

Tecnologia, Infraestrutura e Território



Manual didático para a execução do ensaio Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Organizadores: Julio Bizarreta Ortega
Sara Ochoa Averos

Coleção Manuales

Manual didático para a execução do ensaio Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Organizadores: Julio Bizarreta Ortega
Sara Ochoa Averos



Julio Bizarreta Ortega

Sara Ochoa Averos

Manual didático para a execução do ensaio

Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Catálogo na Publicação (CIP)

M294 Manual didático para a execução do ensaio Índice de Suporte Califórnia (ISC) / Julio Bizarreta Ortega (Org.); Sara Ochoa Averos (Org.). Foz do Iguaçu: EDUNILA, 2022.

PDF (29 p.) : il. Col. Manuales.

ISBN: 978-65-86342-27-7

1. Engenharia rodoviária. 2. Índice de Suporte Califórnia - CBR (California Bearing Ratio). 3. Resistência de solo. 4. Ensino Médio. I. Ortega, Julio Bizarreta. II. Averos, Sara Ochoa. III Universidade Federal da Integração Latino-Americana - UNILA. IV. Título.

CDU 625

Ficha catalográfica elaborada por Leonel Gandi dos Santos CRB11/753

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra poderá ser reproduzida, arquivada ou transmitida por qualquer meio ou forma sem prévia autorização por escrito da EDUNILA – Editora Universitária.

EDUNILA – Editora Universitária
Av. Tancredo Neves, 6731 – Bloco 4
Caixa Postal 2044
Foz do Iguaçu – PR – Brasil
CEP 85867-970
Fones: +55 (45) 3522-9832
(45) 3522-9843 | (45) 3522-9836
editora@unila.edu.br
www.unila.edu.br/editora



*Dedicamos este manual a
nossos colegas de laboratório*



*Errar por tentar não é errado.
O errado é não tentar pensando que vai dar errado.*

Elielton Lima



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Molde cilíndrico para ISC e seus acessórios	13
Figura 2 – Moldagem dos corpos de prova.....	17
Figura 3 – Preparação do CP na etapa de expansão	18
Figura 4 – Mergulhar os CP.....	19
Figura 5 – Equipamento ISC	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de energia de compactação	14
Tabela 2 – Dados gerais	21
Tabela 3 – Dados teores de umidade	21
Tabela 4 – Dados da massa específica aparente seca.....	22
Tabela 5 – Determinação da curva de saturação.....	23
Tabela 6 – Dados gerais do ISC.....	24
Tabela 7 – Determinação da umidade atual	24
Tabela 8 – Quantidade de água a ser adicionada para atingir a umidade necessária para a preparação das amostras para o ensaio ISC	25
Tabela 9 – Determinação da umidade desejada	25
Tabela 10 – Determinação da massa específica aparente seca	26
Tabela 11 – Determinação da expansão.....	27
Tabela 12 – Determinação da penetração	28
Tabela 13 – Determinação do ISC	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Y	Massa específica dos grãos do solo
Y_a	Massa específica da água
Y_s	Massa específica aparente seca
D	Diâmetro
h	Teor de umidade
h_a	Média teor de umidade atual
$ISC_{0,1}$	Índice de Suporte Califórnia correspondente à penetração de 2,54 mm
$ISC_{0,2}$	Índice de Suporte Califórnia correspondente à penetração de 5,08 mm
M_1	Massa do solo úmido + cápsula
M_2	Massa do solo seco + cápsula
$P_{0,1}$	Pressão correspondente à penetração de 2,54 mm
$P_{0,2}$	Pressão correspondente à penetração de 5,08 mm
P_h	Peso úmido do solo compactado
P_m	Peso do molde
P_{sm}	Peso da amostra seca na umidade necessária
P_u	Peso do molde + solo úmido
S	Grau de saturação
U_p	Umidade necessária
V	Volume útil do molde cilíndrico
V_a	Quantidade de água a colocar

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	12
3.1 MATERIAIS	12
3.2 METODOLOGIA.....	13
4. ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	21
4.1 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	21
4.2 ETAPA DE COMPACTAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA O ENSAIO ISC.....	24
5. REFERÊNCIAS.....	29

1. Introdução

A avaliação da qualidade dos materiais para uso em pavimentação dependia de métodos indiretos, como identificação do solo e análise da fração fina. Porém, com o aumento do tráfego durante o início da década de 1930, tornou-se evidente que esses procedimentos não eram mais adequados. Assim, desenvolveram-se testes que gerassem uma correlação favorável entre o desempenho observado nas estradas e a ação do tráfego. O teste que cumpriu com esses requerimentos foi o teste de *California Bearing Ratio* (CBR) ou ensaio do Índice de Suporte California (ISC), reportado por O. J. Porter em 1930 (HEAD, 1994).

