



HELLO  
WORLD!

**Fábio Albino de Souza**

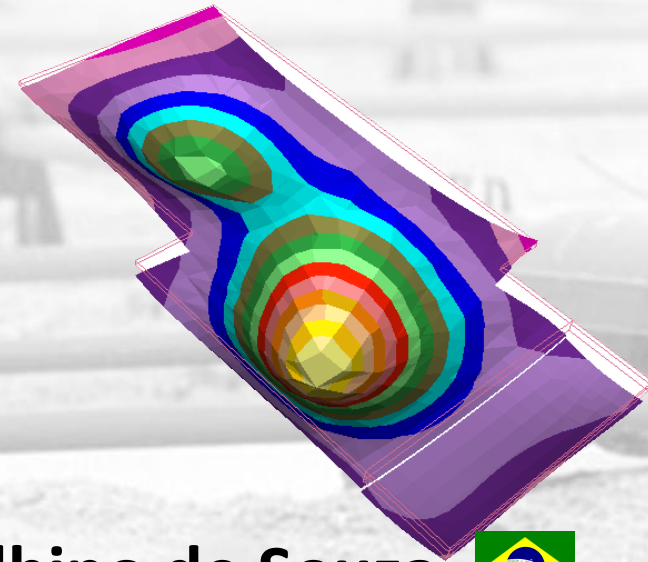
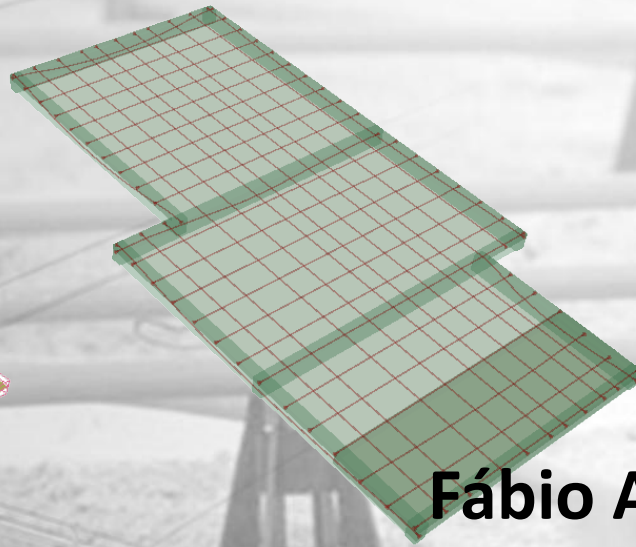
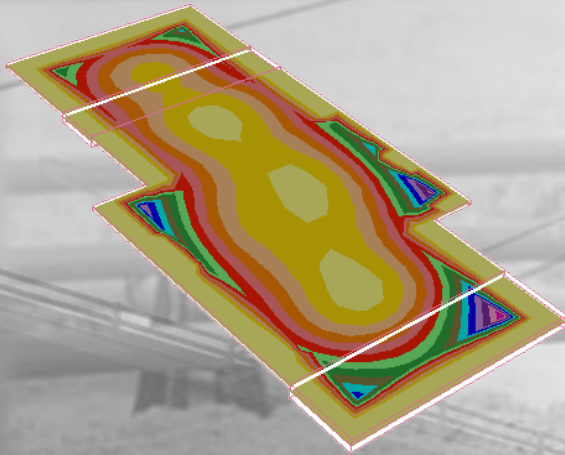


[fabio@ebpx.com.br](mailto:fabio@ebpx.com.br)



*Instituto de Engenharia*

# Radier Simples, Armado e Protendido



Fábio Albino de Souza



[fabio@ebpx.com.br](mailto:fabio@ebpx.com.br)



copyright  
all rights reserved



# *Instituto de Engenharia*

## **Agradecimentos:**

- A DEUS pela saúde
- À minha família por me apoiar
- Instituto de Engenharia (Eng. Rafael Timerman) e a ABECE (Eng. Varela)
  - Ibracon (Eng. Julio Timerman)
- Patrocinadores ( BBA) e aos Eng. Eugenio Cauduro e Eng. Marcelo Silveira
- Ao público presente e aqueles que estão assistindo pela internet.

**Radier Simples, Armado e Protendido  
Eng. Fábio Albino de Souza**



# Instituto de Engenharia

## Dedico:

- Aos apoiadores do Catarse de todas as modalidades e as empresas abaixo.



Belgo Bekaert Arames



**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



**POST-TENSIONING INSTITUTE®**  
*Stressing the Stronger Concrete Solution*



*Instituto de Engenharia*

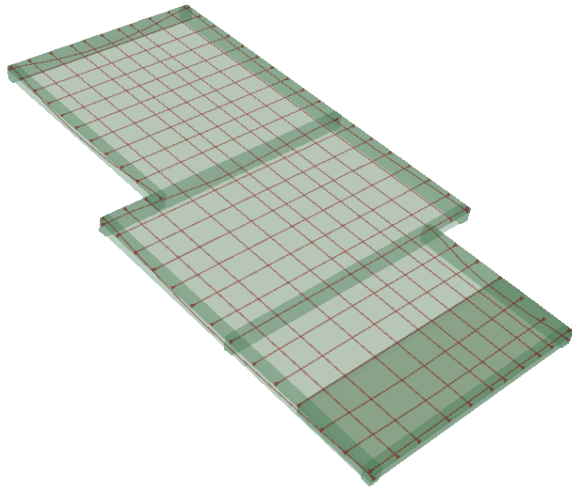


**LANÇAMENTO LIVRO  
RADIAR SIMPLES, ARMADO E PROTENDIDO**

**<http://pag.ae/blxwNZ9>**

**Radier Simples, Armado e Protendido  
Eng. Fábio Albino de Souza**

## O que é Radier ??



Segundo a **ACI 360R-10 (2010)** entende-se laje sobre o solo (radier), uma laje apoiada no solo, cuja a principal finalidade é suportar as cargas aplicadas através da tensão admissível de suporte do solo (capacidade do solo).

## Origem do Termo Radier

Tem sua origem na Europa, no entanto permaneceu sem alterações de escrita **na língua francesa e na língua romena.**

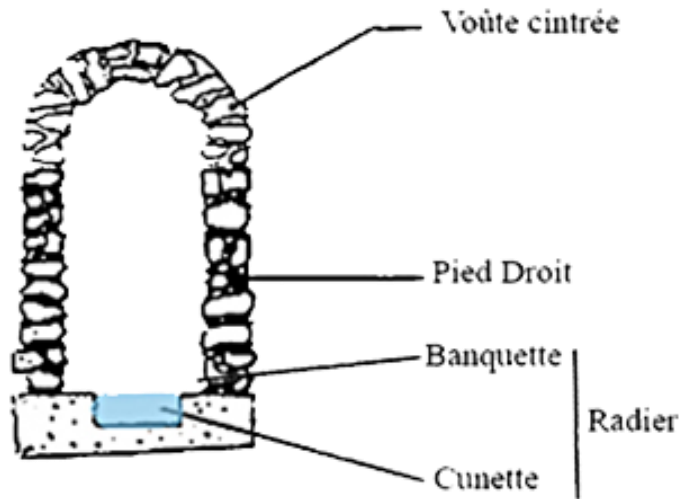
Através de uma busca em dicionários romenos sobre o significado da palavra radier **foi encontrado sinais de que origem seja francesa,** e fundamentando essa justificativa podemos citar que aproximadamente **38% das palavras romenas são de origem francesa.**



- Área Linguística Românica na Europa.  
(KABATECK e PUSCH, 2013)



## Origem do Termo Radier



- Seções transversais utilizadas no Aqueduto de Retz

**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



**POST-TENSIONING INSTITUTE®**  
*Stressing the Stronger Concrete Solution*



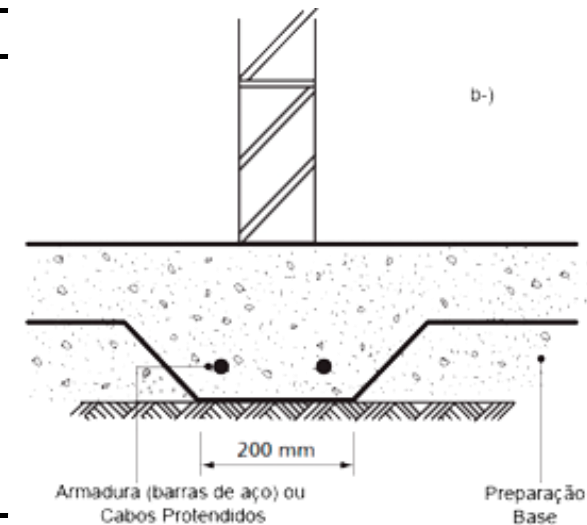
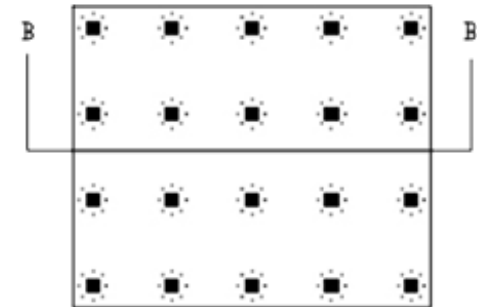
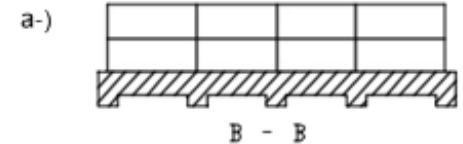
**POST-TENSIONING INSTITUTE®**  
*Stressing the Stronger Concrete Solution*

## Tipos de Laje sobre o Solo (Radier)

### - Radier com Capitéis

#### Ficha técnica – Radier com Capitéis

Normalmente utilizado	Os radiers com capitéis normalmente são utilizados em obras residenciais onde pilares nascem sobre o radier e existe a necessidade de um aumento de rigidez nessa região.
Solo	Normalmente para esse tipo de radier o solo adequado seria um solo estável, ou seja, não expansivo. O tamanho dos capitéis será influenciado pelos carregamentos dos pilares bem como os recalques admissíveis.
Superestrutura	Tem ótima compatibilidade com o sistema em Steel Frame e Wood Frame.
Modalidades	As principais modalidades são: concreto com fibras, concreto armado e concreto protendido.



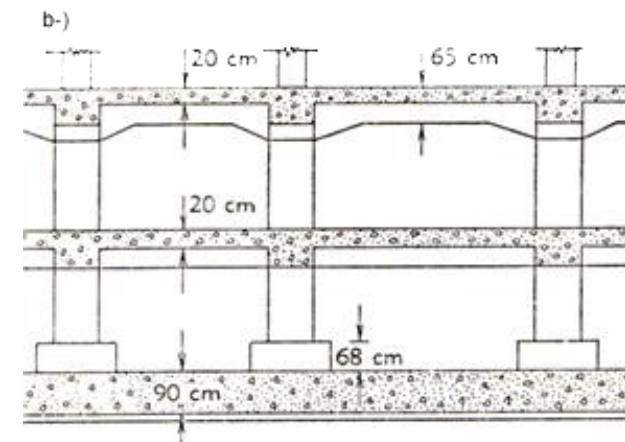
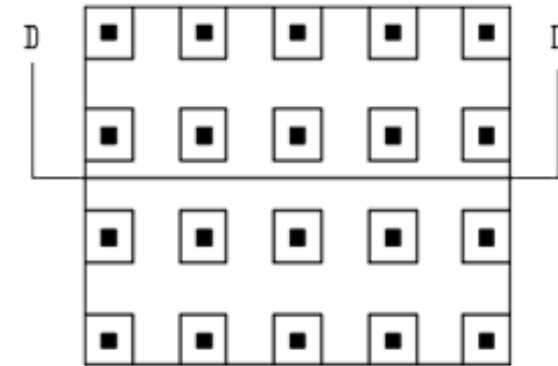
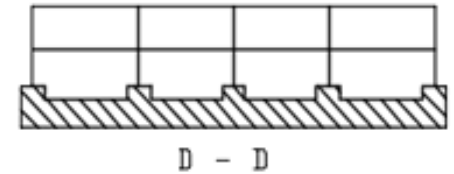
**Radier Simples, Armado e Protendido**  
Eng. Fábio Albino de Souza

## Tipos de Laje sobre o Solo (Radier)

### - Radier com Pedestais

#### Ficha técnica – Radier com Pedestais

Normalmente utilizado	Os raders com pedestais são utilizados em edifícios residenciais de múltiplos pavimentos onde pilares nascem sobre o radier, no entanto esses pilares possuem um engrossamento em sua parte inferior que ajudam a distribuir o carregamento pontual de uma maneira mais uniforme.
Solo	Para esse tipo de radier não se faz uma recomendação em específico com relação ao tipo de solo desde que seja respeitada a tensão admissível do solo. No entanto alguns pontos devem ser ressaltados como, por exemplo, a presença de solo colapsável em alguma camada do perfil estratigráfico visto que normalmente a tensão no solo proveniente do radier costuma ser considerável e merecem atenção. Outro ponto a ser comentado refere-se ao nível da água do perfil estratigráfico como já comentado pode ocorrer uma laje de subpressão.
Superestrutura	Tem ótima compatibilidade com superestrutura em pilares de concreto armado.
Modalidades	As principais modalidades são: concreto armado e concreto protendido.



**Radier Simples, Armado e Protendido**  
Eng. Fábio Albino de Souza



# Instituto de Engenharia

## Tipos de Laje sobre o Solo (Radier)

### - Radier Nervurado

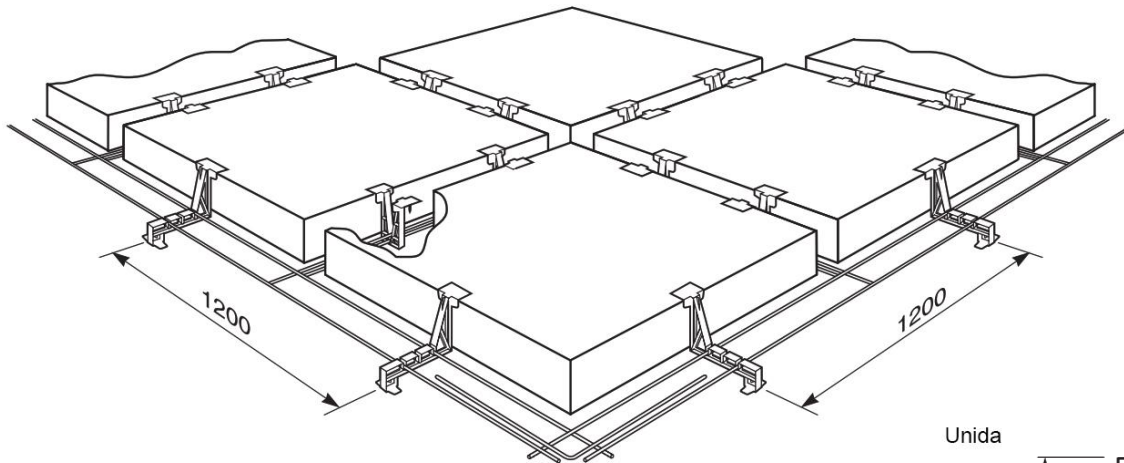
#### Ficha técnica – Radier Nervurado

Normalmente utilizado	Os radiers nervurados são utilizados em casas e edifícios residenciais de múltiplos pavimentos de média altura onde a fundação necessita de rigidez para evitar distorções e controlar os recalques.
Solo	Esse tipo de radier pode ser bem versátil sendo utilizado em solo não expansivo, expansivos e até colapsível lembrando que esse último com muito cuidado uma vez que deve-se analisar a porcentagem de colapso para avaliar o risco de implantação dessa modalidade de fundação. Atenção especial à tensão admissível do solo bem como os recalques admissíveis.
Superestrutura	Tem ótima compatibilidade com superestrutura Wood frame, Steel frame e Alvenaria Estrutural.
Modalidades	As principais modalidades são: concreto armado e concreto protendido.

