



Laboratório de Mecânica dos Solos – LMS

Centro Tecnológico de Joinville

Universidade Federal de Santa Catarina

labms.ufsc.br

RELATÓRIO DE ENSAIO nº 58/2023

Data: 08/09/2023

Ensaio geotécnicos em solo

IMPACTO ENGENHARIA

A/C.: engº Laércio Telles

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. METODOLOGIA.....	4
2.1. Preparação das amostras	4
2.2. Densidade real das partículas de solo.....	4
2.3. Granulometria	4
2.4. Compactação Proctor.....	4
2.5. Ensaio de cisalhamento direto	4
3. RESULTADOS	6
3.1. Densidade real das partículas sólidas	6
3.2. Granulometria	6
3.3. Compactação Proctor.....	6
3.4. Cisalhamento Direto.....	7
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório apresenta os resultados obtidos em ensaios de compactação, granulometria, densidade real dos sólidos e de cisalhamento direto em uma amostra de solo recebida pelo Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) em 25/08/2023. Esta amostra foi entregue em condição deformada e os ensaios de cisalhamento direto foram executados em corpos de prova compactados em laboratório.

A amostra recebida tem as seguintes características, identificadas via análise tátil-visual: solo areno-siltoso de coloração laranja escuro a vermelha e plasticidade aparentemente baixa. A Figura 1 mostra o aspecto de um dos corpos de prova utilizados nos ensaios de cisalhamento direto.



Figura 1. Aspecto do solo ensaiado.

2. METODOLOGIA

2.1. Preparação das amostras

A amostra utilizada nos ensaios foi previamente seca ao ar. A amostra utilizada nos ensaios de determinação da densidade real das partículas sólidas foi tomada da fração passante na peneira 2,0 mm já que o ensaio foi executado conforme norma DNER ME093-94. A mesma peneira foi usada para segregar a fração a ser usada nos ensaios de sedimentação e peneiramento fino. Os demais ensaios foram executados na amostra integral, sem segregação de frações.

2.2. Densidade real das partículas de solo

Os ensaios foram executados em picnômetros de 50 ml, em triplicata, seguindo as recomendações da norma DNER ME093-94. O resultado apresentado advém da média aritmética dos valores obtidos dos três ensaios, desde que a variação entre as medidas não ultrapasse o intervalo de aceitação estabelecido na própria norma.

2.3. Granulometria

O ensaio de granulometria foi executado conforme recomendações da norma ABNT NBR 7181 (2017), com uso de solução defloculante. A classificação das frações constituintes da amostra foi feita de acordo com a ABNT NBR 6502 (1995).

2.4. Compactação Proctor

O ensaio de compactação Proctor foi executado conforme recomendações da norma ABNT NBR 7182 (2016), em amostra trabalhada, usando energia normal de compactação, em cilindro pequeno e com soquete pequeno.

2.5. Ensaio de cisalhamento direto

Os corpos de prova foram extraídos de um corpo de prova maior, compactado no cilindro Proctor de forma a atingir um $GC \geq 99\%$, considerando o ensaio de compactação previamente descrito.

Destas amostras foram extraídos três corpos de prova, destinados a ensaios de cisalhamento direto sob diferentes tensões normais. A moldagem foi feita em um anel quadrado de dimensões $B=60$ mm, $L=60$ mm e $H=20$ mm, com auxílio de ferramentas de corte.

Os ensaios foram executados conforme norma técnica ASTM D3080 (2011), utilizando o equipamento mostrado na Figura 2, sob tensões normais efetivas de 50, 100 e 200 kPa, utilizando-se um corpo de prova para cada tensão normal efetiva. Os ensaios foram executados em corpos de prova submersos.



Figura 2. Equipamento utilizado nos ensaios.

O equipamento utilizado é dotado de um sistema de avanço composto por um motor de passo servo-controlado que permite controle preciso de velocidade de cisalhamento. A tensão vertical é aplicada por meio de pesos posicionados em um pendural associado a um braço de alavanca. A tensão cisalhante é obtida de medidas de força feitas por uma célula de carga digital IWM, e as medidas de deslocamento horizontal e deformação vertical por sensores do tipo LVDT Gefran. As medições são obtidas de forma automatizada e processadas eletronicamente.

