

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Ensaio de Caracterização na Areia da Praia de Ipanema/RJ

Rômulo Carvalho Costa

Mestrando, PUC-Rio, Brasil, romulocosta3@gmail.com

Felipe Bogossian Simões

Engenheiro civil, pesquisador, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, felipebogossian@poli.ufrj.br

Gustavo Santos Domingos

Engenheiro civil, pesquisador, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, gustavodom@coc.ufrj.br

Vitor Nascimento Aguiar

Professor, PUC-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, vitornaguair@hotmail.com

Ian Schumann Marques Martins

Professor, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, ian@coc.ufrj.br

RESUMO: Como parte de um programa de pesquisa que visa determinar propriedades geotécnicas de areias do litoral do Estado do Rio de Janeiro, este trabalho apresenta os resultados de três campanhas de ensaios de caracterização geotécnica realizada em duas amostras da Areia da Praia de Ipanema retiradas do mesmo local, porém com uma defasagem de 5 anos. As campanhas foram realizadas nos laboratórios de geotecnia da COPPE-UFRJ e da PUC-Rio e incluíram ensaios de caracterização completa e de determinação de índices de vazios mínimo ($e_{\min}$) e máximo ($e_{\max}$) por diferentes métodos. O $e_{\min}$ foi avaliado pelo método de pluviação sobre peneiras (Miura & Toki, 1982) e por adaptações de métodos descritos por Lunne *et al.* (2019). O $e_{\max}$ foi avaliado pelos métodos da ASTM (2016b) e pelo método da queda livre (Simões, 2015). A Areia da Praia de Ipanema foi caracterizada como fina e média, mal graduada e uniforme, constituída por grãos subangulares a arredondados, com $e_{\min} = 0,435$ e $e_{\max} = 0,760$. Observou-se uma boa repetibilidade dos resultados obtidos em cada campanha, além da comparação dos resultados das três campanhas ter revelado que os métodos aplicados para determinação de $e_{\min}$ e $e_{\max}$ possuem, em geral, reprodutibilidade bastante satisfatória.

PALAVRAS-CHAVE: Areia, Caracterização geotécnica, Índice de vazios máximo, Índice de vazios mínimo, Compacidade relativa.

ABSTRACT: As part of a research program that aims to determine geotechnical properties of sands from the coast of the State of Rio de Janeiro, this paper presents the results of three campaigns of geotechnical characterization tests carried out on two samples of Ipanema Beach Sand taken from the same location, 5 years apart. The campaigns were carried out in the geotechnical laboratories of COPPE-UFRJ and PUC-Rio and included tests for complete characterization and determination of minimum and maximum void ratios by different methods. The minimum void ratios were evaluated by the multiple sieving pluviation method (Miura & Toki, 1982) and by adaptations of methods described by Lunne *et al.* (2019). The maximum void ratios were assessed using the ASTM (2016b) and the free fall method (Simões, 2015). Ipanema Beach Sand was characterized as fine and medium, poorly graded and uniform, consisting of subangular to rounded grains, with $e_{\min} = 0.435$ and $e_{\max} = 0.760$. A good repeatability of the results obtained in each campaign was observed. The comparison of the results of the three campaigns revealed that the methods applied to determine $e_{\min}$ and $e_{\max}$ have, in general, very satisfactory reproducibility.

KEYWORDS: Sand, Geotechnical characterization, Maximum void ratio, Minimum void ratio, Relative Density.

1 Introdução

Em 2014, foi iniciado um programa de pesquisa na Universidade Federal do Rio de Janeiro com o objetivo de estudar as propriedades geotécnicas de areias do litoral do Estado do Rio de Janeiro. O programa



visa suprir, ao menos em parte, a carência de dados de propriedades geotécnicas de areias do Brasil, ao contrário do que se vê na literatura para outros locais (ver, por exemplo, Lee & Seed, 1967; Mayne & Kulhawy, 1991). Ressalta-se ainda que bancos de dados de parâmetros geotécnicos de solos são de grande valia nas etapas iniciais de projetos de engenharia. A Areia da Praia de Ipanema (API), na cidade do Rio de Janeiro, é relevante neste contexto por estar inserida numa região de alta densidade populacional, com muitas obras civis e de infraestrutura urbana, a exemplo da recente expansão do metrô.