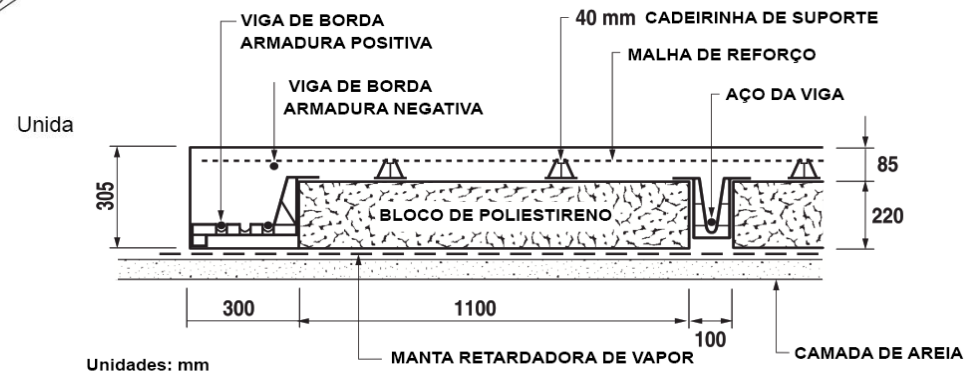
**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Tipos de Laje sobre o Solo (Radier)

### - Radier Nervurado



### - Radier Nervurado com Blocos de Poliestireno Expandido



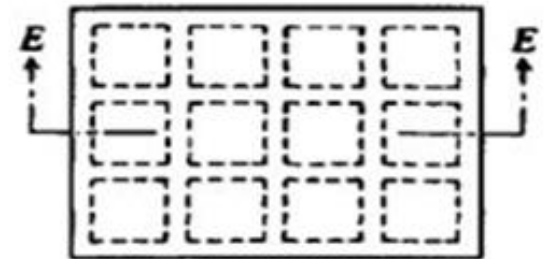
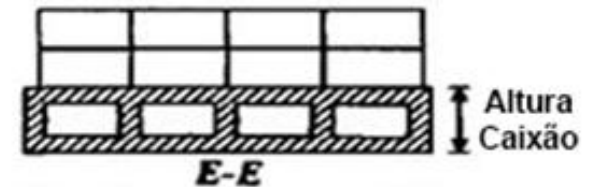
**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Tipos de Laje sobre o Solo (Radier)

### - Radier em Caixão

#### Ficha técnica – Radier em Caixão

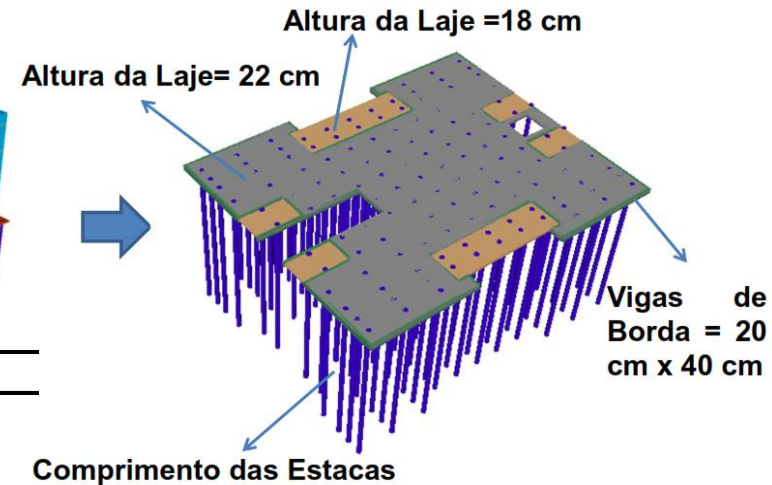
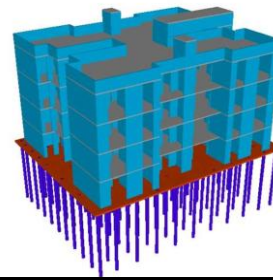
Normalmente utilizado	Os radiers em caixão são utilizados em edifícios residenciais de múltiplos pavimentos onde os carregamentos elevados conseguem ser transferidos para o solo.
Solo	Para esse tipo de radier recomenda-se um solo com boa capacidade de suporte (acima de $3.5 \text{ kgf/cm}^2$ ), no entanto alguns pontos devem ser ressaltados como, por exemplo, a presença de solo colapsível em alguma camada do perfil estratigráfico visto que normalmente a tensão no solo proveniente do radier costuma ser considerável e merecem atenção. Outro ponto a ser comentado refere-se ao nível da água do perfil estratigráfico como já comentado pode ocorrer uma laje de subpressão, porém essa modalidade de radier possui grande rigidez o que pode minimizar os efeitos negativos.
Superestrutura	Tem ótima compatibilidade com superestrutura em concreto armado alvenaria estrutural, Steel Frame e Wood Frame.
Modalidades	As principais modalidades são: concreto armado e concreto protendido.





## Tipos de Laje sobre o Solo (Radier)

### - Radier Estaqueado

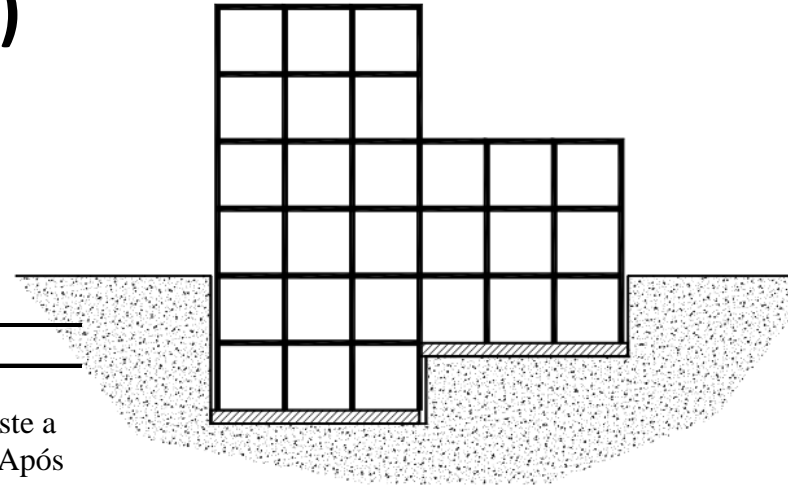


#### Ficha técnica – Radier Estaqueado

Normalmente utilizado	Os radiers estaqueados são utilizados em obras residenciais e industriais onde somente o radier apoiado no solo não é capaz de suportar os carregamentos provenientes da estrutura ou apresenta recalques inaceitáveis.
Solo	Esse tipo de radier pode ser utilizado em solo não expansivo, expansivos e até colapsível. Outro aspecto importante com relação ao solo está na presença de aterro, ou seja, o radier estaqueado “arrisco a dizer” que seja o mais adequado para essa peculiaridade, porém deve-se ficar atento com o atrito negativo.
Superestrutura	Tem ótima compatibilidade com o sistema em Alvenaria Estrutural e Concreto Armado
Modalidades	As principais modalidades são: concreto simples, concreto com fibras, concreto armado e concreto protendido.

## Tipos de Laje sobre o Solo (Radier)

### - Radier Flutuante



#### Ficha técnica – Radier Flutuante

Normalmente utilizado

Os raders flutuantes são utilizados em obras residenciais de pequeno e médio porte, geralmente até 10 pavimentos onde existe a necessidade de subsolo para contribuir na geometria do radier. Após uma análise criteriosa das combinações de carregamento da estrutura verifica-se a capacidade do solo.

Solo

Esse tipo de radier pode ser utilizado em solo não expansivo e expansivos porém destina-se a locais com baixa capacidade de solo ou seja, baixa tensão admissível do solo onde qualquer ganho relativo a escavação se torna importante para o comportamento global da fundação.

Superestrutura

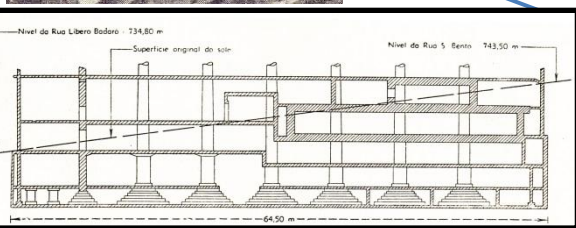
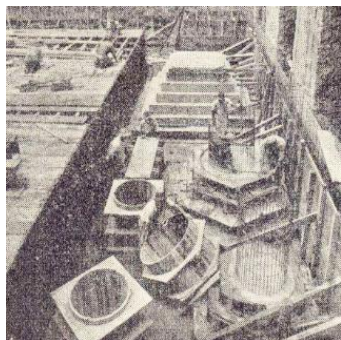
Tem ótima compatibilidade com o sistema em Alvenaria Estrutural, Concreto Armado, Steel Frame e Wood Frame.

Modalidades

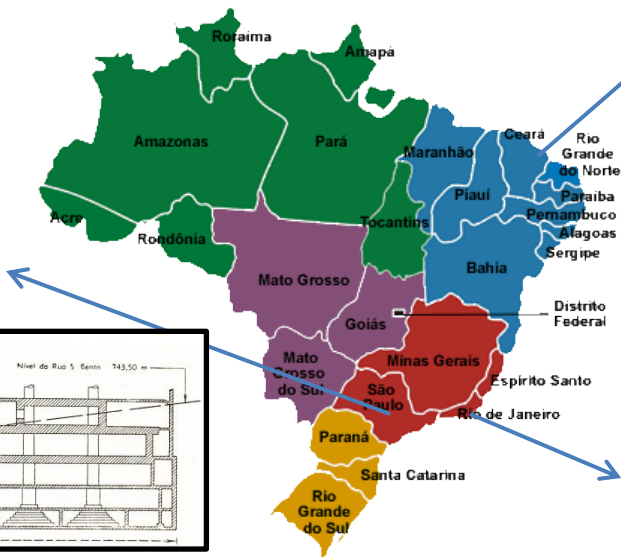
As principais modalidades são: concreto com fibras, concreto armado e concreto protendido.

**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Históricos dos Projetos Realizados no Brasil



**Edifício do Banco do Brasil em São Paulo na década de 1950. (Rua São Bento x Rua Libero Badaró )**



**Edifício Residencial na cidade de Fortaleza em Agosto de 1999. Construção com 14 pavimentos .**



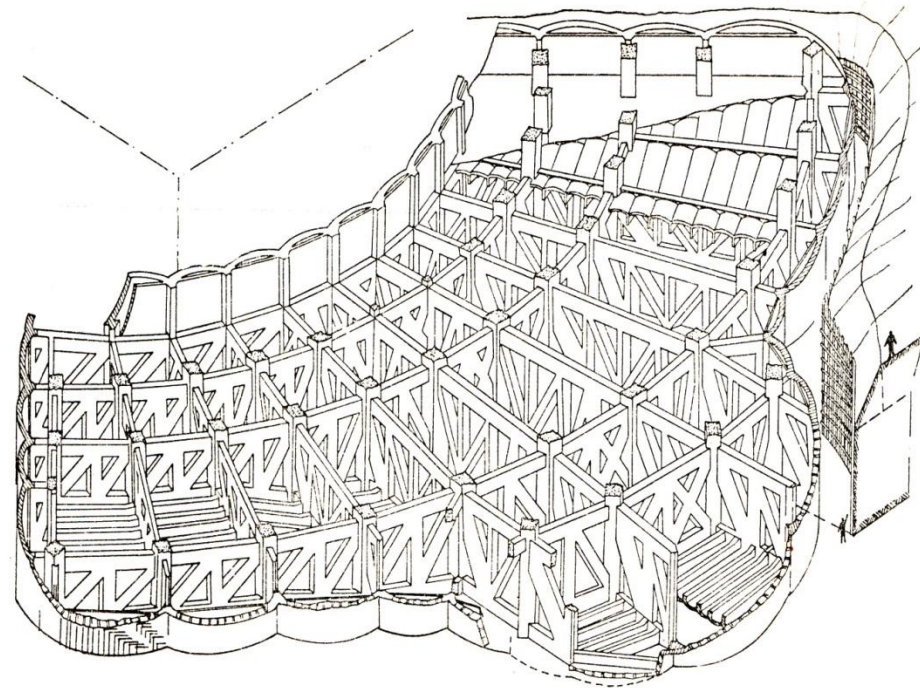
**Hotel Le Méridien Copacabana inaugurado em 1975 na cidade do Rio de Janeiro . A construção tem 40 pavimentos .**

**Radier Simples, Armado e Protendido  
Eng. Fábio Albino de Souza**

## Projeto Emblemático do Radier Flutuante no México

Em 1934 o engenheiro **José A. Cuevas** cujo apelido era “El Loco” criou o sistema de radier flutuante na qual aplicou sua técnica na construção do **Edifício de La Loteria Nacional na Cidade do México.**

Outra inovação proposta por “El Loco” consistia em instalar 3 enormes tanques de água no porão do edifício na qual funcionaria de lastro, ou seja, qualquer desaprumo no edifício poderia ser compensado voltando o edifício na posição vertical.



**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



# Instituto de Engenharia

## Projeto Emblemático do Radier Flutuante no México

Como descrito por Cuevas que segue : *“De acordo com o projeto original, o Edifício de La Loteria Nacional tem um peso total de 16 500 toneladas mais 1500 toneladas de lastro temporário, dessa maneira os deslocamentos totais do edifício estão sobre 18 000 toneladas. Uma quantidade igual de material foi escavada para acomodar sua fundação na qual penetra 12 metros abaixo da superfície da terra.”.*


A edificação contempla 29 pavimentos com altura de 107 metros de muita imponência.



**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Parâmetros de Projeto para às Condições Brasileiras

**Quais são os principais  
parâmetros  
de projeto para radier  
protendido??**

- **Concreto**
- **Aço de Protensão** → 
- **Solo**
- Perdas de Protensão
- Manta Retardadora de Vapor
- Fatores de Forma do Radier
- Nervuras
- Futuras implantações para radier protendido no Brasil
- Outros



# *Instituto de Engenharia*

## **Parâmetros de Projeto para às Condições Brasileiras**

### **Resistência à compressão do concreto**

$f_{c_{28}} \geq 25 \text{ MPa}$  (concreto simples e reforçado)

$f_{c_{28}} \geq 30 \text{ MPa}$  (concreto protendido)

**PTI DC 10.1-08 (2008)** recomenda o mínimo de resistência à compressão do concreto aos 28 dias deve ser **17 MPa**.

Há sem dúvida uma **estreita relação** entre a **resistência à compressão** e a **qualidade do concreto**.

Segundo RINGO e ANDERSON (1996) um incremento de **70% na resistência à compressão** de 21 MPa para 36 MPa, leva à redução de apenas **12% na espessura do radier**.

**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



# *Instituto de Engenharia*

## **Parâmetros de Projeto para às Condições Brasileiras**

### **Concreto – Leve Estrutural**

### **Resistência à compressão do concreto**

O **ACI 213R-03 (2003)** recomenda resistências do concreto leve estrutural em torno de **21 a 35 MPa para estruturas convencionais**, sendo que para **estruturas protendidas** são usuais valores **acima de 35 MPa**.



**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



## Parâmetros de Projeto para às Condições Brasileiras

### Módulo de ruptura do concreto

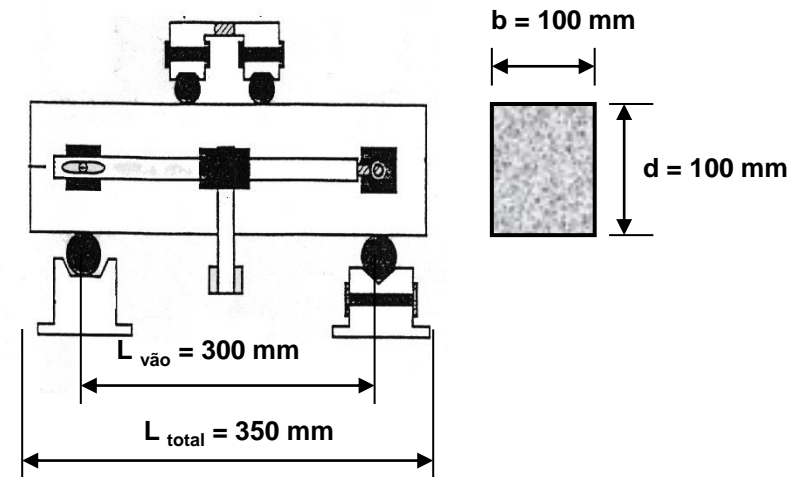
O ACI-318R-08 (2008) diz que o módulo de ruptura do concreto convencional **varia de 10% a 15% da resistência à compressão do concreto**, no entanto pode ser estimado:

$$f_{r28} = 0,6228\sqrt{f_{c28}}$$

Onde:

$f_{r28}$  = módulo de ruptura do concreto aos 28 dias em MPa

$f_{c28}$  = resistência à compressão do concreto aos 28 dias em MPa





# *Instituto de Engenharia*

## **Parâmetros de Projeto para às Condições Brasileiras**

### **Módulo de ruptura do concreto**

Os valores de resistência à tração na flexão dos concretos leves estruturais **são inferiores** comparados aos concretos convencionais, considerando a mesma resistência à compressão.

