

Análise Experimental de Índices de Vazios Mínimos da Areia da Praia do Futuro em Fortaleza por Diferentes Métodos de Determinação

Paulo Rubens Melo Camelo

Técnico de laboratório, M.Sc., Univ. Federal do Ceará, Crateús, Brasil, paulo.rubensmelo@hotmail.com

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Professor, D.Sc., Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br

Juceline Batista dos Santos Bastos

Professora, D.Sc., Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, juceline.santos@ifce.edu.br

Judite Georgia Pereira Sombra

Estudante de Eng. Civil, Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, juditesombra00@gmail.com

Márcia Vitória Coutinho Miranda

Estudante de Eng. Civil, Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, vitoria.coutinho61@aluno.ifce.edu.br

RESUMO: Considerando os sistemas de classificação, procura-se agrupar os solos pelo tamanho das partículas e características referentes ao seu comportamento mecânico e hidráulico. Areias puras ou predominantemente arenosas possuem características específicas. Quando utilizadas em suporte ou para verificar o comportamento hidráulico em análises ambientais, sua compactidade, avaliada pelo índice de vazios, é relevante. O presente artigo tem por objetivo apresentar diferentes formas de determinação dos parâmetros para obtenção da compactidade relativa, considerando a areia da Praia do Futuro na cidade de Fortaleza, Estado do Ceará. Foram selecionados pontos de coleta de amostras ao longo da extensão da região de estudo. Na sequência, foram determinados os índices de vazios máximo e mínimo em laboratório, considerando diferentes procedimentos indicados na literatura técnica e científica. Adotando-se os métodos de Miura e Toki (1982), NBR 16840 (ABNT, 2020a) e NBR 16843 (ABNT, 2020b), foram determinados os índices de vazios mínimo e máximo de 5 das amostras coletadas. Observou-se que diferentes metodologias fornecem resultados distintos para o índice de vazios mínimo, observando-se uma maior eficiência no método de Miura e Toki (1982). A partir dos resultados, obteve-se a compactidade relativa *in situ* e confirmou-se a concordância dos índices com algumas areias da literatura.

PALAVRAS-CHAVE: Areias. Ensaios de laboratório. Compactidade relativa. Índice de vazios.

ABSTRACT: Considering the classification systems, an attempt is made to group soils by particle size and characteristics related to their mechanical and hydraulic behavior. Pure or predominantly sandy soils have specific characteristics. When used for support or to verify hydraulic behavior in environmental analyses, their compactness, evaluated by the void ratio, is relevant. This article aims to present different methods for determining parameters to obtain relative compaction, considering the sand from Praia do Futuro in the city of Fortaleza, state of Ceará. A literature review on the subject was conducted, and sampling points were selected along the length of the beach. Subsequently, maximum and minimum void ratios were determined in the laboratory. It was observed that different methodologies provide different results for the minimum void ratio. Adopting the methods of Miura and Toki (1982), NBR 16840 (ABNT, 2020a), and NBR 16843 (ABNT, 2020b), the minimum and maximum void ratios were determined for 5 of the collected samples. The results were analyzed, with greater efficiency observed in the Miura and Toki (1982) method. From the results, *in situ* relative compaction was obtained, confirming the agreement of the indices with some sands from the literature.

KEYWORDS: Sands. Laboratory tests. Relative compaction. Void ratio.

1 INTRODUÇÃO

Para a resolução de problemas geotécnicos, há uma constante necessidade em caracterizar diferentes tipos de solo para a determinação do seu comportamento frente a diversas solicitações. Diante do crescimento de obras de infraestrutura no Brasil, o entendimento a respeito do comportamento do solo se torna relevante para a elaboração de projetos e otimização de estudos. Essa compreensão aprofundada resulta em economia substancial e análises mais precisas.

Na literatura técnico-científica, várias pesquisas foram conduzidas para caracterizar e determinar as propriedades físicas e hidráulicas de diferentes tipos de solo. Por exemplo, Guia (2018) investigou o comportamento da Areia de Coimbra, em Portugal, comparando-a com amostras de areia de referência de outros pesquisadores em locais diversos, como Leighton Buzzard, na Inglaterra; Toyoura, no Japão; Nevada, nos EUA; e Hostun, na França. No Brasil, estudos sobre o comportamento do solo refletem uma abordagem semelhante à observada em outros lugares do mundo. Isso é evidente nos trabalhos de Goldbach (2016), que caracterizou a areia da Praia de Copacabana; Nunes (2014), que investigou a areia da Praia de Itaipuaçu; Simões (2015), Costa (2020) e Soares (2021), os quais realizaram estudos de caracterização e comparação com amostras de areia da Praia de Ipanema, no estado do Rio de Janeiro.