O ISC compara a pressão necessária para produzir a penetração de um pistão num corpo de prova de solo ou material granular e a mesma penetração em um material padronizado de referência.

Esse teste foi recomendado à *American Society for Testing and Materials* como um ensaio padrão por Stanton em 1944 e ainda é reconhecido e usado no mundo como um critério importante no projeto de pavimentos.

Este trabalho pretende apresentar uma introdução sobre o ensaio do ISC de maneira sucinta, clara e de fácil compreensão para um aluno que esteja começando os ensaios experimentais.

2. Fundamentação teórica

O ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC), ou *California Bearing Ratio* (CBR), é um ensaio empírico desenvolvido em 1930 no laboratório do Departamento de Pesquisa de Materiais da Divisão de Rodovias da Califórnia, nos Estados Unidos (HEAD, 1994).

O ensaio tem como finalidade determinar o valor relativo de ISC para o teor de umidade ótimo e a massa específica aparente seca máxima de solos, assim como os valores de expansão do solo. A partir disto, pode-se classificar solos com capacidade de suporte suficiente para a utilização em subleito ou camadas de um pavimento rodoviário (BOWLES, 1980).

Inicialmente, o Índice foi utilizado na Segunda Guerra mundial como parâmetro para a construção dos pavimentos em pistas de aeroportos. Entretanto, na atualidade, o ensaio ISC ainda é utilizado pelos engenheiros de estradas para obtenção da capacidade de suporte dos materiais que serão utilizados em um projeto de pavimento (BAÑON BLÁZQUES; BEVIÁ GARCÍA, 2002; FONSECA, 2002).

A partir deste ensaio obtêm-se um valor numérico que relaciona a pressão necessária para produzir a penetração de um pistão em um corpo de prova de solo e a pressão necessária para produzir a penetração de um pistão em uma brita graduada padronizada (BRASIL, 2006).

Durante o ensaio são medidas, respectivamente, pressões para 2,54 mm e 5,08 mm de penetração do pistão de corpo de prova. Comparando o ISC calculado para cada caso, se o valor do ISC obtido para 5,08 mm for o meio, então repete-se o ensaio. Se no segundo ensaio o maior valor de ISC foi novamente obtido para 5,08 mm de penetração do pistão, então esse valor é adotado como valor final (BOWLES, 1980).

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT) é a encarregada de desenvolver as Normas Brasileiras (NBR). A norma técnica para o Índice de Suporte Califórnia é a NBR 9895:2016, tendo por normas complementares a NBR 5734:1989 (Peneiras para ensaios), a NBR 6457:2016 (Amostras de solos) e a NBR 7182:2016 (Ensaio de Compactação). Pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), tem-se a norma DNER-ME 049:1994. Segundo a NBR 9895, a determinação do ISC é obtida mediante um procedimento conjunto de preparação da amostra, moldagem dos corpos de prova, expansão e penetração.

3. Procedimento experimental

3.1 Materiais

A lista de materiais apresentada é fundamentada na NBR 9895:2016 e nas recomendações de Head (1994). A seguir, apresentamos a lista de materiais:

- Prensa elétrica de 5000 kgf de capacidade para ensaios ISC Almofariz de porcelana com gral (pistilo) e luva;
- Molde cilíndrico metálico com as dimensões padronizadas especificadas pela NBR 9895, com altura de 177,8 mm e diâmetro de 152,4 mm. Soma-se ao cilindro metálico (molde) o colarinho e a base com altura de 60,8 mm e diâmetro de 152,4 mm (detalhes na figura 1);
- Disco espaçador com altura de 63,5 mm e diâmetro de 150,0 mm;
- Disco anelar para sobrecarga;
- Prato perfurado com haste ajustável com altura de 5,0 mm e diâmetro de 145,0 mm;
- Extensômetros com curso mínimo de 10,0 mm e precisão de 0,01 mm;
- Tripé porta extensômetro para cilindro;
- Balanças que permitam pesar nominalmente 200 g e 20 kg, com resoluções de 0,01 g e 1 g;
- Bandejas metálicas;
- Cápsulas metálicas pequenas com tampas para determinar o teor de umidade;
- Conchas metálicas;
- Óleo ou desmoldante (exemplo: vaselina);
- Espátula de lâmina flexível;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105 °C e 110 °C;
- Papel filtro circular com diâmetro de 150,0 mm;
- Peneira de 4,8 mm;
- Pincel com cerdas de 25,4 mm;
- Proveta de vidro de 1 L;

- Régua de aço biselada com 30,0 cm de comprimento;
- Faca metálica;
- Soquete metálico para compactação mecanizada, com massa de 4536 ± 10 g e controle de queda de 457 ± 2 mm; e
- Tanque ou recipiente para imersão dos corpos de prova.

