

XX ICongresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e
Engenharia Geotécnica
X Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
X Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos
Jovens
24 a 27 de setembro de 2024 – Balneário Camboriú/SC



Caracterização Geotécnica Das Areias da Barra da Tijuca.

Thais Ferreira de Souza

Aluna de Mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Rio de Janeiro, Brasil, thaisferreira.delta4@gmail.com

Bruno Teixeira Lima

Professor Adjunto, Universidade Federal Fluminense – UFF, Departamento Engenharia Civil, Niterói - Rio de Janeiro – Brasil

Professor Adjunto, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Departamento de Estruturas e Fundações, Rio de Janeiro - Rio de Janeiro – Brasil, bruno.lima@eng.uerj.br

RESUMO: Diante da escassez dos dados referentes às propriedades geotécnicas das areias naturais no território nacional, o presente estudo apresenta uma campanha de ensaios laboratoriais amplos. O objetivo principal é caracterizar, do ponto de vista geotécnico, as areias litorâneas da Barra da Tijuca em dois locais distintos situados na Zona Oeste do Rio de Janeiro. A pesquisa relata uma análise abrangente das propriedades regionais, incluindo a dimensão e o formato dos grãos, a composição mineralógica das amostras e a densidade do solo. Além disso, são apresentadas análises comportamentais, abordando aspectos como resistência ao cisalhamento direto, permeabilidade, compressibilidade, módulo edométrico e índices de vazios máximo, intermediário e mínimo, por meio do método de pluviação no ar com peneiras. Foram conduzidos 32 ensaios de cisalhamento direto em quatro diferentes compacidades relativas (CR), variando desde muito fofa até compacta, com tensões entre 50 kPa, 150 kPa, 300 kPa e 500 kPa. A análise desses ensaios, considerando as variações induzidas pelas mudanças de CR e de tensões normais, permitiu a determinação do ângulo de atrito e o volume constante. Destaca-se ainda a identificação da curva que relaciona o índice de vazios crítico e a tensão normal nominal crítica. Tal curva apresenta semelhanças com a linha de estado crítico. Por fim, realiza-se uma síntese comparativa dos resultados finais obtidos nas duas amostras distintas da Barra da Tijuca.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência ao Cisalhamento, Areias, Caracterização, Permeabilidade.

ABSTRACT: Given the scarcity of data regarding the geotechnical properties of natural sands in the national territory, the present study presents a campaign of extensive laboratory tests. The main objective is to characterize, from a geotechnical point of view, the coastal sands of Barra da Tijuca in two different locations located in the West Zone of Rio de Janeiro. The research reports a comprehensive analysis of regional properties, including grain size and shape, mineralogical composition of samples, and soil density. In addition, behavioral analyzes are presented, covering aspects such as resistance to direct shear, permeability, compressibility, oedometric modulus and maximum, intermediate and minimum void indices, using the air pluviation method with sieves. 32 direct shear tests were conducted at four different relative compactities (CR), ranging from very soft to compact, with stresses between 50 kPa, 150 kPa, 300 kPa and 500 kPa. The analysis of these tests, considering the variations induced by changes in CR and normal stresses, allowed the determination of the friction angle and constant volume. Also noteworthy is the identification of the curve that relates the critical void index and the critical nominal normal stress. This curve has similarities with the critical state line. Finally, a comparative synthesis of the final results obtained in the two different samples from Barra da Tijuca is carried out.

KEYWORDS: Shear strength, Sands, Characterization, permeability.

1 INTRODUÇÃO

Frente ao crescimento exponencial de infraestrutura e estrutura no Brasil, principalmente na região litorânea do Rio de Janeiro, é de se esperar que as investigações geotécnicas acompanhem e suplantem a demanda desempenhando o papel fundamental na etapa preliminar de execução de projetos, de acordo com as condições e características geológicas peculiares apresentadas em cada região.

Esta pesquisa almeja, primordialmente, realizar uma caracterização geotécnica de dois locais distintos na Barra da Tijuca, bairro da zona oeste da capital do Rio de Janeiro, mediante a execução de ensaios de cisalhamento direto. Um desiderato secundário da pesquisa consistiu em efetuar ensaios de caracterização em laboratório, a fim de complementar e auxiliar as análises procedidas por meio dos ensaios, sendo estes: a caracterização geotécnica das amostras de areia em dois pontos distintos para comparação, obtendo através de ensaios laboratoriais índice de vazios máximos, mínimos e intermediários; apresentar as resistências e o comportamento das areias com variação da compacidade relativa e tensão normal nominal 50 kPa, 150 kPa, 300kPa e 500 kPa variando os índices de vazios. Futuramente, com a pesquisa em andamento, pretende-se compendiar resultados dos ensaios de adensamento e permeabilidade para as duas areias.

