigmentadas totalizaram 20% (IZAR *et al.*, 2019). Tais trabalhos corroboram o presente no sentido que as cores claras eram predominantes e as marrom-alaranjadas se apresentaram em menor porcentagem.

Importante destacar que a micropigmentação dos microplásticos deva ser considerada, pois espécies podem apresentar seleção por cor na ingestão de partículas. Algumas espécies de peixes costumam mordiscar o plástico e Carson *et al.* (2013) observaram uma tendência na ingestão de plásticos de coloração amarela, azul e verde, ao invés das cores pretas, cinzas e brancas que apontou evidências de menor preferência. Também deve-se destacar que a cor amarelada, observada em 66,2% dos *pellets* deste estudo, tende a ter maiores concentrações de PCB – bifenil policlorados (ENDO *et al.* 2005), ocorrendo tal cor pela oxidação de agentes fenólicos e também pela maior oportunidade de adsorver PCBs pelo maior tempo na água do mar .

Ao ranquear a divisão da variação de 20% de desgaste e de incrustação dos *pellets* (0-20%, 20-40%, 40-60%, 60-80% e 80-100%), considerou-se que 0-20% um baixo índice, entre 40-60% e 60-80% um índice médio e 80-100% um índice alto. Desta forma, a maioria dos *pellets* analisados mostrou-se relativamente preservados entre 0 a 20%, com baixos índices de craquelamento (60,3%) e incrustações (61,5%).

Muito provavelmente, os *pellets* da praia de Santos permaneceram pouco tempo expostos no ambiente marinho, não tendo muito tempo de sofrer intemperismo e incrustação de organismos fixadores. Esse dado também foi observado por Manzano (2009). Porém, diferente do encontrado por Silva (2016) nas praias do Parque Estadual Xixová-Japuí, onde os *pellets* por permanecerem mais tempo no ambiente, apresentaram desgaste devido ao intemperismo, oxidação por exposição aos raios ultravioleta (UV), levando a fragilidade do plástico.

O restante dos *pellets* categorizados como pouco preservados, 38,5% detinham incrustações e 39,7% apresentaram algum grau de craquelamento, evidenciando que os polímeros depositados estão alterados, sofrendo mais desgaste e ou incrustação do que aqueles já soterrados há algum tempo e ou depositados a

pouco tempo. Ogata *et al.* (2009), Taniguchi *et al.* (2016) e Izar *et al.* (2019) destacaram que o tempo de permanência dos *pellets* no sedimento da praia acarreta na adsorção de poluentes, entre eles os poluentes orgânicos persistentes (POPs). Há estudos que mostram a correlação da coloração de *pellets* com concentrações de PCBs (Bifenilos policlorados), evidenciando que *pellets* de coloração amarelada provocada pelo intemperismo devido ao maior tempo no ambiente possuíam maior concentração de PCB (ENDO *et al.*, 2005; OGATA *et al.*, 2009).

Nesse aspecto, a alteração de cor foi considerada como efeito da adsorção de contaminantes e Mugilarasan *et al.* (2017), assim como Endo *et al.* (2005), informaram que a coloração amarela pode estar associada a presença de POPs.

Apesar da maioria dos *pellets* apresentarem bom estado de preservação, o padrão de cor em amarelo claro se destacou, representando 66% dos elementos amostrais e 34% em tons de marrom alaranjado. De acordo com Karapanagioti e Klontza (2007), tons bem claros e transparentes é o primeiro padrão de cores observado quando os *pellets* são produzidos e não pigmentados. Já os *pellets* que apresentam a coloração em tons marrons alaranjado, podem ter sofrido processo de oxidação por raios UV, de forma que esta coloração está associada com o tempo de exposição ao ambiente. Baum (1974), Manzano (2009) e Fisner (2012) indicaram que o amarelamento rumo à coloração marrom alaranjado dos *pellets* está relacionado ao início de degradação ao longo do tempo, bem como a concentração de poluente.

A capacidade de adsorção de contaminantes pelos microplásticos, pellets incluídos, foi estudada por diversos autores e alguns resultados preocupantes foram encontrados. Fotopoulou e Karapanagioti (2012) mostraram que o intemperismo altera a superfície de pellets, propiciando a adsorção de contaminantes, tanto por efeito de rugosidade como por alteração de cargas elétricas. Isso especificamente com PE, mas não foi observado com PS.