A fase de consolidação teve duração mínima de 120 minutos, e perdurou até que as deformações cessassem, indicando ocorrência de completa dissipação dos excessos de poropressão decorrentes da aplicação da tensão normal. Cessadas as deformações decorrentes desta fase procedeu-se com a ruptura dos corpos de prova.

A partir do comportamento exibido na fase de consolidação estipulou-se a velocidade de cisalhamento necessária para permitir que a ruptura se desse de forma drenada como sendo da ordem de 0,025 mm/min.

Gibson e Henkel (1954) propuseram uma equação empírica para cálculo do tempo requerido para o cisalhamento, em função o tempo para que ocorra 100% do adensamento (t_{100}) em um ensaio oedométrico:

$$t_f = 12,7 \cdot t_{100} \text{ (min)}$$

Cada corpo de prova foi cisalhado até que se atingisse um deslocamento de 8 mm, requerendo cerca de 320 minutos para conclusão da fase de cisalhamento.

3. RESULTADOS

3.1. Densidade real das partículas sólidas

O solo em questão tem densidade real das partículas da ordem de 2,753, estando de acordo com o intervalo normalmente reportado na literatura para solos em geral (2,6 a 2,8).

3.2. Granulometria

A curva granulométrica obtida por peneiramento e sedimentação para a amostra ensaiada é apresentada na Figura 3. Um resumo das frações granulométricas que compõem as amostras é apresentado na Tabela 1. Estas frações têm dimensões definidas conforme ABNT NBR 6502 (1995).

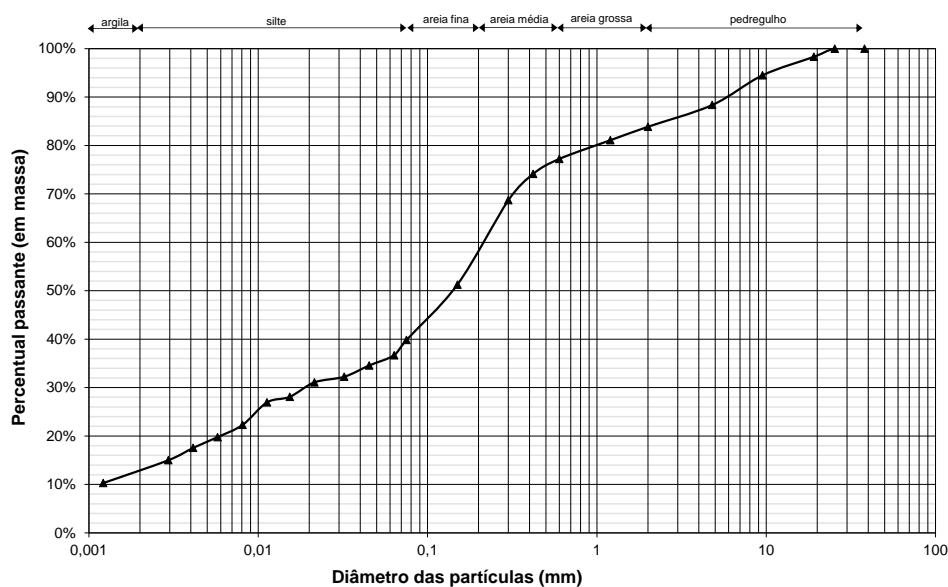


Figura 3. Curva granulométrica da amostra.

Tabela 1. Resumo das frações granulométricas da amostra ensaiada.

Pedregulho	16,13%
Areia Grossa	6,64%
Areia Média	25,96%
Areia Fina	14,59%
Silte	26,40%
Argila	10,29%

3.3. Compactação Proctor

Os dados obtidos no ensaio de compactação são mostrados na Tabela 2. A partir destes é mostrada na Figura 4 a curva de compactação para este material. Da curva de compactação obtém-se peso específico aparente seco máximo da ordem de 1,65 gf/cm³ e umidade ótima da ordem de 20,0%.

Tabela 2. Dados obtidos no ensaio de compactação Proctor na amostra.

