



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE – CAMPUS FORTALEZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL

PAULO RUBENS MELO CAMELO

AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE MICROPLÁSTICOS E DADOS
GEOTÉCNICOS DA AREIA DA PRAIA DO FUTURO EM FORTALEZA, CEARÁ,
BRASIL

FORTALEZA

2023

PAULO RUBENS MELO CAMELO

AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE MICROPLÁSTICOS E DADOS GEOTÉCNICOS
DA AREIA DA PRAIA DO FUTURO EM FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – *Campus* Fortaleza, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental. Área de concentração: Gestão e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Fábio Porto de Aguiar.

Coorientadora: Profa. Dra. Juceline Batista dos Santos Bastos.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Instituto Federal do Ceará - IFCE

Sistema de Bibliotecas - SIBI

Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C181a Camelo, Paulo Rubens Melo.

Avaliação da Ocorrência de Microplásticos e Dados Geotécnicos da Areia da Praia do Futuro em Fortaleza, Ceará, Brasil / Paulo Rubens Melo Camelo. - 2023.

156 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental, Campus Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Marcos Fábio Porto de Aguiar.

Coorientação: Profa. Dra. Juceline Batista dos Santos Bastos.

1. Ocorrência de Microplásticos. 2. Dados Geotécnicos. 3. Caracterização de solos. 4. Areia de Praia. I. Título.

CDD 628



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
Av. 13 de maio, 2081 - Bairro Benfica - CEP 60040-531 - Fortaleza - CE - www.ifce.edu.br

AVALIAÇÃO

Processo: 23256.016085/2023-46

Interessado: Marcos Fabio Porto de Aguiar

PAULO RUBENS MELO CAMELO

“AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE MICROPLÁSTICOS E PARÂMETROS GEOTÉCNICOS NA AREIA DA PRAIA DO FUTURO EM FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL”

*Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)
- Campus Fortaleza, como requisito parcial para obtenção do
Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.
Área de concentração: Gestão e Saneamento Ambiental*

Aprovada em: 22/11/2023

Prof. Dr. Marcos Fábio Porto de Aguiar (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFC)

Prof. Dr. Alfran Sampaio Moura
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Documento assinado digitalmente
gov.br ALFRAN SAMPAIO MOURA
Data: 12/12/2023 19:21:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Documento assinado digitalmente
gov.br MARCELO DE OLIVEIRA SOARES
Data: 11/12/2023 18:37:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Fabio Porto de Aguiar, Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 07/12/2023, às 09:34, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade do documento pode ser conferida no site

https://sei.ifce.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0
informando o código verificador **5639444** e o código CRC **128EFB30**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e meus pais pelo dom da vida. Minha esposa, Thayná Viviam, pelo apoio e compreensão em relação aos dias e noites que passei na frente do computador e por seu amor. À querida professora Glória Marinho, a quem tenho sentimentos fraternais. Aos meus orientadores Marcos Porto e Juceline Bastos pelo apoio, direcionamento e presente dado com o tema desta pesquisa. À minha colega de turma Lívia Ingrid pelo apoio e diálogo na elaboração de alguns resultados e neste ciclo. Aos bolsistas do laboratório de materiais de construção civil, Arthur, Leandro e Paula. Aos bolsistas do laboratório de mecânica dos solos e pavimentação, Elias, Carol, Carlos. Aos bolsistas do grupo de pesquisa em geotecnia, Gabriel, Kauã, Dara, Vitória, Judite e Giliane. À professora Raphaelle pelo apoio em algumas análises. Ao laboratório de raios-x e ao professor Sasaki pelas informações oferecidas. Ao técnico Roberto e ao laboratório de mecânica dos solos e pavimentação da Universidade Federal do Ceará. Ao técnico Wollker e professor Diones e ao laboratório de geologia do campus da UFC em Crateús. À técnica Rafaela, ao professor Nonato e ao laboratório de química do Instituto Federal do Ceará campus Crateús.

RESUMO

No âmbito da geotecnia ambiental, a análise das propriedades do solo desempenha um papel crucial na resolução de diversas questões, como a erosão de encostas e as condições necessárias para o desenvolvimento de espécies. Nos últimos anos, tem-se observado um aumento nas pesquisas voltadas para a caracterização de sedimentos costeiros e o impacto de agentes poluentes, como o estudo dos *habitats* de espécies, derramamentos de óleo e a presença de microplásticos. Este estudo tem como objetivo realizar uma investigação sobre a presença de microplásticos nos sedimentos da Praia do Futuro, localizada em Fortaleza, Ceará. Adicionalmente, são identificadas as propriedades geotécnicas desses sedimentos. Para tanto, 21 amostras foram coletadas em três pontos distintos. Foram conduzidos ensaios *in situ* e em laboratório para determinação da massa específica aparente, umidade natural, densidade real dos grãos, índices de vazios máximos e mínimos, análise granulométrica, permeabilidade, ensaios de cisalhamento direto, análises químicas e mineralógicas, seguindo metodologias de referência reconhecidas. Os resultados obtidos revelaram a ocorrência de concentrações elevadas de microplásticos em comparação com outros locais pesquisados no Brasil e no exterior. A densidade real dos grãos correspondeu às características mineralógicas do sedimento. A classificação da areia foi determinada como mal graduada conforme as especificações do Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS). Foi observado que a areia da Praia do Futuro apresenta dois padrões de ocorrência, sendo que todas as áreas amostradas se encontram em um estado fofo. Os resultados de permeabilidade estão em consonância com a classificação granulométrica, o estado de compactação da areia e a forma dos grãos. O grau de saturação e a porosidade estão em concordância com os valores encontrados na literatura. Os resultados dos ensaios de cisalhamento estão em conformidade com as características esperadas para areias quartzosas no estado fofo.

Palavras-chave: Ocorrência de Microplásticos; Dados Geotécnicos; Caracterização de solos; Areia de Praia.

ABSTRACT

In the context of environmental geotechnics, the analysis of soil properties plays a crucial role in addressing various issues, such as slope erosion and the necessary conditions for species development. In recent years, there has been an increase in research focused on the characterization of coastal sediments and the impact of pollutants, such as the study of species habitats, oil spills, and the presence of microplastics. This study aims to investigate the presence of microplastics in the sediments of Praia do Futuro, located in Fortaleza, Ceará. Additionally, the geotechnical properties of these sediments are identified. To achieve this, 21 samples were collected at three different points. In situ and laboratory tests were conducted to determine apparent specific mass, natural moisture, real grain density, maximum and minimum void ratios, particle size analysis, permeability, direct shear tests, chemical and mineralogical analyses, following recognized reference methodologies. The results revealed the occurrence of elevated concentrations of microplastics compared to other researched locations in Brazil and abroad. The real grain density corresponded to the mineralogical characteristics of the sediment. The sand classification was determined as poorly graded according to the Unified Soil Classification System (USCS) specifications. It was observed that the sand of Praia do Futuro exhibits two occurrence patterns, with all sampled areas in a loose state. Permeability results align with particle size classification, sand compactness, and grain shape. The degree of saturation and porosity are consistent with values found in the literature. Shear test results conform to expected characteristics for loose quartz sands.

Keywords: Microplastics Occurrence; Geotechnical Data; Soil Characterization; Beach Sand.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização dos pontos amostrais	41
Figura 2 - Demarcação da área de coleta	43
Figura 3 - Transferência da areia para o saco de ráfia.....	43
Figura 4 - Amostras em solução de NaCl.....	45
Figura 5 - Equipamento para separação por densidade	46
Figura 6 - Sistema de filtragem a vácuo	46
Figura 7 - Membrana filtrante	47
Figura 8 - Microscópio	47
Figura 9 - Cravação do cilindro	49
Figura 10 - Extração do cilindro de cravação	50
Figura 11 - Coleta da areia.....	50
Figura 12 – Pesagem de areia obtida do cilindro de cravação.....	51
Figura 13 - Picnômetros para densidade real.....	52
Figura 14 - Agitador de peneiras	54
Figura 15 - Equipamento para determinação de vazios máximos.....	56
Figura 16 - Procedimento para determinação da massa específica aparente seca mínima	57
Figura 17 - Cilindro Proctor para determinação de vazios máximo	58
Figura 18 - Equipamento de pluviação com peneiramento múltiplo	60
Figura 19 - Etapas do procedimento de pluviação	61
Figura 20 - Determinação $e_{\min}$ (ABNT, 2020b)	62
Figura 21 - Curva de calibração mesa vibratória.....	63
Figura 22 - Conjunto ensaio de permeabilidade.....	65
Figura 23 - Aggregate Image Measurement System.....	67
Figura 24 - Objetos encontrados	74
Figura 25 - Objeto por tipo.....	75
Figura 26 - Objetos por cor.....	76
Figura 27 - Feições encontradas.....	77
Figura 28 - Concentrações observadas no Brasil.....	79
Figura 29 - Concentrações observadas no mundo.....	80
Figura 30 - Umidade natural.....	81
Figura 31 - Massa específica aparente natural	83

Figura 32 - Massa específica aparente seca natural	84
Figura 33 - Massa específica aparente seca mínima	86
Figura 34 - Massa específica aparente seca máxima	87
Figura 35 - Massa específica aparente seca máxima (ABNT, 2020b)	88
Figura 36 - Densidade real	89
Figura 37 - Análise granulométrica Ponto 1	90
Figura 38 - Análise granulométrica Ponto 2	91
Figura 39 - Análise granulométrica Ponto 3	91
Figura 40 - Diâmetro efetivo	92
Figura 41 - Diâmetro médio	93
Figura 42 - Coeficiente de não uniformidade	94
Figura 43 - Coeficiente de curvatura	95
Figura 44 - Frações granulométricas	96
Figura 45 - Percentual de areia média	97
Figura 46 - Percentual de areia fina	97
Figura 47 - Índice de vazios natural	99
Figura 48 - Índice de vazios máximo	101
Figura 49 - Índice de vazios mínimo (Miura; Toki, 1982)	103
Figura 50 - Índice de vazios mínimo (ABNT, 2020b)	104
Figura 51 - Compacidade relativa	106
Figura 52 - Grau de saturação	108
Figura 53 - Porosidade	109
Figura 54 - Permeabilidade	111
Figura 55 - Ângulo de atrito por ponto	113
Figura 56 - Captura realizada pelo AIMS	114
Figura 57 - DRX amostra 2.4	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Polímeros, densidades e aplicações	23
Tabela 2 - Resumo dos trabalhos sobre microplásticos	31
Tabela 3 - Parâmetros encontrados em outras pesquisas.	39
Tabela 4 - Amostragem	42
Tabela 5 - Resumo análises executadas	44
Tabela 6 - Relação das frações e diâmetros dos grãos	53
Tabela 7 - Razões entre os diâmetros das peneiras utilizadas no método MSP e o D50 da amostra e quantidade de peneiras utilizadas e sua sequência, por diferentes autores	59
Tabela 8 - Valores típicos de condutividade hidráulica	66
Tabela 9 - Classificação quanto à forma, textura, esfericidade e angularidade	69
Tabela 10 - Teste de normalidade Shapiro-Wilk (continua)	71
Tabela 11 - Teste de normalidade Shapiro-Wilk (conclusão)	72
Tabela 12 - Teste de homogeneidade das variâncias (Levene)	73
Tabela 13 - Teste Post-Hoc de Tukey – Microplásticos	74
Tabela 14 - Teste de comparações múltiplas - Umidade	81
Tabela 15 - Teste Post-Hoc de Tukey – Massa específica aparente natural	83
Tabela 16 - Teste Post-Hoc de Tukey - Massa específica aparente seca natural.....	85
Tabela 17 - Teste de comparações múltiplas - Massa específica aparente seca mínima	86
Tabela 18 - Teste de comparações múltiplas - Massa específica aparente seca máxima.....	87
Tabela 19 - Teste de comparações múltiplas - Densidade real	89
Tabela 20 - Teste de comparações múltiplas - Diâmetro efetivo.....	92
Tabela 21 - Teste de comparações múltiplas - Diâmetro médio	93
Tabela 22 - Teste de comparações múltiplas - Coeficiente de não uniformidade	94
Tabela 23 - Teste de comparações múltiplas - Coeficiente de curvatura.....	95
Tabela 24 - Classificação das partículas do solo	96
Tabela 25 - Teste de comparações múltiplas - Percentual de areia média.....	97
Tabela 26 - Teste de comparações múltiplas - Percentual de areia fina.....	98
Tabela 27 - Teste Post-Hoc de Tukey - Índice de vazios natural	100
Tabela 28 - Teste de comparações múltiplas - Índice de vazios máximo	101

Tabela 29 - Teste de comparações múltiplas - índice de vazios mínimo	103
Tabela 30 - Descrição qualitativa dos depósitos de solo granular.....	105
Tabela 31 - Teste Post-Hoc de Tukey - compactidade relativa.....	106
Tabela 32 - Teste de comparações múltiplas - Saturação	108
Tabela 33 - Teste Post-Hoc de Tukey - Porosidade.....	110
Tabela 34 - Dados de permeabilidade	111
Tabela 35 - Teste de comparações múltiplas - Permeabilidade.....	112
Tabela 36 - Dados do ensaio de cisalhamento	113
Tabela 37 - Resultados de angularidade e forma 2D	115
Tabela 38 - FRX amostra 2.4	116

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Considerações iniciais.....	15
1.2	Objetivos	16
1.2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	16
1.2.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	16
1.3	Estrutura da dissertação	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Contexto ambiental	18
2.1.1	<i>Proteção a zona costeira</i>	18
2.1.2	<i>Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS</i>	20
2.2	Microplásticos	22
2.3	Areias	32
3	MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1	Metodologia	40
3.2	Coleta de solos.....	40
3.3	Métodos.....	44
3.3.1	<i>Extração de microplásticos.....</i>	45
3.3.2	<i>Umidade natural</i>	48
3.3.3	<i>Massa específica aparente in situ.....</i>	48
3.3.4	<i>Densidade real</i>	52
3.3.5	<i>Granulometria.....</i>	53
3.3.6	<i>Índices de vazios</i>	55
3.3.6.1	Índice de vazios máximo	56
3.3.6.2	Índice de vazios mínimo (Miura; Toki, 1982)	58
3.3.6.3	Índice de vazios mínimo (ABNT, 2020b)	61
3.3.7	<i>Permeabilidade</i>	63
3.3.8	<i>Cisalhamento direto</i>	66
3.3.9	<i>Angularidade e forma 2D</i>	66
3.3.10	<i>Análise elementar e mineralógica.....</i>	69
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
4.1	Análise estatística	71

4.2	Ocorrência de microplásticos	74
4.3	Umidade natural	80
4.4	Massas específicas	82
4.4.1	<i>Massa específica aparente natural</i>	82
4.4.2	<i>Massa específica aparente seca natural</i>	84
4.4.3	<i>Massa específica aparente seca mínima</i>	85
4.4.4	<i>Massa específica aparente seca máxima</i>	87
4.5	Densidade real	88
4.6	Granulometria	90
4.7	Resultados obtidos por relações matemáticas de índices físicos.....	99
4.7.1	<i>Índice de vazios</i>	99
4.7.1.1	Índice de vazios natural	99
4.7.1.2	Índice de vazios máximo	100
4.7.1.3	Índice de vazios mínimo (Miura; Toki, 1982)	102
4.7.1.4	Índice de vazios mínimo (ABNT, 2020b)	104
4.7.2	<i>Compacidade Relativa</i>	104
4.7.3	<i>Grau de Saturação</i>	106
4.7.4	<i>Porosidade</i>	108
4.8	Permeabilidade	110
4.9	Cisalhamento direto	112
4.10	Angularidade e forma 2D	114
4.11	Análise elementar e mineralógica	116
5	CONCLUSÃO	118
6	RECOMENDAÇÕES	120
	REFERÊNCIAS	122
	APÊNDICE A – CURVAS ABERTURA DO FUNIL X ÍNDICE DE VAZIOS	133
	APÊNDICE B – RESULTADOS FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X	141
	APÊNDICE C – DIFRATOGRAMAS DE FASES	146

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Em geotecnia, há a necessidade da caracterização de vários tipos de solos com a finalidade de investigar comportamentos diante de solicitações diversas. Para Oliveira Neto (2016), conhecer as características físicas de uma localidade é necessário para se compreender o dinamismo do ambiente e para planejar as formas adequadas de como a sociedade poderá aproveitar os recursos naturais existentes, reduzindo impactos de grandes volumes, a exemplo: a degradação das águas e dos solos. Para Goldbach (2016), o entendimento do comportamento se torna cada vez mais importante diante do crescimento de obras de infraestrutura no Brasil, e que a partir da caracterização e do conhecimento do comportamento de um solo, a elaboração de projetos e estudos são otimizados, o que faz com que haja economia e uma análise mais precisa da problemática.

No mundo, diversas pesquisas são realizadas com a finalidade de caracterizar e determinar características físicas e hidráulicas de diversos solos. A exemplo de Guia (2018), que caracterizou o comportamento da Areia de Coimbra, Portugal, e a comparou com areias de referência de outros pesquisadores em diferentes locais: Areia de Leighton Buzzard, Inglaterra; Areia de Toyoura, Japão; Areia de Nevada, EUA; e Areia de Hostun, França. Os estudos sobre comportamentos de solos no Brasil não são diferentes dos outros lugares do mundo, como se pode ver nos trabalhos de Goldbach (2016), que caracterizou a areia da Praia de Copacabana, Nunes (2014) que caracterizou a areia da Praia de Itaipuaçu, Simões (2015), Costa (2020) e Soares (2021) que realizaram estudos de caracterização e comparação com areias da Praia de Ipanema, no estado do Rio de Janeiro.

Outros problemas ambientais foram investigados. Sherman e Douglas (1990) e Wiggs, Baird e Atherton (2004) analisaram a influência de condições geotécnicas no transporte de sedimentos. Tuijnman *et al.* (2020) observaram variáveis que envolvem a erosão costeira. Sassa *et al.* (2014) verificaram quais condições geotécnicas se relacionavam com o desenvolvimento de espécies costeiras.

Vários trabalhos foram publicados sobre a temática de estudos dos sedimentos de costas relacionados com outros contaminantes, a exemplo Thompson *et al.* (2004), Hidalgo-Ruz *et al.* (2012), Stolte *et al.* (2015), Yu *et al.* (2016), Besley *et al.* (2017) e

entre outros que realizaram estudos envolvendo a ocorrência de microplásticos em areias de praias, bem como Oliveira (2016) que estudou as variações da permeabilidade ao óleo em praias arenosas baseado nas Especificações e Normas Técnicas Para Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo (BRASIL, 2007). Câmara *et al.* (2021), Campelo *et al.* (2021) e Nunes *et al.* (2023) avaliaram os impactos do derramamento de óleo que ocorreu no litoral brasileiro em 2020 que geraram impactos socioeconômicos e ambientais ao atingir as comunidades que sobrevivem dos recursos marinhos e nas cadeias alimentares marinhas. Os trabalhos mencionados e outros da área de estudo consideram poucos, às vezes nenhum, parâmetros geotécnicos em suas conclusões ou sugestões.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Esta pesquisa, por meio de ensaios de laboratório e de campo, tem como objetivo avaliar a forma e a quantidade de microplásticos presentes no sedimento e uma caracterização física de faixa de valores geotécnicos, composição mineralógica e química da areia da Praia do Futuro em Fortaleza, Ceará.

1.2.2 Objetivos específicos

Foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar e quantificar as formas do microplásticos que foram encontrados;
- b) Identificar as características físicas e mecânicas da areia no seu estado natural;
- c) Determinar o comportamento hidráulico da areia da Praia do Futuro por meio de ensaios laboratoriais;
- d) Contribuir para construção de um banco de dados sobre as características físicas de areias brasileiras.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma. No capítulo 2, uma revisão bibliográfica a respeito da proteção de ambientes costeiros é explanada. Em seguida, é mostrado o panorama atual das pesquisas de investigação da ocorrência de microplásticos em sedimentos. Posteriormente, uma revisão dos estudos que relacionam areias em regiões costeiras com o meio ambiente é apresentada. No capítulo 3, é apresentada a metodologia utilizada para cada etapa da execução da pesquisa, desde a coleta até a realização dos ensaios de laboratório para obtenção de dados das 21 amostras coletadas em três pontos amostrais na Praia do Futuro em Fortaleza/CE. O capítulo 4 descreve os resultados da etapa experimental a respeito das 12 análises com as 21 amostras, *in situ* e laboratorial, são apresentados em gráficos e tabelas para análise e fundamentação da discussão no contexto da pesquisa. Os resultados são comparados com dados de outras pesquisas e investigadas semelhanças entre os materiais de estudos. O capítulo 5 apresenta as conclusões da pesquisa. Por fim, os potenciais estudos identificados durante a pesquisa bibliográfica e experimental são apresentados como sugestões de pesquisas futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo discorre sobre a bibliografia que embasou esta pesquisa, apresentando diretrizes ambientais e pesquisas em que o objeto de análise foram areias de praias e ocorrência de microplásticos.

2.1 Contexto ambiental

Estabelecida a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), foram dispostos princípios para um desenvolvimento sustentável, bem como instrumentos de gestão ambiental e diretrizes com a finalidade de alcançar os objetivos da política (BRASIL, 1981). A Constituição Federal descreve a comum competência de proteção ao meio ambiente pela União, Estados, Distrito Federal e Municípios. Preservando as florestas, a fauna e a flora (BRASIL, 1988a).

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) tratam do eixo principal da agenda 2030, direcionando ações com metas que mostram o caminho e as medidas para alcançar o desenvolvimento sustentável (IPEA, 2018).

Dessa forma, os estados membros da Organização das Nações Unidas (ONU) elaboraram em 2015 um plano de ações que, além da sustentabilidade ambiental, visa a inclusão social e o desenvolvimento econômico. Para o cumprimento do documento “Transformando nosso mundo: Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável”, foram estabelecidos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com 169 metas e número elevado de indicadores com o intuito de monitorar e avaliar as transformações (ONU, 2015). Deste modo, governos, empresas e organizações da sociedade civil estão destinando recursos e promovendo ações para combate na redução de impactos negativos aos ecossistemas ambientais.

2.1.1 *Proteção a zona costeira*

Diante da necessidade de discutir os rumos a seguir para o desenvolvimento sustentável, uma das primeiras discussões para abordar o assunto foi a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, ou Conferência de Estocolmo, em 1972, que trouxe à pauta o princípio do cuidado com os mares em consequência de poluições por substâncias nocivas ao homem e à biota, ou até mesmo possíveis danos

em regiões recreativas ou de usos legitimados das águas (UNCHE, 1972). Com isso, outras conferências e convenções ocorreram para discutir possíveis poluições e contaminações de ambientes costeiros.

Segundo a CNUMAD (1992), muitos são os poluentes que chegam ao meio ambiente marinho de origens terrestres, e estes variam de esgotos, nutrientes, compostos orgânicos ou sintéticos, sedimentos, lixo, plásticos, metais e derivados do petróleo. Essas substâncias estão dispostas no meio ambiente marinho e possuem características de permanecerem ao longo do tempo apresentando toxicidade, persistência e bioacumulação na cadeia alimentar dos animais neste habitat. Parte da poluição marinha é ocasionada pelo transporte marítimo, onde cerca de 600 mil toneladas de petróleo são despejadas nos oceanos anualmente em função de operações rotineiras, acidentais ou mesmo ilegais. Em 1992, a Rio-92 declarava que no mundo ainda não havia qualquer plano destinado aos problemas relacionados à poluição marinha, e que os governos deveriam desenvolver procedimentos para retirada de agentes poluidores do meio ambiente marítimo, mesmo aqueles ocasionados por derramamentos acidentais de petróleo, bem como estabelecer planos de emergência para casos naturais ou acidentais de vazamentos de petróleo e derivados. Devem também desenvolver métodos científicos e tecnológicos de modo a identificar e prever quais materiais mais adequados para emergências por derramamento e desenvolver recursos humanos para intervir nestes casos.

Entre as diversas convenções realizadas pela *International Maritime Organization* (IMO), merece destaque a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar ratificada pelo Brasil (1982), e que descreve regulamentos que visam a preservação dos mares e das regiões costeiras. Destaca-se no artigo 194 que trata que os Estados devem garantir a segurança com a finalidade de prevenir, reduzir e controlar a poluição do meio ambiente marinho em situação de emergência seja por descargas intencionais ou não (BRASIL, 1990).

O Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (BRASIL, 1988b) veio como complemento da Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM) e a Política Nacional do Meio Ambiente. A PNRM possui como objetivo estabelecer diretrizes para a exploração racional dos recursos do mar, promovendo a formação de recursos humanos, estimulando pesquisas e incentivando a exploração e o aproveitamento sustentável, sendo um dos primeiros atos normativos do Brasil para proteção marinha e costeira (BRASIL, 2005). Também foi sancionada a Política Nacional do Meio

Ambiente estabelecendo o mar territorial como recurso ambiental (BRASIL, 1981) e a zona costeira como patrimônio nacional (BRASIL, 1988a).

No estado do Ceará, a Política Estadual de Gerenciamento Costeiro, bem como o Plano Estadual são regidos pela lei nº 13.796. É destaque a proteção de comunidades tradicionais que utilizam dos recursos do mar para sobreviver e a proteção dos ecossistemas. Chama-se atenção para o Sistema Estadual de Gestão Costeira, o Planos Estaduais de Ação da Zona Costeira e o Sistema Estadual de Informações e Monitoramento Ambiental da Zona Costeira (Ceará, 2006). Foi instituído em 2021 o Comitê Estratégico para o Desenvolvimento e Elaboração do Planejamento Espacial Marinho (PEM) do Ceará por meio do decreto nº 34.457 considerando, entre outras disposições, o alcance do ODS nº 14 no estado e vem sendo considerado um dos primeiros estados a iniciar o seu planejamento marinho (Ceará, 2021). O estado avança na temática com o desenvolvimento do Atlas Digital Costeiro e Marinho do Ceará na sua Plataforma Estadual de Dados Espaciais, uma importante ferramenta de acompanhamento e gerenciamento costeiro no estado (SEMA, 2022a; SEMA, 2022b).

2.1.2 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS

Dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, o ODS 14 (Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável) descreve dez metas a serem alcançadas. Aqui, pretende-se focar nas metas 14.1 e 14.2. A meta 14.1 relaciona diretamente com o objetivo do ODS 14. Esta meta propõe, até 2025, prevenir e reduzir significativamente a poluição marinha de todos os tipos, especialmente a advinda de atividades terrestres, incluindo detritos marinhos e a poluição por nutrientes. Seu indicador global é o índice de eutrofização costeira e densidade de detritos plásticos flutuantes. Esta meta não precisou ser adaptada para o Brasil pelo fato de o Brasil possuir grandes problemas relacionados à poluição marinha, seja por lançamento de esgoto não tratado ou pela incorreta destinação de resíduos sólidos. Segundo o IPEA (2018), os índices globais ainda não são monitorados no Brasil de maneira sistemática ao longo de todo o litoral brasileiro, necessitando da implantação de um sistema que possa levantar dados para mensuração dos indicadores globais. Destacam-se os indicadores nacionais propostos pelo o IPEA: Nível de poluição hídrica (ou carga

poluidora de demanda bioquímica de oxigênio - DBO) lançadas nos rios, nos municípios costeiros; taxa de recuperação de materiais recicláveis em municípios costeiros; percentual de municípios costeiros com plano municipal de saneamento básico; percentual de municípios costeiros com controle da qualidade da água para consumo humano; publicação do Plano Nacional para Combate ao Lixo no Mar; número de derrames de óleo detectados por imagens de satélite.

A meta 14.2 é de implementação, onde se refere aos recursos humanos, financeiros tecnológicos e de governança para alcance dos ODS. É proposto até 2020, gerir de forma sustentável e proteger os ecossistemas marinhos e costeiros para evitar impactos adversos significativos, inclusive por meio do reforço da sua capacidade de resiliência, e tomar medidas para a sua restauração, a fim de assegurar oceanos saudáveis e produtivos. O indicador global é o percentual de zonas econômicas exclusivas nacionais geridas por meio de abordagens baseadas em ecossistemas. Com mais de 8.500 km de extensão da linha de costa, o indicador global foi mantido pelo fato de o Brasil precisar gerir de forma sustentável e proteger o patrimônio. Para o acompanhamento do indicador, o IPEA descreve que será necessária a criação de um sistema de monitoramento que ainda é inexistente (IPEA, 2018).

O governo do estado do Ceará baseou a implantação dos seus programas nas diversas diretrizes disponibilizadas na agenda 2030, no ano de 2022 foi publicado o relatório ODS com as ações do Governo do estado do Ceará. Neste relatório é descrito vários programas que têm como objetivo atender as metas propostas no ODS 14 no estado. Entre os programas relacionados, destaca-se o Programa Ceará Mais Verde: Conservar e Proteger os Recursos Naturais e Biodiversidade do Ceará, com o objetivo de ampliar a conservação, recuperação e proteção dos recursos naturais e a biodiversidade do Ceará, com metas de ampliação do Sistemas Estadual de Unidades de Conservação por meio de incentivos aos municípios. Também o Programa Ceará no Clima: Mitigando e se adaptando às mudanças climáticas que entre outros objetivos destaca-se a Promoção da Política Estadual de Gerenciamento Costeiro e a Promoção do monitoramento da qualidade das águas marinhas litorâneas do estado do Ceará. (IPECE, 2022).

O Governo do Estado do Ceará em conjunto com a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) inovaram no estado ao implementar o programa Cientista Chefe. Este programa busca inserir pesquisadores nos problemas encontrados frequentemente nas secretarias do

Governo do Estado, propondo soluções aos gestores públicos. O programa foi projetado para otimizar o uso do investimento público na capacitação de cientistas, visando fornecer à sociedade os resultados de suas formações e a resolução dos problemas públicos apresentados pelas secretarias. No âmbito do programa, identificam-se 15 áreas de atuação distintas, sendo que, para os propósitos desta pesquisa, merece destaque a área voltada aos estudos ambientais, que apresenta um conjunto de seis objetivos, incluindo a elaboração e execução do planejamento e monitoramento costeiro e marinho do Ceará (Matos *et al.*, 2021; FUNCAP, 2023).

2.2 Microplásticos

Segundo Moore (2008), leveza, baixo custo e durabilidade são uns dos principais benefícios que o plástico dispõe para vários setores industriais que utilizam embalagens plásticas ou insumos poliméricos. A durabilidade pode trazer um malefício pois ao realizar o seu descarte de forma inadequada pode resultar no acúmulo em depósitos naturais no decorrer dos anos. Quando caem nos oceanos, passam por processos de oxidação através da radiação UVB, pelo contato com a água salina e os grãos de areia. Esse processo de oxidação faz com que os plásticos se tornem quebradiços e se fragmentem em partes menores.

Estima-se que do final dos anos 70 aos tempos atuais, o consumo de plástico saltou de 62 milhões de toneladas para 300 milhões de toneladas. Destes, oito milhões de toneladas chegam à natureza (Besley *et al.*, 2017; JRC, 2017).

Para Wright, Thompson e Galloway (2013) e Masura *et al.* (2015), microplásticos (MPs) são fragmentos de plásticos com tamanhos inferiores a 5 mm. Os MPs podem ser classificados como primários quando são materiais já fabricados nesta dimensão, sendo *pellets* ou microesferas que são utilizados em produtos de beleza e de higiene. Os MPs secundários são produtos da oxidação e degradação de plásticos maiores.

Conforme Vegter *et al.* (2014), os MPs podem ser de fontes terrestres ou mesmo oceânicas. Os MPs mais comuns são classificados como de origem terrestre, como: resíduos urbanos, industriais, esgotos, águas pluviais e lixo terrestre que são carregados pelos sistemas de drenagem. Quanto aos materiais de origem oceânica, estes podem ser de plataformas industriais *offshore*, lixos que são descarregados de forma intencional ou acidental e até equipamentos de pesca.

Estudos sugerem que o risco é mais elevado para as partículas de MPs do que materiais plásticos maiores. Devido ao seu tamanho, os MPs acabam sendo ingeridos por organismos de níveis tróficos mais baixos e causando efeitos de bioacumulação em níveis tróficos superiores (Eriksson; Burton, 2003; Carvalho; Baptista Neto, 2016).

Diversos são os tipos de polímeros que podem compor MPs, assim como a diversidade de aplicações possíveis. A Tabela 1 resume os tipos de polímeros, suas densidades e aplicações.

Tabela 1 - Polímeros, densidades e aplicações

Polímero	Abrev.	Densidade (g/cm³)	Aplicação
Poliestireno expandido	EPS	0,01 – 0,04	Copos, pratos, bandejas de isopor.
Polipropileno	PP	0,85 – 0,92	Autopeças, recipiente de alimentos, tampas de garrafas, canudos.
Polietileno de baixa densidade	PEBD	0,89 – 0,93	Tampas de recipientes, suportes de embalagens, garrafas, tubos, fraldas.
Polietileno de alta densidade	PEAD	0,94 – 0,98	Garrafas de produtos de limpeza, recipientes de laticínios, sacolas de supermercado, lixeiras, equipamentos de playground, boias.
Acrilonitrila-butadieno-estireno	ABS	1,04 – 1,08	Carcça de equipamentos eletrônicos, tubos.
Poliestireno	PS	1,04 – 1,08	Pratos, talheres, estojos para discos ópticos, brinquedos.
Poliamida (nylon)	PA	1,13 – 1,16	Cerdas de escovas de dentes, linhas e redes de pesca.
Polimetilmetacrilato (acrílico)	PMMA	1,16 – 1,20	Lentes ópticas, tintas, materiais de acabamento residenciais.
Policarbonato	PC	1,20 – 1,22	Discos ópticos.

Fonte: Driedger (2015).

Microplásticos são ameaças globais com consequências negativas para o ecossistema marinho, a saúde humana e a biodiversidade. No contexto das praias brasileiras, há uma ênfase para a necessidade de expandir os indicadores de qualidade das praias para incluir a presença de microplásticos como variáveis. Isso envolve a realização de programas frequentes de pesquisa sobre a ocorrência de microplásticos em águas e areias de praia, a fim de criar um banco de dados para medidas preventivas. Além disso, é importante uma abordagem mais abrangente na avaliação da qualidade das praias, indo além da certificação para banho e considerando as necessidades ecológicas, ambientais, econômicas e sociais mais amplas. Há falta de consenso na definição e categorização de plásticos e microplásticos, bem como desafios para implementação de medidas devido a restrições orçamentárias. É necessária a superação dessas limitações para enfrentar

os problemas contemporâneos, como a poluição por microplásticos, propondo uma revisão dos padrões tradicionais de avaliação da qualidade ambiental das praias (Nunes; Soares; Mont'alverne, 2021).

A revisão sistemática da bibliografia sobre os principais estudos envolvendo microplásticos foi realizada utilizando o *Methodi Ordinatio* (Pagani; Kovaleski; Resende, 2015) para levantamento dos locais estudados; das técnicas de extração e identificação; e do quantitativo encontrado e respectiva unidade atribuída. O descritivo científico dos 15 principais trabalhos é relacionado em ordem decrescente de acordo do seu *InOrdinatio*.

Nos portos de Zeebrugge, Oostende e Nieuwpoort, na Bélgica, foram analisadas amostras de zona internas e externas, resultando em um estudo sobre acumulação de MPs ao longo dos anos de acordo com a taxa de deposição anual de sedimentos. As amostras foram colhidas próximas dos portos (11 km) e mais distantes (21 km). Foi usado uma garra Van Veen, um instrumento utilizado para coleta de sedimentos submersos, composta por duas mandíbulas com formato de concha que podem ser abertas e fechadas remotamente. Os estudos também foram realizados em regiões praianas. Para extração, as amostras foram misturadas em uma solução salina (NaCl) e separadas por densidade, o sobrenadante foi passado pela peneira de malha de 38 μm , repetindo uma vez. Depois de separadas, as partículas foram examinadas usando um microscópio binocular e identificadas por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). O resultado obtido tanto das coletas realizadas nas praias, como nos portos e no sublitoral, continha MPs (38 μm - 1 mm), sendo: 59% de fibras, 25% de fragmentos, 4% de filmes plásticos e 12% de esferas. As fibras foram identificadas como polipropileno (PP), poliamida (PA) ou álcool polivinílico (PVAL), e todos os filmes plásticos analisados eram de PA. As partículas granulares foram identificadas como PP, polietileno (PE) ou poliestireno (PS). As áreas internas dos portos foram onde se encontraram maiores concentrações, 166,7 partículas/kg. Foi possível determinar que entre 1993 e 2008 a concentração de MPs quase triplicou nas seções de praia (Claessens *et al.*, 2011).

Wang *et al.* (2017) analisaram a ocorrência de MPs e metais pesados nos sedimentos de camadas superficiais do Rio Beijiang, situado na zona litorânea da China. Foram examinados oito locais, em cada local, três amostras foram colhidas aleatoriamente a uma profundidade de 2 cm em uma área de 400 cm^2 , e transferidos para um saco de papel alumínio, onde foram misturados formando uma única amostra.

Para extração, optou-se pela flotação com uma solução de NaCl e posterior filtragem a vácuo, na qual foram investigados 30 g de sedimentos triplicados. Caracterizados por imagens de microscópio digital portátil, análise com FTIR e microscopia eletrônica de varredura (MEV). O resultado das análises apontou a existência de MPs nas amostras de sedimentos de todos os locais, chegando a 544 itens/kg e a constatação da presença de metais pesados, e a indicação de que os sedimentos são vulneráveis à poluição por MPs podendo acumular metais pesados no meio ambiente devido a sua característica de difícil degradação.

Dekiff *et al.* (2014) analisaram a ocorrência e distribuição de MPs em sedimentos na ilha de Norderney na Alemanha. Os autores examinaram 36 amostras de solo superficial de três pontos distintos no litoral, em cada ponto delimitado em 0,25 m² e 3 cm de profundidade. Juntou-se 12 amostras para compor a distribuição espacial. Os MPs foram separados por flotação com uma solução de NaCl, em seguida com iodeto de sódio (NaI). Posteriormente identificados por inspeção microscópica visual e, em parte, por cromatografia gasosa de pirólise de dessorção térmica. Os resultados apontaram a presença de MPs (<1 mm) em 26 das 36 amostras de sedimento coletadas nos locais de amostragem. Destaca-se nesse estudo a presença de fibras, onde o número variou entre 23 a 213 fibras/kg de sedimento seco. O maior número de pequenos MPs potenciais foi de 4 partículas/kg. Os principais polímeros encontrados foram PP, PE, PS, PA, polietileno tereftalato (PET) e policloreto de vinila (PVC).

Os sedimentos costeiros das ilhas de Mallorca e de Cabrera, situadas no Mar Mediterrâneo, foram examinados para investigar a influência de pressões antrópicas na ocorrência de MPs, bem como a relação de acumulação de acordo com as dimensões do sedimento. As coletas foram realizadas em profundidades entre 8 e 10 m. Sua separação ocorreu por densidade e analisadas por microscopia. Foram encontradas concentrações médias de 897,35 itens/kg em regiões de proteção ambiental e 163,68 itens/kg em regiões de influência antrópica. Foi sugerido que é possível a contaminação por transferência entre águas adjacentes. Na ilha com forte pressão antrópica os MPs encontrados corresponderam a mais de 60% de fios, já na ilha que possui proteção ambiental houve prevalência de materiais fragmentados. Os fios e materiais fragmentados variaram entre de cores azuladas ou pretas, com ausência das cores vermelha e transparente. Não houve alteração na concentração de MPs em relação ao tamanho do sedimento (Alomar; Estarellas; Deudero, 2016).

Stolte *et al.* (2015) estudaram a concentração de MPs em sedimentos de praias ao longo da costa alemã do Báltico. Os sedimentos foram amostrados próximos aos estuários de Warnow e Oder/Peene, na ilha de Rügen e ao longo da costa de Rostock. Estes locais foram amostrados quatro vezes de março a julho de 2014 para avaliar a variabilidade sazonal. Os grãos de areia natural foram separados dos MPs por densidade e filtração. Sua identificação e contagem ocorreram com o uso de um microscópio estéreo de dissecação. Também foi preparada uma mistura de comparação com areia e MPs para verificação da taxa de recuperação onde se verificou taxas entre 49% e 62%. As concentrações de MPs (55 μm – 1 mm) encontradas estavam entre 100 e 1000 partículas e valores médios de 0 a 7 partículas/kg de sedimento seco e 2 a 11 fibras/kg foram encontradas. É relatado que as fontes mais prováveis de detritos são de descargas urbanas, indústrias locais, atividade pesqueira e o turismo. Neste estudo foi encontrada variação sazonal na ocorrência de MPs apenas na Praia de Warnemünde, o que pode ser em decorrência do crescimento da atividade turística.

Shim *et al.* (2016) analisou a aplicação de Nile Red (NR), um corante fluorescente, para identificação de MPs em 11 tipos diferentes de polímeros, de cores transparentes, translúcidas, brancas ou pretas e comparado a sua taxa de recuperação com o método por flotação e identificação por FTIR. Observou-se que não houve diferença significativa entre os métodos, possuindo uma média de 98% para análise com NR e 96% para FTIR, porém o primeiro mostrou-se mais rápido. Ainda foi amostrada a água de três locais distintos (Deukryang, Gwangyang e Busan, todos na Coreia do Sul), também para comparação entre os métodos. Os números de microplásticos foram bastante semelhantes para ambos os métodos nas amostras de Deukryang e Gwangyang, mas o método NR contou cerca de 1,4 vezes mais partículas do que o método FTIR na amostra coletada em Busan. No primeiro local foram aferidos 0,59, no segundo 0,10, e no último 3,72 partículas/ m^3 , usando o NR. Ressalta-se que partículas de polímeros mais densos não são extraídos pela técnica convencional (Shim *et al.*, 2016).

Uma investigação em larga escala foi realizada no continente europeu com a colaboração de um grupo de cientistas voluntários para determinar a concentração de MPs e suas características. O estudo foi realizado em 23 localidades, de 13 países diferentes em regiões praianas do Mediterrâneo, Báltico, Mar do Norte e Atlântico. Foram colhidas cinco amostras por local e estas foram separadas por densidade para

análise quantitativa e química padronizada para todas as amostras. A região com a maior concentração de microplásticos foi em Lido di Dante - na Itália - com 1512 itens/kg de sedimento seco. O estudo mostrou que grandes concentrações foram encontradas no Mediterrâneo Leste, com média entre 147 e 387 itens/kg; 792 itens/kg em Vik, na Islândia; e 700 itens/kg na Klaipėda, na Lituânia, confirmando a poluição por MPs em praias europeias. A maioria dos MPs eram fibras (98,7%) e caracterizados como poliéster (PES), PE e PP (Lots *et al.*, 2017).