O presente artigo visa apresentar métodos para determinar os parâmetros de obtenção da compacidade relativa de areias, considerando a região Praia do Futuro, em Fortaleza-CE, e comparar as diversas metodologias para a determinação dos índices de vazios mínimo e máximo, por meio dos métodos de Miura e Toki (1982), NBR 16840 (ABNT, 2020a) e NBR 16843 (ABNT, 2020b), visando avaliar a eficiência de cada abordagem.

2 ÁREA DE ESTUDO

Para este estudo, a Praia do Futuro foi escolhida como a área de pesquisa, situada no município de Fortaleza (Figura 1a), a capital do estado do Ceará (Figura 1c), localizada na região nordeste do Brasil (Figura 1b). A cidade é conhecida por suas 12 praias (SEMACE, 2022) e abriga aproximadamente 2,50 milhões de habitantes, ocupando uma área de cerca de 312,40 km².

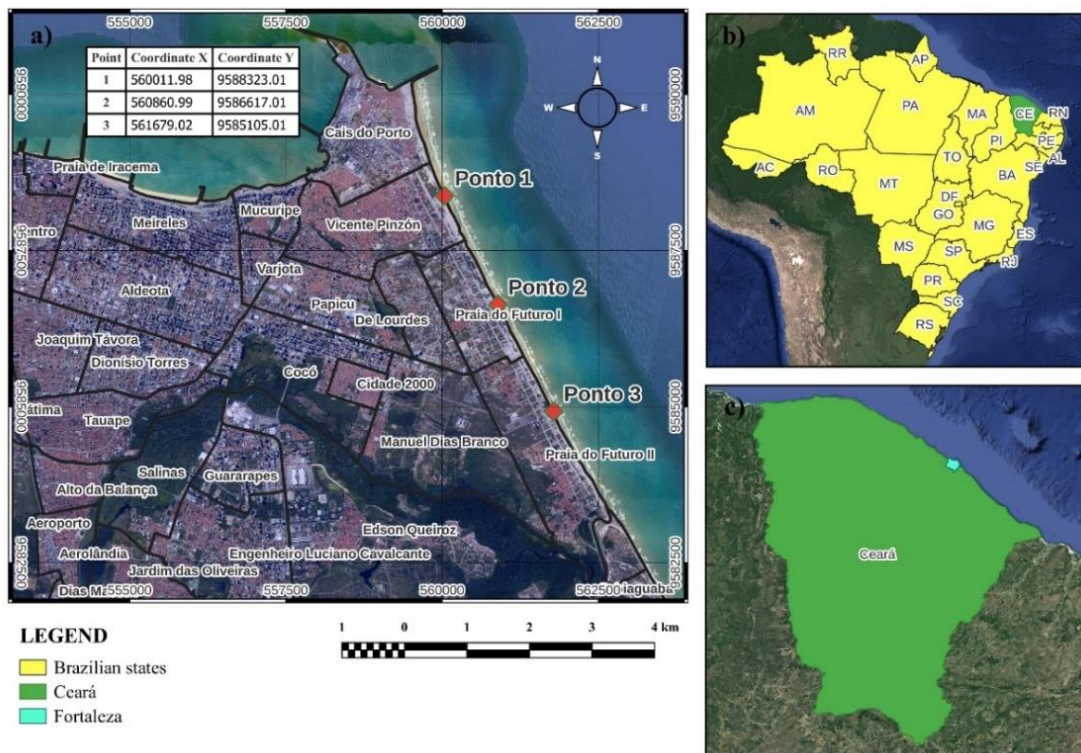


Figura 1. Localização dos pontos amostrais: (a) localização dos pontos em Fortaleza; (b) localização do Ceará no Brasil; (c) localização de Fortaleza no Ceará.

A praia selecionada estende-se por aproximadamente 8,00 km, localizada no lado leste da cidade de Fortaleza. Essa região, cujo solo comporta-se como um material de deposição natural devido à pouca presença de intervenções antropogênicas para aumentar a faixa de areia com materiais externos, como observado na Praia de Iracema. Essa praia atrai cerca de 660 mil visitantes anualmente, além disso, o rio Cocó, que atravessa a cidade, contribui com 80% da bacia hidrográfica local, canalizando afluentes de outros cursos d'água e desaguando suas águas na área costeira adjacente à Praia do Futuro (Albuquerque *et al.*, 2009).

