

Mecânica dos solos

RESISTÊNCIA DE SOLOS

- Compressão simples
- Resistência à tração por compressão diametral
- CBR

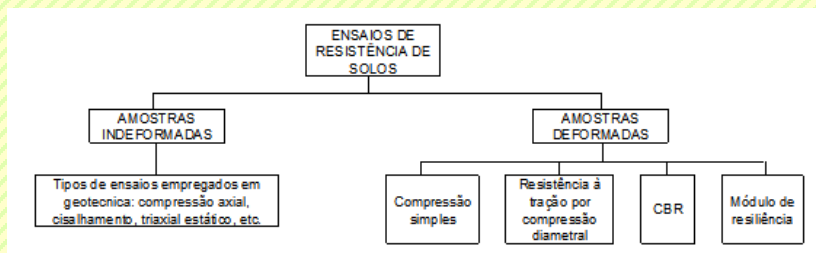
• 2º semestre 2026 - Prof. Edson de Moura

1

Resistência de solos

Diversos são os ensaios utilizados para a determinação da resistência de solos. Podem-se dividir esses ensaios em dois grupos:

- ensaios em amostras indeformadas e
- ensaios amostras deformadas.



Em pavimentação os solos, basicamente, são utilizados na condição de deformados, raramente nos deparamos com ensaio em amostras indeformadas

2



Resistência de solos

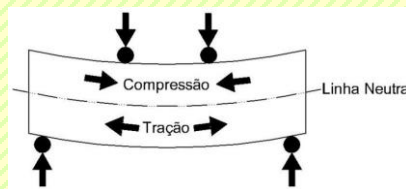
- Os ensaios de compressão simples e resistência à tração por compressão diametral tem uma aplicação direcionada à solos estabilizados com cimento, cal ou outro tipo de aglomerante que propicia ao solo o aumento da rigidez do material.
- O solo-cimento, por exemplo, com adição de 10% de cimento propicia uma rigidez ao solo tão grande que o ensaio de CBR não tem sentido físico, o mesmo raciocínio pode-se verificar para solo melhorado com cimento, nesse caso, o teor deve ser inferior a 5%.

3

Resistência de solos

Compressão simples (CS)

Outro fato que justifica o emprego desses ensaios é que uma camada cimentada em um pavimento, por exemplo, parte dela pode estar trabalhando a compressão e parte à tração, logo é justificável o uso dos ensaios de compressão simples e resistência à tração por compressão diametral respectivamente.



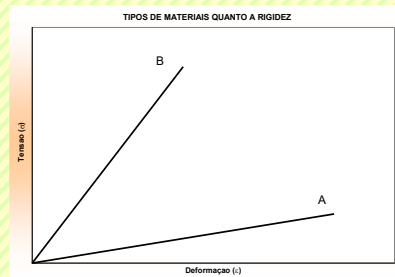
O ensaio de compressão simples consiste em submeter um corpo-de-prova cilíndrico a um carregamento axial até a ruptura do mesmo.

4

Resistência de solos

Compressão simples (CS)

Os materiais empregados em pavimentação, normalmente, apresentam elevada deformação quando submetidos a uma determinada carga, se comparados com concreto, mesmo um solo-cimento ou uma brita graduada tratada com cimento - BGTC. Assim, devido à baixa rigidez desses tipos de materiais o ensaio de ruptura se dá por controle de deslocamento (deformação) e não por controle de carga, como anteriormente considerado para o concreto. A velocidade de carregamento no ensaio é relativamente baixa na ordem de 1,0 mm/min.