Yu *et al.* (2016) pesquisaram a ocorrência de MPs na areia de três locais do Mar de Bohai, na China. Em cada praia foram coletadas cinco amostras em regiões balneares e não balneares distribuídas em um intervalo de 50 m com o uso de um anel metálico de 25 cm de diâmetro. A separação ocorreu por densidade com solução de NaCl e filtração em papel filtro, com três repetições para alcançar mais de 90% da recuperação. As análises foram realizadas com uso de microscópio digital e FTIR e caracterizados como fragmentos, folhas ou fibras. Foi avaliada a influência das profundidades 2 cm e 20 cm na coleta das amostras. Mostrou-se que as maiores concentrações foram encontradas na espessura de 2 cm e que em dois locais, as praias balneares continham maiores concentrações de MPs, variando entre 102,9 e 163,3 itens/kg com predominância de fragmentos e folhas. Os polímeros encontrados foram PE, PP, PET, PS, polietileno de baixa densidade (LDPE), polietileno de alta densidade (HDPE), polietileno vinil acetato (PEVA), além de fibras de celulose. O autor classificou os MPs como possíveis transportadores de metais pesados, como Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn.

Zhu *et al.* (2018) estudaram a abundância de MPs na água do Mar Amarelo do Norte, na China e sua ocorrência em sedimentos do mesmo local. Foram coletadas 19 amostras de água e dez amostras de sedimentos. Após passar por um processo de separação de densidade e serem peneiradas, as amostras foram identificadas utilizando um microscópio óptico e classificadas quimicamente por meio de FTIR. Após as análises, foi observado que em todas as amostras havia MPs e que 70% destes eram menores que 1 mm. Além disso, os resultados mostraram que a abundância de MPs (<5 mm) foi de 545 itens/m³ na água do mar de superfície e 37,1 itens/kg de peso seco em sedimentos e os mais abundantes foram classificados como PE e PP. Outro ponto destacado pelos autores foi que quanto maior o tamanho dos MPs, menor era a concentração.

Tsang *et al.* (2017) analisaram águas e sedimentos de ilhas e zonas costeiras de Shenzhen e Hong Kong, na China. As buscas por MPs menores que 5 mm ocorreram em quatro locais com características de urbanização e de escoamento pluvial. As amostras foram coletadas por rede de plâncton e draga Ekman. Os estudos se subdividiram entre a estação seca e chuvosa. A água foi diretamente filtrada e o sedimento foi filtrado após separação por densidade. Para análises, se utilizou estereomicroscópio e a identificação foi realizada por meio de FTIR. A maior concentração foi 458 itens/kg no sedimento e 35642 itens/100 m³ na água durante período seco, possuindo cores variadas. 96,8% das partículas encontradas na água eram de *pellets* e 63,6% eram de fragmentos no sedimento. Foram caracterizados como PP (50,9%), HDPE (26,4%) e LDPE (18,2%). Para os MPs analisados na água, houve diferença significativa da concentração de acordo com o período. Victoria Harbor foi o local mais poluído em todos os períodos devido a presença de emissários submarinos com descargas constantes de esgotos parcialmente tratados contendo MPs.

A poluição por MPs em sedimentos e organismos bentônicos (OB) foi estudada no Mar Amarelo do Sul, na China. Amostras dos sedimentos e dos OB foram coletadas em torno de 14 pontos. Para os sedimentos, houve separação das partículas por densidade. Quanto aos OB, foram dissecados e digeridos em ácido para a separação dos MP, encontrando em média 1,7 a 47 partículas por grama dos organismos em todas as espécies analisadas. Nos sedimentos superficiais amostrados, o resultado mostrou que a abundância de MPs foi de 560 a 4205 itens/kg - a maioria do material plástico era transparente (59,6%), sendo PP, PE, PA e PET. Neste estudo foi identificada uma correlação entre ocorrência de MPs em sedimentos e em OB de acordo com a profundidade analisada. O estudo comparou a quantidade de microplásticos em diferentes profundidades de amostragem, e foi observado que quanto mais superficial a amostragem, maior era a concentração dos polímeros, recomendando uma amostragem na camada superficial até 5 cm. Por fim, supõe-se que as partículas tendem a se acumular mais com o aumento da profundidade do mar, tanto no sedimento, quanto nos OB (Wang *et al.*, 2019).

O estudo de EO *et al.* (2019) foi realizado no rio Nakdong, o segundo maior da Coreia do Sul. Este rio apresenta 481 estações de tratamento que tratam e lançam mais de 4 milhões de m³/dia de esgoto. As amostras das águas ocorreram à montante, ao meio e à jusante. Foram coletados 100 L com um copo de 20 cm de diâmetro, e

reduzida a amostra passando em uma peneira de 20 μm . A amostra do sedimento ocorreu somente na jusante do rio com a utilização da garra Van Veen nos 2 cm superficiais. Foi realizada oxidação úmida da matéria orgânica. A separação tanto das amostras das águas como do sedimento ocorreu por densidade utilizando metatungstato de lítio e posterior filtração à vácuo com filtro de poros de 5 μm . As análises ocorreram com a utilização de FTIR. As maiores concentrações de MPs nas águas foram de 4760 itens/ m^3 na jusante com a identificação de 30 tipos de polímeros, entre eles, os mais abundantes foram PP, 41,8%; PES, 23,1%; PE, 9,4%; PA, 5,8%; e PS, 2,1%. Nos sedimentos, a maior concentração foi de 1971 itens/kg com a identificação de 22 tipos de polímeros sendo os mais abundantes o PP, 24,8%; PE, 24,5%; e PES, 5,5%. As maiores concentrações ocorreram no período chuvoso. Por fim, foi estimada a carga de MPs anual no rio Nakdong de 17 trilhões de partículas ou 185 toneladas no ano 2017.

Wessel *et al.* (2016) estudaram a abundância de MPs (< 5 mm) nos sedimentos do estuário do norte do Golfo do México, Mobile Bay, no Alabama, nos EUA. Foram coletadas 12 amostras em sete pontos ao longo do estuário. Nas amostragens, a coleta foi realizada em áreas de 0,25 m x 0,25 m em uma profundidade entre 3 e 6 cm. A separação ocorreu por uma série de peneiramento combinada com uma separação por densidade realizada em um equipamento que foi construído para esta finalidade. Este equipamento mostrou uma taxa média de recuperação de 97,25%. A análise das partículas ocorreu por FTIR. Do 1º ao 4º local de coleta, tinham menos influência marinha e mais proximidade a rios e do 5º ao 7º havia maior influência marinha. Foi possível observar que os locais mais influenciados pelo mar tinham em média 50,6 itens/ m^2 , e os locais mais dominados por água doce tinham em média 13,2 itens/ m^2 . No total foram encontrados 614 microplásticos, desses, a fração de tamanho de 0,2 a 1 mm representou 38,6% do total. A predominância foi em ambientes marinhos e caracterizados como PE e PP, além de PA, PS e PES.

No estado de Tamil Nadu, no sul da Índia, a ocorrência de MPs (< 5 mm) foi investigada por Karthik *et al.* (2018). O litoral deste estado é caracterizado por possuir atividades variadas, como agricultura, turismo, pesca e áreas ecologicamente sensíveis. Foram coletadas amostras de 25 locais nas regiões de linha de maré alta e linha de maré baixa em uma área de 1 m^2 e 5 cm de profundidade bem como a coleta de peixes que são comercializados em comércios locais para verificação da ocorrência de MPs nos seus intestinos. A metodologia usada para extração de MPs

dos sedimentos ocorreu por separação por densidade e peneiramento com posterior análise e caracterização pela técnica de FTIR. Foram classificados morfologicamente como fragmentos, espumas, *pellets*, filme e fibras. Observou-se que a abundância era maior na linha de maré alta com valores alcançando 178 itens/m² na foz do rio Adyar. Dos MPs encontrados, 48% eram fragmentos e 24% fibras. 87% dos MPs possuíam tamanho de 2,36 a 4,75 mm. Os principais polímeros identificados foram PE, PP, PS e PA. Na investigação intestinal dos peixes, 10,1% havia ingerido MP.

A análise da ocorrência de MPs foi realizada em sedimentos do fundo do mar Báltico por meio da coleta de sete amostras de sedimentos do fundo da Baía de Gdansk, na Polônia. O método adotado foi o proposto por NOAA (Masura *et al.*, 2015), com algumas alterações no procedimento de extração de MP, com o objetivo de verificar e eliminar algumas falhas observadas no processo para aumentar a eficiência do método, que obteve taxas de recuperação superiores a 90%. O procedimento se baseou na extração, oxidação úmida com peróxido, digestão da fração de calcita, separação de densidade e detecção de microplásticos. A identificação dos MPs foi realizada por estereomicroscópio e classificados em três grupos: fibras, filmes e fragmentos. Após o sequenciamento descrito acima, foi possível determinar uma concentração total média de MPs de 34 itens/kg, e uma concentração máxima de 48,4 itens/kg de sedimento seco com predominância de fibras (Zobkov; Esiukova, 2017).

De acordo com a Tabela 2, a maioria dos trabalhos utilizaram a flotação (Dekiff *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2017) como técnica para extração de MPs. A técnica de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier foi utilizada por Wang *et al.* (2017), Shim *et al.* (2016) e Zhu *et al.* (2018) para quantificar e identificar as partículas. Fibras, *pellets* e filmes plásticos foram encontrados por Tsang *et al.* (2017) e Karthik *et al.* (2018). Os polímeros mais comuns identificados por Dekiff *et al.* (2014), Yu *et al.* (2016) e WANG *et al.* (2019) foram polipropileno (PP), polietileno (PE), poliestireno (PS) e polietileno tereftalato (PET).

Tabela 2 - Resumo dos trabalhos sobre microplásticos

Local	País	Técnica	Filtro	Análise Visual	Identificação	Qtd	Unidade	Autor
Portos de Zeebrugge, Oostende e Nieuwpoort	Bélgica	Flotação NaCl	38 µm	Microscópio binocular	FTIR	167	Objeto/kg	Claessens <i>et al.</i> (2011)
Rio Beijiang	China	Flotação NaCl	1 µm	microscópio digital portátil	MEV	544	Objeto/kg	Wang <i>et al.</i> (2017)
Ilha de Norderney	Alemanha	Flotação NaCl	0,45 µm	estereomicroscópio Wild M3Z da Leica Microsystems	Cromatografia	213	Objeto/kg	Dekiff <i>et al.</i> (2014)
Ilhas de Mallorca e Cabrera	Mar Mediterrâneo	Flotação NaCl	-	estereomicroscópio	-	897	Objeto/kg	Alomar, Estarellas e Deudero, (2016)
Ilha de Rügen	Alemanha	Flotação CaCl ₂	55 µm	microscópio estéreo de dissecação	-	11	Objeto/kg	Stolte <i>et al.</i> (2015)
Deukryang, Gwangyang e Busan	Coreia do Sul	Flotação NaCl	63 µm	microscópio de fluorescência	Nile Red/FTIR	4	Objeto/m ₃	SHIM <i>et al.</i> (2016)
Lido di Dante	Itália	Flotação NaCl	0,45 µm	estereomicroscópio	Espectroscopia Raman	1512	Objeto/kg	Lots <i>et al.</i> (2017)
Mar de Bohai	China	Flotação NaCl	1 µm	microscópio digital	FTIR	164	Objeto/kg	Yu <i>et al.</i> (2016)
Mar Amarelo do Norte	China	Flotação NaCl	30 µm	microscópio óptico	FTIR	545	Objeto/m ₃	Zhu <i>et al.</i> (2018)
Shenzhen e Hong Kong	China	Flotação NaCl	0,7 µm	estereomicroscópio	FTIR	458	Objeto/kg	Tsang <i>et al.</i> (2017)
Mar Amarelo do Sul	China	Flotação NaI	50 µm	estereomicroscópio	FTIR	4205	Objeto/kg	Wang <i>et al.</i> (2019)
Rio Nakdong	Coreia do Sul	Flotação com metatungstato de lítio	5 µm	microscópio FTIR	FTIR	4760	Objeto/m ₃	Eo <i>et al.</i> (2019)
Mobile Bay, Alabama	EUA	-	50 µm	-	FTIR	50,6	Objeto/m ₂	Wessel <i>et al.</i> (2016)
Tamil Nadu	Índia	Flotação NaCl	0,45 µm	estereomicroscópio	FTIR	178	Objeto/m ₂	Karthik <i>et al.</i> (2018)
Baía de Gdansk	Polônia	Flotação ZnCl ₂	174 µm	estereomicroscópio	-	48,4	Objeto/kg	Zobkov e Esiukova (2017)

Fonte: Autor (2023).

2.3 Areias

Segundo Anjos *et al.* (2006), os sedimentos de praias são fragmentos de formações geológicas que resistiram às intempéries, transportados pelo vento, rios e geleiras para a costa e depositadas nas praias pela ação das ondas e correntes.

Para solucionar problemas ambientais de erosão de dunas, encostas e praias arenosas, Almajed *et al.* (2020); Liu *et al.* (2020); e Miftah *et al.* (2022) realizaram pesquisas para identificar características dos sedimentos e avaliaram tratamentos com o objetivo de diminuir as taxas de erosão.

Miftah *et al.* (2022) analisaram o uso de tratamento de precipitação de carbonato por indução de enzimas (EICP) para verificação da melhoria da erodibilidade, mitigação da erosão e capacidade de infiltração de água em uma areia de Praia da Baía de Famagusta, Chipre. Previamente, realizou-se a caracterização geotécnica da areia, a qual foi classificada como areia mal graduada (SP) de acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS). O diâmetro efetivo foi de 0,14 mm, o tamanho médio foi de 0,75 mm. O coeficiente de curvatura e o coeficiente de uniformidade foram de 1,60 e 6,42 respectivamente. O índice de vazios mínimo foi de 0,56 e o índice de vazios máximo foi de 0,88. A densidade do grão determinada foi de 2,700. Análises de DRX e MEV mostraram que a areia era composta por quartzo e calcita. Após a precipitação de carbonato por indução de enzimas, com um ciclo observou-se a elevação da coesão da areia de zero para aproximadamente 36 kPa, e com dois ciclos de tratamento elevou-se para 62 kPa. Os seus ângulos de atrito foram de aproximadamente 41° para a amostra sem nenhum tratamento; 30° para um ciclo do tratamento; e 25° para dois ciclos do tratamento com EICP. Foram realizados testes de infiltração e erosão com amostras submetidas ao tratamento com três ciclos, onde mostrou redução na taxa de infiltração da ordem de $1,3 \times 10$ cm/s para $9,4 \times 10^{-4}$ cm/s e redução da taxa de erosão de 31,66 mm/s para 1,14 mm/s (Miftah *et al.*, 2022).

Liu *et al.* (2020) analisou uma areia calcária da zona costeira do estado do Havaí, EUA, com a finalidade de verificar a eficácia dos tratamentos de precipitação de carbonato induzida microbiologicamente (MICP) e precipitação de carbonato induzida de enzimas (EICP) para mitigação da erosão de dunas de areia sob o ataque de ondas. O índice de vazios máximo determinado foi de 1,74 e 0,85 para o índice de vazios mínimo. A areia foi classificada como areia bem graduada (SW) de acordo com o SUCS. O diâmetro efetivo foi de 0,15 mm, $D_{30} = 0,36$ mm, $D_{50} = 0,70$ mm, $D_{60} = 1$

mm. Para análise, foi preparada uma amostra sem tratamento, uma amostra tratada com MICP e uma tratada com EICP. Buscando verificar a erosão nas amostras, foi produzido um modelo para simular os efeitos das marés na areia. Os tratamentos empregados foram eficazes para mitigar a erosão da areia, porém, sua eficácia diminuiu em condições de declividade da areia, intensidade da onda e período de ataque da onda.

Utilizando o tratamento com EICP e por um biopolímero de alginato de sódio, Almajed *et al.* (2020) realizaram estudos com areia do deserto de Nafud, Arábia Saudita, para estabilizar a areia do deserto de Nafud contra erosão causada pelos ventos da região. A areia do deserto foi classificada como areia mal graduada (SP) segundo o SUCS. O diâmetro médio do grão determinado foi de 0,24 mm, o coeficiente de curvatura é igual a 0,90 e 1,73 foi o valor determinado para o coeficiente de não uniformidade. A densidade real do grão obtida foi de 2,65. O índice de vazios mínimo e máximo foi de 0,45 e 0,66 - respectivamente. Durante as análises com o túnel de vento, foi verificado que não houve erosão para as amostras tratadas, enquanto a amostra de controle e tratada somente com água observou-se um aumento gradativo da erosão em relação à elevação das velocidades do vento, chegando a 98,64%. Para os testes de resistência da superfície utilizando penetrômetro manual, não foi possível obter resultados para amostras não tratadas. As amostras que passaram por tratamento alcançaram uma resistência não confinada da superfície de até 300 kPa, enquanto a amostra de controle não foi possível a sua determinação. Nas análises com DRX foi possível identificar que a areia antes do tratamento era composta apenas por quartzo. Após o tratamento surgiram cristais de calcita.

Dados sobre a areia de uma praia vulcânica na ilha de Linosa, Itália, foram levantados para estudos sobre a eclosão dos ovos da tartaruga cabeçuda (*Caretta carattaem*). Temperatura, umidade, tamanho do grão e mineralogia do substrato foram verificados em diferentes profundidades, 5 cm, 30 cm e 60 cm. A areia foi classificada como mal graduada com percentuais de até 98% da fração considerada areia. No primeiro ponto amostral, a camada mais superficial foi classificada como subarredondada, enquanto as outras profundidades classificaram-se como subangular. Já no segundo ponto amostral, as duas primeiras camadas foram classificadas como subangular, e a camada mais profunda de característica angular. Dos dois pontos amostrais, as formas das duas camadas superficiais foram

determinadas como esférico-discóide, e as camadas mais profundas tiveram características de forma esférico-lamelar. As análises mineralógicas identificaram picos de minerais de plagioclásio, clinopiroxênio e olivina. Para umidade, os valores variaram de 8,5% na superfície e 34,43% a 60 cm de profundidade. As temperaturas médias obtidas foram de 32°C. Com estas características, se obteve um sucesso médio de 30% na eclosão dos ovos, considerado baixo. As taxas de eclosão dependem de parâmetros ambientais como temperatura, teor de umidade da areia e mineralogia da areia (Visconti *et al.*, 2022).

Outras pesquisas com o objetivo de caracterizar solos costeiros e regionais foram realizadas, como por exemplo Dias e Alves (2009); Simões (2015); Costa (2020) e Polido *et al.* (2020).

Segundo Dias e Alves (2009), o conhecimento das propriedades dos solos marinhos, juntamente com os dados hidrodinâmicos e climáticos, desempenha um papel importante para uma melhor compreensão do comportamento dinâmico das costas arenosas e lamacentas. Os sedimentos da Praia do Cassino no Rio Grande do Sul foram analisados ao longo de sua profundidade. Os dados da análise granulométrica mostraram que mais de 70% de finos eram encontrados em profundidades entre 8,2 m e 9,4 m, com peso específico natural aproximado de 14,0 kN/m³. Enquanto que em camadas superficiais de algumas amostras, mais 90% no material era arenoso e de peso específico natural entre 18 kN/m³ e 20 kN/m³. Em regiões com maiores teores de finos a umidade determinada foi próxima à 150%, e em camadas superficiais variou entre 25% e 200%. Foi determinado que o material mais fino examinado se tratava de uma argila marinha de alta plasticidade e compressibilidade.

Ratton e Sayão (1994) compararam areias da Praia de Ipanema com areias da Ilha de Santa Lúcia, Caribe. A areia da Praia de Ipanema era composta por quartzo, com grãos subarredondados, coeficiente de uniformidade igual a 1,7, diâmetro médio de 0,48 mm, densidade real de 2,677, $e_{\text{máx}}$ igual a 0,77, e $e_{\text{mín}}$ de 0,49. Já a areia da Ilha de Santa Lúcia, era composta por calcário, com grãos subarredondados, coeficiente de uniformidade igual a 1,90, diâmetro médio de 0,30 mm, densidade real de 2,820, $e_{\text{máx}}$ igual a 0,81, e $e_{\text{mín}}$ de 0,52. Ensaio triaxiais em condições drenada e não drenada foram realizados para avaliação do comportamento tensão-deformação-resistência. Os resultados apresentaram comportamentos mecânicos semelhantes para as duas areias, concluindo que areias calcárias sem cimentação se comportam

de maneira semelhante às areias quartzosas quando submetidas ao mesmo nível de tensões.

Simões (2015) caracterizou a areia da Praia de Ipanema de acordo com conceitos geotécnicos. Foram realizadas análises de granulometria, formato dos grãos, densidade real, composição mineralógica, índices de vazios máximos e mínimos, resistência ao cisalhamento e compressão unidimensional. O diâmetro efetivo da areia da Praia de Ipanema determinado por Simões (2015) foi de 0,22 mm, D_{30} igual a 0,30 mm e D_{60} igual a 0,42 mm. O CNU e o CC determinado foi de 1,90 e 0,97 respectivamente, sendo caracterizada como areia média, mal graduada e uniforme. A análise de forma indicou que a areia possuía grãos subangulares e arredondados. A densidade desta areia foi de 2,659. Analisando visualmente por microscópio e com a ação de ácido clorídrico, Simões (2015) eliminou a possibilidade da presença de carbonato de cálcio e relatando a presença predominante de minerais de quartzo e pequenas quantidades de minerais de mica. O índice de vazios máximo determinado pelo método de Kolbuszewski (1948) foi de 0,73. Já o índice de vazios mínimo determinado pelo método de Miura e Toki (1982) foi de 0,46.

Costa (2020) também realizou um trabalho de caracterização geotécnica da areia da Praia de Ipanema no Rio de Janeiro. O D_{10} e D_{50} determinados pela análise granulométrica foram 0,27 mm e 0,38 mm respectivamente. O CC igual a 0,90 e CNU igual a 1,56, classificando a areia como mal graduada. A densidade real do grão da areia foi de 2,656; bem próximo ao valor da densidade do quartzo que mostrou predominância nas análises mineralógicas, com grãos subangulares e arredondados. Foram verificados os métodos mais eficientes para determinação dos índices e vazios máximos e mínimos que envolveram quatro metodologias. O método proposto por Miura e Toki (1982) foi descrito como o mais eficiente para determinação do índice de vazios mínimo alcançando o valor de 0,44. Quanto ao índice de vazios máximo, o método B da ABNT (2020a) foi descrito como mais eficaz, com o valor de 0,76. A permeabilidade foi determinada com valores entre $1,1 \times 10^{-2}$ a $2,1 \times 10^{-2}$ cm/s variando de acordo com a compactação de moldagem.

Complementando a pesquisa de Simões (2015) e Costa (2020), Soares (2021) comparou resultados de caracterização e permeabilidade da areia da Praia de Ipanema com microesferas de vidro. Os resultados das investigações com a areia foram os seguintes: $D_{10} = 0,28$ mm, $D_{50} = 0,41$ mm, CNU = 1,61 e CC = 0,92. Classificando a areia como mal graduada. Com grãos subarredondados a

arredondados. A densidade real do grão foi de 2,656 com predominância de grãos de quartzo. O índice de vazios mínimo e máximo foram de 0,43 e 0,70 respectivamente. A permeabilidade obtida para o solo foi de $4,2 \times 10^{-2}$ cm/s.

Em um estudo amplo, Polido *et al.* (2020) analisaram diversas areias do litoral de Vitória/ES. Foi realizado a coleta de 32 amostras em seis zonas costeiras distintas, empregando ensaios para determinação do peso específico aparente seco *in situ*, e ensaios de laboratório para determinação do peso específico dos sólidos, granulometria, pesos específicos mínimo e máximo, ângulo de atrito e exame da mineralogia e da forma dos grãos. Foram determinados os valores de compacidade relativa da areia com valores variando entre 37% e 100%. As areias foram classificadas como mal graduadas, e com ausência de grãos superiores a 2 mm. Predominância de grãos de quartzo, partículas de mica e ilmenita e fragmentos de conchas.

Anjos *et al.* (2006) e Carvalho *et al.* (2011) mostram os resultados de suas pesquisas com areias das praias de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo para entender os processos de composição, de proveniência e de transportes de sedimentos costeiros brasileiros. Minerais pesados como zircão, ilmenita, magnetita, granada, monazita e rutilo, possuem altas concentrações de tório (Th) e urânio (U). Os minerais de quartzo e feldspato mostram altos níveis de potássio (K) na sua composição elementar. Areias de praias mais escuras, com tonalidades variando do vermelho ao preto, contêm altas concentrações de tório e urânio, enquanto as areias mais claras mostram níveis elevados de potássio.

Em seus estudos, Anjos *et al.* (2006) e Carvalho *et al.* (2011), utilizaram a técnica de espectrometria de raios gama para avaliar as concentrações de Th, U e K nos sedimentos e correlacionando os valores Th/U e Th/K. O potássio funciona como um indicador da rocha de origem. No processo de desintegração de uma rocha rica em quartzo e feldspato, é apresentado alto valor de potássio desde o início da desintegração e durante o processo de transporte. O urânio indica o meio de transporte, uma vez que ao ficar em contato com o ar, sofre oxidação e apresenta menor concentração no mineral quando oxidado. O tório é o elemento estável nas duas razões estabelecidas nos estudos. Assim, a razão Th/U aponta como se transportou o sedimento. Valores maiores que 7 indicam que o sedimento passou muito tempo fora d'água, mostrando que vento o transportou até seu depósito. Valores entre 2 e 7 revelam que o sedimento passou por ambientes de águas rasas o os rios

fizeram o seu transporte. Resultados menores que 2 revelam que o sedimento esteve em sua maior parte submerso em águas profundas onde o nível de oxigenação é baixo e o seu transporte se deu por ação das marés. A relação Th/K baixa indica que o sedimento foi transportado diretamente da rocha para o seu local de depósito. Quando o resultado desta razão é alto, há uma indicação que o sedimento passou por vários processos até a chegada no seu depósito.

Lanzano *et al.* (2016), realizou uma avaliação experimental do comportamento tensão-deformação da areia de Leighton Buzzard, Reino Unido, para calibração de um modelo constitutivo. A areia possui D_{50} igual a 0,14 mm e coeficiente de não uniformidade de 1,58. A densidade da areia foi de 2,650 e os índices de vazios mínimo e máximo obtidos foram de 0,61 e 1,01 respectivamente. Ensaio triaxiais foram realizados e apontaram um ângulo de atrito crítico de 33,4°. Segundo Lanzano *et al.* (2016), análises numéricas podem contribuir para entender e prever o comportamento de estruturas de engenharia civil, principalmente em regiões propensas a abalos sísmicos.

Suzuki e Yamada (2006) forneceram informações sobre as características geotécnicas da areia de Toyura, Japão. O diâmetro efetivo descrito foi 0,17 mm, $CNU = 1,70$. Composta por quartzo e feldspato, de partículas subangulares. De densidade real igual a 2,65. Índice de vazios máximo e mínimo 0,62 e 0,96 cada. Os ensaios de cisalhamento mostraram ângulo de atrito igual a 31°.

Os estudos de Pereira e Calliari (2005) e Oliveira (2016) nas praias do Rio Grande do Sul sobre a permeabilidade de óleo em sedimentos de praias, norteiam a possibilidade dos estudos se estenderem para quantificar a quantidade de óleo que pode percolar em praias em casos de derramamentos acidentais. Pereira e Calliari (2005) e Oliveira (2016) realizaram ensaios *in situ* utilizando óleo cru. Devido ao óleo se tratar de um fluido, é possível análises utilizando água e correlacionando com as viscosidades dos diferentes tipos de óleos. Dados como a compacidade relativa e granulometria do solo podem ajudar a determinar a percolação do óleo na areia.

A movimentação turística é considerada um gerador de impacto ambiental na zona costeira por superlotação, lixo e degradação ambiental (Chen; Teng, 2016). O turismo é uma importante fonte de renda para muitos países. Porém, é um setor que afeta os recursos naturais (Garcia; Servera, 2003). Destaca-se os impactos ocasionados diretamente pelo movimento turístico seja pela poluição por veículos ou produtos químicos. (Lee, 2009).

Torres-Bejarano (2018) realizou o estudo sobre os efeitos dos turistas na qualidade da água da areia da Praia de Puerto Velero, Colômbia. Foi verificado que com o aumento do número de visitantes, também se aumentavam as concentrações de óleos; graxas e os números de coliformes fecais na água e na areia da praia indicando relações com ações antrópicas. O autor sugere que a areia da praia é um reservatório de coliformes fecais.

Carvalho e Baptista Neto (2016) realizaram estudos sobre a ocorrência de microplásticos na baía de Guanabara, Rio de Janeiro, e verificaram que as praias com maiores movimentações turísticas e industriais possuíam concentrações mais elevadas de microplásticos, excetuando a Praia de Copacabana que recebe limpeza duas vezes por dia.

A Tabela 3 relaciona os parâmetros geotécnicos verificados por vários pesquisadores.

Tabela 3 - Parâmetros encontrados em outras pesquisas.

Autor	Miftah <i>et al.</i> (2022)	Liu <i>et al.</i> (2020)	Almajed <i>et al.</i> (2020)	Visconti <i>et al.</i> (2022)	Simões (2015)	Costa (2020)	Soares (2021)	Lanzano <i>et al.</i> (2016)	Suzuki e Yamada (2006)	Azeiteiro <i>et al.</i> (2017)
Local	Baía de Famagusta, Chipre	Havaí, EUA	deserto de Nafud, Arábia Saudita	Ilha de Linosa, Itália	Praia de Ipanema, Brasil	Praia de Ipanema, Brasil	Praia de Ipanema, Brasil	Leighton Buzzard, Reino Unido	Toyoura, Japão	Hostun, França
Umidade (%)	-	6 a 9	-	8,5	-	-	-	-	-	-
D10 (mm)	0,14	0,15	0,15	-	0,22	0,27	0,28	-	-	-
D50 (mm)	0,75	0,70	0,24	-	0,38	0,38	0,41	0,14	0,17	0,33
CC	1,60	0,60	0,90	-	0,97	0,90	0,92	-	-	-
CNU	6,42	6,66	1,73	-	1,90	1,56	1,61	1,58	1,70	1,40
Classif.	Mal graduada (SP)	Bem graduada (SW)	Mal graduada (SP)	Mal graduada (SP)	Mal graduada (SP)	Mal graduada (SP)	Mal graduada (SP)	Uniforme		Uniforme
Forma	-	-	-	Subarredondada	Subangulares e arredondados	Subangulares, subarredondadas e arredondadas	Subarredondados e arredondados	-	Subangular	Subangular e angular
e _{mín}	0,562	0,85	0,45	-	0,462	0,435	0,433	0,613	0,618	0,66
e _{máx}	0,88	1,74	0,66	-	0,732	0,76	0,698	1,014	0,963	1
DR	2,700	-	2,650	-	2,659	2,656	2,656	2,650	2,650	2,640
Mineralogia	Quartzo e Calcita	Carbonato de cálcio	Quartzo	plagioclásio clinopiroxênio e olivina	Quartzo e Mica	Quartzo, biotita e feldspato	Quartzo	-	Quartzo e Feldspato	-
Coesão	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0
Ângulo de atrito (°)	41	-	-	-	-	-	-	32	31	31,5
Permeabilidade (cm/s)	1,3 × 10 a 9,4 × 10 ⁻⁴	-	-	-	-	1,1 × 10 ⁻² a 2,1 × 10 ⁻²	4,2 × 10 ⁻²	-	-	-

Fonte: Autor (2023).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Metodologia

A metodologia adotada para realização dessa pesquisa foi baseada nas seguintes etapas:

- Levantamento de informações sobre a execução dos procedimentos na literatura consultada;
- Definição do local de estudo;
- Definição dos dados e análises que serão levantadas e o volume requerido para as amostras;
- Definição da forma de amostragem;
- Coleta e realização de ensaios *in situ*;
- Realização de ensaios em laboratório;
- Tabulação dos dados e análise estatística;
- Discussão dos resultados e considerações finais.

3.2 Coleta de solos

O material que esta pesquisa se fundamenta é a areia da Praia do Futuro do município de Fortaleza/CE. A Figura 1a mostra Fortaleza (3°43'6" S, 38°32'36" W), a capital do Ceará (Figura 1c), no nordeste do Brasil (Figura 1b). O município possui cerca de 312,4 km² com uma população de quase 2,5 milhões de pessoas (IBGE, 2023). Fortaleza possui 12 praias (SEMACE, 2022), sendo as mais frequentadas: Praia do Futuro, Meireles, Mucuripe, Praia de Iracema e Barra do Ceará (Martinz; Anjos; Sohn, 2022).

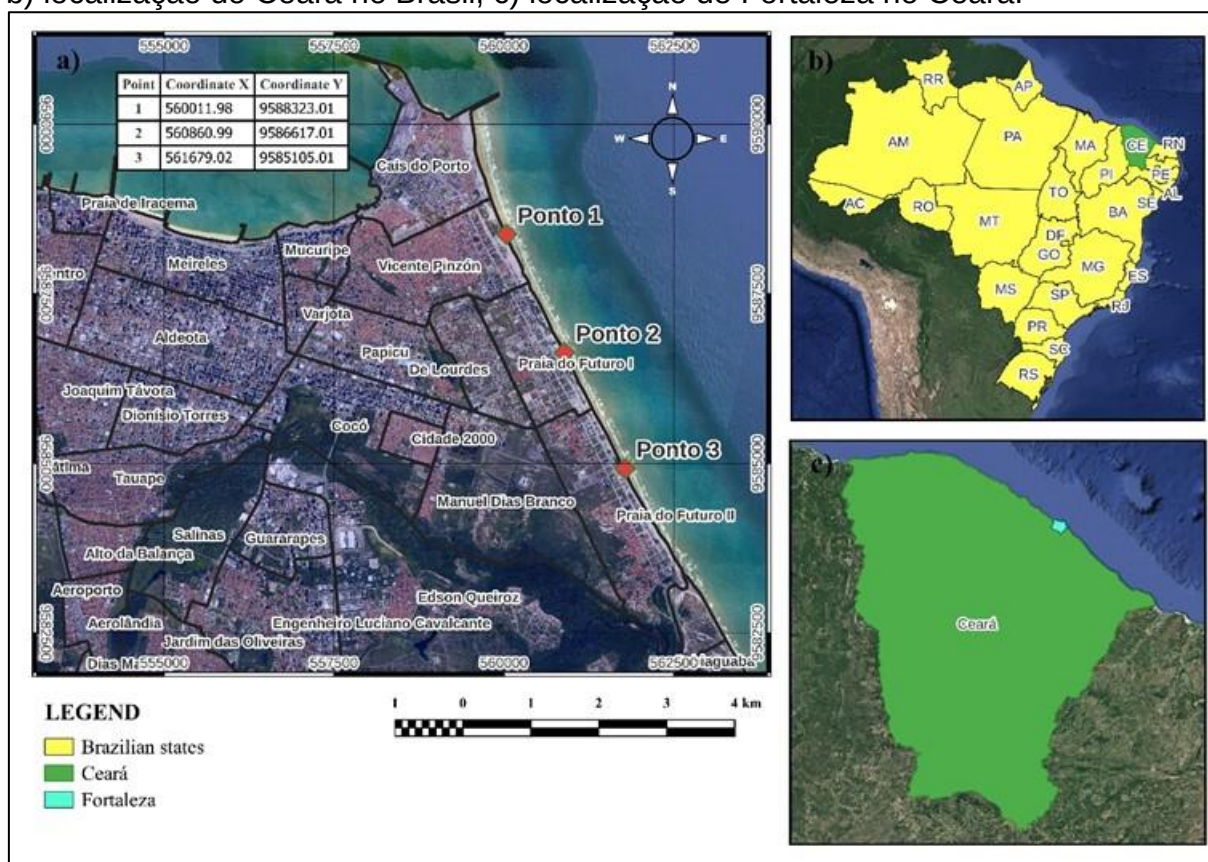
A área de estudo foi a Praia do Futuro, localizada no leste de Fortaleza, possuindo 8 km de extensão (Albuquerque *et al.*, 2009). Segundo a Prefeitura de Fortaleza (2023), a praia recebe cerca de 660 mil pessoas por ano que frequentam as 60 barracas espalhadas ao longo da sua extensão (Lima, 2017). Além disso, o rio Cocó, que transpassa Fortaleza, cobre 80% da superfície hidrográfica da cidade e

recebe afluentes de outros rios, desemboca suas águas na região costeira da Praia do Futuro (Vasconcelos; Miossec, 2006).

O local foi escolhido pelo fato de não ter ocorrido processos antrópicos de engorda da faixa de areia com materiais externos, como o ocorrido na Praia de Iracema. Optando por trabalhar com um material de deposição natural.

O procedimento de amostragem foi análogo aos métodos realizados e sugeridos por Thompson *et al.* 2004, Hidalgo-Ruz *et al.* (2012) e Besley *et al.* (2017).

Figura 1 - Localização dos pontos amostrais. a) localização dos pontos em Fortaleza; b) localização do Ceará no Brasil; c) localização de Fortaleza no Ceará.



Fonte: Autor (2023).

Tendo em vista que a área de estudo possui uma longa extensão, optou-se por dividir as coletas em três locais equidistantes, de acordo com a extensão da Praia do Futuro. O primeiro ponto amostral foi situado em uma região de baixo movimento turístico, o segundo e o terceiro pontos amostrais foram localizados próximos às duas barracas de praia com alta movimentação turística. A região de estudo é caracterizada por barracas de praia, edificações costeiras, dispositivos de drenagem urbana com o

lançamento de efluentes domésticos e a presença de resíduos sólidos nas imediações da praia e em sua areia (Lemos; Ferreira; Araújo, 2002; Magini *et al.*, 2007).

Optou-se por nomear e referenciar as amostras de acordo com a sua proximidade de pontos de referência na praia. A Tabela 4 descreve a nomeação das amostras coletadas.

Tabela 4 - Amostragem

Amostra	Ponto 1 Areninha Praia do Futuro	Ponto 2 Barraca Órbita Blue	Ponto 3 Barraca Chico do Caranguejo
1	1.1	2.1	3.1
2	1.2	2.2	3.2
3	1.3	2.3	3.3
4	1.4	2.4	3.4
5	1.5	2.5	3.5
6	1.6	2.6	3.6
7	1.7	2.7	3.7

Fonte: Autor (2023).

No Ponto 1, não há barracas de praia ou qualquer tipo de movimentação turística, ao contrário dos Pontos 2 e 3, que possuem alta movimentação turística por possuírem duas das barracas bem reconhecidas em Fortaleza.

Em cada ponto de coleta, foram retiradas sete amostras. Foram obtidas as amostras conforme Thompson *et al.* 2004, Hidalgo-Ruz *et al.* (2012) e Besley *et al.* (2017), com o espaçamento recomendado para cada amostra de 10 m. A área de coleta de cada amostra foi de 1 m² e a espessura da camada coletada foi de 3 cm de acordo com a Figura 2 de acordo com o método proposto por Besley *et al.* (2017) para identificação de microplásticos nas camadas superficiais de sedimentos. Segundo Thompson *et al.* 2004, Hidalgo-Ruz *et al.* (2012) e Besley *et al.* (2017), não houve diferença significativa em relação ao local de coleta (zona entre marés, linha de maré alta, supralitoral), porém, foi mais comum a coleta na região de linha de maré alta no levantamento realizado por Besley *et al.* (2017), o que fundamentou o local de coleta desta pesquisa na praia.

Figura 2 - Demarcação da área de coleta



Fonte: Autor (2023).

Durante a etapa de coleta, as amostras foram separadas ao centro da área previamente delimitada e transferidas com pá para sacos de ráfia, os quais foram identificados internamente e externamente, conforme a Figura 3. O transporte ocorreu com o apoio do Instituto Federal do Ceará que disponibilizou um veículo.

Figura 3 - Transferência da areia para o saco de ráfia



Fonte: Autor (2023).

A coleta ocorreu no dia 16 de setembro de 2022, entre às 8h30min e 13h. O horário de maré mais alta foi às 8h20min, com regressão até 13h56min (Tábua de Marés, 2022). A ocorrência da maré no dia da coleta proporcionou que as amostras fossem recentemente lavadas pela água do mar e em caso de ocorrência de microplásticos, a acomodação das partículas na linha de maré alta devido a amplitude das ondas.

Por conseguinte, foram coletados no total de 21 amostras de aproximadamente 35 kg, em que foram sete amostras por ponto amostral. As amostras ficaram armazenadas no Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) do IFCE (*Campus Fortaleza*).

3.3 Métodos

Optou-se pela adoção de normas brasileiras padronizadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Na ausência de procedimentos normativos estabelecidos por esta entidade, recorreu-se a métodos de outras organizações, como a American Society for Testing and Materials (ASTM) e o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), além de métodos amplamente reconhecidos e utilizados, conforme descritos na literatura e na revisão bibliográfica. A Tabela 5 descreve os ensaios e caracterizações objeto desta pesquisa.

Tabela 5 - Resumo análises executadas

ANÁLISE	REFERÊNCIA
Massa Específica aparente <i>in situ</i>	ABNT (2016c)
Umidade Natural	ABNT (2016b)
Densidade Real	DNER (1994a)
Composição granulométrica	ABNT (2016a)
Índice de Vazios Máximo	ABNT (2020a)
Índice de Vazios Mínimo	ABNT (2020b)
Índice de Vazios Mínimo	MIURA E TOKI (1982)
Permeabilidade	ABNT (2021)
Cisalhamento direto	ASTM (2004)
Forma e Angularidade	DNIT (2020)
Análise elementar e cristalográfica	ARTIOLI (2010)
Ocorrência de Microplásticos	MASURA (2015)

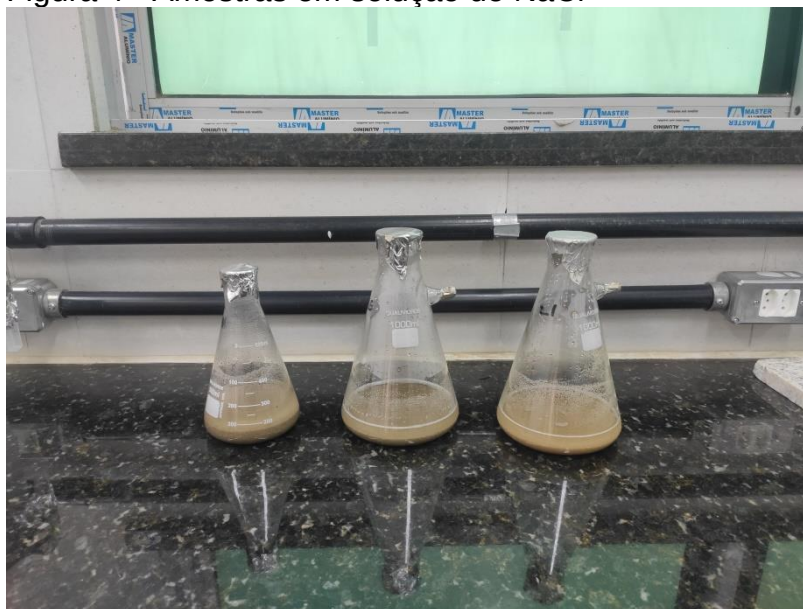
Fonte: Autor (2023).