3 METODOLOGIA

Considerando a vasta extensão da região de estudo, optou-se por dividir as coletas em três pontos equidistantes, alinhados com a extensão da praia selecionada. O primeiro ponto amostral foi escolhido em uma área com baixo fluxo turístico, enquanto os segundo e terceiro pontos foram selecionados próximos a duas barracas de praia com alto movimento de visitantes. A região em análise é caracterizada pela presença de estruturas costeiras, sistemas de drenagem urbana com descarga de efluentes domésticos e acúmulo de resíduos sólidos tanto nas proximidades da praia quanto em sua areia.

Para o estudo, foram coletadas 21 amostras, distribuídas em três pontos amostrais, sete em cada ponto. Para uma melhor organização das amostras coletadas, optou-se por nomeá-las conforme a sua proximidade em relação a pontos de referência estabelecidos na praia, a saber: Areninha Praia do Futuro, Barraca Órbita Blue e Barraca Chico do Carangueijo.

Em cada um dos três pontos de coleta, foram obtidas sete amostras, cada uma pesando aproximadamente 35,00 kg, seguindo os protocolos descritos por Thompson *et al.* (2004), Hidalgo-Ruz *et al.* (2012) e Besley *et al.* (2017). As amostras foram retiradas com um espaçamento de 10,00 m entre cada ponto de coleta, em uma área de 1,00 m², e a uma profundidade de 3,00 cm. Embora os autores não tenham observado diferenças significativas entre os locais de coleta (zona entre marés, linha de maré alta, supralitoral), o estudo conduzido por Besley *et al.* (2017) indicou uma preferência pela coleta na região da linha de maré alta. Portanto, esta pesquisa optou por coletar as amostras nessa área específica da praia.

Para a determinação do índice de vazios nesta pesquisa, realizou-se ensaios em laboratório para a obtenção das massas específicas aparente seca máxima e aparente seca mínima. Esses valores são necessários para calcular os índices de vazios mínimo e máximo, respectivamente.

A determinação do índice de vazios máximo ($e_{máx}$) seguiu as diretrizes da norma NBR 16840 (ABNT, 2020a). Para o ensaio, foram separados 2,50 kg do material coletado e levados à estufa, onde permaneceram por 24 horas. Em seguida, o material foi homogeneizado e submetido ao procedimento normatizado.

O molde empregado foi o cilindro de compactação Proctor Normal, com diâmetro de 10,00 cm e altura de 12,73 cm. O volume e a massa foram calibrados antes do início dos ensaios. O tubo de parede delgada, conforme especificado pela norma, foi preparado utilizando um tubo de PVC com diâmetro interno de 7,00 cm e volume aproximado de 1300,00 cm³.

O ensaio consiste em preencher uniformemente um tubo de parede fina com areia e removê-lo rapidamente na direção vertical. Em seguida, o excesso de material acima da borda superior do cilindro Proctor é removido, e sua superfície é nivelada. Posteriormente, todo o material que se acumulou nas bordas do molde é removido com um pincel. O molde, contendo o material em seu interior, é então pesado.

Para a determinação do índice de vazios mínimo ($e_{mín}$), conforme especificado pela norma NBR 16843 (ABNT, 2020b), é necessário seguir um procedimento que envolve o uso de uma mesa vibratória, um suporte para fixação de um cilindro Proctor adaptado com seu colarinho, e um segundo cilindro Proctor sobre o colarinho. Além disso, a norma estabelece a aplicação de uma sobrecarga de 13,80 kPa sobre a amostra.

Antes de iniciar o procedimento para a determinação do $e_{mín}$, a norma estabelece critérios para calibrar a mesa vibratória utilizada, visando determinar o tempo necessário de vibração para cada amostra de características semelhantes. Para a calibração, uma amostra de 2,50 kg foi preparada conforme descrito pela norma NBR 16843 (ABNT, 2020b): saturada com 500,00 cm³ de água para cada 2,00 kg, deixada em repouso por 30 minutos, inserida no molde em camadas finas, e compactada até observar a formação de uma película de água sobre o material. Em seguida, a amostra foi inserida no molde até que ultrapassasse o cilindro Proctor inferior em 1,00 a 2,00 cm. Uma sobrecarga de 13,80 kPa foi aplicada sobre a amostra e a mesa vibratória foi ligada. Valores de massa específica aparente seca foram determinados para tempos de vibração de 1 a 7 minutos. O tempo de 5 minutos foi determinado durante a calibração, quando não se observou mais variação na massa específica aparente seca, conforme apresentado na Figura 2.