Ponto	1	2	3	4	5
Teor de umidade	13,7%	16,6%	18,6%	20,5%	23,3%
Peso esp. ap. nat. (gf/cm ³)	1,68	1,83	1,94	1,98	1,90
Peso esp. ap. seco (gf/cm ³)	1,48	1,57	1,63	1,64	1,54

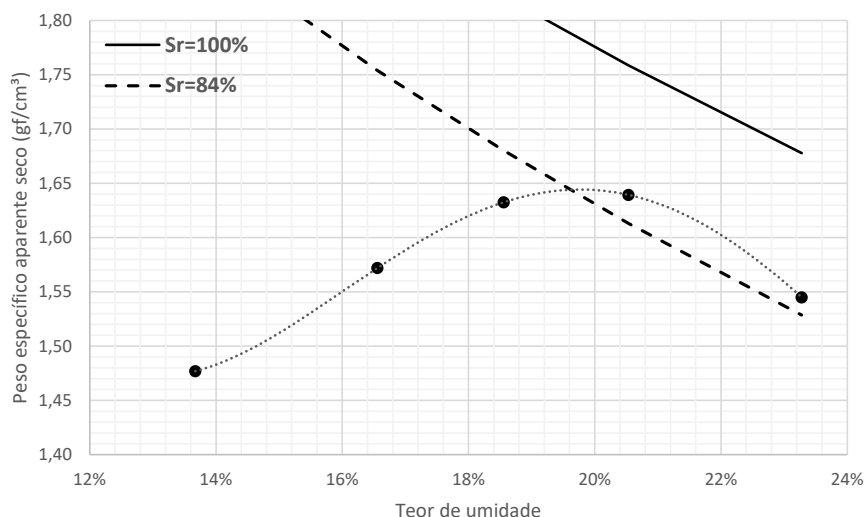


Figura 4. Curva de compactação obtida no ensaio de compactação.

3.4. Cisalhamento Direto

As amostras de onde extraíram-se os corpos de prova foram compactadas sob umidade ótima definida no ensaio de compactação (energia normal). Na Tabela 3 são apresentados os índices físicos dos corpos de prova empregados nos ensaios de cisalhamento direto. Os três corpos de prova têm características físicas e feições texturais homogêneas, já que foram extraídos de amostras moldadas por compactação em laboratório.

Tabela 3. Índices físicos dos corpos de prova ensaiados referentes a amostra.

	w_{nat} (%)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	e	S_r
1 (50 kPa)	19,7%	19,01	15,89	0,70	77,5%
2 (100 kPa)	19,7%	19,11	15,97	0,69	78,4%
3 (200 kPa)	19,7%	19,52	16,31	0,66	82,7%

w_{nat} : teor de umidade natural; γ_{nat} : peso específico aparente natural; γ_d : peso específico aparente seco; e: índice de vazios; S_r : grau de saturação; GC: grau de compactação.

A Figura 5 mostra as curvas de consolidação dos corpos de prova. Na Figura 6 são mostradas as curvas de deslocamento horizontal x tensão cisalhante mobilizada e deslocamento horizontal x variação de altura.

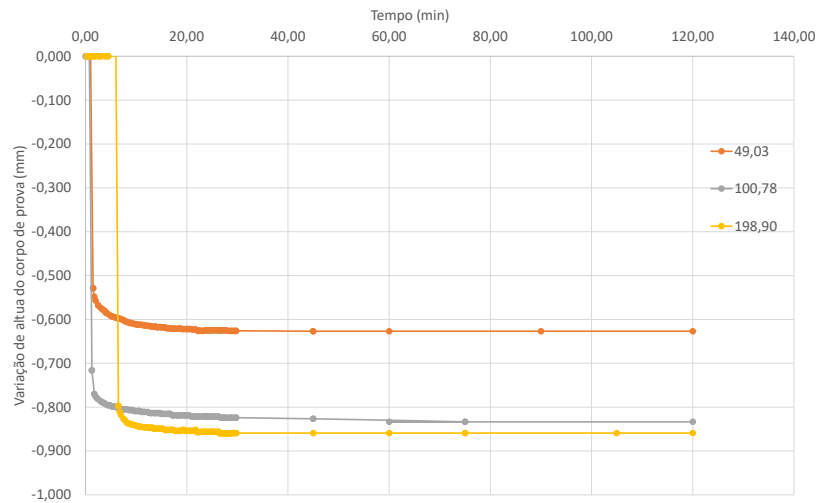


Figura 5. Curvas de consolidação dos corpos de prova da amostra.