O ACI-318R-08 (2008) apresenta um fator de modificação ( $\lambda$ ) que **varia de 0,75 a 0,85** quando se utiliza o concreto leve estrutural.

$$f_{r28} = 0,6228 * \lambda * \sqrt{f_{c28}}$$

Onde:

$f_{r28}$  = módulo de ruptura do concreto leve estrutural aos 28 dias em MPa

$f_{c28}$  = resistência à compressão do concreto leve estrutural aos 28 dias em MPa

**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Parâmetros de Projeto para às Condições Brasileiras

### Módulo de elasticidade do concreto

No entanto o ACI-318R-08 (2008) menciona que para concreto de massa específica normal (concreto convencional), o módulo de elasticidade pode ser estimado:

$$E_{c28} = 4733\sqrt{f_{c28}}$$

$E_{c28}$  = módulo de elasticidade do concreto aos 28 dias em MPa

$f_{c28}$  = resistência à compressão do concreto aos 28 dias em MPa



Vale lembrar que para os efeitos ao longo do tempo (fluência), o valor mínimo a ser utilizado como módulo de elasticidade é de **10,3 GPa**, conforme publicação **PTI DC 10.1-08 (2008)**.



# Instituto de Engenharia

## Parâmetros de Projeto para às Condições Brasileiras

### Módulo de elasticidade do concreto

Referência	Equação
ROSSIGNOLO (2005)	$E_{c_{28}} = 0,049 * \gamma^{1.5} * f_{c_{28}}^{0,5}$
ACI-318R-08 (2008)	$E_{c_{28}} = 0,043 * \gamma^{1.5} * f_{c_{28}}^{0,5}$

Os valores são:

$\gamma$  = massa específica representada em  $\text{kg/m}^3$

$f_{c_{28}}$  = resistência à compressão do concreto aos 28 dias representada em MPa

$E_{c_{28}}$  = módulo de elasticidade do concreto aos 28 dias representado em MPa



# *Instituto de Engenharia*

## **Parâmetros de Projeto para às Condições Brasileiras**

### **Coefficiente de Poisson do concreto**

Com relação ao coeficiente de Poisson do concreto convencional algumas referências normativas parecem convergir a um resultado em comum, que é entre **0,15 a 0,20** para a ACI 360R-10 (2010), e **0,20** para a NBR 6118 (2003).

REICHARD (1964) determinou o coeficiente de Poisson de concretos leves estruturais por métodos de ressonância e mostrou que essa propriedade varia ligeiramente com a idade, resistência e tipo de agregado usado, porém os valores encontrados estavam entre **0,16 a 0,25 com uma média de 0,21**. O ACI 213R-03 (2003) menciona que testes para determinar o coeficiente de Poisson através de métodos estáticos para concreto leve estrutural e concreto convencional apresentaram valores entre **0,15 a 0,25**, no entanto a referida bibliografia recomenda o uso de **0,20**.

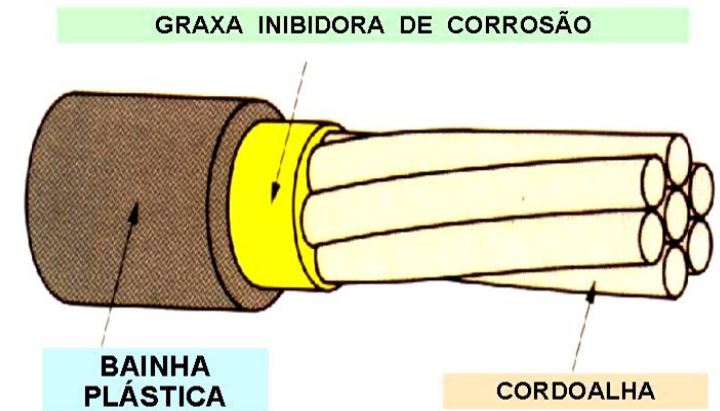
**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Parâmetros de Projeto para às Condições Brasileiras

### Cordoalha engraxada e plastificada ( não aderente)

A ASTM A416/A416M (2012) abrange os principais grupos de cordoalhas de protensão na construção civil, que são as de relaxação normal e as de baixa relaxação onde as propriedades mecânicas podem variar de acordo com a classe do material.

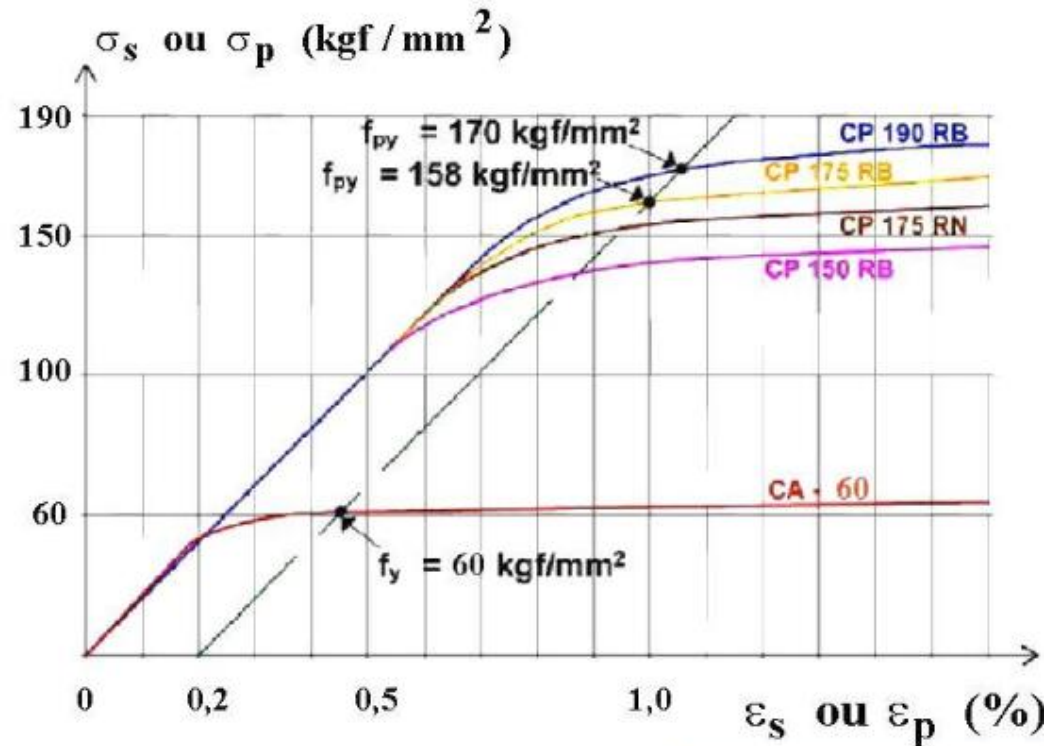
Para radier protendido as cordoalhas mais utilizadas são de  $\frac{1}{2}$ " (polegada), baixa relaxação e com tensão última de ruptura ( $f_{pu}$ ) de 1860 MPa



## Parâmetros de Projeto para às Condições Brasileiras

### Aço de Protensão Diagrama Tensão X Deformação

DIAGRAMAS TENSÃO – DEFORMAÇÃO DOS AÇOS DE PROTENSÃO



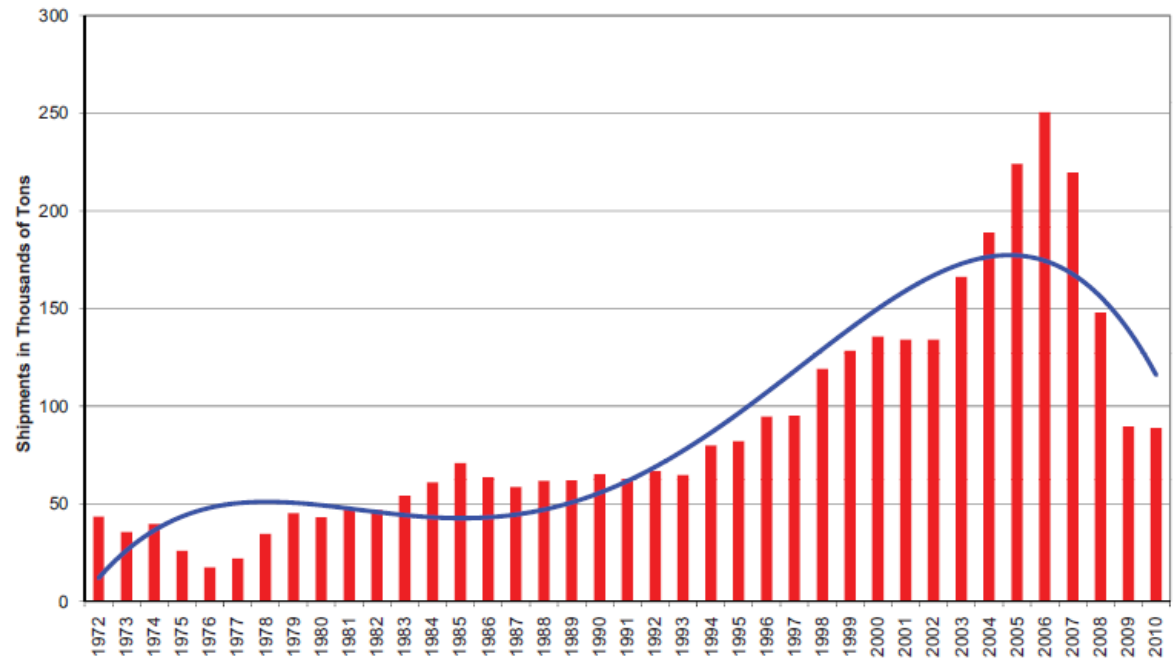


*Instituto de Engenharia*

## Parâmetros de Projeto para às Condições Brasileiras

North American Post-Tensioning Shipments  
*Summary for the years: 1972 to 2010*

**Aço de  
Protensão  
Consumo  
Americano**



**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



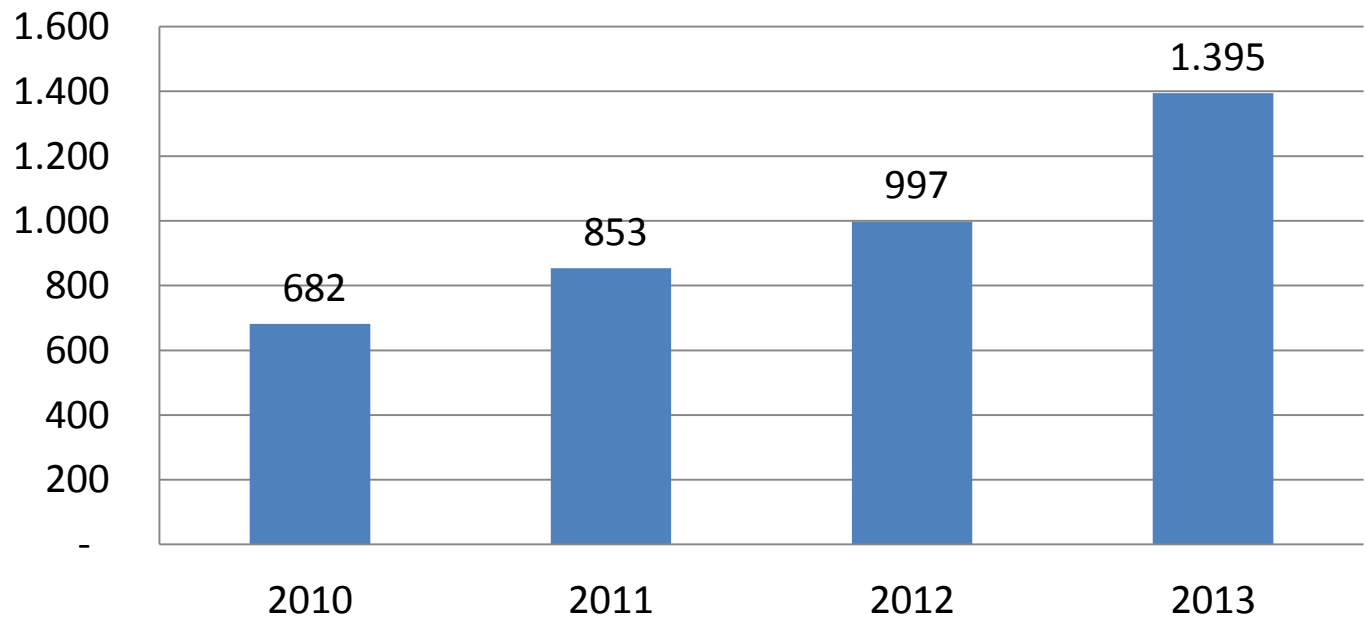


*Instituto de Engenharia*

## Parâmetros de Projeto para às Condições Brasileiras

**Aço de  
Protensão  
Consumo  
Brasileiro**

**Consumo médio mensal de cordoalhas  
engraxadas  
(em toneladas)**



**Radier Simples, Armado e Protendido  
Eng. Fábio Albino de Souza**



# *Instituto de Engenharia*

## **Parâmetros de Projeto para às Condições Brasileiras**

### **Aço de Protensão**

### **Custo de 1 ton de material em Dólar Americano**

	Suíça	Coreia	Espanha	Vietnã	Hong Kong	Malásia	Cingapura
<b>Cabos Protensão</b>	11100	4550	5472	3300	4260	3333	3499
<b>Barras de Aço</b>	1550	890	1176	850	1160	1167	1229
<b>Relação</b>	<b>7,2</b>	<b>5,1</b>	<b>4,7</b>	<b>3,9</b>	<b>3,7</b>	<b>2,9</b>	<b>2,8</b>

**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



# Instituto de Engenharia

## Parâmetros de Projeto para às Condições Brasileiras

### Aço de Protensão

### Custo de 1 ton de material em Dólar Americano

	Tailândia	USA	Colômbia	Brasil	México
Cabos Protensão	2667	2200	1700	2250	1350
Barras de Aço	1000	1000	900	1500	1000
Relação	2,7	2,2	1,9	1,5	1,35



**70% do consumo de cordoalha dos EUA vem do México**

**Radier Simples, Armado e Protendido  
Eng. Fábio Albino de Souza**



# Instituto de Engenharia

## Parâmetros de Projeto para às Condições Brasileiras

### Perdas de Protensão

Podemos citar como fatores: **perda de protensão devido ao atrito do cabo, encurtamento elástico, fluência e retração do concreto, relaxação do aço e atrito com o solo (subleito).**

De acordo com o PTI DC10.1-08 (2008) a força de protensão efetiva pode ser calculada de acordo com :

$$P_e = P_i - ES - CR - SH - RE$$

$P_i$  = Força protensão imediatamente após os cabos serem tensionados e ancorados (kN)

ES = Encurtamento elástico do concreto (kN)

CR = Fluência do Concreto (kN)

SH = Retração do Concreto (kN)

RE = Relaxação dos Cabos (kN)

**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

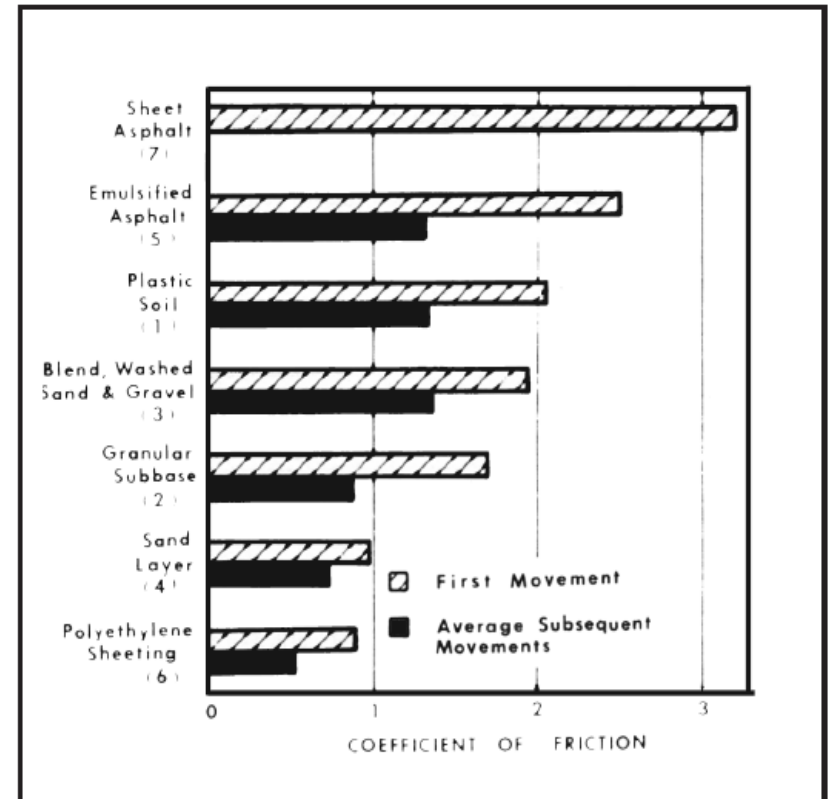
## Parâmetros de Projeto para às Condições Brasileiras

### Perdas de Protensão

Porém para a análise do radier protendido, deve-se somar mais uma parcela, que é a perda de protensão devido ao atrito do subleito (SG), em kN.

$$P_r = P_e - SG$$

A perda de protensão devido ao atrito do subleito (SG) está intimamente relacionada com o **peso total do radier** e o **coeficiente de atrito**





# Instituto de Engenharia

## Perdas de Protensão

FELT 2011 - C:\Program Files (x86)\ADAPT\ADAPT-FELT 2011\modelo-01.fit

File Title Geometry Material Criteria Execute View Tendon library Options Help

```
LONG - TERM LOSS CALCULATIONS :

INPUT PARAMETERS :
Post-tensioning system ..... UNBONDED
Type of strand ..... LOW LAX
Ultimate strength of strand ..... 1860.00 N/mm^2
Modulus of elasticity of strand ..... 195000.00 N/mm^2
Estimate of initial average compression ..... 1.00 N/mm^2

Concrete strength at 28 days ..... 28.00 N/mm^2
Average weight of concrete ..... NORMAL
Estimated age of concrete at stressing ..... 28 days
Modulus of elasticity of concrete at stressing ..... 10509.00 N/mm^2
Modulus of elasticity of concrete at 28 days ..... 24870.00 N/mm^2
Estimate of average relative humidity ..... 50. %
Volume to surface ratio of member ..... 10.00 mm

CALCULATED VALUES :
Elastic shortening ..... 9.28 N/mm^2
Shrinkage ..... 46.21 N/mm^2
Creep ..... 12.55 N/mm^2
Relaxation ..... 30.14 N/mm^2
-----
Total long-term stress losses ..... 98.17 N/mm^2
```

**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Manta retardadora de vapor

Vale lembrar que a **lona plástica** geralmente utilizada na execução dos radiers **não é a manta retardadora de vapor**.