3.3.1 Extração de microplásticos

O método adotado nesta pesquisa foi o proposto por Masura *et al.* (2015) que é aplicável para a extração microplásticos de densidade inferior a 1,15 g/ml, sendo possível a extração dos polímeros EPS, PP, PEBD, PEAD; ABS, PS e PA de acordo com a Tabela 1. O autor define que os detritos plásticos analisados por este método são considerados microplásticos e variam em tamanho de 5 mm e a abertura do filtro utilizado, aqui será 0,45 μm .

A solução utilizada para separação por densidade é de NaCl sendo preparada na proporção 358,9 g de NaCl para 1 l de água destilada (Besley *et al.*, 2017). Foram passados 500 g da amostra pela peneira de 4,75 mm e seca em estufa na temperatura de 90°C por pelo menos 12 h ou até se observar que a amostra secou. Após a secagem, foi separado 200 g da amostra e em seguida acrescentado 150 ml da solução de NaCl em um erlenmeyer. Agitou-se a mistura por 5 minutos e deixou-se em repouso por 5 horas (Figura 4).

Figura 4 - Amostras em solução de NaCl

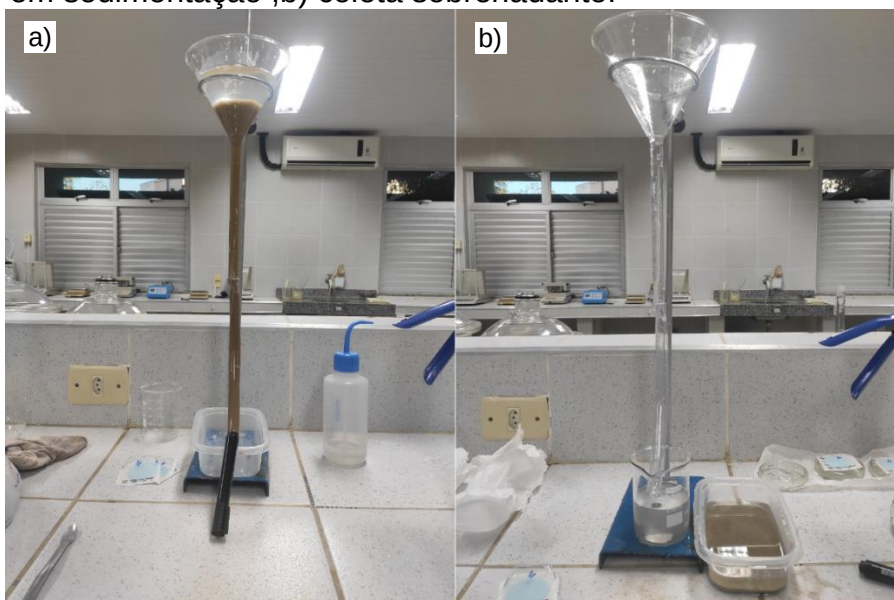


Fonte: Autor (2023).

Foi adaptado, conforme Masura *et al.* (2015), um equipamento (Figura 5) para separação por densidade do material sobrenadante. A Figura 5a mostra o material em processo de sedimentação. Já a Figura 5b mostra o material sobrenadante extraído. O material sobrenadante foi acondicionado em um becker e submetido à filtração em

um sistema de filtragem a vácuo, de acordo com a Figura 6. Foi utilizada uma membrana filtrante com abertura dos poros de $0,45\ \mu\text{m}$ e 47 mm de diâmetro (Figura 7).

Figura 5 - Equipamento para separação por densidade. a) areia em sedimentação ;b) coleta sobrenadante.



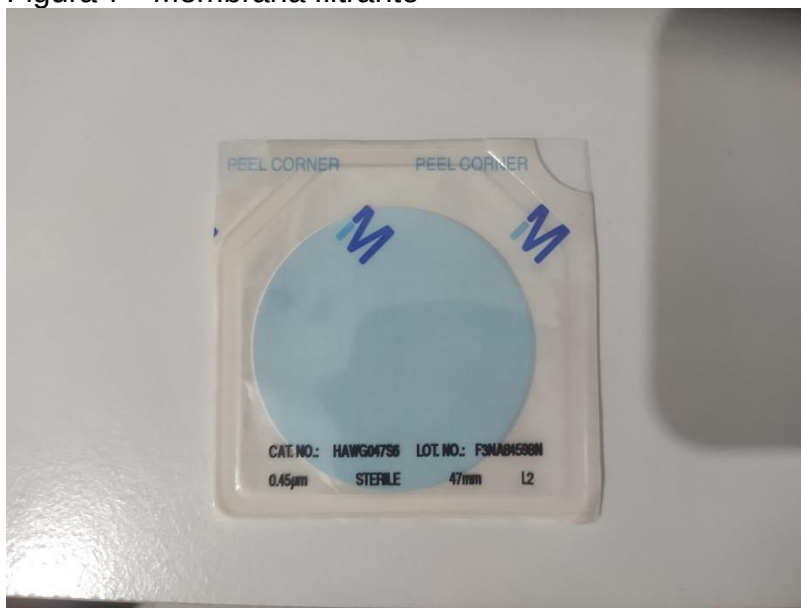
Fonte: Autor (2023).

Figura 6 - Sistema de filtragem a vácuo



Fonte: Autor (2023).

Figura 7 - Membrana filtrante



Fonte: Autor (2023).

Após o procedimento de filtragem, as membranas foram acondicionadas em placas de *petri* para evitar a contaminação da amostra. Com isso, a amostra foi submetida ao procedimento de análise com o microscópio binocular de polarização Leica DM750P, Figura 8.

Figura 8 - Microscópio



Fonte: Autor (2023).

3.3.2 Umidade natural

A determinação do teor de umidade natural foi realizada segundo a ABNT (2016b). O solo utilizado para a determinação foi o mesmo extraído com o cilindro de cravação especificado pela NBR 9813 (ABNT, 2016c), uma vez que seria necessária a determinação de sua umidade para obter a massa específica natural seca (ρ_d).

O procedimento de pesagem para determinação da umidade natural (w) foi realizado logo quando se chegou ao laboratório, separando-se três cápsulas com material para determinação da umidade de cada amostra. O cálculo para obtenção do teor de umidade é o descrito pela Equação 1.

$$w = \frac{P_w}{P_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

P_w – Peso de água

P_s – Peso de sólidos

3.3.3 Massa específica aparente *in situ*

A massa específica aparente *in situ* foi uma importante determinação que pôde ser determinado para verificação do estado de compactidade da areia que será discutido nos resultados. O método utilizado para determinação foi o proposto pela ABNT (2016c) com o emprego do cilindro de cravação com dimensões de 104,5 mm de diâmetro e 116 mm de altura.

Os cilindros foram cravados segundo a norma a uma distância aproximada de 50 cm da área onde a areia para as análises dos outros parâmetros foi coletada, mantendo o intervalo de 10 m (Figura 9).

Figura 9 - Cravação do cilindro



Fonte: Autor (2023).

Após a cravação em cada local amostral, escavou-se ao redor do cilindro para facilitar sua remoção e evitar a perturbação da amostra, o que poderia levar à interpretação errônea das determinações. O procedimento executado é exemplificado nas Figura 10 e Figura 11.

A massa de solo foi extraída do cilindro e acondicionada em sacos plásticos para posterior pesagem no LMS, o que possibilitou a utilização do mesmo cilindro em todos os locais de amostragem e proporcionando a diminuição de erros, eventuais, por utilização de mais de um cilindro. Logo ao chegar no LMS, as amostras foram devidamente acondicionadas para evitar a perda de umidade e pesadas de acordo com a Figura 12.

Figura 10 - Extração do cilindro de cravação



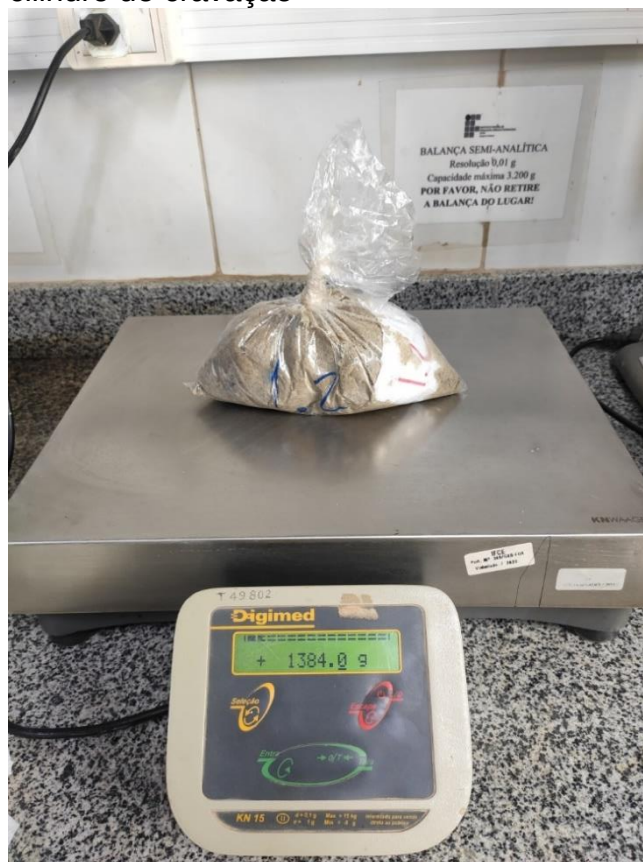
Fonte: Autor (2023).

Figura 11 - Coleta da areia



Fonte: Autor (2023).

Figura 12 – Pesagem de areia obtida do cilindro de cravação



Fonte: Autor (2023).

Lambe e Whitman (1969), descrevem quatro massas específicas aparentes para os solos: massa específica aparente natural (ρ), massa específica aparente seca (ρ_d), massa específica aparente saturada (ρ_{sat}) e massa específica aparente submersa (ρ_{sub}).

A massa específica aparente natural (ρ) é a relação entre a massa total (m) do solo em gramas (g) e o seu volume total (V) em cm^3 de acordo com a Equação 2. Seu resultado é expresso em g/cm^3 .

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

A massa específica aparente seca (ρ_d), determinada segundo a Equação 3 ou 4, é a relação entre a massa dos sólidos e o volume total. Essa relação corresponde a massa específica que o solo teria caso secasse sem variar o seu volume. A sua

determinação é realizada por meio da massa específica aparente natural e da umidade.

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (3)$$

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} \quad (4)$$

3.3.4 Densidade real

A densidade real foi realizada com a utilização de picnômetros de acordo com o método de ensaio descrito por DNER (1994a). As amostras foram separadas de acordo com DNER (1994b). A Figura 13 mostra uma das etapas do procedimento. Foram secas em estufa à 100 ± 5 °C e separada a quantidade necessária para cinco repetições para cada amostra, com a finalidade de utilizar os valores que diferiram menos que 0,009.

Figura 13 - Picnômetros para densidade real



Fonte: Autor (2023).

3.3.5 Granulometria

A análise granulométrica ocorreu pelo método de ensaio de ABNT (2016a) e preparada conforme ABNT (2016b). Observou-se que o material não possuía frações superiores a 2,0 mm e pouco material inferior a 75 μm . Portanto, foi possibilitado a análise somente por peneiramento.

A série de peneiras utilizada na determinação é a mostrada na Tabela 6.

Tabela 6 - Relação das frações e diâmetros dos grãos

Fração do material	Abertura da malha da peneira (mm)
Grossa	50
	38
	25
	19
	9,5
	4,8
	2,0
	1,2
Fina	0,6
	0,42
	0,25
	0,15
	0,075

Fonte: ABNT (2016a).

A areia preparada foi colocada no conjunto de peneira exigidas pelo método e submetidas ao peneiramento de acordo com a Figura 14. Para certificar o correto peneiramento, cada peneira foi agitada individualmente até que não restasse mais material passante. Essa adaptação foi realizada para cada amostra.

Figura 14 - Agitador de peneiras



Fonte: Autor (2023).

ABNT (2016a) estabelece que o resultado final da análise granulométrica deva ser representado por meio de gráfico (curva granulométrica) em que os diâmetros das partículas correspondam ao eixo da abscissa em escala logarítmica, e no eixo da ordenada se posicione a porcentagens de ocorrência das partículas passantes ou retidas de acordo com seu diâmetro.

Por meio da curva granulométrica é possível realizar a obtenção de alguns outros importantes dados, como o D_{10} , D_{30} e D_{60} , Coeficiente de Não Uniformidade (CNU) de acordo com a Equação 5 e o Coeficiente de Curvatura (CC) segundo a Equação 6. O D_{10} ou diâmetro efetivo trata-se do diâmetro em que a curva granulométrica corresponde à porcentagem passante igual a 10%, de modo semelhante é o D_{60} e o D_{30} ,

$$CNU = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (5)$$

$$CC = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad (6)$$

Cada fração retida nas malhas das peneiras foram transferidas para um recipiente e realizada a pesagem.

3.3.6 Índices de vazios

O índice de vazios (e) é definido como a razão entre o volume de vazios (V_v) e o volume de sólidos (V_s) na Equação 7. Pode ser obtido por correlação matemática com a porosidade (n), Equação 8, ou também com a massa específica dos sólidos (ρ_s) e massa específica aparente seco (ρ_d) segundo a Equação 9.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (7)$$

$$e = \frac{n}{1 - n} \quad (8)$$

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \quad (9)$$

Para determinação dos índices de vazios desta pesquisa foi necessário a realização de ensaios que fornecessem a massa específica aparente seca máxima e a massa específica aparente seca mínima para determinação do índice de vazios mínimo e do índice de vazios máximo, respectivamente.

3.3.6.1 Índice de vazios máximo

O índice de vazios foi determinado segundo o método B da ABNT (2020a). Para isso, foi separado 2,5 kg de areia e disposto em estufa permanecendo por 24 horas. O material foi homogeneizado e submetido ao procedimento.

O molde utilizado foi o cilindro de compactação Proctor Normal 100 mm de diâmetro e 127,3 mm de altura, volume e massa foram aferidos no início dos ensaios. O tubo de parede delgada o qual a norma especifica foi preparado com um tubo de PVC com diâmetro interno de 7 cm e volume aproximado de 1300 cm³. A Figura 15 mostra os equipamentos utilizados para a determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos.

Figura 15 - Equipamento para determinação de vazios máximos



Fonte: Autor (2023).

Este ensaio consiste em preencher uniformemente o tubo de parede delgada com areia e retirá-lo rapidamente na direção vertical, Figura 16.

Figura 16 - Procedimento para determinação da massa específica aparente seca mínima



Fonte: Autor (2023).

Logo em seguida, o material excedente à borda superior do cilindro Proctor foi removido e sua superfície nivelada, então, todo o material que se acumulou nas bordas do molde foi retirado com pincel. Assim, o molde com o material contido no seu interior é pesado conforme a Figura 17. Com isso, foi possível o cálculo da massa específica aparente seca mínima e posteriormente o índice de vazios máximo.

Figura 17 - Cilindro Proctor para determinação de vazios máximo



Fonte: Autor (2023).

3.3.6.2 Índice de vazios mínimo (Miura; Toki, 1982)

O procedimento para determinação do índice de vazios mínimo foi baseado na metodologia de Miura e Toki (1982) e descrita como MSP (*multiple sieving pluviation*). A metodologia consiste em realizar a pluviação da areia com a utilização de um peneiramento múltiplo partindo de um funil sob um aparato que dispõe de um conjunto de peneiras que ficam acima do molde do corpo de prova. Segundo Miura e Toki (1982), o valor do índice de vazios varia de acordo com a vazão de pluviação que é controlada pelo diâmetro da abertura inferior do funil, devendo o operador realizar o procedimento com variados diâmetros de abertura do funil e verificando a altura das peneiras em relação ao molde.

Soares (2021) descreve as especificações do equipamento que foi utilizado durante sua pesquisa. Descreve também a razão abertura da peneira superior/ D_{50} e abertura da peneira inferior/ D_{50} que foi utilizada na sua pesquisa e em pesquisas anteriores que é visto na Tabela 7.

Tabela 7 - Razões entre os diâmetros das peneiras utilizadas no método MSP e o D₅₀ da amostra e quantidade de peneiras utilizadas e sua sequência, por diferentes autores

Autores	Miura e Toki (1982)	Simões (2015)	Costa (2020)	Soares (2021)	Esta pesquisa		
Amostra	Areia de Toyoura, Japão	Areia da Praia de Ipanema, RJ	Areia da Praia de Ipanema, RJ	Areia da Praia de Ipanema, RJ	Areia da Praia do Futuro, CE		
Ponto amostral	1	1	1	1	1	2	3
D₅₀ (mm)	0,18	0,38	0,39	0,41	0,21	0,26	0,25
Abertura da peneira superior (mm) (#ps)	1,41	4,75	4,75	4,75	2,00	2,00	2,00
#ps/D₅₀	7,83	12,5	12,2	11,6	9,52	7,69	8,00
Abertura da peneira inferior (mm) (#pi)	3,66	12,5	9,25	8,00	4,75	4,75	4,75
#pi/D₅₀	20,3	32,9	23,7	19,51	22,62	18,27	19,00
Número de peneiras	7	6	6	7	7	7	7
Sequência de aberturas (mm)	1,41	4,75	4,75	4,75	2,00	2,00	2,00
	3,66	9,50	8,00	4,75	4,75	4,75	4,75
	3,66	9,50	8,00	4,75	4,75	4,75	4,75
	3,66	12,50	9,50	4,75	4,75	4,75	4,75
	3,66	12,50	9,50	8,00	4,75	4,75	4,75
	3,66	12,50	9,50	8,00	4,75	4,75	4,75
	3,66	12,50	9,50	8,00	4,75	4,75	4,75

Fonte: Autor (2023).

Buscou-se seguir as relações $\#ps/D_{50}$ e $\#pi/D_{50}$ e sequenciamento de peneiras que foram utilizadas por Miura e Toki (1982). Porém, foi observado que adaptações foram realizadas por Simões (2015), Costa (2020) e Soares (2021) os quais concluíram que não afetava significativamente os resultados pretendidos. Então, realizou-se um projeto para a construção de um Equipamento para Pluviação com Peneiramento Múltiplo para obtenção da massa específica aparente seca máxima e índice de vazios mínimo das amostras segundo informações que foram obtidas nos respectivos autores (Figura 18).

Figura 18 - Equipamento de pluviação com peneiramento múltiplo



Fonte: Autor (2023).

Também foram montados os funis que controlam a vazão do material que é submetido ao ensaio segundo que foi descrito por Miura e Toki (1982), Simões (2015), Costa (2020) e Soares (2021). Os Funis possuíam os diâmetros inferiores de 5 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm e 50 mm. A inclinação do funil foi de 60° e a abertura superior 225 mm.

As etapas do procedimento de pluviação são mostradas na Figura 19. O procedimento consiste em separar um volume de cinco vezes o volume do molde que será utilizado, seco em estufa até constância de massa, colocado no funil, aguardar a pluviação por meio das peneiras Figura 19a e Figura 19b, retirada do excesso de material do molde Figura 19c e pesagem em balança Figura 19d, por fim, determinar a massa específica aparente seca.

Figura 19 - Etapas do procedimento de pluviação. a) realização da pluviação; b) material pluviado; c) nivelamento da superfície; d) pesagem do conjunto.



Fonte: Autor (2023).

3.3.6.3 Índice de vazios mínimo (ABNT, 2020b)

Para execução por este método, é necessária a utilização de uma mesa vibratória, um suporte para fixação de um cilindro Proctor adaptado com o seu colarinho e outro cilindro Proctor sobre o colarinho. A norma também estabelece uma sobrecarga de 13,8 kPa sobre a amostra (Figura 20).

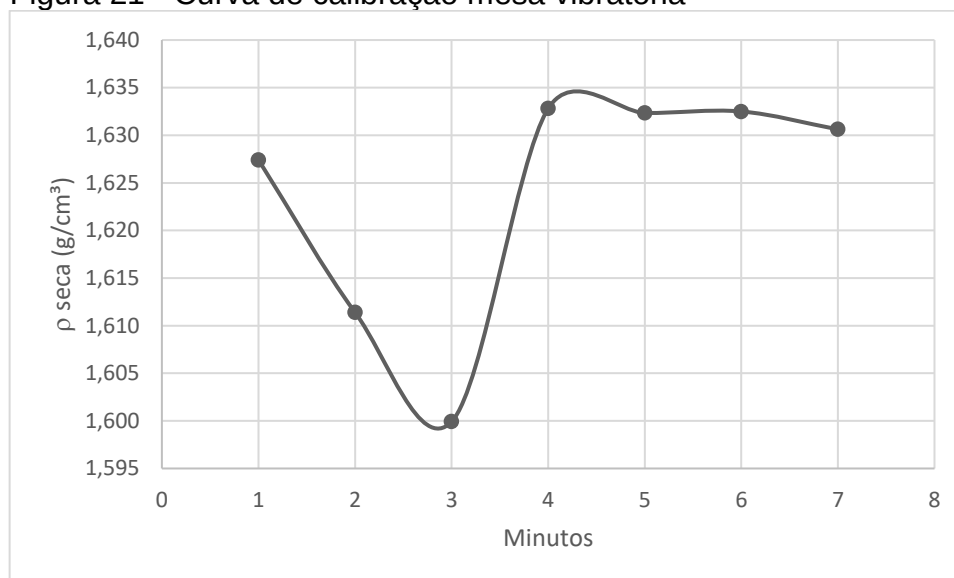
Figura 20 - Determinação $e_{\min}$ (ABNT, 2020b)



Fonte: Autor (2023).

Antes do procedimento para determinação do $e_{\min}$, a norma estabelece o critério de calibração da mesa de vibratória utilizada visando a determinação do tempo necessário de vibração para cada amostra de característica semelhante. Para calibração, foi preparada uma amostra de 2,5 kg. Conforme descrito por ABNT (2020b), o material foi saturado com 500 cm³ de água para cada 2 kg, deixada em repouso por 30 minutos, inserida no molde formando finas camadas, e golpeando o molde até observar a formação de uma película de água sobre o material. O material foi inserido no molde até se observar a um excesso de 1 a 2 cm acima do cilindro Proctor inferior. A sobrecarga de 13,8 kPa foi colocada em cima da amostra e a mesa vibratória foi ligada. Foram determinados valores de massa específica aparente seca para os tempos de vibração 1; 2; 3; 4; 5; 6; e 7. O tempo determinado na calibração foi de 5 minutos, quando não foi mais observado variação da massa específica aparente seca, conforme Figura 21.

Figura 21 - Curva de calibração mesa vibratória



Fonte: Autor (2023).

Determinado o tempo para vibração, o procedimento para determinação da massa específica aparente seca máxima de cada amostra foi executado semelhante ao que foi descrito no processo de calibração.

3.3.7 Permeabilidade

Os solos são permeáveis devido a existência de vazios interconectados (Das, 2008). A água livre na maioria das vezes não se encontra em equilíbrio hidrostático e por este motivo ela pode fluir de regiões onde possui mais energia para outras regiões de menor energia. Este movimento da água é definido como percolação. O estudo sobre a capacidade do fluxo de água de um solo se torna importante na mecânica dos solos para estimar o volume de infiltração de água, ou outro fluído, no subsolo sob várias condições hidráulicas. Com isso, é possível investigar problemas envolvendo o bombeamento de água para construções subterrâneas ou analisar maciços de terra (Fernandes, 2016).

A permeabilidade dos solos é baseada na Lei de Darcy que verificou experimentalmente que alguns fatores influenciavam a vazão (Q) da água através de uma camada de areia. Darcy constatou que a seção transversal (A) é diretamente proporcional ao diferencial da carga hidráulica (Δh) que eram registrados nos tubos manométricos e inversamente proporcional à espessura das camas (L). Logo, Darcy chegou à Equação 10. A relação $\Delta h/L$ foi definida como gradiente hidráulico (i). A

equação de Darcy se torna a Equação 11. Dividindo-se ambos os lados da equação pela área de seção, é vista velocidade aparente de fluxo (v) como o produto do coeficiente de permeabilidade (k) e o gradiente hidráulico (i), de acordo com a Equação 12.

$$Q = k \frac{\Delta h}{L} A \quad (10)$$

$$Q = k i A \quad (11)$$

$$v = k i \quad (12)$$

A velocidade de fluxo pode ser obtida pela aplicação da Equação 13 de acordo com ABNT (2021).

$$v = \frac{V}{A_{cp} \times t} \quad (13)$$

O ensaio de permeabilidade com carga constante foi realizado conforme estabelecido em ABNT (2021) utilizando permeâmetro do tipo A (Figura 22a e Figura 22c). O sistema consiste em um reservatório para estabilização do nível de água e tubo para passagem da água para o permeâmetro (Figura 22b).

Figura 22 - Conjunto ensaio de permeabilidade. a) permeâmetro utilizado; b) conjunto de permeabilidade à carga constante; c) execução da determinação da permeabilidade.



Fonte: Autor (2023).

A montagem foi realizada pela formação de uma camada granular inferior, a colocação de uma tela metálica para suportar a colocação de um geotêxtil, a modelagem do corpo de prova, novamente uma tela metálica e uma nova camada de material granular.

O corpo de prova foi moldado com o objetivo de alcançar a mesma compacidade relativa do local de coleta utilizando funil e equipamento para auxiliar a compactação, acondicionando a massa de solo necessária para alcançar a massa específica aparente *in situ* em um volume previamente estabelecido.

O procedimento que antecede a execução ensaio é a saturação do corpo de prova para remoção do ar contido na amostra. O procedimento de saturação foi realizado por fluxo ascendente onde o gradiente hidráulico foi fixado em 1,0.

A execução do ensaio se deu pela utilização de uma proveta de 1000 ml e cronometro para determinação do tempo necessário para preenchimento do volume da proveta. Este procedimento foi repetido por cinco vezes conforme ABNT (2021).

A Tabela 8 descreve as características de condutividade hidráulica de alguns tipos de solo.

Tabela 8 - Valores típicos de condutividade hidráulica

Classificação do Solo	Condutividade hidráulica (cm/s)	
	Adaptado de Pinto (2006)	Das (2017)
Argilas	$k < 10^{-7}$	$k < 10^{-6}$
Argila com silte	-	$10^{-3} < k < 10^{-5}$
Siltes	$10^{-4} < k < 10^{-7}$	-
Areias argilosas	10^{-5}	-
Areias finas	10^{-3}	$10^{-2} < k < 10^{-3}$
Areias médias	10^{-2}	-
Areias grossas	10^{-1}	$1 < k < 10^{-2}$
Pedregulho limpo	-	$10^2 < k < 1$

Fonte: adaptado de Pinto (2006) e Das (2017).

3.3.8 Cisalhamento direto

O procedimento de cisalhamento direto foi executado de acordo com as diretrizes contidas em ASTM (2004). A amostra foi compactada com o objetivo de reconstruir sua estrutura e compacidade relativa natural e inserida no equipamento para execução do ensaio. As cargas normais submetidas na amostra foram 50 kPa, 100 kPa e 200 kPa. As amostras ensaiadas foram: 1.1; 1.4; 1.7; 2.1; 2.4; 2.7; 3.1; 3.4; 3.7.

Para cada ensaio foram gerados gráficos de tensão de cisalhamento × Deslocamento horizontal; Tensão normal × Tensão cisalhante; e Variação volumétrica × Deslocamento horizontal.

Foram calculados parâmetros de resistência ao cisalhamento: intercepto de coesão e ângulo de atrito interno do solo e suas respectivas massas específicas e índices de vazios de moldagem.

3.3.9 Angularidade e forma 2D

Dentre as diversas propriedades de formas e metodologias de obtenção constantes na literatura, tornam-se importantes os conceitos de angularidade e de forma descritos pelo método proposto em DNIT (2020), pois somente estes dados são obtidos para materiais de dimensões inferiores à 4,75 mm utilizando o equipamento *Aggregate Imaging Measurement System* (AIMS), ou sistema de medição por imagem dos agregados Figura 23a e Figura 23b. As definições, segundo DNIT (2020), são:

Angularidade:

Parâmetro relacionado aos ângulos das arestas existentes nas imagens 2D das partículas de agregado. Quantifica as mudanças de direção existentes ao longo do contorno da partícula por meio do método do gradiente. Seu valor pode variar de 0 a 10,000, sendo que quanto maior for este valor mais angular é a partícula do agregado. É aplicável para agregados graúdos e miúdos.

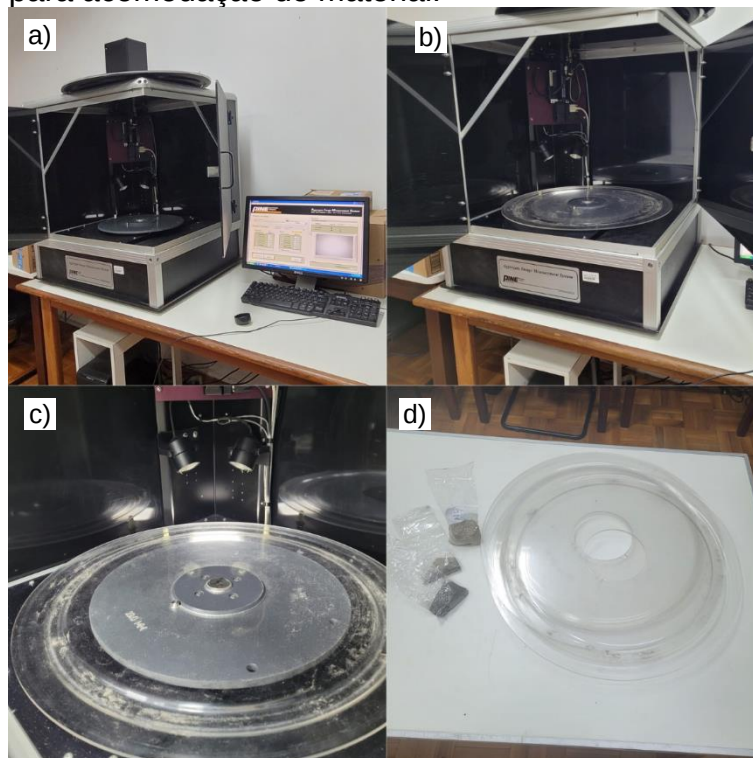
Forma 2D:

Parâmetro que indica a forma do agregado a partir de imagens 2D. A Forma 2D pode variar de 0 a 20, sendo maior quanto mais alongado é o agregado e apresentando valor zero para um círculo perfeito. É utilizado apenas aos agregados miúdos.

Portanto, foram realizadas análise de angularidade e forma 2D da areia objeto deste estudo. Esta análise foi realizada com o apoio do laboratório de geologia da Universidade Federal do Ceará, com o equipamento *Aggregate Image Measurement System* (AIMS). A Figura 23c e a Figura 23d mostram as bandejas utilizadas para acomodar as amostras durante o processo de obtenção de imagens.

Figura 23 - Aggregate Image Measurement System.

- a) *Aggregate Image Measurement System*;
b) *Aggregate Image Measurement System*;
c) bandeja para acomodação do material; d) bandeja para acomodação do material.



Fonte: Autor (2023).

O sistema realiza a digitalização das imagens e gera o resultado em tabelas e gráficos. Todo o procedimento de cálculo é realizado pelo software de acordo com as equações contidas em DNIT (2020). Os cálculos com as Equações 14 e 15 são realizados para obtenção do valor de forma 2D e angularidade, respectivamente.

$$Forma\ 2D = \sum_{\theta=0}^{\theta=360-\Delta\theta} \left[\frac{R_{\theta+\Delta\theta} - R_{\theta}}{R_{\theta}} \right] \quad (14)$$

Onde:

R_{θ} = raio da partícula em um ângulo θ ;

$\Delta\theta$ = diferença incremental do ângulo.

$$Angularidade = \frac{1}{\frac{n}{3} - 1} \sum_{i=1}^{n=3} |\theta_i - \theta_{i+3}| \quad (15)$$

Onde:

θ = ângulo de orientação dos pontos do contorno;

n = número total de pontos;

i = i-ésimo ponto do contorno da partícula.

Para classificação quanto à angularidade e a forma 2D, DNIT (2020) sugere a classificação proposta por Ibiapina (2018) descrita na Tabela 9. Conforme mencionado anteriormente, neste trabalho será abordado apenas a análise de forma 2D e angularidade dos grãos, visto que se trata de partículas inferiores à 4,75 mm. Para análise, é calculada a média dos valores obtidos para cada amostra e classificado segundo a Tabela 9.

Tabela 9 - Classificação quanto à forma, textura, esfericidade e angularidade

Propriedade	Valores limites				
Forma 2D	<4,0	4,0 - 11,0	11,0 - 15,5	> 15,5	-
	Circular	Semicircular	Semialongado	Alongado	-
Angularidade	< 1.260	1.260 - 4.080	4.080 - 7.180	> 7.180	-
	Arredondado	Subarredondado	Subangular	Angular	-
Esfericidade	< 0,5	0,5 - 0,7	0,7 - 0,9	> 0,9	-
	Achatado/Alongado	Baixa esfericidade	Esfericidade moderada	Alta esfericidade	-
Textura superficial	< 260	260 - 440	440 - 600	600 – 825	> 825
	Polido	Macio	Baixa rugosidade	Rugosidade moderada	Alta rugosidade

Fonte: Ibiapina (2018).

3.3.10 Análise elementar e mineralógica

De acordo com Artioli (2010), a análise por difração de raios-X (DRX) e fluorescência de raios-X (FRX) são consideradas técnicas mais economicamente viáveis e confiáveis para a identificação de fases cristalinas em materiais naturais e artificiais, como metais, cerâmica, solos, pedras de construção, escórias metálicas, pigmentos, rebocos, entre outros.

As técnicas funcionam em conjunto. A análise com FRX identifica os compostos químicos (ABNT, 2014) e a análise com DRX identifica as estruturas cristalinas. Com o uso destas técnicas, são possíveis a obtenção dos seguintes dados:

- a identificação de compostos cristalinos;
- a análise quantitativa de misturas polifásicas;
- o estudo da estrutura atômica de longo alcance dos cristais, incluindo estudos detalhados de densidade de carga;
- a análise física de agregados cristalinos, incluindo textura de orientação, distribuição de tamanho de cristalito e efeitos de microtensão de rede.

Para análise, as amostras devem estar na forma de pequenos cristais individuais (com tamanhos na faixa de 0,1 a 1,0 mm), agregados policristalinos (pós, ou seja, conjuntos de 103 a 106 cristalitos com tamanho em torno de 1 mm) ou amostras orientadas (fibras, filmes, superfícies polidas). Segundo Artioli (2010), as técnicas experimentais e os métodos de análise de dados a serem aplicados podem passar por variações, dependendo do estado físico e da composição química da amostra além, é claro, da natureza das informações solicitadas.

As amostras submetidas a análise com DRX foram moídas no laboratório e armazenadas em tubos de 5 ml para análise no Laboratório de Raios-X da Universidade Federal do Ceará.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são abordados, analisados e discutidos os resultados obtidos durante o desenvolvimento da pesquisa. No apêndice A são relacionados todos os resultados obtidos por amostra durante a pesquisa.

4.1 Análise estatística

O tratamento dos dados foi realizado com análise estatística por meio do *software* estatístico *Jamovi* (The Jamovi Project, 2022), versão 2.3. Inicialmente foi realizado o teste Shapiro-Wilk com a finalidade de realizar a verificação da normalidade dos dados (Larson, 2010). As Tabela 10 e 11 mostra o resultado obtido. A hipótese zero avaliada pelo teste é de que os dados se diferenciam de uma distribuição normal quando $p < 0,05$.

Tabela 10 - Teste de normalidade Shapiro-Wilk (continua)

Dados	Ponto Amostral	N	Shapiro-Wilk		Teste Recomendado
			W	p	
Ocorrência de microplásticos	1	7	0,856	0,140	ANOVA
	2	7	0,913	0,419	
	3	7	0,846	0,112	
w	1	7	0,955	0,771	Kruskal-Wallis
	2	7	0,945	0,683	
	3	7	0,925	0,509	
Massa Específica Ap. Natural	1	7	0,902	0,344	ANOVA
	2	7	0,889	0,268	
	3	7	0,881	0,230	
Massa Específica Ap. Seca Natural	1	7	0,838	0,095	ANOVA
	2	7	0,887	0,258	
	3	7	0,869	0,184	
Massa Específica Ap. Saturada	1	7	0,832	0,084	ANOVA
	2	7	0,885	0,252	
	3	7	0,837	0,093	
Massa Específica Ap. Seca Mínima	1	7	0,784	0,029	Kruskal-Wallis
	2	7	0,666	0,002	
	3	7	0,973	0,919	
Massa Específica Ap. Seca Máxima	1	7	0,951	0,735	Kruskal-Wallis
	2	7	0,910	0,393	
	3	7	0,640	< 0,001	

Fonte: Autor (2023).

Tabela 11 - Teste de normalidade Shapiro-Wilk (conclusão)

Dados	Ponto Amostral	N	Shapiro-Wilk		Teste Recomendado
			W	p	
Porosidade	1	7	0,916	0,437	ANOVA
	2	7	0,887	0,258	
	3	7	0,953	0,759	
Saturação	1	7	0,820	0,064	Kruskal-Wallis
	2	7	0,937	0,612	
	3	7	0,916	0,440	
Densidade Real	1	7	0,642	< 0,001	Kruskal-Wallis
	2	7	0,822	0,068	
	3	7	0,882	0,234	
D ₁₀	1	7	0,785	0,029	Kruskal-Wallis
	2	7	0,582	<0,001	
	3	7	0,664	0,001	
D ₃₀	1	7	0,732	0,008	Kruskal-Wallis
	2	7	0,672	0,002	
	3	7	0,664	0,001	
D ₅₀	1	7	0,646	< 0,001	Kruskal-Wallis
	2	7	0,772	0,022	
	3	7	0,664	0,001	
D ₆₀	1	7	0,600	< 0,001	Kruskal-Wallis
	2	7	0,772	0,022	
	3	7	0,664	0,001	
CC	1	7	0,600	<0,001	Kruskal-Wallis
	2	7	0,600	<0,001	
	3	7	NaN	NaN	
CNU	1	7	0,871	0,189	Kruskal-Wallis
	2	7	0,933	0,580	
	3	7	0,931	0,556	
Índice de Vazios Natural	1	7	0,918	0,455	ANOVA
	2	7	0,891	0,282	
	3	7	0,954	0,767	
Índice de Vazios Mínimo	1	7	0,948	0,715	Kruskal-Wallis
	2	7	0,906	0,366	
	3	7	0,912	0,411	
Índice de Vazios Máximo	1	7	0,925	0,507	Kruskal-Wallis
	2	7	0,661	0,001	
	3	7	0,975	0,931	
Compacidade Relativa	1	7	0,977	0,943	ANOVA
	2	7	0,950	0,730	
	3	7	0,927	0,525	
K ₂₀	1	7	0,661	0,001	Kruskal-Wallis
	2	7	0,894	0,294	
	3	7	0,961	0,828	

Fonte: Autor (2023).

Segundo o teste realizado, como o valor de p do teste é inferior à 0,05 para as amostras de Massa Específica Aparente Seca Mínima, Massa Específica Aparente Seca Máxima, Densidade Real, D_{10} , D_{30} , D_{50} , D_{60} , CC, Índice de Vazios Mínimo, Índice de Vazios Máximo, K_{20} , não é possível a análise de variância (ANOVA), logo estes parâmetros serão analisados pelo teste Kruskal-Wallis.

Logo, os parâmetros com $p > 0,05$ sugerem uma distribuição normal e uma análise de variância pelo teste ANOVA. Estes parâmetros foram submetidos à verificação do pressuposto de homogeneidade de variâncias (Tabela 12) onde a hipótese nula ($p < 0,05$) indica que o parâmetro não atendeu o pressuposto de homogeneidade de variâncias.

Pelo resultado do teste mostrado na Tabela 12, conclui-se que a verificação da ocorrência de microplásticos, a massa específica aparente natural, a massa específica aparente seca natural, a massa específica aparente saturada, o índice de vazios natural, a porosidade e a compacidade relativa atenderam o pressuposto de homogeneidade de variâncias, tornando-os compatíveis para realização da análise de variância ANOVA. O teste foi realizado com um intervalo de confiança de 95%.

Tabela 12 - Teste de homogeneidade das variâncias (Levene)

	F	gl1	gl2	p
Ocorrência de microplásticos	5,409	2	18	0,616
w	5,409	2	18	0,014
Massa Específica Ap. Natural	1,916	2	18	0,176
Massa Específica Ap. Seca Natural	0,252	2	18	0,780
Massa Específica Ap. Saturada	0,420	2	18	0,663
Porosidade	0,338	2	18	0,718
Saturação	4,442	2	18	0,027
CNU	3,968	2	18	0,037
Índice de Vazios Natural	0,370	2	18	0,696
Compacidade Relativa	0,320	2	18	0,822

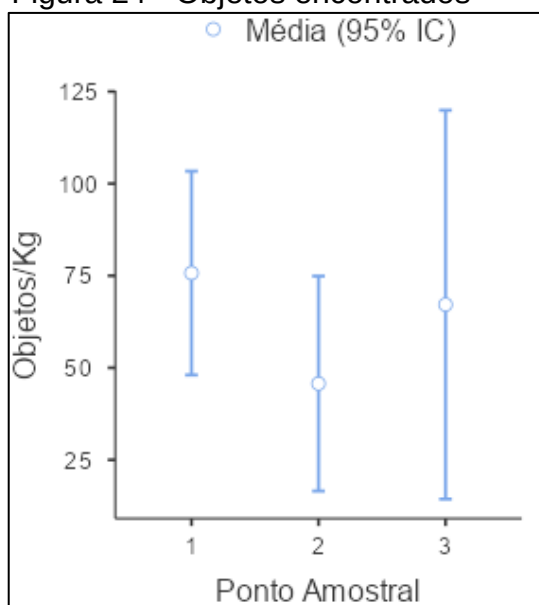
Fonte: Autor (2023).

Os demais parâmetros listados na Tabela 10 não mencionados anteriormente serão analisados pelo teste não-paramétrico *Kruskal-Wallis*.

4.2 Ocorrência de microplásticos

A Figura 24 mostra o resultado determinado para cada ponto por meio da ANOVA (Larson, 2010; The Jamovi Project, 2022), teste estatístico utilizado para análise da ocorrência de microplásticos. As médias são: Ponto 1 – 76 objetos/kg; Ponto 2 – 46 objetos/kg; e Ponto 3 – 67 objetos/kg. Considerando a profundidade de análise (3 cm) e a massa específica aparente seca de cada local amostral (1519 kg/m³; 1485 kg/m³; 1452 kg/m³; respectivamente), pode-se calcular a quantidade de objetos por m² que foi de 3450 objetos/m² - ponto 1; 2036 objetos/m² - ponto 2; e 2925 objetos/m² - ponto 3. A análise da Figura 24 e o teste Post-Hoc de Tukey (Tabela 13) não revelou diferença significativa entre os pontos amostrais.

