



MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

DEPARTAMENTO NACIONAL DE
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA GERAL

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E
PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS

Setor de Autarquias Norte/ Quadra 03 Lote A
Edifício Núcleo dos Transportes
Brasília/DF – CEP 70040-902
E-mail: ipr@dnit.gov.br
Tel. (61) 3315-4831

Março/2016

NORMA DNIT 172/2016 - ME

Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

Processo: 50607.002143/2014-17

Origem: Revisão da Norma DNER-ME 049/94

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de 15/03/2016.

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial

Palavras-Chave:

Solo, Índice de Suporte Califórnia (CBR)

**Total de
páginas**
17

Resumo

Esta norma fixa os procedimentos para determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC) de solos em laboratório utilizando-se amostras deformadas e não trabalhadas de material que passa na peneira de 19 mm. Prescreve a aparelhagem necessária, o ensaio, o cálculo da expansão, as condições para obtenção dos resultados e apresenta uma curva de compactação.

Abstract

This standard presents the procedures for California Bearing Ratio (CBR) determination of soils in the laboratory, using deformed and undisturbed soils samples containing material passing the 19 mm sieve. It establish the required equipment, testing, swelling evaluation, conditions to obtainment results, and presents a compaction curve.

Sumário

Prefácio	1
1 Objetivo	1
2 Referência normativa	1
3 Definições	2
4 Aparelhagem	2
5 Amostra	3
6 Ensaio	3

7 Cálculos	4
8 Resultados	6
Anexo A (Normativo) - Aparelhagem	7
Anexo B (Normativo) - Gráficos	16
Índice geral	18

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias-IPR/DPP para servir como documento base, visando estabelecer os procedimentos para determinação do valor relativo do suporte de solos utilizando-se amostras deformadas não trabalhadas de material que passa na peneira de 19 mm, correspondente à umidade ótima e massa específica aparente seca máxima.

Está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009-PRO e cancela e substitui a Norma DNER-ME 049/94.

1. Objetivo

Esta Norma tem por objetivo fixar as condições para determinação do Índice de Suporte Califórnia de solos, utilizando amostras não trabalhadas.

2. Referência normativa

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação desta Norma. Aplica-se a edição mais recente do referido documento (incluindo emendas).

NBR 9895: Solo – Índice de suporte Califórnia.

DNIT 001/2009-PRO: Elaboração e apresentação de normas do DNIT – Procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2009.

3. Definições

Entende-se por amostra não trabalhada aquela amostra de solo que não foi reutilizada nos ensaios. Já a amostra não deformada é aquela que se apresenta conforme foi retirada da natureza.

4. Aparelhagem

A aparelhagem necessária é a seguinte:

a) Molde cilíndrico metálico com $15,24 \text{ cm} \pm 0,05 \text{ cm}$ de diâmetro interno e $17,78 \text{ cm} \pm 0,02 \text{ cm}$ de altura, com entalhe superior externo em meia espessura; cilindro complementar com $6,08 \text{ cm}$ de altura e com o mesmo diâmetro do molde, com entalhe inferior interno em meia espessura e na altura de 1 cm ; e base metálica com dispositivo de fixação do molde cilíndrico e do cilindro complementar, tudo conforme a Figura 1 do Anexo A, desta Norma.

O molde cilíndrico e o cilindro complementar devem ser constituídos do mesmo material;

b) Disco espaçador metálico, de $15,00 \text{ cm} \pm 0,05 \text{ cm}$ de diâmetro e de $6,35 \text{ cm} \pm 0,02 \text{ cm}$ de altura, conforme a Figura 2 do Anexo A, desta Norma;

c) Soquete metálico cilíndrico, de face inferior plana, com diâmetro de $5,08 \text{ cm} \pm 0,01 \text{ cm}$, massa de $4,536 \text{ kg} \pm 0,01 \text{ kg}$, e com altura de queda de $45,72 \text{ cm} \pm 0,15 \text{ cm}$, em conformidade com a Figura 3 do Anexo A.

A camisa cilíndrica do soquete deve ter, no mínimo, 4 (quatro) orifícios de 1 cm de diâmetro, separados entre si de 90° e, aproximadamente, a 20 cm da base.

Para o desempenho das mesmas funções pode ser utilizado instrumental mecanizado, devendo ser sempre ajustada a altura de queda do soquete, por meio de dispositivo regulador próprio, para aplicação dos golpes;

d) Prato perfurado de bronze ou latão, com $14,90 \text{ cm}$ de diâmetro e $0,50 \text{ cm}$ de espessura, com uma haste central de bronze ou latão, ajustável, constituída de uma parte fixa rosqueada e de uma camisa rosqueada internamente e recartilhada externamente, com a face superior plana para contato com o extensômetro (Anexo A – Figura 4);

e) Tripé porta-extensômetro, de bronze ou latão, com dispositivo para fixação do extensômetro (Figura 5);

f) Disco anelar de aço, para sobrecarga, dividido diametralmente em duas partes, com $2,27 \text{ kg}$ de massa total, com diâmetro externo de $14,90 \text{ cm}$ e diâmetro interno de $5,40 \text{ cm}$ (Figura 6);

g) Extensômetro, com curso mínimo de 10 mm , graduado em $0,01 \text{ mm}$;

h) Prensa, para determinação do Índice de Suporte Califórnia (Figura 7), composta de:

- quadro formado por base e travessa de ferro fundido e 4 (quatro) tirantes de aço, apresentando a travessa um entalhe inferior para suspensão de um conjunto dinamométrico;
- macaco de engrenagem, de operação manual por movimento giratório de uma manivela, com duas velocidades, acompanhado de um prato reforçado ajustável ao macaco, com 24 cm de diâmetro, para suportar o molde;
- conjunto dinamométrico com capacidade para 50 KN , sensível a 25 N , constituído por: anel de aço com dimensões compatíveis com a carga citada, com dispositivo para se fixar ao entalhe da travessa; extensômetro graduado em $0,001 \text{ mm}$, fixado ao centro do anel, para medir encurtamentos diametraes; pistão de penetração (Figura 8), de aço, com $4,96 \text{ cm}$ de diâmetro e com uma altura de cerca de 19 cm , variável conforme as condições do ensaio, e fixo à parte inferior do anel; e extensômetro graduado em $0,01 \text{ mm}$, com curso maior que $12,70 \text{ mm}$, fixo lateralmente ao pistão, de maneira que seu pino se apoie
- na borda superior do molde, sendo importante citar que todo o conjunto dinamométrico pode ser substituído por um sistema de células de carga com unidades de leitura e sensibilidade apropriadas, permitindo obter diretamente os valores da carga aplicada durante a penetração. No caso em que for utilizada a célula de carga, nas tabelas 1 e 3, nas colunas onde está escrito “leitura no extensômetro” leia-se “unidade de leitura”;
- extrator de corpo de prova do molde cilíndrico, para funcionamento por meio de macaco hidráulico, com movimento alternativo de uma alavanca;

- balde de chapa de ferro galvanizado, com capacidade de cerca de 20 litros e com fundo de diâmetro mínimo de 25 cm;
- papel de filtro circular, de cerca de 15 cm de diâmetro;
- balança com capacidade de 20 kg, sensível a 5 g.

5. Amostra

5.1 A amostra recebida deve ser seca ao ar, destorroada no almofariz pela mão de gral, homogeneizada e reduzida, com o auxílio do repartidor de amostras ou por quarteamento, até se obter uma amostra representativa de 6000 g, para solos siltosos ou argilosos, e 7000 g, para os arenosos ou pedregulhosos.

5.2 Passa-se essa amostra representativa na peneira de 19 mm; havendo material retido nessa peneira, procede-se à substituição do mesmo por igual quantidade, em massa, do material passando na peneira de 19 mm e retido na peneira de 4,8 mm, obtido de outra amostra representativa, conforme subseção 5.1.

5.3 Repetem-se as operações referidas nas subseções 5.1 e 5.2 tantas vezes quantos corpos de prova tiverem de ser moldados, geralmente cinco.

6. Ensaio

6.1 Moldagem do corpo de prova

6.1.1. Fixa-se o molde à sua base metálica, ajusta-se o cilindro complementar e apoia-se o conjunto em uma base com massa igual ou superior a 90KG. Compacta-se o material referido na seção 5 com o disco espaçador especificado na alínea “b”, da seção 4 como fundo falso, em cinco camadas iguais, de forma a se ter uma altura total de solo de cerca de 12,5 cm após a compactação. Cada camada deve receber 12 golpes do soquete, no caso de material de subleito, 26 ou 55 golpes, nos casos de materiais de sub-base ou base, respectivamente, caindo de 45,72 cm, e distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada.

Em função dos estudos econômicos e ambientais poderá ser proposta no projeto uma energia de compactação adequada às características geotécnicas do material a ser utilizado na execução de camada do pavimento, após aprovação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias/DNIT.

6.1.2. Remove-se o cilindro complementar, tendo-se antes o cuidado de destacar, com o auxílio de uma espátula, o material a ele aderente. Com uma régua rígida biselada rasa-se o material na altura exata do molde e determina-se, com aproximação de 5 g, o peso do material úmido compactado, P'_h .

6.1.3. Retira-se do material excedente da moldagem uma amostra representativa de cerca de 100 g, para a determinação do teor de umidade. Pesa-se essa amostra e seca-se em estufa a 105 °C – 110 °C, até constância de massa, e executam-se as pesagens, com incerteza de 0,1 g.

6.1.4. Repetem-se as operações das subseções 6.1.1, 6.1.2 e 6.1.3 para teores crescentes de umidade, utilizando-se amostras de solo não trabalhadas, tantas vezes quantas necessárias para caracterizar a curva de compactação. Estes corpos de prova moldados serão utilizados nos ensaios de expansão e penetração.

Procede-se ao cálculo da massa específica aparente do solo, conforme descrito na seção 7 desta Norma.

6.2 Expansão

Terminadas as moldagens necessárias para caracterizar a curva de compactação, o disco espaçador de cada corpo de prova deve ser retirado e os moldes devem ser invertidos e fixados nos respectivos pratos-base perfurados.

Em cada corpo de prova, no espaço deixado pelo disco espaçador deve ser colocada a haste de expansão com os pesos anelares. Essa sobrecarga deve ter massa superior a 4,536 kg.

Adapta-se, ainda, na haste de expansão, um extensômetro fixo ao tripé porta-extensômetro, colocado na borda superior do cilindro, destinado a medir as expansões ocorridas, que devem ser anotadas de 24 em 24 horas, em porcentagens da altura inicial do corpo de prova. Os corpos de prova devem permanecer imersos em água durante 96 horas (quatro dias).