Figura 1 – Molde cilíndrico para ISC e seus acessórios



Fonte: Os autores (2019).

3.2 Metodologia

I. Preparação da amostra

1. Colocar o solo dentro de bandejas metálicas e secar ao ar por 24 horas, sobre uma superfície limpa e nivelada
2. Destorroar a amostra seca por meio de almofariz de porcelana, evitando-se a quebra dos grãos
3. Fazer o quarteamento da amostra
 - a) Misturar a amostra até ficar homogênea
 - b) Fazer uma pilha cônica
 - c) Achatar a pilha até obter uma espessura uniforme e um diâmetro definido
 - d) Dividir a amostra em 4 partes iguais
 - e) Retirar duas partes diagonalmente opostas
 - f) Fazer um novo quarteamento com as duas partes restantes até atingir 6000 g

para solos siltosos ou argilosos (fração granulométrica $< 0,075$ mm) e 7000 g para os arenosos ou pedregulhosos (fração granulométrica $\geq 0,0075$ mm)

4. Peneirar a amostra

- g) Passar a amostra na peneira de 19 mm
- h) Se houver material retido nessa malha, deve-se substituir por igual quantidade em peso do material passado na de 19 mm e retido na peneira de 4,8 mm

II. Moldagem dos corpos de prova

1. Selecionar a energia de compactação considerando a camada do pavimento (subleito, sub-base ou base). As energias de compactação segundo a NBR 7182:2016 são apresentadas na tabela 1:

Tabela 1 – Tipos de energia de compactação

Cilindro	Características inertes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Grande	Soquete (4,540 kg)	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Altura do disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5
Empregos típicos		Subleito e reforço de subleito	Base e sub-base	

Fonte: ABNT (2016).

2. Colocar óleo ou desmoldante nas paredes do molde cilíndrico (pode ser vaselina sólida)
3. Pesar o molde na balança de 20 kg
4. Fazer a montagem do cilindro
 - a) Colocar o colarinho na parte superior do molde cilíndrico
 - b) Sobrepor o conjunto cilíndrico na base metálica
 - c) Posicionar com precaução o disco espaçador por dentro do molde cilíndrico
 - d) Colocar o papel filtro com diâmetro igual ao do molde utilizado (para evitar a aderência da amostra de solo à base metálica) (figura 2B)
 - e) Transferir o conjunto cilíndrico ao soquete de compactação mecânico
5. Fazer o acerto da umidade
 - f) Medir, na proveta de vidro, a quantidade de água necessária para cada umidade desejada (em torno de 5 percentagens de umidade determinadas no ensaio de compactação pelo método Proctor – 3 abaixo da umidade ótima, 2 acima da umidade ótima)
 - g) Adicionar a água ao solo e homogeneizar a amostra (figura 2C)
6. Determinar o teor de umidade*
 - h) Pesar as cápsulas metálicas com as tampas
 - i) Colocar o solo retirado dentro de cada cápsula metálica
 - j) Fechar com a tampa e pesar
 - k) Deixar as cápsulas dentro do forno 24 horas
 - l) Findo esse prazo, pesar as cápsulas com solo seco + tampa para determinar o teor de umidade em cada caso

*O processo de pesagem será realizado na balança de 200g (figura 2D)