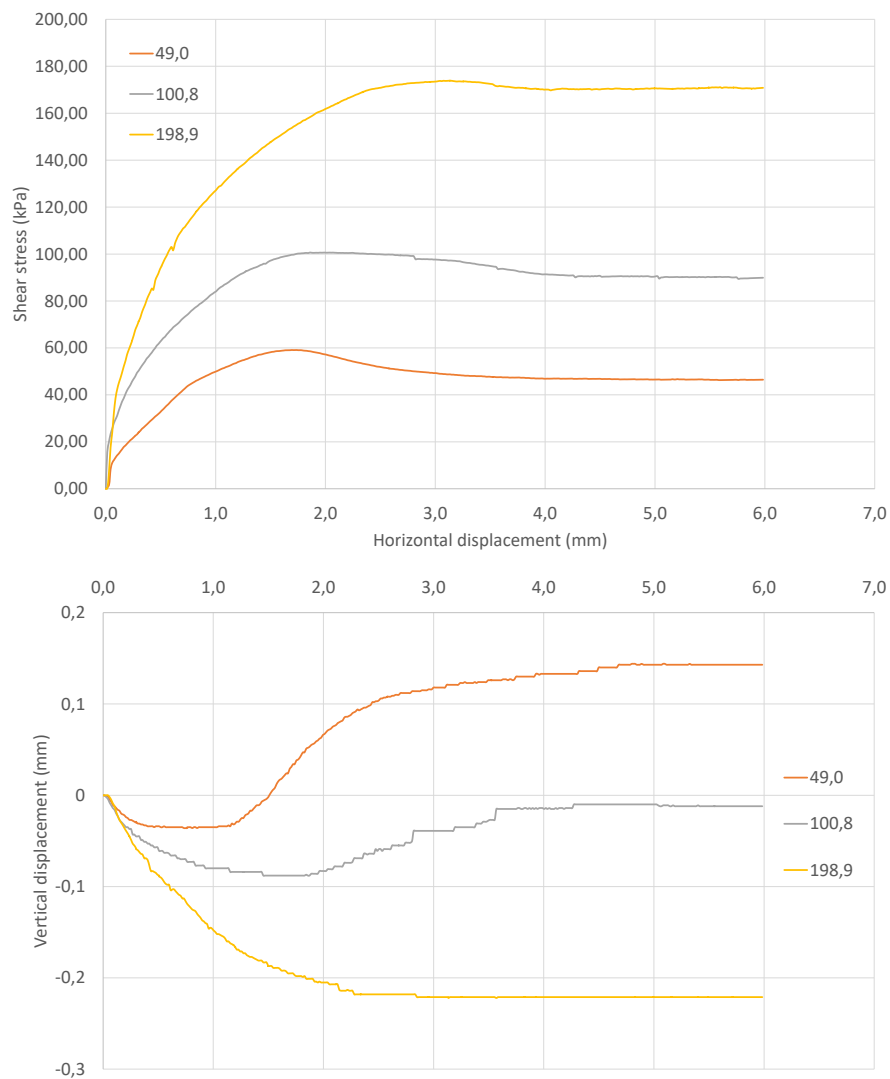


Figura 6. Curvas tensão-deformação dos ensaios de cisalhamento direto na amostra.

O solo apresenta comportamento que varia daquele típico de solos densos (sob 50 kPa) e solos de baixa densidade (200 kPa). Sob $\sigma'_v=50$ kPa e 100 kPa o solo exibe pico de resistência e comportamento dilatante. Sob 200 kPa observa-se um pico de resistência muito suave, acompanhado de contração durante o cisalhamento.

As tensões cisalhantes medidas permitem, a partir do critério de ruptura de Mohr-Coulumb, a construção de uma envoltória de resistência de pico (peak), obtidas da máxima tensão cisalhante mobilizada corrigida, e uma envoltória de pós pico (post-peak), obtida das medidas de tensão cisalhante entre 5 e 6 mm (8 a 10% de deslocamento). As envoltórias são mostradas na Figura 7.

O solo representado pela amostra fornecida tem, em pico, ângulo de atrito da ordem de $35,5^\circ$ e em pós pico de $38,3^\circ$. Em pico o intercepto coesivo é da ordem de 23,7 kPa, provavelmente oriundo do fenômeno de dilatância, e nulo em pós-pico. Os parâmetros de resistência são mostrados também na Tabela 4.