Terminado o período de embebição, cada molde com o corpo de prova deve ser retirado da imersão e deixa-se escoar a água durante 15 minutos. Findo esse tempo, o corpo de prova estará preparado para a penetração.

Procede-se ao cálculo da expansão durante a embebição, conforme descrito na seção 7.2.

6.3 Penetração

O ensaio de penetração é realizado em uma prensa, conforme especificado na alínea “h”, da seção 4, desta Norma.

Para esse ensaio devem ser colocadas no topo de cada corpo de prova, dentro do molde cilíndrico, as mesmas sobrecargas utilizadas no ensaio de expansão (ver subseção 6.2).

Leva-se esse conjunto ao prato da prensa e faz-se o assentamento do pistão de penetração no solo, por meio da aplicação de uma carga de, aproximadamente, 45N, controlada pelo deslocamento do ponteiro do extensômetro do anel dinamométrico; zeram-se, a seguir, o extensômetro do anel dinamométrico e o que mede a penetração do pistão no solo. Aciona-se a manivela da prensa (dispositivo micrométrico) com a velocidade de 1,27 mm/min. (0,05 pol/min.). Cada leitura considerada no extensômetro do anel é função de uma penetração do pistão no solo e de um tempo especificado para o ensaio, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Leituras obtidas no extensômetro do anel em função da penetração do pistão no solo e do tempo

Tempo (min)	Penetração		Leitura no extensômetro do anel (mm)
	pol	mm	
0,5	0,025	0,63	-
1,0	0,050	1,27	-
1,5	0,075	1,90	-
2,0	0,100	2,54	-
3,0	0,150	3,81	-
4,0	0,200	5,08	-
6,0	0,300	7,62	-
8,0	0,400	10,16	-
10,0	0,500	12,70	-

As leituras efetuadas no extensômetro do anel medem encurtamentos diametrais provenientes da atuação das cargas.

No gráfico de aferição do anel tem-se a correspondência entre as leituras no extensômetro do anel e as cargas atuantes.

O cálculo do Índice de Suporte Califórnia (ISC) correspondente a cada corpo de prova deve ser calculado de acordo com a seção 7 seguinte.

7. Cálculos

7.1 Cálculo da massa específica aparente do solo seco compactado

O cálculo da massa específica aparente do solo seco compactado de cada corpo de prova moldado como descrito na subseção 6.1, na umidade h, deve ser realizado como segue:

a) Determina-se, inicialmente, a massa específica aparente úmida (μ_h) de cada corpo de prova pela fórmula:

$$\mu_h = \frac{P'_h}{V}$$

Onde:

P'_h – massa do solo úmido compactado, obtido como indicado em 6.1.2, em gramas;

V – volume do solo úmido compactado, em cm^3 .

b) Em seguida se obtém a massa específica aparente do solo seco compactado (μ_s) pela fórmula:

$$\mu_s = \mu_h \times \frac{100}{100+h}, \text{ em g/cm}^3$$

Onde:

h – teor de umidade do solo compactado, como indicado em 6.1.3, em percentagem.

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

Onde:

P_h – massa do material úmido;

P_s – massa do material seco.

7.2 Cálculo da expansão

O cálculo da expansão e da água absorvida (subseção 6.2) durante a embebição, para cada corpo de prova deve ser utilizado o quadro da Tabela 2.

Tabela 2 – Cálculo da expansão

Data	Hora	Tempo decorrido min.	Molde nº		
			Leituras no extensômetro Mm	Diferenças de leituras no extensômetro mm	Expansão %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)

As colunas apresentadas na Tabela 2 indicam:

Coluna 1 – data do início do ensaio;

Coluna 2 – hora das leituras efetuadas no extensômetro;

Coluna 3 – tempo decorrido entre as leituras do extensômetro, que devem ser de 24 em 24 horas;

Coluna 4 – leituras no extensômetro;

Coluna 5 – diferença das leituras efetuadas de 24 em 24 horas;

Coluna 6 – percentagem de expansão relativa à altura inicial do corpo de prova.

$$\text{Expansão (\%)} = \frac{\text{leitura final} - \text{leitura inicial no extensômetro}}{\text{altura inicial do corpo de prova}} \times 100$$

7.3 Cálculo do Índice de Suporte Califórnia

O cálculo do Índice de Suporte Califórnia correspondente

a leitura de cada corpo de prova (subseção 6.3) deve ser

feito utilizando-se a Tabela 3.

Tabela 3 – Cálculo do Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Tempo min (1)	Penetração (2)		Pressão padrão kgf/cm² (3)	Molde nº			
	mm	pol.		Leituras no extensômetro mm (4)	Pressão		(7) ISC %
					Calculada kgf/cm² (5)	Corrigida kgf/cm² (6)	
0,5	0,63	0,025	-				
1,0	1,27	0,050	-				
1,5	1,90	0,075	-				
2,0	2,54	0,100	70,31				
3,0	3,81	0,150	-				
4,0	5,08	0,200	105,46				
6,0	7,62	0,300	131,58				
8,0	10,16	0,400	161,71				
10,0	12,7	0,500	182,80				

As colunas apresentadas na Tabela 3 indicam:

Coluna 1 – tempo;

Coluna 2 – penetração ocorrida no tempo especificado;

Coluna 3 – pressão padrão, que é a correspondente a um determinado tipo de pedra britada que apresenta Índice de Suporte Califórnia de 100%;

Coluna 4 – leituras no extensômetro do anel;

Coluna 5 – pressão correspondente às leituras do anel no gráfico de aferição do mesmo;
Coluna 6 – pressão corrigida;
Coluna 7 – Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Nota: $1 \text{ kgf/cm}^2 = 0,1 \text{ MPa}$

Deve-se traçar a curva penetração escala logarítmica x pressão aplicada do pistão.