Este artigo tem como objetivo apresentar os resultados de três campanhas de ensaios de caracterização geotécnica (Simões, 2015; Domingos, 2017; Costa, 2020) realizadas em duas amostras da API, incluindo ensaios de determinação de índices de vazios mínimo e máximo. Esses índices de vazios extremos são utilizados no cálculo da compacidade relativa (D_r), parâmetro de estado de referência para a avaliação do comportamento mecânico das areias. Os índices de vazios mínimo e máximo não costumam ser de fácil determinação, tendo em vista a variabilidade dos resultados obtidos por diferentes métodos (Lunne *et al.*, 2019). Por esta razão, neste trabalho, faz-se também uma avaliação dos índices de vazios mínimo e máximo da API aplicando diferentes métodos.

2 Ensaios, Métodos e Procedimentos

2.1 Amostragem

A primeira amostra da API foi coletada em 2014 (API-2014) para as campanhas de Simões (2015) e Domingos (2017), realizadas no Laboratório de Geotecnia da COPPE-UFRJ. A segunda amostra da API foi coletada em 2019 (API-2019) para a campanha de Costa (2020), realizada no Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente da PUC-Rio. Ambas as amostras foram coletadas na praia a uma distância de 50 m do calçadão da Avenida Vieira Souto, em frente ao edifício nº 272, na superfície (profundidade até 30 cm).

2.2 Índices de Vazios Mínimo

2.2.1 Pluviação sobre Peneiras (Miura & Toki, 1982)

O método de Miura & Toki (1982), aplicável para solos arenosos e uniformes na condição seca, utiliza um funil como reservatório e controle da vazão de pluviação da areia, que atravessa uma sequência de peneiras e cai dentro de um molde cilíndrico (Figura 1). O método permite a obtenção da curva “índice de vazios *versus* abertura do funil”. Nas três campanhas da API foram utilizados funis com aberturas de diâmetros entre 5 mm e 100 mm. O método também permite a determinação de índices de vazios intermediários entre o $e_{máx}$ e o $e_{mín}$. A Tabela 1 apresenta informações como a quantidade de peneiras, as aberturas das peneiras superior (a.p.s), inferior (a.p.i.) e das demais peneiras, e os volumes dos moldes cilíndricos utilizados por Miura & Toki (1982) e nas três campanhas da API. Domingos (2017) e Costa (2020) aplicaram o método em dois moldes de volumes diferentes. Detalhes do procedimento podem ser vistos nos trabalhos de Miura & Toki (1982), Simões (2015) e Costa (2020).

Tabela 1. Método de pluviação sobre peneiras (Miura & Toki, 1982) e as campanhas na API.

Características	Areia de Toyoura,		Areia da Praia de Ipanema	
	Miura & Toki (1982)	Simões (2015)	Domingos (2017)	Costa (2020)
D_{50} (mm)	0,18	0,38	0,35	0,38
a.p.s. (mm)	1,41	4,75	2,36	4,75
relação a.p.s./ D_{50}	7,83	12,5	6,74	12,5
a.p.i. (mm)	3,66	12,5	12,5	9,50
relação a.p.i./ D_{50}	20,3	32,9	35,7	25,0
Quantidade de peneiras	7	6	7	6
Peneiras (abertura em mm)	1,41; 3,66(6×)	4,75; 9,50(2×); 12,5(3×)	2,36; 4,75(2×); 9,50(2×); 12,5(2×)	4,75; 7,94(2×); 9,50(3×)
Volume do molde (cm ³)	236	1.000	1.000 e 207	1.000 e 125