As amostras a serem estudadas foram extraídas em dois distintos pontos da Barra da Tijuca e transportadas para o laboratório de engenharia da UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro). Sendo a primeira amostra coletada no dia 03/04/2023 na altura da Avenida das Américas, 6101. Já a segunda amostra, areia da praia da Barra, localizada na Avenida Lúcio Costa, posto oito, próximo ao número 6300, foi recolhida no dia 13/04/2024 a uma distância de, aproximadamente, 30 metros do calçadão, como indicado na Figura 1.

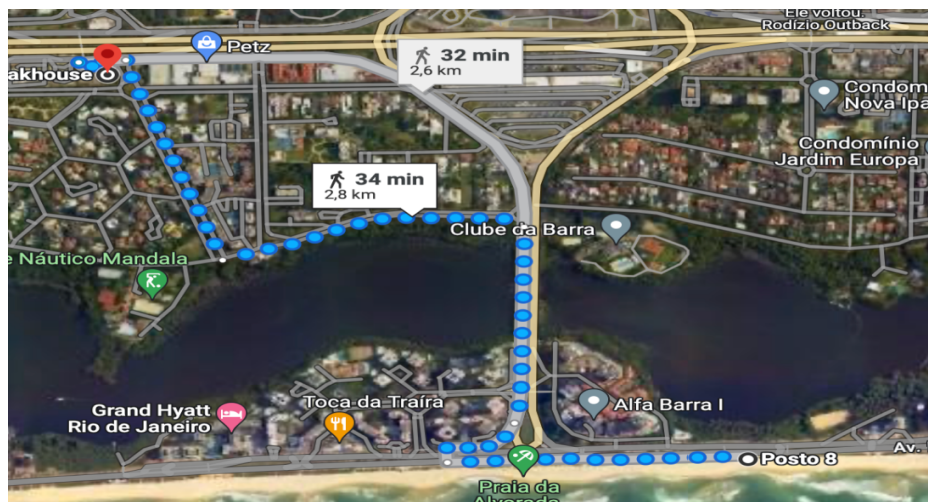


Figura 1- Distância entre os dois pontos de coleta das areias (Google Maps).

2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Após a coleta das amostras para as pesquisas, ambas obtidas em profundidades inferiores a três metros, sendo a areia da Av. das Américas proveniente de uma obra em curso, estas foram acondicionadas em sacos de ráfia de aproximadamente 30 litros, previamente revestidos com lonas para evitar perdas durante o transporte até o LMS – FEN/UERJ (Laboratório de Mecânica do Solos – Faculdade de Engenharia/Universidade do Estado do Rio de Janeiro). Impurezas eram observadas a olho nu, procedeu-se o peneiramento das amostras a serem utilizadas a fim de separar detritos grosseiros, tendo sido utilizadas as peneiras de #4 e #10.

3 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA E FORMATO DOS GRÃOS

De acordo com as pesquisas de Silva (2017), a granulometria é a análise das diferentes frações de tamanho das partículas presentes em um solo, permitindo a classificação e a compreensão de suas propriedades físicas.

A curva granulométrica do material foi determinada a partir da execução dos ensaios de peneiramento realizados conforme descrito na NBR 7181/1988 (2016). A curva granulométrica das areias foi obtida através dos ensaios, que consistem em despejar, aproximadamente, 100g da amostra seca sobre uma sequência de peneiras com aberturas que decrescem e são vibradas como um todo, pesando as quantidades retidas individualmente em cada peneira. Obtém-se a quantidade acumulada não passante em cada uma delas, sendo estes dados apresentados nas Figuras 2 e 3.