A pressão corrigida (coluna 6) pode ser obtida pela correção da curva pressão-penetração. Consiste em ajustar o ponto zero da curva a fim de corrigir os efeitos provenientes da irregularidade da superfície do corpo de prova.

Apresentando a curva pressão-penetração um ponto de inflexão, traça-se uma tangente à curva nesse ponto, até que a mesma intercepte o eixo das abscissas; a curva corrigida será, então, essa tangente mais a porção convexa da curva original, considerada a origem mudada para o ponto em que a tangente corta o eixo das abscissas; seja "c" a distância desse ponto à origem dos eixos. Soma-se às abscissas dos pontos correspondentes às penetrações de 0,1 polegadas e 0,2 polegadas à distância "c", com o que se determina, na curva obtida, os valores correspondentes das novas ordenadas, as quais representam os valores das pressões corrigidas para as penetrações antes referidas.

A correção pode ser obtida como mostra o Gráfico 1, do Anexo B, desta Norma.

O Índice de Suporte Califórnia (ISC), em porcentagem, para cada corpo de prova, é obtido pela fórmula:

$$\text{ISC} = \frac{\text{Pressão calculada ou pressão corrigida}}{\text{pressão padrão}} \times 100,$$

adotando-se o maior dos valores obtidos nas penetrações de 0,1 e 0,2 polegadas.

8. Resultados

8.1 Determinação da massa específica aparente seca máxima e umidade ótima

Os valores das massas específicas aparentes secas de cada corpo de prova e os valores correspondentes das umidades de moldagem permitem o traçado da curva de compactação do solo.

A ordenada máxima da curva fornece a massa específica aparente seca máxima e a abscissa que lhe corresponde é a umidade ótima do solo (ver Gráfico 2 do Anexo B).

8.2 Determinação gráfica do Índice de Suporte Califórnia final

De preferência, na mesma folha em que se representa a curva de compactação, usando-se a mesma escala das umidades de moldagem, registram-se, em escala adequada, sobre o eixo das ordenadas, os valores dos Índices de Suporte Califórnia obtidos segundo este Método, correspondentes aos valores das umidades que serviram para a construção da curva de compactação anteriormente descrita.

O valor da ordenada dessa curva, correspondente à umidade ótima antes determinada, fornece o Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Anexo A (Normativo) - Aparelhagem