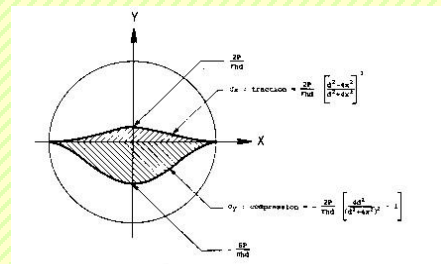
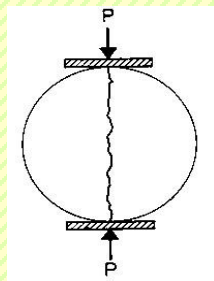
5

Resistência de solos

Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT)

Conhecido como ensaio brasileiro, desenvolvido por Lobo Carneiro, surgiu durante a abertura da Avenida Presidente Vargas, na cidade do Rio de Janeiro, em 1943, da necessidade de mover uma igreja de local

Corpo-de-prova solicitado por forças opostas de igual valor por dois frisos

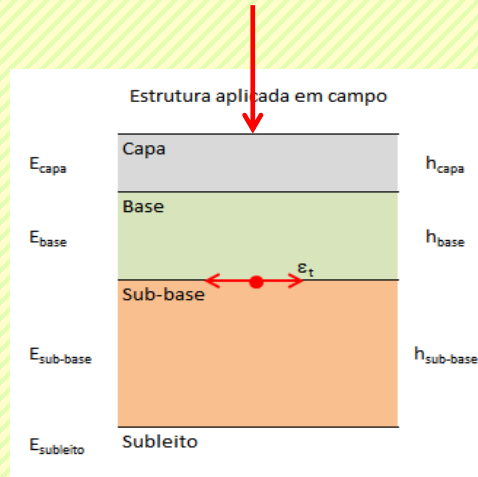


Compressão diametral - distribuição das tensões de tração e compressão nos eixos horizontal e vertical respectivamente.

6

Resistência de solos

Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT) base cimentada de BGTC



7

Resistência de solos

Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT)

Número **N** de projeto, determinado através de contagens em campo e tem-se esse número para períodos de 10 anos para pavimento flexível e 20 anos para pavimento de concreto.



Com esse **N** e através das características dos materiais, dimensiona-se a estrutura para ser testada.

8

Resistência de solos

Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT)

Com essa estrutura obtém-se a tensão de tração na fibra inferior da camada cimentada de BGTC. Essa determinação implica em utilizar MEF. Considerando a estrutura dimensionada pelo métodos DNIT, ou outros.

Com o valor de tensão de tração encontrado e com a equação de fadiga determina-se o número N de campo. Ou seja o número N que a estrutura irá suportar em vida de serviço.

Comparar esse número Ncampo com o número Nprojeto que deu origem à estrutura testada. O Ncampo > Nprojeto

9

Resistência de solos

CBR

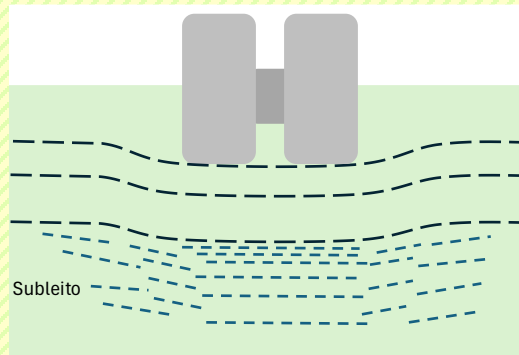
10

Resistência de solos

Índice de Suporte Califórnia (ISC) - CBR

Conforme relatos de Porter (1950), no Departamento de Estradas de Rodagem da Califórnia, no final da década de 20, realizaram uma série de observações em campo sobre a forma de ruptura das rodovias daquele estado.

Foi observado que a forma de ruptura mais comum era decorrente dos deslocamentos laterais do solo do subleito, que ao absorver água, perdia capacidade de suporte, provocando essa ruptura.



11

Resistência de solos

Índice de Suporte Califórnia (ISC) - CBR

Observou-se também que a baixa energia de compactação, normalmente utilizada para os materiais do subleito, tinha também uma parcela de contribuição para as deformações permanentes diferenciais e também constataram que a ruptura advinha dos excessivos deslocamentos verticais recuperáveis dos materiais, causados por repetição de cargas.

Segundo Porter (1950), a espessura insuficiente do revestimento e a existência de material granular sobre um subleito de baixa capacidade de suporte (tanto pela natureza do solo como pela falta de compactação) são responsáveis pela ruptura à fadiga dos pavimentos.