Alteração superficial, craquelamento e alteração de cor estão associados, como mostraram os trabalhos de Mugilarasan *et al.* (2017), Cai *et al.* (2018), Ho *et al.* (2020).

Os resultados mostraram que a maior parte dos pellets encontrados são de PE e com tonalidade amarelada, o que pode indicar maior risco, a partir do que se conhece dos estudos efetuados sobre o tema.

Em extensa revisão, Sun *et al.* (2020) destacaram os riscos ecológicos relacionados à transferência de contaminantes dos microplásticos para invertebrados e vertebrados.

A ação ambiental propicia maior ligação entre microplásticos e poluentes orgânicos, principalmente aqueles mais intemperizados, o que é extremamente preocupante em face da crescente presença desses materiais na natureza e a transferência de contaminantes através das cadeias alimentares.

5. CONCLUSÃO

- a) A quantificação dos *pellets* paralelamente à linha d'água, para a zona submersa, apresentou, o maior valor numérico no trecho 9 com 64 *pellets*; seguido do trecho 6 com 3 *pellets*; do trecho 5 com 2 *pellets*; do trecho 4 com 1 *pellet*; do trecho 1; do trecho 2; do trecho 3 e do trecho 8 estes últimos com nenhum *pellet*.

Para a zona “linha do deixa” a maior quantidade ocorreu no trecho 9 com 2226 *pellets*; seguido do trecho 8 com 1852 *pellets*; trecho 5 com 1752 *pellets*; do trecho 4 com 805 *pellets*; do trecho 3 com 779 *pellets*; do trecho 1 com 552 *pellets*; do trecho 6 com 542 *pellets*; do trecho 7 com 519 *pellets* e do trecho 2 com 396 *pellets*.

Para a zona intermediária a maior quantidade ocorreu no trecho 3 com 89 *pellets*; seguido do trecho 1 com 87 *pellets*; do trecho 2 com 86 *pellets*; trecho 4 com 63 *pellets*; do trecho 6 com 62 *pellets*; trecho 5 com 59 *pellets*; trecho 7 com 14 *pellets*; trecho 8 com 11 *pellets* e trecho 9 com 6 *pellets*.

Para a zona seca a maior quantidade ocorreu no trecho 5 com 566 *pellets*; seguido do trecho 4 com 441 *pellets*; trecho 1 com 278 *pellets*; trecho 7 com 179 *pellets*; trecho 6 com 175 *pellets*; trecho 3 com 139 *pellets*; trecho 2 com 100 *pellets*; trecho 8 com 88 *pellets* e trecho 9 com 41 *pellets*.

- b) A quantificação dos *pellets* perpendicularmente à linha d'água apresentou maior abundância na zona “linha do deixa” com 9423 *pellets*; seguida pela zona seca com 2007 *pellets*; da zona intermediária com 477 *pellets* e pela zona submersa com 72 *pellets*.
- c) Com relação à entrada de *pellets*, tomando como marcador a zona “linha do deixa”, a quantidade média da entrada de *pellets* ao longo da praia se mostrou heterogênea, sendo maior no trecho 9 – Ponta da Praia com 742 *pellets*/0,1m³,

seguido do trecho 8 – Canal 6 com 617,33 *pellets*/0,1m³; trecho 5 – Av. Cons. Nébias com 584 *pellets*/0,1m³; trecho 4 – Canal 3 com 268,33 *pellets*/0,1m³; trecho 3 – Av. Ana Costa com 259,67 *pellets*/0,1m³; trecho 1 – Canal 1 com 184 *pellets*/0,1m³; trecho 6 – Canal 4 com 180,67 *pellets*/0,1m³; trecho 7 – Canal 5 com 173 *pellets*/0,1m³ e trecho 2 – Canal 2 com 132 *pellets*/0,1m³.