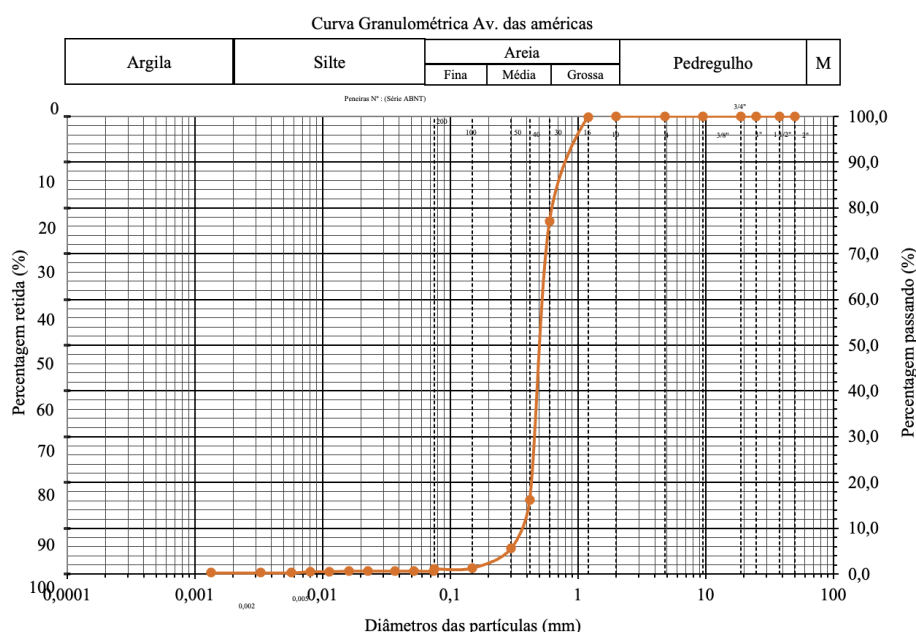


Figura 2 - Curva granulométrica das areias da Av. das Américas.

O coeficiente de curvatura (CC) com valores menores que 1 indicam uma descontinuidade na curva granulométrica devido a ausência de grãos com determinado diâmetro. Caso o coeficiente seja maior que 3 trata-se de uma curva homogênea em seu eixo. Resultados que variam de 1 a 3 indicam curvas com inclinações brandas. Para a NBR 6502 (2016), o coeficiente de não uniformidade (CNU) $< 5,0$ é classificado como uniforme, para $5,0 \leq CNU \leq 15,0$ a areia é medianamente uniforme e quando o $CNU > 15,0$ denomina-se desuniforme.

Neste caso, as areias da Av. das Américas serão classificadas como uniformes e mal graduadas e denominadas como Areia Média com 78% passante na peneira #30 – 0,6mm (areia média) com pequeno percentual na faixa de areia fina (3% dos grãos com diâmetros inferiores a 0,2mm).

Para as areias coletadas no Posto 8 a classificação é dita como uniforme e mal graduada. Classificadas como Areia Média com 100% passante na peneira #30 – 0,6mm conforme indicado na Figura 3.

Solos classificados como bem graduados possuem um melhor comportamento mecânico em relação às tensões aplicadas (Medeiros, 2018). Isto ocorre porque as partículas de grãos menores preenchem os espaços vazios existentes entre as partículas maiores, que contribui para um aumento do atrito entre os contatos dos grãos e, conseqüentemente, aumenta a resistência do solo. A distribuição adequada das partículas de diferentes tamanhos resulta em uma estrutura mais estável, ao contrário dos mal graduados que promovem uma menor coesão interna do solo, aumentando sua compressibilidade e diminuindo a sua resistência ao cisalhamento. Nos solos, as deformações correspondem às variações na forma ou no volume do conjunto, resultantes do deslocamento relativo das partículas (Pinto, 2006).