12

Resistência de solos

Índice de Suporte Califórnia (ISC) - CBR

Com base nessas observações em campo, em 1929, foi desenvolvido o ensaio *Califórnia Bearing Ratio* – CBR para determinar a resistência do material ao deslocamento lateral, tipo de ruptura mais frequente nas rodovias da Califórnia, medindo a influência combinada da coesão e do ângulo de atrito, Porter (1950).

A base experimental do ensaio de CBR é, através de um procedimento laboratorial, indicar a capacidade de suporte do solo. Sendo esse valor correlacionado empiricamente com a resistência da brita

13

Resistência de solos

Índice de Suporte Califórnia (ISC) - CBR

O valor do CBR foi correlacionado empiricamente com o desempenho dos pavimentos, tendo sido utilizado como um índice de resistência para o projeto de dimensionamento de pavimentos pela Divisão de Rodovias da Califórnia dos EUA.

Qual a finalidade do ensaio de CBR ?

Este método serviu como referencial para o desenvolvimento do método de dimensionamento de pavimentos do Corpo de Engenheiros do EUA - USACE.

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO PELO
MÉTODO DO CBR**

14

Resistência de solos Índice de Suporte Califórnia (ISC) - CBR

Foram caracterizados os melhores materiais granulares de base dos pavimentos californianos. A média de resistência à penetração no ensaio CBR, desses materiais, foi estabelecida como sendo o valor de referência ou 100%.

A partir daí, todos os materiais são referenciados por um valor em porcentagem, representando o quão melhor ou pior é sua resistência no ensaio CBR por comparação.

O ensaio de resistência ISC fornece dois resultados: o valor de ISC (CBR) e como o corpo-de-prova é submetido a imersão, mede-se a variação do volume da amostra e determina-se a expansão, expressa em %.

15

Resistência de solos

Índice de Suporte Califórnia (ISC) - CBR

O Ensaio

O ensaio é normatizado pela ABNT-NBR 9895 Solo – Índice de Suporte Califórnia.

Como é um ensaio que indica a resistência que uma determinada amostra de solo tem, realiza-se esse ensaio na pior condição em que o solo será utilizado em serviço -
SATURADO

O corpo de prova é moldado no teor ótimo de umidade (%) e no respectivo peso específico aparente seco máximo (g/cm^3).

16

Resistência de solos

Moldagem do corpo de prova

Molde cilíndrico 2000 cm³



Soquete tipo grande



17

Resistência de solos

Moldagem do corpo de prova

Disco espaçador



Régua biselada



18

Resistência de solos

Moldagem do corpo de prova

Preparar a amostra, em quantidade suficiente para a moldagem do cp, teor de umidade ótimo. Recomenda-se que a amostra úmida permaneça dentro de um saco plástico por um período de 24 h para homogeneização da amostra.

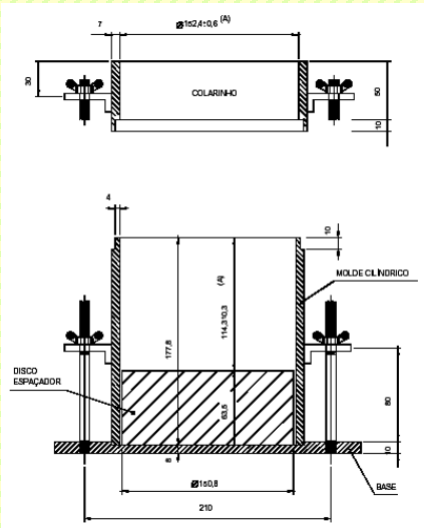
Após a homogeneização, revolve-se a amostra e molda-se o corpo-de-prova com número de golpes e camadas conforme tabela abaixo, na umidade ótima correspondente ao ensaio de Proctor.