- d) As zonas onde ocorreram as maiores deposições correspondem à zona “linha do deixa” onde observou-se um total de 9423 *pellets*, seguida da zona seca com um total de 2007 *pellets*. As zonas com as menores deposições correspondem à zona intermediária com um total de 477 *pellets* e a zona submersa com 72 *pellets*.
- e) Quanto à determinação de diferenças estatisticamente significativas na ocorrência de *pellets* paralelamente à praia, a análise do teste Kruskal-Wallis utilizando o fator trecho de praia não evidenciou diferença significativa (qui-quadrado = 2.179, graus de liberdade = 8, valor de p = 0,9751). Quanto à ocorrência de *pellets* perpendicularmente à praia, ao analisar a densidade numérica de *pellets* por zonas, referente ao conjunto de todos os trechos, a análise inicial de Kruskal-Wallis detectou forte diferença significativa (qui-quadrado = 85,015, graus de liberdade = 3, valor de p < 2,2e-16) e o teste de Nemenyi detectou diferenças significativas em todos os níveis (p<0,05)
- f) Quanto a caracterização química e morfológica, cerca de 54% do *pellets* foram compostos por Polietileno de Baixa Densidade; 65% tinham a forma cilíndrica achatado; o tamanho médio foi cerca de 2,1 a 2,5 de altura e 3,6 a 4,0 de diâmetro; 66% tinham coloração amarelo claro e a maior parte dos *pellets* analisados apresentou-se relativamente preservado.

Como 66% dos *pellets* analisados se apresentarem na cor amarelo claro e sabendo-se que a alteração da cor pode estar ligada à adsorção de contaminantes, sugere-se um acompanhamento metódico por parte do poder público visto que os *pellets* analisados foram coletados em praia urbana, largamente utilizada pela população local e por turista, que podem estar expostos indiretamente à

contaminação.

Ainda, os resultados do presente estudo apontaram que a zona deposicional foi deslocada para entre os canais 3 e 4 e que a Ponta da Praia apresenta grande quantidade de *pellets* em vista da proximidade com o canal do estuário, onde ocorre o transporte ativo desse material. Os resultados são incipientes e sugere-se continuidade nesta linha levando em consideração o ciclo sazonal completo, observando-se a forma como ocorrem as deposições de *pellets* nos demais períodos do ano.

Sugere-se, ainda, um acompanhamento de longo prazo e em grande escala espacial, que possa ser conduzido pelo poder público ou entidades privadas, adotando-se os procedimentos de baixo custo do presente estudo com a finalidade de monitorar a entrada e o estoque de *pellets* nas praias da cidade de Santos.

6. TRABALHO SUBMETIDO OU ACEITO PARA PUBLICAÇÃO OU APRESENTAÇÃO DO RELATÓRIO TÉCNICO

COMPROVANTE DA SUBMISSÃO DE ARTIGO À REVISTA CIENTÍFICA

Alexandre Figueira de Pontes Jr,

We appreciate the submission of the manuscript "Spatial variation of plastic pellet abundance on Santos beach, São Paulo, Brazil" to the journal Research, Society and Development.

Follow the progress of your submission through the system administration interface, available at:

Submission URL:

<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/authorDashboard/submission/26800>

Login: alexandrefigueirapontesjr

The article processing charge (APC) of the is R\$ 300,00 (three hundred reais) for brazilian authors and USD 100.00 (one hundred dollars) for the other authors.

The charge information will be sent after the article is accepted.

Contact us also by WhatsApp +55 (11) 98679-6000

**Research, Society and Development
rsdjournal.org**

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPLAST. **Perfil 2015. Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico**, 2015. Disponível em: http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/03/Perfil_Abiplast_web2015.pdf. Acesso em: 03 jun. 2020.

ABIPLAST. **Perfil 2018. Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico**, 2018. Disponível em: http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/10/perfil2018-web_VC.pdf. Acesso em: 15 abr. 2020.

ABIPLAST. **Petroquímicas aderem ao compromisso de perda zero de pellets**. Fev. de 2019. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/noticias/petroquimicas-aderem-ao-compromisso-de-perda-zero-de-pellets/>. Acesso em: 03 jun. 2020.

AGNELLI, J. A. M. Reciclagem de Polímeros: Situação Brasileira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 4, p. 9, 1996.

ALVES, F. A. VIANA, E. UENO, H. M. SIMÕES, A. F. FONSECA, H. F. Caracterização de *pellets* plásticos em praias do litoral norte do estado de São Paulo. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 300-314, 2018.

ANDRADY, A. L. Plastics and their impacts in the marine environment. *In: International Marine Debris Conference on Derelict Fishing Gear and the Ocean Environment*, Hawaii Convention Center, Honolulu, Hawaii, 2000.

ANDRADY, A. L. Microplastics in the marine environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 8, p. 1596-1605, 2011.

ANDRADY, A. L. The plastic in microplastics: A review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 119, n. 1, p. 12-22, 2017.