Figura 24 - Objetos encontrados



Fonte: Autor (2023).

Tabela 13 - Teste Post-Hoc de Tukey – Microplásticos

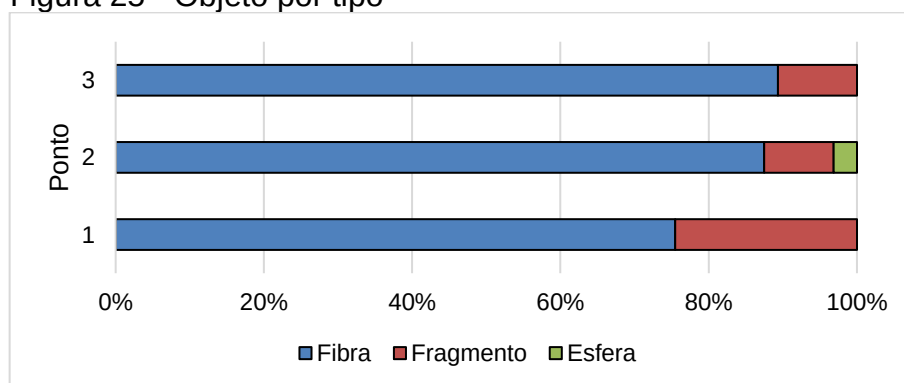
		1	2	3
1	Diferença média	—	30,00	8,57
	p-value	—	0,385	0,921
2	Diferença média		—	-21,43
	p-value		—	0,606
3	Diferença média			—
	p-value			—

Fonte: Autor (2023).

O resultado total por ponto amostral da verificação da ocorrência de microplásticos é resumido na Figura 25. Foi observado a prevalência de objetos com o formato de fibra, entre 75 e 89%, em seguida fragmentos, entre 9 e 25%, e esferas 3%. A análise segundo a coloração indicou que houve prevalência dos objetos de coloração azul, entre 31,3 e 64,2%; seguido dos objetos incolores (9,4 – 44,7%) e de coloração vermelha (6,4 – 15,6%) de acordo com a Figura 26.

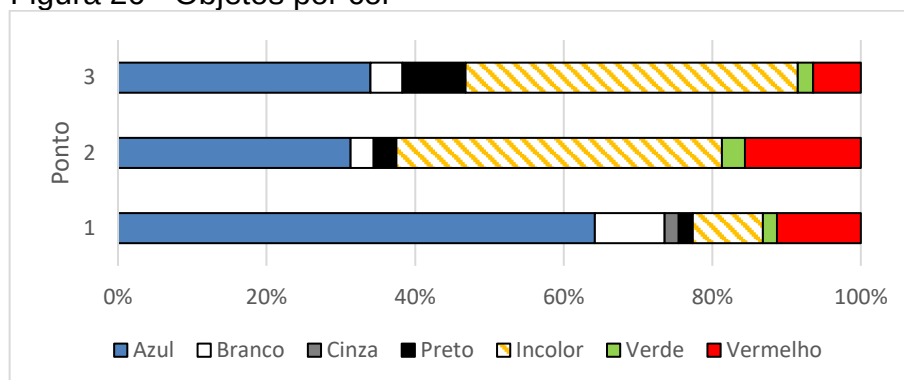
Os resultados são semelhantes aos observados por Nolasco *et al.* (2022) em investigações realizadas em águas da zona costeira de Fortaleza. Nolasco *et al.* (2022) identificou a presença de 619 partículas em 8.251,26 m³ de água filtrada, sendo 57% das partículas fibras e 36% fragmentos. Os objetos mais abundantes foram as fibras verde-escuras (22%), seguidas pelas fibras transparentes (15,1%). Um número semelhante foi encontrado de fibras azuis e fragmentos azuis (11% e 13,3%, respectivamente). Fragmentos brancos e pretos representaram 6,2% e 6,8% das partículas, respectivamente e caracterizados como náilon/poliamida (PA), poliestireno (PS), borracha de pneu, polietileno (PE), polipropileno (PP) e policloreto de vinila (PVC).

Figura 25 - Objeto por tipo



Fonte: Autor (2023).

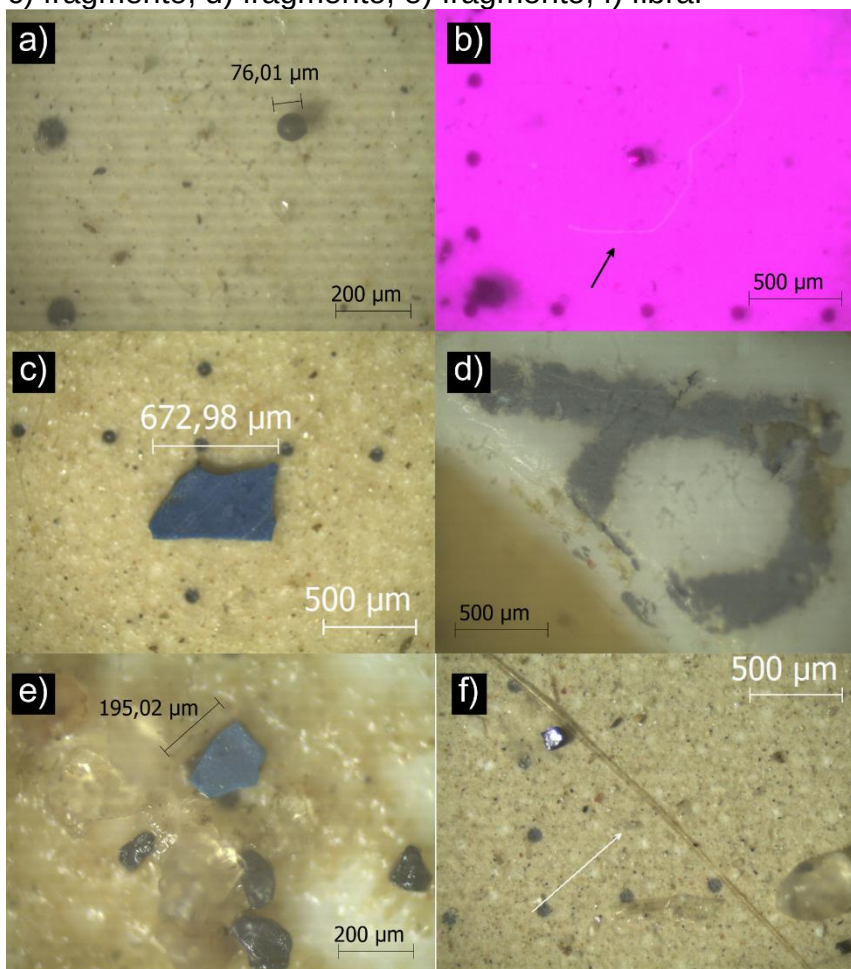
Figura 26 - Objetos por cor



Fonte: Autor (2023).

A Figura 27 representa os MPs identificados na investigação visual. Na Figura 27a, é possível verificar um objeto de formato esférico nas três dimensões na ordem de 76 μm . Figura 27b é possível observar uma fibra incolor, que ao emitir uma luz ultravioleta passou a fluorescer e seu comprimento ultrapassa 1 mm. A Figura 27c e a Figura 27e demonstram a ocorrência de um material plástico com sinais de fragmentação e oxidação, sendo o primeiro com dimensões aproximadas de 673 μm e o segundo com aproximadamente 195 μm . A Figura 27d é perceptível um objeto plástico com inscrições registradas no seu corpo, com sinais de corte, fragmentação e oxidação. Já a Figura 27f é possível visualizar uma fibra de aparência rígida com dimensão que ultrapassa 2 mm.

Figura 27 - Feições encontradas. a) esfera; b) fibra; c) fragmento; d) fragmento; e) fragmento; f) fibra.



Fonte: Autor (2023).

Segundo Torres-Bejarano (2018), praias com elevado número de turistas podem ocasionar a elevação nas concentrações de poluentes e contaminantes, o que foi evidenciado por Carvalho e Baptista Neto (2016) quando analisaram a poluição de microplásticos na Baía de Guanabara, Brasil, encontrando entre 12 e 1300 partículas/m², sendo 56% dos objetos eram fragmentos; 26,7% se caracterizavam como fragmentos de isopor; 9,9% eram *pellets*; e 7,2% eram fibras. Pinheiro *et al.* (2019) analisaram os sedimentos protegidos e não protegidos por *beachrocks* da Praia de Boa Viagem, Pernambuco, Brasil. Os autores identificaram que regiões que possuem barreiras de *beachrocks* possuem a tendência de acumular maiores concentrações de MPs do que em regiões que não possuem barreiras. As concentrações foram de 642 partículas/m² em locais protegidos por barreiras e 130 partículas/m² em locais sem barreiras.

Silva *et al.* (2022) analisaram quatro praias de Niterói, Rio de Janeiro, Brasil. A maior concentração evidenciada foi determinada na Praia do Sossego com 102,4 partículas/m², sendo 52% do material extraído eram isopor; 20% eram filamentos; 20%, fragmentos; e o restante foram classificados como filmes (4%), *pellets* (2%) e fibras (1%).

Mengatto e Nagai (2022) investigaram a ocorrência de microplásticos no complexo Estuarino de Paranaguá, Paraná, no sul do Brasil. As maiores concentrações foram evidenciadas na Vila das Peças, que apesar de se tratar de uma área de proteção ambiental, foram encontrados 188,4 objetos/m².

Nos portos de Zeebrugge, Oostende e Nieuwpoort, na Bélgica, foram analisadas amostras de zona internas e externas por Claessens *et al.* (2011). Os resultados das análises identificaram a presença de 166,7 partículas/kg, sendo: 59% de fibras, 25% de fragmentos, 4% de filmes plásticos e 12% de esferas.

Já Wang *et al.* (2017) analisaram a ocorrência de MPs e metais pesados nos sedimentos de camadas superficiais do Rio Beijiang, situado na zona litorânea da China. O resultado das análises apontou a existência de MPs nas amostras de sedimentos de todos os locais, chegando a 544 itens/kg com a constatação da presença de metais pesados em suas superfícies.

Dekiff *et al.* (2014) analisaram a ocorrência e distribuição de MPs em sedimentos na ilha de Norderney, Alemanha. Os autores examinaram 36 amostras de solo superficial de três pontos distintos no litoral. Destaca-se nesse estudo a presença de fibras, onde o número variou entre 23 a 213 fibras/kg de sedimento seco.

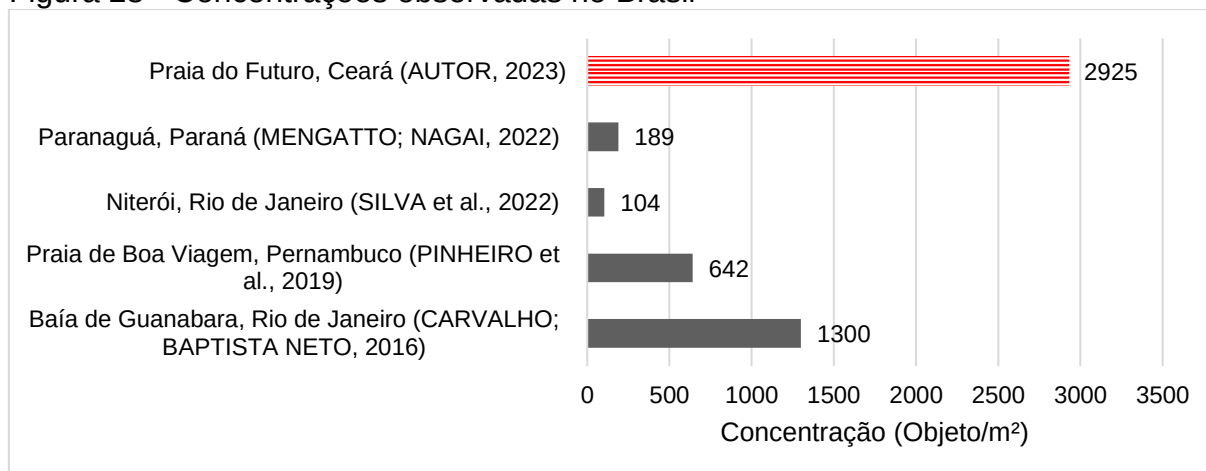
Os sedimentos costeiros das ilhas de Mallorca e de Cabrera, situadas no Mar Mediterrâneo, foram examinados para investigar a influência de pressões antrópicas na ocorrência de MPs. Foram encontradas concentrações médias de 897,35 itens/kg em regiões de proteção ambiental e 163,68 itens/kg em regiões de influência antrópica (Alomar; Estarellas; Deudero, 2016).

Há um grande risco de biomagnificação para os níveis tróficos da cadeia alimentar quando MPs ficam expostos na natureza (Sanchez; Bender; Porcher, 2014).

As principais fontes de microplásticos são fontes fluviais. Águas urbanas que desembocam em rios que levam partículas até os mares. Porém, Allen *et al.* (2019) identificou o transporte de MPs por precipitações atmosféricas em uma região montanhosa dos Perinéus, com deposição diária de até 365 partículas/m².

Foram observadas maiores concentrações em relação aos locais investigados no Brasil (Figura 28) por Carvalho e Baptista Neto (2016), Pinheiro *et al.* (2019), Silva *et al.* (2022), e Mengatto e Nagai (2022).

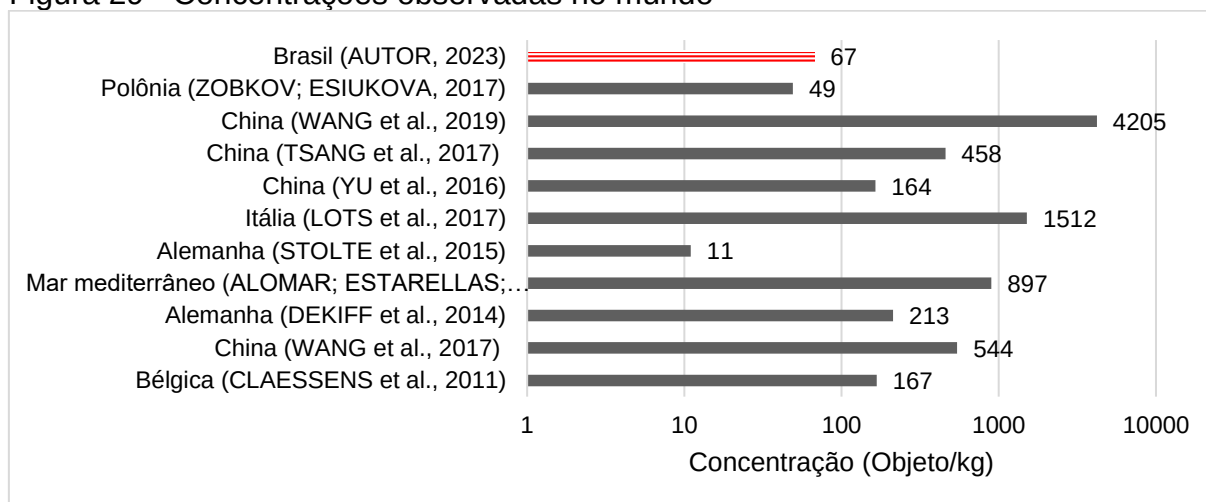
Figura 28 - Concentrações observadas no Brasil



Fonte: Autor (2023).

De acordo com Figura 29, os valores foram inferiores aos observados na Bélgica por Claessens *et al.* (2011); na China por Yu *et al.* (2016), Wang *et al.* (2017), Tsang *et al.* (2017) e Wang *et al.* (2019); na Alemanha por Dekiff *et al.* (2014); na Itália por Lots *et al.* (2017) e no Mar Mediterrâneo por Alomar, Estarellas e Deudero (2016). Os valores foram superiores ao encontrados na Polônia por Zobkov e Esiukova (2017) e Alemanha por Stolte *et al.* (2015). Assim, os resultados estão de acordo com a literatura consultada para zonas costeiras com movimentação turística e com desembocaduras de rios, uma vez que a origem das partículas pode ser de origem oceânicas ou terrestres (Vegter *et al.*, 2014).

Figura 29 - Concentrações observadas no mundo



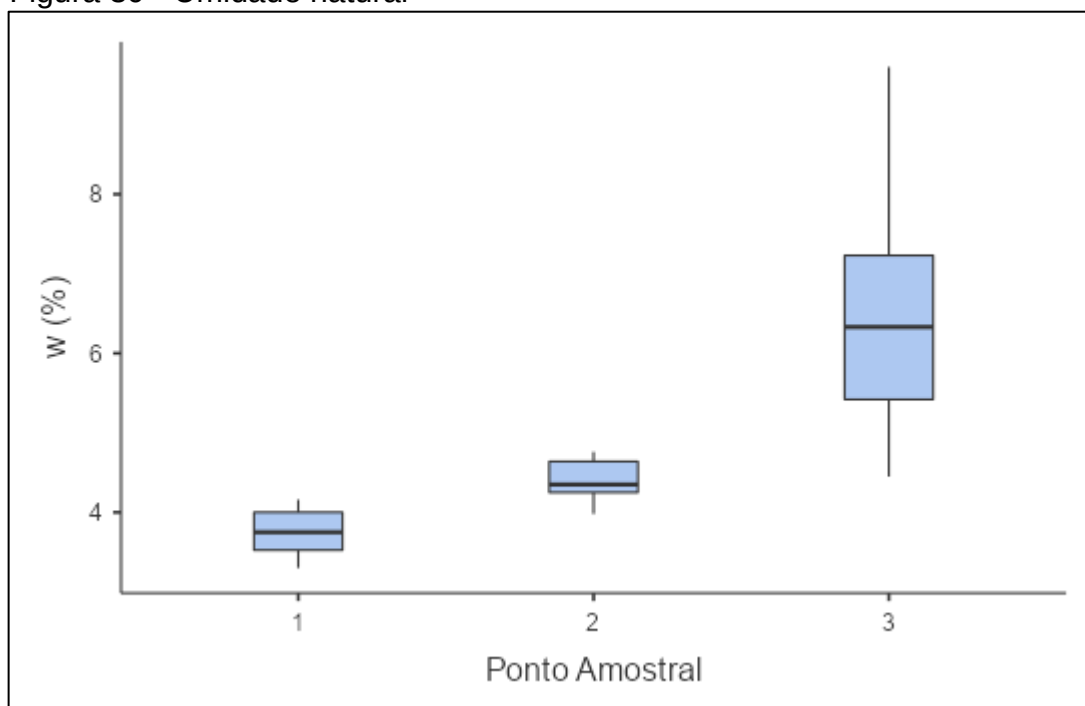
Fonte: Autor (2023).

4.3 Umidade natural

A umidade natural verificada para os pontos amostrais é descrita na Figura 30. Ressalta-se que valores variam conforme a proximidade da zona de maré e também com o nível de água na areia. Em consequência, as amostras mais próximas da zona de maré e do nível de água na areia possuíam uma umidade mais elevada do que aquelas mais afastadas.

Os valores medianos encontrados foram de 3,8%; 4,4%; e 6,3% para o Ponto 1, Ponto 2 e Ponto 3, respectivamente. O fato do Ponto 3 ter obtido uma umidade mais elevada é justificável por ter ocorrido uma garoa no momento da coleta da areia.

Figura 30 - Umidade natural



Fonte: Autor (2023).

Não é coerente uma discussão sobre a significância da variação dos valores de umidade para as amostras, visto que estes dados foram influenciados pela garoa que ocorreu no dia da coleta, bem como a variação da temperatura ao longo da manhã. Segundo Tuijnman *et al.* (2020), a umidade é mais elevada de acordo com a aproximação com o mar e nível do lençol freático. Contudo, não foi analisada a altura do lençol freático para basear o local de coleta mais adequado para cada amostra.

Por meio da análise do gráfico e do teste de comparações múltiplas (Tabela 14), foi possível entender que os valores variaram significativamente entre os três pontos amostrais.

Tabela 14 - Teste de comparações múltiplas - Umidade

Relação		W	p
1	2	3,98	0,014
1	3	4,43	0,005
2	3	3,35	0,047

Fonte: Autor (2023).

Wiggs, Baird e Atherton (2004) investigaram a influência das mudanças no teor de umidade na superfície de arrastamento e transporte de areia. Os sedimentos analisados foram os coletados na Praia de Aberffraw, no Reino Unido. Foram

encontrados valores entre 11,06% e 14,06% em amostras com 3 cm de espessura e na parte superficial (entre 1 e 2 mm) foram registrados valores entre 3,81% e 7,78%. As amostras de Wiggs, Baird e Atherton (2004) foram coletadas em uma superfície aproximada de 3 cm medidos visualmente. Wiggs, Baird e Atherton (2004) utilizaram o equipamento ThetaProbe, específico para medições indireta, para determinar a umidade da areia na espessura de 3 cm. As amostras referentes à camada de 1 a 2 mm utilizaram-se de um Amostrador de Sedimentos de Superfície desenvolvido para coletas especiais e determinado por meio de secagem em estufa. Destaca-se que os resultados se referem a uma praia do Reino Unido, onde o autor registrou a temperatura de 15°C no dia da coleta.

Com relação ao transporte de sedimentos, umidades inferiores a 1,68% não servem como barreira para evitar esse tipo de transporte em condições naturais. (Wiggs; Baird; Atherton, 2004). Segundo Sherman e Douglas (1990) descrevem que os principais fatores que influenciam o transporte de sedimentos são estresse do vento, tamanho do grão, suprimento de areia disponível, teor de umidade da superfície da areia, classificação do tamanho do grão, rugosidade do leito, inclinação da praia, cobertura vegetal e entre outros fatores.

Portanto, os sedimentos da Praia do Futuro, situados no local da coleta de amostras deste trabalho, podem não ser transportados pelo vento, resta a investigação da velocidade e direção dos ventos na região (Bauer *et al.*, 2009).

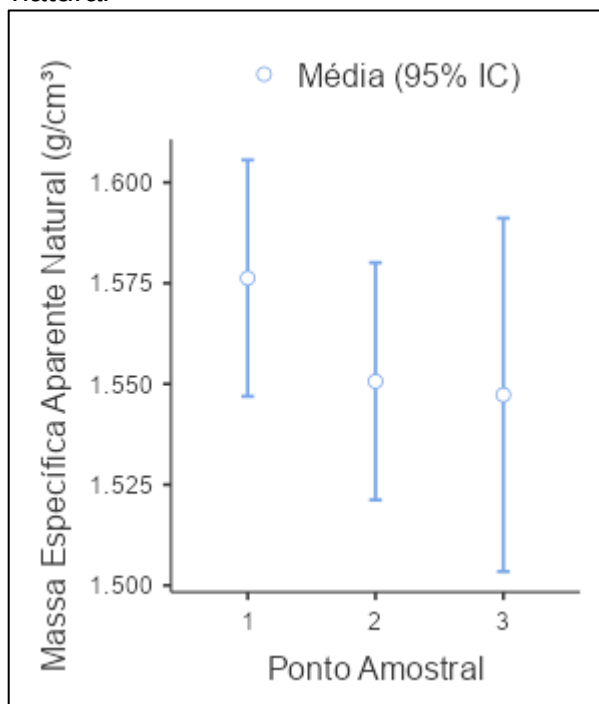
4.4 Massas específicas

Os dados obtidos de massas específicas são úteis para os cálculos de outros parâmetros, por exemplo, grau de saturação, índice de vazios mínimo, índice de vazios máximo, compacidade relativa e porosidade.

4.4.1 Massa específica aparente natural

Conforme mencionado em 3.2.2, a massa específica aparente natural foi determinada com a utilização de equipamentos de determinação *in situ*. Os resultados obtidos podem ser consultados na Figura 31. O valor médio encontrado foi de 1,576 g/cm³, 1,551 g/cm³ e 1,547 g/cm³ para o Ponto 1, Ponto 2 e Ponto 3, respectivamente.

Figura 31 - Massa específica aparente natural



Fonte: Autor (2023).

Por meio da interpretação do gráfico e do resultado do teste Post-Hoc de Tukey (Larson, 2010; The Jamovi Project, 2022) contido na Tabela 15, é possível inferir que não houve diferença significativa quanto à massa específica aparente natural entre os três pontos amostrais. Mostrando que ocorreu um arranjo nos três pontos que possibilitou o mesmo valor para os três pontos.

Tabela 15 - Teste Post-Hoc de Tukey – Massa específica aparente natural

		1	2	3
1	Diferença média	—	0,0256	0,02896
	p-value	—	0,430	0,344
2	Diferença média		—	0,00336
	p-value		—	0,985
3	Diferença média			—
	p-value			—

Fonte: Autor (2023).

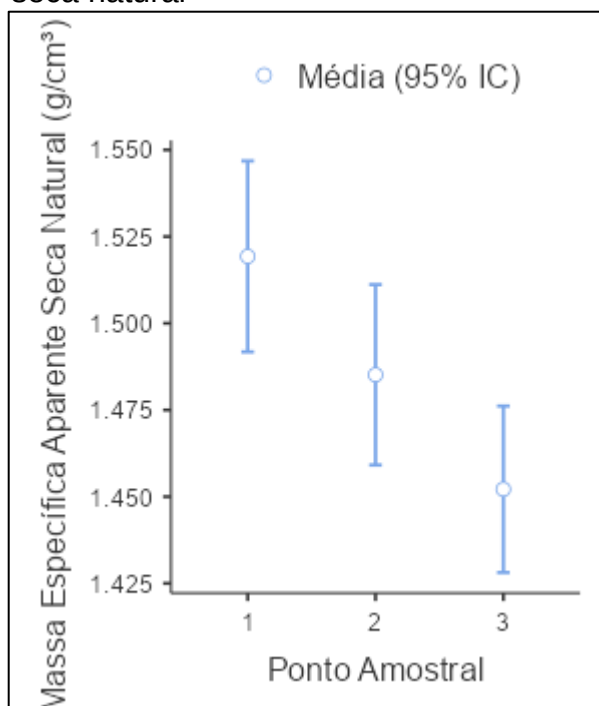
Polido *et al.* (2020) descrevem valores entre 1,50 g/cm³ e 2,04 g/cm³ de massa específica aparente natural determinado com a utilização de frasco de areia em algumas areias das regiões litorâneas da Grande Vitória – ES.

Observa-se que os valores obtidos nesta pesquisa se encontram entre os valores descritos por Polido *et al.* (2020), podendo estar relacionado com a origem do solo, a seleção e a acomodação natural dos grãos.

4.4.2 Massa específica aparente seca natural

Os resultados de massa específica aparente seca natural são representados na Figura 32. Os valores médios foram 1,519 g/cm³; 1,485 g/cm³; e 1,452 g/cm³ para o Ponto 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 32 - Massa específica aparente seca natural



Fonte: Autor (2023).

A Figura 32 e a Tabela 16, que se refere ao teste Post-Hoc de Tukey (Larson, 2010; The Jamovi Project, 2022), mostram que o Ponto 1 e o Ponto 3 possuem diferenças significativas de massa específica aparente seca natural. O Ponto 2 situou-se entre os valores obtidos no Ponto 1 e no Ponto 3, podendo resultar de uma faixa de transição entre os locais de coleta.

Tabela 16 - Teste Post-Hoc de Tukey - Massa específica aparente seca natural

		1	2	3
1	Diferença média	—	0,0341	0,0671
	p-value	—	0,084	< 0,001
2	Diferença média		—	0,0330
	p-value		—	0,097
3	Diferença média			—
	p-value			—

Fonte: Autor (2023).

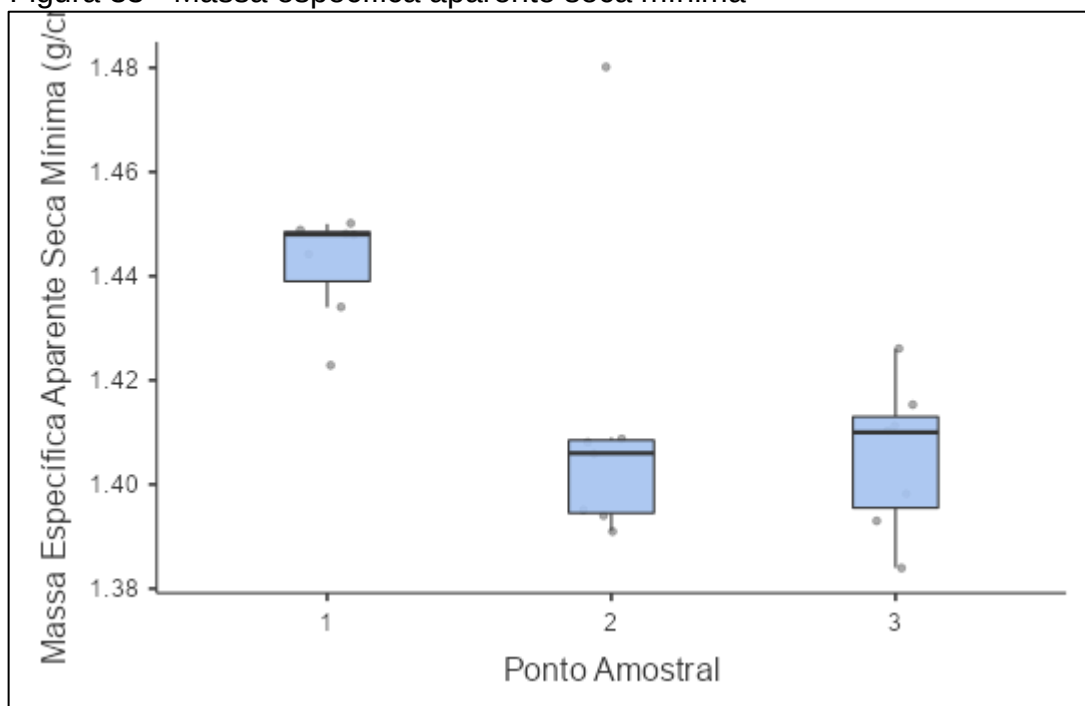
Observou-se que o menor valor encontrado foi no Ponto 3 situado próximo a uma região de grande movimentação turística. O Ponto 1 foi o que teve a ρ_d mais alta, sendo o oposto do Ponto 3 quanto à movimentação turística.

Este parâmetro é utilizado para cálculo do índice de vazios natural e para compacidade relativa, portanto, a discussão sobre estes parâmetros será realizada no seu respectivo tópico.

4.4.3 Massa específica aparente seca mínima

Os valores de massa específica aparente seca mínima foram determinados com a utilização dos procedimentos especificados pela ABNT (2020a) para determinação do índice de vazios máximos. Na Figura 33 podem ser observados os valores encontrados em cada ponto. O valor mediano mais elevado foi obtido para o Ponto 1 (1,448 g/cm³), podendo se relacionar com uma maior quantidade de finos e com o menor valor de diâmetro efetivo. Os valores medianos para o Ponto 2 e 3 foram 1,406 g/cm³ e 1,410 g/cm³ respectivamente.

Figura 33 - Massa específica aparente seca mínima



Fonte: Autor (2023).

Na interpretação da Figura 33, juntamente com o resultado do teste estatístico de significância da Tabela 17, é possível inferir estatisticamente que o Ponto 1 obteve massa específica aparente seca mínima significativamente mais elevada que os Pontos 2 e 3.

Tabela 17 - Teste de comparações múltiplas - Massa específica aparente seca mínima

Relação		W	p
1	2	-3,166	0,065
1	3	-4,251	0,007
2	3	0,632	0,896

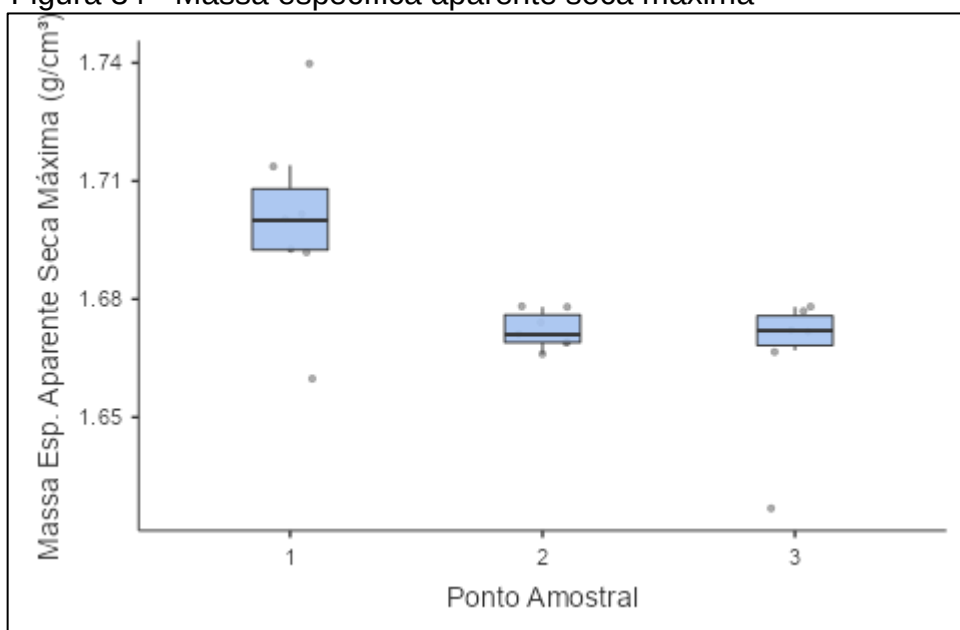
Fonte: Autor (2023).

A massa específica aparente seca mínima determinada por Polido *et al.* (2020), utilizando a mesma metodologia desta pesquisa, situou-se entre 1,38 g/cm³ e 1,43 g/cm³. Os valores obtidos nesta pesquisa são aproximados aos encontrados por Polido *et al.* (2020).

4.4.4 Massa específica aparente seca máxima

A massa específica aparente seca máxima foi obtida segundo o método proposto por Miura e Toki (1982) e por ABNT (2020b). Para massa específica aparente seca máxima pelo método de Miura e Toki (1982), foram 1,700 g/cm³; 1,671 g/cm³; 1,672 g/cm³ para o Ponto 1, Ponto 2 e Ponto 3, respectivamente conforme a Figura 34.

Figura 34 - Massa específica aparente seca máxima



Fonte: Autor (2023).

Analisando isoladamente o gráfico é possível notar uma diferença entre o primeiro ponto amostral e os demais. Porém, ao considerar o teste de comparações múltiplas (Tabela 18) é possível inferir que não houve variação significativa entre os pontos amostrais.

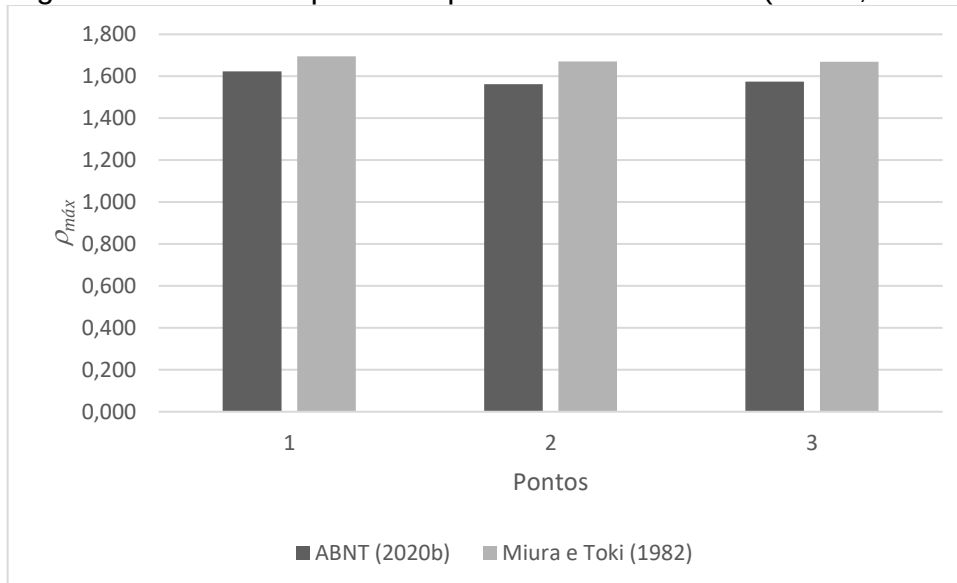
Tabela 18 - Teste de comparações múltiplas - Massa específica aparente seca máxima

Relação		W	p
1	2	-31,693	0,065
1	3	-33,578	0,046
2	3	-0,0913	0,998

Fonte: Autor (2023).

Os valores médios obtidos segundo ABNT (2020b) foram 1,623 g/cm³ no Ponto 1; 1,562 g/cm³ no Ponto 2; e 1,575 g/cm³ no Ponto 3. Os valores são visualizados na Figura 35 e comparados com o obtido pelo método de Miura e Toki (1982). É observado que os valores obtidos por pluviação (Miura; Toki, 1982) são mais elevados do que o obtido com sobrecarga e vibração (ABNT, 2020b).

Figura 35 - Massa específica aparente seca máxima (ABNT, 2020b)

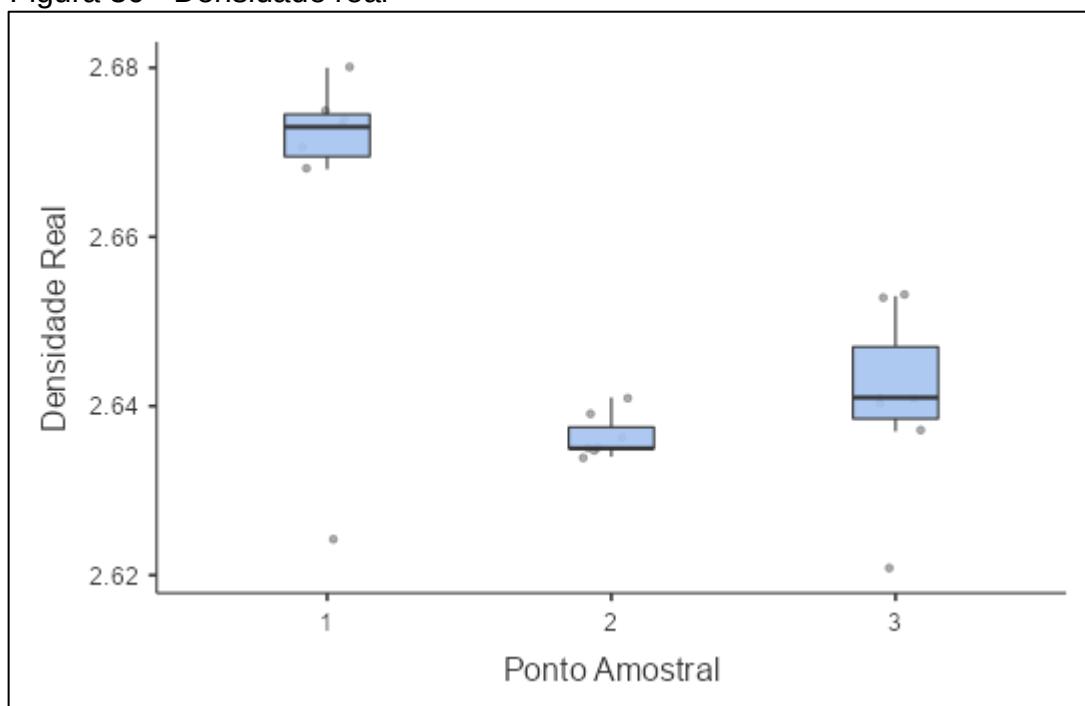


Fonte: Autor (2023).

4.5 Densidade real

A densidade real dos grãos da areia mostrou variação ao longo dos três pontos amostrais de acordo com a Figura 36 e a Tabela 19. A mediana no Ponto 1 foi de 2,673, o Ponto 2 – 2,635 e o Ponto 3 – 2,641. No Ponto 1 foram identificadas quantidades superiores de frações finas e uma coloração mais escura. O Ponto 2 e o Ponto 3 havia grãos com tonalidades mais claras e uniformes.

Figura 36 - Densidade real



Fonte: Autor (2023).

A análise da Figura 24 e o teste de comparações múltiplas (Tabela 19) sugerem que houve variação significativa entre os Pontos 1 e 3. O Ponto 2 não houve diferença significativa dos demais.

Tabela 19 - Teste de comparações múltiplas - Densidade real

Relações		W	p
1	2	-3,18	0,064
1	3	-3,35	0,047
2	3	2,46	0,190

Fonte: Autor (2023).

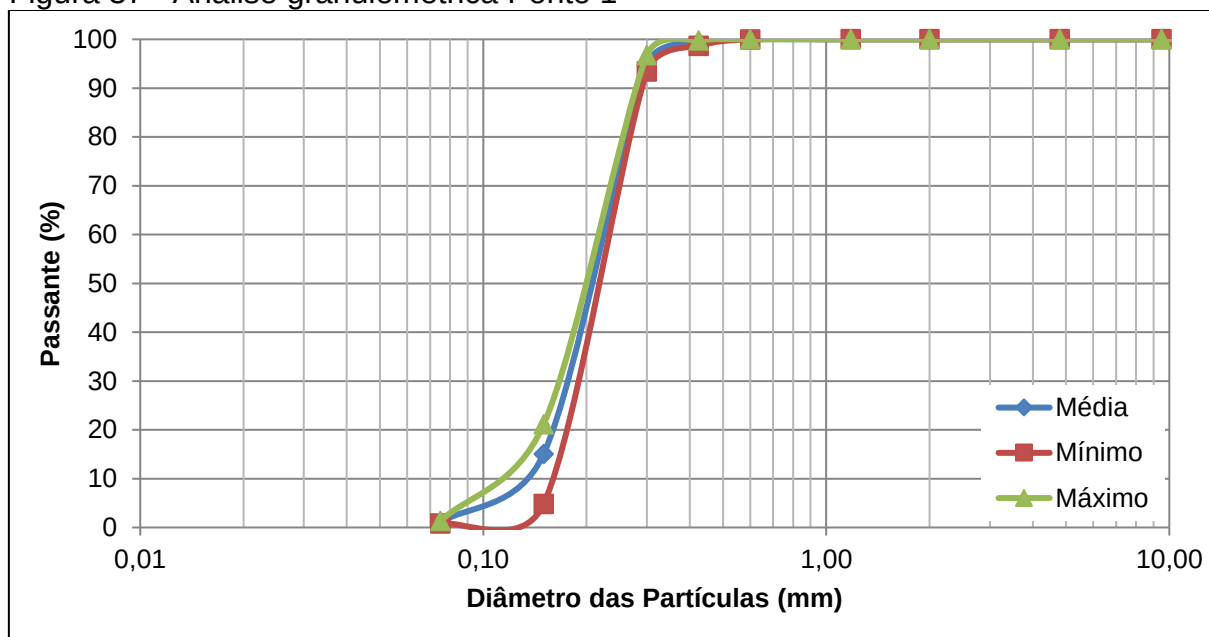
Os valores observados nesta pesquisa, se aproximaram daqueles descritos por Chiossi (2013) para o mineral de quartzo (2,65 g/cm³). Os grãos da areia da Praia de Ipanema, compostos por quartzo, biotita e feldspato, apresentaram densidade real igual a 2,659 (Simões, 2015) e 2,656 (Costa, 2020).