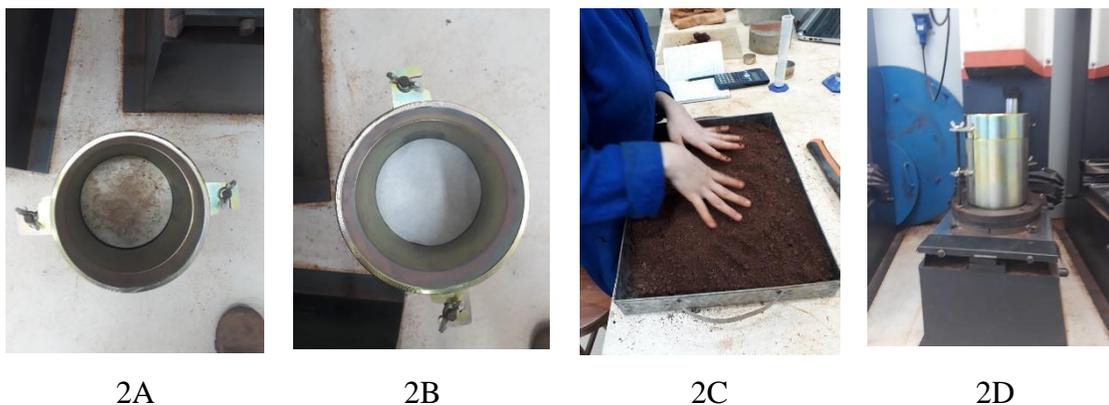
7. Compactar o corpo de prova

- m) Com a ajuda da concha, colocar um quinto de solo dentro do conjunto cilíndrico
- n) Ligar o soquete metálico com número de golpes previamente programado
- o) Ao terminar a primeira camada, com uma faca metálica escarificar o solo e adicionar a segunda camada de solo (um quinto de solo)
- p) Ligar o soquete metálico e, ao concluir o número de golpes previsto, terminar de escarificar novamente o solo de forma a obter amostras que serão colocadas em cápsulas metálicas para posterior determinação da umidade de cada uma
- q) Colocar a terceira camada de solo, ligar o soquete metálico e repetir o processo para as duas últimas camadas

A sequência descrita para a compactação é ilustrada na figura 2E.

- 8. Ao terminar a última camada, deve haver um excesso de, no máximo, 10 mm de solo, o qual deve ser removido e rasado com o auxílio da régua biselada
- 9. Retirar o disco espaçador e pesar o molde mais a amostra de solo na balança de 20 kg

Figura 2 – Moldagem dos corpos de prova



2A

2B

2C

2D



2E

Fonte: Os autores (2019).

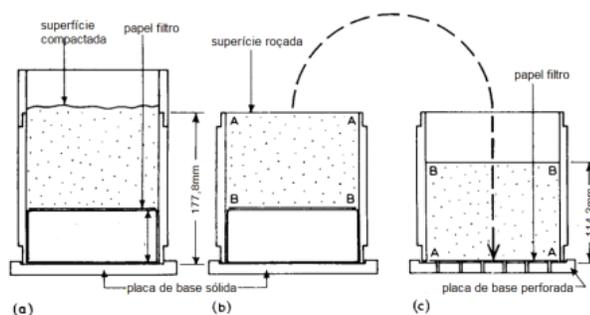
III. Expansão

1. Preparação do corpo de prova

- a) Inverter os moldes e fixá-los nos respectivos pratos-base, ou seja, após a compactação e o corte da superfície superior, a placa de base e o disco espaçador são removidos e o molde é invertido
- b) A placa de base é ajustada à parte recortada da amostra, embaixo de um papel filtro, conforme ilustra a figura 3

2. Após a compactação do corpo de prova (CP), no espaço deixado pelo disco espaçador, colocar o prato perfurado com a haste de expansão e sobre ele os dois discos anelares cuja massa total deve ser de (4540 ± 20) g
3. Na haste de expansão, adaptar a haste do extensômetro e ajustar a leitura inicial (figura 4A)
4. Mergulhar o molde 117,8 mm, até a linha de referência, como mostrado na figura 4B
5. Efetuar as leituras a cada 24 horas por 3 dias
6. Terminado o período de saturação, retirar cada corpo de prova e deixar escoar a água durante 15 minutos

Figura 3 – Preparação do CP na etapa de expansão



Fonte: Adaptado de Head (1994).

Figura 4 – Mergulhar os CP



4A



4B

Fonte: Os autores (2019).

IV. Penetração

1. Preparação do CP

- a) Retirar o extensômetro, o sistema móvel de medida de expansão, a haste e os discos anelares de sobrecarga
- b) Colocar novamente os discos anelares de sobrecarga e transferir à prensa ISC, conforme ilustrado na figura 5