ANDRADY, A. L.; NEAL, M. A. Applications and societal benefits of plastics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 1977-1984, 2009.

ARAÚJO, B. C.; DE NEGRI, F. Transformados Plásticos. *In: O Núcleo Tecnológico da Indústria Brasileira*. De Negri, J. A; Lemos, M. B. Brasília: IPEA/FINEP: ABDI, v. 2 p. 975, 2011.

ARAÚJO, M. C. B.; COSTA, M. Quali-quantitative analysis of the solid waste at Tamandaré Bay, Pernambuco, Brazil. **Tropical Oceanography**, v. 32, n. 2, p. 159-170, 2004.

BARNES, D. K.; GALGANI, F.; THOMPSON, R. C.; BARLAZ, M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 1985-1998, 2009.

BAZTAN, J.; CARRASCO, A.; CHOUINARD, O.; CLEAUD, M.; GABALDON, J. E.; HUCK, T.; JORGESSEN, B.; MIGUELEZ, A.; PAILLARD, C.; VANDERLINDEN, J. P. (2014). Protected areas in the Atlantic facing the hazards of micro-plastic pollution:

First diagnosis of three islands in the Canary Current. **Marine Pollution Bulletin**, v. 80, n. 1-2, p. 302-311, 2014.

BOX, G.E. Non-normality and tests on variances. **Biometrika**, v. 51, p. 40, p. 3-4.318, 1953.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Secretaria de Qualidade Ambiental. Departamento de Gestão Ambiental Territorial**. Plano Nacional de Combate ao Lixo no Mar. Brasília, DF, 2019. 41 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/publicacoes/>. Acesso em: 05/11/2020.

BROWNE, M. A.; GALLOWAY, T. S.; THOMPSON, R. C. Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 9, p. 3404-3409, 2010.

BROWNE, M. A., CRUMP, P., NIVEN, S. J., TEUTEN, E., TONKIN, A., GALLOWAY, T.; THOMPSON, R. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. **Environmental Science & Technology**, n. 45, p. 9175–9179, 2011.

CAI, L.; WANG, J.; PENG, J.; WU, Z.; TAN, X. Observation of the degradation of three types of plastic pellets exposed to UV irradiation in three different environments. **Science of Total Environment**, v. 628-629, pp. 740-747, 2018.

CONTATORI, C. G. S. **Caracterização de pellets presentes na praia de Cibratel I, Itanhaém, e sua problemática no ambiente marinho**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, São Paulo, 2015.

CARMINATTO, A. A.; MATUCK, C.; FARRABOTI, E.; ADAMI, F. A. C.; KLEIN, J. A.; DOS SANTOS, M. D. G. F.; BARRELLA, W. Deposição dos resíduos sólidos em diferentes marés nas praias de Santos-SP, Brasil. **Unisanta Bioscience**, v. 6, n. 4, p. 233-247, 2017.

CARRIÇO, J. O Plano de Saneamento de Saturnino de Brito para Santos: construção e crise da cidade moderna. **Risco Revista de Pesquisa em Arquitetura E Urbanismo**, n. 22, p. 30-46, 2016.

CARSON, H. S.; LAMSON, M. R.; NAKASHIMA, D.; TOLOUMU, D.; HAFNER, J.; MAXIMENKO, N.; MCDERMID, K. J. Tracking the sources and sinks of local marine debris in Hawai 'i. **Marine Environmental Research**, v. 84, p. 76-83, 2013.

CARVALHO, D. G. de; NETO, J. A. B. Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil. **Ocean & Coastal Management**, v. 128, p. 10-17, 2016.

CLAESSENS, M., DE MEESTER, S., VAN LANDUYT, L., DE CLERCK, K.; JANSSEN, C. R. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 10, p. 2199-2204, 2011.

CORCORAN, P. L.; BIESINGER, M. C.; GRIFI, M. 2009. Plastics and beaches: A degrading relationship. **Marine Pollution Bulletin**, v. 58, p. 80-84.

CORDEIRO, T. C.; BARRELLA, W.; BUTTURI-GOMES, D.; JÚNIOR, M. P. A modeling approach for reposition dynamics of litter composition in coastal areas of the city of Santos, Sao Paulo, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, n. 128, p. 333-339, 2018.

COUTO, J. M. **Entre estatais e transnacionais: o pólo industrial de Cubatão**. Tese (Doutorado em Ciências Econômicas) - Universidade de Campinas, Campinas, São Paulo, 2003.