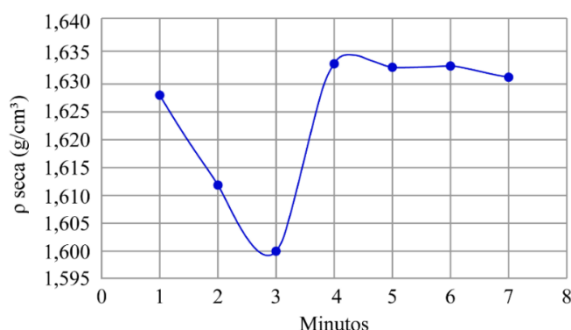


Figura 2. Curva de calibração da mesa vibratória obtida.

Após definir o tempo de vibração adequado, o procedimento para determinar a massa específica aparente seca máxima de cada amostra foi conduzido de forma semelhante ao descrito durante o processo de calibração.

Um segundo método foi utilizado para a determinação do índice de vazios mínimo, baseado na metodologia proposta por Miura e Toki (1982), denominada como *Multiple Sieving Pluviation* (MSP). A técnica envolve a pluviação da areia usando um sistema de peneiramento múltiplo, onde a areia é despejada de um funil sobre um conjunto de peneiras posicionadas acima do molde do corpo de prova. De acordo os autores, o valor do índice de vazios varia com a taxa de pluviação, controlada pelo diâmetro da abertura inferior do funil. Portanto, o operador deve realizar o procedimento com diferentes diâmetros de abertura do funil, ajustando a altura das peneiras em relação ao molde, para obter os valores desejados (Tabela 1).

Tabela 1. 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		
	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
D ₅₀ (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/D ₅₀	7,83	12,50	12,20	11,60	9,52	7,69	8,00
Abertura da peneira inferior (mm) (#pi)	3,66	12,50	9,25	8,00	4,75	4,75	4,75
#pi/D ₅₀	20,30	32,90	23,70	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

Procurou-se seguir as relações #ps/D₅₀ e #pi/D₅₀, bem como o sequenciamento de peneiras utilizado por Miura e Toki (1982). No entanto, observou-se que adaptações foram feitas por Simões (2015), Costa (2020) e Soares (2021), os quais concluíram que tais modificações não afetavam significativamente os resultados pretendidos. Assim, foi desenvolvido um projeto para a construção de um equipamento para pluviação com peneiramento múltiplo, a fim de obter a massa específica aparente seca máxima e o índice de vazios mínimo das amostras, conforme as informações fornecidas pelos respectivos autores (Figura 3).



Figura 3. Equipamento de pluviação com peneiramento múltiplo.

Os funis utilizados para controlar a vazão do material durante o ensaio foram montados conforme descrito por Miura e Toki (1982), Simões (2015), Costa (2020) e Soares (2021). Estes funis tinham diâmetros inferiores de 0,50 cm, 1,00 cm, 2,00 cm, 3,00 cm, 4,00 cm e 5,00 cm. A inclinação dos funis foi de 60°, com uma abertura superior de 22,50 mm.

O processo de pluviação seguiu as etapas a seguir: primeiramente, separou-se um volume correspondente a cinco vezes o volume do molde a ser utilizado, o qual foi previamente submetido à secagem em estufa até atingir a constância de massa. Posteriormente, o material foi disposto no funil e submetido à pluviação por meio das peneiras, com a remoção do excesso de material do molde e a subsequente pesagem em uma balança para determinar a massa específica aparente seca.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados desta pesquisa foram submetidos a análise estatística utilizando o *software* Jamovi (2022). Os dados referentes aos índices de vazios mínimo e máximo, conforme o método MSP, foram avaliados através do teste de Kruskal-Wallis, devido à ausência de normalidade na distribuição dos dados. Por outro lado, os dados relativos ao índice de vazios natural e à compactidade relativa, obtidos pelos métodos de NBR 16843 (ABNT, 2020b) e Miura e Toki (1982), foram analisados utilizando o teste de análise de variância (ANOVA), pois apresentaram uma distribuição normal. Os resultados medianos, conforme determinados pelo método proposto por Miura e Toki (1982), foram consistentes, registrando um valor de 0,58 para os três pontos considerados, conforme apresentado na Figura 4a.

