



IESP/SP - DTG-DIVISÃO TECNICA DE GEOTECNIA

FATOR DE SEGURANÇA E RISCO GEOTÉCNICO

Eng. Nelson Aoki

Prof. Dr. Apos. USP/SC

São Paulo, 22 de novembro de 2023.

PAPEL DO ENGENHEIRO CIVIL NA SOCIEDADE DE RISCO

Prof. André T. Beck, Ph.D. (USP/SC)

- O engenheiro exerce o duplo papel de médico e advogado da construção: ele deve alertar o proprietário dos riscos potenciais que o terreno e a própria construção apresentam para a sociedade e, principalmente o risco de ruína da obra.

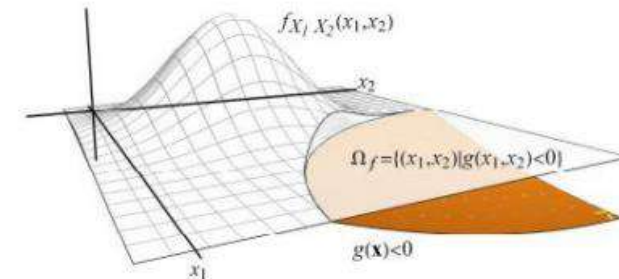
Prof. Nelson Aoki, outubro de 2011.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS



CONFIABILIDADE E SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS



Prof. André T. Beck, Ph.D.

Versão revisada e ampliada, 10/03/2023.

Favor citar como:

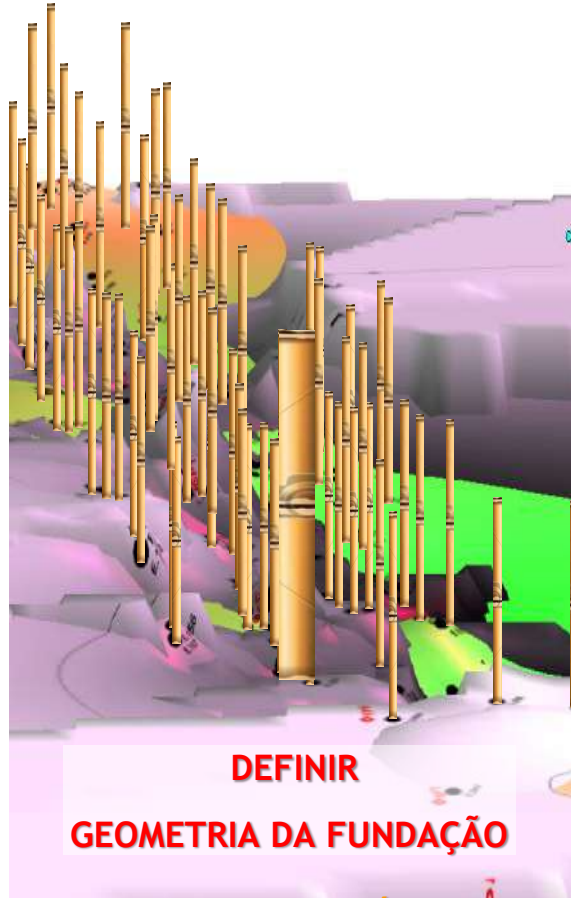
Beck AT, 2019: Confiabilidade e Segurança das Estruturas. Elsevier, ISBN 978-85-352-8895-7.

Mudança de paradigma: “A engenharia não é uma ciência exata”.

(Vahan Agopyan, reitor da Universidade de São Paulo, 2019).