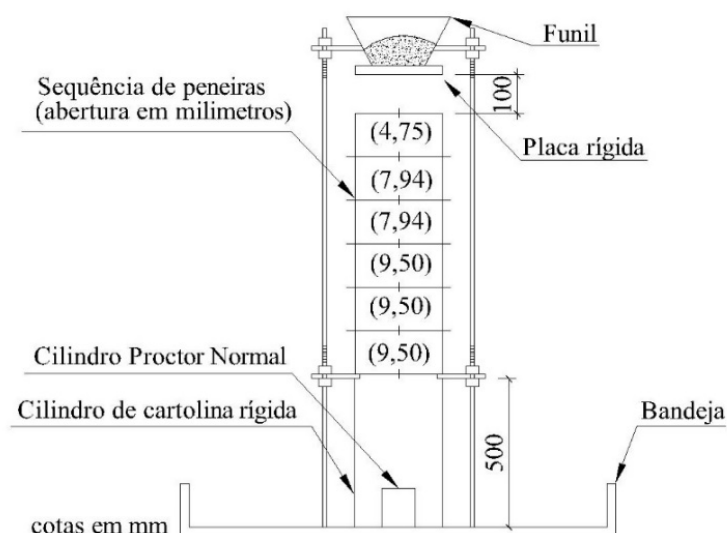


Figura 1. Esquema do método de pluviação sobre peneiras conforme Costa (2020).

2.2.2 Métodos que Utilizam o Agitador de Peneiras (MAP)

Inspirado em métodos que utilizam vibração (Métodos 1A e 2A da norma ASTM (2016a); Geolabs *in-house* e NGI *in-house* (apud Lunne *et al.*, 2019), foram realizadas algumas tentativas de obtenção de índice de vazios ainda menores que os determinados pelo método de pluviação sobre peneiras, todas com a areia seca.

Domingos (2017) aplicou o procedimento do método A da norma ASTM (2016b) para a deposição da areia no cilindro Proctor Normal (1.000 cm³) em cinco camadas de espessuras aproximadamente iguais. Após a deposição de cada camada, aplicavam-se leves batidas na lateral do molde com um pequeno martelo de aço para a acomodação dos grãos. Após a deposição da última camada, o conjunto (molde + colarinho + areia + carga vertical de 13,8 kPa (ASTM, 2016a)) era vibrado no agitador de peneiras por 8 a 10 min. Após o arrasamento da areia no topo do molde (sem colarinho), determinava-se o índice de vazios. Este método é aqui chamado de MAP A.

Costa (2020) executou procedimento semelhante, porém depositando camadas menos espessas (≈ 15 mm), sendo que, após a deposição de cada camada, o conjunto era vibrado por 30 s sob uma carga vertical de 4,2 kPa. Este método é aqui chamado de MAP B. Na tentativa de diminuir ainda mais os índices de vazios obtidos pelo método de pluviação sobre peneiras utilizando os funis de aberturas de 5 mm e 10 mm, após a pluviação, Costa (2020) vibrava o conjunto no agitador de peneiras por 10 min sob uma carga vertical de 12,5 kPa. Este método é aqui chamado de MAP C.

2.3 Índices de Vazios Máximo

2.3.1 Métodos da ASTM (2016b)

A ASTM (2016b) apresenta três métodos para determinação do índice de vazios máximo ($e_{\text{máx}}$). No **método A**, a areia seca é depositada no molde a uma pequena altura de queda (13 mm), utilizando uma colher ou funil, em movimentos espirais do bordo para o centro do molde. No **método B**, a areia seca é colocada dentro de um tubo centralizado no molde ($\phi_{\text{tubo}} = 0,7 \phi_{\text{molde}}$; $V_{\text{tubo}} = 1,25$ a $1,30 V_{\text{molde}}$), o qual é levantado rapidamente fazendo a areia preencher inteiramente o molde. Para ambos os métodos, após o preenchimento do molde, é feito o arrasamento e a pesagem do material. No **método C**, 1.000 gf de areia seca é colocada numa proveta de 2.000 cm³ e, com um anteparo sobre a sua abertura, faz-se um movimento de inversão (giro) entre o topo e a base, posicionando-a novamente com a abertura para cima, determinando o volume ocupado pela areia. A norma indica um molde cilíndrico de 2.830 cm³ para os Métodos A e B. Todavia, nas campanhas da API, foram utilizados moldes cilíndricos de 1.000 cm³ (Proctor Normal) e de 3.235 cm³. Para o método C, além da proveta de 2.000 cm³, foi utilizada uma proveta de 1.000 cm³.