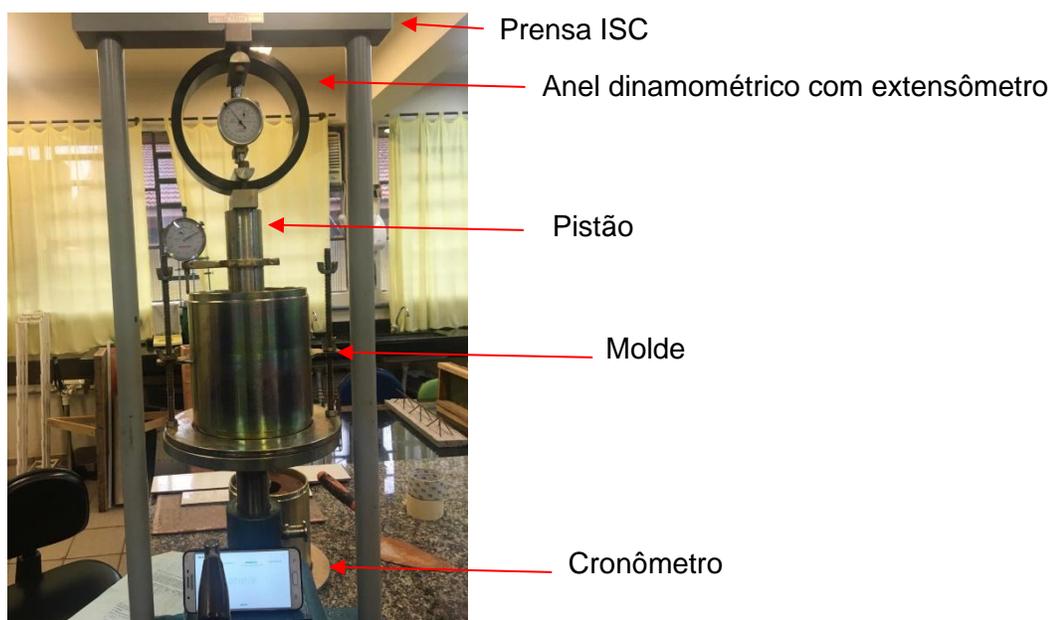
2. Ajuste do CP na prensa

- c) Centralizar o pistão
- d) Girar a manivela para aproximar o pistão à amostra de solo
- e) Parar de girar a manivela quando se registrem valores no extensômetro do anel dinamométrico

3. Determinação do ISC

- f) Proceder ao assentamento do pistão de penetração na amostra de solo
- g) Zerar os extensômetros
- h) Acionar a manivela da prensa com velocidade de 1,27 mm/min

Figura 5 – Equipamento ISC



Fonte: Os autores (2019).

4. Atividades e apresentação dos resultados

4.1 Ensaio de compactação

O ensaio de compactação é uma etapa anterior ao ensaio ISC e tem por objetivo determinar dois parâmetros: a umidade ótima e a massa específica aparente máxima. As tabelas 2, 3, 4 e 5 apresentam os elementos que devem ser considerados para a determinação dos parâmetros anteriormente mencionados.

Tabela 2 – Dados gerais

Energia de compactação		Peso do soquete	
Camadas		Nº golpes	
Dimensões do molde	Diâmetro [cm]		
	Altura [cm]		
	Volume [cm ³]		

Tabela 3 – Dados teores de umidade

Identificação da cápsula [-]			
Massa do solo úmido + cápsula M_1 [g]			
Massa do solo seco + cápsula M_2 [g]			
Massa do recipiente M_3 [g]			
Teor de umidade h [%]			

$$h = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100 \quad (1)$$

Tabela 4 – Dados da massa específica aparente seca

Identificação da cápsula [-]			
Peso do molde P_m [g]			
Peso do molde + solo úmido P_u [g]			
Peso úmido do solo compactado P_h [g]			
Volume útil do molde cilíndrico V [cm ³]			
Teor de umidade do solo compactado h [%]			
Massa específica aparente seca Y_s [g/cm ³]			

$$Y_s = \frac{P_h \times 100}{V (100 + h)} = \frac{\frac{Ph}{V}}{1 + \frac{h(\%)}{100}} \quad (2)$$

Tabela 5 – Determinação da curva de saturação

Identificação da cápsula [-]			
Grau de saturação igual a 100% S			
Teor de umidade do solo compactado h [%]			
Massa específica da água Y_a [g/cm ³]			
Massa específica dos grãos do solo Y [g/cm ³]			
Massa específica aparente seca Y_s [g/cm ³]			

Curva de compactação

Massa específica aparente seca [g/cm ³]														
	Conteúdo de umidade [%]													

4.2 Etapa de compactação das amostras para o Ensaio ISC

Nas tabelas 6, 7, 8, 9 e 10 são apresentados os elementos que devem ser considerados para a compactação, lembrando que são 3 percentagens abaixo da umidade ótima e 2 percentagens acima daquele valor.