CENÁRIO ANÁLISE SEGURANÇA E RISCO GEOTÉCNICO

PROBLEMA FUNDAMENTAL

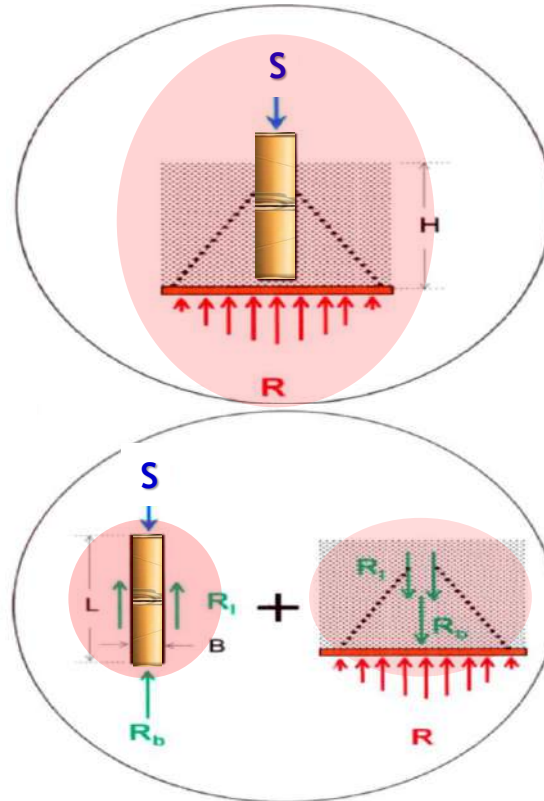


OBJETO DE ANÁLISE

PROFUNDIDADE
SUPERFÍCIE RESISTENTE

SOLICITAÇÕES x RESISTÊNCIAS

Sistema isolado fundação



MATERIAIS & SISTEMAS

Tipos fundações e sistemas (catálogo)

- ✓ Geometria forma seção transversal
- ✓ Aço (dúctil)
- ✓ Concreto (frágil)

Resistência/rigidez maciço solos/rochas

- ✓ Geologia e geometria camadas
- ✓ Resistencia material solos e rochas
- ✓ Efeitos de execução

Resistência/rigidez sistema estaca-solo

- ✓ Material estrutural (Limite Inferior)
- ✓ Sistema estrutura-solo (Limite Superior)

Controle resistência/rigidez execução

- ✓ **Sem** medição efetiva
- ✓ **Com** medição expedita ou instrumentada

RESISTENCIA/RIGIDEZ
MATERIAIS & SISTEMAS

VARIABILIDADE GEOMETRIA ÚNICA FUNDAÇÃO & SISTEMA ESTRUTURAL, CARGAS E MATERIAIS

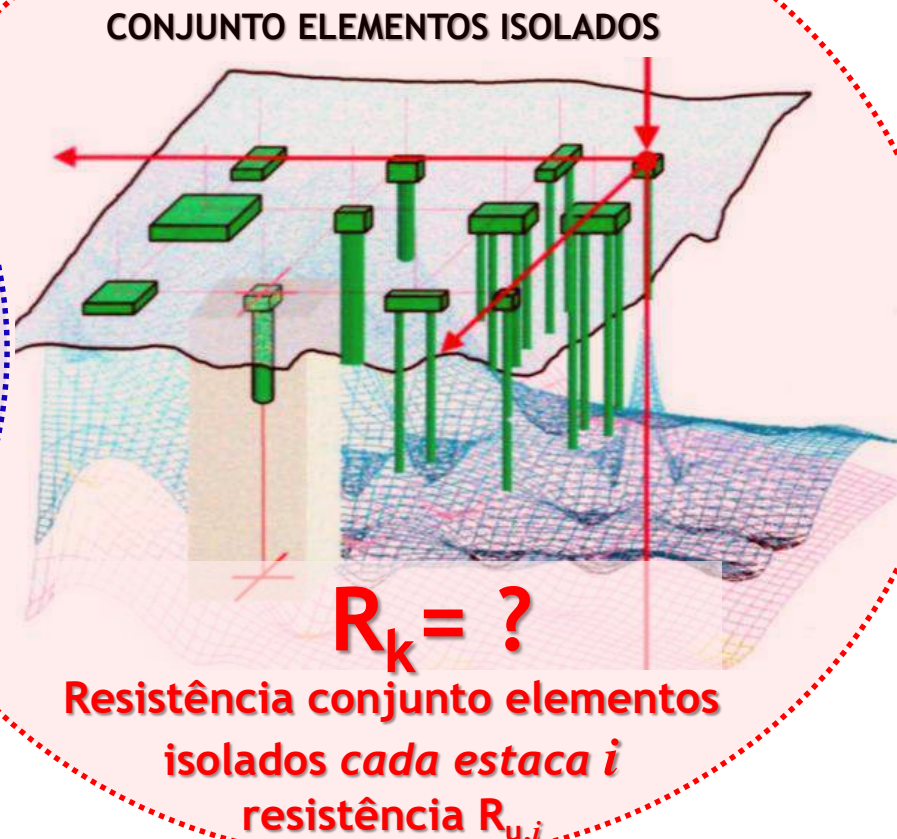
NBR 6122:2019 - PROJETO E EXECUÇÃO DE FUNDAÇÃO

S = SOLICITAÇÃO



R = RESISTÊNCIA

ISE



VERIFICAÇÃO DESEMPENHO MERCADO

- Determinação risco CDC
- Desempenho e durabilidade
- Sustentabilidade

VERIFICAÇÃO SEGURANÇA ELU / ELS

- Valor admissível: $P_{adm} \leq R_k / FS_g$
- Valor de cálculo: $R_d \leq R_k / \gamma_m$
- Recalques/rotações: $\delta \leq \delta_{adm}$