2.3.2 Método da Queda Livre (Simões, 2015)

Para a avaliação do índice de vazios máximo, Simões (2015) propôs um procedimento inspirado em um dos métodos de Kolbuszewski (1948). O procedimento consiste na queda livre da areia, pré-acondicionada num funil, a partir de uma determinada altura de queda (H), sobre o cilindro Proctor Normal (Figura 2). Simões (2015) utilizou dois funis, um com abertura de diâmetro de 80 mm e outro de 100 mm. Com a finalidade de avaliar a influência do diâmetro da abertura do funil em relação ao diâmetro do molde, Domingos (2017) e Costa (2020) analisaram, cada um, três diferentes diâmetros de abertura de funil, 10 mm, 50 mm e 90 mm, e 80 mm, 90 mm e 100 mm, respectivamente.

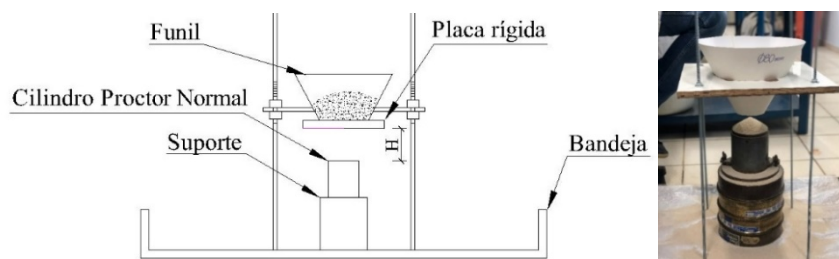


Figura 2. Esquema do método de queda livre proposto por Simões (2015).

3 Análise dos Resultados

3.1 Ensaios de Caracterização

As curvas granulométricas por peneiramento (ABNT, 2018), obtidas nas três campanhas de ensaios na API, são apresentadas na Figura 3.

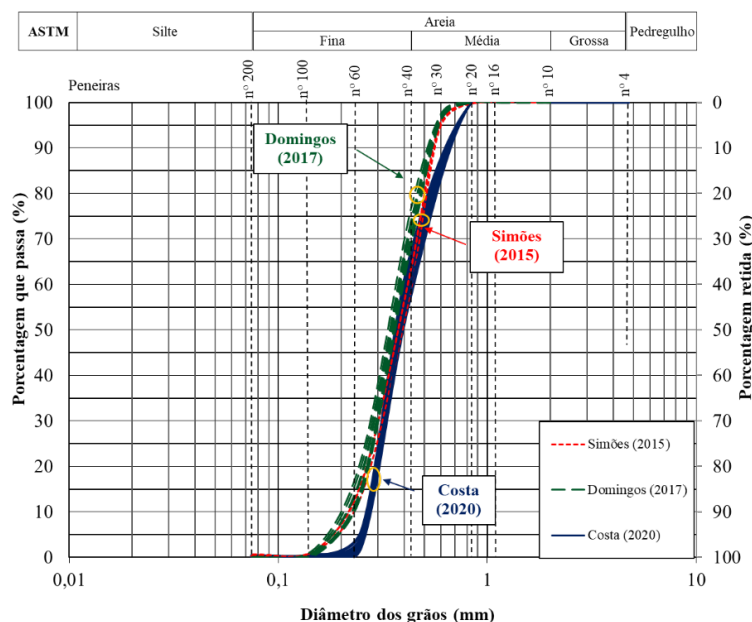


Figura 3. Curvas granulométricas da API obtidas por Simões (2015), Domingos (2017) e Costa (2020).

Observa-se que o conjunto de 20 curvas granulométricas obtido por Costa (2020) aproxima-se do conjunto de três curvas obtido por Simões (2015) e do conjunto de dez curvas obtido por Domingos (2017), na parte central, divergindo nas extremidades superior e inferior, onde as curvas destes últimos apresentam granulometria ligeiramente mais fina. Essa pequena diferença pode estar associada ao intervalo de tempo entre as duas amostragens (API-2014 - Simões (2015) e Domingos (2017); API-2019 - Costa (2020)). Nesse período, de cerca de 5 anos, a granulometria do material pode ter sido alterada em ciclos de erosão e deposição de sedimentos, por ondas do mar, ventos e ação antrópica (Shepard, 1973). Os valores médios de diâmetros



característicos, coeficiente de não uniformidade (C_{nu}) e coeficiente de curvatura (C_c) obtidos das três campanhas estão resumidos na Tabela 2. De acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) (ASTM, 2017), a API é classificada como areia mal graduada (*Poorly Graded Sand* - SP), com 60% de areia fina e 40% de areia média. Segundo a ABNT (1995), a API é classificada como uniforme.