D'ANTONIO, V. J. A.; PEREIRA, C. D.; SILVA FILHO, J. I. Um método estatístico/paraconsistente de avaliação quantitativo de grânulos plásticos (*pellets*) em praias. **UNISANTA-Science and Technology**, v. 1, n. 2, p. 48-53, 2012.

DEBROT, A. O.; TIEL, A. B.; BRADSHAW, J. E. Beach debris in Curacao. **Marine Pollution Bulletin**, v. 38, n. 9, p. 795-801, 1999.

DUSSUD, C., PUJO-PAY, M., CONAN, P., CRISPI, O., ELINEAU, A., PETIT, S., GORSKY, G.; PEDROTTI, M. L.; FABRE, P.; GHIGLIONE, J. F. Plastic litter: a new habitat for marine microbial communities. MICRO 2016. **Fate and Impact of Microplastics in Marine Ecosystems**, p. 77, 2016.

ENDO, S.; TAKIZAWA, R.; OKUDA, K., TAKADA, H.; CHIBA, K.; KANEHIRO, H.; OGI, H.; YAMASHITA, R.; DATE, T. 2005. Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin *pellets*: Variability among individual particles and regional differences. **Marine Pollution Bulletin**, v. 50, n. 10, p. 1103-1114.

ENGLER, R. E. The complex interaction between marine debris and toxic chemicals in the ocean. **Environmental Science & Technology**, v. 46, n. 22, p. 12302-12315, 2012.

EPA. **Plastics Pellets in the Aquatic Environment: Sources and recommendations**. EPA/842-B-92-010. US Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1992.

FENDALL, L. S.; SEWELL, M. A. Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. **Marine Pollution Bulletin**, v. 58, n. 8, p. 1225-1228, 2009.

FISNER, M.; MAJER, A. P.; BALTHAZAR-SILVA, D.; GORMAN, D.; TURRA, A. Quantifying microplastic pollution on sandy beaches: the conundrum of large sample variability and spatial heterogeneity. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 15, p. 13732-13740, 2017.

FISNER, M.; TANIGUCHI, S.; MAJER, A.P.; BÍCEGO, M.C.; TURRA, A. Concentration and composition of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in plastic pellets: implications for small-scale diagnostic and environmental monitoring. **Marine Pollution Bulletin**, 76, 349-354, 2013.

FISNER, M. **Avaliação da toxicidade de resíduos sólidos plásticos (Pellets) encontrados em praias arenosas da Baixada Santista**. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2012.

FOTOPOULOU, K.N.; KARAPANAGIOTI, H.K. Surface properties of beached plastic pellets. **Marine Environmental Research**, v. 81, pp. 70-77, 2012.

FUNDESPA. Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas. **Programa 8: Programa de monitoramento do perfil praial**, p. 161, 2012. Disponível em: http://dragagem.portodesantos.com.br/porta/public/docs/perfil_praial/relatorio_4.pdf. Acesso em: 21/06/2020.

FUNDESPA. Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas. **Plano Básico Ambiental da Dragagem de Aprofundamento do Porto de Santos**. Relatório do monitoramento dos sedimentos da superfície do fundo e caracterização do transporte sedimentar residual no setor nordeste da Baía de Santos, Amostragem de 2013. Codesp/Fundespa, 20014

GANDINI, F. A erosão na Ponta da Praia – Uma breve história das causas, efeitos e bastidores administrativos. **Boletim Eletrônico Instituto Maramar**. ago. 2020. Disponível em <https://www.maramar.org.br/a-erosao-na-ponta-da-praia/>. Acesso em: 20 de jun. de 2021.

GARSDIE, M. **Produção de plásticos em todo o mundo de 1950 a 2018 (em milhões de toneladas métricas)**. Statista, ago. 2020. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>. Acesso em: 10 de mai. 2020.

GREGORY, M. R. Environmental implications of plastic debris in marine settings-entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 364, n. 1526, p. 2013-2025, 2009.

GUTJAHR, M. R.; RABELLO, J. F.; GOMES, M. D. L. F.; JESUS, M. Estudos históricos de eventos climáticos extremos na Baixada Santista-SP Brasil. **VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física**, Universidade de Coimbra, 2010.

HARARI, J.; CAMARGO, R. D. Modelagem numérica da região costeira de Santos (SP): circulação de maré. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 46, n. 2, p. 135-156, 1998.