Figura 1 – Molde cilíndrico, cilindro complementar e base metálica

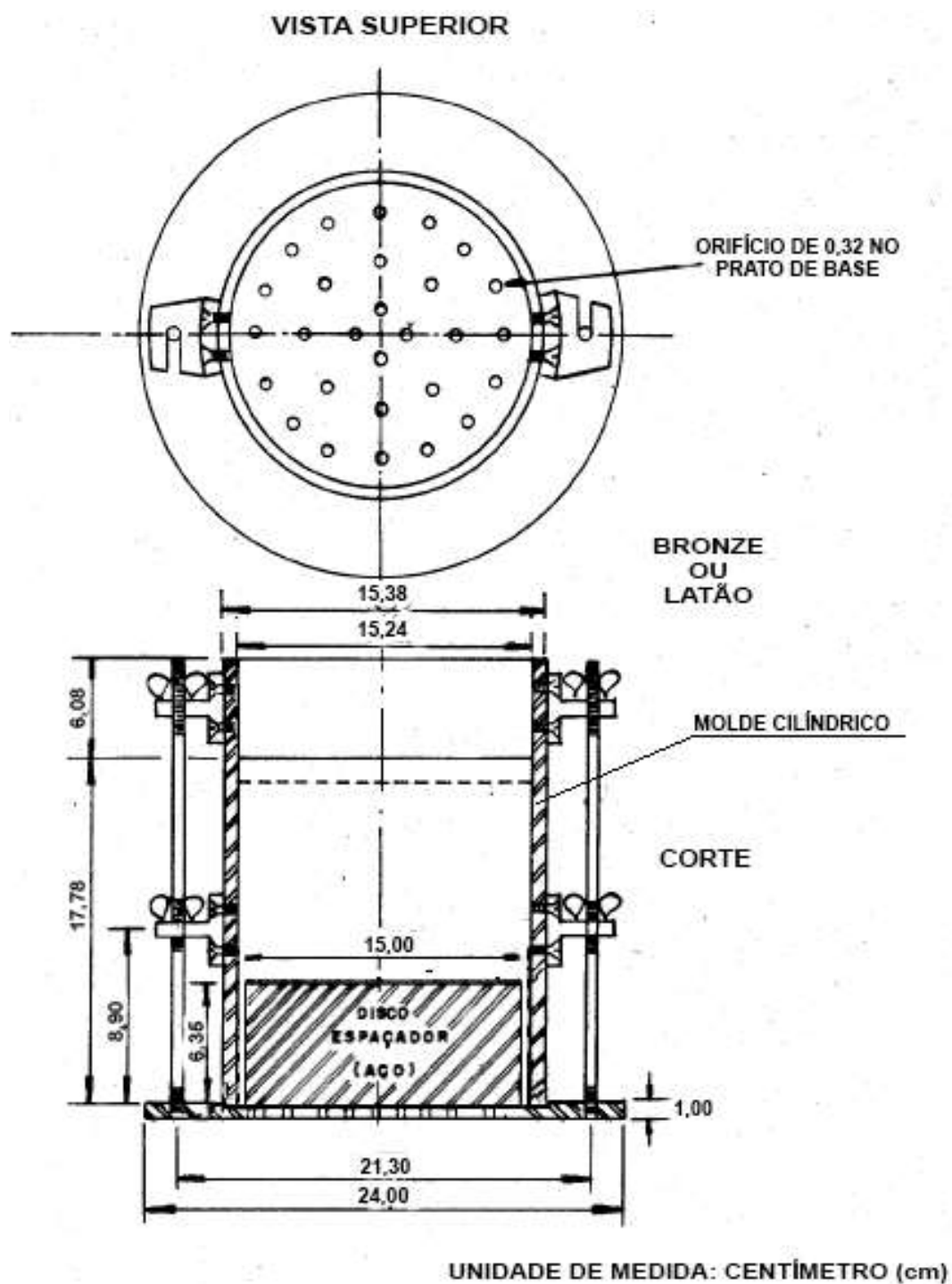
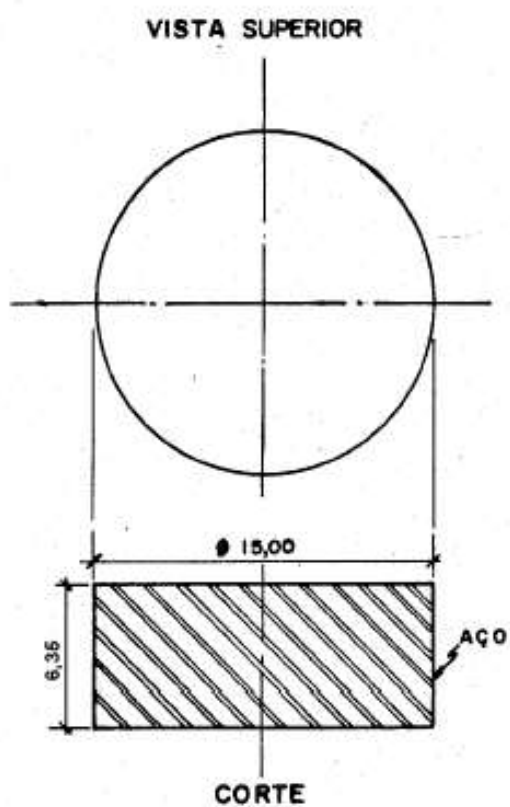
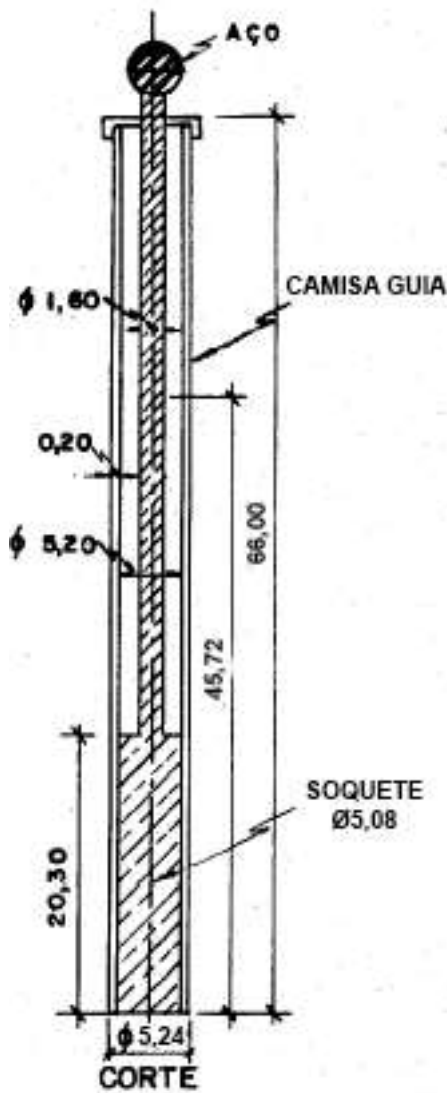


Figura 2 – Disco espaçador



UNIDADE DE MEDIDA : CENTÍMETRO (cm)

Figura 3 – Soquete



UNIDADE DE MEDIDA : CENTÍMETRO (cm)