FORMAS E MATERIAIS MACIÇO SOLOS/ROCHAS

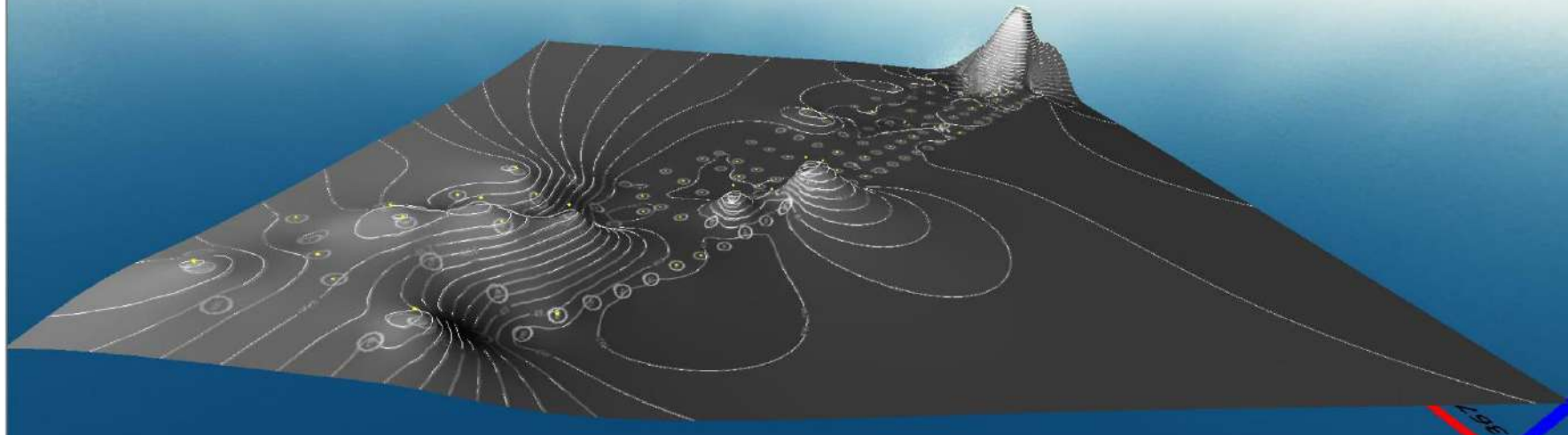
FORMAÇÃO TROPICAL UMIDA

Geology for Engineers: the Geological Model, Prediction and Performance

P. G. Fookes

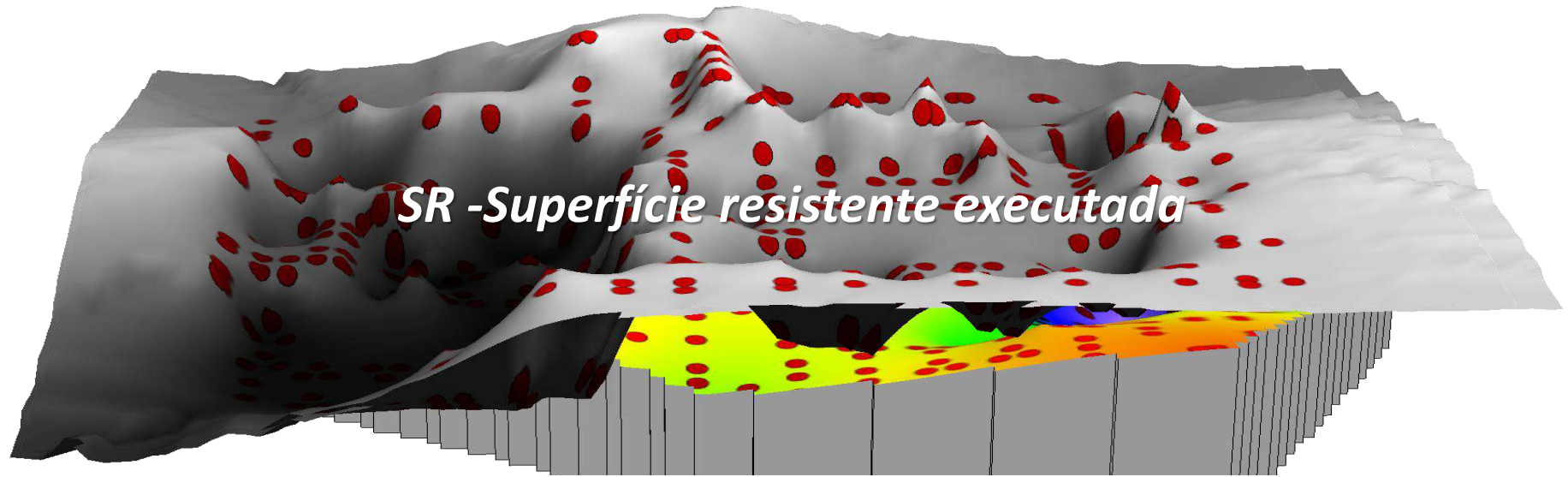


SUPERFÍCIE PONTAS ESTACAS → SR - superfície resistente trecho Cais Porto Santos

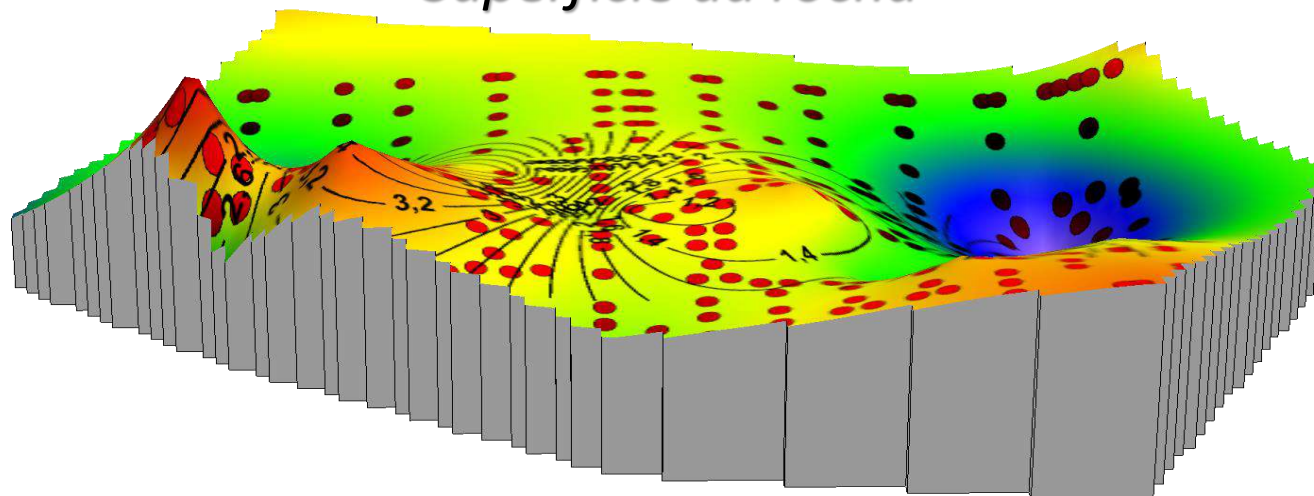


SUPERFICIE RESISTENTE: FUNDAÇÃO ESTACA HC

Variabilidade SR comanda fator segurança



Superfície da rocha



Curvas iso fator segurança

OBJETO ANÁLISE RISCO E SEGURANÇA

**Eixo
referência**

PEDON,
menor unidade ou volume
tridimensional contém todos
horizontes tipo particular
solo, na vertical nível terreno
até base rochosa.