HARARI, J.; GORDON, M. Simulações numéricas da dispersão de substâncias no Porto e Baía de Santos, sob a ação de marés e ventos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 4, p. 115-131, 2001.

HEO, N. W.; HONG, S. H.; HAN, G. M.; HONG, S.; LEE, J.; SONG, Y. K.; JANG, M.; SHIM, W. J. Distribution of small plastic debris in cross-section and high strandline on heungnam beach. **Ocean Science Journal**, v. 48, n. 2, p. 225-233, 2013.

HIDALGO-RUZ, V.; GUTOW, L.; THOMPSON, R. C.; THIEL, M. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. **Environmental Science & Technology**, v. 46, n. 6, p. 3060-3075, 2012.

HIDALGO-RUZ, V.; THIEL, M. Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): a study supported by a citizen science project. **Marine Environmental Research**, v. 87, p. 12-18, 2013.

HILBE, J.M. **A review of SYSTAT 11**. The American Statistician, v. 59, n. 1, p. 104-110, 2005.

HIRATA, G.; VIANA, E.; FONSECA FILHO, H.; UENO, H. M.; SIMÕES, A. F. Caracterização de *pellets* plásticos na Praia do Tombo, município do Guarujá, SP, Brasil. **Revista Internacional de Ciências**, v. 7, n. 2, p. 202-216, 2017.

HO, W.-K.; LAW, J.C.-F.; ZHANG, T.; LEUNG, K.S.-Y. Effects of weathering on the sorption behavior and toxicity of polystyrene microplastics in multi-solute systems. *Water Research*, v. 187, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116419>

HOLMES, L. A.; TURNER, A.; THOMPSON, R. C. Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment. **Environmental Pollution**, v. 160, p. 42-48, 2012.

IZAR, G. M.; MORAIS, L. G.; PEREIRA, C. D. S.; CESAR, A.; ABESSA, D. M. S.; CHRISTOFOLETTI, R. A. Quantitative analysis of pellets on beaches of the São Paulo coast and associated non-ingested ecotoxicological effects on marine organisms. **Regional Studies in Marine Science**, 29, 100705, 2019.

JONES, F. **A ameaça dos microplásticos**. Revista FAPESP, São Paulo: edição 281, jul. 2019. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/a-ameaca-dos-microplasticos/>. Acesso em: 03 jun. 2020.

KARLSSON, T. M. *et al.* The unaccountability case of plastic pellet pollution. **Marine pollution bulletin**, v. 129, n. 1, p. 52-60, 2018.

KARAPANAGIOTI, H. K.; KLONTZA, I. Investigating the properties of plastic resin pellets found in the coastal areas of Lesbos Island. *Global nest*. **The international Journal**, v. 9, n. 1, p. 71-76, 2007.

KERSHAW, P. J.; ROCHMAN, C. M. **Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part 2 of a global assessment**. Reports and Studies-IMO/FAO/Unesco-IOC/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP) Eng No. 93, 2015.

KUSUI, T.; NODA, M. International survey on the distribution of stranded and buried litter on beaches along the Sea of Japan. **Marine Pollution Bulletin**, v. 47, n. 1-6, p. 175-179, 2003.

LIMA, Gabriel Hirata de. **Caracterização e taxa de entrada de *pellets* plásticos na praia do Tombo do município de Guarujá - SP**. Trabalho de Conclusão de Curso

(Escola de Artes, Ciências e Humanidades) - Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2012.

MAGINI, C.; HARARI, J.; ABESSA, D. M. D. S. Circulação recente de sedimentos costeiros nas praias de Santos durante eventos de tempestades: dados para a gestão de impactos físicos costeiros. **Geociências**, p. 349-355, 2007.

MANZANO, A. B. **Distribuição, taxa de entrada, composição química e identificação de fontes de grânulos plásticos na Enseada de Santos, SP, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2009.

MARINHA DO BRASIL. **Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha. Tábuas de Maré**, 2020. Disponível em: www.marinha.mil.br/dhn/node. Acesso em: 20 de jan. 2020.

MARTINS, J.; SOBRAL, P. Plastic marine debris on the Portuguese coastline: a matter of size?. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 12, p. 2649-2653, 2011.

MATO, Y.; ISOBE, T.; TAKADA, H.; KANEHIRO, H.; OHTAKE, C.; KAMINUMA, T. Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. **Environmental Science & Technology**, v. 35, n. 2, p. 318-324, 2001.