Figura 4 – Prato perfurado com haste ajustável

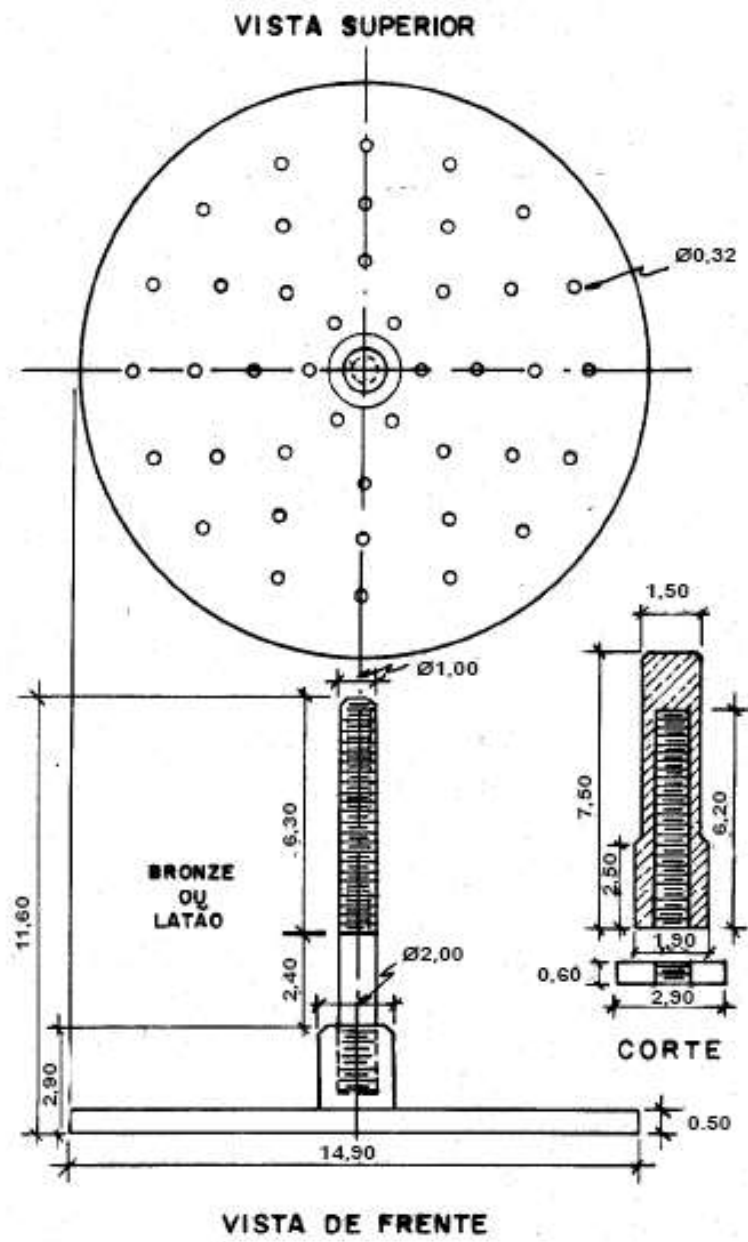