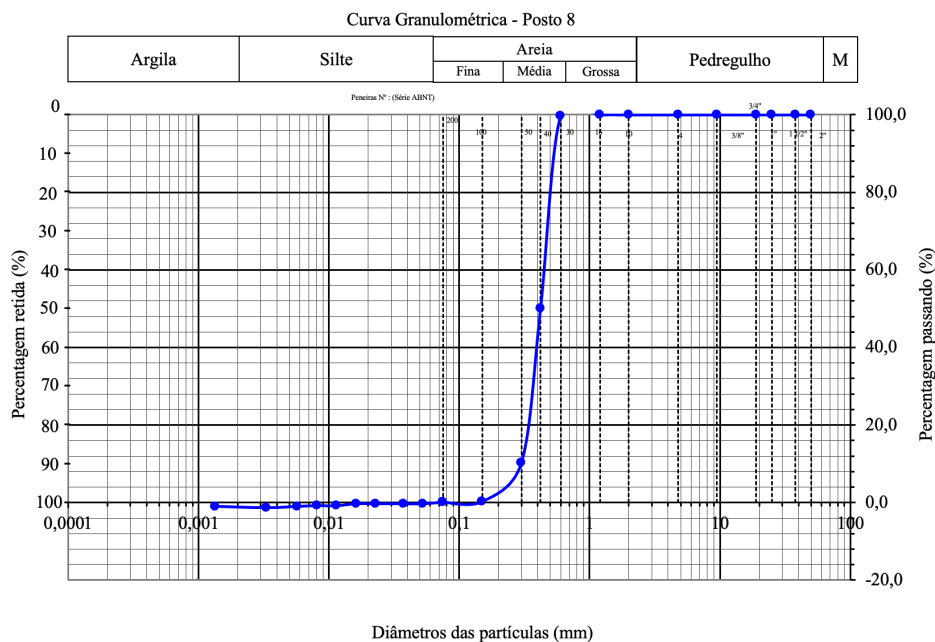


Figura 3 - Curva granulométrica das areias da praia – Posto 8.

O formato dos grãos de ambas as areias se classifica, em sua grande maioria, por ser subangular e subarredondado, de acordo com as imagens coletadas pelo microscópio em laboratório Figuras 4 e 5.

O valor obtido para a densidade relativa dos grãos (G_s) para a areia das Américas foi de 2,694 e constituída, majoritariamente, por quartzo. Para o segundo caso, as areias da praia tiveram a densidade relativa dos grãos igual a 2,682 - valor próximo ao obtido nas Américas e da densidade relativa da clorita (Lambe & Whitman, 1969).

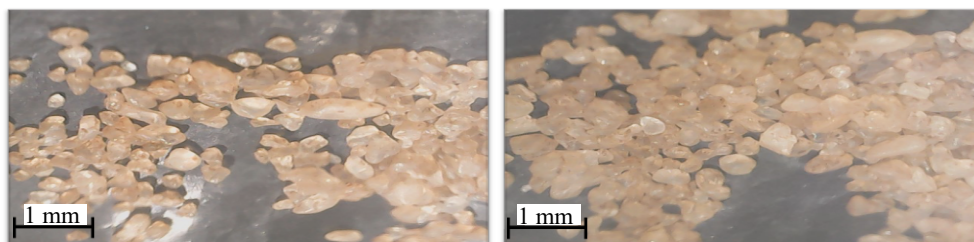


Figura 4 - Captura de tela obtidas através do microscópio das areias da Av. das Américas no LMS.

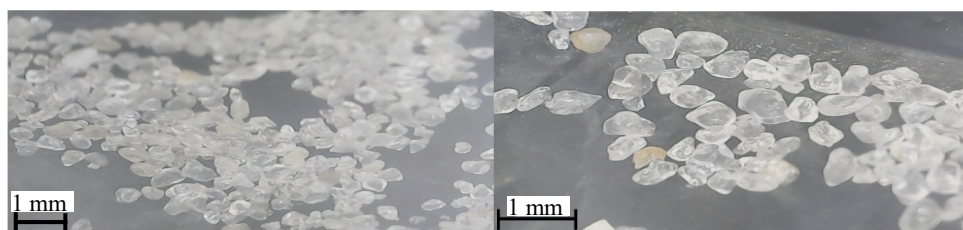


Figura 5- Captura de tela obtidas através do microscópio das areias da Praia no LMS.

4. ÍNDICE DE VAZIOS

Todos os solos permitem a percolação de água no seu interior e o tempo de percolação do fluido permite definir se um solo é mais permeável que o outro. O estudo da permeabilidade dos solos, em geral, é imprescindível, pois a percolação da água intervém em muitos problemas práticos, como no cálculo das vazões, análise dos recalques, estudos da estabilidade referente à tensão efetiva, entre outros (Pinto, 2006).

Cada solo apresenta um índice de vazios máximo $[(e)_{máx}]$ e um índice de vazios mínimo $[(e)_{mín}]$. Em estudos de solos arenosos, em particular, é conveniente saber o estado em que a areia se encontra, compacta ou fofa, isto é, se dentro da faixa possível de variação de seu índice de vazios, ela se encontra respectivamente com um índice de vazios mais próximo do mínimo ou do máximo. A variável que permite quantificar o grau de compactação que uma determinada areia pode exibir dentro do domínio possível da variação do seu índice de vazios é denominada compactação relativa (CR), como define Simões (2015), sendo esta definida pela Equação 1, onde:

$$CR = \frac{e_{máx} - e}{e_{máx} - e_{mín}} \times 100\% \quad (1)$$

Para ensaios com diversos índices de vazios intermediários foi utilizado o método MSP (*Multiple Sieving Pluviation* – pluviação sobre múltiplas peneiras, em tradução livre) apresentado por Miura & Toki (1982).