SUPER ESTRUTURA

ESTRUTURA

INFRA ESTRUTURA

MACIÇO SOLOS E ROCHAS

SOLO

ROCHA

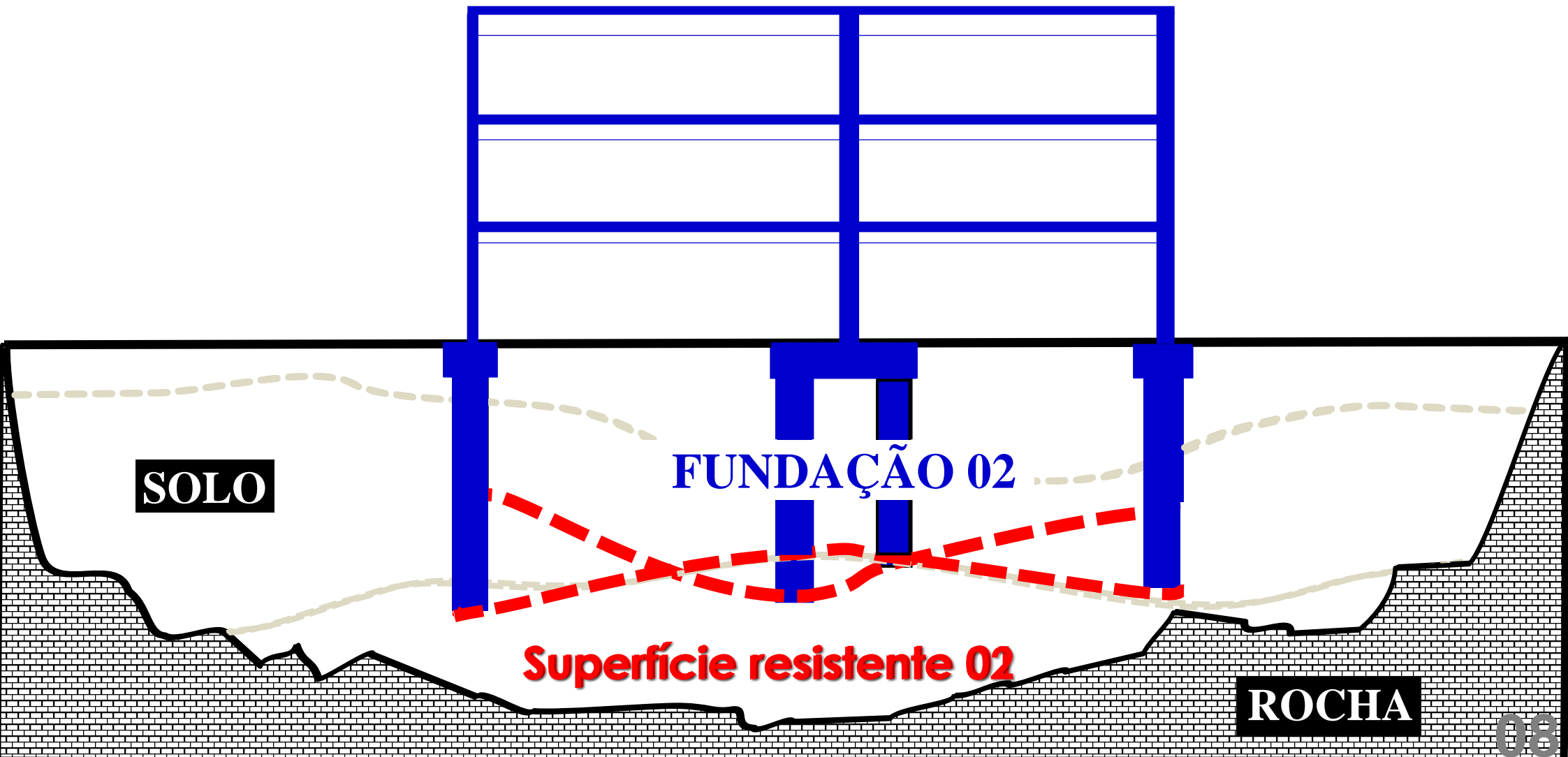


22/11/2023

OBJETO ANÁLISE RISCO E SEGURANÇA

SUPERFÍCIE RESISTENTE (SR) COMANDA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA

DEPENDE DA VARIABILIDADE ÚNICA
MACIÇO DE SOLOS E ROCHAS LOCAL



MODELOS INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA

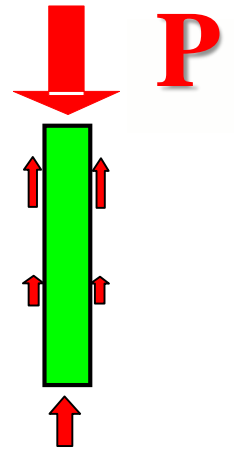
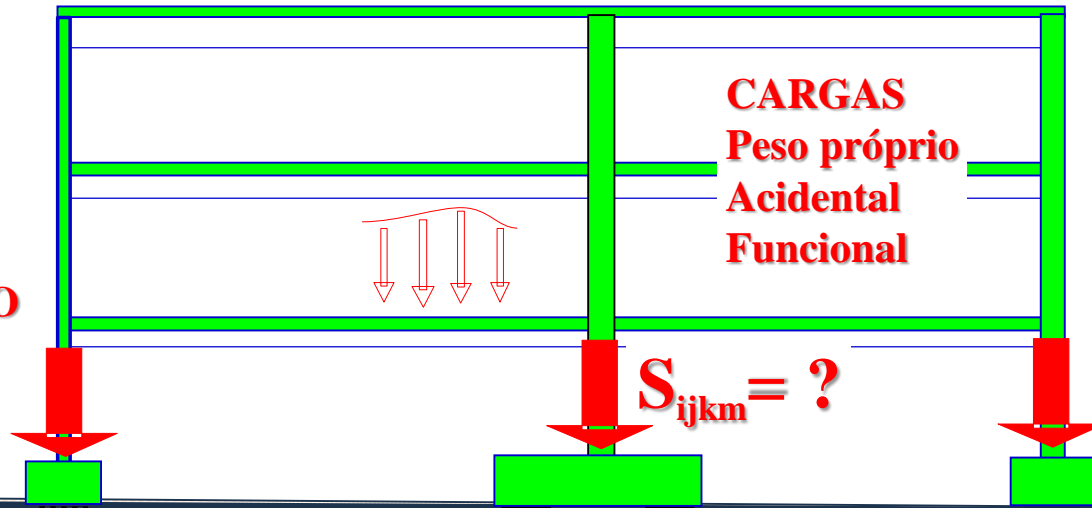
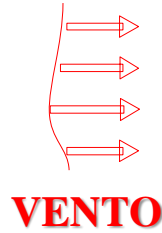
COEFICIENTE RIGIDEZ ANÁLISE ISE