MCDERMID, K. J.; MCMULLEN, T. L. 2004. Quantitative analysis of small-plastic debris on beaches in the Hawaiian archipelago. **Marine Pollution Bulletin**, v. 48, n. 7-8, p. 790-794.

MENDA, M. **Plásticos: Química Viva**, 2016. Disponível em: http://www.crq4.org.br/quimicaviva_plasticos. Acesso em: 03 jun. 2020.

MORÉT-FERGUSON, S., LAW, K. L., PROSKUROWSKI, G., MURPHY, E. K., PEACOCK, E. E.; REDDY, C. M. The size, mass, and composition of plastic debris in the western North Atlantic Ocean. **Marine Pollution Bulletin**, v. 60, n. 10, p. 1873-1878, 2010.

MOREIRA, F. T.; BALTHAZAR-SILVA, D.; BARBOSA, L.; TURRA, A. Revealing accumulation zones of plastic pellets in sandy beaches. **Environmental Pollution**, v. 218, p. 313-321, 2016.

MUGILARASAN, M.; VENKATACHALAPATHY, R.; SHARMILA, N.; GURUMOORTHY, K. Occurrence of microplastic resin pellets from Chennai and Tinnakkara Island: towards the establishment of background level for plastic pollution. **Indian Journal of Geo Marine Sciences**, v. 46, n. 06, pp. 1210-1212, 2017.

NG, K. L.; OBBARD, J. P. Prevalence of microplastics in Singapore's coastal marine environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 52, n. 7, p. 761-767, 2006.

NOBRE, C. R. **Avaliação da toxicidade de microplásticos em matrizes ambientais utilizando invertebrados marinhos.** Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de

Ecossistemas Costeiros e Marinhos) - Universidade Santa Cecília, Santos, São Paulo, 2016.

OGATA, Y. A.; TAKADA, H. A.; MIZUKAWA, K. A.; HIRAI, H. A.; IWASA, S. A.; ENDO, S. A.; MATO, Y. A.; SAHA, M. A.; OKUDA, K. A.; NAKASHIMA, A. A.; MURAKAMI, M. B.; ZURCHER, N. C.; BOOYATUMANONDO, R. D.; ZAKARIA, M. P. E.; DUNG, L. Q. F.; GORDON, M. G.; MIGUEZ, C. H.; SUZUKI, S. I.; MOORE, C. J.; KARAPANAGIOTI, H. K. K.; WEERTS, S. L.; MCCLURG, T. L.; BURRESM, E.; SMITH, W. N.; VAN VELKENBURG, M. O.; LANG, J. S. P.; LANG, R. C. P.; LAURSEN, D. Q.; DANNER, B. R.; STEWARDSON, N. S.; THOMPSON, R. C. T. 2009. International Pellet Watch: Global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs. **Marine Pollution Bulletin**, v. 58, p. 1437-1446.

ORLANDI, N.; ARANTES, V.; BARRELLA, W. Os resíduos sólidos encontrados na praia de Santos-SP. **Unisanta Bioscience**, v. 4, n. 2, p. 83 - 89, 2015.

PEDROSA R. A.; MOSCHIN A.; GIORDANO F. Lixo marinho - levantamento de resíduos sólidos nas praias de Santos - SP. **Unisanta Bioscience**, v. 5 n. 2 p. 176-185, 2016.

PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais**. Alagoas: Editora da Universidade Federal de Alagoas, 2005.

PLASTIVIDA. **Manual Perda Zero de Pellets**. Por um mar limpo - Fórum Setorial Dos Plásticos. Ago. de 2018. Disponível em: http://www.plastivida.org.br/images/temas/Manual_Perda_Zero_de_Pellets_Digital.pdf. Acesso em: 03 jun. 2020.

PRATA, J. C.; DA COSTA, J. P.; DUARTE, A. C.; ROCHA-SANTOS, T.. Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: a critical review. **TrAC Trends in Analytical Chemistry** , v. 110, p. 150-159, 2019.

PREFEITURA DE SANTOS. **Após anos de perda, Ponta da Praia retém areia com obra contra erosão**. Santos, 2018. Disponível em: <https://www.santos.sp.gov.br/?q=noticia/apos-anos-de-perda-ponta-da-praia-retem-areia-com-obra-contra-erosao>. Acesso em: 20 jun. 2021.