Energia de Compactação	Peso do soquete (kg)	Altura de queda do soquete (cm)	Número de camadas	Número de Golpes	Volume do molde (cm³)
Normal	4,5	45,0	5	12	2000
Intermediária	4,5	45,0	5	26	2000
Modificada	4,5	45,0	5	55	2000

19

Resistência de solos

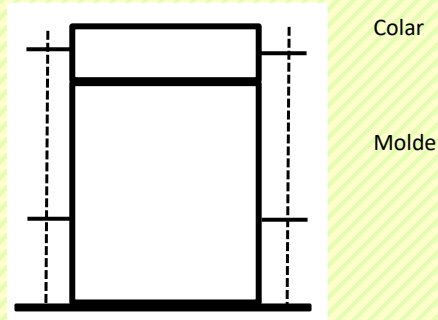
Moldagem do corpo de prova



20

Resistência de solos

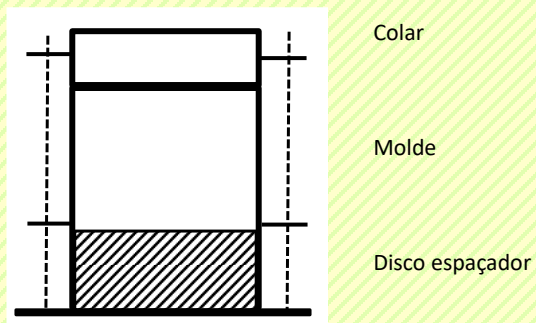
Moldagem do corpo de prova



21

Resistência de solos

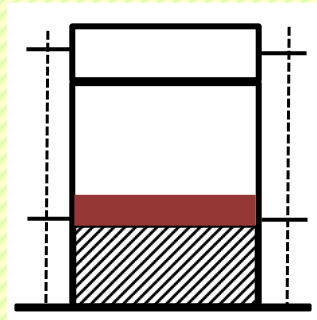
Moldagem do corpo de prova



22

Resistência de solos

Moldagem do corpo de prova



Colar

Molde

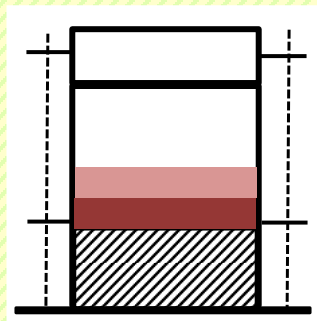
1ª. camada

Disco espaçador

23

Resistência de solos

Moldagem do corpo de prova



Colar

Molde

2ª. camada

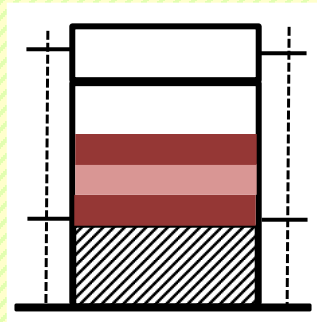
1ª. camada

Disco espaçador

24

Resistência de solos

Moldagem do corpo de prova



Colar

3ª. camada

2ª. camada

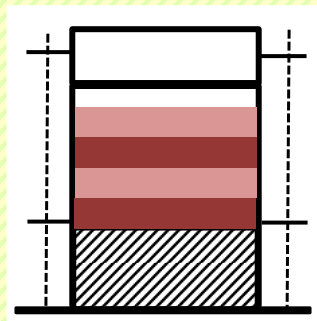
1ª. camada

Disco espaçador

25

Resistência de solos

Moldagem do corpo de prova



Colar

4ª. camada

3ª. camada

2ª. camada

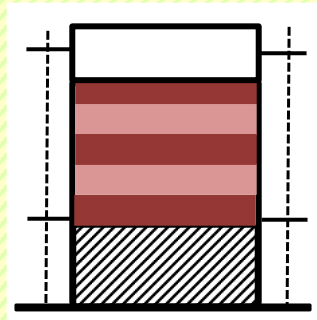
1ª. camada

Disco espaçador

26

Resistência de solos

Moldagem do corpo de prova



Colar

5ª. camada

4ª. camada

3ª. camada

2ª. camada

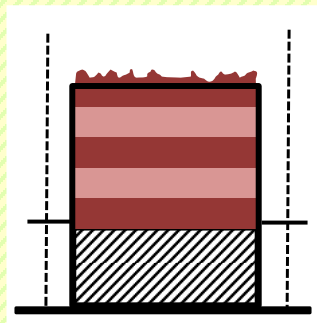