EQUILIBRIO ESTRUTURA – MACIÇO SOLO

Cargas ambientais e funcionais

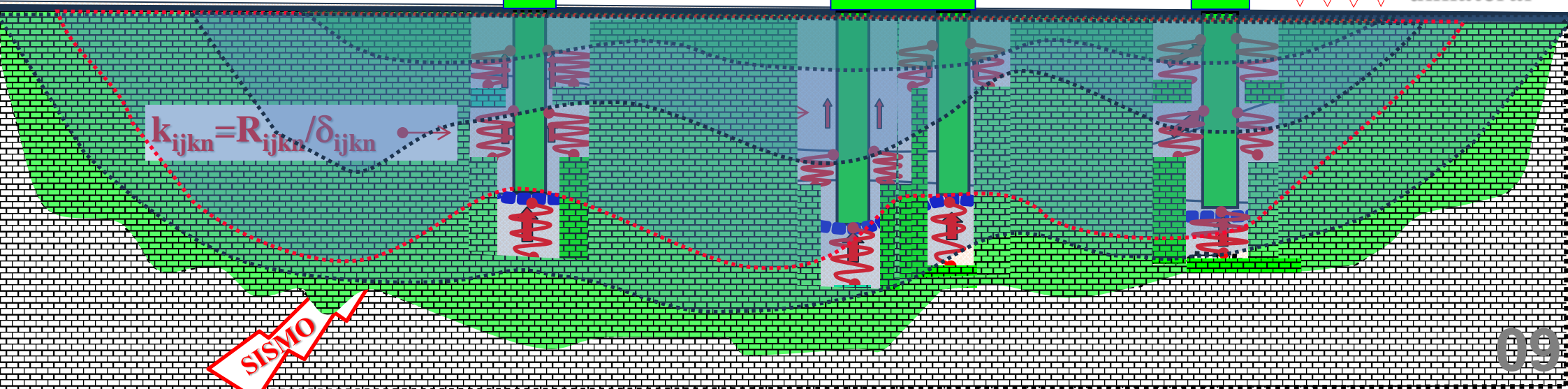


R_{ijklm}



$$k_{ijklm} = R_{ijklm} / \delta_{ijklm}$$

TC



TC - TRANSFERÊNCIA CARGA ESTACA-SOLO: MODÉLO ISE → VÉSIC+ ELU

ATRITO LATERAL MOBILIZA-SE ANTES DA PONTA !!!! (resistência na ponta ≈ 0 até a carga P=PL)