A densidade relativa dos grãos (G_s) foi determinada pelo método do picnômetro (ABNT, 1984), com volume nominal de 500 cm³. Os resultados apresentados na Tabela 2 são as médias de três determinações, exceto para Simões (2015) em que foram feitas duas determinações. Os resultados mostram uma excelente reprodutibilidade, que, se aproximado para três algarismos significativos, converge para o mesmo valor de 2,66. Os valores obtidos se aproximam da densidade relativa do mineral quartzo, igual a 2,65 (Lambe & Whitman, 1969, p. 30), corroborando os resultados da análise visual por microscopia ótica (Figura 4).

Tabela 2. Valores médios dos parâmetros de granulometria e G_s para a API.

Parâmetro	Simões (2015)	Domingos (2017)	Costa (2020)
$D_{10} = D_{efc}$ (mm)	0,22	0,20	0,27
D_{30} (mm)	0,30	0,29	0,32
D_{50} (mm)	0,38	0,35	0,38
D_{60} (mm)	0,42	0,39	0,42
C_{nu}	1,91	1,95	1,56
C_c	0,97	1,08	0,90
G_s	2,659	2,661	2,656

Por microscopia ótica constatou-se que as amostras da API eram predominantemente compostas por grãos de quartzo, com alguns fragmentos de concha. Notou-se ainda a presença de grãos de biotita e feldspato (Figura 4). Com base no gabarito de Pettijohn (1949) *apud* Lambe & Whitman (1969, p. 45), as amostras da API possuíam grãos subangulares a arredondados. De acordo com o gabarito de Krumbein & Sloss (1963) (*apud* Cho *et al.*, 2006), as amostras possuíam esfericidade (S) 0,7, arredondamento (R) 0,5, e regularidade (ρ) 0,6, corroborando a classificação pelo gabarito de Pettijohn (1949).

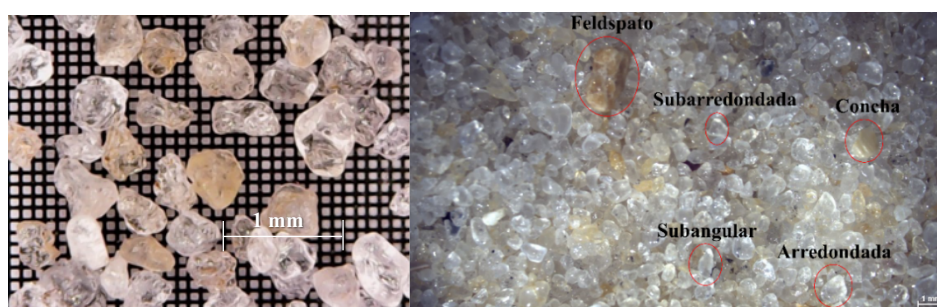


Figura 4. Forma e composição mineralógica dos grãos da API.

3.2 Índices de Vazios Mínimo e Intermediários

3.2.1 Pluviação sobre Peneiras (Miura & Toki, 1982)

Para o método de pluviação sobre peneiras foram realizadas dez determinações de índice de vazios para cada diâmetro (ϕ) de abertura de funil de 5 mm a 100 mm, com exceção do funil de 5 mm, que foi executado apenas duas vezes por Simões (2015). A Figura 5 mostra as curvas “índice de vazios *versus* diâmetro da abertura do funil” das três campanhas de ensaios. Cada curva passa pelo valor médio de índice de vazios obtido para cada abertura de funil. Os pontos acima e abaixo de cada curva representam os máximos e mínimos valores das determinações para cada funil.