1ª. camada

Disco espaçador

27

Resistência de solos

Moldagem do corpo de prova

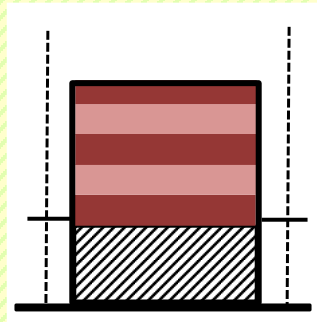
Final da 5ª. camada
sem o colarinho

Disco espaçador

28

Resistência de solos

Moldagem do corpo de prova



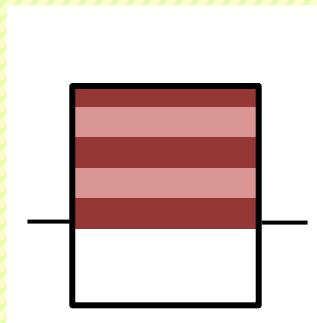
Final da 5ª. camada
rasada

Disco espaçador

29

Resistência de solos

Moldagem do corpo de prova



Remoção do molde da
base perfurada

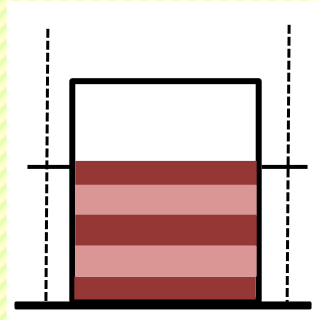
Local do disco
espaçador

Mede-se a massa do molde + solo compactado

30

Resistência de solos

Moldagem do corpo de prova



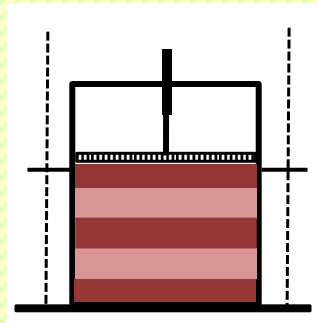
Cilindro com o cp com
posição invertida e
colocado na base
perfurada

Local do disco
espaçador

31

Resistência de solos

Moldagem do corpo de prova

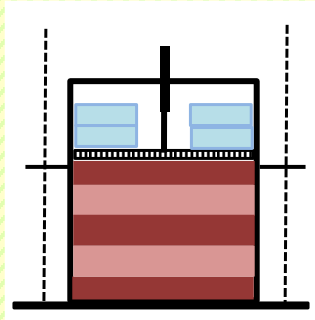


Posicionamento do
prato perfurado

32

Resistência de solos

Moldagem do corpo de prova

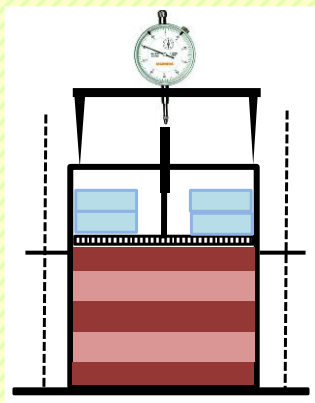


Colocação dos pesos
anelares

33

Resistência de solos

Moldagem do corpo de prova

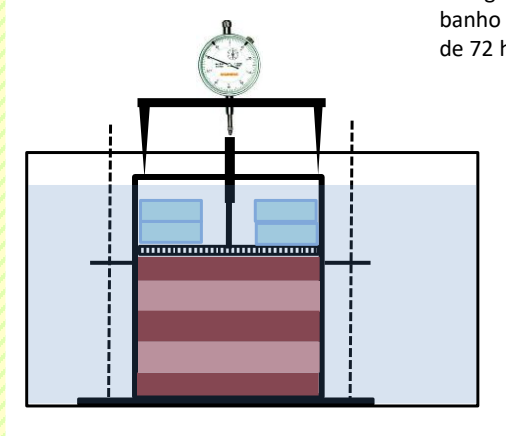


Montagem do tripé
porta extensômetro.
Ajustar leitura inicial
para 1.00 mm

34

Resistência de solos

Imersão corpo de prova



Imergir o conjunto em banho por um período de 72 h.