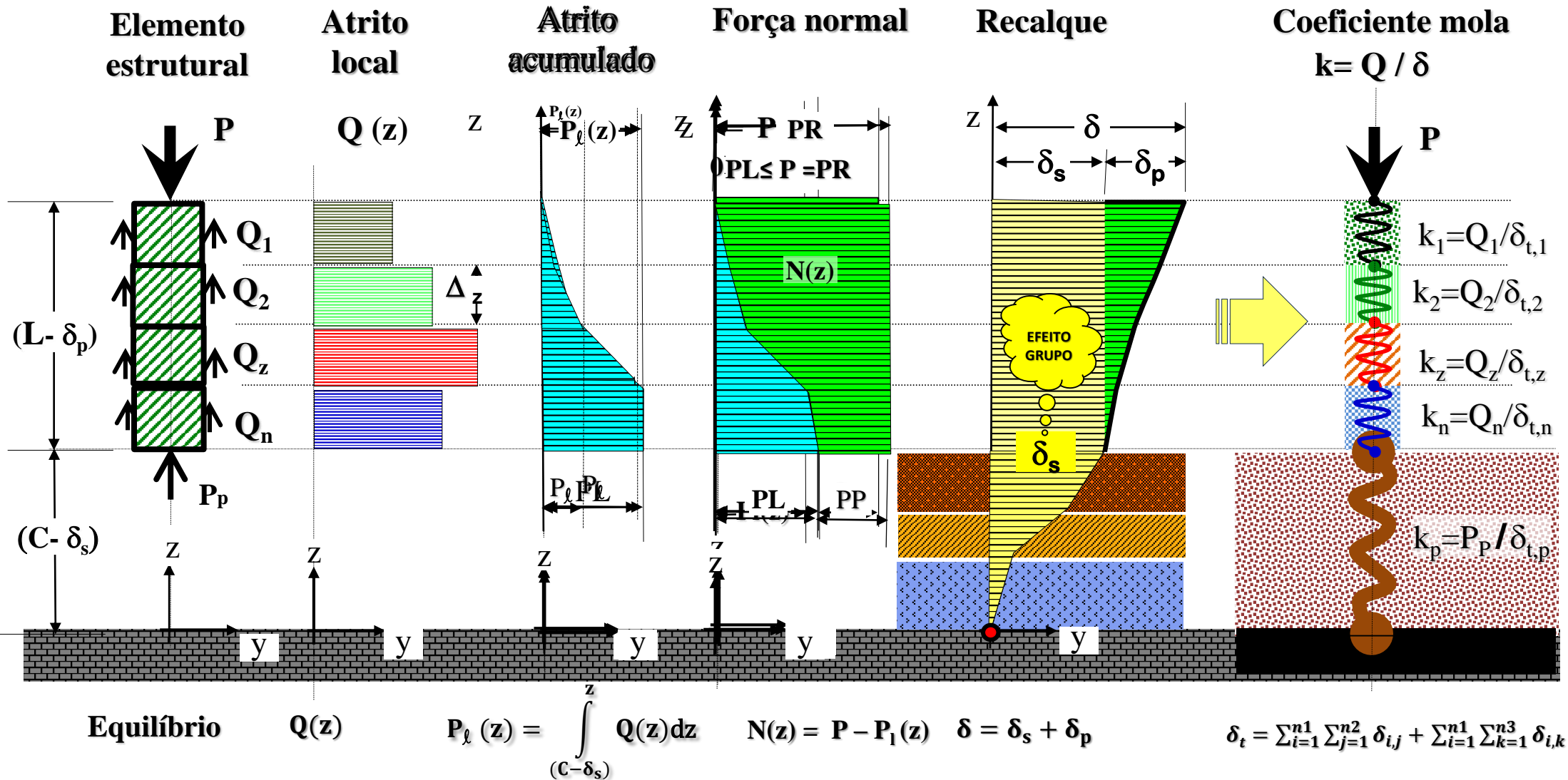


DIAGRAMA CAPACIDADE CARGA ESTACA SONDAGEM LOCAL DETERMINA TC NA RUPTURA!

OBRIGATORIEDADE ANÁLISE INTERAÇÃO SOLO - ESTRUTURA

5.5 Análise de interação fundação-estrutura

ABNT NBR 6122:2019

Em estruturas nas quais a deformabilidade das fundações pode influenciar na distribuição de esforços, deve-se estudar a interação fundação-estrutura, sendo obrigatório esse estudo nos seguintes casos:

- estruturas nas quais a carga variável é significativa em relação à carga total, tais como silos e reservatórios;
- estruturas com mais de 55,0 m de altura, medida do térreo até a laje de cobertura do último piso habitável;
- relação altura/largura (menor dimensão) superior a quatro;
- fundações ou estruturas não convencionais.

A interação solo estrutura **(ISE)** determina as solicitações **(S)** e resistências **(R)** que originam o fator de segurança médio **(FS)** e a probabilidade de ruína **(p_f)** definida pelo fator de confiabilidade **(β)**. $p_f \approx 1/10^\beta \quad \therefore \quad \beta=3 \rightarrow p_f \approx 1/1000$

ANÁLISE INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA É INDISPENSÁVEL!

TQS*: coeficiente mola baseado sondagem $\rightarrow k= Q / \delta$

*Iwamoto, R. K. *Alguns aspectos dos efeitos da interação solo-estrutura em edifícios de múltiplos andares com fundação profunda*. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

DETERMINAÇÃO DE S_d → ENGENHEIRO ESTRUTURAL

NBR8800:2008 Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios

ISE → SOLICITAÇÃO: Valor de cálculo

$$S_d = \gamma_D \cdot D_n + \gamma_i \cdot Q_{ni} + \sum_{j \neq i}^n \psi_j \cdot \gamma_j \cdot Q_{nj} \quad S_k = ?$$

S_d = solicitação cálculo
 D_n = ação permanente
 Q_{ni} = ação variável principal
 Q_{nj} = ação variável secundária
 γ_D, γ_i e γ_j ⇒ fatores parciais majoração
 ψ_i e ψ_j ⇒ fatores combinação ações

S_k = solicitação característica?