Figura 5 – Tripé porta-extensômetro

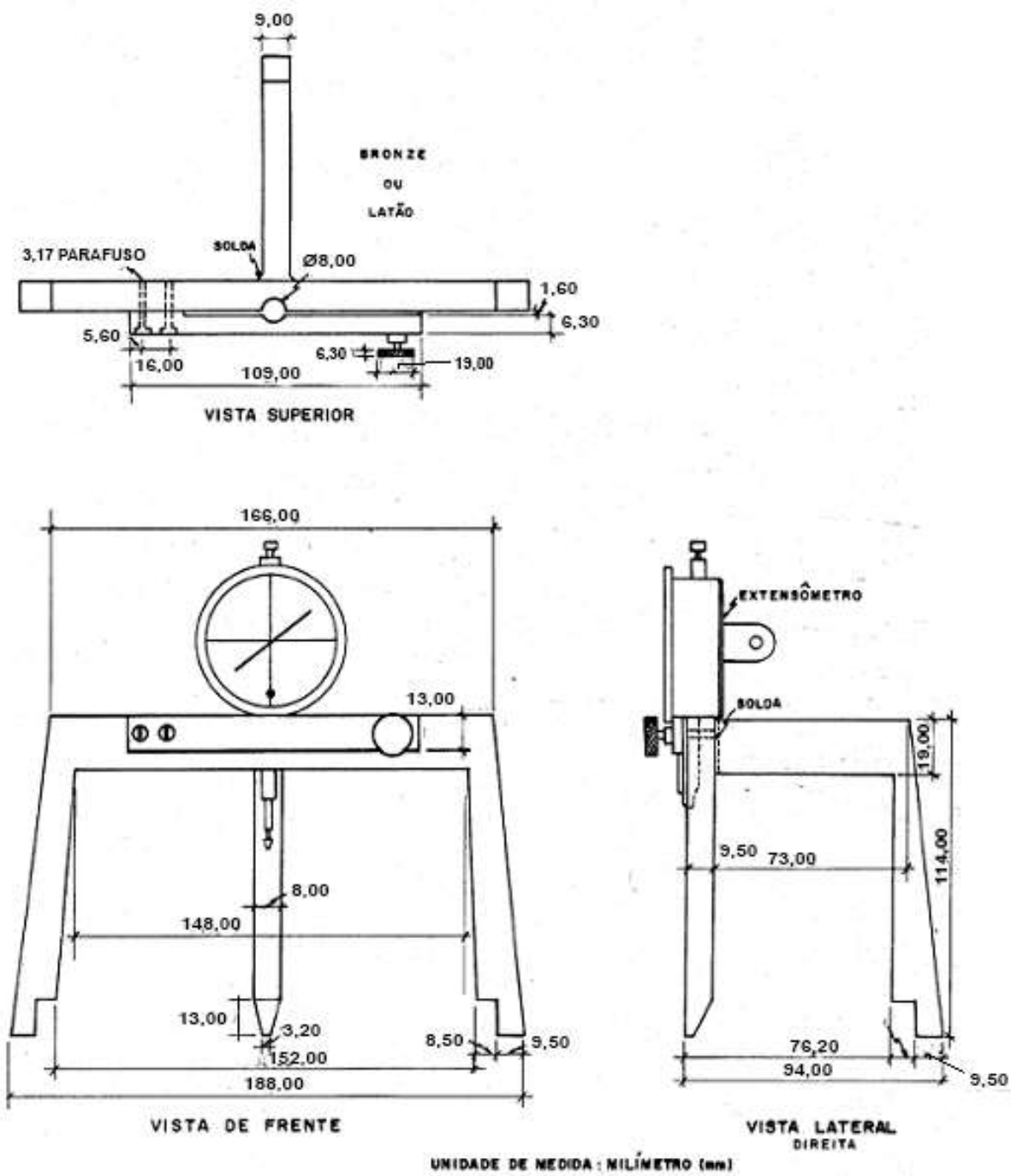
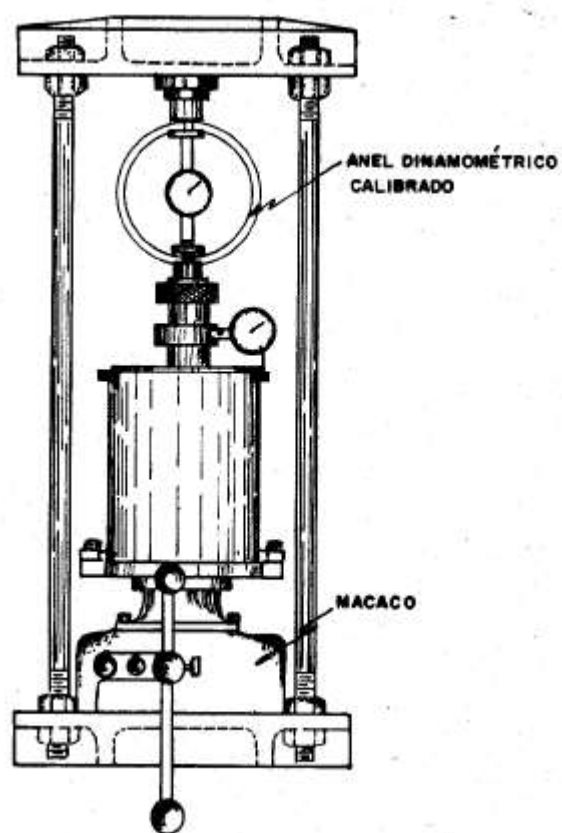