35

Resistência de solos

Moldagem do corpo de prova

Figura 1 - Prato perfurado



Figura 4 - Tripé do extensômetro



Figura 2 - Peso anelar



Figura 3 - Conjunto + tripé de expansão



36

Resistência de solos

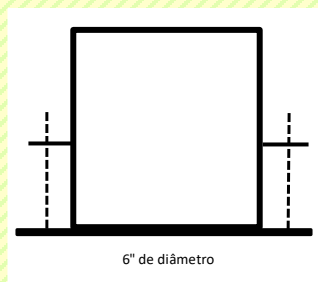
Ruptura do corpo de prova



37

Resistência de solos

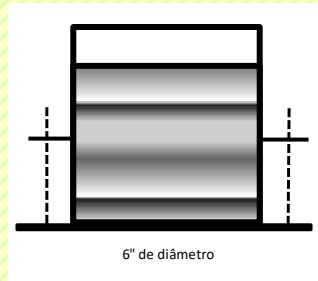
Concepção do ensaio



38

Resistência de solos

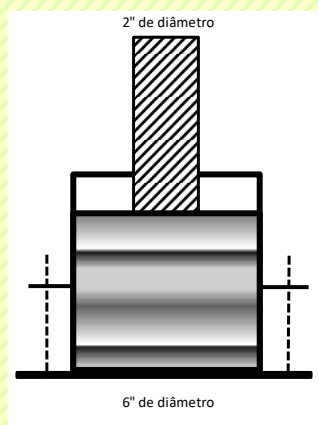
Concepção do ensaio



39

Resistência de solos

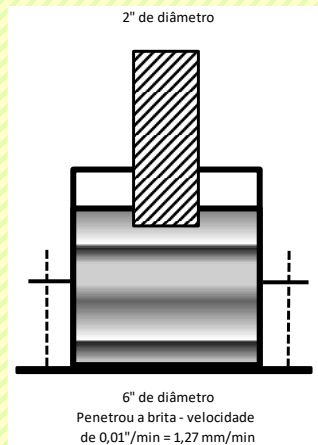