O índice de vazios máximo foi avaliado em pontos específicos da seguinte maneira: 0,85 no Ponto 1, 0,88 no Ponto 2 e novamente 0,88 no Ponto 3 (Figura 4b). Em comparação, estudos anteriores revelam uma média de 0,73 para a areia da Praia de Ipanema, conforme registrado por Simões (2015), enquanto Costa (2020) obteve valores ligeiramente superiores, atingindo 0,75 para a mesma localidade. Por outro lado, em praias do Espírito Santo, Polido *et al.* (2020) identificaram índices médios variando de 0,87 a 0,96.

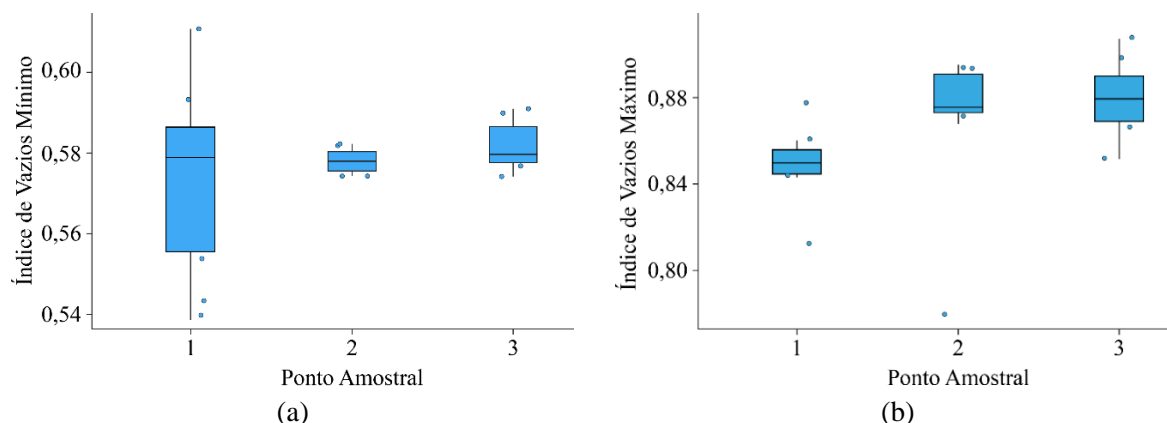


Figura 4. Índice de vazios mínimo e máximo:
(a) Método Miura e Toki (1982); (b) Método NBR 16840 (ABNT, 2020a).

Apesar de compartilhar características mineralógicas e granulométricas semelhantes à areia do deserto de Nafud, na Arábia Saudita, conforme destacado por Almajed *et al.* (2020), a areia da Praia do Futuro apresentou um índice de vazios máximo observado entre 0,85 e 0,88. Em contrapartida, a areia do deserto de Nafud revelou vazios máximos de 0,66.

Os resultados médios obtidos para o índice de vazios natural foram os seguintes: Ponto 1 = 0,76; Ponto 2 = 0,78; e Ponto 3 = 0,82. Esses valores são consistentes com encontrados na literatura. Por exemplo, Román-Sierra, Muñoz-Perez e Navarro-Pons (2014) identificaram valores variando entre 0,34 e 0,77 para areias em seu estado natural. Da mesma forma, Polido *et al.* (2020) encontraram índices entre 0,62 e 0,72 ao analisar seis regiões diferentes. Essa semelhança com pesquisas prévias ressalta a confiabilidade dos resultados obtidos.

Com base na Figura 5, não houve diferença significativa no estado natural da areia entre os três pontos de amostragem. Assim, pode-se inferir que não houve diferença significativa na compactação da areia nos três pontos amostrais ao utilizar o equipamento de pluviação.

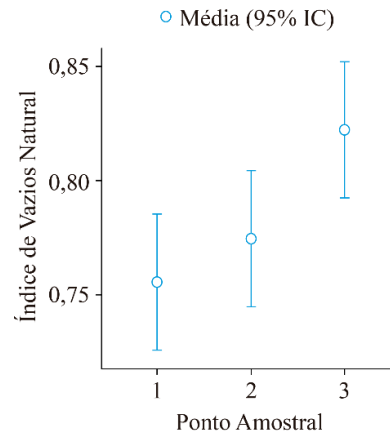


Figura 5. Índice de vazios natural.