Conforme descrito por Simões (2015), para a determinação do índice de vazios mínimo foi adotado o método de pluviação ao ar por meio de peneiras. Este método é utilizado para moldar corpos de prova de areia, apresentando boa repetibilidade e precisão nos resultados obtidos para as compactações relativas. No procedimento a areia é disposta em um funil e, por meio da força da gravidade, flui de maneira contínua em um fluxo vertical passando por uma sequência de peneiras. Ao passar pelos crivos o fluxo se distribui uniformemente em forma de "chuva" sobre um molde posicionado abaixo da última peneira da sequência preenchendo-o com a areia pluviada.

Nesses ensaios foram adotadas as mesmas peneiras, superior e inferior, empregadas por Simões (2015), Costa (2020) e Monteiro (2023), que estudaram a areia de Ipanema e Porto de Açu, obtendo-se relações entre essas aberturas e o diâmetro médio semelhante, com um total de cinco peneiras na seguinte ordem: #4 (4,75mm), 3/8# (9,5 mm), 3/4" (19,0 mm), 3/4" (19,0 mm) e 3/8# (9,5 mm). Contudo, a partir do funil com abertura de 80 mm nota-se um acúmulo de areia na primeira peneira, formando um montante e impedindo o fluxo constante dos grãos; as ordens destas foram alteradas para ensaios com funil de 80 mm, 90 mm e 100 mm estipulando-se a seguinte ordem: 3/4" (19,0 mm) #4 (4,75mm), 3/8# (9,5 mm), 3/4" (19,0 mm), e 3/8# (9,5 mm).

Os índices de vazios mínimos obtidos através da pluviação, com altura constante de 30 cm, em funil de 5 mm de diâmetro (Posto 8 = 0,346 e Américas = 0,522) são inferiores àqueles obtidos pelo método B.1, tanto para o Posto 8 quanto para as Américas, conforme prescrito na NBR 16843 (2020), com valores de 0,468 e 0,658 respectivamente.

No decorrer da pesquisa, ao iniciar os processos para o ensaio de cisalhamento direto no LMS, foi constatado a obtenção de índice de vazios menores que ambos apresentados anteriormente após a aplicação de cargas com valores de 0,315 e 0,473 (Posto 8 e Américas) que serão adotados como referência no cálculo da compactação das areias. O valor de $e_{máx}$ empregado no cálculo de CR é baseado pelo método B da norma NBR 16840 (2020) para as duas areias, com valores iguais a 0,594 e 0,802.

A sintetização dos ensaios foi feita através da plotagem dos gráficos, separados por localidade, contendo índice de vazios intermediário X diâmetro de abertura do funil conforme Figura 6. Autores como Simões (2015), Costa (2020) e Monteiro (2023), salientam obter uma corva "S" na compilação de dados do ensaio, porém nesta pesquisa optou-se pela troca de arranjo das peneiras a partir do momento em que foi observada a obstrução do fluxo de areia, como relatado anteriormente. Observa-se então, simplórias nuances dos últimos ensaios conduzidos, que podem justificar a anomalia no gráfico.