Concepção do ensaio



40

Resistência de solos

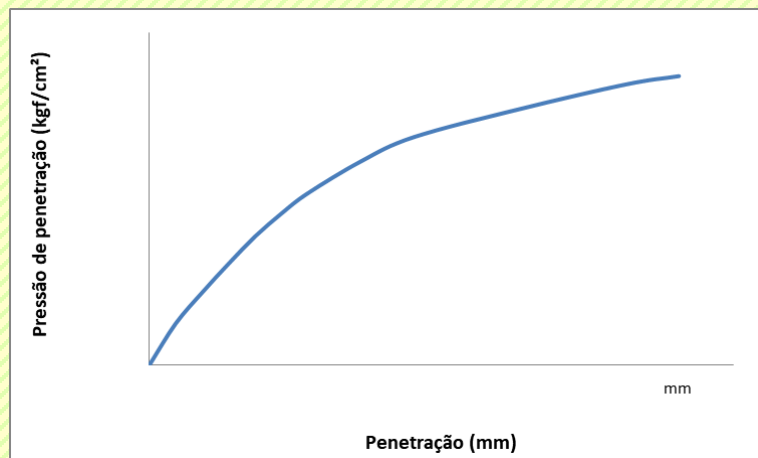
Concepção do ensaio



41

Resistência de solos

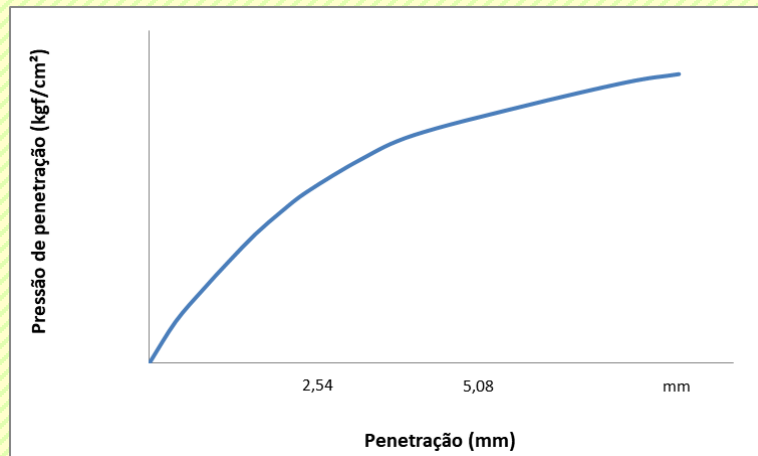
Concepção do ensaio



42

Resistência de solos

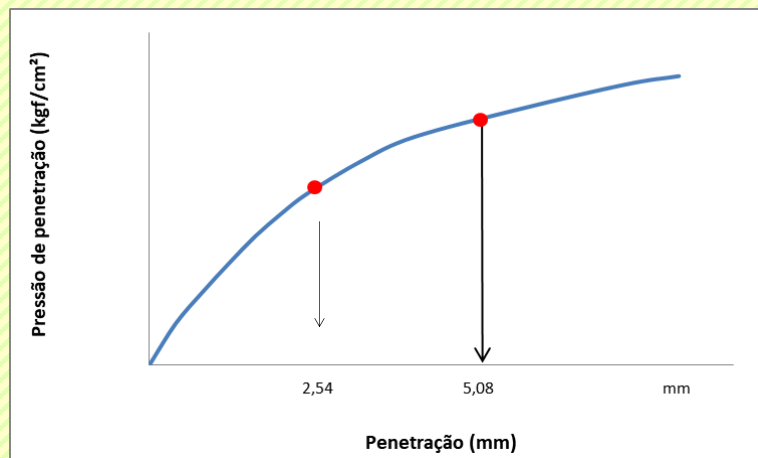
Concepção do ensaio



43

Resistência de solos

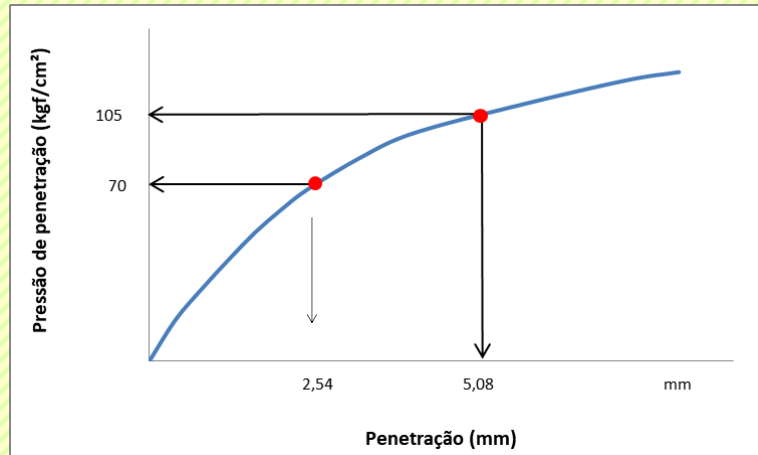
Concepção do ensaio



44

Resistência de solos

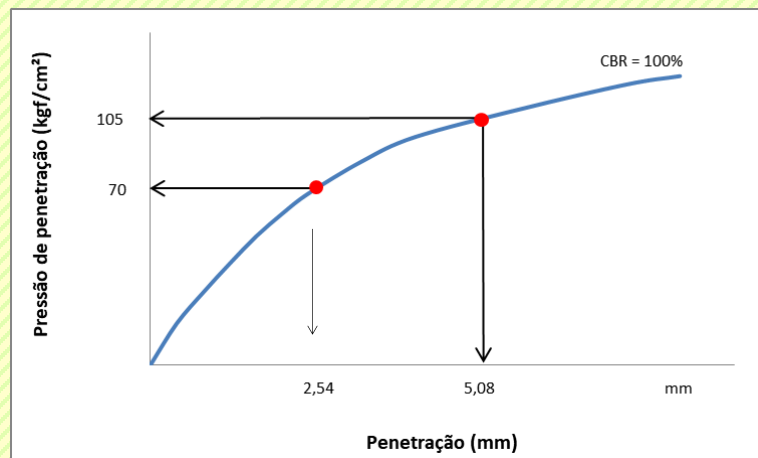
Concepção do ensaio



45

Resistência de solos