Da Figura 5, observa-se que, quanto menor o diâmetro (ϕ) da abertura do funil, ou seja, menor vazão de pluviação, menor é o índice de vazios obtido. A menor vazão de pluviação permite uma melhor acomodação dos grãos, resultando em um arranjo de grãos mais compacto. Entretanto, essa tendência não é observada para $\phi \geq 80$ mm.



Em todas as campanhas e para todos os moldes, observou-se uma menor dispersão, isto é, uma maior repetibilidade das determinações, quanto menor o diâmetro da abertura do funil. Da mesma forma, para o cilindro Proctor Normal, as três campanhas forneceram resultados tão mais próximos, isto é, maior reprodutibilidade, quanto menor o diâmetro da abertura funil.

A curva obtida com o molde de PVC (125 cm³) ficou abaixo de todas as demais curvas. Por outro lado, a curva do molde de polipropileno (PP) (207 cm³) ficou um pouco abaixo das curvas obtidas com o cilindro Proctor Normal para $\phi \leq 30$ mm, situando-se no intervalo de dispersão das curvas com o cilindro Proctor Normal para $\phi \geq 40$ mm. Não obstante, essas comparações mostram que há influência das dimensões do molde nos resultados e, suspeita-se ainda, que possa haver influência do material do molde nos resultados. A Tabela 3 apresenta os resultados de índice de vazios mínimo ($e_{\min}$), valor médio e os valores extremos dentre as determinações, obtidos por cada campanha e molde cilíndrico utilizado. O menor valor de $e_{\min}$ é igual a 0,435, obtido com o funil $\phi = 10$ mm utilizando como molde o cilindro de PVC (125 cm³).

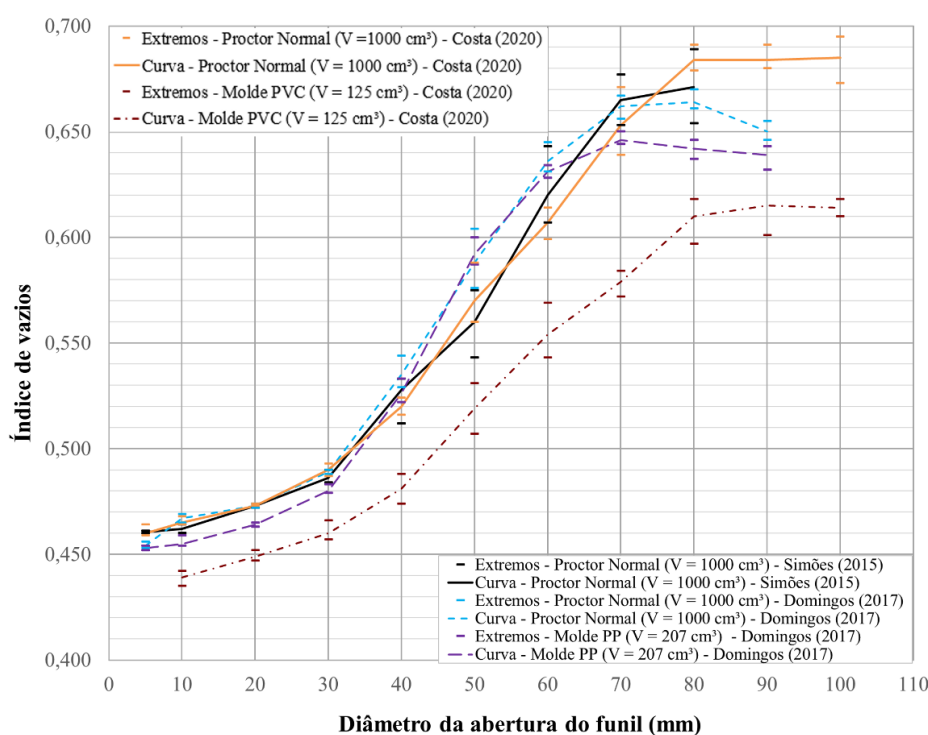


Figura 5. Curvas “ e versus ϕ_{funil} ” obtidas do método de pluviação sobre peneiras na API.

Tabela 3. Valores de índices de vazios mínimo ($e_{\min}$) segundo o método de pluviação sobre peneiras.