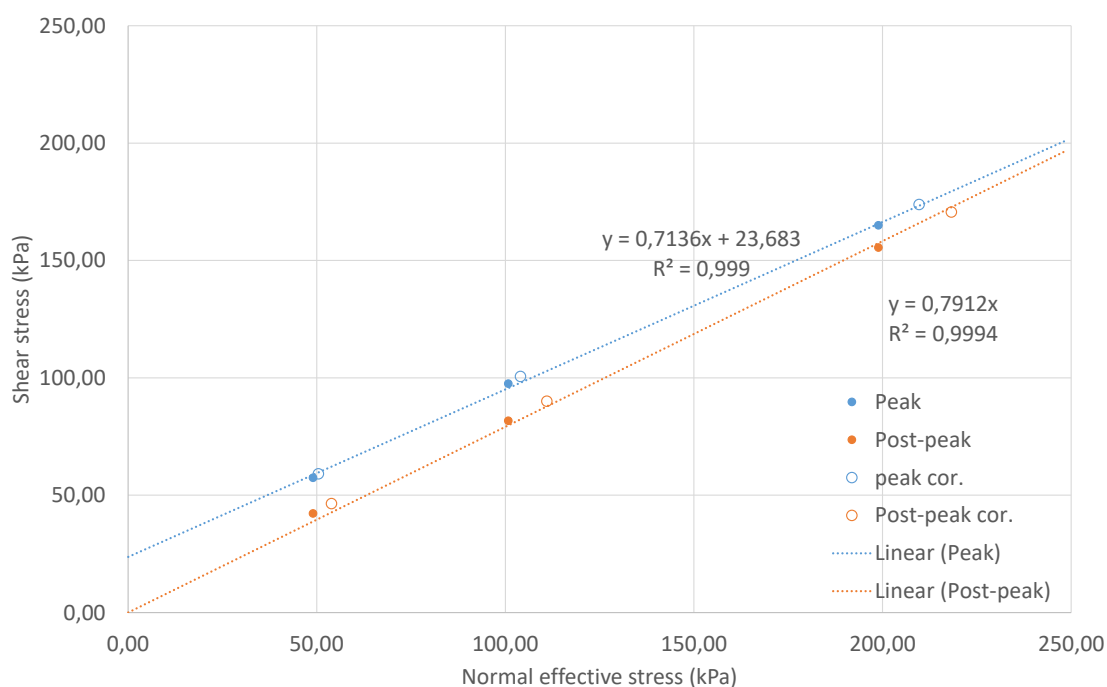


Figura 7. Envoltórias de resistência para o solo referente a amostra.

Tabela 4. Parâmetros de resistência ao cisalhamento para o solo referente a amostra.

Condição	Intercepto coesivo (c')	Ângulo de atrito (φ')
Pico (peak)	23,7°	35,5°
Pós pico (post-peak)	0	38,3°

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A amostra recebida tem textura areno-siltoso de coloração laranja escuro a vermelha e plasticidade aparentemente baixa. Da curva de compactação obtém-se peso específico aparente seco máximo da ordem de $1,65 \text{ gf/cm}^3$ e umidade ótima da ordem de 20,0%.

O solo apresenta comportamento que varia daquele típico de solos densos (sob 50 kPa) e solos de baixa densidade (200 kPa). Sob $\sigma' = 50 \text{ kPa}$ e 100 kPa o solo exibe pico de resistência e comportamento dilatante. Sob 200 kPa observa-se um pico de resistência muito suave, acompanhado de contração durante o cisalhamento.

O solo representado pela amostra fornecida tem, em pico, ângulo de atrito da ordem de $35,5^\circ$ e em pós pico de $38,3^\circ$. Em pico o intercepto coesivo é da ordem de 23,7 kPa, provavelmente oriundo do fenômeno de dilatância, e nulo em pós-pico.

Joinville, 08 de setembro de 2023



Prof. Eng^o. Marcelo Heidemann, D.Sc.
Supervisor do Laboratório de Mecânica dos Solos
Centro Tecnológico de Joinville
Universidade Federal de Santa Catarina

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (1995) NBR 6502 - Rochas e Solos. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT (2016) NBR 6457 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT (2017) NBR 7181 – Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT (2016) NBR 7182 - Solo — Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT.

ASTM (2011) Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions - D 3080. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.

DNER (1994) Solos: determinação da densidade real - ME 093.

Gibson, R.E.; Henkel, D.J. (1954) Influence of Duration of Tests at Constant Rate of Strain on Measure Drained Strength. *Géotechnique*, v. 4(1).