Tabela 6 – Dados gerais do ISC

Energia de compactação		Peso do soquete	
Camadas		Nº golpes	
Dimensões do molde	Diâmetro [cm]		
	Altura [cm]		
	Volume [cm ³]		

Tabela 7 – Determinação da umidade atual

Identificação da cápsula [-]			
Massa do solo úmido + cápsula M_1 [g]			
Massa do solo seco + cápsula M_2 [g]			
Massa do recipiente M_3 [g]			
Teor de umidade h [%]			
Média teor de umidade atual ha [%]			

$$ha = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100 \quad (3)$$

Tabela 8 – Quantidade de água a ser adicionada para atingir a umidade necessária para a preparação das amostras para o ensaio ISC

Umidade necessária U_p [%]	
Peso da amostra na umidade atual P_h [g]	
Peso da amostra seca na umidade atual P_s [g]	
Peso da amostra seca na umidade necessária P_{sn} [g]	
Quantidade de água a colocar V_a [ml]	

$$P_s = \frac{P_h}{\left(\frac{ha}{100} + 1\right)} \quad (4)$$

$$P_{sn} = P_s \times \left(1 + \frac{U_p}{100}\right) \quad (5)$$

$$V_a = P_{sn} - P_s \quad (6)$$

Tabela 9 – Determinação da umidade desejada

Identificação da cápsula [-]			
Massa do solo úmido + cápsula M_1 [g]			
Massa do solo seco + cápsula M_2 [g]			
Massa do recipiente M_3 [g]			
Teor de umidade h [%]			

$$h = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100 \quad (7)$$

Tabela 10 – Determinação da massa específica aparente seca

Identificação da cápsula [-]			
Grau de saturação igual a 100% S			
Teor de umidade do solo compactado h [%]			
Massa específica da água Y_a [g/cm ³]			
Massa específica dos grãos do solo Y [g/cm ³]			
Massa específica aparente seca Y_s [g/cm ³]			

$$Y_s = \frac{P_h \times 100}{V(100 + h)} = \frac{\frac{Ph}{V}}{1 + \frac{h(\%)}{100}} \quad (8)$$

4.4 Etapa penetração

Tabela 12 – Determinação da penetração

Diâmetro do pistão [mm]			Área do pistão [mm ²]	
Tempo [min]	Penetração [mm]	Leitura [mm]	Carga [N]	Pressão [MPa]
0,5	0,63			
1,0	1,27			
1,5	1,90			
2,0	2,54			
2,5	3,17			
3,0	3,81			
3,5	4,44			
4,0	5,08			
5,0	6,35			
6,0	7,62			
7,0	8,89			
8,0	10,16			
9,0	11,43			
10,0	12,7			

Tabela 13 – Determinação do ISC

Penetração [mm]	Pressão [MPa]	ISC [%]	Padrão [kgf/cm ²]
	Calculada	Corrigida	
2,54	$P_{0,1''}$ =	$ISC_{0,1}$ =	70
5,08	$P_{0,2''}$ =	$ISC_{0,2}$ =	105

Nota: adotar o maior dos valores obtidos nas penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm.

$$ISC_{0,1} = \frac{(P_{0,1''})}{70} \times 100 \quad (10)$$

$$ISC_{0,2} = \frac{(P_{0,2''})}{105} \times 100 \quad (11)$$

5. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 9895**: Índice de Suporte Califórnia: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ABNT. **ABNT NBR 5734**: Peneiras para ensaios: especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT. **ABNT NBR 6457**: amostras de solo: preparação para ensaio normal de compactação e ensaios de caracterização: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT. **ABNT NBR 7182**: solo - ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BAÑON BLÁZQUES, L.; BEVIÁ GARCÍA, J. **Manual de carreteras**: construcción, mantenimiento. España: Universidad de Alicante, 2000.

BOWLES, J. **Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil**. México: McGraw-Hill de México, 1980.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Manual de pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), 2006.

HEAD, K. H. **Manual of soil laboratory testing**: permeability, shear strength and compressibility tests. 2. ed. New York: Wiley, 1994. 440 p. ISBN: 9780470233627.

MONTEJO FONSECA, A. **Ingeniería de pavimentos para carreteras**. 2. ed. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2002. 734 p. ISBN: 958-96036-2-9.



Este manual didático apresenta uma introdução sobre o ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC), ou *California Bearing Ratio* (CBR), de maneira sucinta, clara e de fácil compreensão para um discente iniciante nos ensaios experimentais.