Molde / Volume	ϕ funil	Simões (2015)	Domingos (2017)	Costa (2020)
		Valor médio (valor mín. / valor máx.)		
Cilindro Proctor Normal / 1.000 cm ³	5 mm	0,461	0,454	0,460
		(0,460 / 0,461)	(0,453 / 0,456)	(0,459 / 0,464)
Molde cilíndrico de PP / 207 cm ³	10 mm	-	0,453	-
		-	(0,452 / 0,454)	-
Molde cilíndrico de PVC / 125 cm ³	10 mm	-	-	0,439
		-	-	(0,435 / 0,442)

3.2.2 Métodos que Utilizaram Vibração no Agitador de Peneiras (MAP)

Os resultados obtidos (para dez determinações) pelos métodos que utilizaram vibração no agitador de peneiras (MAP), com o cilindro Proctor Normal (1.000 cm³) como molde, estão apresentados na Tabela 4. Observa-se que o MAP C propiciou uma sutil redução nos valores de índice de vazios obtidos pelo método de pluviação sobre peneiras. Todavia, o MAP A e o MAP B forneceram valores de índice de vazios bem superiores.



Tabela 4. Índices de vazios mínimo ($e_{\min}$) obtidos pelos métodos MAP A, B e C.

Método	Domingos (2017)	Costa (2020)
	Valor médio (valor mín. / valor máx.)	
MAP A	0,534 (0,520 / 0,544)	-
MAP B	-	0,507 (0,498 / 0,513)
MAP C	-	ϕ funil
		5 mm
		10 mm
		Valor médio (valor mín. / valor máx.)
		0,456 (0,454 / 0,460)
		0,459 (0,457 / 0,463)

3.3 Índice de Vazios Máximo

Os valores do índice de vazios máximo obtidos de acordo com a campanha e o método executado (dez determinações cada) estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores de índices de vazios máximo ($e_{\max}$).

Método / Molde (ou Proveta)	Simões (2015)	Domingos (2017)	Costa (2020)
	Valor médio (valor mín. / valor máx.)		
Método A / Proctor Normal	-	0,687 (0,678 / 0,700)	0,662 (0,639 / 0,684)
Método A / Molde 3.235 cm ³	-	-	0,657 (0,639 / 0,670)
Método B / Proctor Normal	-	0,730 (0,726 / 0,738)	0,751 (0,745 / 0,760)
Método C / Proveta 2.000 cm ³	0,724 (-)	0,685 (0,650 / 0,704)	0,746 (0,727 / 0,754)
Método C / Proveta 1.000 cm ³	-	0,691 (0,677 / 0,704)	0,720 (0,701 / 0,741)
Método Queda Livre	ϕ funil	Valor médio (valor mín. / valor máx.)	
	10 mm	-	0,733 (0,731 / 0,735)
	50 mm	-	0,721 (0,717 / 0,724)
	80 mm	0,727 (0,720 / 0,733)	-
	90 mm	-	0,733 (0,728 / 0,736)
	100 mm	0,707 (0,701 / 0,710)	0,726 (0,721 / 0,732)
		0,698 (0,694 / 0,702)	0,713 (0,708 / 0,719)

O maior valor de $e_{\max}$ é igual a 0,760, obtido pelo método B da ASTM (2016b), utilizando como molde o cilindro Proctor Normal (1.000 cm³). Ressalta-se que, em todas as campanhas, este método juntamente com o método de queda livre (Simões, 2015) foram os que forneceram maiores valores de $e_{\max}$ e menores dispersões. Ao comparar os resultados entre as campanhas, constata-se também que esses dois métodos possuem boa reprodutibilidade. Para o método de queda livre, observa-se que quanto menor o diâmetro do funil, maior o índice de vazios obtido. O método C da ASTM (2016b) não se mostrou confiável devido à dificuldade de leitura na proveta em função da superfície do solo ficar irregular após o movimento de giro da proveta de ponta cabeça e retorno à posição inicial. Isto deve ser a causa da maior dispersão e da menor reprodutibilidade em relação ao método B e ao método de queda livre. Embora tenha apresentado uma boa reprodutibilidade, o método A da ASTM (2016b) foi o que forneceu os menores valores de $e_{\max}$.