A areia de Toyoura, Japão, constituída pelos minerais de quartzo e feldspato apresentara densidade real de 2,65 (Suzuki; Yamada, 2006); com o mesmo valor foi a densidade dos grãos da areia de Leighton Buzzard, Reino Unido (Lanzano *et al.*, 2016).

4.6 Granulometria

Os resultados para a granulometria são descritos neste trabalho na forma de gráfico. As Figura 37, Figura 38 e Figura 39 mostram os resultados obtidos para os Pontos 1, 2 e 3, respectivamente.

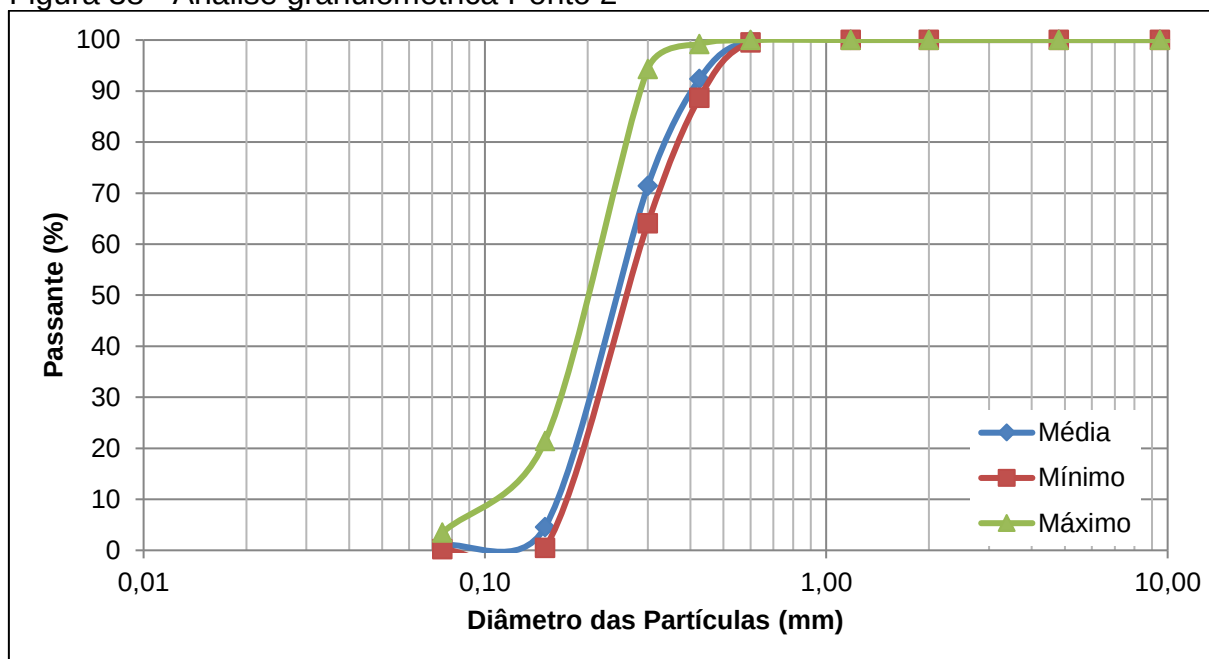
Figura 37 - Análise granulométrica Ponto 1



Fonte: Autor (2023).

Neste primeiro ponto, o diâmetro efetivo variou entre 0,13 e 0,16 mm, e o seu valor mediano foi de 0,14 mm. O coeficiente de não uniformidade (CNU) ficou entre 1,53 e 1,81 e sua mediana foi de 1,72. O coeficiente de curvatura mediano foi de 0,96 e variou de 0,96 a 0,97.

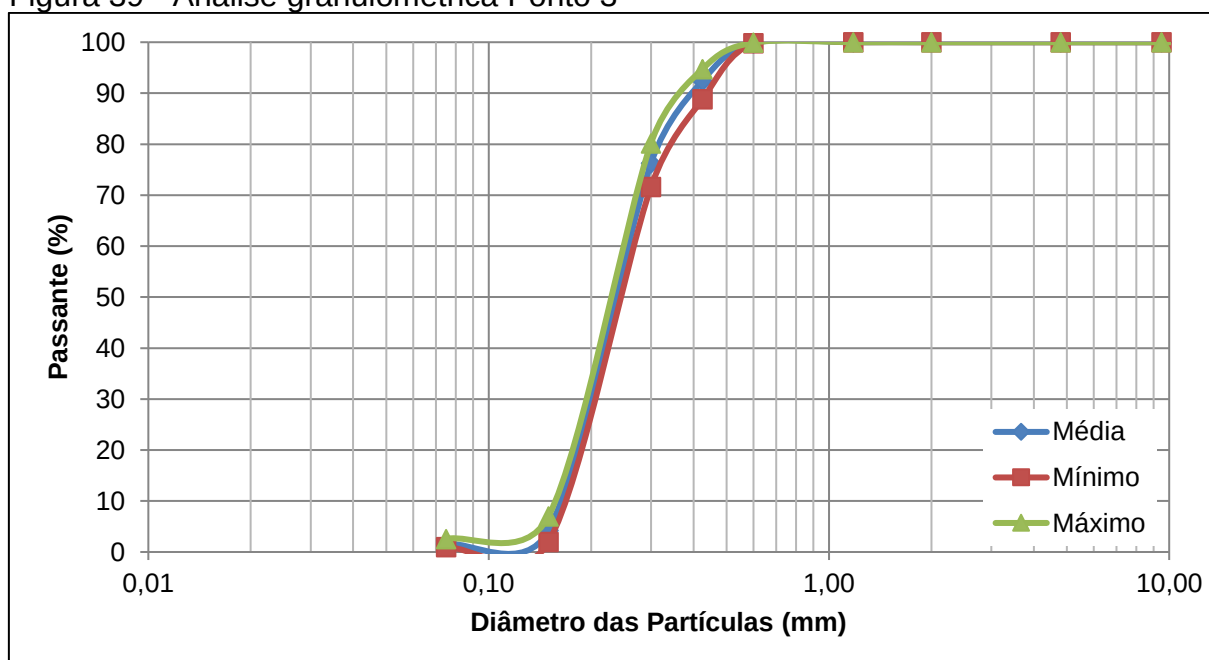
Figura 38 - Análise granulométrica Ponto 2



Fonte: Autor (2023).

O D10 mediano do Ponto 2 foi de 0,17 mm com mínimo de 0,13 mm e máximo de 0,17 mm. Seu CNU mediano foi de 1,68 e variou entre 1,62 e 1,81. O CC variou de 0,96 até 0,97 e o valor mediano foi de 0,96.

Figura 39 - Análise granulométrica Ponto 3

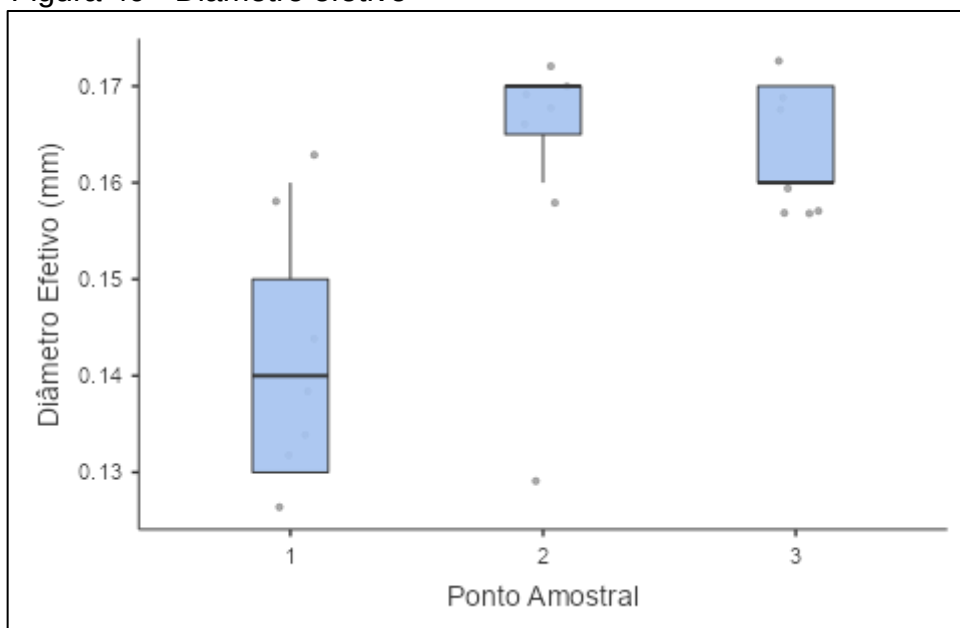


Fonte: Autor (2023).

Para o Ponto 3, o diâmetro efetivo foi de 0,16 mm com variação entre 0,16 e 0,17 mm. O CNU mediano foi de 1,65 com variação entre 1,60 e 1,68. Seu CC mediano foi de 0,96 não mostrando variação.

A Figura 40 e a Tabela 20 tratam da análise estatística dos resultados referentes ao diâmetro efetivo.

Figura 40 - Diâmetro efetivo



Fonte: Autor (2023).

Tabela 20 - Teste de comparações múltiplas - Diâmetro efetivo

Relações		W	p
1	2	3,39	0,044
1	3	3,90	0,016
2	3	-1,03	0,747

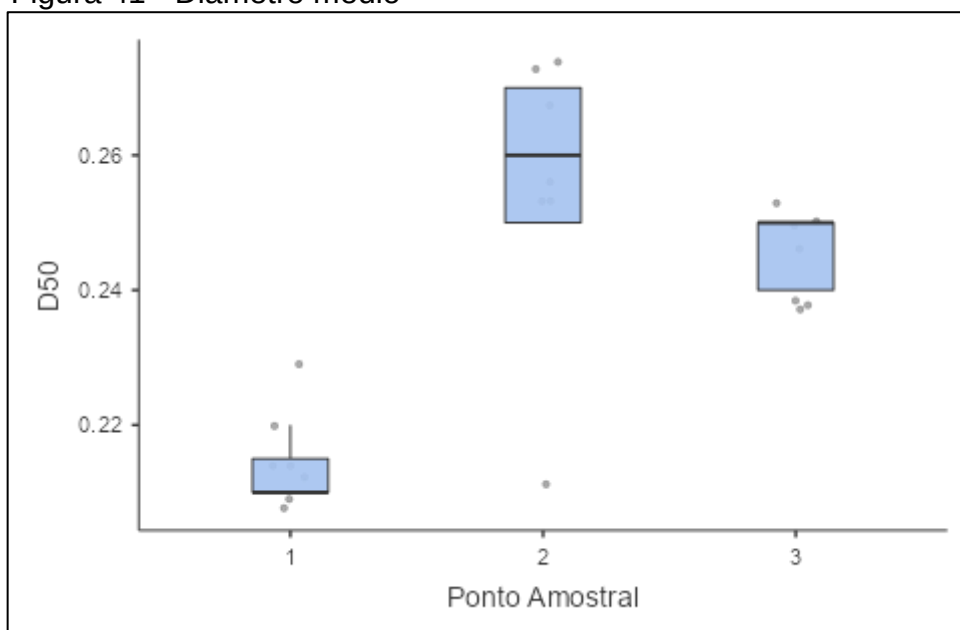
Fonte: Autor (2023).

Analisando o gráfico e o teste de comparações múltiplas, infere-se que o diâmetro efetivo do Ponto 1 é inferior aos Pontos 2 e 3, evidenciando a característica de um solo (areia) fino. Portanto, dos três pontos avaliados, o local que obteve uma areia mais fina foi o correspondente ao Ponto 1 devido ao seu menor diâmetro efetivo. Os Ponto 2 e 3 não se evidenciou diferença significativa.

A areia desta pesquisa possui características granulométricas semelhantes à areia do deserto de Nafud, Arábia Saudita, que possui D_{10} igual a 0,15 mm e D_{50} igual a 0,238 mm.

Foram verificados os diâmetros médios para cada ponto amostral, visto que na maioria das pesquisas, este parâmetro é descrito. O valor mediano obtido para o Ponto 1 foi de 0,21 mm; o Ponto 2, 0,26 mm; e o Ponto 3, 0,25 mm. A Figura 41 e o teste da Tabela 21 fornecem os dados estatísticos determinados. O gráfico e a tabela fornecem subsídios para inferir que o Ponto 1 possui granulometria mais fina que os demais.

Figura 41 - Diâmetro médio



Fonte: Autor (2023).

Tabela 21 - Teste de comparações múltiplas - Diâmetro médio

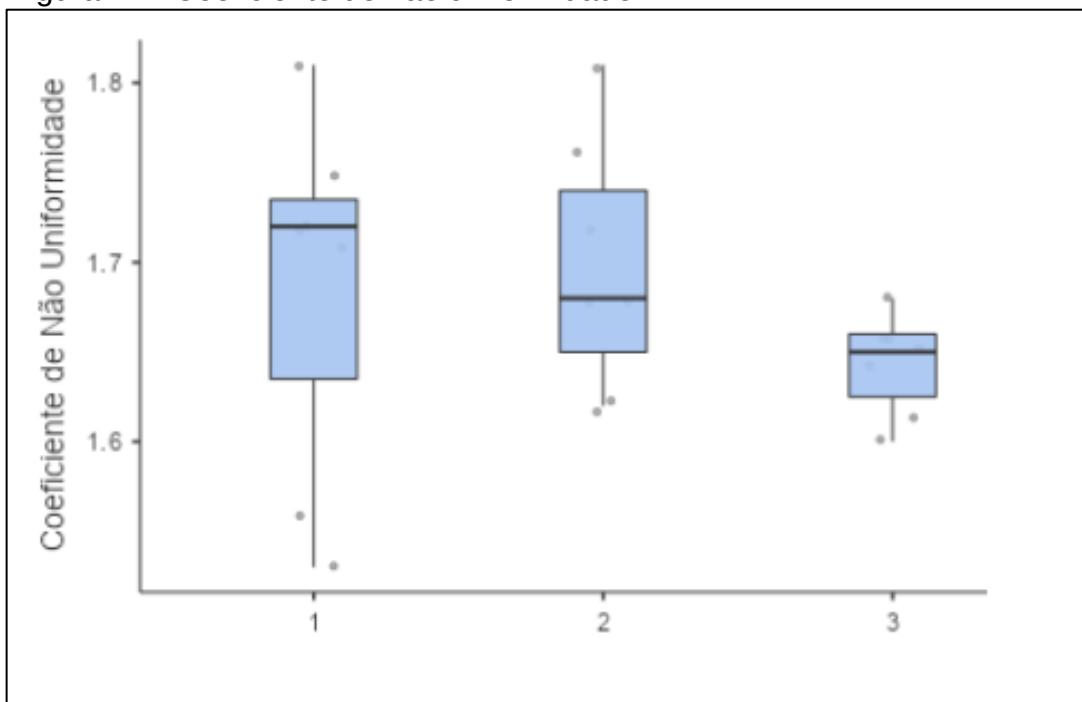
Relações		W	p
1	2	3,78	0,020
1	3	4,60	0,003
2	3	-2,56	0,165

Fonte: Autor (2023).

Realizando uma análise de acordo com o diâmetro médio obtido nesta pesquisa, pode-se inferir que a areia da Praia do Futuro é mais fina que as areias de Famagusta, Chipre; Havai, EUA; Praia de Ipanema, Brasil; e Hostun, França. Segundo os dados levantados nesta pesquisa, apenas a areia de Leighton Buzzard, Reino Unido e Toyoura, Japão, são mais finas que a areia da Praia do Futuro (Tabela 3).

A Figura 42 e o teste de comparações múltiplas referente ao CNU (Tabela 22) dos três pontos amostrais mostrou que não houve diferenças significativas.

Figura 42 - Coeficiente de não uniformidade



Fonte: Autor (2023).

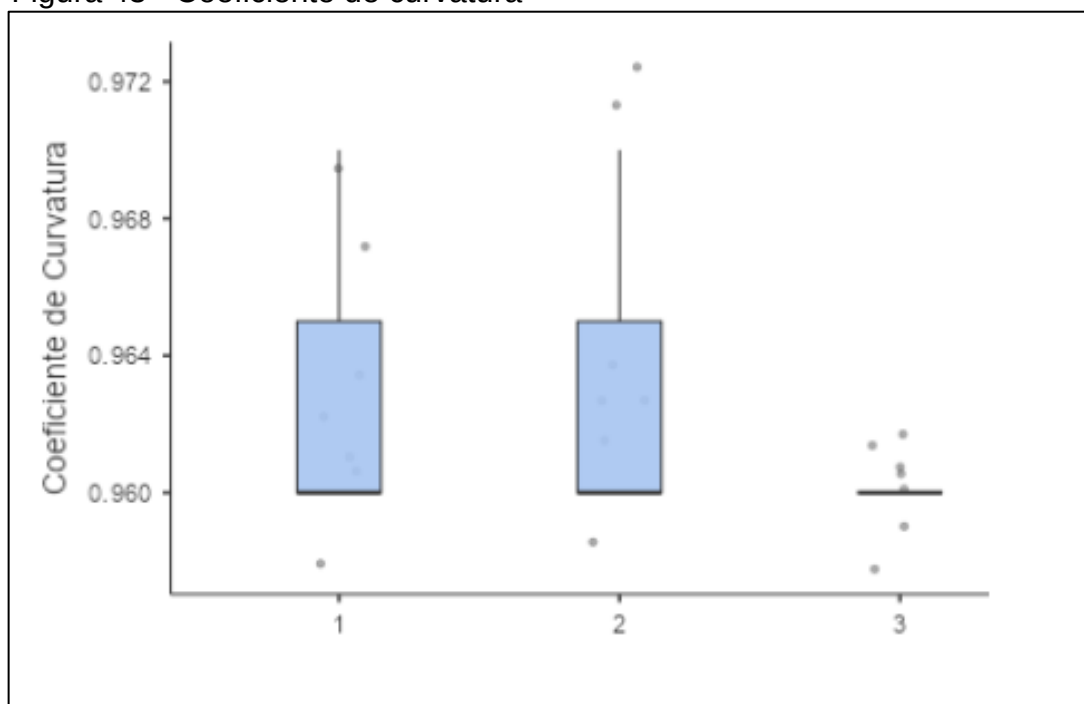
Tabela 22 - Teste de comparações múltiplas - Coeficiente de não uniformidade

Relações		W	p
1	2	0,00	1,000
1	3	-1,90	0,370
2	3	-2,46	0,192

Fonte: Autor (2023).

A respeito do Coeficiente de Curvatura, segundo a Figura 43 e a Tabela 23, nenhum dos três pontos mostraram diferença significativa.

Figura 43 - Coeficiente de curvatura



Fonte: Autor (2023).

Tabela 23 - Teste de comparações múltiplas - Coeficiente de curvatura

Relações		W	p
1	2	0,00	1,000
1	3	-2,08	0,305
2	3	-2,08	0,305

Fonte: Autor (2023).

Os parâmetros CNU e CC também são semelhantes aos dados obtidos por Almejed *et al.* (2020) para a areia do deserto de Nafud, Arábia Saudita, onde CNU – 1,73 e CC – 0,9.

Segundo a ABNT (2022), os solos e rochas variam quanto a sua granulometria, podendo variar desde argila e siltes até areias, pedregulhos, pedras de mão e matacões. A Tabela 24 que mostra a designação quanto à faixa de diâmetro das partículas de um solo.

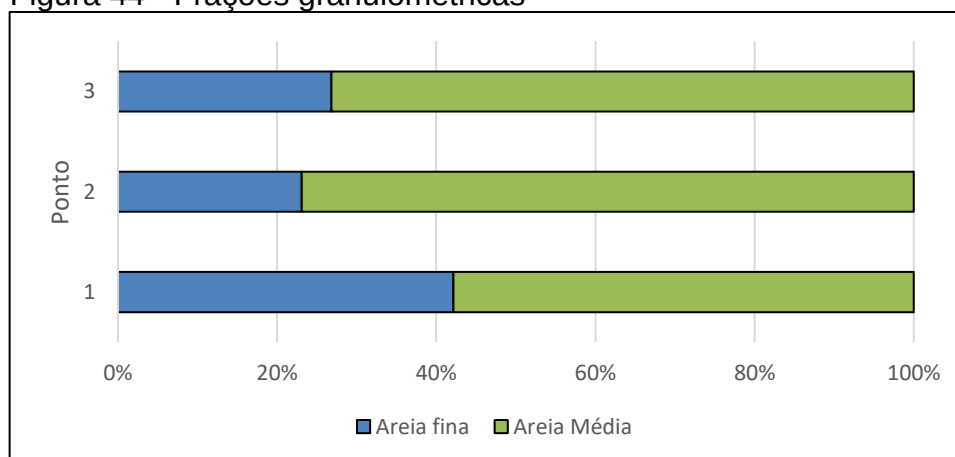
Baseado na Tabela 24, a Figura 44 mostra o percentual medianos de ocorrência para as frações de areia que foram encontrados durante a análise granulométrica. No Ponto 1, 57% se tratava de areia média e 42% era areia fina. No Ponto 2, 75% era areia média e 23% areia fina. No Ponto 3, 72% era areia média e 26% areia fina.

Tabela 24 - Classificação das partículas do solo

Designação	Diâmetros (mm)
Matacão	1000 a 200
Pedra de mão	200 a 60
Pedregulho grosso	60 a 20
Pedregulho médio	20 a 6
Pedregulho fino	6 a 2
Areia grossa	2 a 0,6
Areia média	0,6 a 0,2
Areia fina	0,2 a 0,06
Silte	0,06 a 0,002
Argila	Menor que 0,002

Fonte: ABNT (2022).

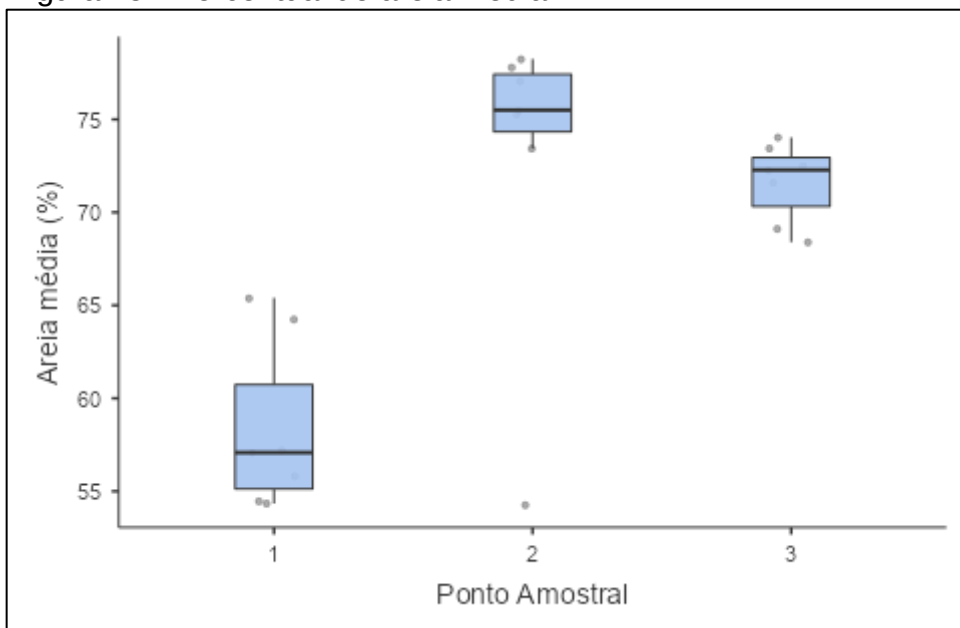
Figura 44 - Frações granulométricas



Fonte: Autor (2023).

As Figuras 45 e 46 e os testes de hipótese das Tabelas 25 e 26 indicam que o percentual de areia média do Ponto 2 não variou significativamente em relação aos Pontos 1 e 3. Com relação ao percentual de areia fina, o Ponto 1 mostrou um percentual de areia fina significativamente maior quanto os demais pontos, concluindo que o Ponto 1 possui areia mais fina que os demais. Os resultados são semelhantes aos levantados por Moraes (1980), areia com predominância da fração média em seu estado fofo, em suas investigações sobre a geologia ambiental costeira de Fortaleza em um perfil estratigráfico que variou entre 2,2 m e 2,9 m.

Figura 45 - Percentual de areia média



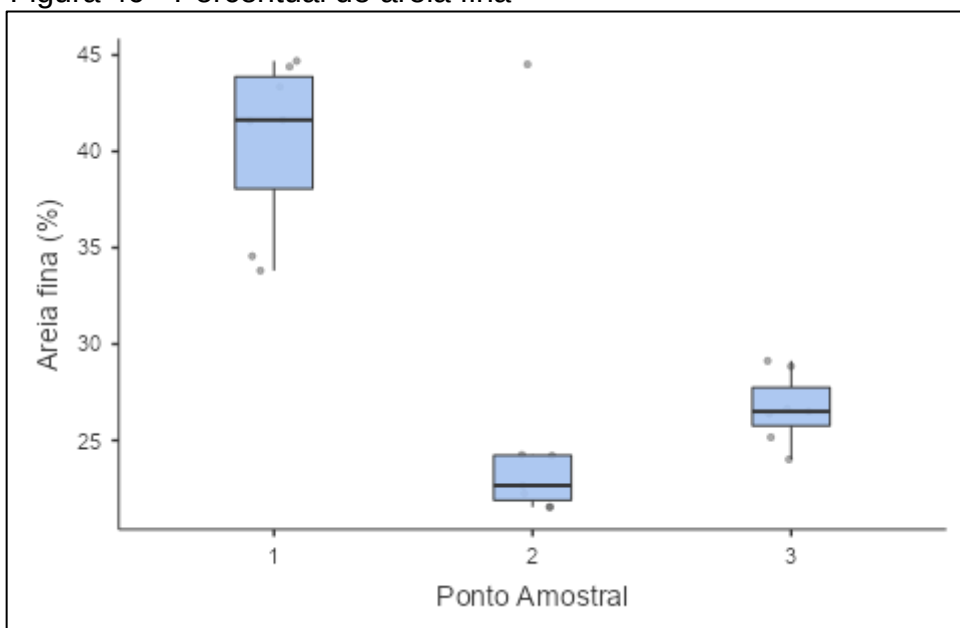
Fonte: Autor (2023).

Tabela 25 - Teste de comparações múltiplas - Percentual de areia média

Relações		W	p
1	2	3,16	0,065
1	3	4,43	0,005
2	3	-2,89	0,101

Fonte: Autor (2023).

Figura 46 - Percentual de areia fina



Fonte: Autor (2023).

Tabela 26 - Teste de comparações múltiplas - Percentual de areia fina

Relações		W	p
1	2	-3,34	0,048
1	3	-4,43	0,005
2	3	2,80	0,117

Fonte: Autor (2023).

Segundo Park e Santamarina (2017), os solos são classificados em sistemas que possibilitam uma ampla visão física e fornecem aos investigadores previsões de comportamento dos solos, agrupando-os em categorias de características semelhantes com base nas suas propriedades físicas. Portanto, as areias da Praia do Futuro foram classificadas como areia mal graduada (SP) segundo o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (ASTM, 2017).

Simões (2015), caracterizou o diâmetro efetivo médio da areia da Praia de Ipanema em 0,22 mm. O CNU determinado foi de 1,90 e o CC de 0,97. Classificando-a como mal graduada uniforme. Da mesma forma, Costa (2020) encontrou o valor do diâmetro efetivo de 0,27 mm, CNU de 1,56 e CC de 0,90 para a areia da Praia de Ipanema classificando-a como uma areia mal graduada e uniforme.

A areia da Praia do Futuro foi inserida na mesma classificação que as areias da Baía de Famagusta, deserto de Nafud, ilha de Linosa e Praia de Ipanema (Tabela 3).

4.7 Resultados obtidos por relações matemáticas de índices físicos

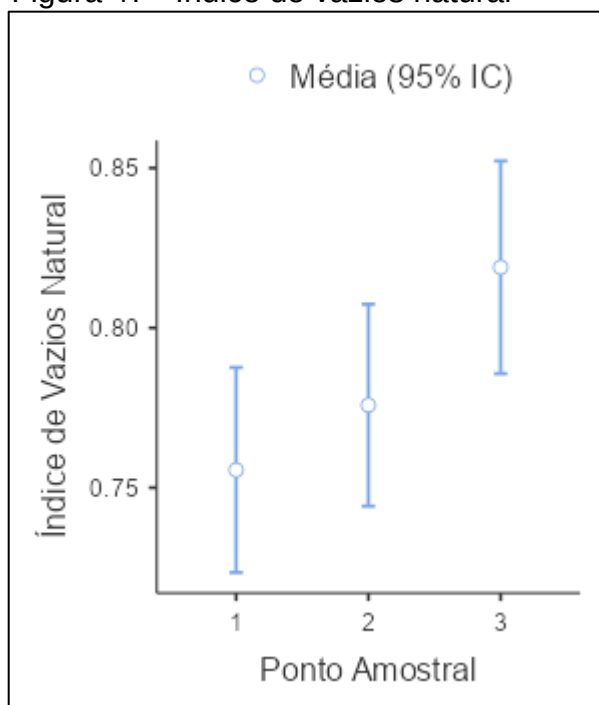
4.7.1 Índice de vazios

4.7.1.1 Índice de vazios natural

Este valor foi determinado com a utilização dos dados de massa específica aparente natural e massa específica do sólido. Os resultados médios obtidos foram: Ponto 1 = 0,76; Ponto 2 = 0,78; e Ponto 3 = 0,82.

A Figura 47 sintetiza os resultados obtidos.

Figura 47 - Índice de vazios natural



Fonte: Autor (2023).

Com relação ao Índice de Vazios no estado natural, por meio da análise da Figura 47 e da Tabela 27, foi possível inferir que o Ponto 2 não diferiu significativamente em relação aos demais, enquanto o Ponto 3 foi significativamente diferente do Ponto 1.

Tabela 27 - Teste Post-Hoc de Tukey - Índice de vazios natural

		1	2	3
1	Diferença média	—	-0,0203	-0,0634
	p-value	—	0,535	0,009
2	Diferença média		—	-0,0431
	p-value		—	0,080
3	Diferença média			—
	p-value			—

Fonte: Autor (2023).

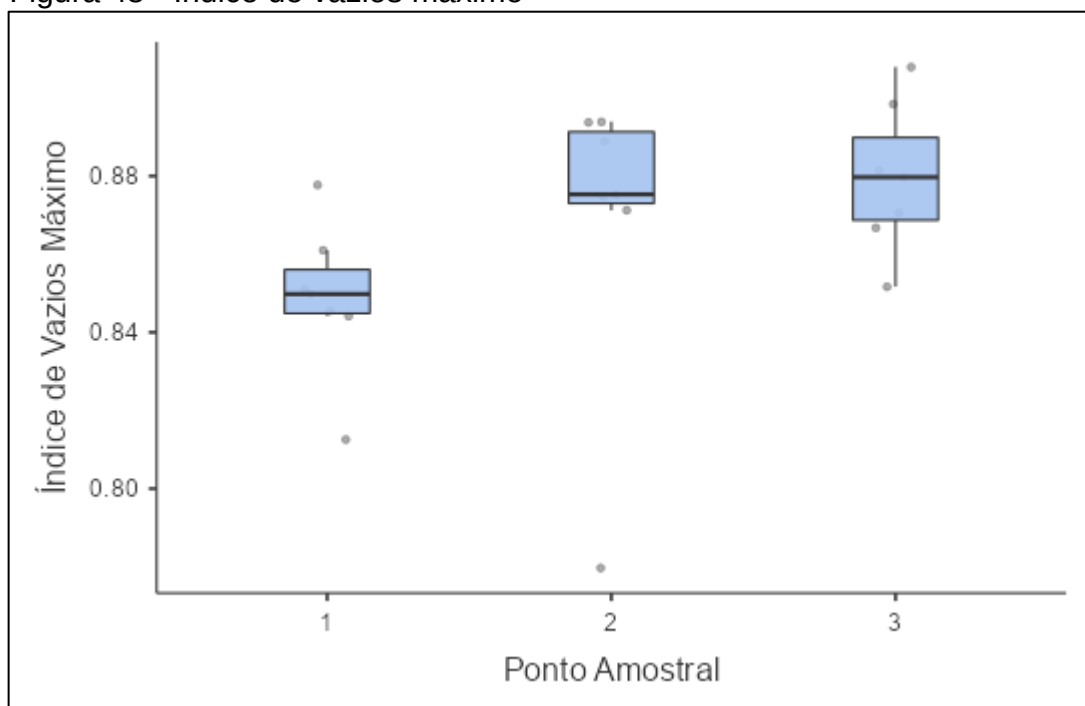
Obtendo os dados por correlação, Román-Sierra, Muñoz-Perez, Navarro-Pons (2014) encontraram valores entre 0,34 e 0,77 para areias no estado natural. Polido *et al.* (2020) encontraram valores entre 0,62 e 0,72 entre as seis regiões analisadas. Vê-se que os valores médios desta pesquisa se encontram entre os obtidos por Román-Sierra, Muñoz-Perez, Navarro-Pons (2014) e próximos aos de Polido *et al.* (2020). Observou-se que o Ponto 3 é superior aos demais, restando uma análise da forma dos grãos para verificação da relação.

4.7.1.2 Índice de vazios máximo

O índice de vazios máximo foi obtido com a determinação da massa específica seca mínima e a massa específica do sólido segundo (ABNT, 2020a). O valor mediano para o Ponto 1 foi de 0,85; 0,88 no Ponto 2; e 0,88 para o Ponto 3.

A Figura 48 traz os valores obtidos.

Figura 48 - Índice de vazios máximo



Fonte: Autor (2023).

Com base na Figura 48 e no teste de comparações múltiplas (Tabela 28), é possível inferir que o Ponto 2 obteve variação que sobrepôs os valores dos demais, o que o tornou intermediário aos Pontos 1 e 3. Contudo, o Ponto 1 obteve valor significativamente inferior ao Ponto 3.

Tabela 28 - Teste de comparações múltiplas - Índice de vazios máximo

Relações		W	p
1	2	26,202	0,153
1	3	37,044	0,024
2	3	0,0904	0,998

Fonte: Autor (2023).

Simões (2015) também averiguou o comportamento da areia da Praia de Ipanema com relação ao seu índice de vazios máximo. O valor médio encontrado pelo autor foi de 0,73 utilizando um método adaptado baseado na metodologia de Kolbuszewski (1948) que consiste em deixar a amostra passar por um funil com abertura de 80 mm de diâmetro e a uma altura de 6 cm dentro de um cilindro de Proctor Normal.

Utilizando quatro métodos, Costa (2020) avaliou amostras da areia da Praia de Ipanema. Foram empregados o método A, B e C de ASTM (2016), e também o método adaptado de Simões (2015). Respectivamente aos métodos utilizados, foram obtidos 0,66; 0,75; 0,75; e 0,73.

Polido *et al.* (2020) encontraram valores médios entre 0,87 e 0,96. Nesta pesquisa, os valores médios situaram-se inferiores aos observados por Polido *et al.* (2020) nas praias do Espírito Santo, e superiores aos encontrados por Simões (2015) e Costa (2020) na Praia de Ipanema, RJ. Resta uma análise da forma do grão para poder explicar o ocorrido.

Mesmo possuindo características mineralógicas e granulométricas semelhantes à areia de Nafud, Arábia Saudita (Almajed *et al.*, 2020), o índice de vazios máximo determinado para a areia da Praia do Futuro foi entre 0,85 e 0,88 – a areia do deserto de Nafud alcançou vazios máximos de 0,66. A areia de Nafud possui grãos de formato arredondados e com alto grau de esfericidade (Faulkender, 1986), enquanto a areia da Praia do Futuro possui formato semicircular e subarredondados sendo a diferença entre as areias relacionada às características de forma do grão.

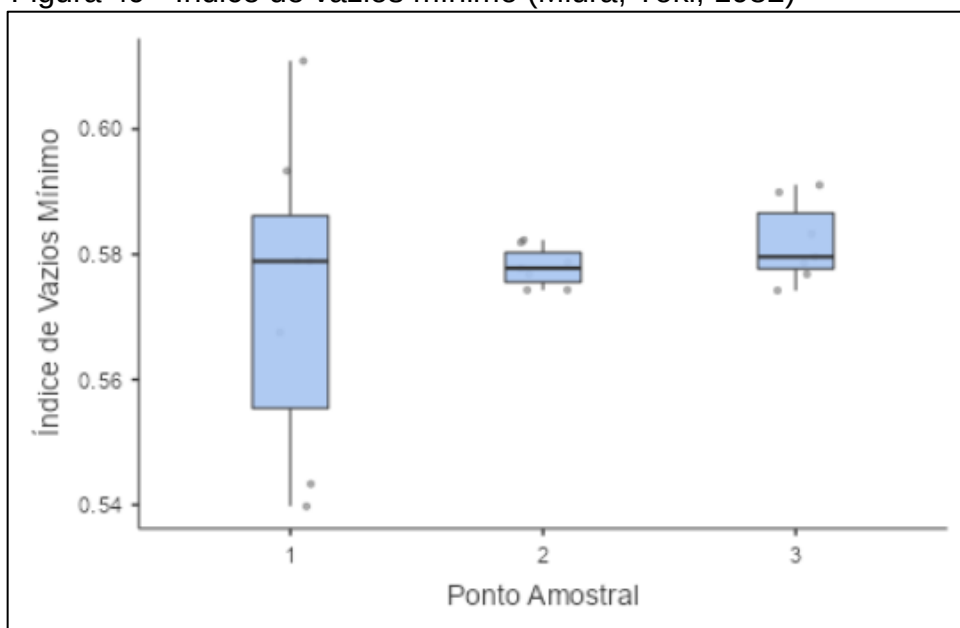
O valor do índice de vazios máximo determinado nesta pesquisa é semelhante ao obtido por Miftah *et al.* (2022) para a Baía de Famagusta ($e_{\text{máx}} = 0,88$), porém com características granulométricas e mineralógicas distintas (Tabela 3).

4.7.1.3 Índice de vazios mínimo (Miura; Toki, 1982)

De modo semelhante ao índice de vazios máximo, o índice de vazios mínimo foi obtido por meio da determinação da massa específica aparente seca máxima e massa específica do sólido pelo método proposto por Miura e Toki (1982). Os resultados medianos determinados foram de 0,58 para os três pontos, conforme Figura 49.

Foram gerados gráficos para cada amostra (Apêndice A) e utilizados os valores onde se encontraram o menor índice de vazios.

Figura 49 - Índice de vazios mínimo (Miura; Toki, 1982)



Fonte: Autor (2023).

Tabela 29 - Teste de comparações múltiplas - índice de vazios mínimo

Relações		W	p
1	2	0,0905	0,998
1	3	0,8132	0,834
2	3	1,4488	0,562

Fonte: Autor (2023).

De acordo com a análise da Figura 49 e da Tabela 29, pode-se inferir que os valores de índice de vazios não são significativamente diferentes.

Da mesma forma que o índice de vazios máximo foi diferente de Almajed *et al.* (2020), para a areia do deserto de Nafud, o índice de vazios mínimo foi diferente. Também foi encontrada semelhança para o índice de vazios mínimo com a areia da Baía de Famagusta, porém sem relação com as características granulométricas de mineralógicas (Tabela 3), o fato é explicado pelas características de forma serem diferentes.

A constância do valor pode ser atribuída pelas características de forma da areia que não diferiram para as três amostras.

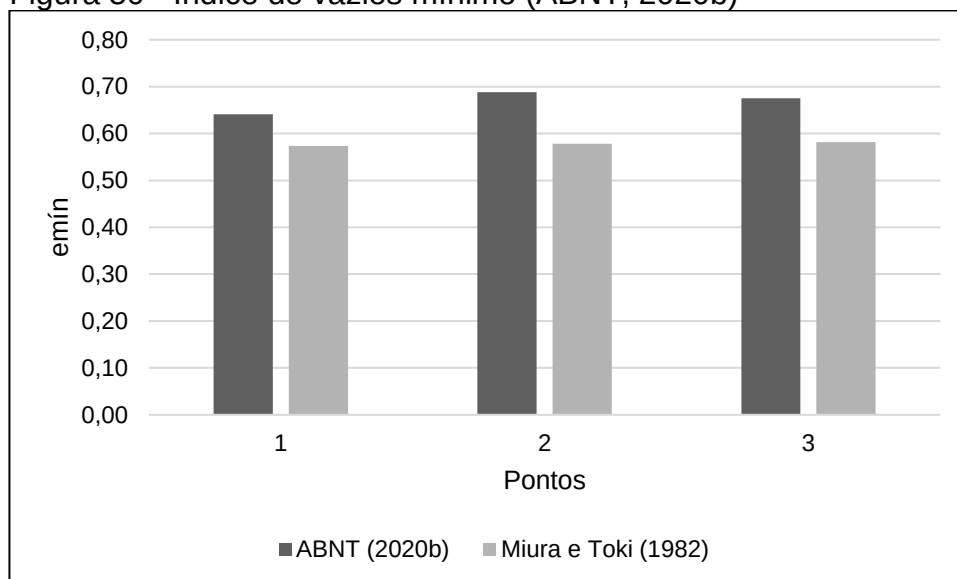
O método apresentou boa repetibilidade e reprodutibilidade, mostrando-se uma boa alternativa para moldar corpos de prova de ensaios que necessitam de compacidade relativa específica.

4.7.1.4 Índice de vazios mínimo (ABNT, 2020b)

Como o método descrito por Miura e Toki (1982) não é normalizado no Brasil, buscou-se compara os resultados obtidos com método normalizado por ABNT (2020b).

Os resultados médios obtidos estão dispostos na Figura 50. O Ponto 1 – 0,64; Ponto 2 – 0,69; e Ponto 3 – 0,68.

Figura 50 - Índice de vazios mínimo (ABNT, 2020b)



Fonte: Autor (2023).

Por se tratar de métodos distintos, é considerável que os valores sejam diferentes. Porém, o método de Miura e Toki (1982) trouxe resultados de índice de vazios inferiores ao método descrito pela norma, semelhante ao observado por Costa (2020). Além disso, o método de Miura e Toki (1982) possibilita a moldagem de corpos de provas com variados índices de vazios alterando-se por funis com diferentes aberturas.

4.7.2 Compacidade Relativa

Para classificar o estado em que uma areia se encontra no seu ambiente natural, é utilizada a compacidade relativa ou também conhecido grau de compacidade por ou densidade relativa. A compacidade relativa permite classificar

estados em que a areia esteja fofa ou compacta. ABNT (2020b) descreve o cálculo para obtenção da compacidade relativa (CR) na Equação 16.

$$CR = \frac{e_{m\acute{a}x} - e}{e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n}} \quad (16)$$

Os valores de compacidade relativa determinados foram: 0,33 (Ponto 1); 0,31 (Ponto 2); e 0,20 (Ponto 3). A Tabela 30 sugere a classificação de um depósito de solo granular de acordo com o valor de sua compacidade relativa.