A manta retardadora de vapor têm propriedades **muito superiores em relação à lona plástica**, por exemplo, a sua durabilidade e maior resistência à tração.

Podem-se verificar mais propriedades através da ASTM E 1745 (2011).



## Manta retardadora de vapor

Manta

Camada de Areia



**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



**Manta retardadora de vapor**

**Manta** ←



**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Fatores de Forma do Radier

O fator de forma (SF) **não deve passar de 24**, se esse valor for ultrapassado o projetista deve considerar modificações na planta do radier, ou analisar mais detalhadamente os efeitos de torção.

$$SF = \frac{\text{Perímetro da fundação}^2}{\text{Área da fundação}}$$



## Nervuras

Recomenda-se que **espaçamento** entre nervuras não seja superior a 4,50 metros, e também não seja inferior a 1,80m.

Recomenda-se que a relação entre a nervura com maior altura e a nervura de menor altura não seja superior a **1,2**.

A **altura total** da nervura não deve ser menor que **30 cm**.

Recomenda-se que a largura das nervuras **estejam** entre **15cm e 35cm**.





*Instituto de Engenharia*

**Futuras implantações para radier protendido no Brasil**

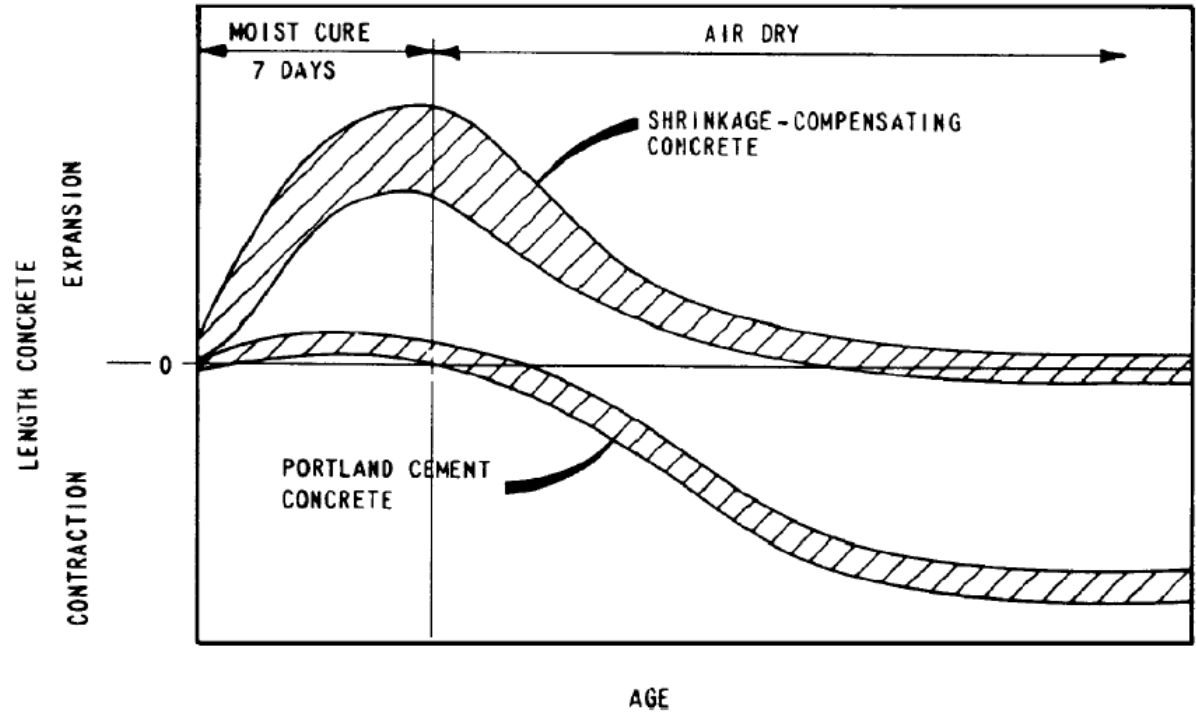
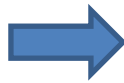
**Uma norma,  
principalmente.**

**Nós não temos norma  
para radier.**

**Radier Simples, Armado e Protendido  
Eng. Fábio Albino de Souza**

## Futuras implantações para radier protendido no Brasil

Concreto de retração compensada



**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



# *Instituto de Engenharia*

## **O solo**

### **Sondagem**

Pode-se fazer a avaliação das diversas camadas de solos medidas por índice de resistência a penetração do amostrador a cada metro (Standard Penetration Test – SPT), e informação completa sobre o nível do lençol freático (nível d'água estático e dinâmico). **A sondagem torna-se o primeiro passo para avaliação de utilização do radier protendido, portanto torna-se inadmissível a possibilidade de suprimir os ensaios de sondagem.**



# Instituto de Engenharia

## O solo Sondagem

SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO À PERCUSSÃO (S.P.T) - NBR - 06484													
INTERESSADO:		ENGECO		REGISTRO: ENGECOFLORES01/2013		Início da Sondagem:		30/10/2013					
LOCAL DO ENSAIO:		BAIRRO FLORES				Término da sondagem:		30/10/2013					
SONDAGEM Nº:		SP - 03				Cota da boca do furo em relação ao RN próx.:		36,0890					
PERFIL ESTRATIGRÁFICO													
PROFUNDIDADE EM (m)	N.A.	AVANÇO	COTA EM RELAÇÃO AO RN	Índices de penetração			N <sub>SPT</sub>		N.A Inicial: 8,10 N.A após 24h: 8,50 L.S: 15,45		Interno do Amostrador: 1 3/8" Externo do Amostrador: 2" Revestimento: 3"		
				Nº de Golpes			Maior de		Profundidade X N <sub>SPT</sub>		AMOSTRA	DISCRIMINAÇÃO DA CAMADA	PROF. CAMADA (m)
TC	36,0890	1º 15	2º 15	3º 15	1º+2º	2º+3º							
1		TC	35,0890	2	2	2	4	4					
2		CA	34,0890	2	2	3	4	5					
3		CA	33,0890	3	3	3	6	6					
4		CA	32,0890	3	3	4	6	7					
5		CA	31,0890	4	4	4	8	8					
6		CA	30,0890	4	5	5	9	10					
7		CA	29,0890	5	5	6	10	11					
8	N.A	CA	28,0890	5	6	6	11	12					
9		CA	27,0890	6	6	7	12	13					
10		CA	26,0890	2	3	3	5	6					
11		CA	25,0890	3	3	4	6	7					
12		CA	24,0890	4	4	5	8	9					
13		CA	23,0890	8	8	9	16	17					
14		CA	22,0890	9	10	12	19	22					
15		CA	21,0890	10	11	14	21	25					
TH - Trado helicoidal		TC - Trado concha		1º+2º = linha tracejada		N.A - Nivel de água							
CA - Circulação de água		P - Percussão		2º+3º = linha cheia		L.S - Limite da Sondagem							

**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



# *Instituto de Engenharia*

## **O solo**

### **Classificação do Solo**

O objetivo da classificação dos solos, sob o ponto de vista de engenharia, é o de poder **estimar o provável comportamento do solo**, ou, pelo menos, o de orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema.

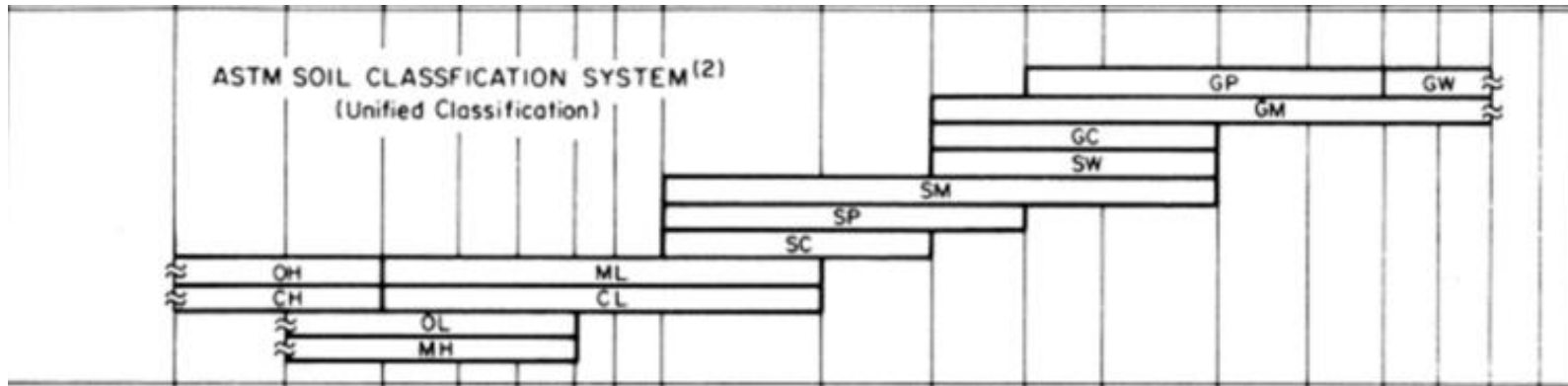
A classificação adequada do solo deve ser realizada para identificar os **solos potencialmente problemáticos**.

A ASTM – American Society for Testing and Materials, em Standard practice for classifications of soils for engineering purposes -ASTM D2487-00 (2000), mostra os principais grupos de solos

**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



## O solo



## Classificação do Solo

Símbolo	Significado ( em inglês )	Significado ( em português )
G	Gravel	Pedregulho
S	Sand	Areia
M	Mo ( sueco )	Silte
C	Clay	Argila
W	Well graded	Bem graduado
P	Poorly graded	Mal graduado
O	Organic	Orgânico
L	Low liquid limit ( low compressibility )	Baixa compressibilidade
H	High liquid limit ( high compressibility )	Alta compressibilidade
Pt	Peat	Turfa



# *Instituto de Engenharia*

## O solo

### Índice de Plasticidade

Nos solos argilosos o teor de água que determina a disposição das partículas, interferindo no índice de vazios e na consistência. Desta forma, verifica-se que para solos com características argilosas, seu comportamento mecânico é dependente de parâmetros que exprimam a relação do solo com **água (limites de consistência ou limites de Atterberg)**

**Os Limites de Atterberg** classificam o solo com relação a sua consistência, válidos, portanto, para solos plásticos e baseiam-se no fato de que os solos argilosos apresentam aspectos bem distintos em função de sua umidade. VARGAS (1987) observou que os valores de LL (limite de liquidez) e do IP (índice de plasticidade =  $LL - LP$ ) variam conjuntamente, isto é, um solo é tanto mais plástico quanto maior for o seu limite de liquidez.

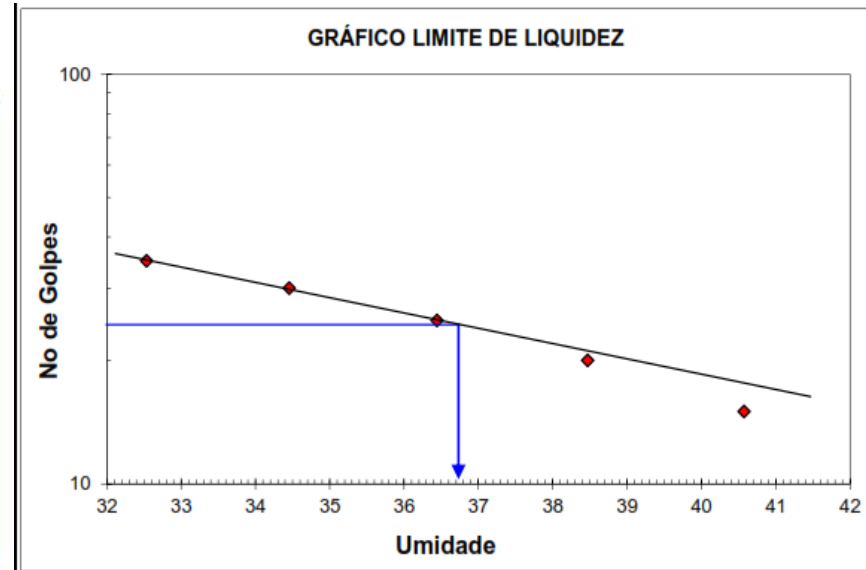
**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## O solo

## Limite de Liquidez (LL)

### LIMITE DE LIQUIDEZ - NBR 6459

#### Limite de Liquidez (LL)



Radier Simples, Armado e Protendido  
Eng. Fábio Albino de Souza

## O solo

## Limite de Plasticidade (LP)

### LIMITE DE PLASTICIDADE - NBR 7180

#### Limite de Plasticidade (LP)



Umidade	%	19,10	20,22	19,75	20,57	18,97
LIMITE DE PLASTICIDADE		19,724 %				

Radier Simples, Armado e Protendido  
Eng. Fábio Albino de Souza



# *Instituto de Engenharia*

## O solo

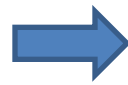
### Índice de Plasticidade

Solo com  $IP > 10\%$  é potencialmente perigoso. Um solo com essa característica pode destruir o que seria uma boa laje e deve portanto ser removido ou melhorado

ÍNDICE DE PLASTICIDADE		
Limite de Liquidez	%	<b>36,75</b>
Limite de plasticidade	%	<b>19,72</b>
Índice de plasticidade	%	<b>17,03</b>

## O solo

### Solos Expansivos



**Solo expansivo** é um termo geralmente aplicado a qualquer tipo de solo que tem potencial para **retrair ou inchar sob condições variáveis de umidade.**

Source: Dean Read (2013)

Fonte: Dean Read (2013)

## O solo

### Solos Expansivos



Source: Dean Read (2013)

Fonte: Dean Read (2013)



Segundo o HUD ( Department of Housing and Urban Development) dos EUA estima-se perdas médias anuais de **USD 1 bilhão** devido aos solos expansíveis.

Um triste recorde aconteceu no ano de 1981 onde houve uma perda de **USD 9 bilhões**.



# *Instituto de Engenharia*

**O solo**

**Solos Expansivos**



**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



## O solo Solos Expansivos



- 1 RECIFE
- 2 PORTO ALEGRE
- 3 CAMPINAS
- 4 SALVADOR
- 5 SÃO PAULO
- 6 RIO

- A Formação Maria Farinha  
B Reservatório de Itaparica  
C Formação Tubarão  
D Formação Rosário do Sul  
E Formação São Sebastião

Áreas de rochas sedimentares com **Montmorilonita** potencialmente sujeitas à expansão.

Fonte: Vargas et all, 1989



# Instituto de Engenharia

## O solo

### Solos Expansivos

Como identificar solos expansivos??

Com testes em Laboratório!!!

CBR, nada vai  
destruir nosso  
amor!! Nem mesmo  
outros ensaios!