4 Conclusões

Com base na análise conjunta dos resultados dos ensaios realizados nas três campanhas, a Areia da Praia de Ipanema (API) foi caracterizada como uma areia fina e média (ASTM, 2017), mal graduada (ASTM, 2017) e uniforme (ABNT, 1995), de grãos subangulares a arredondados, cuja densidade relativa (G_s) é igual a 2,66. O índice de vazios mínimo ($e_{\min}$), igual a 0,435, foi obtido pelo método de pluviação sobre peneiras (Miura & Toki, 1982) para o funil com abertura de diâmetro de 10 mm, utilizando como molde um cilindro de PVC com volume de 125 cm³. O índice de vazios máximo, igual a 0,760, foi obtido pelo método B da ASTM (2016b), utilizando como molde o cilindro Proctor Normal (1.000 cm³). Em geral, os resultados das três campanhas (Simões, 2015; Domingos, 2017; Costa, 2020) apresentaram boa repetibilidade e boa reprodutibilidade.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos técnicos dos laboratórios de geotecnia da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) o apoio na execução dos ensaios. As campanhas de ensaios executadas por Domingos (2017) e Costa (2020) contaram com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Testing and Materials. (2017). ASTM D-2487. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. West Conshohocken, PA.
- American Society for Testing and Materials. (2016a). ASTM D-4253. *Standard test methods for maximum index density and unit weight of soils using a vibratory table*. West Conshohocken, PA.
- American Society for Testing and Materials. (2016b). ASTM D-4254. *Standard test methods for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density*. West Conshohocken, PA.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995). NBR 6502. *Rochas e Solos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). NBR 6508. *Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 7181. *Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- CHO, G.; DODDS, J.; SANTAMARINA, J. C. (2006). Particle shape effects on packing density, stiffness, and strength: Natural and crushed sands. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132 (5), p.591-602.
- COSTA, R. C. (2020). *Ensaio de Caracterização e de Permeabilidade na Areia da Praia de Ipanema, RJ*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Geotecnia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro / PUC-Rio, 258 p.
- DOMINGOS, G. S. (2017). *Estudo comparativo de metodologias para determinação dos índices de vazios máximo e mínimo da Areia da Praia de Ipanema e de microesferas de vidro*. Relatório interno não publicado das pesquisas para tese de D.Sc. (em andamento). COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- KOLBUSZEWSKI, J. J. (1948). An experimental study of maximum and minimum porosities of sands, In: *Proceedings of the second international conference on soil mechanics and foundation engineering*, v. 1, p.158-165.
- KRUMBEIN, W. C., SLOSS, L. L. (1963). *Stratigraphy and sedimentation*, 2nd., Freeman and Company, San Francisco.
- LAMBE, T. W. e WHITMAN, R. V. (1969). *Soil mechanics*, John Wiley and Sons, Inc., New York. 548 p.
- LEE, K. L., SEED, H. B. (1967). Drained strength characteristics of sands. *Journal of The Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, v. 93, SM6, p.117-141.
- LUNNE, T., KNUDSEN S., BLAKER Ø., VESTGARDEN T., POWELL J. J. M., WALLACE C. F., KROGH L., THOMSEN N. V., YETGINER G., GHANEKAR R. K. (2019). Methods used to determine maximum and minimum dry unit weights of sand: Is there a need for a new standard?. *Canadian Geotechnical Journal*. 56 (4), p. 536-553.
- MAYNE P. W., KULHAWY F. H. (1991). Calibration chamber database and boundary effects correction for CPT data, In: *Proceedings of 1st International Symposium on Calibration Chamber Testing*, Potsdam, New York, p.257-264.
- MIURA, S., TOKI, S. (1982). A sample preparation method and its effect on static and cyclic deformation – strength properties of sand. *Soils and Foundations*, 22 (1), p.1-17.
- SHEPARD, F. P. (1973). *Submarine geology*, Harper & Row, Publishers, 3ª Ed., New York, NY, EUA, 517 p.
- SIMÕES, F. B. (2015). *Caracterização geotécnica da areia da praia de Ipanema*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro / UFRJ, Rio de Janeiro, 148 p.