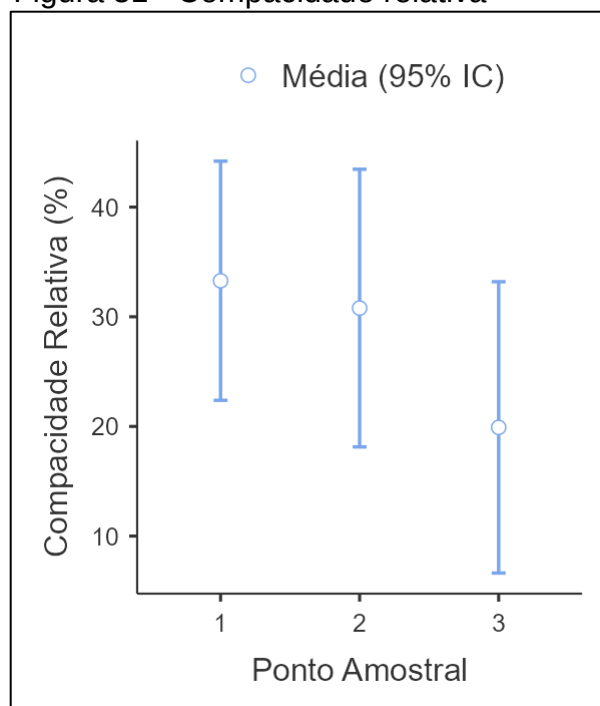
Tabela 30 - Descrição qualitativa dos depósitos de solo granular

Compacidade relativa	Descrição do depósito de solo
0,00 – 0,15	Muito fofo
0,15 – 0,50	Fofo
0,50 – 0,70	Médio
0,70 – 0,85	Compacto
0,85 – 1,00	Muito compacto

Fonte: Das (2017).

De acordo com o valor médio obtido e demonstrado na Figura 51 para cada ponto amostral, os depósitos foram classificados dentro da faixa do estado fofo.

Figura 51 - Compacidade relativa



Fonte: Autor (2023).

O gráfico sugere que não houve diferença significativa entre os três pontos amostrais, o que é reforçado pelo teste Post-Hoc de Tukey na Tabela 31. Portanto, infere-se que nos três pontos amostrais não houve diferença significativa quanto à compacidade relativa da areia.

Tabela 31 - Teste Post-Hoc de Tukey - compacidade relativa

		1	2	3
1	Diferença média	—	2,49	13,4
	p-value	—	0,935	0,174
2	Diferença média		—	10,9
	p-value		—	0,302
3	Diferença média			—
	p-value			—

Fonte: Autor (2023).

4.7.3 Grau de Saturação

O grau de saturação (S) do solo é a relação entre o volume de água e o volume de vazios contido no solo, de acordo com a Equação 17. O valor é obtido de acordo com a relação matemática da Equação 18.

$$S = \frac{V_w}{V_v} \quad (17)$$

$$Se = w\rho_s \quad (18)$$

Sendo:

ρ_s – massa específica do sólido

Os valores medianos determinados para o grau de saturação da areia em sua condição natural foram de 13,85%; 14,80%; e 20,82% para os Pontos 1, 2 e 3 respectivamente.

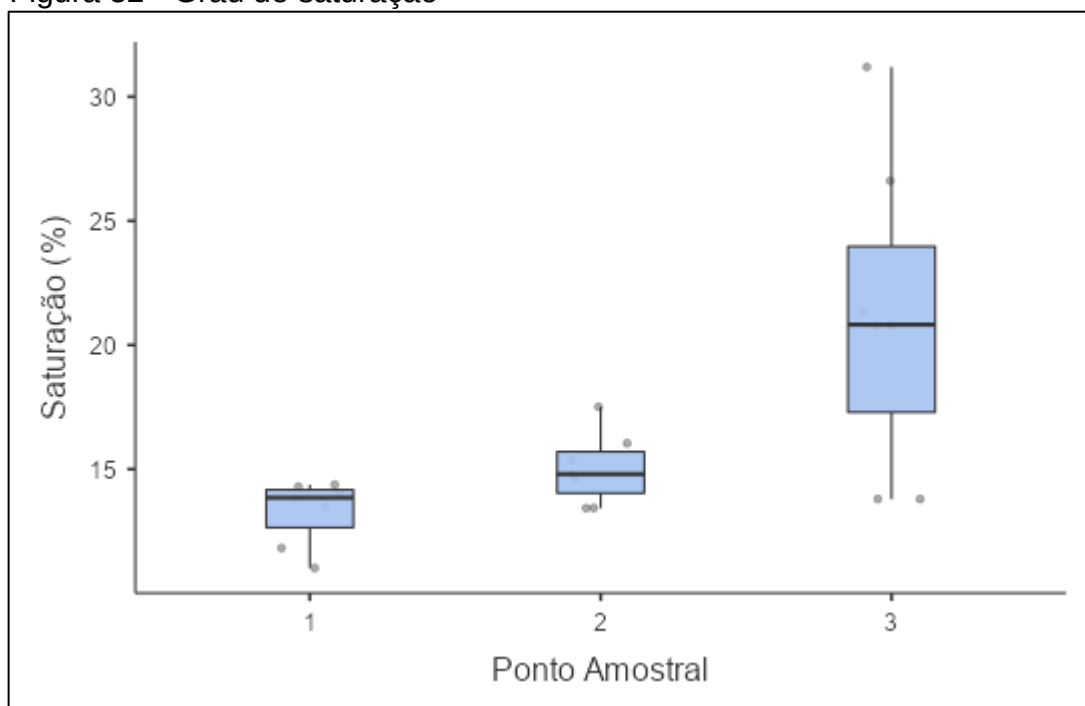
Segundo Tuijnman *et al.* (2020), a largura da praia e a saturação dos sedimentos contribuem para limitar o suprimento de sedimentos durante o transporte eólico.

De acordo com Sassa *et al.* (2014), a sucção, que entre outros fatores, está relacionada com o grau de saturação de um solo, influencia estados geofísicos de sedimentos de praia, como por exemplo, a resistência ao cisalhamento, a compacidade relativa e inclinação da praia. Sassa *et al.* (2014) investigaram a influência da sucção na reprodução de três espécies da macrofauna. Duas espécies de anfípodes, *Haustorioides japonicus*, encontrado na região intertidal de uma praia; e *Talorchestia brito*, costuma habitar a região supratidal. A terceira espécie analisada é um isópode, *Excirolana chiltoni*, localizado em zonas intertidais. As três espécies são organismos importantes da cadeia alimentar de peixes e aves (Placyk; Harrington, 2004; Kajihara, 2008).

Sassa *et al.* (2014), após a determinação da curva característica, observaram que as duas espécies de anfípodes não se desenvolviam quando a sucção aumentava - ou saturação diminuía -, pois se aumentavam a resistência ao cisalhamento e impedia a escavação na areia. A espécie de isópode depende de condições específicas de saturação (entre 10% e 20%) pois respira através da água.

Os resultados para o grau de saturação da areia *in situ* são mostrados na Figura 52. Também foi realizado o teste de comparações múltiplas descrito na Tabela 32.

Figura 52 - Grau de saturação



Fonte: Autor (2023).

Tabela 32 - Teste de comparações múltiplas - Saturação

Relações		W	p
1	2	2,62	0,153
1	3	2,98	0,088
2	3	2,62	0,153

Fonte: Autor (2023).

Apesar dos valores apresentarem visualmente mais elevados no Ponto 3 conforme Figura 52, nenhum dos três pontos se mostrou diferente significativamente um do outro.

4.7.4 Porosidade

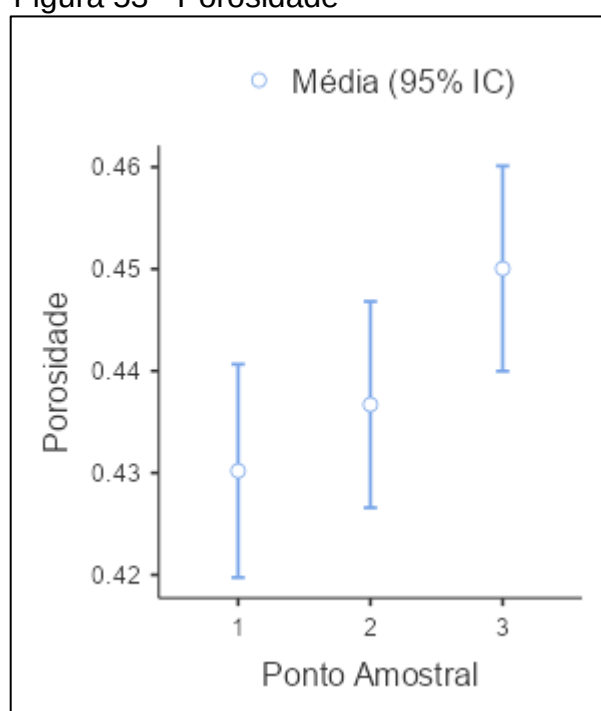
A porosidade é entendida como a razão entre o volume de vazios (V_v) e o volume total (V) conforme a Equação 19. Ou por relação matemática com o índice de vazios, como mostrado na Equação 20.

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (19)$$

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad (20)$$

A porosidade da areia em cada ponto de coleta é resumida na Figura 53. USACE (2002) considera que uma areia em suas condições naturais possui porosidade entre 25% e 50%, independentemente do tamanho do grão, mas influenciado por sua forma, textura e angularidade. O Ponto 1, Ponto 2 e Ponto 3 possuem os seguintes valores de porosidade 43%; 44%; e 45%, respectivamente.

Figura 53 - Porosidade



Fonte: Autor (2023).

Por meio Figura 34 e do teste Post-Hoc de Tukey (Tabela 33), a análise estatística da porosidade da areia no estado natural pode-se inferir que houve variação significativa apenas entre os Pontos 1 e 3, enquanto o Ponto 2 situou-se intermediário aos demais pontos.

Tabela 33 - Teste Post-Hoc de Tukey - Porosidade

		1	2	3
1	Diferença média	—	-0,00650	-0,0198
	p-value	—	0,526	0,009
2	Diferença média		—	-0,0133
	p-value		—	0,088
3	Diferença média			—
	p-value			—

Fonte: Autor (2023).

Román-Sierra, Muñoz-Perez, Navarro-Pons (2014) encontraram valores entre 25,6% a 43,4% em sua pesquisa durante uma análise após a nutrição de regiões costeiras e observaram que havia uma elevação na porosidade após esta nutrição e após oito meses a porosidade reduz e se aproxima ao estado natural devido ao efeito contínuo das marés.

Segundo Brady e Weil (2013), os solos podem variar a porosidade entre 25%, para solos bem compactos, e acima de 60% para solos superficiais com elevados teores de matéria orgânica.

Observa-se que os valores encontrados se aproximaram daqueles obtidos por Román-Sierra, Muñoz-Perez, Navarro-Pons (2014) e do que foi descrito por USACE (2002).

4.8 Permeabilidade

O valor médio do coeficiente de permeabilidade das amostras do Ponto 1 foi de $1,1 \times 10^{-2}$ cm/s com compactidade relativa equivalente a 0,43, fofa. Para as amostras do Ponto 2, o coeficiente de permeabilidade foi de $1,3 \times 10^{-2}$ cm/s com compactidade relativa equivalente a 0,46, fofa. O coeficiente de permeabilidade médio do Ponto 3 foi de $1,3 \times 10^{-2}$ cm/s com compactidade relativa equivalente a 0,32, fofa. Os valores de compactidade relativa foram obtidos considerando os índices de vazios máximos e mínimos de acordo com Miura e Toki (1982) e ABNT (2020a), respectivamente.

A Tabela 34 descreve os valores obtidos para permeabilidade (k_{20}); os índices de vazios médios (e_{mol}); compactidade relativa (CR_{mol}) média de moldagem dos corpos de prova; estado de compactidade segundo Das (2017); e o índice de vazios natural (e_{nat}).

Tabela 34 - Dados de permeabilidade

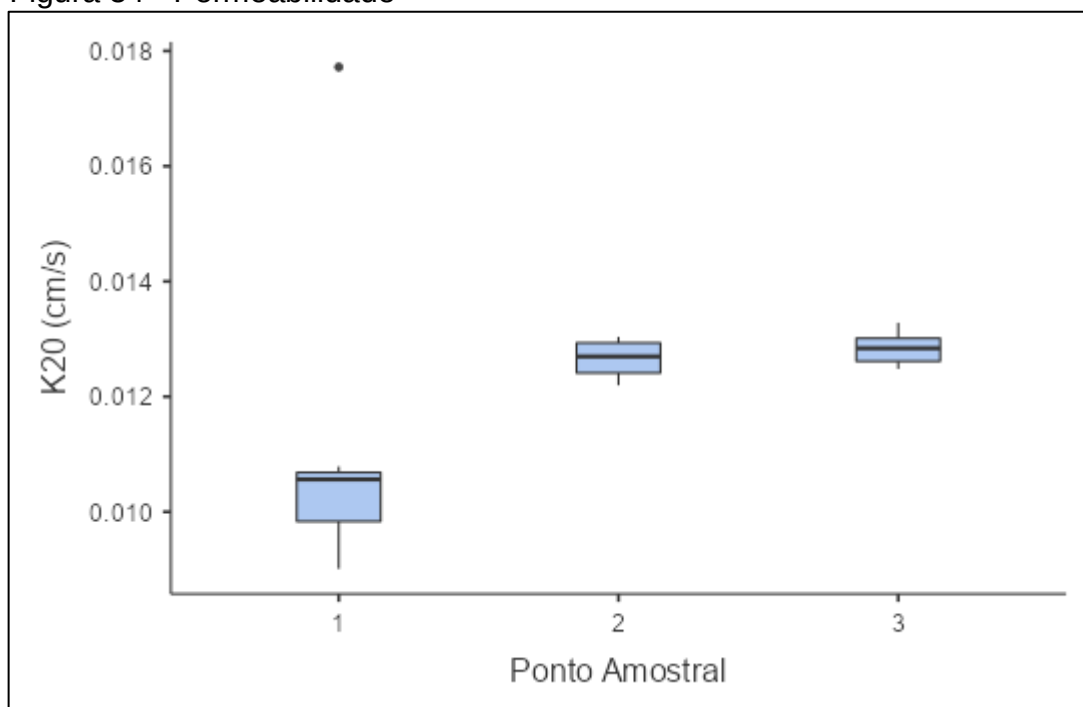
Ponto	k_{20} (cm/s)	e_{mol}	CR_{mol}	Estado de compactidade	e_{nat}
1	$1,1 \times 10^{-2}$	0,73	0,43	Fofo	0,76
2	$1,3 \times 10^{-2}$	0,73	0,46	Fofo	0,78
3	$1,3 \times 10^{-2}$	0,78	0,32	Fofo	0,82

Fonte: Autor (2023).

A areia da baía de Famagusta (Miftah *et al.*, 2022), quando moldado em uma compactidade relativa de 0,60, apresentou permeabilidade de $1,3 \times 10$ cm/s, destaca-se que o D_{10} da areia da baía de Famagusta é de 0,14 mm e D_{50} de 0,75 mm.

As pesquisas que investigaram a permeabilidade da areia da Praia de Ipanema apresentaram coeficiente de permeabilidade de $2,1 \times 10^{-2}$ cm/s para $CR = 0,30$ e $1,2 \times 10^{-2}$ para $CR = 0,80$ (Costa, 2020) e $4,2 \times 10^{-2}$ cm/s para $CR = 0,84$ e $1,2 \times 10^{-1}$ para $CR = 0,85$ (Soares, 2021).

Figura 54 - Permeabilidade



Fonte: Autor (2023).

Analisando a Figura 54 e a Tabela 35, infere-se que o Ponto 1 obteve valores de permeabilidade inferiores aos Pontos 2 e 3.

Tabela 35 - Teste de comparações múltiplas - Permeabilidade

Relação		W	p
1	2	3,162	0,065
1	3	3,162	0,065
2	3	0,994	0,762

Fonte: Autor (2023).

Observa-se, que mesmo com características granulométricas distintas da areia da Praia de Ipanema, a areia da Praia do Futuro apresentou coeficientes de permeabilidade contidos dentro do intervalo exposto por Costa (2020) e Soares (2021). Porém, outro fator que influencia a permeabilidade é a compactação relativa a qual o corpo de prova foi moldado.

Os valores de permeabilidade se tornam importantes dados em estudos de derramamento de óleo, que podem evitar a utilização de uma amostra de óleo bruto *in situ* e estudar correlações entre a permeabilidade com água e outros fluidos com viscosidade mais elevada (Pereira; Calliari, 2005; Oliveira, 2016).

4.9 Cisalhamento direto

As amostras do Ponto 1 foram moldadas na compactação relativa equivalente a 0,76, no estado compacto, comprovando coesão igual a 0,00 kPa e ângulo de atrito 30,5°. Já as amostras do Ponto 2 foram moldadas na compactação relativa equivalente a 0,76, também no estado compacto, comprovando coesão próxima a 0,00 kPa devido a amostra 2.1 demonstrar comportamento anormal para areias com coesão igual a 7,54 kPa e ângulo de atrito 31,4°. As amostras do Ponto 3 foram moldados na compactação relativa equivalente a 0,63, no estado compacto, comprovando coesão igual a 0,00 kPa e ângulo de atrito 31,2°. Os valores de compactação relativa foram obtidos considerando os índices de vazios máximos e mínimos de acordo com Miura e Toki (1982) e ABNT (2020a), respectivamente.

A Tabela 36 descreve os dados do ensaio de cisalhamento direto: ângulo de atrito interno (ϕ) e coesão (c). Também são relacionados os dados de moldagem dos corpos de prova: índice de vazios (e_{mol}) e compactação relativa (CR_{mol}). Também são mostrados dados do estado natural da areia: índice de vazios natural (e_{nat}) e compactação relativa natural (CR_{nat}).

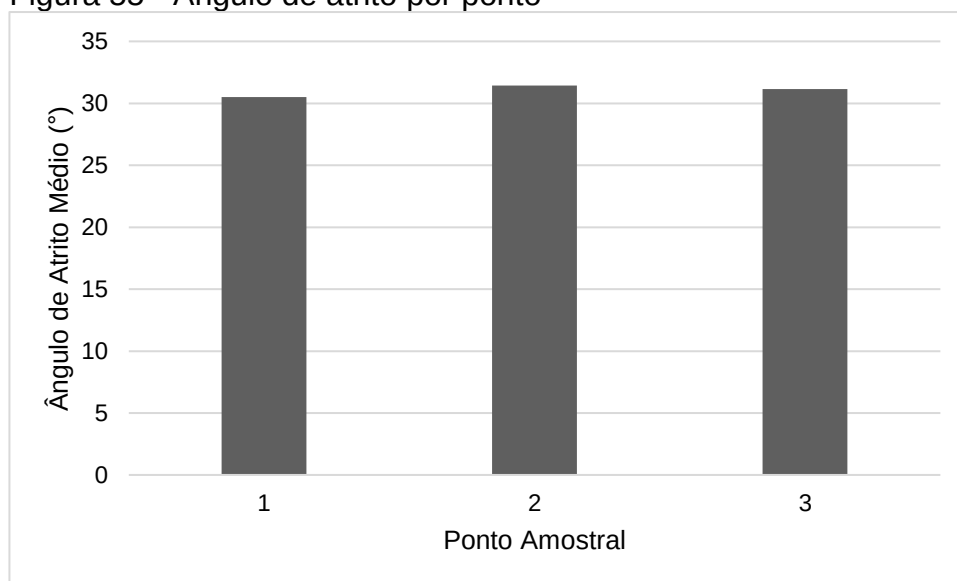
Tabela 36 - Dados do ensaio de cisalhamento

Amostra	ϕ (°)	c (kPa)	Moldagem		Estado de Compacidade	Natural	
			e_{mol}	CR _{mol}		e_{nat}	CR _{nat}
1.1	30,8	0,00	0,60	0,82	Compacto	0,71	0,44
1.4	33,2	0,00	0,63	0,85	Compacto	0,77	0,38
1.7	27,5	0,00	0,65	0,62	Médio	0,74	0,28
2.1	31,0	7,54	0,64	0,82	Compacto	0,78	0,35
2.4	29,7	0,00	0,65	0,65	Médio	0,76	0,09
2.7	33,6	0,00	0,64	0,82	Compacto	0,83	0,21
3.1	27,5	0,00	0,58	1,00	Muito Compacto	0,77	0,38
3.4	35,1	0,00	0,89	-0,08	-	0,81	0,20
3.7	30,8	0,00	0,65	0,81	Compacto	0,81	0,25

Fonte: Autor (2023).

A Figura 55 descreve o ângulo de atrito médio para cada ponto amostral. Com relação à coesão, foram observados valores iguais a zero, exceto a amostra 2.1 que apresentou coesão igual a 7,54 kPa, não sendo comum para resultados obtidos para areias.

Figura 55 - Ângulo de atrito por ponto



Fonte: Autor (2023).

Conforme observado por Sassa *et al.* (2014), o estado de coesão pode influenciar na permanência, sobrevivência e evolução das espécies de anfípodes, *Haustorioides japonicus*; *Talorchestia brito*; e o isópode, *Excirrolana chiltoni*. Visto que essas espécies são elementos que integram a cadeia alimentar de peixes e aves

(Placyk; Harrington, 2004; Kajihara, 2008), torna-se importante o estudo de parâmetros geotécnicos para auxiliar e monitorar essas espécies.

Em suas investigações, Nie, Mao e Wang (2018), concluíram que a estabilidade de encostas é influenciada pela massa específica aparente seca, o ângulo de atrito interno e da coesão. Quanto maior o ângulo de atrito e a coesão, maior será a estabilidade.

Os valores de coesão (0 a 2,5 kPa) e atrito (30,5 a 31,4°) indicam a possibilidade de desenvolvimento das espécies investigadas por Sassa *et al.* (2014). Os dados de cisalhamento são coerentes com os observados para a areia de Leighton Buzzard, Reino Unido (Lanzano *et al.*, 2016) com ângulo de atrito igual a 32° e coesão 0; areia de Toyoura, Japão (Suzuki; Yamada, 2006) com ângulo de atrito de 31° e coesão 0; e areia de Hostun, França (Azeiteiro *et al.*, 2016) com ângulo de atrito de 31,5° e coesão 0. O valor de cisalhamento encontrado é uma característica de solos arenosos com grãos arredondados e no estado fofo (Das, 2017).

4.10 Angularidade e forma 2D

Por viabilidade técnica, apenas as amostras 1.1; 1.2; 1.3; 1.4; 1.5; 1.7; 2.1; 2.3; 2.5; 3.1; 3.3; e 3.5 foram analisadas.

O equipamento *Aggregate Imaging Measurement System* (AIMS) registrou diversas imagens, semelhantes à Figura 56, dos grãos das amostras analisadas. Por meio de um software e cálculos computacionais realizados de acordo com as Equações 14 e 15, foram fornecidos os valores de angularidade e forma 2D. A Tabela 37 resume os valores da média ponderada obtida para cada amostra.

Figura 56 - Captura realizada pelo AIMS



Fonte: Autor (2023).

Tabela 37 - Resultados de angularidade e forma 2D

	Forma 2D	Angularidade	Classificação	
			Forma 2D	Angularidade
1.1	7,0	2647,5	Semicircular	Subarredondado
1.2	7,3	2697,0	Semicircular	Subarredondado
1.3	7,1	2732,2	Semicircular	Subarredondado
1.4	7,5	2795,4	Semicircular	Subarredondado
1.5	6,9	2764,4	Semicircular	Subarredondado
1.7	7,4	3010,1	Semicircular	Subarredondado
2.1	7,1	3035,4	Semicircular	Subarredondado
2.3	7,2	3176,2	Semicircular	Subarredondado
2.5	7,1	3038,8	Semicircular	Subarredondado
3.1	7,2	2894,4	Semicircular	Subarredondado
3.3	7,1	2948,7	Semicircular	Subarredondado
3.5	7,4	3144,5	Semicircular	Subarredondado

Fonte: Autor (2023).

Portanto, é possível considerar que os grãos da areia da Praia do Futuro são de forma semicircular e de angularidade subarredondado.

Como o solo é formado por partículas minerais decorrentes do intemperismo das rochas, tendem a permanecer próximo à rocha-mãe, a qual o originou, ou ser transportados por outros agentes (Craig, 2013). As consequências do transporte realizado pelos agentes da natureza influenciam na forma do grão. Solos transportados possuem características de ângulos e mais arredondados e formas mais esféricas (Das, 2017).

Com o fenômeno da ação química e da abrasão que se elevam com a idade, as areias mais antigas tendem a ser mais arredondadas, independentemente do tamanho da partícula (Cho *et al.*, 2006), o que sustenta a conclusão de Fernandes (2016) de que os grãos de areia são equidimensionais, possuindo as mesma distância nas três dimensões.

A forma do grão afeta a porosidade, a superfície específica, e a tortuosidade de um fluxo através dos seus grãos, influenciando a condutividade hidráulica de um solo. Grãos mais côncavos e menos esféricos tendem a formar areias mais porosas (Zheng *et al.*, 2021; Shahsavari; Mahmood, 2022).

4.11 Análise elementar e mineralógica

Abaixo são expostos os resultados de FRX e DRX da amostra 2.4. A análise de FRX indica os compostos químicos identificados na amostra (Tabela 38). É possível observar a presença de óxidos sódio, magnésio, alumínio, sílica, cloro, potássio e entre outros.

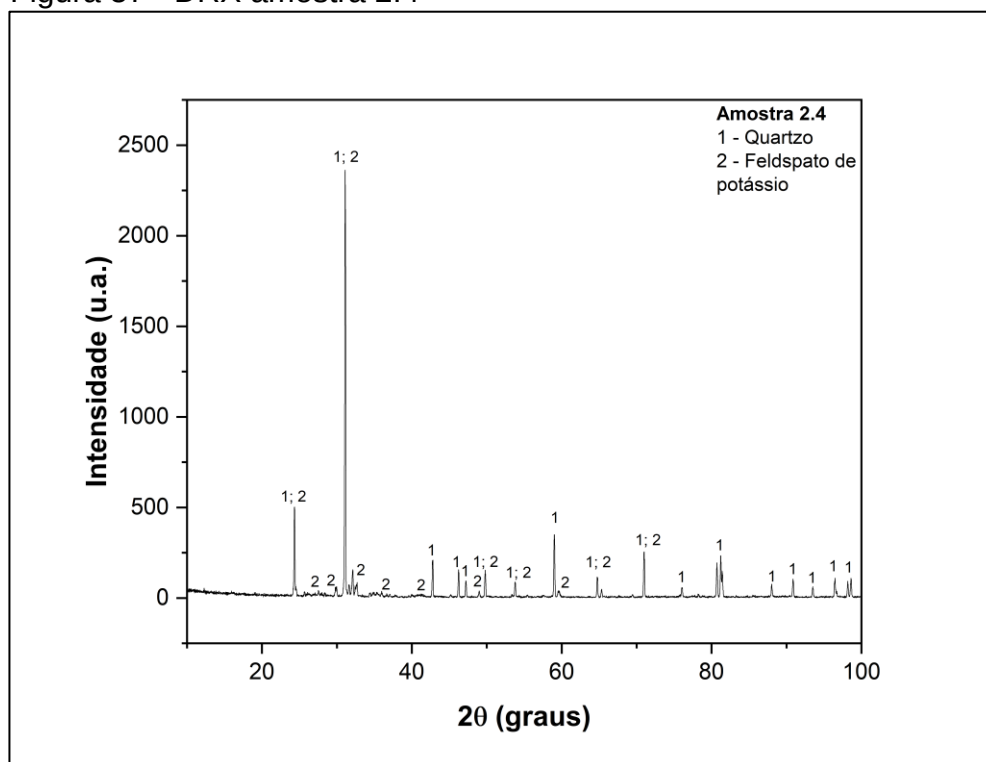
Tabela 38 - FRX amostra 2.4

Estrutura	Composição (%)
Na₂O	0,91
MgO	0,54
Al₂O₃	7,06
SiO₂	80,92
Cl	0,64
K₂O	5,94
CaO	2,77
Fe₂O₃	0,99
ZnO	0,04
Rb₂O	0,02
SrO	0,04
Nb₂O₅	0,02
MoO₃	0,01
Ag₂O	0,05
Fr	0,03
PuO₂	0,03

Fonte: Autor (2023).

O resultado da difração de raios-x da amostra 2.4 é descrita na Figura 57. Foram identificadas fases cristalinas no mineral de quartzo e do mineral de Feldspato de potássio.

Figura 57 - DRX amostra 2.4



Fonte: Autor (2023).

As análises elementar e mineralógica das demais amostras constam no Apêndice B e Apêndice C. Os resultados sugerem a ocorrência de minerais do grupo dos silicatos, como por exemplo: quartzo, feldspato, feldspato de potássio, ortoclásio e outros silicatos de alumínio, cálcio e sódio.

O resultado é coerente com o observado por Andrade e Moraes (1987) que realizaram estudos com a finalidade de identificar minerais radioativos ao longo da costa de Fortaleza, observando a presença de minerais de quartzo ao longo da Praia do Futuro.

Por ser um dos minerais mais abundantes na crosta terrestre, é comum ser encontrado em outros depósitos de sedimentos, seja continental como a areia do deserto de Nafud (Almajed *et al.*, 2020), ou costeiro: Baía de Famagusta (Miftah *et al.*, 2022) Toyoura (Suzuki; Yamada, 2006), e Praia de Ipanema (Simões, 2015; Costa, 2020; Soares, 2021), de acordo com a Tabela 3.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa identificou objetos com aspectos, formas e características semelhantes aos microplásticos observados por Dekiff *et al.* (2014), Carvalho e Baptista Neto (2016) e Wang *et al.* (2017). Os resultados apontam para concentrações elevadas desses componentes na areia da Praia do Futuro em comparação com as observações feitas em outras localidades no Brasil e no mundo. As principais formas dos objetos identificados foram fibras, embora também tenham sido encontrados fragmentos e esferas. As cores predominantes dos objetos encontrados foram azul e incolor.

As análises estatísticas revelaram que na Praia do Futuro existem pelo menos dois tipos de areia com características granulométricas e densidades relativas distintas. A primeira apresenta um padrão mais fino no ponto 1, enquanto a segunda exibe um padrão mais grosso nos pontos 2 e 3. Os índices de vazios determinados foram consistentes com os observados por Román-Sierra, Muñoz-Perez, Navarro-Pons (2014) e Polido *et al.* (2020) para areias no estado natural. Os resultados indicaram que, embora as amostras da areia da Praia do Futuro compartilhem características granulométricas e mineralógicas semelhantes com estudos anteriores de outros locais, os índices de vazios podem não corresponder a resultados semelhantes. Essa discrepância é atribuída à metodologia empregada, distintas nos estudos, ou a outros fatores que não foram identificados nesta pesquisa.

Os valores de porosidade determinados demonstraram concordância com as indicações descritas por USACE (2002) para solos arenosos em zonas costeiras em seu estado natural. Quanto à compactação relativa do solo, esta pesquisa constatou que não houve mudanças significativas no estado de compactação da areia, apesar da presença de dois tipos de granulometria na Praia do Futuro. A porosidade apresentou um aumento no sentido de norte a sul; no entanto, o valor permaneceu dentro das faixas esperadas para areias costeiras em seu estado natural.

A compactação relativa caracterizou o solo como estando em um estado fofo (Das, 2017), o que comprovou coerência com os coeficientes de permeabilidade observados nesta pesquisa.

A areia da Praia do Futuro apresenta condições geotécnicas favoráveis de saturação e cisalhamento para o desenvolvimento do isópode *Excirolana chiltoni*, como identificado por Sassa *et al.* (2014) em zonas costeiras no Mar do Japão. Uma

análise isolada da umidade no transporte de sedimentos na areia da Praia do Futuro sugere que a movimentação da areia é restrita devido à quantidade de umidade presente. No entanto, é importante observar que as características de umidade e mineralogia não são suficientes para atender às condições necessárias, que incluem 25% de umidade e a presença dos minerais plagioclásio, clinopiroxênio e olivina, para o sucesso na eclosão dos ovos da tartaruga cabeçuda, conforme descrito por Visconti *et al.* (2022).

Os parâmetros relacionados à erosão de dunas, encostas e praias arenosas necessitam ser complementados com outras variáveis, tais como a força das ondas, a velocidade e direção dos ventos, bem como a taxa de transporte de sedimentos.

Os dados investigados proporcionam informações que podem contribuir para a expansão dos estudos relacionados à temática, especialmente no que diz respeito à correlação entre a engenharia geotécnica e a gestão ambiental em zonas costeiras. Além disso, esses dados oferecem subsídios para a redução dos problemas ambientais associados à erosão de encostas, ao desenvolvimento de espécies, bem como para o gerenciamento e planejamento de ações de emergência e contingência costeira.

6 RECOMENDAÇÕES

No desenvolvimento desta pesquisa surgiram assuntos que necessitam de uma atenção maior para alcançar resultados. Assim, os temas recomendados para futuras pesquisas são descritos abaixo:

- Realizar a identificação da composição dos microplásticos encontrados nos sedimentos da Praia do Futuro.
- Realizar o levantamento do índice de plásticos por metro quadrado nas regiões costeiras de Fortaleza e do Ceará de acordo com o ODS 14.
- Realizar estudos para verificação dos fatores que influenciam o transporte de sedimentos: velocidade do vento, tamanho do grão, suprimento de areia disponível, teor de umidade da superfície da areia, classificação do tamanho do grão, rugosidade do leito, inclinação da praia, cobertura vegetal dos locais os constantemente sofrem com a movimentação do vento na Praia do Futuro de acordo com Sherman e Douglas (1990).
- Avaliar as concentrações de Th, U e K nos sedimentos e correlacionando os valores Th/U e Th/K para identificação da origem e idade dos sedimentos da areia da Praia do Futuro, de acordo com Anjos *et al.* (2006) e Carvalho *et al.* (2011).
- Realizar investigações sobre a ocorrência de microplásticos e levantamento de dados geotécnicos em diferentes profundidades na areia da Praia do Futuro II.
- Realizar a coleta em diferentes períodos do ano, variando entre pré-estação chuvosa, estação das chuvas e pós-estação chuvosa.
- Realizar o controle de contaminantes do laboratório utilizado.

- Analisar diferentes locais da Praia do Futuro, como: área de recreio com movimentação turística, área sem movimentação turística e região da foz do Rio Cocó.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12677**: Análise química de produtos refratários por fluorescência de raios X (XRF) - Método do corpo de prova fundido. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13292**: Solo – Determinação o coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16840**: Solo – Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos. Rio de Janeiro, 2020a.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16843**: Solo – Determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos. Rio de Janeiro, 2020b.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016b.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016a.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9813**: Solo – Determinação da massa específica aparente *in situ*, com emprego de cilindro de cravação. Rio de Janeiro, 2016c.

ALBUQUERQUE, Miguel *et al.* Morfodinâmica da praia do Futuro, Fortaleza-CE: uma síntese de dois anos de estudo. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 1, n. 2, 2009.

ALMAJED, A. *et al.* Mitigating wind erosion of sand using biopolymer-assisted EICP technique. **Soils and Foundations**, v. 60, p. 356-371, abr, 2020,

ALOMAR, C.; ESTARELLAS, F.; DEUDERO, S. Microplastics in the Mediterranean Sea: Deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. **Marine Environmental Research**, v. 115, p. 1–10, 2016.

ANDRADE, E.; MORAIS, J. O.; Levantamento Radiométrico da Região Costeira do Município de Fortaleza (Ceará – Brasil). *Arquivos Ciência do Mar*. v. 26, p. 19 – 28, 1987.

ANJOS, R. M. *et al.* Radiometric analysis of Quaternary deposits from the southeastern Brazilian coast. **Marine Geology**. v. 229, p. 29-43, maio, 2006.

ARTIOLI, G.; **Scientific Methods and Cultural Heritage**, Oxford University Press: New York, 2010,

ASTM. American Society for Testing and Materials. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). **ASTM D – 2487-17**, 2017.

ASTM. American Society for Testing and Materials. Standard test methods for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density. **ASTM D – 4254**, 2016.

ASTM. American Society for Testing and Materials. Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. **ASTM D – 3080**, 2004.

AZEITEIRO, Ricardo JN *et al.* Critical state–based interpretation of the monotonic behavior of Hostun sand. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 143, n. 5, p. 04017004, 2017.

BAUER, B. O. *et al.* Aeolian sediment transport on a beach: Surface moisture, wind fetch, and mean transport. **Geomorphology**, v. 105, n. 1-2, p. 106-116, 2009.

BESLEY, A *et al.* A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. **Marine Pollution Bulletin**. v. 114, p. 77-83, set. 2017.

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2013

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, 5 out. 1988a, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em: 02 nov. 2022.

BRASIL. Decreto n. 5.377/2005, de 23 de fevereiro de 2005. **Aprova a Política Nacional para os Recursos do Mar - PNRM**. Brasília, 23 fev. 2005. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/decreto/D5377.htm. Acesso em: 02 nov. 2022.

BRASIL. Decreto n. 99.165/1990, de 12 de março de 1990, **Promulga a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar**. Brasília, 14 mar. 1990, Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1990/decreto-99165-12-marco-1990-328535-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 02 nov. 2022.

BRASIL. Lei n. 6.938/1981, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Brasília, 31 ago. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 02 nov. 2022.

BRASIL. Lei n. 7.661/1988, de 16 de maio de 1988. **Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências**. Brasília, 16 mai. 1988b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7661.htm. Acesso em: 02 nov. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo**. Brasília, DF, 2007.

CÂMARA, S. F. *et al.* Socioeconomic vulnerability of communities on the Brazilian coast to the largest oil spill (2019–2020) in tropical oceans. **Ocean & Coastal Management**, v. 202, p. 105506, 2021.

CAMPELO, R. P. *et al.* Oil spills: The invisible impact on the base of tropical marine food webs. **Marine Pollution Bulletin**, v. 167, p. 112281, 2021.

CARVALHO, C. *et al.* Application of radiometric analysis in the study of provenance and transport processes of Brazilian coastal sediments. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 102, p. 185-192, fevereiro, 2011.

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

CEARÁ. Decreto n. 34.457, de 10 de dezembro de 2021. **Institui comitê estratégico para o desenvolvimento e elaboração do planejamento espacial marinho (PEM) do Ceará, e dá outras providências**. Diário Oficial do Estado do Ceará: Poder Executivo, ano XIII, n. 275, p. 1-3, 10 dez. 2021.

CEARÁ. Lei n. 13.796, de 30 de junho de 2006. **Institui a Política Estadual de Gerenciamento Costeiro, e o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências**. Diário Oficial do Estado do Ceará: Poder Executivo, ano IX, n. 123, p. 1-2, 30 jun. 2006.

CHEN, Chung-Ling; TENG, Ning. Management priorities and carrying capacity at a high-use beach from tourists' perspectives: A way towards sustainable beach tourism. **Marine Policy**, v. 74, p. 213-219, 2016.

CHIOSSI, Nivaldo José. **Geologia de engenharia**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

CHO, Gye-Chun, *et al.* Particle Shape Effects on Packing Density, Stiffness, and Strength: Natural and Crushed Sands. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, vol. 132, p. 591–602, maio, 2006.

CLAESSENS, M. *et al.* Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 10, p. 2199–2204, 2011.

CNUMAD. Conferência das Nações Unidas Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Agenda 21**. Rio de Janeiro. 1992. 351 p. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2022.

COSTA, R. C. **Ensaio de Caracterização e Permeabilidade na Areia da Praia de Ipanema, RJ**. 2020, 258 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2020,

CRAIG. R. F. **Mecânica dos solos**, Rio de Janeiro, 7ª ed. 2013

DAS, Braja. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 8. ed. São Paulo, Cengage Learning, 2017.

DEKIFF, J. H. *et al.* Occurrence and spatial distribution of microplastics in sediments from Norderney. **Environmental Pollution**, v. 186, p. 248–256, 2014.

DIAS, Cláudio R.R.; ALVES, Antonio M.L. Geotechnical properties of the Cassino Beach mud. **Continental Shelf Research**. v. 29, p. 589-596, outubro, 2009.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER – ME 093/94**: Solos – determinação da densidade real. Brasília, 1994a.

DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 041/94**: Solos – preparação de amostras para ensaios de caracterização. Brasília, 1994b.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT 432/2020 – ME**: Agregados - Determinação das propriedades de forma por meio do Processamento Digital de Imagens (PDI) - Método de ensaio. Brasília, 2020.

DRIEDGER, Alexander GJ *et al.* Plastic debris in the Laurentian Great Lakes: A review. **Journal of Great Lakes Research**, v. 41, n. 1, p. 9-19, 2015.

EO, S. *et al.* Spatiotemporal distribution and annual load of microplastics in the Nakdong River, South Korea. **Water Research**, v. 160, p. 228–237, 2019.

ERIKSSON, C.; BURTON, H. Origins and Biological Accumulation of Small Plastic Particles in Fur Seals from Macquarie Island. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 32, n. 6, p. 380–384, set. 2003.

FAULKENDER, DeWayne J. **Source of sand for An Nafud sand sea, Kingdom of Saudi Arabia**. Doctoral thesis . Kansas State University. 1986.

FERNANDES, Manuel de Matos. **Mecânica dos solos: conceitos e princípios fundamentais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

FUNCAP. Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico –. **Cientista Chefe – descrição dos programas**. Disponível em: <https://www.funcap.ce.gov.br/cientista-chefe-descricao-dos-programas/>. Acesso em: 29 de outubro de 2023.

GARCIA, Celso; SERVERA, Jaume. Impacts of tourism development on water demand and beach degradation on the island of Mallorca (Spain). **Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography**, v. 85, n. 3-4, p. 287-300, 2003.

GOLDBACH, R. **Caracterização geotécnica da areia da Praia de Copacabana a partir de ensaios de campo**. 2016. 208 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2016.

GUIA, J. E. L. G. H. **Influência da granulometria no comportamento de solos arenosos**. 2018. 75 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2018.

HIDALGO-RUZ, V. *et al.* Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. **Environmental Science & Technology**. v. 46, p. 3060-3075, fev. 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama de Fortaleza, Ceará**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/fortaleza/panorama>. Acesso em: 17 de setembro de 2023.

IBIAPINA, D. S. **Proposição de um Sistema de Classificação das Propriedades de Forma de Agregados Caracterizados com o Uso do Processamento Digital de Imagens para a Seleção de Materiais Brasileiros**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2018.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. ODS – **Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Brasília, DF. 2018. 546 p. Disponível em:

http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8855/1/Agenda_2030_ods_metas_nac_dos_obj_de_desenv_susten_propos_de_adequa.pdf. Acesso em: 12 nov. 2022

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Relatório ODS. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e as Ações do Governo do Ceará: ODS 14 – Vida na Água**. Nº 14/2022. Fortaleza, Ceará. 2022. 24 p. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2022/11/Relatorio_de_Acoes_Ceara_ODS_142022.pdf. Acesso em 24 nov. 2022.