- Limite de Liquidez (ASTM D-4308)
- Limite de Plasticidade (ASTM D-4318)
- Limite de Retração (ASTM D-427)
- Conteúdo de Argila (ASTM D-422)
- Testes de Mineralogia com Difração de Raio – X (ASTM STP 479 (1970))
- Índice de Expansão (Uniform Building Code)
- CBR (California Bearing Ratio) – (Kassiff et. Al 1969)

**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



# Instituto de Engenharia

## O solo

### Solos Expansivos

- Limite de Liquidez (ASTM D-4308)
- Limite de Plasticidade (ASTM D-4318)

- Conteúdo de Argila (ASTM D-422)

Índice de Plasticidade  
 $IP = LL - LP$



Distribuição  
Granulométrica das  
partículas ( $< 2 \mu m$ )



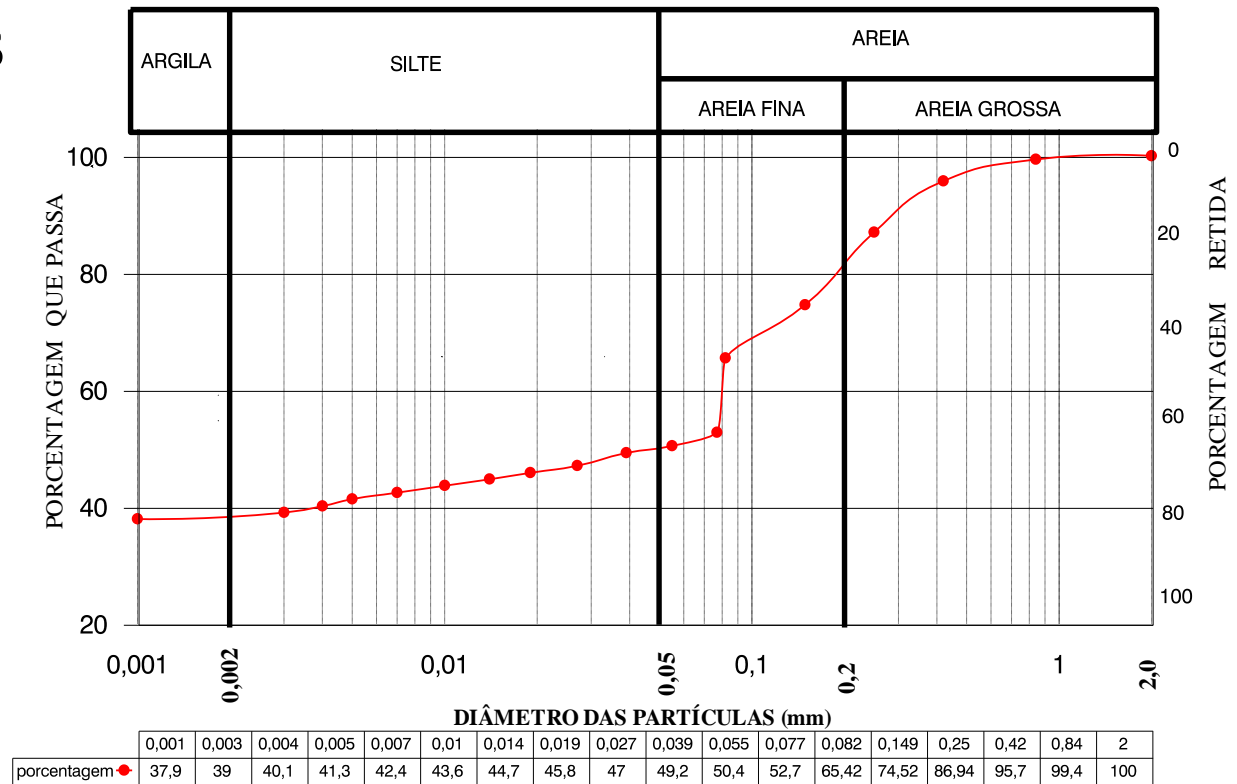
ATIVIDADE ( $A_c$ )

**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## O solo Solos Expansivos

### CURVA GRANULOMETRICA CONJUNTA

#### Argila Arenosa - Classificação USDA





# Instituto de Engenharia

## O solo

## Solos Expansivos

$$\text{ATIVIDADE (A}_c\text{)} = \frac{\text{Índice de Plasticidade}}{\% \text{ partículas menores que } 2\mu\text{m}}$$



Mineral

0.33 a 0.46 - Caulinita

0.9 - Ilita

1.5 – Montimorilonita (Ca)

7.2 – Montimorilonita (Na)



# Instituto de Engenharia

## O solo Solos Expansivos

*Soil expansivity prediction by liquid limit*

Degree of expansion	$w_L$ : %	
	Chen <sup>6</sup>	IS 1498 <sup>4</sup>
Low	< 30	20–35
Medium	30–40	35–50
High	40–60	50–70
Very high	> 60	70–90

*Soil expansivity predicted by plasticity index*

Degree of expansion	$I_p$ : %		
	Holtz and Gibbs <sup>10</sup>	Chen <sup>6</sup>	IS 1498 <sup>4</sup>
Low	< 20	0–15	< 12
Medium	12–34	10–35	12–23
High	23–45	20–55	23–32
Very high	> 32	> 35	> 32

**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



# *Instituto de Engenharia*

## **O solo**

### **Solos Colapsíveis**

As fundações sofrem recalques, porém existe um tipo de recalque que se soma aos recalques normais, geralmente repentino, de grandes proporções e que ultrapassa os recalques admissíveis das fundações. Segundo CINTRA e AOKI (2009) trata-se do recalque de colapso, peculiar aos solos colapsíveis.

É o aumento do seu teor de umidade ou grau de saturação, mantida a tensão aplicada, que produz esse fenômeno nos solos colapsíveis.



# Instituto de Engenharia

## O solo

### Solos Colapsíveis

Esse fenômeno do colapso pode ser reproduzido, em laboratório, por ensaios edométricos, com inundação artificial do solo em determinado estágio de carregamento. BOWLES (1995) sugere uma estimativa para identificar um solo com potencial de colapso, que está representado pela equação:

$$\gamma_{seco} = 17,3 - 0,186(LL - 16)$$

$\gamma_{seco}$  = peso específico do solo seco (kN/m<sup>3</sup>)

LL = limite de liquidez (%)

Quando a densidade in situ é menor do que a dada pela equação, o solo é susceptível ao colapso.





*Instituto de Engenharia*

# Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo

Fábio Albino de Souza



[fabio@ebpx.com.br](mailto:fabio@ebpx.com.br)



copyright  
all rights reserved



## O que é coeficiente de reação vertical do solo ??

É um **modelo** para representar o solo numa análise da **interação solo-estrutura**.

Segundo a ACI 336.2R (2002) é a relação entre a pressão vertical contra um radier ou sapata pelos deslocamentos no ponto da superfície de contato.

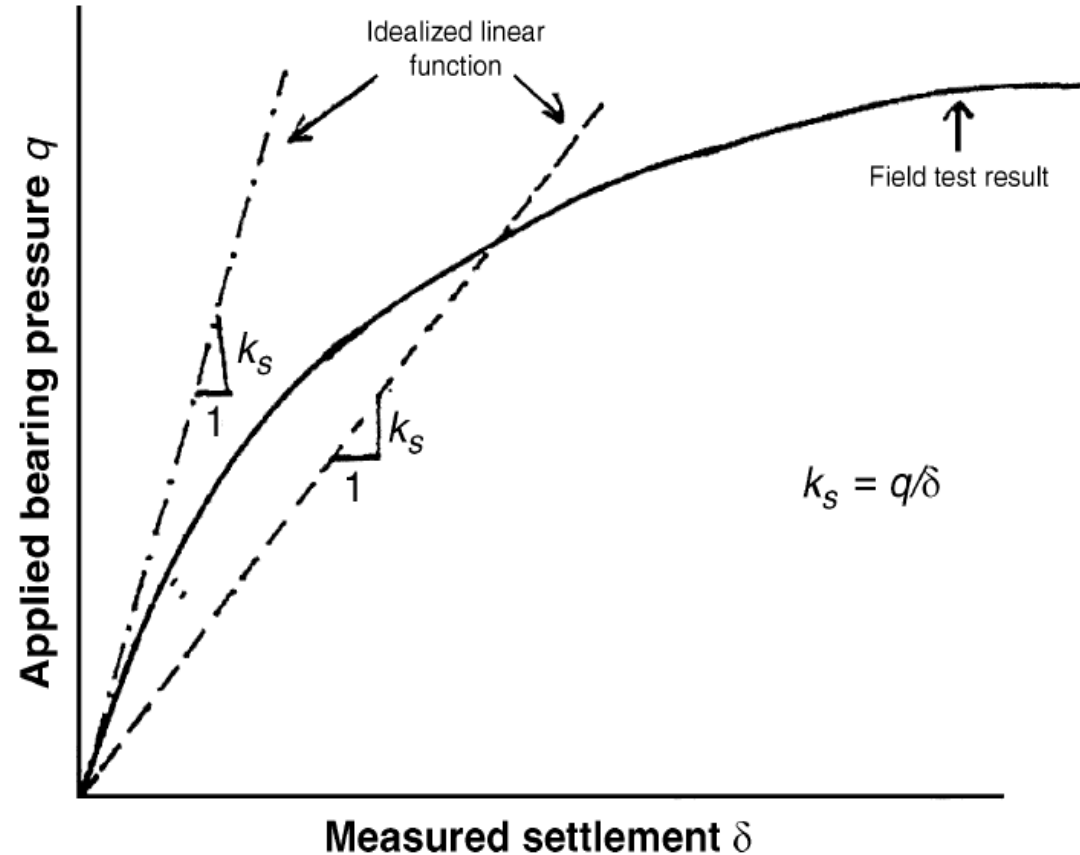


$$k_s = q/\delta$$

Essa interação tem por objetivo fornecer os **deslocamentos reais da fundação** e também da estrutura.

Como encontrar o coeficiente de reação vertical do solo??

- Ensaio de Placa



Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
Eng. Fábio Albino de Souza

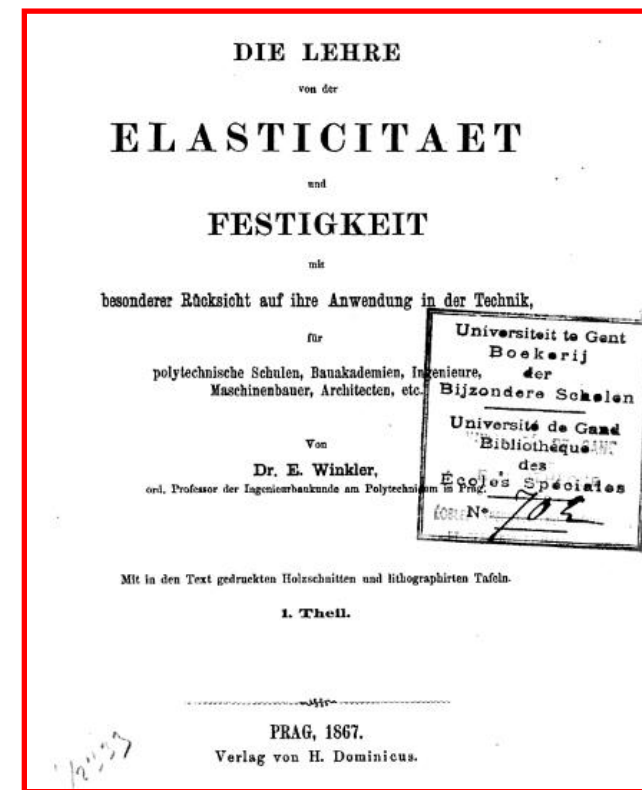


# Instituto de Engenharia

## O que é coeficiente de reação vertical do solo ??

Em 1867 o engenheiro alemão **Emil Winkler** desenvolveu um modelo que ficou conhecido como **subleito de Winkler**. Assim, o subleito (solo) atua como uma mola linear com uma constante  $k$  de proporcionalidade onde as reações são proporcionais ao deslocamento. Sem dúvida as propostas de Emil Winkler foram um marco, e sua teoria continua sendo utilizada até nos dias de hoje.

Basicamente 100% desse trabalho vai se referir ao modelo de Winkler.

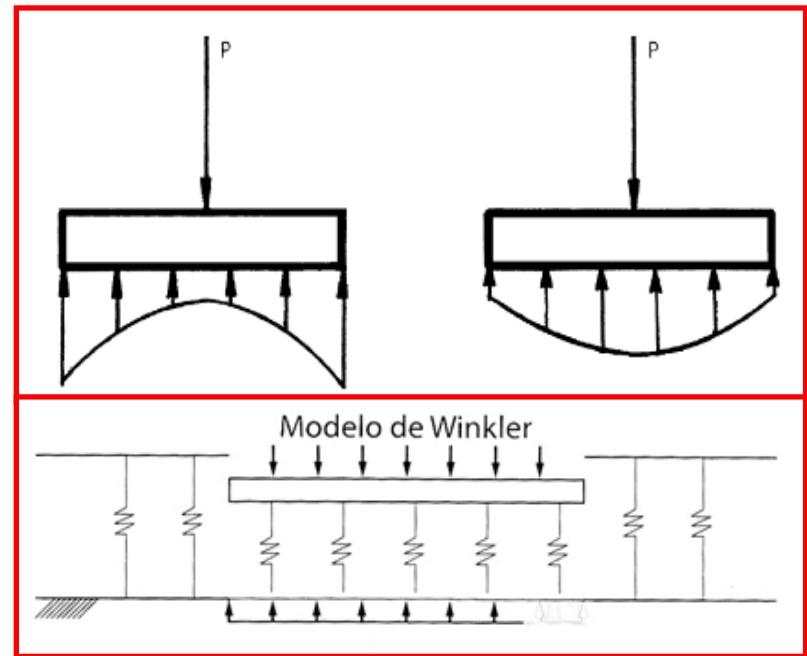


Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
Eng. Fábio Albino de Souza

## Distribuição da pressão no solo governada pelo coeficiente de reação vertical do solo

A hipótese de uma distribuição de pressão linear é **comumente utilizada** e é satisfatória devido a estimativas conservadoras de carga e fatores de segurança amplos em materiais e solos.

**A distribuição da pressão de contato real em solos não coesivos é côncava e em solos coesivos a distribuição da pressão é convexa.**



Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
Eng. Fábio Albino de Souza



# *Instituto de Engenharia*

## **Como encontrar o coeficiente de reação vertical do solo??**

Existem **muitos métodos** para encontrar o valor do coeficiente de reação vertical do solo, tais como:

- Ensaio de Placa
- Correlações com SPT
- Correlações com Tensões Admissíveis
- Correlações com CBR
- Normas internacionais
- Entre outros métodos propostos por vários pesquisadores

**Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

**Como encontrar o  
coeficiente de reação  
vertical do solo??**

**- Ensaio de Placa**



**Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



# *Instituto de Engenharia*

## **O que é o método F-CBR ou F-SLAB ??**

É um método baseado no ensaio de CBR (California Bearing Ratio) levando em consideração a condição de umidade de campo ou ótimo e também na condição saturada.

O método tem as suas particularidades sendo basicamente aceito para **argilas e ALGUNS siltes até o presente momento.**

Por ser um método de aplicação direta fornece dados mais próximos dos ensaios de placa com a vantagem de ser mais simples e econômico.

**Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**





# *Instituto de Engenharia*

## Como o método trabalha??

### Ensaio de CBR

O **Índice de Suporte Califórnia** (ISC ou CBR - **California Bearing Ratio**) é a relação, em percentagem, entre a pressão exercida por um pistão de diâmetro padronizado necessária à penetração no solo até determinado ponto (0,1" e 0,2") e a pressão necessária para que o mesmo pistão penetre a mesma quantidade em solo-padrão de brita graduada.

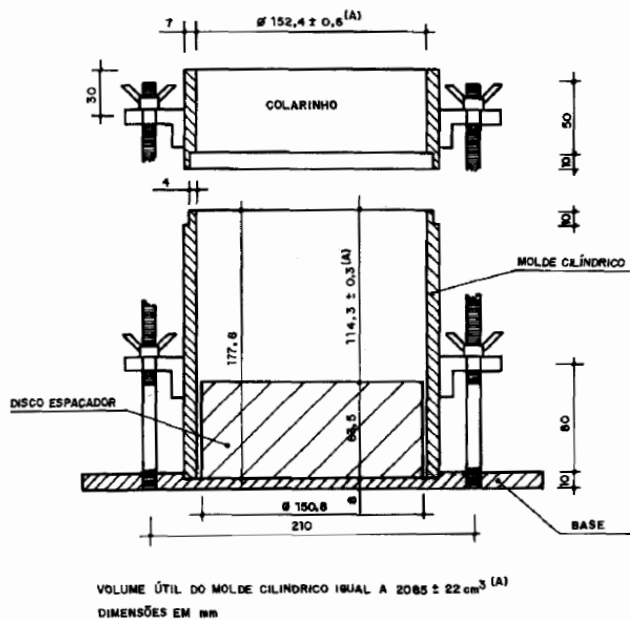
Através do ensaio de CBR é **possível conhecer qual será a expansão de um solo** sob uma laje sobre o solo quando este estiver saturado, e **fornece indicações da perda de resistência do solo com a saturação.**

Apesar de ter um **caráter empírico**, o ensaio de CBR é mundialmente difundido e **serve de base** para o dimensionamento de lajes sobre o solo (radier).

**Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Como o método trabalha??

### Ensaio de CBR



Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
Eng. Fábio Albino de Souza



# *Instituto de Engenharia*

## **Como o método trabalha??**

### **Ensaio de CBR**

Colocar em cada corpo-de-prova, no espaço deixado pelo disco espaçador, o prato perfurado com a haste de expansão e sobre ele dois discos anelares cuja massa total deve ser  $(4540 \pm 20)$  g.

Apoiar, na haste de expansão do prato perfurado, a haste do extensômetro acoplado ao porta-extensômetro. Anotar a leitura inicial e imergir o corpo-de-prova no tanque. Cada corpo-de-prova deverá permanecer 96 horas (4 dias) no mínimo, e as leituras no extensômetro devem ser efetuadas a cada 24 horas.

**Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Como o método trabalha??

### Ensaio de CBR



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

O índice de suporte Califórnia final será o maior dos valores obtidos nas penetrações de 0,1 e 0,2 polegadas.



Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
Eng. Fábio Albino de Souza



# Instituto de Engenharia

## Como o método trabalha??

$$RIS = \left[ \frac{CBR_{imerso}}{CBR_{sem\ imers\~ao}} \right] \times 100$$

A relação RIS indica o quanto o solo perde de suporte após um longo período de exposição à água. **Quanto maior for o RIS, melhor é o solo**, havendo uma menor variação de suporte em contato com a água.

**O Método F-CBR aceita RIS menores que 50%.** Se o RIS for maior que 50% devemos tomar cuidado pois o solo tem capacidade de suporte mesmo em condições imersas. Vale lembrar que compactamos o solo e isso pode não ocorrer em uma situação real de campo.

**Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Iniciando os cálculos

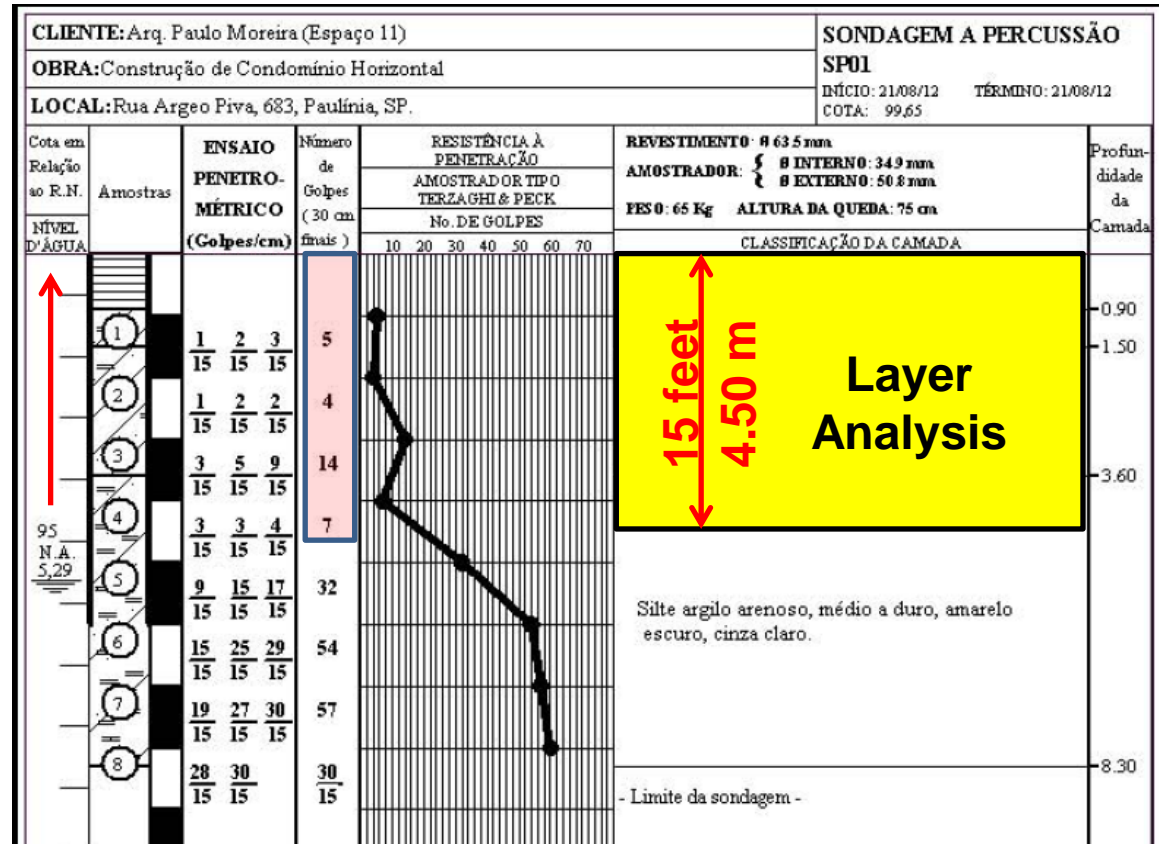
CLIENTE: Arq. Paulo Moreira (Espaço 11)		SONDAGEM A PERCUSSÃO SP01				
OBRA: Construção de Condomínio Horizontal		INÍCIO: 21/08/12    TÉRMINO: 21/08/12				
LOCAL: Rua Argeo Piva, 683, Paulínia, SP.		COTA: 99,65				
Cota em Relação ao R.N.	Amostras	ENSAIO PENEIRO-MÉTRICO (Golpes/cm)	Número de Golpes (30 cm finais)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK No. DE GOLPES	REVESTIMENTO: Ø 63,5 mm AMOSTRADOR: Ø INTERNO: 34,9 mm Ø EXTERNO: 50,8 mm FES 0: 65 Kg ALTURA DA QUEDA: 75 cm	Profundidade da Camada
NÍVEL D'ÁGUA				10 20 30 40 50 60 70	CLASSIFICAÇÃO DA CAMADA	
	1	1 2 3 15 15 15	5		Argila silto arenosa, vermelha escura (aterro).	0.90
	2	1 2 2 15 15 15	4		Argila silto arenosa, mole, vermelha clara.	1.50
	3	3 5 9 15 15 15	14		Argila areno silto, mole a rija, cinza clara.	3.60
	4	3 3 4 15 15 15	7		CL	
95 N.A. 5,29	5	9 15 17 15 15 15	32			Silte argilo arenoso, médio a duro, amarelo escuro, cinza claro.
	6	15 25 29 15 15 15	54			
	7	19 27 30 15 15 15	57			
	8	28 30 15 15	30			
			15		- Limite da sondagem -	8.30

Nível de água ←

Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
Eng. Fábio Albino de Souza

## Iniciando os cálculos

Analysis according to the Building Research Advisory Board (BRAB) – BRAB #33 (1968)

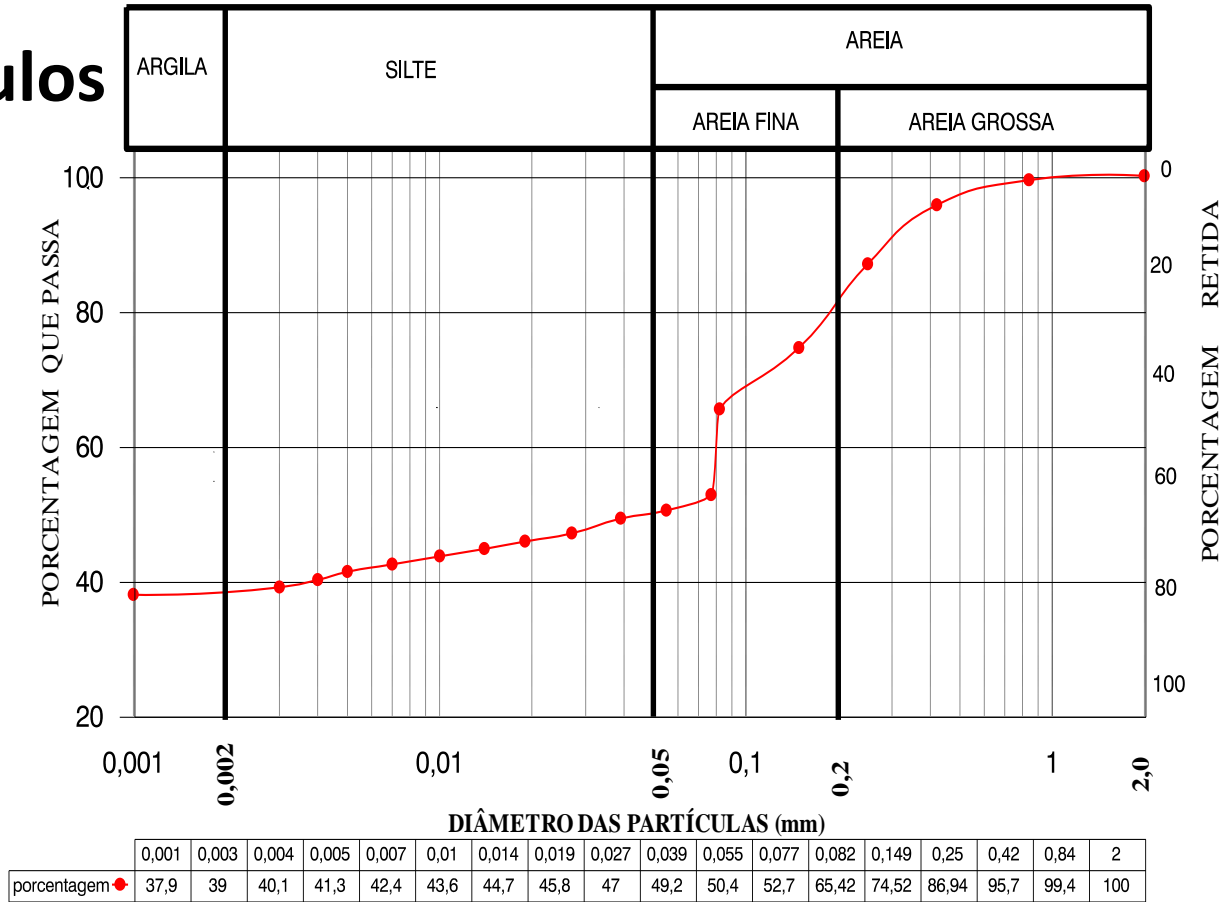


Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
Eng. Fábio Albino de Souza

**CURVA GRANULOMETRICA CONJUNTA**

**Argila Arenosa - Classificação USDA**

**Iniciando os cálculos**



**Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

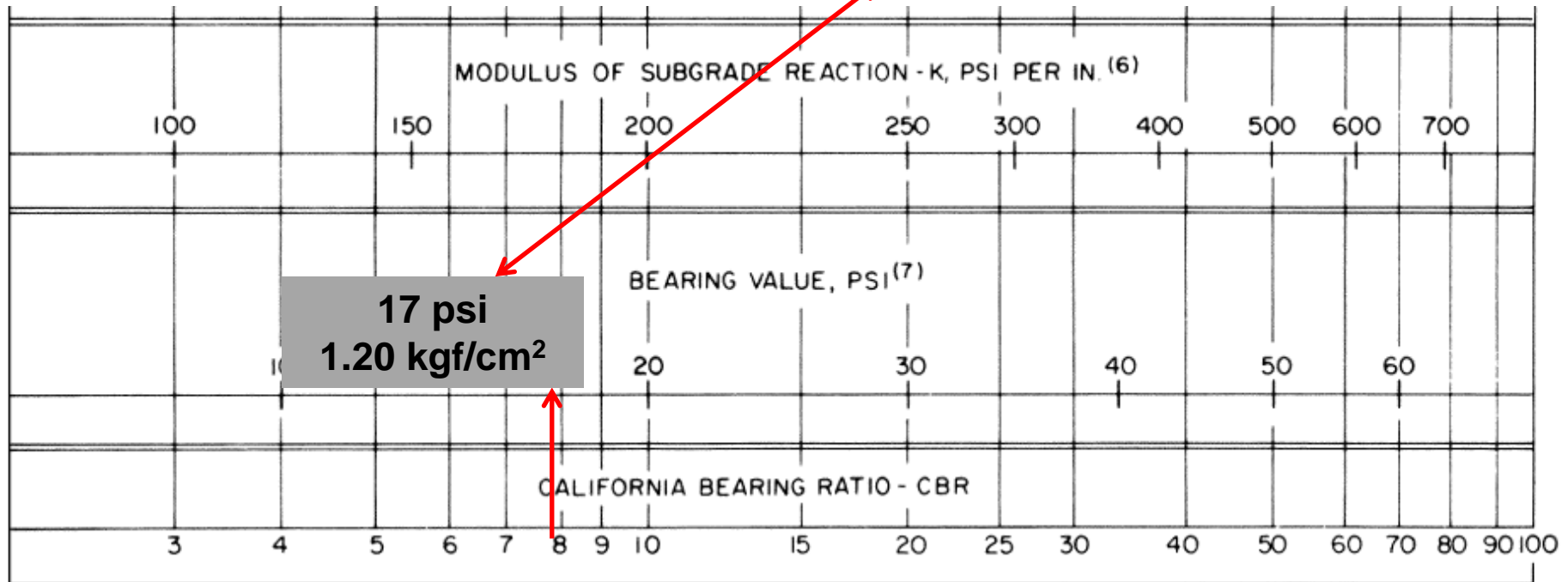


$CBR_{sat96h} = 7,9\%$   
 Sat96h = saturado 96 hours

## Iniciando os cálculos

$$\sigma_{allowable} = 0.20 * SPT_{average} = 0.20 * \left( \frac{5 + 4 + 14 + 7}{4} \right) = 1.50 \text{ kgf/cm}^2$$

ACI 360R10 (2010)



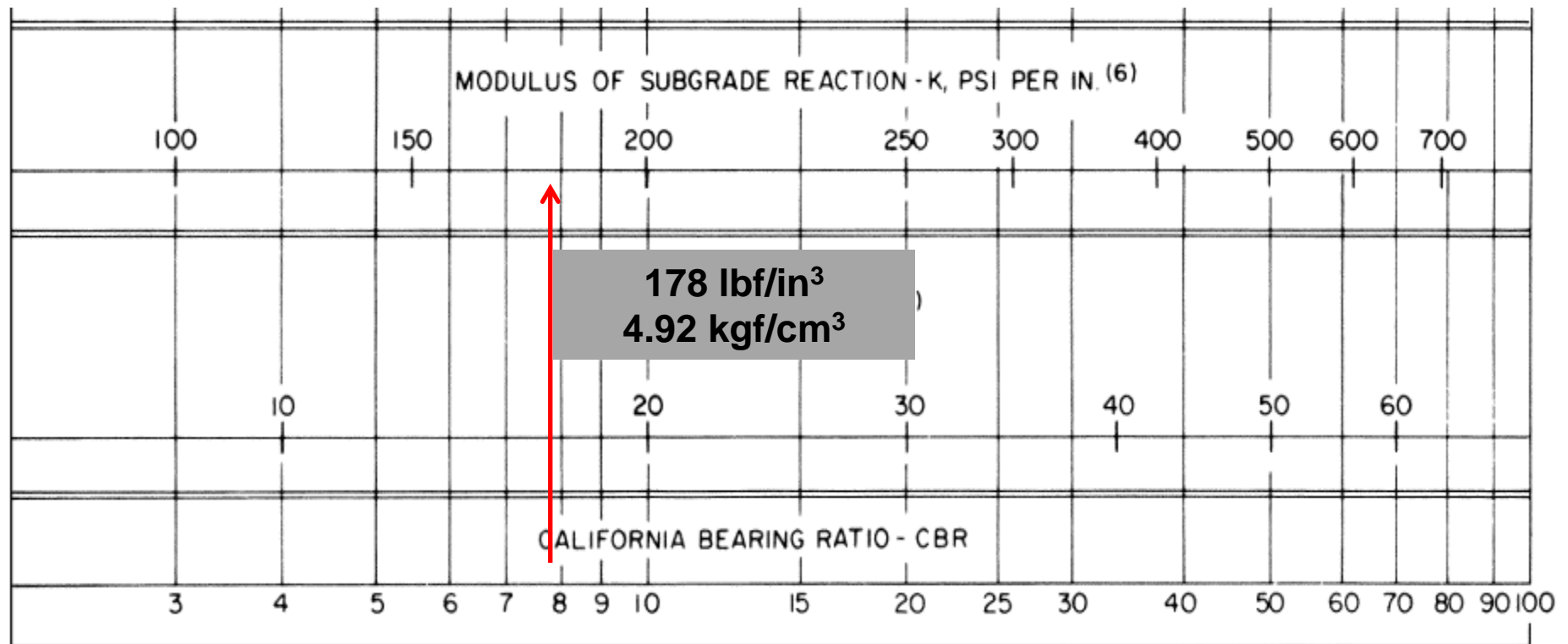
Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
 Eng. Fábio Albino de Souza

$CBR_{sat96h} = 7,9\%$   
Sat96h = saturado 96 hours

## Iniciando os cálculos

Coeficiente de reação vertical do solo

ACI 360R10 (2010)



Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
Eng. Fábio Albino de Souza



# Instituto de Engenharia

## Iniciando os cálculos

$\sigma_{\text{porCBR}}$  ←

$\sigma_{\text{allowable}}$  ←

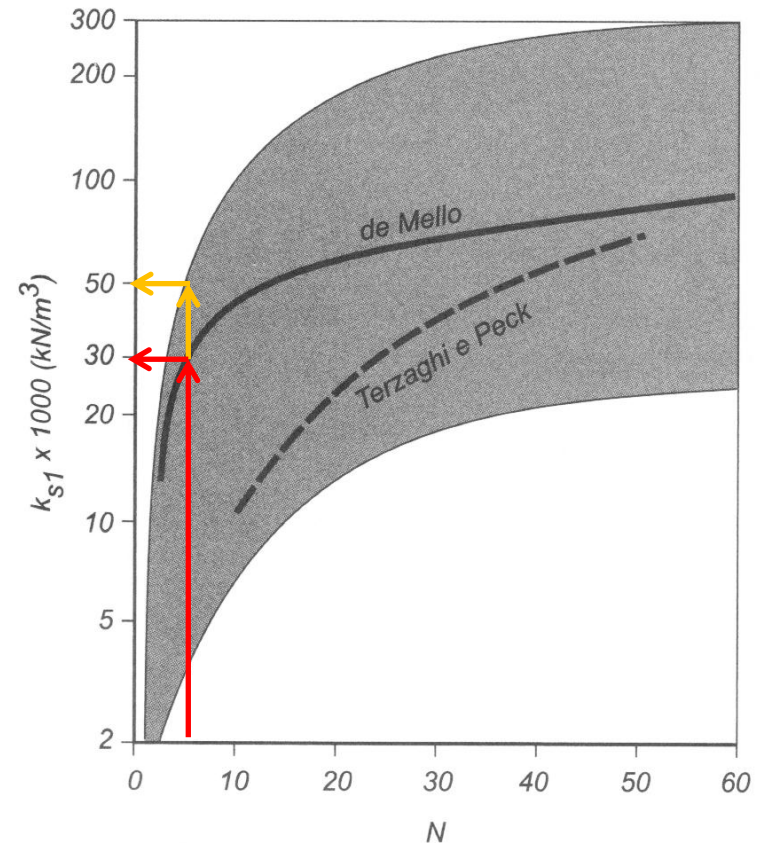
Tensão Admissível (kgf/cm <sup>2</sup> )	Kv (kgf/cm <sup>3</sup> )	Tensão Admissível (kgf/cm <sup>2</sup> )	Kv (kgf/cm <sup>3</sup> )
1,15	2,47	3,05	6,1
1,20	2,56	3,10	6,2
1,25	2,65	3,15	6,3
1,30	2,74	3,20	6,4
1,35	2,83	3,25	6,5
1,40	2,92	3,30	6,6
1,45	3,01	3,35	6,7
1,50	3,10	3,40	6,8
1,55	3,19	3,45	6,9
1,60	3,28	3,50	7,0
1,65	3,37	3,55	7,1
1,70	3,46	3,60	7,2
1,75	3,55	3,65	7,3
1,80	3,64	3,70	7,4
1,85	3,73	3,75	7,5
1,90	3,82	3,80	7,6
1,95	3,91	3,85	7,7
2,00	4,0	3,90	7,8
2,05	4,1	3,95	7,9
2,10	4,2	4,0	8,0

Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
Eng. Fábio Albino de Souza

## Iniciando os cálculos

$K_v = 30000 \text{ kN/m}^3 = 3 \text{ kgf/cm}^3 \rightarrow \text{de Mello}$

$K_v = 50000 \text{ kN/m}^3 = 5 \text{ kgf/cm}^3 \rightarrow \text{Limite Superior}$



Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
Eng. Fábio Albino de Souza

## Iniciando os cálculos

**Table 8-10. Modulus of Subgrade Reaction (k) and Soil Strain ( $E_{50}$ ) vs  $N_{SPT}$  for Clay**

Consistency			Soft	Medium	Stiff	Very Stiff	Hard
	Symbol	Unit					
SPT	$N_{SPT}$	--	2-4	4-8	8-16	16-32	>32
Shear Strength	$C_u$	kPa	12-24	24-48	48-96	96-192	192-383
		psf	250-500	500-1000	1000-2000	2000-4000	>4000
MSR*	k	$kN/m^3$	8140	27150	136000	271000	543000
		pci	30	100	500	1000	2000
Cyclic Loading	k	$kN/m^3$	--	--	54300	108500	217000
Soil Strain	$E_{50}$	pci	--	--	200	400	800
		%	2	1	0.7	0.5	0.4

$$K_v = 100 \text{ lbs/in}^3 = 2.77 \text{ kgf/cm}^3$$

Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
Eng. Fábio Albino de Souza

## Iniciando os cálculos

LIMITES	
LC	
LP	25,2%
LL	37,5%
IP	12,4%



$$K_v = 75 \text{ lbs/in}^3 = 2.08 \text{ kgf/cm}^3$$

Types of Materials	Modulus of Subgrade Reaction, k, in lb/in <sup>3</sup> for Moisture Contents of							
	1	5	9	13	17	21	25	Over
	to 4%	to 8%	to 12%	to 16%	to 20%	to 24%	to 28%	
Silts and clays Liquid limit > 50 (OH, CH, MH)	--	175	150	125	100	75	50	25
Silts and clays Liquid limit < 50 (OL, CL, ML)	--	200	175	150	125	100	75	50
Silty and clayey sands (SM & SC)	300	250	225	200	150	--	--	--
Gravelly sands (SW & SP)	300+	300	250	--	--	--	--	--
Silty and clayey gravels (GM & GC)	300+	300+	300	250	--	--	--	--
Gravel and sandy gravels (GW & GP)	300+	300+	--	--	--	--	--	--

Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
Eng. Fábio Albino de Souza



# Instituto de Engenharia

## Iniciando os cálculos

Tabela de Béton – Kalender de 1962.

Referência bibliográfica: MORAES (1981).

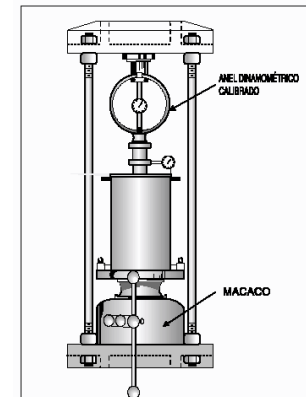
Valores de $K_v$ (em $\text{kgf/cm}^3$ )	
Turva leve-solo pantanoso	0,5 a 1,0
Turva pesada-solo pantanoso	1,0 a 1,5
Areia fina de praia	1,0 a 1,5
Aterro de silte, areia e cascalho	1,0 a 2,0
Argila molhada	2,0 a 3,0
Argila umida	4,0 a 5,0
Argila seca	6,0 a 8,0
Argila seca endurecida	10,0
Silte compactado com areia e pedra	8,0 a 10,0
Silte compactado com areia e muita pedra	10,0 a 12,0
Cascalho miúdo com areia fina	8,0 a 12,0
Cascalho médio com areia fina	10,0 a 12,0
Cascalho grosso com areia grossa	12,0 a 15,0
Cascalho grosso com pouca areia	15,0 a 20,0
Cascalho grosso com pouca areia compactada	20,0 a 25,0

– Valores de  $K_v$  da tabela de Béton – Kalender

Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
Eng. Fábio Albino de Souza

## Iniciando os cálculos

ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA							VISTO	DATA		
PENETRAÇÃO						CILINDRO	CONST. ANEL			
TEMPO (min)	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	
PENETRAÇÃO (mm)	0,63	1,27	1,9	2,54	3,81	5,08	7,62	10,16	12,7	
LEITURA	15	31	46	60	80	94	112	127	135	
CARGA (kgf)	25,50	52,70	78,20	102,00	136,00	159,80	190,40	215,90	229,50	



**Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



## Iniciando os cálculos

Considerando 2,54 mm

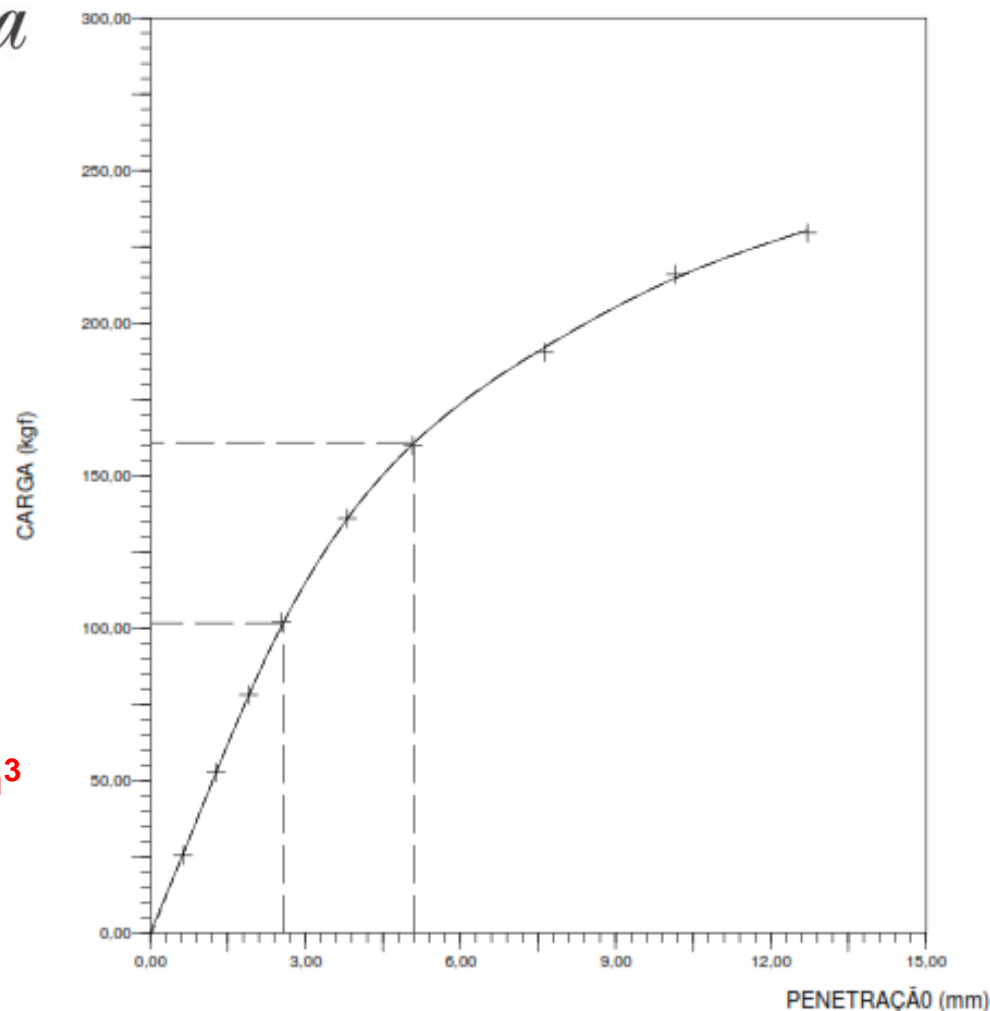
$$Kv1 = 102 / 19,45 / 0,254 = 20,64 \text{ kgf/cm}^3$$

Considerando 5,08 mm

$$Kv2 = 159,8 / 19,45 / 0,508 = 16,17 \text{ kgf/cm}^3$$

**\*\* Atençãooooo\*\*** - Esses valores são referentes a um diâmetro do êmbolo de 5,00 cm.

**O CBR foi encontrado para 5,08mm.**



Índice de Suporte (%):	7,9
Calculado para a penetração (mm):	5,08
Correção Inicial (mm):	0,030

Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
Eng. Fábio Albino de Souza

## Iniciando os cálculos

**ACI 336.2R-88**

(Reapproved 2002)

Suggested Analysis and Design Procedures  
for Combined Footings and Mats

$$k_s = k_p \left( \frac{B_p}{B_m} \right)^n$$

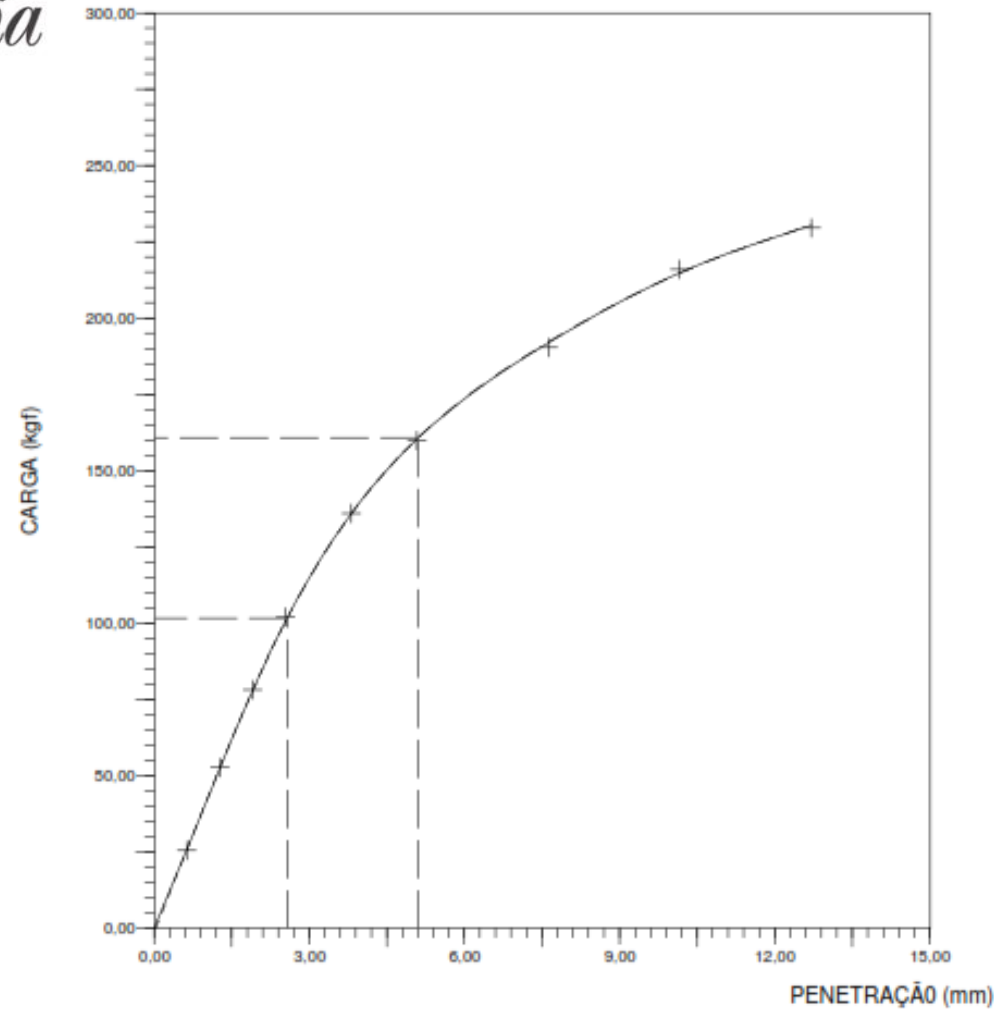
Considerando 2,54 mm

$$Kv1 = 20,64 \text{ kgf/cm}^3 (5\text{cm}/76\text{cm})^{0.5}$$

$$Kv1 = 5,29 \text{ kgf/cm}^3$$

$$Kv1 = 3,07 \text{ kgf/cm}^3$$

n -> pode variar de 0,5 a 0,7



Índice de Suporte (%):	7,9
Calculado para a penetração (mm):	5,08
Correção Inicial (mm):	0,030

Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
Eng. Fábio Albino de Souza

## Iniciando os cálculos

**ACI 336.2R-88**

(Reapproved 2002)