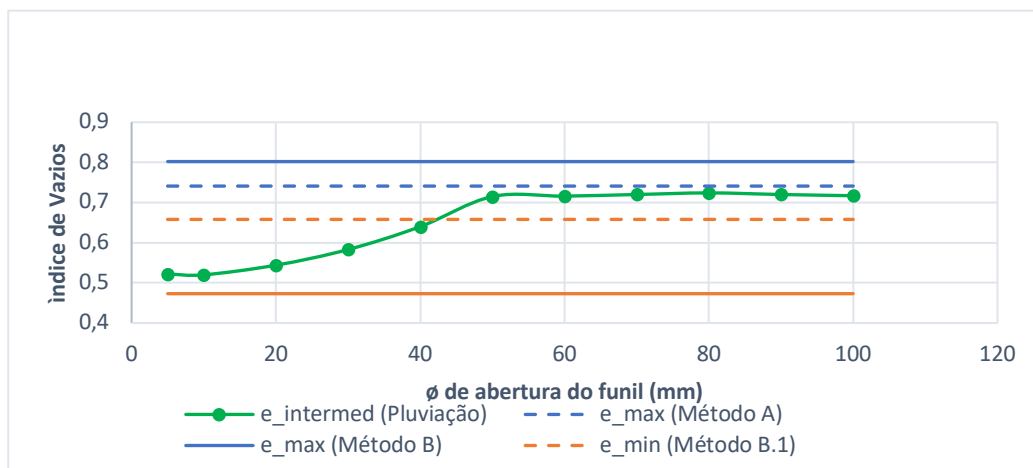


Figura 6– Índice de vazios x diâmetro do funil, Av. das Américas– Barra da Tijuca.

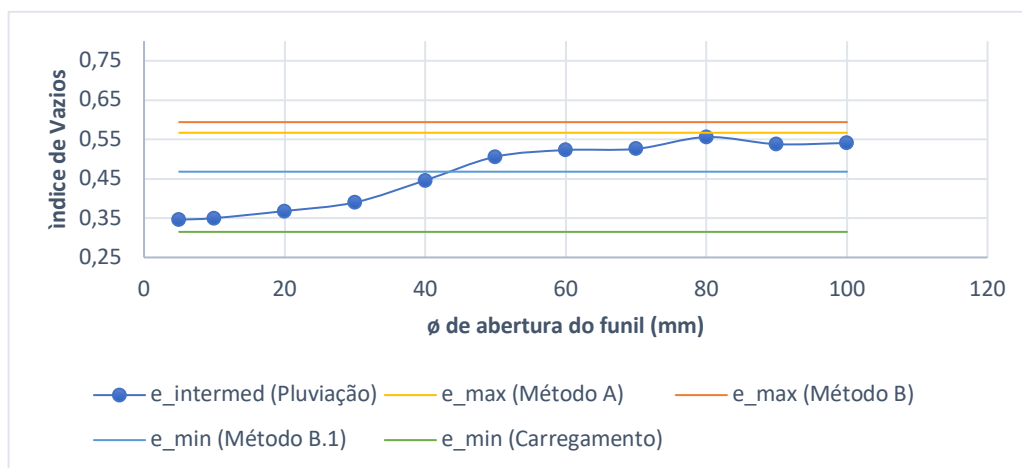


Figura 7 - Índice de vazios x diâmetro do funil, Posto 8.

O índice de vazios mínimo pelo método da pluviação na amostra das Américas foi superior em, cerca de, 34% se comparado ao resultado das areias do Posto 8. O mesmo ocorre para os demais ensaios empregados através dos métodos A da NBR 16840 (2020) e B da NBR 16843 (2020), com valores da Figura 6 superiores aos índices de vazios da Figura 7.

5. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO

Após uma campanha de ensaios para obtenção de índice de vazios (máximo, mínimo e intermediários), inicia-se os ensaios de cisalhamento direto, uma vez definidos quais funis e métodos a serem utilizados para os ensaios de ruptura no equipamento.

Para cada domínio da compactidade relativa foram aplicadas quatro variáveis de tensões normais verticais: 50 kPa, 150 kPa, 300 kPa e 500 kPa. Estas tensões normais verticais são análogas às aplicadas por Nunes (2014), Simões (2015), Coutinho (2021) e Monteiro (2022). Em todos os ensaios a velocidade de deslocamento da caixa de cisalhamento foi de 0,13 mm/min.

Confeccionou-se quatro corpos de prova para cada compactidade relativa (CR), sendo compacta, medianamente compacta, fofa e muito fofa, totalizando 32 ensaios. O ensaio corresponde a cada uma das tensões normais verticais empregadas na campanha de ensaios relatadas anteriormente, com abertura de 5 mm, 40 mm e 70 mm e o método B conforme CR.

No domínio da compactidade relativa compacta (Tabela 1), as areias do P8 tiveram um deslocamento horizontal na ruptura variando entre 1,14 mm e 2,80 mm, enquanto nas areias das Américas varia de 1,78 mm a 2,30 mm. O maior ângulo de atrito obtido para o mesmo domínio foi de 48,52° nas Américas e 38,04° no P8.

Para compactidades relativas tidas como medianamente compactas, as areias da praia da Barra tiveram o deslocamento horizontal máximo na ruptura de 2,41 mm com tensão de 300 KPa variando o ângulo de atrito interno entre 34,56° e 38,41°, enquanto nas Américas obteve um deslocamento horizontal máximo de 3,56 mm com tensão de 500 KPa variando o ângulo de atrito entre 32,98° e 36,81°.