RIBEIRO, V. V. Densidade, taxa de entrada e análise morfológica de *pellets* plásticos na praia de Santa Cruz dos Navegantes, Guarujá-SP. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 29, n. 1, 2019.

RIBEIRO, V. V. Índice de Poluição por *Pellets* (IPP) na Baía de Santos (SP) no inverno de 2019. **Revista Sítio Novo**, v. 4, n. 2, p. 102-111, 2020.

RIOS, L. M., JONES, P. R., MOORE, C.; NARAYAN, U. V. Quantitation of persistent organic pollutants adsorbed on plastic debris from the Northern Pacific Gyre's "eastern garbage patch". **Journal of Environmental Monitoring**, v. 12, n. 12, p. 2226-2236, 2010.

SILVA, P. P. G. **Contaminação e toxicidade de microplásticos em uma área de proteção marinha costeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2016.

SILVA-BALTHAZAR, D. **Spatial distribution, input and dispersion of plastic pellets in coastal zones**. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, p. 13, 2016.

SPINACÉ, M. A. D. S.; DE PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química nova**, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.

SUN, Y.; YUAN, J.; ZHOU, T.; ZHAO, Y.; YU, F.; MA, J. Laboratory simulation of microplastics weathering and its adsorption behaviors in an aqueous environment: A systematic review. *Environmental Pollution*, v. 265, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114864>

TAGG, A. S.; DO SUL, J. A. I. Is this your glitter? An overlooked but potentially environmentally-valuable microplastic. **Marine Pollution Bulletin**, v. 146, p. 50-53, 2019.

TANIGUCHI, S.; COLABUONO, F. I.; DIAS, P. S.; OLIVEIRA, R.; FISNER, M.; TURRA, A.; IZAR, G. M.; ABESSA, D. M. S.; SAHA, M.; HOSODA, J.; YAMASHITA, R.; TAKADA, H.; LOURENÇO, R. A.; MAGALHÃES, C. A.; BÍCEGO, M. C.; MONTONE, R. C. Spatial variability in persistent organic pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons found in beach-stranded pellets along the coast of the state of São Paulo, southeastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 106, n. 1-2, p. 87-94, 2016.

TURRA, A.; MANZANO, A. B.; DIAS, R. J. S.; MAHIQUES, M. M.; BARBOSA, L.; BALTHAZAR-SILVA, D.; MOREIRA, F. T. Three-dimensional distribution of plastic pellets in sandy beaches: shifting paradigms. **Scientific Reports**, n. 4, p. 4435, 2014.

VASCONCELOS, Y. **Planeta Plástico**. Revista FAPESP, São Paulo, edição 281, jul. 2019. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/planeta-plastico/>. Acesso em: 15 de abr. 2020.

VENANCIO, K. K. **Evolução hidromorfodinâmica da região da Ponta da Praia em Santos-SP, no período entre 2009 e 2017**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2018.

WILLIAMS, A. T.; TUDOR, D. T.; GREGORY, M. R. Marine debris-onshore, offshore, seafloor litter. **Encyclopedia Of Coastal Science**, p. 623-628, 2005.

ZALASIEWICZ, J.; WATERS, C. N.; DO SUL, J. A. I.; CORCORAN, P. L.; BARNOSKY, A. D.; CEARRETA, A.; EDGEWORTH, M.; GAŁUSZKA, A.; JEANDEL, C.; LEINFELDER, R.; MCNEILL, J. R.; STEFFENL, W.; SUMMERHAYES, C.; WAGREICH, M.; WILLIAMS, M.; WOLFE, A. P.; YONANA, Y. The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the Anthropocene. **Anthropocene**, v. 13, p. 4-17, 2016.

ZANDVOORT, M. H.; VAN HULLEBUSCH, E. D.; FERMOSO, F. G.; LENS, P. N. L. Trace metals in anaerobic granular sludge reactors: bioavailability and dosing strategies. **Engineering in Life Sciences**, v. 6, n. 3, p. 293-301, 2006.

ZAR, J.H. **Biostatistical Analysis**. New Jersey, Prentice-Hall, 5^a Ed., 663p, 2010.

ZETTLER, E. R.; MINCER, T. J.; AMARAL-ZETTLER, L. A. Life in the “plastisphere”: microbial communities on plastic marine debris. **Environmental Science & Technology**, 47(13), 7137-7146, 2013.

ZHANG, H. Transport of microplastics in coastal seas. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 199, p. 74-86, 2017.