A Figura 6a apresenta os valores de compactação relativa obtidos utilizando o equipamento de pluviação descrito por Miura e Toki (1982). Para o Ponto 1, foi observado um valor de 33%; para o Ponto 2, 31%; e para o Ponto 3, 20%. Os dados indicam que não houve diferença significativa na compactação relativa utilizando o método de Miura e Toki (1982) entre os três pontos amostrais. Segundo Das (2019), a classificação do estado de compactação das areias foi determinada como estado fofo.

Na Figura 6b são apresentados os resultados de compactação relativa conforme os procedimentos definidos pela norma NBR 16843 (ABNT, 2020b). No Ponto 1, foi registrado um valor de 44%; no Ponto 2, 50%; e no Ponto 3, 29%. Apesar da variação nos resultados, a análise do gráfico sugere que não há diferença significativa entre os três pontos. Notavelmente, a classificação do estado de compactação foi consistente com a determinada pelo método de Miura e Toki (1982), indicando um estado de compactação fofo.

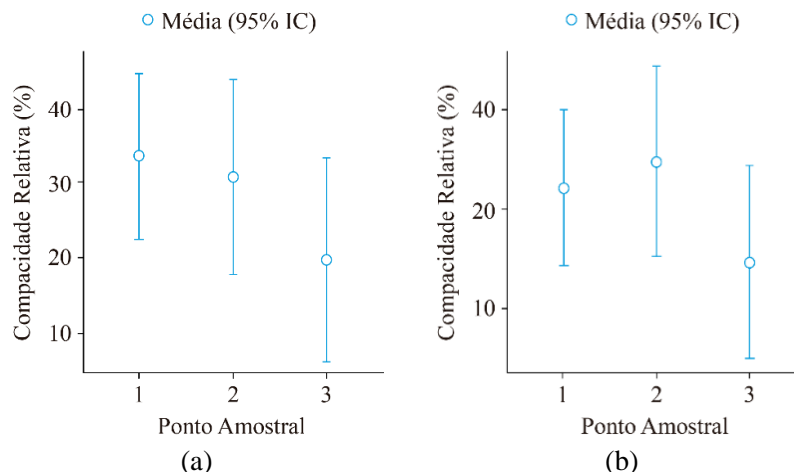


Figura 6. Compactação relativa: (a) Método Miura e Toki (1982); (b) Método NBR 16843 (ABNT, 2020b).

Dado que o método descrito por Miura e Toki (1982) não é normatizado no Brasil, optou-se por compará-lo com os resultados obtidos utilizando o método da norma NBR 16843 (ABNT, 2020b). Nos testes estabelecidos pela norma, foram registrados os seguintes valores: Ponto 1 = 0,64; Ponto 2 = 0,69; e Ponto 3 = 0,68. Entretanto, utilizando o método de Miura e Toki (1982), os valores obtidos foram de 0,58 nos três pontos.

Embora seja esperado que métodos distintos resultem em divergências nos resultados, é notável que o método de Miura e Toki (1982) tenha produzido valores de índice de vazios inferiores em comparação com o método normatizado (Figura 7), o que corrobora as observações feitas por Costa (2020).

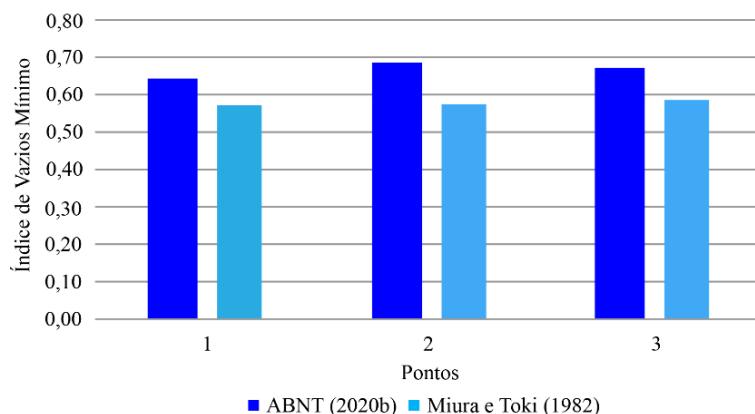


Figura 7. Índice de vazios mínimo.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos por meio da metodologia proposta por Miura e Toki (1982) apresentaram valores mais homogêneos do que os determinados pelo método NBR 16843 (ABNT, 2020b), fato que confere maior acurácia em relação a realidade. Além disso, foi possível constatar que os valores de índice de vazios mínimo obtidos por Miura e Toki (1982) são inferiores ao obtido pelo método NBR 16843 (ABNT, 2020b). O método de Miura e Toki (1982) apresenta-se como mais viável para a determinação do índice de vazios mínimo ao se considerar custo, operação, reprodutibilidade e repetibilidade.