Tabela 1 - Resultados de ensaios de cisalhamento direto de acordo com a CR

Ângulo de Atrito Obtido em Ensaios de Cisalhamento Direto com variação de tensões e CR

Tensão normal de ensaio amostra no domínio da CR compacta.	a) Areia da Praia - P8					b) Areia das Américas					
	Deslocamento horizontal na ruptura (mm)	Tensão Normal corrigida	Tensão ruptura maior	Tensão normal/tensão de ruptura (off/tff)	Ângulo de atrito ϕ°	Deslocamento horizontal na ruptura (mm)	Tensão Normal corrigida	Tensão ruptura maior	Tensão normal/tensão de ruptura (off/tff)	Ângulo de atrito ϕ°	
50	1,14	50,57	57,20	1,13	48,52	50	2,39	51,20	40,06	0,78	38,04
150	2,67	154,03	140,07	0,91	42,28	150	2,01	153,02	82,82	0,54	28,42
300	1,91	305,73	288,48	0,94	43,34	300	1,78	305,35	202,86	0,66	33,60
500	2,80	514,15	459,04	0,89	41,76	500	2,30	511,55	263,09	0,51	27,22
Tensão normal de ensaio amostra no domínio da CR medianamente compacta	Deslocamento horizontal na ruptura (mm)	Tensão Normal corrigida	Tensão ruptura maior	Tensão normal/tensão de ruptura (off/tff)	Ângulo de atrito ϕ°	Tensão normal de ensaio amostra no domínio da CR medianamente compacta	Deslocamento horizontal na ruptura (mm)	Tensão Normal corrigida	Tensão ruptura maior	Tensão normal/tensão de ruptura (off/tff)	Ângulo de atrito ϕ°
50	1,67	50,83	40,30	0,79	38,41	50	1,18	50,59	32,83	0,65	32,98
150	1,70	152,54	121,60	0,80	38,56	150	2,26	153,41	111,72	0,73	36,06
300	2,41	307,26	219,05	0,71	35,49	300	2,38	307,18	209,95	0,68	34,35
500	2,04	510,22	351,41	0,69	34,56	500	3,56	518,09	387,79	0,75	36,81
Tensão normal de ensaio amostra no domínio da CR fofa	Deslocamento horizontal na ruptura (mm)	Tensão Normal corrigida	Tensão ruptura maior	Tensão normal/tensão de ruptura (off/tff)	Ângulo de atrito ϕ°	Tensão normal de ensaio amostra no domínio da CR fofa	Deslocamento horizontal na ruptura (mm)	Tensão Normal corrigida	Tensão ruptura maior	Tensão normal/tensão de ruptura (off/tff)	Ângulo de atrito ϕ°
50	3,26	51,65	39,19	0,76	37,19	50	4,10	52,10	54,05	1,04	46,05
150	3,52	155,38	101,52	0,65	33,16	150	3,34	155,10	144,16	0,93	42,91
300	3,01	309,15	45,44	0,15	8,36	300	3,76	311,50	287,76	0,92	42,73
500	3,62	518,43	310,20	0,60	30,89	500	4,29	521,97	440,15	0,84	40,14
Tensão normal de ensaio amostra no domínio da CR muito fofa	Deslocamento horizontal na ruptura (mm)	Tensão Normal corrigida	Tensão ruptura maior	Tensão normal/tensão de ruptura (off/tff)	Ângulo de atrito ϕ°	Tensão normal de ensaio amostra no domínio da CR muito fofa	Deslocamento horizontal na ruptura (mm)	Tensão Normal corrigida	Tensão ruptura maior	Tensão normal/tensão de ruptura (off/tff)	Ângulo de atrito ϕ°
50	3,07	51,56	32,59	0,63	32,30	50	2,78	51,40	34,39	0,67	33,78
150	3,07	154,67	32,59	0,21	11,90	150	2,82	154,28	110,67	0,72	35,65
300	3,52	310,76	101,52	0,33	18,09	300	4,83	314,95	223,43	0,71	35,35
500	4,68	524,09	314,52	0,60	30,97	500	8,10	543,22	332,50	0,61	31,47

Para CR das areias fofas, o deslocamento horizontal máximo nos ensaios de cisalhamento direto obtido foi de 3,62 mm no P8 e 4,29 mm nas Américas, ambas em tensões de 500 kPa. Nota-se que o maior ângulo de atrito obtido é encontrado nas Américas, cerca de 46,05° e 37,19° nas areias da Barra.