Suggested Analysis and Design Procedures  
for Combined Footings and Mats

$$k_s = k_p \left( \frac{B_p}{B_m} \right)^n$$

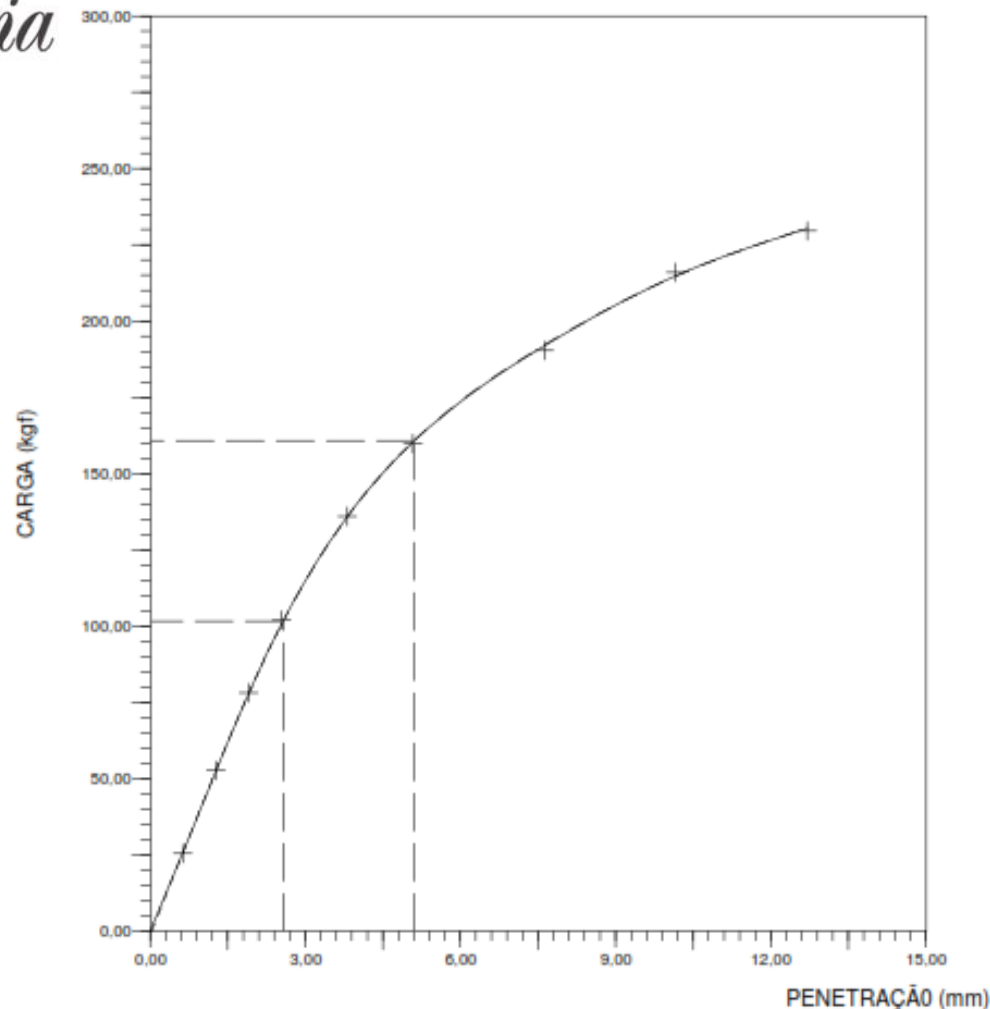
Considerando 5,08 mm (COM O CBR)

$$Kv2 = 16,17 \text{ kgf/cm}^3 (5\text{cm}/76\text{cm})^{0.5}$$

$$Kv2 = 4,15 \text{ kgf/cm}^3$$

$$Kv2 = 2,41 \text{ kgf/cm}^3$$

n -> pode variar de 0,5 a 0,7



Índice de Suporte (%):	7,9
Calculado para a penetração (mm):	5,08
Correção Inicial (mm):	0,030

Utilização do método F-CBR para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo  
Eng. Fábio Albino de Souza

## Conclusão

O coeficiente de reação vertical encontrado com o método F-CBR embora tenha apresentado uma variação entre os valores mínimos de máximos, foi muito mais preciso e encurtou ainda mais a faixa de valores apresentados pela ACI 360R-10 para o tipo de solo estudado.



Solo	CBR		k (kgf/cm <sup>3</sup> )		
	Min	Max	Min	Max	
Fino	OH	2.0	5.0	0.77	3.32
	CH	2.0	5.0	0.77	3.32
	MH	2.5	8.0	1.36	4.82
	OL	2.0	8.0	0.77	4.82
	ML	3.0	15.0	1.85	7.13
	CL	3.0	15.0	1.85	7.13
Grosso	SC	10.0	20.0	5.59	8.33
	SU	10.0	20.0	5.59	8.33
	SP	15.0	25.0	7.13	9.33
	SM	20.0	40.0	8.33	11.66
	SW	20.0	40.0	8.33	11.66
	GC	20.0	40.0	8.33	11.66
	GU	25.0	50.0	9.33	12.89
	GP	35.0	60.0	10.97	13.94
	GM	40.0	80.0	11.66	15.73
GW	60.0	80.0	13.94	15.73	

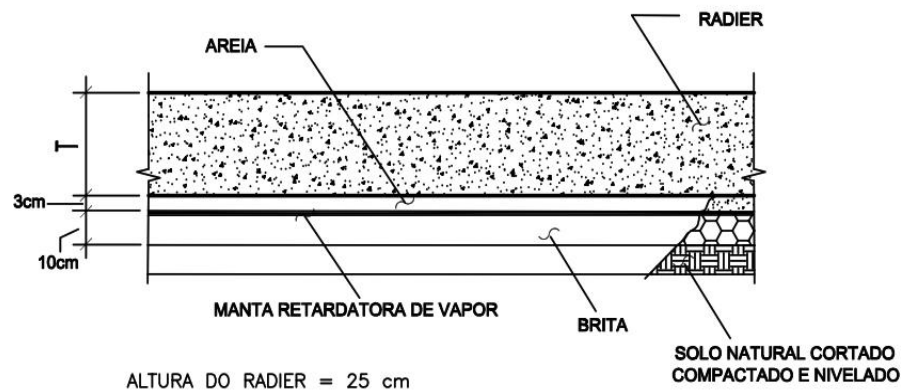
## Execução e pós-execução de radiers

### MODELO DE PREPARAÇÃO DA BASE DO RADIER

TIPO -01

UNIDADES: Centímetros (cm)

S/ Escala

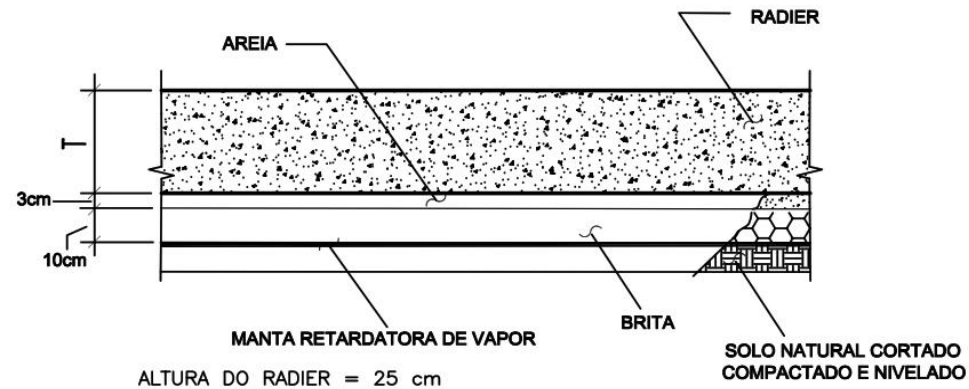


### MODELO DE PREPARAÇÃO DA BASE DO RADIER

TIPO -02

UNIDADES: Centímetros (cm)

S/ Escala



**Radier Simples, Armado e Protendido**  
Eng. Fábio Albino de Souza

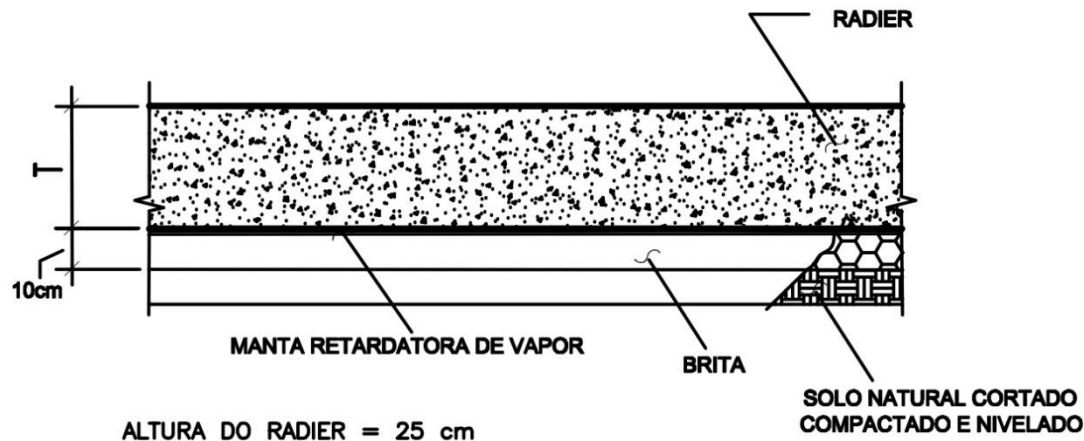
## Execução e pós-execução de radiers

### MODELO DE PREPARAÇÃO DA BASE DO RADIER

TIPO -03

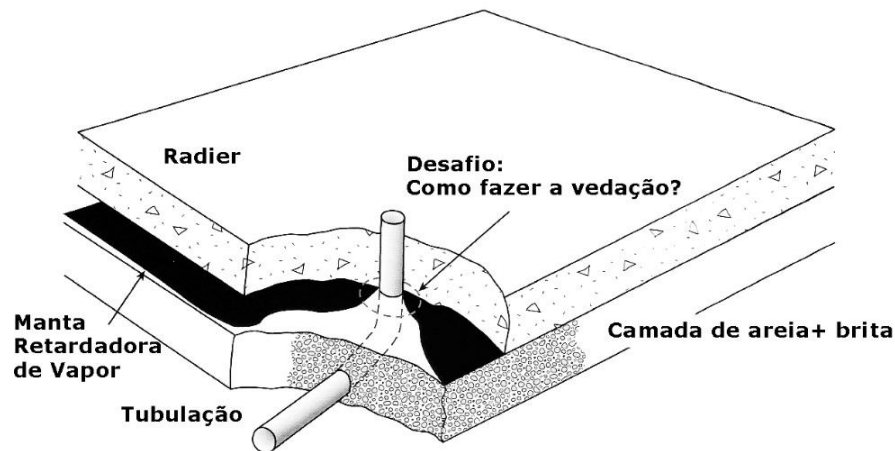
UNIDADES: Centímetros (cm)

S/ Escala

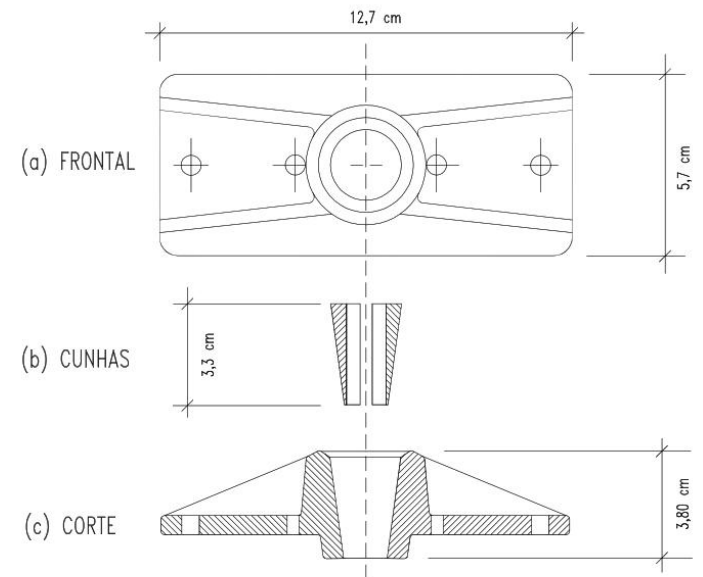


**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Execução e pós-execução de radiers



## Execução e pós-execução de radiers



DETALHE DA ANCORAGEM PARA CABO MONOCORDOALHA

UNIDADES: cm  
S/ ESCALA

**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**



## Execução e pós-execução de radiers



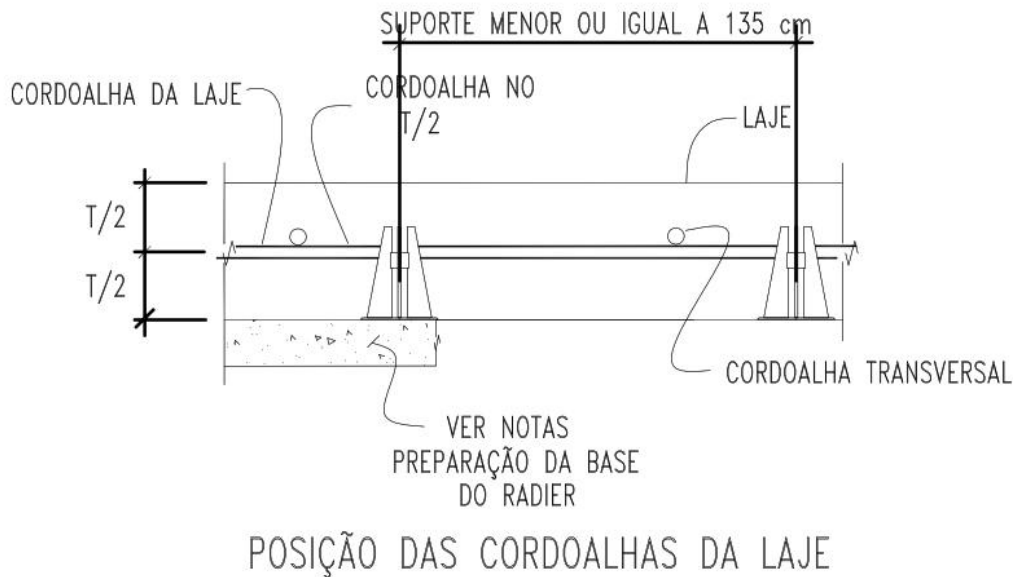
**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Execução e pós-execução de radiers

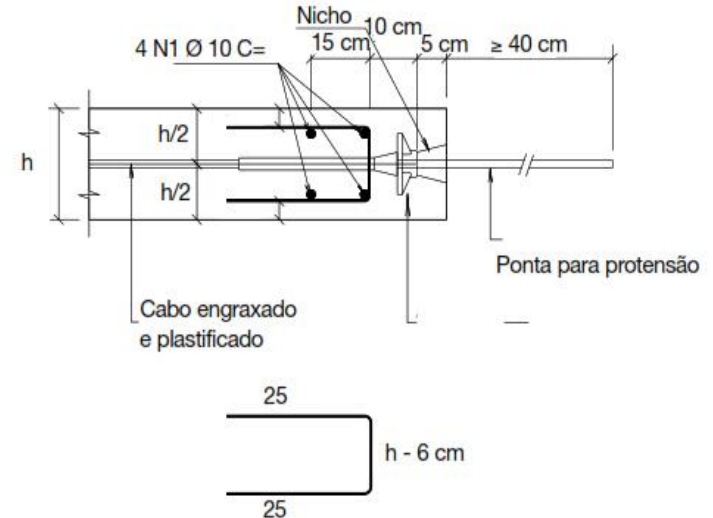


**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Execução e pós-execução de radiers



UNIDADES: cm  
S/ ESCALA



**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Execução e pós-execução de radiers



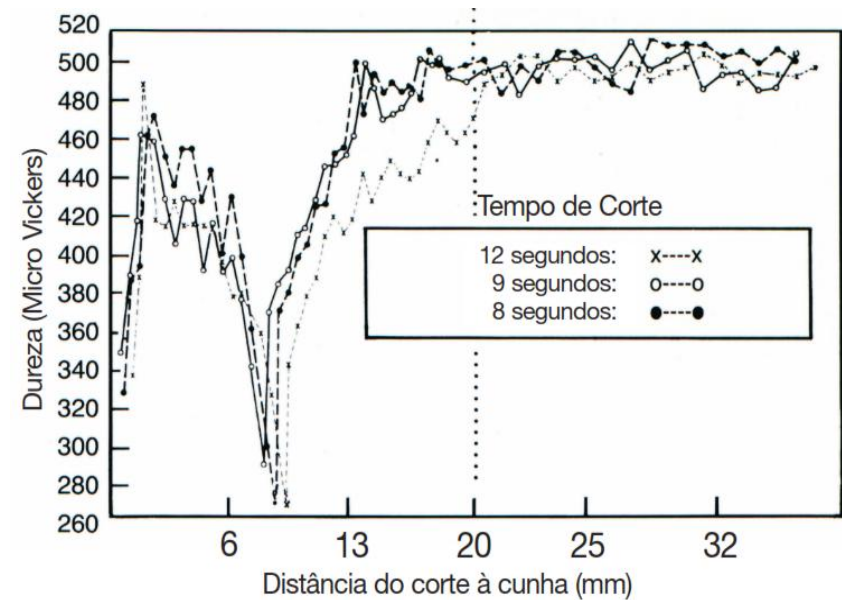
**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Execução e pós-execução de radiers



**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Execução e pós-execução de radiers



**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**

## Execução e pós-execução de radiers



**Radier Simples, Armado e Protendido**  
**Eng. Fábio Albino de Souza**