Durante as análises comparativas das areias em cada ponto de amostragem, foram identificadas diferenças quantitativas significativas nos valores de índice de vazios máximo NBR 16843 (ABNT, 2020b) e índice de vazios natural ao se comparar os três pontos amostrais, conforme indicado pelos testes estatísticos aplicados. Quanto à compactação relativa da areia em sua condição natural nos três pontos de coleta, não foram identificadas diferenças significativas, todas as três areias foram classificadas como fofa.

No entanto, estudos conduzidos por Camelo (2023) destacaram variações nas características granulométricas e de densidade da areia da Praia do Futuro entre os pontos de amostragem. Isso sugere a existência de um padrão de deposição de sedimentos no qual o estado de compactação resultante é fofo para a areia da Praia do Futuro, independentemente das suas características granulométricas e de densidade.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi conduzida com a participação do Grupo de Pesquisa em Geotecnia e Infraestrutura de Transportes (GPGE) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, *Campus Fortaleza*. Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelos recursos disponibilizados para bolsas de iniciação científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020a). NBR 16840. *Solo - Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020b). NBR 16843. *Solo - Determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos*. Rio de Janeiro.

- Albuquerque, M. *et al.* (2009) *Morfodinâmica da praia do Futuro, Fortaleza-CE: uma síntese de dois anos de estudo*. Quaternary and Environmental Geosciences, v. 1, n. 2, abr.
- Almajed, A. *et al.* (2020) Mitigating wind erosion of sand using biopolymer-assisted EICP technique. *Soils and Foundations*, v. 60, p. 356-371.
- Besley, A *et al.* (2017) *A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand*. Marine Pollution Bulletin. v. 114, p. 77-83, set.
- Camelo, P.R.M. (2023) *Avaliação da ocorrência de microplásticos e dados geotécnicos da areia da Praia do Futuro em Fortaleza, Ceará, Brasil*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental) - Departamento de Construção Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, CE, 156 f.
- Costa, R.C. (2020) *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.
- Das, B.M., Sobhan, K. (2019) *Fundamentos de engenharia geotécnica*. 8. ed. São Paulo, Cengage Learning.
- Goldbach, R. (2016) *Caracterização geotécnica da areia da Praia de Copacabana a partir de ensaios de campo*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 208 f.
- Guia, J.E.L.G.H. (2018) *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.* (2012) Microplastics in the marine environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*. v. 46, p. 3060-3075, fev.
- The Jamovi Project. (2022) *Jamovi*. (versão 2.3) [Computer Software]. Disponível em: <<https://www.jamovi.org>>.
- Miura, S., Toki, S. (1982) 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.
- Nunes, V. P. (2014) *Ensaio de caracterização geotécnica da areia da Praia de Itaipuaçu*. 148 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- Polido, U.F. *et al.* (2020) *Areias litorâneas da grande Vitória–ES*. Trabalho apresentado ao XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Campinas, SP.
- Román-Sierra, J., Muñoz-Perez, J. J., Navarro-Pons, M. (2014) Beach nourishment effects on sand porosity variability. *Coastal Engineering*, v. 83, p. 221-232.
- Superintendência Estadual do Meio Ambiente. (2022) *Resultados do Plano Plurianual - PPA*. Fortaleza, CE: Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Ceará, 2022. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/wpcontent/uploads/sites/46/2022/04/RESULTADOS_PPA.pdf>. Acesso em: 17 de setembro de 2023.
- Simões, F.B. (2015) *Caracterização geotécnica da areia da praia de Ipanema*. 124 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- Soares, B.R. (2021) *Ensaio de Permeabilidade de Laboratório na Areia da Praia de Ipanema e em uma Amostra de Microesferas de Vidro*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 211 f..
- Thompson, R.C. *et al.* (2004) Lost at sea: where is all the plastic?. *Science*, New York, v. 304, p. 838, maio.