Por último, para corpos de provas tidos como muito fofas, nos ensaios de tensões de 500 kPa o deslocamento horizontal máximo em ruptura foi de 4,68 mm nas areias do P8, com ângulo de atrito variando entre 11,90° e 32,30°; enquanto nas Américas obteve-se quase o dobro de deslocamento, cerca de 8,10 mm e ângulo de atrito variando entre 31,47° e 35,65°.

6. CONCLUSÃO

Os índices de vazios mínimos obtidos através da NBR 16843 (2020), pelo método B1, com valores no P8 igual a 0,468 e nas Américas 0,658 foram superiores ao método da pluviação em funil de 5 mm diâmetro, tendo resultados no P8 0,346 e Américas 0,522.

Para uma mesma tensão normal nominal, variando entre 50 kPa e 500 kPa, observou-se que no ensaio de cisalhamento direto as compactidades relativas fofas e muito fofas apresentaram maiores valores de deslocamento horizontal na ruptura, atingindo o ápice nas tensões de 500 kPa, tanto para areias das Américas, que apresentam maiores valores, quanto para o Posto 8 com resultados de 4,68 mm e 8,10 mm, respectivamente.

O intervalo de variação do ângulo de atrito interno, com CR fofa, apresenta maior valor para tensão normal nominal de 50 KPa nas duas areias estudadas, sendo o ângulo de atrito maior nas Américas (46,1°) e menor no P8 (37,2°).

O mesmo ocorre para CR muito fofa. Américas apresentou ângulo de atrito interno maior em tensões de 150 KPa, no valor de 35,7° e 32,3° no P8, com tensão aplicada de 50 kPa.

Em CR medianamente compacto, o maior valor de deslocamento horizontal foi apresentado no ensaio das areias nomeadas Américas, com 3,56 mm em tensões de 500 KPa e 2,41 mm para P8 em tensões de 300 KPa.

Para a compactação compacta, há uma inversão do que se relata anteriormente. Os maiores valores apresentados de deslocamento horizontal estão presentes nos ensaios das areias do P8, com valor máximo de 2,80 mm em 500 kPa e ângulo de atrito 48,5°, enquanto nas Américas 2,30 mm de deslocamento na mesma tensão e 38,0° de ângulo de atrito.

Ensaio de permeabilidade e adensamento das areias aqui apresentadas estão em andamento para fins comparativos e enriquecimento da pesquisa.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos professores e técnicos Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. (2016). NBR 7181/1988 - Solo - Análise Granulométrica.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. (2020). NBR 16840 - Solo — Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos. Norma, ABNT.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. (2020). NBR 16843 - Solo — Determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos. ABNT.
- Costa, R. C. (2020). Ensaio de Caracterização e de Permeabilidade na Areia da Praia de Ipanema, RJ. Dissertação de Mestrado, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Coutinho, J. V. (2021). Ensaio de cisalhamento direto na areia da Praia de Ipanema. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (Dissertação de Mestrado).
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969). Soil Mechanics. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Medeiros, M. C. (2018). AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DE ÍNDICES DE VAZIOS MÁXIMO E MÍNIMO DE MATERIAIS GRANULARES. Rio de Janeiro.
- Miura, S., & Toki, S. (1982). A sample preparation method and its effect on static and cyclic deformation – strength properties of sand. Artigo, Soils and Foundations, Vol. 22, No 1.
- Monteiro, D. P. (2023). Resistência ao Cisalhamento da Areia do Porto do Açú. Rio de Janeiro.
- Nunes, V. P. (2014). Ensaio de Caracterização Geotécnica da Areia da Praia de Itaipuaçu. Trabalho de Conclusão de Curso, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro/Escola Politécnica, Rio de Janeiro.
- Pinto, C. d. (2006). Curso Básico de Mecânica dos Solos. São Paulo: Oficina de Textos.
- Silva, A. C. (2017). Efeito da concentração de sais na resistência ao cisalhamento de amostras de areia das Dunas do Perú, Cabo Frio, RJ. Rio de Janeiro.
- Simões, F. B. (2015). Caracterização Geotécnica da Areia da Praia de Ipanema. Trabalho de Conclusão de Curso, Trabalho de conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.