Figura 6 – Disco anelar



Figura 7 – Prensa para penetração



UNIDADE DE MEDIDA : CENTÍMETRO (cm)

Figura 8 – Pistão de penetração



UNIDADE DE MEDIDA : CENTÍMETRO (cm)

_____/Anexo B

Anexo B (Normativo) – Gráficos

Gráfico 1 – Gráfico de correção

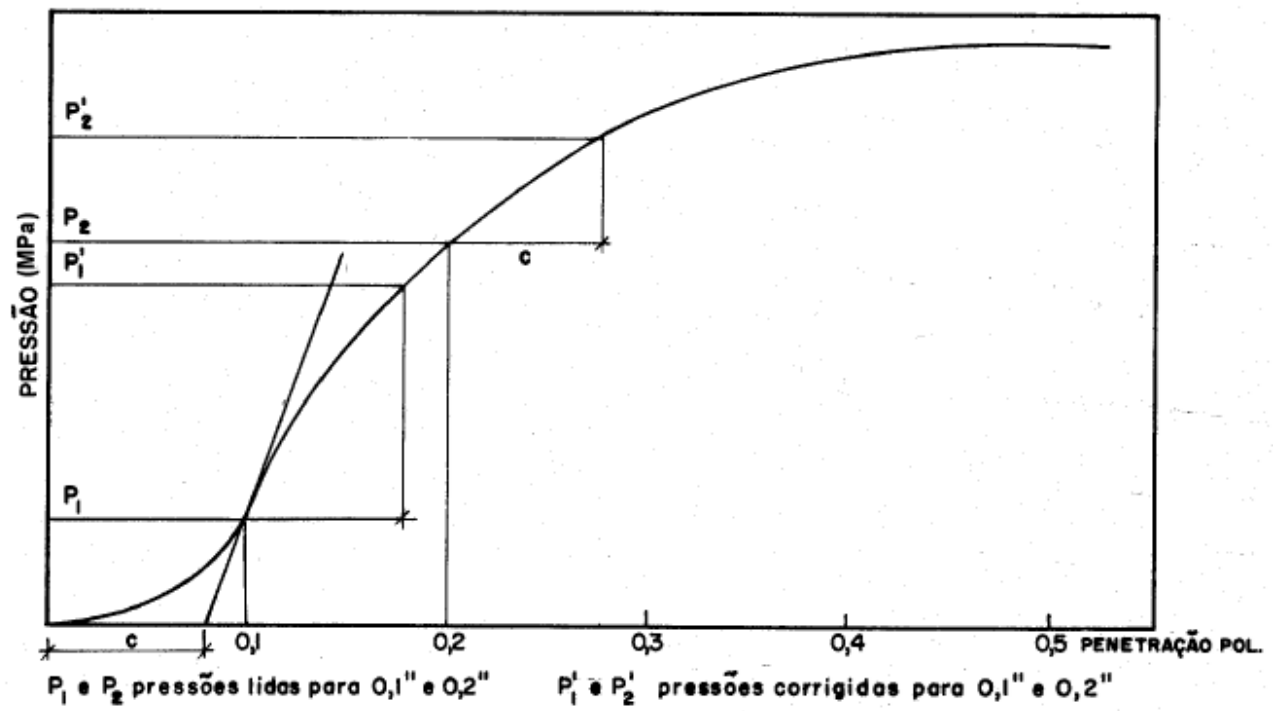
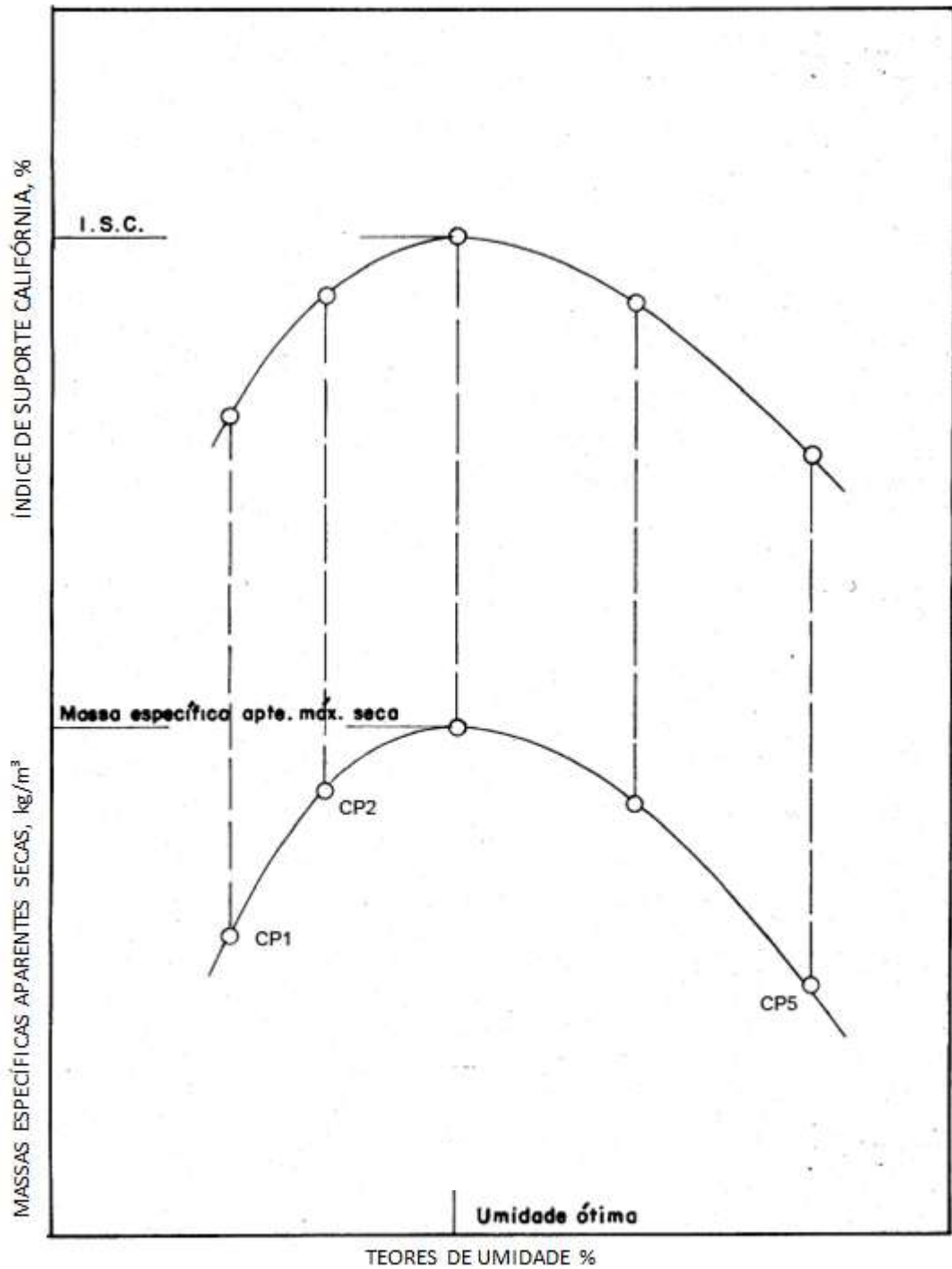


Gráfico 2 – Determinação gráfica do ISC



_____/Índice geral

Índice geral

Abstract		1	Ensaio	6	3
Amostra	5	3	Expansão	6.2	3
Anexo A (normativo) – Aparelhagem		7	Índice geral		17
Anexo B (normativo) – Gráficos		15	Moldagem do corpo de prova	6.1	3
Aparelhagem	4	2	Objetivo	1	1
Cálculos	7	4	Penetração	6.3	3
Cálculo da expansão	7.2	4	Prefácio		1
Cálculo da massa específica			Referência Normativa	2	1
aparente do solo seco compactado	7.1	4	Resultados	8	6
Cálculo do Índice de Suporte			Resumo		1
Califórnia	7.3	5	Sumário		1
Definições	3	2	Tabela 1 – Leituras obtidas no exten-		
Determinação da massa específica			sômetro do anel em função da pene-		
aparente seca máxima e umidade			tração do pistão no solo e do tempo		4
ótima	8.1	6	Tabela 2 – Cálculo da expansão		5
Determinação gráfica do Índice			Tabela 3 – Cálculo do Índice de		
de Suporte Califórnia final	8.2	6	Suporte Califórnia (ISC)		5