JRC. Microplastics - Focus on Food and Health European Union, Joint Research Centre (JRC), 2017. Disponível em: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC110629/jrc110629_final.pdf. Acesso em: 27 fev. 2023.

KAJIHARA, N. Effects of saturation level of sand substrate on burrowing ability of gammaridean amphipod *Haustorioides japonicus*. **Fish Eng**, v. 45, p. 151-156, 2008.

KARTHIK, R. *et al.* Microplastics along the beaches of southeast coast of India. **Science of The Total Environment**, v. 645, p. 1388–1399, 2018.

KOLBUSZEWSKI, J. J. An experimental study of the maximum and minimum porosities of sands. In: **Proceedings of the second international conference on soil mechanics and foundation engineering**. p. 158-165, 1948.

LAMBE, T. W; WHITMAN, R. V. **Soil mechanics**, John Wiley and Sons, Inc., New York. 1969.

LANZANO, Giovanni *et al.* Experimental assessment of the stress–strain behaviour of Leighton Buzzard sand for the calibration of a constitutive model. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 34, p. 991-1012, 2016.

LARSON, Ron. **Estatística aplicada**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

LEE, Tsung-Hung. A structural model for examining how destination image and interpretation services affect future visitation behavior: a case study of Taiwan's Taomi eco-village. **Journal of sustainable Tourism**, v. 17, n. 6, p. 727-745, 2009.

LEMOES, C. C.; FERREIRA, M. A.; ARAÚJO, R. G. B. A sustentabilidade ambiental da Praia do Futuro, em Fortaleza-Ceará, no desenvolvimento da atividade turística. **Revista do Centro de Ciências Administrativas**, v. 8, n. 2, p. 125-130, 2002.

LIMA, M. S. **Lazer e turismo em Fortaleza/CE: o consumo e a arrecadação tributária nas barracas da Praia do Futuro**. 2017. 128 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Negócios Turísticos) - Centro de Estudos Sociais Aplicados, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2017.

LIU, K. *et al.* An experimental study of mitigating coastal sand dune erosion by microbial- and enzymatic-induced carbonate precipitation. **Acta Geotechnica**, vol. 16, p. 467-480, jul, 2020,

LOTS, F. A. E. *et al.* A large-scale investigation of microplastic contamination: Abundance and characteristics of microplastics in European beach sediment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 123, n. 1, p. 219–226, 2017.

MAGINI, Christiano *et al.* Avaliação ambiental da praia do Futuro, município de Fortaleza–Ceará. **Revista de Geologia**, v. 20, n. 1, p. 91-98, 2007.

MARTINZ, José Pessoa; ANJOS, Sara Joana Gadotti; SOHN, Ana Paula Lisboa. Determinantes da competitividade em destinos turísticos: um estudo sobre a cidade de Fortaleza. **Revista de Turismo Contemporâneo**, v. 10, n. 2, 2022.

MASURA, J. *et al.* **Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments**. National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA, jul. 2015.

MENGATTO, Mateus Farias; NAGAI, Renata Hanae. A first assessment of microplastic abundance in sandy beach sediments of the Paranaguá Estuarine Complex, South Brazil (RAMSAR site). **Marine Pollution Bulletin**, v. 177, p. 113530, 2022.

MIFTAH, A. *et al.* Erodibility improvement and scour mitigation of beach sand by enzymatic induced carbonate precipitation. **Geomechanics for Energy and the Environment**, vol. 32, dez, 2022.

MIURA, Seiichi; TOKI, Shosuke. A sample preparation method and its effect on static and cyclic deformation-strength properties of sand. **Soils and foundations**, v. 22, n. 1, p. 61-77, 1982.

MOORE, C. J. Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. **Environmental Research**, v. 108, n. 2, p. 131–139, out. 2008.

MORAIS, J. O. de. **Aspectos de geologia ambiental costeira do município de Fortaleza (Estado do Ceara)**. Fortaleza, 1980, 282 f. Tese (Professor titular) - Departamento de Geociências, Universidade Federal do Ceara, 1980,

NIE, Menglan; MAO, Xuesong; WANG, Yueyue. A influência dos parâmetros do solo na estabilidade de taludes soltos. In: **3ª Conferência Internacional sobre Avanços em Materiais, Mecatrônica e Engenharia Civil 2018 (ICAMMCE 2018)**. Atlantis Press, 2018. p. 188-192.

NOLASCO, M. E. *et al.* Morphology, Chemical Characterization and Sources of Microplastics in a Coastal City in the Equatorial Zone with Diverse Anthropogenic Activities (Fortaleza city, Brazil). **Journal of Polymers and the Environment**, v. 30, n. 7, p. 2862-2874, 2022.

NUNES, B. Z. *et al.* Marine Protected Areas Affected by the most extensive Oil Spill on the Southwestern Atlantic coast. **Ocean and Coastal Research**, v. 71, p. e23028, 2023.

NUNES, B. D.; SOARES, M. O.; MONT'ALVERNE, T. C. F. Rethinking the environmental quality of Brazilian beaches: The incidence of microplastics as an indicator for sea water and sand quality. **California Western International Law Journal**, v. 51, p. 133, 2020.

NUNES, J. J. B. de C, *et al.* Caracterização morfológica do agregado leve de argila expandida brasileira com utilização do AIMS. **AMBIENTE CONSTRUÍDO**, vol. 21, p. 213–27, maio, 2021.

NUNES, V. P. **Ensaio de Caracterização Geotécnica da Areia da Praia de Itaipuaçu**. 2014. 148 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

OLIVEIRA NETO, M. B. *et al.* **A influência da litologia e das formas de relevo nos solos do entorno de um reservatório de água situado no município de Pau dos Ferros-RN**. 2016. Trabalho apresentado no I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, Campina Grande, 2016.

OLIVEIRA, E. B. **Variações da permeabilidade ao óleo em praias arenosas do sistema Patos Guaíba, RS, Brasil**. 2016. 106f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia física, química e geológica) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2016.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/wpcontent/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf> > Acesso em: 29 de outubro de 2023.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109–2135, 12 dez. 2015.

PARK, J; SANTAMARINA, JC. Revised Soil Classification System for Coarse-Fine Mixtures. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**. v. 143, ago. 2017.

PEREIRA, Pedro de Souza; CALLIARI, Lauro Júlio. PERMEABILIDADE DAS PRAIAS OCEÂNICAS DO RIO GRANDE DO SUL (RS) EM RELAÇÃO A EVENTUAIS DERRAMES DE ÓLEO. 2005.

PINHEIRO, Lara M. *et al.* Do beachrocks affect microplastic deposition on the strandline of sandy beaches?. **Marine pollution bulletin**, v. 141, p. 569-572, 2019.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PLACYK, J. S.; HARRINGTON, B. A. Prey abundance and habitat use by migratory shorebirds at coastal stopover sites in Connecticut. **Journal of Field Ornithology**, v. 75, n. 3, p. 223-231, 2004.

POLIDO, U. F. *et al.* **Areias Litorâneas da Grande Vitória–ES**. 2020, Trabalho apresentado ao XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Campinas, 2020,

Prefeitura de Fortaleza. Prefeitura de Fortaleza decreta Praia do Futuro como área de turismo sustentável. **Site da Prefeitura de Fortaleza**, Ano. Disponível em: <https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-de-fortaleza-decreta-praia-do-futuro-como-area-de-turismo-sustentavel>. Acesso em: 24 de setembro de 2023.

RATTON, R. B.; SAYÃO, A. S. F. J. Ensaio triaxiais em areias saturadas. **X COBRAMSEF – Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações**, ABMS, Foz do Iguaçu., v.2, p. 451-458, 1994.

ROMÁN-SIERRA, J.; MUÑOZ-PEREZ, J. J.; NAVARRO-PONS, M. Beach nourishment effects on sand porosity variability. **Coastal Engineering**, v. 83, p. 221-232, 2014.

SASSA, Shinji *et al.* Role of suction in sandy beach habitats and the distributions of three amphipod and isopod species. **Journal of sea research**, v. 85, p. 336-342, 2014.

SEMA. Secretaria do Meio Ambiente. **Atlas digital costeiro e marinho do Ceará**. 2022a. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/89965-2/planejamento-costeiro-e-marinho-do-ceara/atlas-digital-costeiro-e-marinho-do-ceara/>. Acesso em: 14 nov. 2022

SEMA. Secretaria do Meio Ambiente. **Plataforma estadual de dados espaciais**. 2022b. Disponível em: <https://pedea.sema.ce.gov.br/portal/#>. Acesso em: 14 nov. 2022.

SEMACE. Superintendência Estadual do Meio Ambiente. **Resultados do Plano Plurianual - PPA. Fortaleza, CE: Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Ceará, 2022**. Disponível em: https://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/46/2022/04/RESULTADOS_PPA.pdf. Acesso em: 17 de setembro de 2023

SHAHSAVARI, M. H.; MAHMOOD. S. An Experimental Insight into the Influence of Sand Grain Size Distribution on the Petrophysical and Geomechanical Properties of Artificially Made Sandstones. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, vol. 215, p. 110632, agosto, 2022.

SHERMAN, DOUGLAS J.; HOTTA, SHINTARO. Aeolian sediment transport: theory and measurement. **Coastal Dunes: form and process**, v. 17, p. 37, 1990,

SHIM, W. J. *et al.* Identification and quantification of microplastics using Nile Red staining. **Marine Pollution Bulletin**, v. 113, n. 1, p. 469–476, 2016.

SILVA, E. F. *et al.* Evaluation of microplastic and marine debris on the beaches of Niterói Oceanic Region, Rio De Janeiro, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 175, p. 113161, 2022.

SIMÕES, F. B. **Caracterização geotécnica da areia da praia de Ipanema**. 2015. 124 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2015.

SOARES, B. R. **Ensaio de Permeabilidade de Laboratório na Areia da Praia de Ipanema e em uma Amostra de Microesferas de Vidro**. 2021. 211 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2021.

STOLTE, A *et al.* Microplastic concentrations in beach sediments along the German Baltic coast. **Marine Pollution Bulletin**. v. 99, p. 216-229, jul. 2015.

SUZUKI, Kiichi; YAMADA, Takemine. Double strain softening and diagonally crossing shear bands of sand in drained triaxial tests. **International Journal of Geomechanics**, v. 6, n. 6, p. 440-446, 2006.

TÁBUA DE MARÉS, **Fortaleza**, 2022. Disponível em: <https://tabuademares.com/br/ceara/fortaleza>. Acesso em: 16 set. 2022.

THE JAMOVİ PROJECT. **jamovi**. (Version 2.3) [Computer Software], 2022. Disponível em: <https://www.jamovi.org>.

THOMPSON, R. C. *et al.* Lost at sea: where is all the plastic?. **Science**, New York, v. 304, p. 838, maio, 2004.

TORRES-BEJARANO, Franklin *et al.* Effects of beach tourists on bathing water and sand quality at Puerto Velero, Colombia. **Environment, development and sustainability**, v. 20, p. 255-269, 2018.

TSANG, Y. Y. *et al.* Microplastic pollution in the marine waters and sediments of Hong Kong. **Marine Pollution Bulletin**, v. 115, n. 1, p. 20–28, 2017.

TUIJNMAN, Jorn T. *et al.* Consequences of a storm surge for aeolian sand transport on a low-gradient beach. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 8, n. 8, p. 584, 2020,

UNCHE. United Nations Conference on the Human Environment. **Report of the United Nations Conference on the Human Environment**. Stocllholm. 1972. 81 p. Disponível em: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/NL7/300/05/IMG/NL730005.pdf?OpenElement>. Acesso em: 13 nov. 2022.

USACE. United States Army Corps of Engineers. Coastal engineering manual. **Engineer Manual**, v. 1110, p. 2-1100, 2002.

VASCONCELOS, F. P.; MIOSSEC, A. Contribution to integrated coastal zone management (ICZM) as a solution to coastal environmental problems of Fortaleza (NE-Brazil). **Journal of Coastal Research**, p. 1711-1715, 2006.

VEGTER, A. *et al.* Global research priorities to mitigate plastic pollution impacts on marine wildlife. **Endangered Species Research**, v. 25, n. 3, p. 225–247, 17 out. 2014.

VISCONTI, G. *et al.* Hatching Success of *Caretta caretta* on a Mediterranean Volcanic Beach: Impacts from Environmental Parameters and Substrate Composition. **Journal of Coastal Research**. v. 38, p. 603-612, 2022.

WANG, J. *et al.* High levels of microplastic pollution in the sediments and benthic organisms of the South Yellow Sea, China. **Science of The Total Environment**, v. 651, p. 1661–1669, 2019.

WANG, J. *et al.* Microplastics in the surface sediments from the Beijiang River littoral zone: Composition, abundance, surface textures and interaction with heavy metals. **Chemosphere**, v. 171, p. 248–258, 2017.

WESSEL, C. C. *et al.* Abundance and characteristics of microplastics in beach sediments: Insights into microplastic accumulation in northern Gulf of Mexico estuaries. **Marine Pollution Bulletin**, v. 109, n. 1, p. 178–183, 2016.

WIGGS, G. F. S.; BAIRD, A. J.; ATHERTON, R. J. The dynamic effects of moisture on the entrainment and transport of sand by wind. **Geomorphology**, v. 59, n. 1-4, p. 13-30, 2004.

WRIGHT, S. L.; THOMPSON, R. C.; GALLOWAY, T. S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. **Environmental Pollution**, v. 178, p. 483–492, jul. 2013.

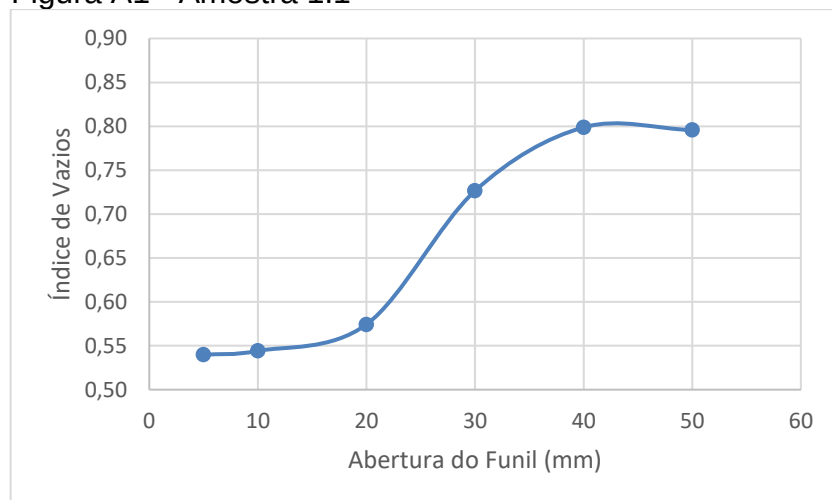
YU, X *et al.* Occurrence of microplastics in the beach sand of the Chinese inner sea: the Bohai Sea. **Environmental Pollution**. v. 214, p. 722-730, maio, 2016.

ZHENG, Wenbo, *et al.* Quantifying the Influence of Grain Morphology on Sand Hydraulic Conductivity: A Detailed Pore-Scale Study. **Computers and Geotechnics**, vol. 135, p. 104147, julho, 2021.

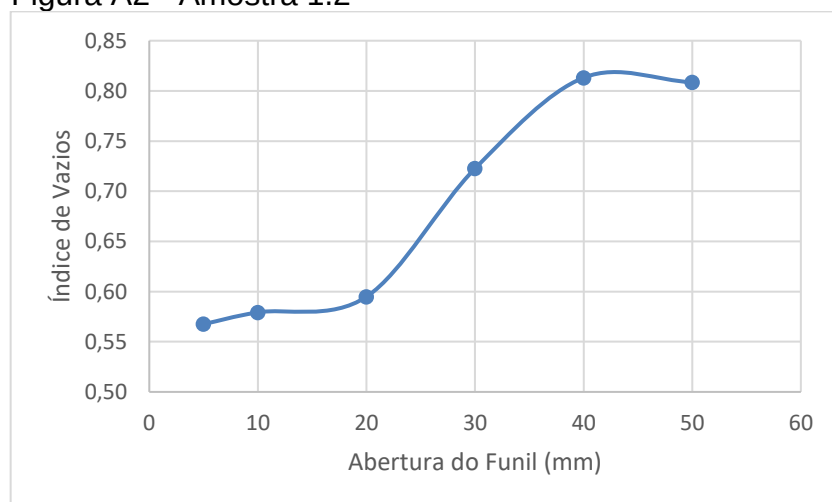
ZHU, L. *et al.* Microplastic pollution in North Yellow Sea, China: Observations on occurrence, distribution and identification. **Science of The Total Environment**, v. 636, p. 20–29, 2018.

ZOBKOV, M.; ESIUKOVA, E. Microplastics in Baltic bottom sediments: Quantification procedures and first results. **Marine Pollution Bulletin**, v. 114, n. 2, p. 724–732, 2017.

NOLASCO, M. E. *et al.* Morphology, Chemical Characterization and Sources of Microplastics in a Coastal City in the Equatorial Zone with Diverse Anthropogenic Activities (Fortaleza city, Brazil). **Journal of Polymers and the Environment**, v. 30, n. 7, p. 2862-2874, 2022.

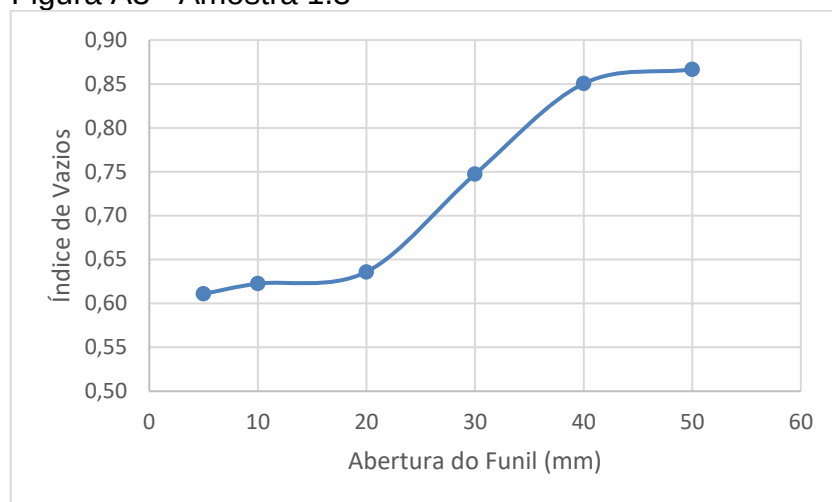
APÊNDICE A – CURVAS ABERTURA DO FUNIL X ÍNDICE DE VAZIOS**Figura A1 - Amostra 1.1**

Fonte: Autor (2023).

Figura A2 - Amostra 1.2

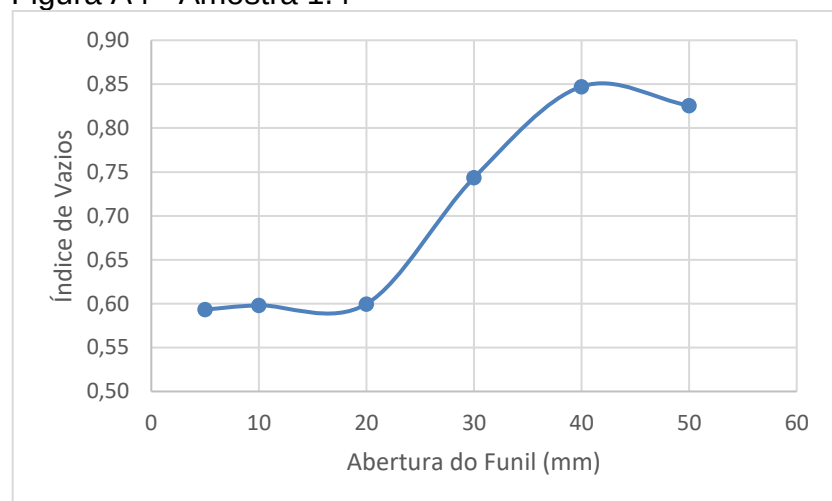
Fonte: Autor (2023).

Figura A3 - Amostra 1.3



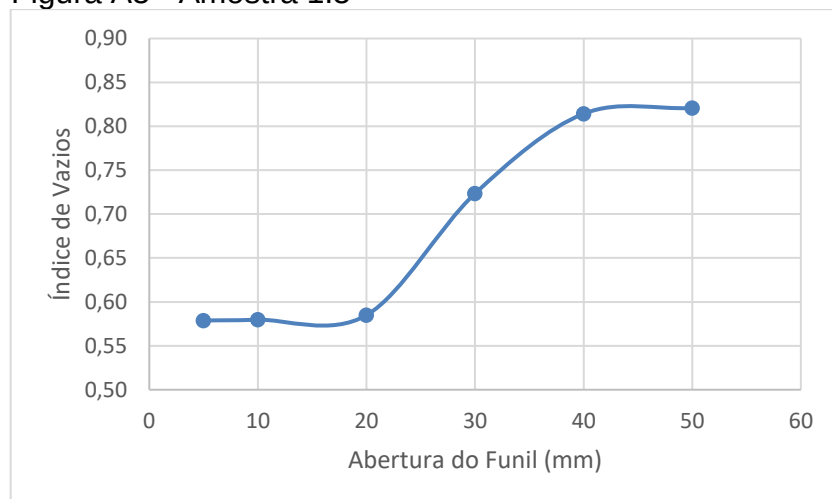
Fonte: Autor (2023).

Figura A4 - Amostra 1.4



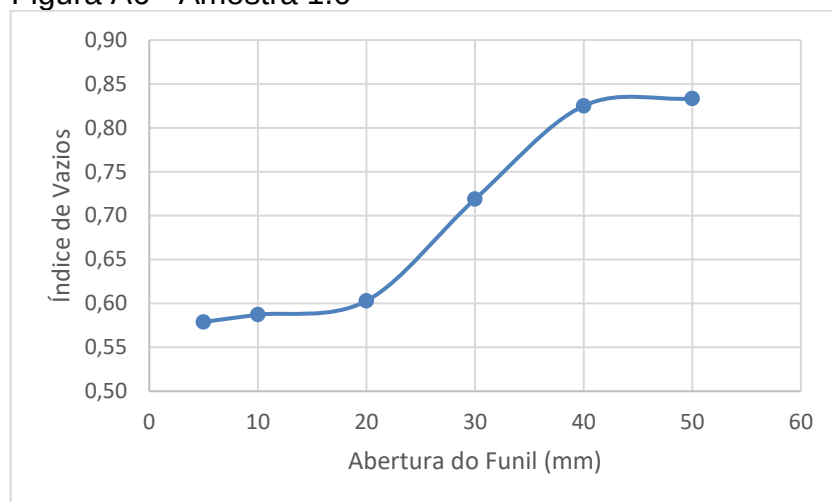
Fonte: Autor (2023).

Figura A5 - Amostra 1.5



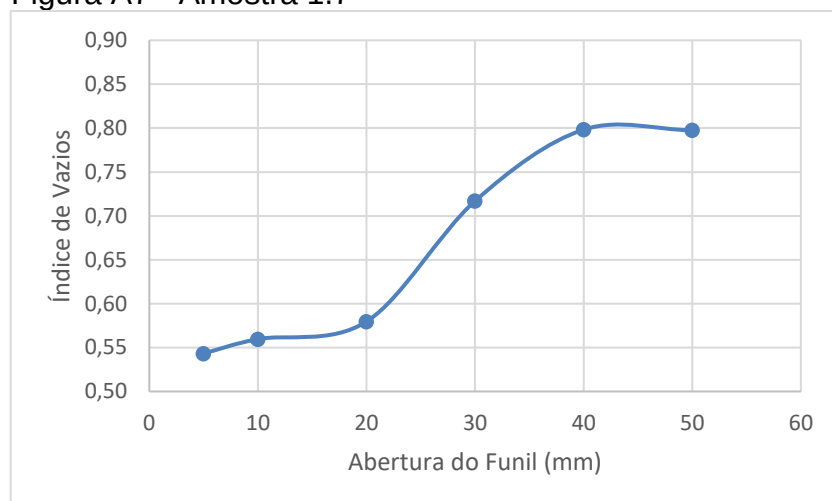
Fonte: Autor (2023).

Figura A6 - Amostra 1.6



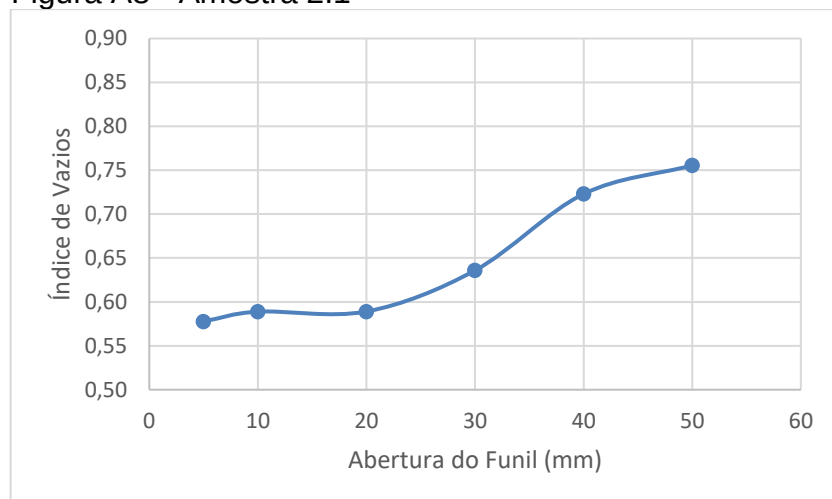
Fonte: Autor (2023).

Figura A7 - Amostra 1.7



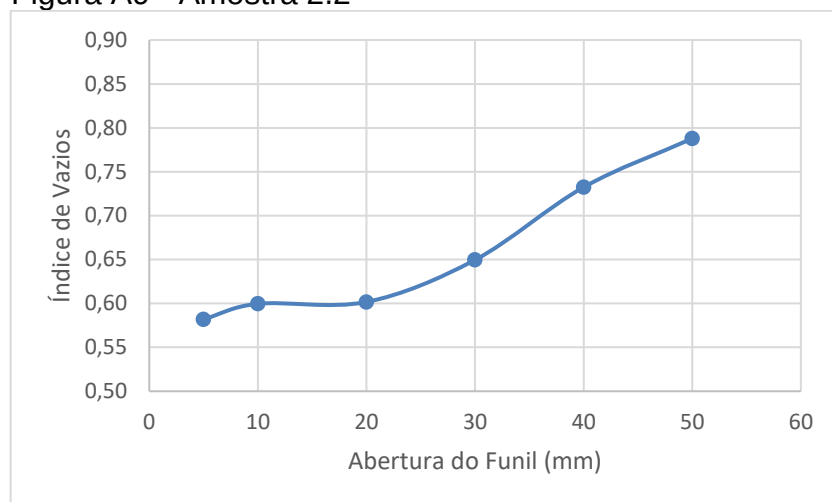
Fonte: Autor (2023).

Figura A8 - Amostra 2.1



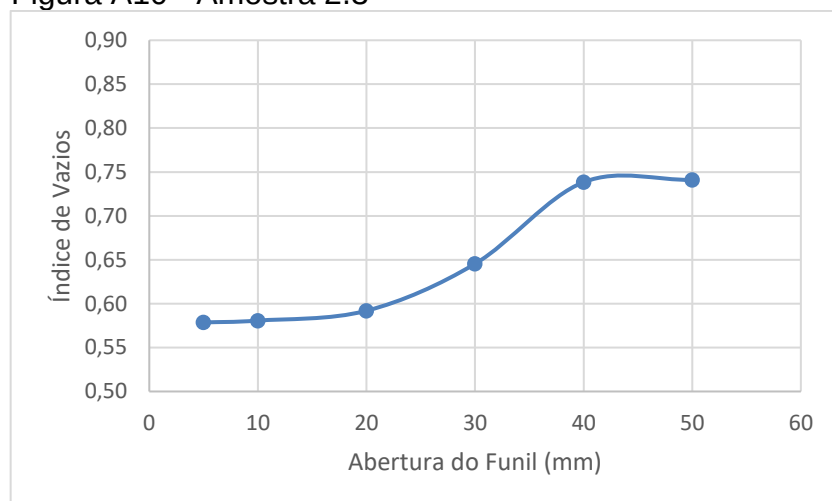
Fonte: Autor (2023).

Figura A9 - Amostra 2.2



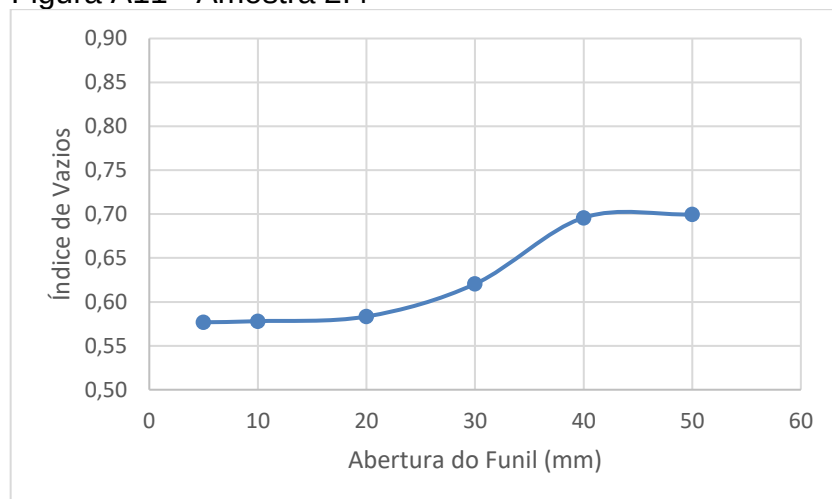
Fonte: Autor (2023).

Figura A10 - Amostra 2.3



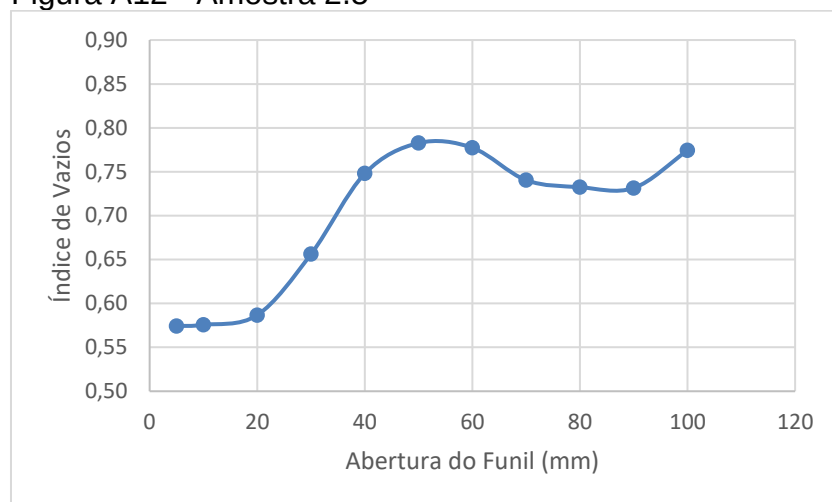
Fonte: Autor (2023).

Figura A11 - Amostra 2.4



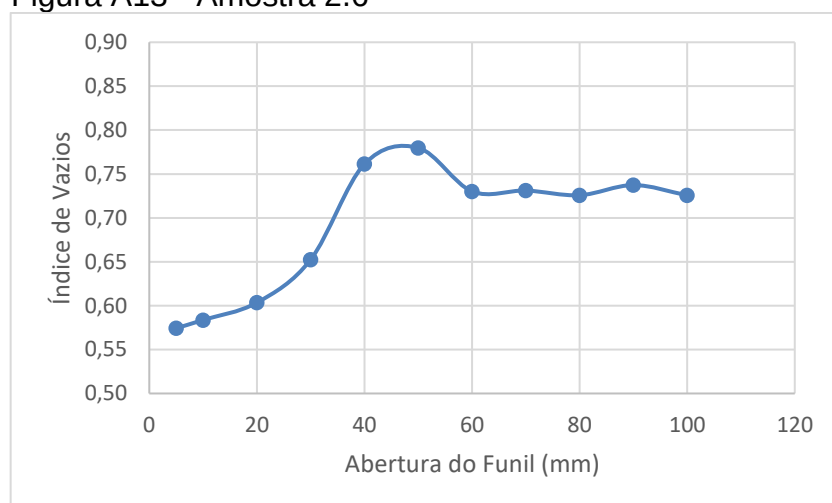
Fonte: Autor (2023).

Figura A12 - Amostra 2.5



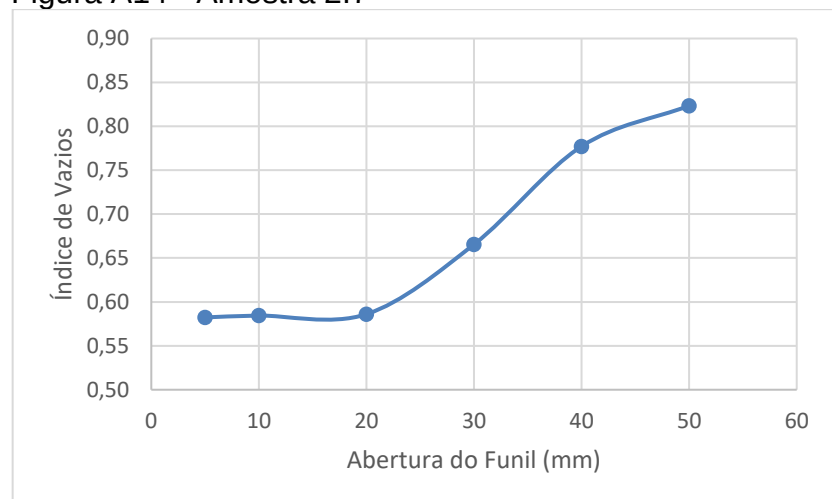
Fonte: Autor (2023).

Figura A13 - Amostra 2.6



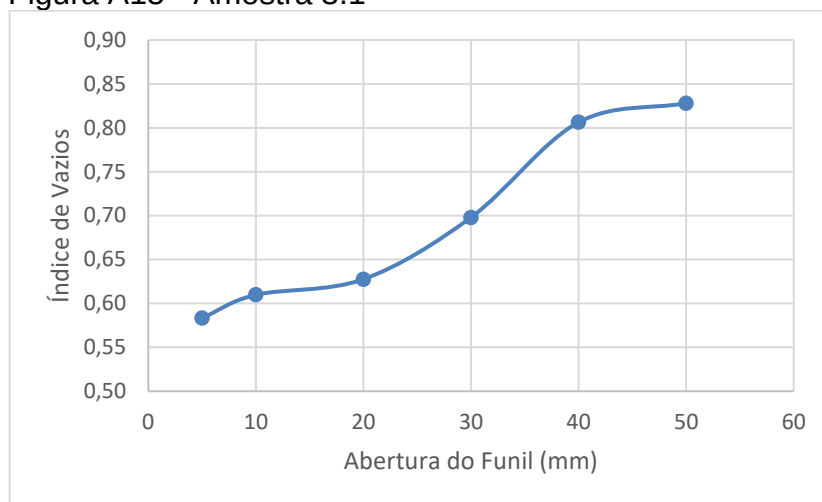
Fonte: Autor (2023).

Figura A14 - Amostra 2.7



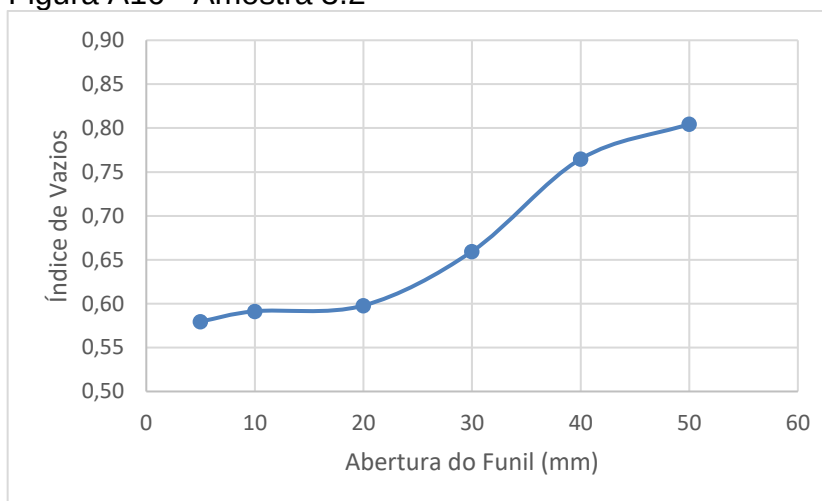
Fonte: Autor (2023).

Figura A15 - Amostra 3.1



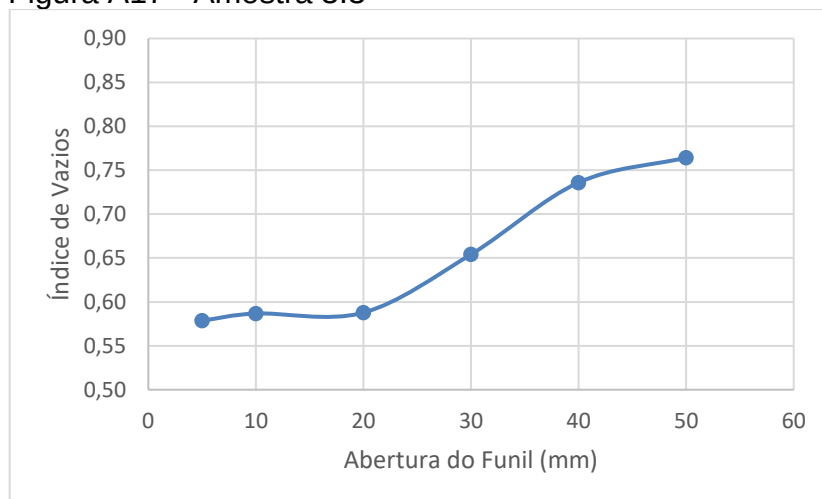
Fonte: Autor (2023).

Figura A16 - Amostra 3.2



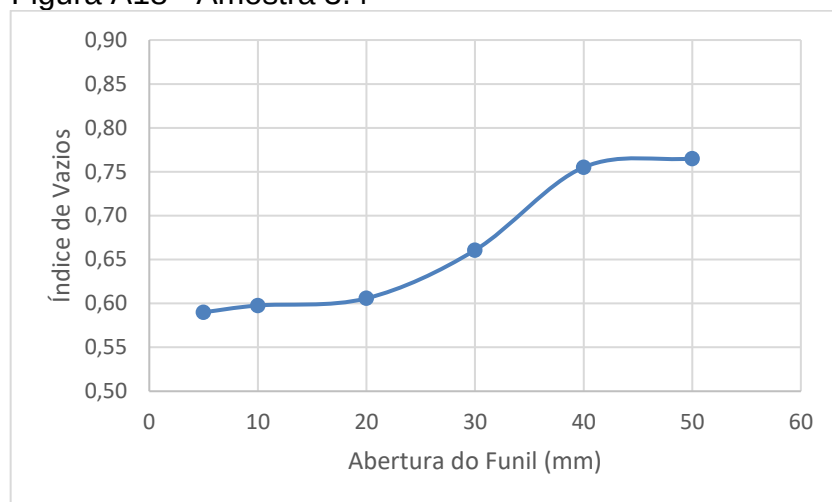
Fonte: Autor (2023).

Figura A17 - Amostra 3.3



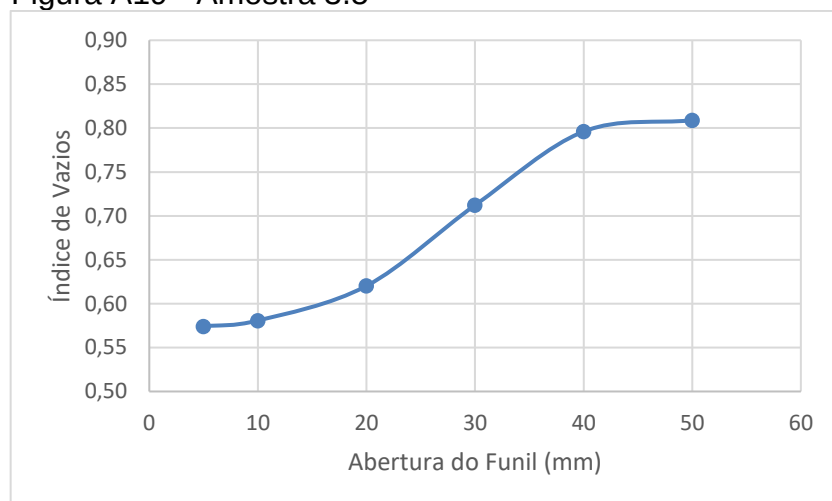
Fonte: Autor (2023).

Figura A18 - Amostra 3.4



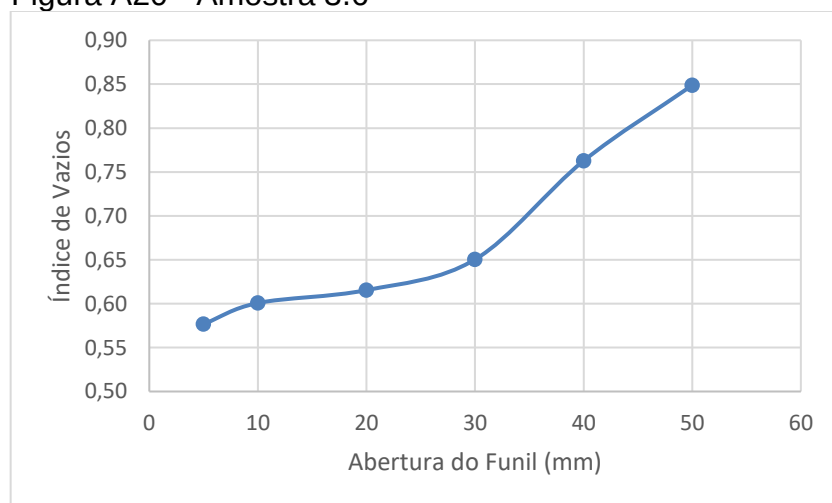
Fonte: Autor (2023).