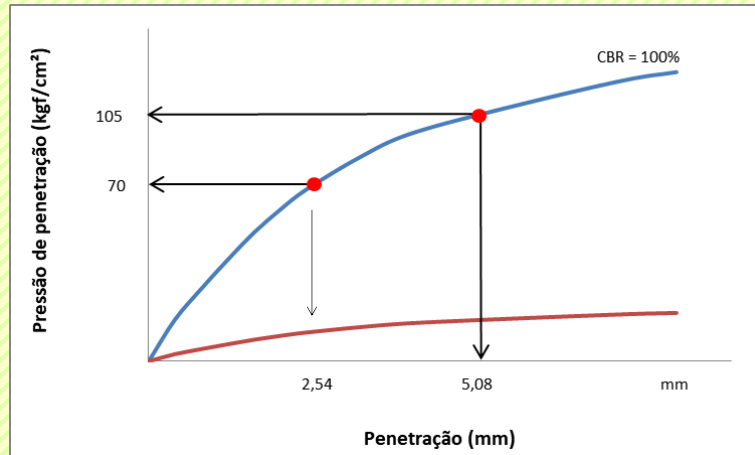
Concepção do ensaio



46

Resistência de solos

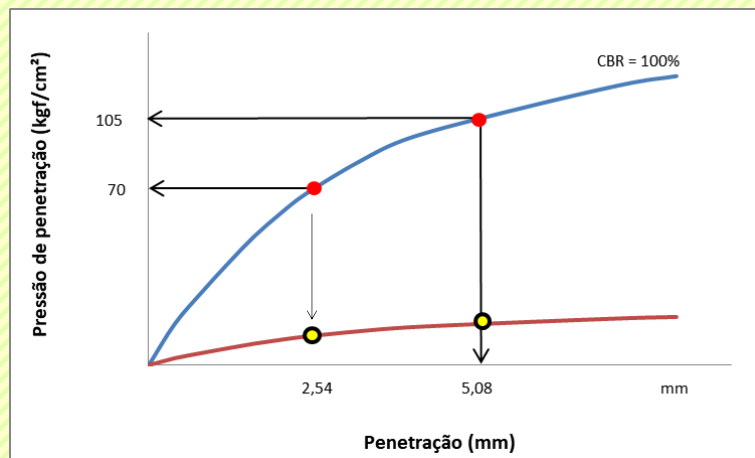
Concepção do ensaio



47

Resistência de solos

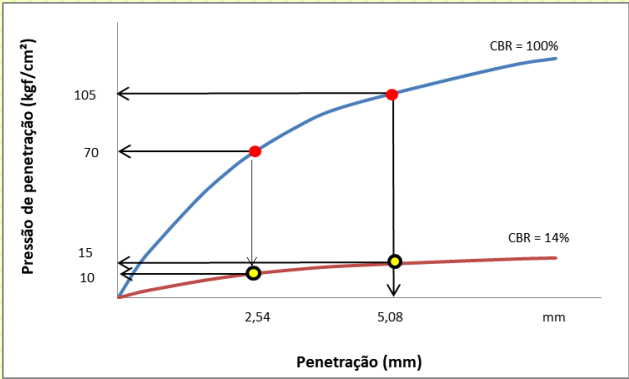
Concepção do ensaio



48

Resistência de solos

Concepção do ensaio



Penetração 2,54 mm		Penetração 5,08 mm		Média
Pressão padrão	CBR	Pressão padrão	CBR	
kgf/cm²	(%)	kgf/cm²	(%)	
70,31	100	105,46	100	
Pressão no ensaio	CBR	Pressão no ensaio	CBR	14%
kgf/cm²	(%)	kgf/cm²	(%)	
10	14	15	14	

49

Kbô

50