Figura A19 - Amostra 3.5



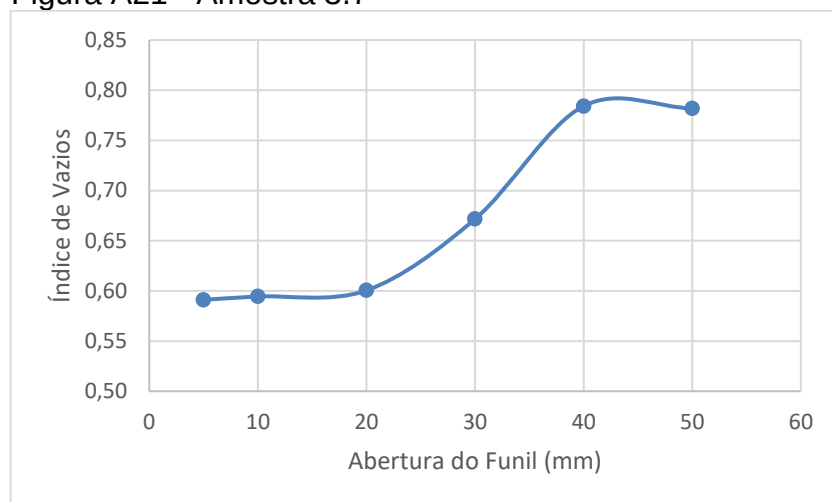
Fonte: Autor (2023).

Figura A20 - Amostra 3.6



Fonte: Autor (2023).

Figura A21 - Amostra 3.7



Fonte: Autor (2023).

APÊNDICE B – RESULTADOS FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

Tabela D1 - Fluorescência de Raios-x - Amostra 1.6

Na₂O	0,87
MgO	1,30
Al₂O₃	6,19
SiO₂	76,05
SO₃	0,32
Cl	0,91
K₂O	4,07
CaO	7,22
TiO₂	1,20
Fe₂O₃	1,74
SrO	0,02
ZrO₂	0,05
Ag₂O	0,04

Fonte: Autor (2023).

Tabela D2 - Fluorescência de Raios-x - Amostra 2.4

Na₂O	0,91
MgO	0,54
Al₂O₃	7,06
SiO₂	80,92
Cl	0,64
K₂O	5,94
CaO	2,77
Fe₂O₃	0,99
ZnO	0,04
Rb₂O	0,02
SrO	0,04
Nb₂O₅	0,02
MoO₃	0,01
Ag₂O	0,05
Fr	0,03
PuO₂	0,03

Fonte: Autor (2023).

Tabela D3 - Fluorescência de Raios-x - Amostra 2.5

Na₂O	0,46
Al₂O₃	7,76
SiO₂	83,88
Cl	0,33
K₂O	4,92
CaO	2,23
Fe₂O₃	0,42

Fonte: Autor (2023).

Tabela D4 - Fluorescência de Raios-x - Amostra 2.6

Na₂O	1,10
Al₂O₃	5,45
SiO₂	86,54
Cl	0,25
K₂O	4,11
CaO	1,85
Fe₂O₃	0,43
ZnO	0,17
Rb₂O	0,01
SrO	0,02
Y₂O₃	0,01
ZrO₂	0,01
Nb₂O₅	0,01
Tc	0,07

Fonte: Autor (2023).

Tabela D5 - Fluorescência de Raios-x - Amostra 2.7

Al₂O₃	4,10
SiO₂	91,02
Cl	0,31
K₂O	2,74
CaO	1,54
Fe₂O₃	0,29

Fonte: Autor (2023).

Tabela D6 - Fluorescência de Raios-x - Amostra 3.1

Al₂O₃	7,65
SiO₂	82,98
Cl	0,62
K₂O	5,44
CaO	2,74
Fe₂O₃	0,56
SrO	0,01

Fonte: Autor (2023).

Tabela D7 - Fluorescência de Raios-x - Amostra 3.2

Al₂O₃	6,67
SiO₂	83,49
SO₃	0,14
Cl	0,44
K₂O	5,37
CaO	2,78
Fe₂O₃	1,04
Rb₂O	0,02
SrO	0,05

Fonte: Autor (2023).

Tabela D8 - Fluorescência de Raios-x - Amostra 3.3

Al₂O₃	3,83
SiO₂	78,64
SO₃	0,08
Cl	0,47
K₂O	7,57
CaO	5,18
Fe₂O₃	1,74
ZnO	0,14
Rb₂O	0,06
SrO	0,13
Y₂O₃	0,03
ZrO₂	0,11
Nb₂O₅	0,35
MoO₃	0,07
Tc	0,06
Rh₂O₃	1,10
Ag₂O	0,44

Fonte: Autor (2023).

Tabela D9 - Fluorescência de Raios-x - Amostra 3.4

Al₂O₃	4,23
SiO₂	76,64
P₂O₅	0,29
Cl	0,79
K₂O	8,86
CaO	6,22
Fe₂O₃	2,80
ZnO	0,05
SrO	0,12

Fonte: Autor (2023).

Tabela D10 - Fluorescência de Raios-x - Amostra 3.5

Al₂O₃	5,35
SiO₂	75,05
Cl	1,91
K₂O	8,35
CaO	6,56
Fe₂O₃	2,59
ZnO	0,14
SrO	0,05

Fonte: Autor (2023).

Tabela D11 - Fluorescência de Raios-x - Amostra 3.6

Al₂O₃	5,28
SiO₂	73,18
SO₃	0,34
Cl	2,00
K₂O	8,12
CaO	6,58
TiO₂	0,64
Fe₂O₃	2,92
ZnO	0,82
Rb₂O	0,04
SrO	0,09

Fonte: Autor (2023).

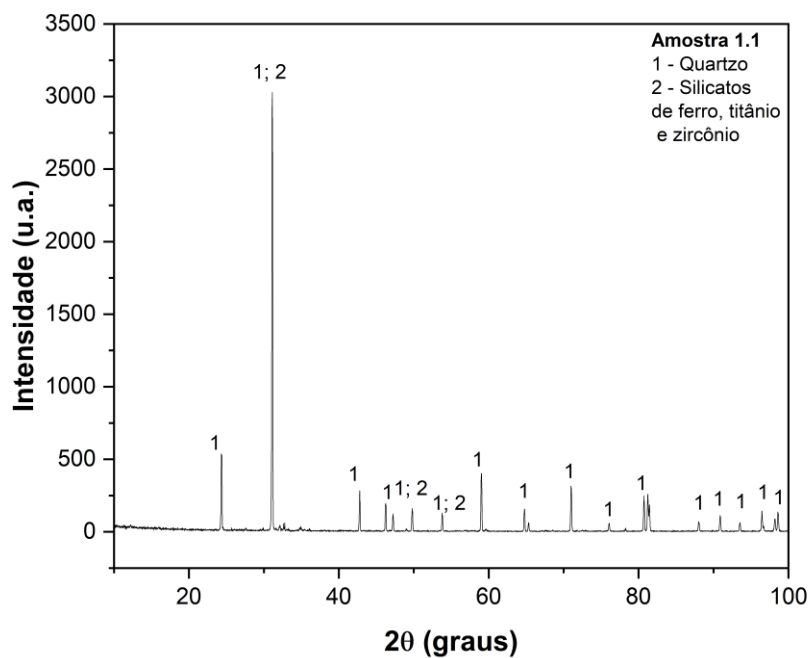
Tabela D12 - Fluorescência de Raios-x - Amostra 3.7

Na₂O	0,94
MgO	0,51
Al₂O₃	8,79
SiO₂	75,30
Cl	1,16
K₂O	6,75
CaO	4,19
TiO₂	0,46
Fe₂O₃	1,67
ZnO	0,20
SrO	0,02

Fonte: Autor (2023).

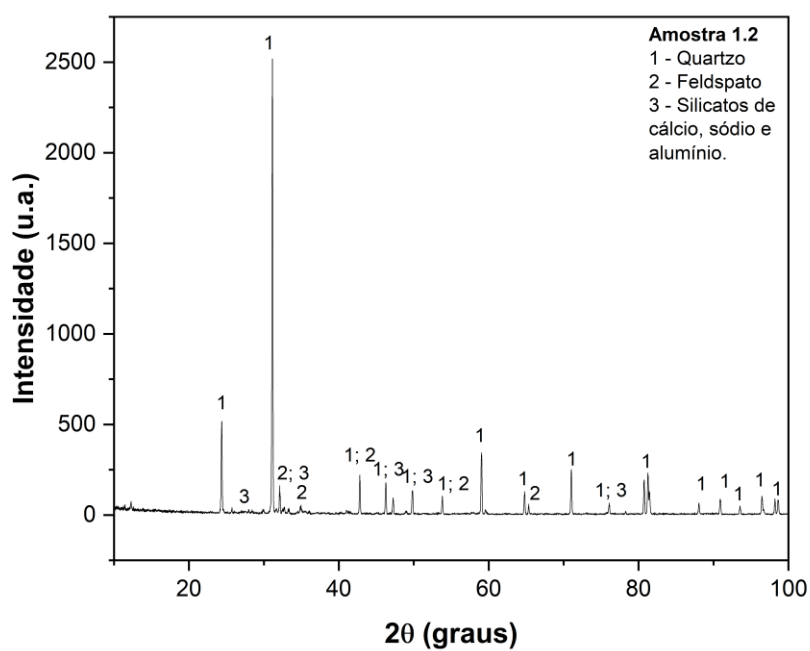
APÊNDICE C – DIFRATOGRAMAS DE FASES

Figura E1 - Difratoograma de fases - Amostra 1.1



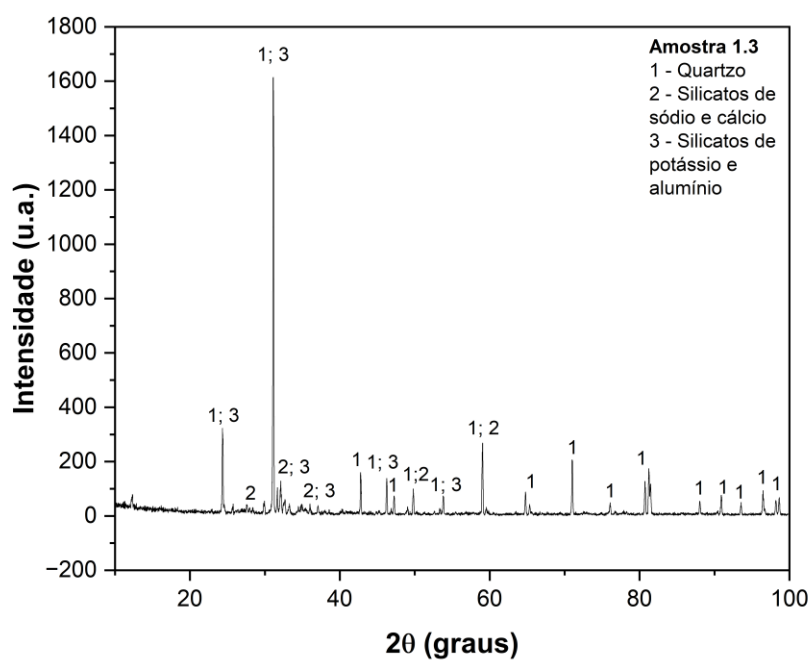
Fonte: Autor (2023).

Figura E2 - Difratoograma de fases - Amostra 1.2



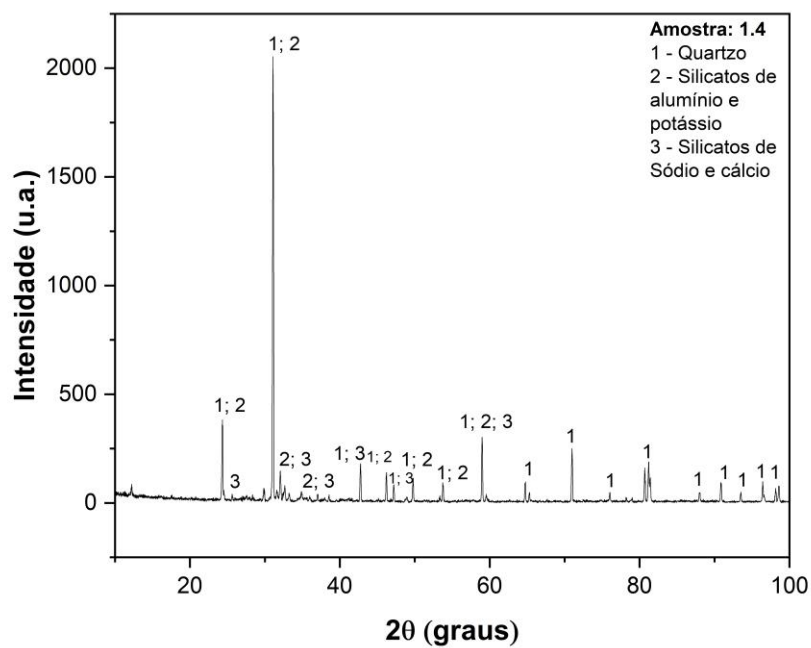
Fonte: Autor (2023).

Figura E3 - Difratoograma de fases - Amostra 1.3



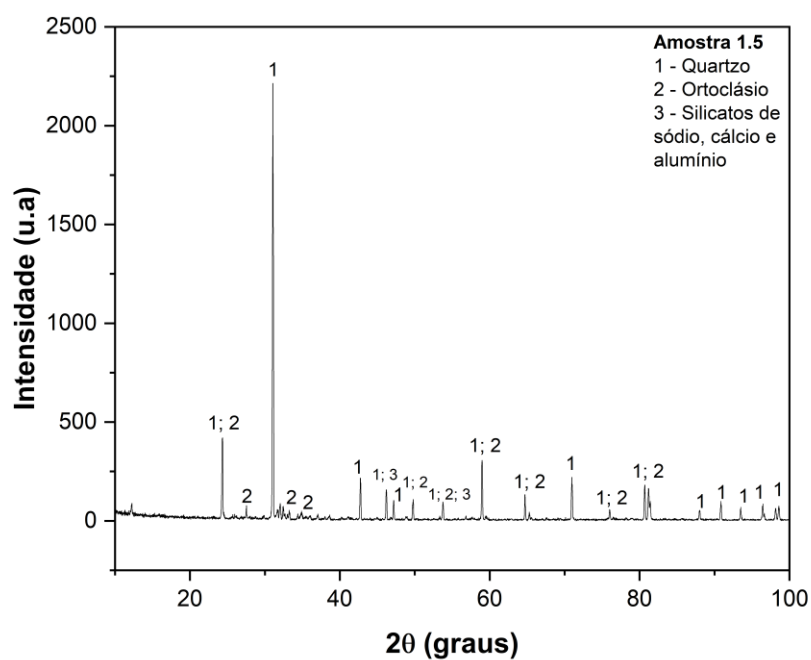
Fonte: Autor (2023).

Figura E4 - Difratoograma de fases - Amostra 1.4



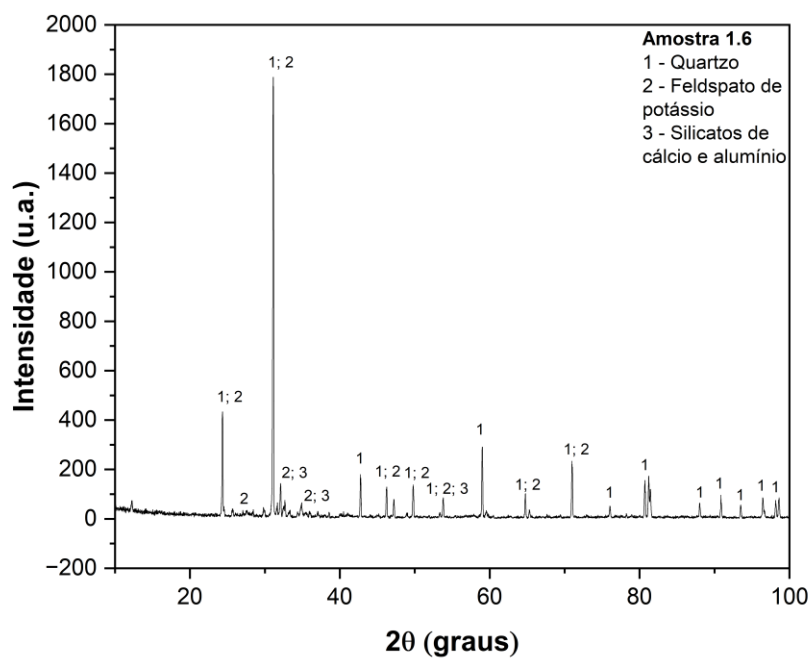
Fonte: Autor (2023).

Figura E5 - Difratoograma de fases - Amostra 1.5



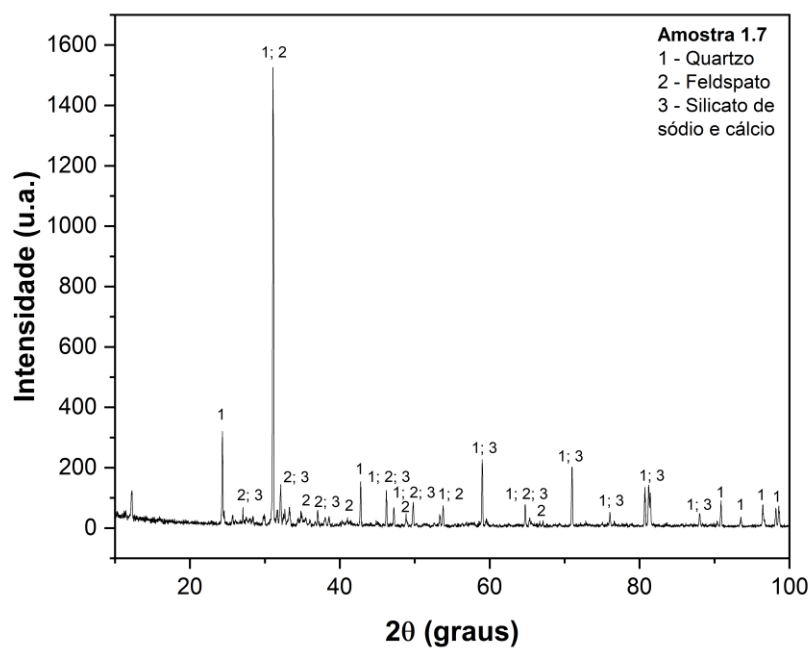
Fonte: Autor (2023).

Figura E6 - Difratoograma de fases - Amostra 1.6



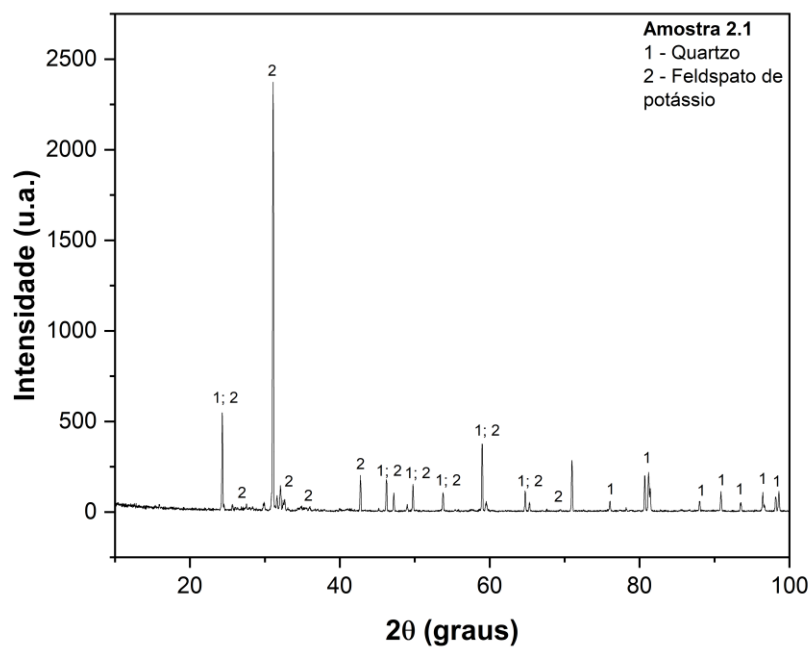
Fonte: Autor (2023).

Figura E7 - Difratoograma de fases - Amostra 1.7



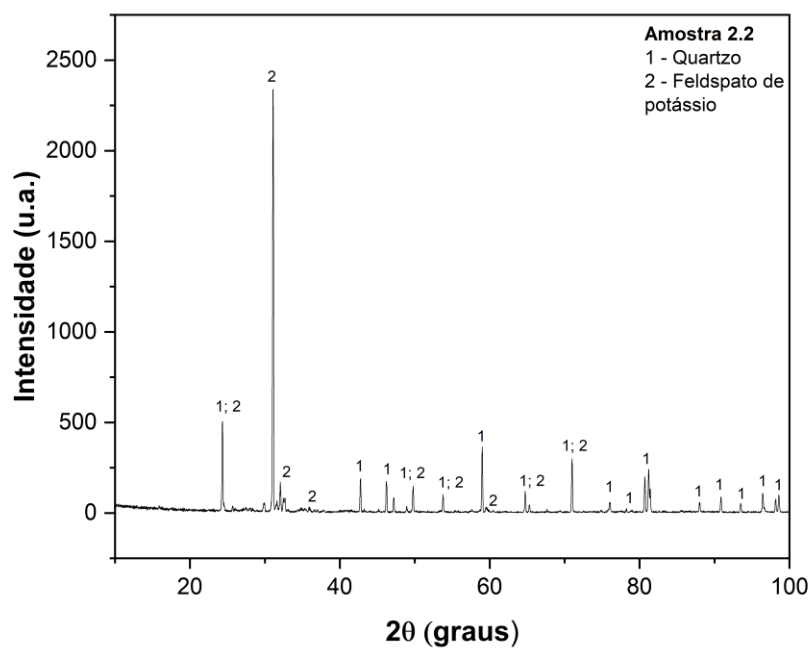
Fonte: Autor (2023).

Figura E8 - Difratoograma de fases - Amostra 2.1



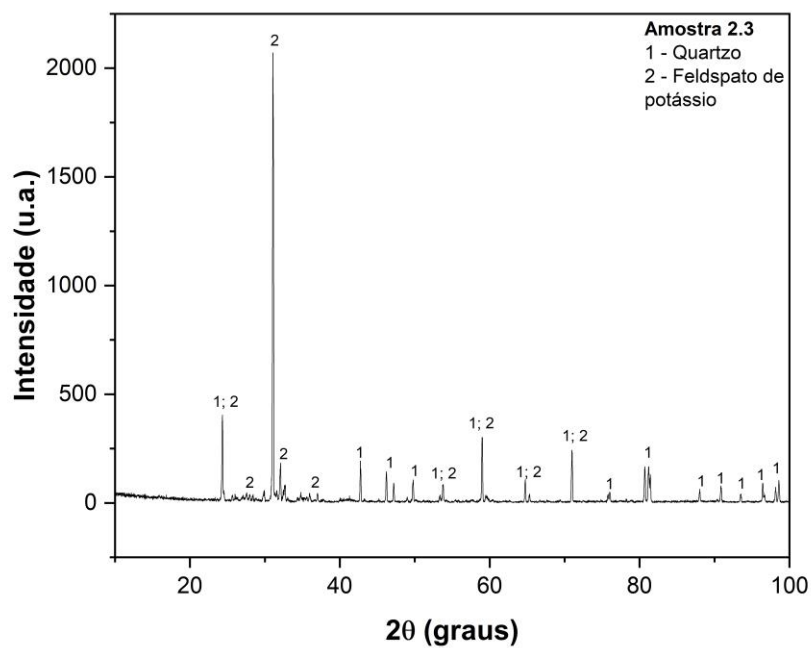
Fonte: Autor (2023).

Figura E9 - Difratoograma de fases - Amostra 2.2



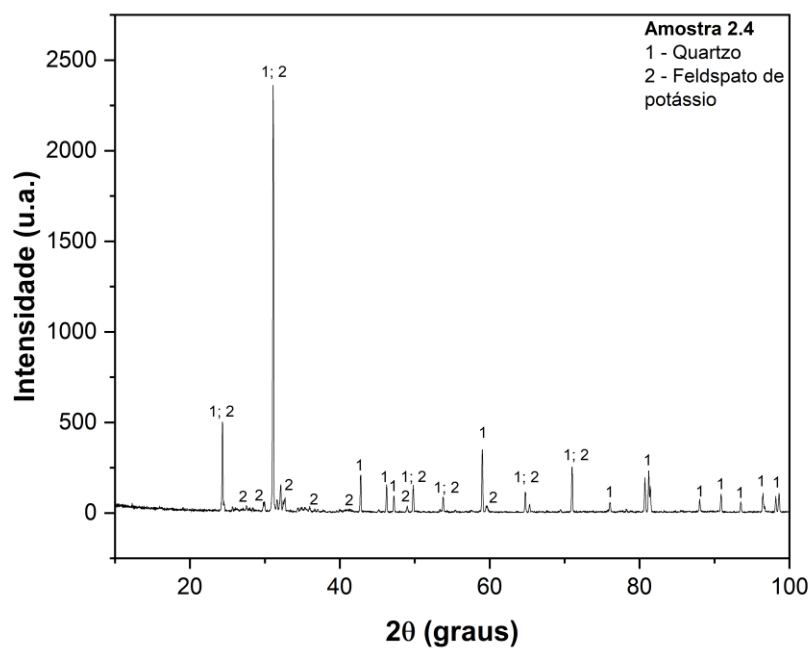
Fonte: Autor (2023).

Figura E10 - Difratoograma de fases - Amostra 2.3



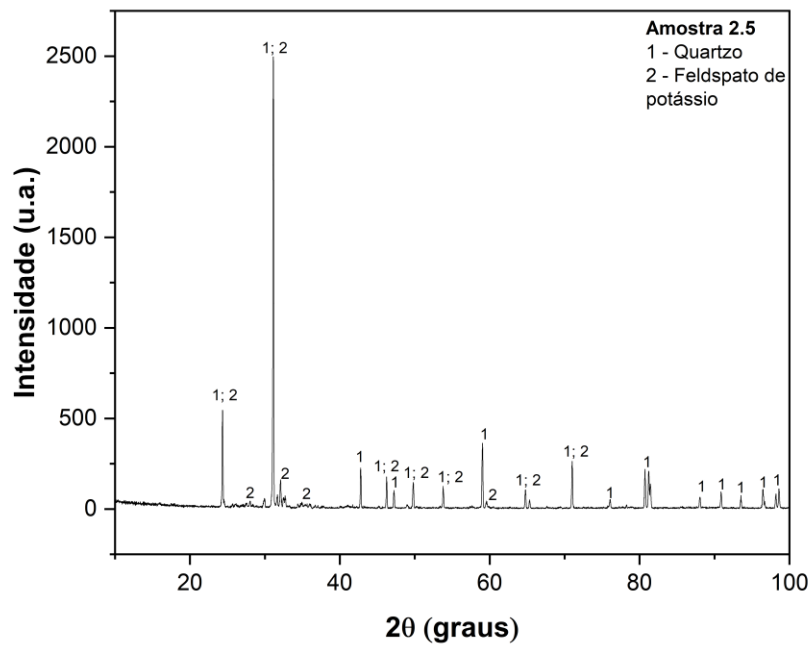
Fonte: Autor (2023).

Figura E11 - Difratoograma de fases - Amostra 2.4



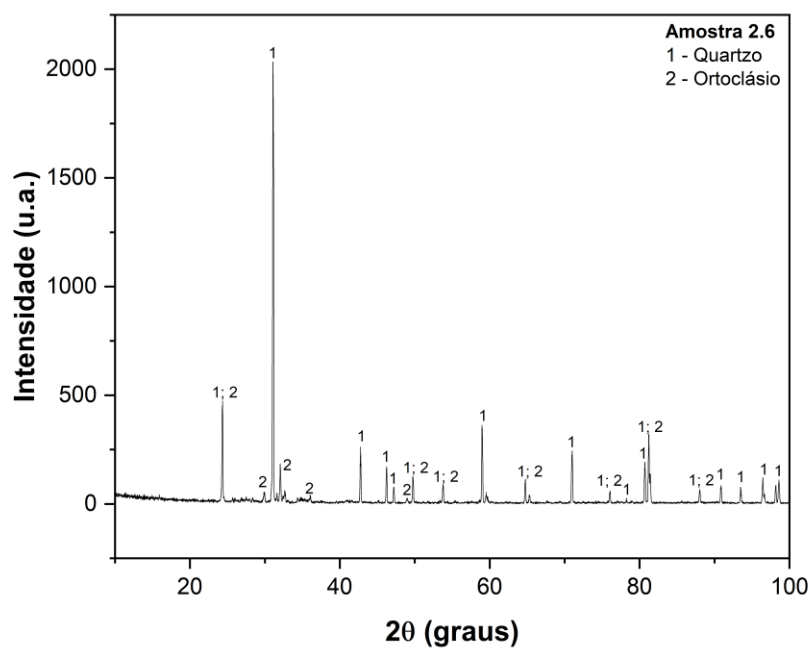
Fonte: Autor (2023).

Figura E12 - Difratoograma de fases - Amostra 2.5



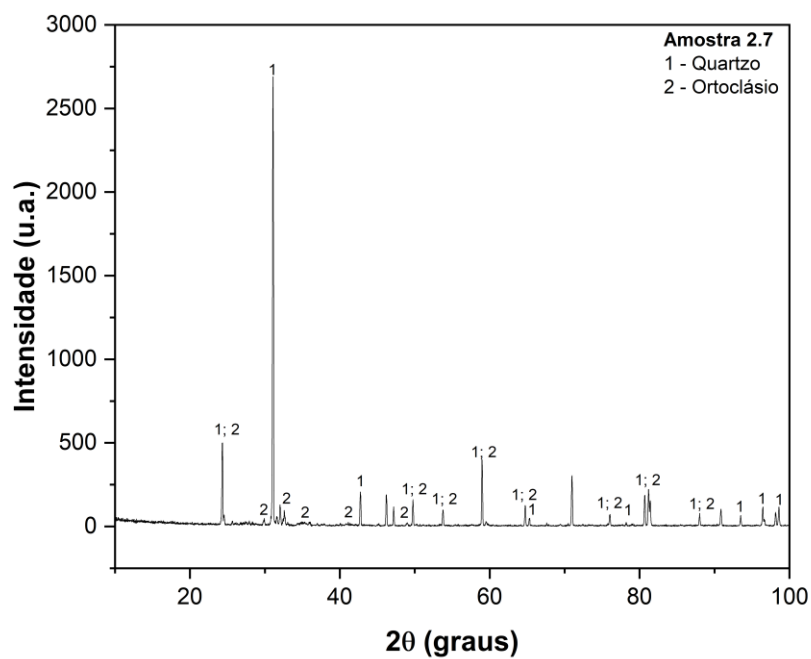
Fonte: Autor (2023).

Figura E13 - Difratoograma de fases - Amostra 2.6



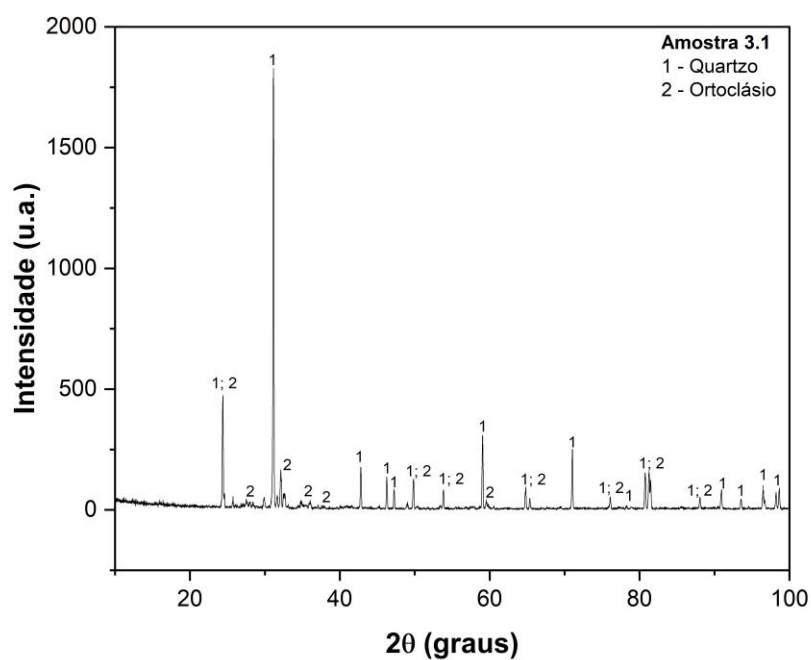
Fonte: Autor (2023).

Figura E14 - Difratoograma de fases - Amostra 2.7



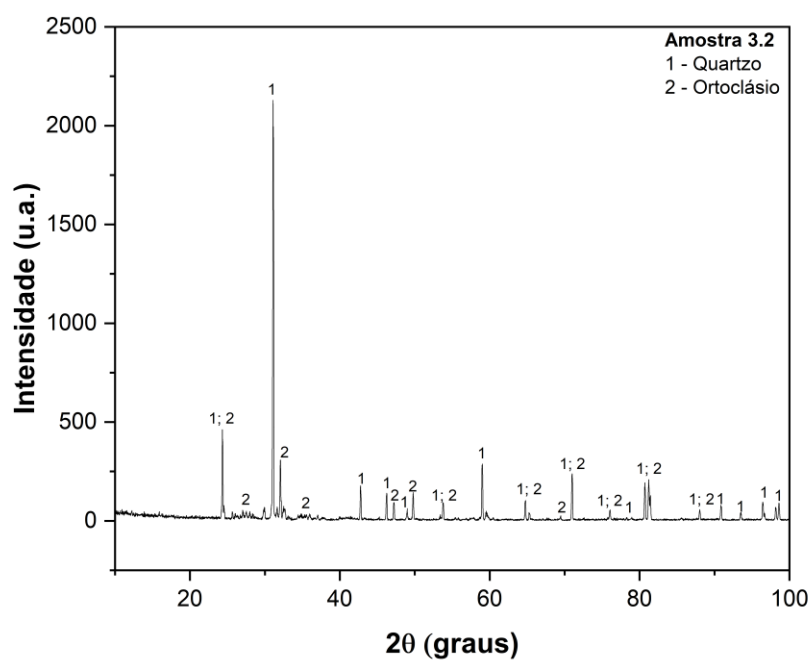
Fonte: Autor (2023).

Figura E15 - Difratoograma de fases - Amostra 3.1



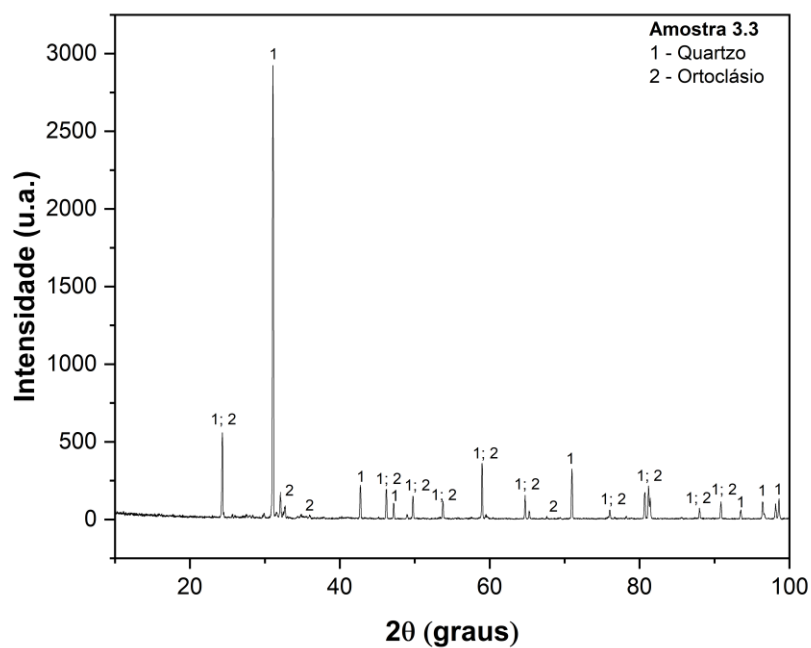
Fonte: Autor (2023).

Figura E16 - Difratoograma de fases - Amostra 3.2



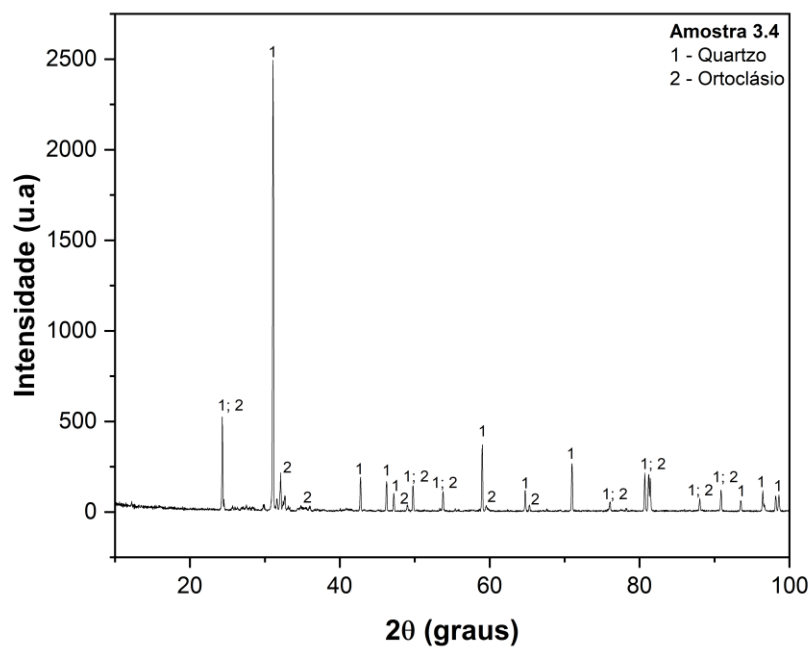
Fonte: Autor (2023).

Figura E17 - Difratoograma de fases - Amostra 3.3



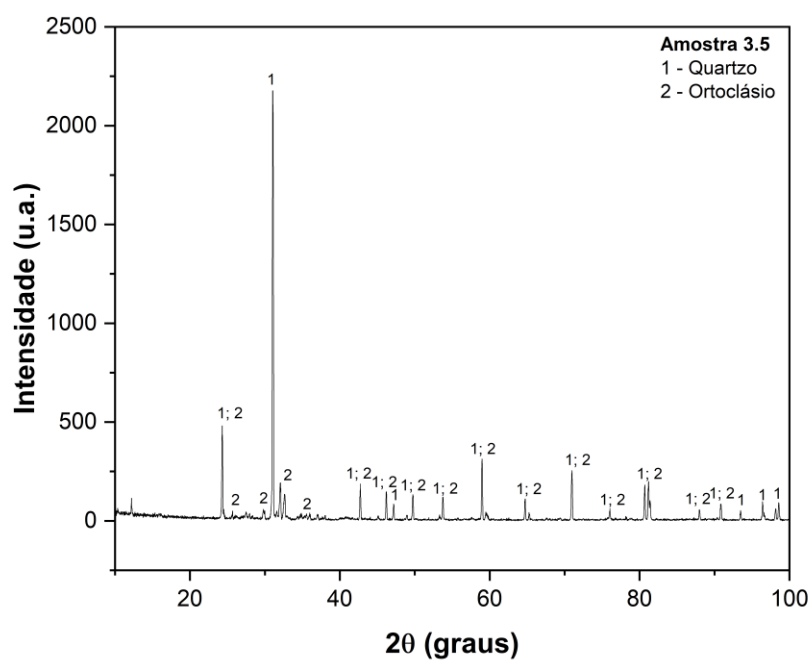
Fonte: Autor (2023).

Figura E18 - Difratoograma de fases - Amostra 3.4



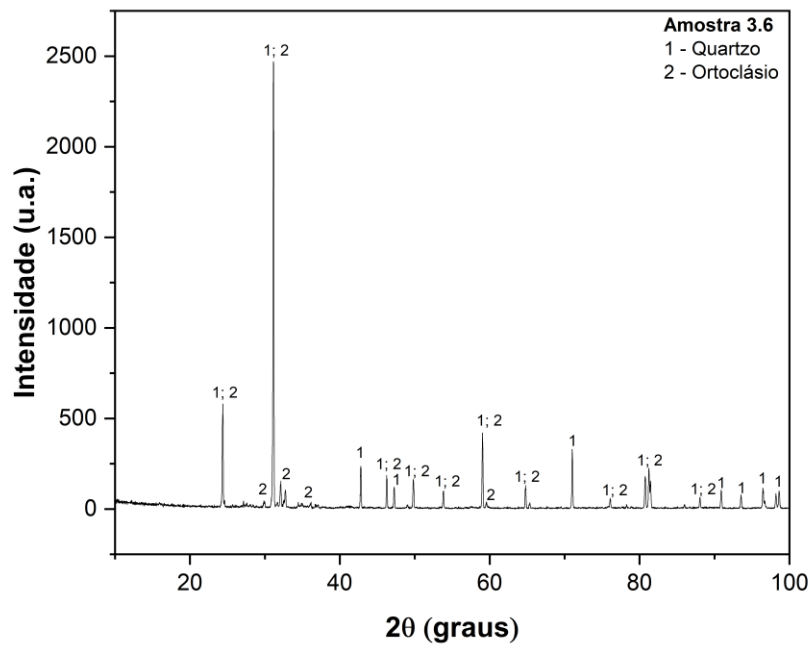
Fonte: Autor (2023).

Figura E19 - Difratoograma de fases - Amostra 3.5



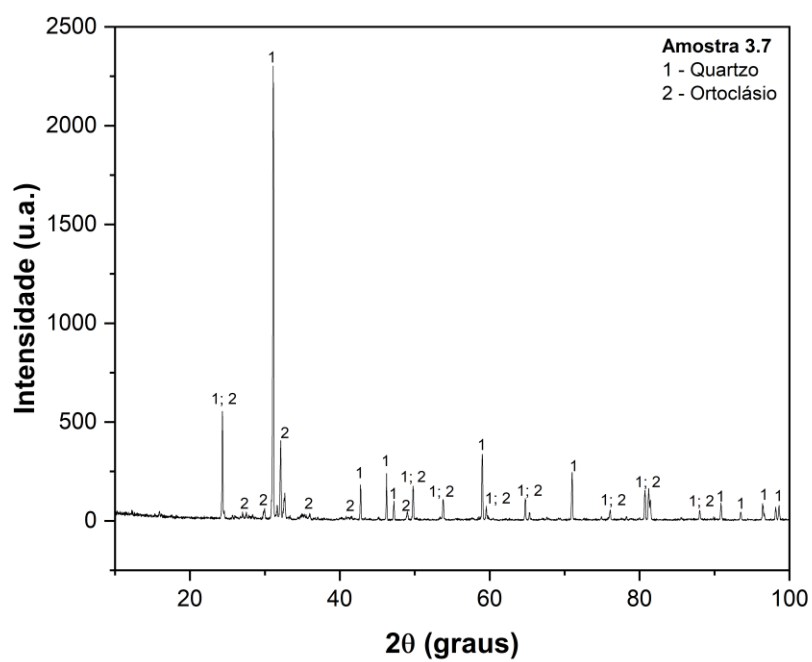
Fonte: Autor (2023).

Figura E20 - Difratoograma de fases - Amostra 3.6



Fonte: Autor (2023).

Figura E21 - Difratoograma de fases - Amostra 3.7



Fonte: Autor (2023).