NBR6122:2019 Projeto e Execução de Fundações

Valor característico não define curva solicitação !

$$S_k = S_d / \gamma_f \rightarrow \gamma_f = 1,4$$

$$S'_k = \mu_S + a_S \cdot \sigma_S$$

$$\mu_S = ?$$

RESISTÊNCIA FASE PROJETO

- Métodos empíricos baseados em ensaios de campo (NBR 6122:2019)

6.2.1.2.1 Resistência determinada por método semiempírico Determinação $(R_{se})_{méd}$ e R_k

O fator de segurança global a ser utilizado para determinação da carga admissível é 2,0. Para se chegar à força resistente de cálculo o ponderador deve ser 1,4.

Quando se reconhecerem regiões representativas e se utilizarem resultados de ensaios de campo nessas regiões, a determinação da resistência característica das estacas (R_k) por métodos semiempíricos pode basear-se na expressão:

Quando utilizado o método de valores admissíveis, a carga admissível deve ser:

$$P_{adm} = R_k / FS_g, \text{ com } FS_g = 1,4$$

Quando utilizado o método de valores de cálculo, a força resistente de cálculo deve ser:

$$R_d = R_k / \gamma_m, \text{ com } \gamma_m = 1,0$$

Tabela 2 – Valores dos fatores ζ_1 e ζ_2

n ^a	1	2	3	4	5	6	≥ 10
ζ_1 ^b	1,42	1,35	1,33	1,31	1,29	1,27	1,27
ζ_2 ^b	1,42	1,27	1,23	1,20	1,15	1,13	1,11

^a n = número de perfis de ensaios por região representativa do terreno.

^b Os valores de ζ_1 e ζ_2 podem ser multiplicados por 0,9 no caso de execução de ensaios complementares à sondagem a percussão.

RESISTÊNCIA FASE EXECUÇÃO

- Provas de carga estáticas (NBR 6122:2019) Determinação $(R_{se})_{méd}$ e R_k

6.2.1.2.2 Resistência determinada por provas de carga estáticas executadas na fase de elaboração ou adequação do projeto

Para que se obtenha a carga admissível ou a força resistente de cálculo de estacas, a partir de provas de carga, é necessário que:

Quando utilizado o método de valores admissíveis, a carga admissível será:

$$P_{adm} = R_k / FS_g, \text{ com } FS_g = 1,4$$

Quando utilizado o método de valores de cálculo, a força resistente de cálculo será:

$$R_d = R_k / \gamma_m, \text{ com } \gamma_m = 1,0$$

onde

Tabela 3 – Valores dos fatores ζ_3 e ζ_4

n^a	1	2	3	4	≥ 5
ζ_3	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00
ζ_4	1,14	1,10	1,05	1,02	1,00

^a n = número de provas de carga em estacas de mesmas características, por região representativa do terreno.

DETERMINAÇÃO CURVA RESISTÊNCIA DO GRUPO DE ESTACAS

De acordo com a Norma ABNT – NBR 6122:2010 - Projeto e Execução de Fundações a **resistência característica R_k** do grupo de estacas de uma obra pode ser determinada pelas expressões:

Item 6.2.1.2.1: RESISTÊNCIA PREVISTA POR METODO SEMI EMPIRICO

$$R_k = R_{ck} = \text{Min} \left[\frac{2567}{\sqrt[3]{\frac{2714}{3010}}} = 2764 \text{ kN} ; (2567/1,42=1808) \right] = 1808 \text{ kN}$$

n	1	2	3	4	5	6	>=10
ξ_1	1,42	1,35	1,33	1,31	1,29	1,27	1,27
ξ_2	1,42	1,27	1,23	1,2	1,15	1,13	1,11

PARÂMETROS CURVA RESISTÊNCIA DA SUPERFÍCIE RESISTENTE

$$\mu_R = \frac{2567}{\sqrt[3]{\frac{2714}{3010}}} = 2764 \text{ kN} \quad \sigma_R = [(2764-1808)/1,645] = 581 \text{ kN} \quad v_R = 581/2764 = 21\%$$

Item 6.2.1.2.2: RESISTÊNCIA MEDIDA EM PROVA DE CARGA

$$R_{ck} = \text{Min} [(R_{c,cal})_{med} / \xi_3 ; (R_{c,cal})_{min} / \xi_4]$$

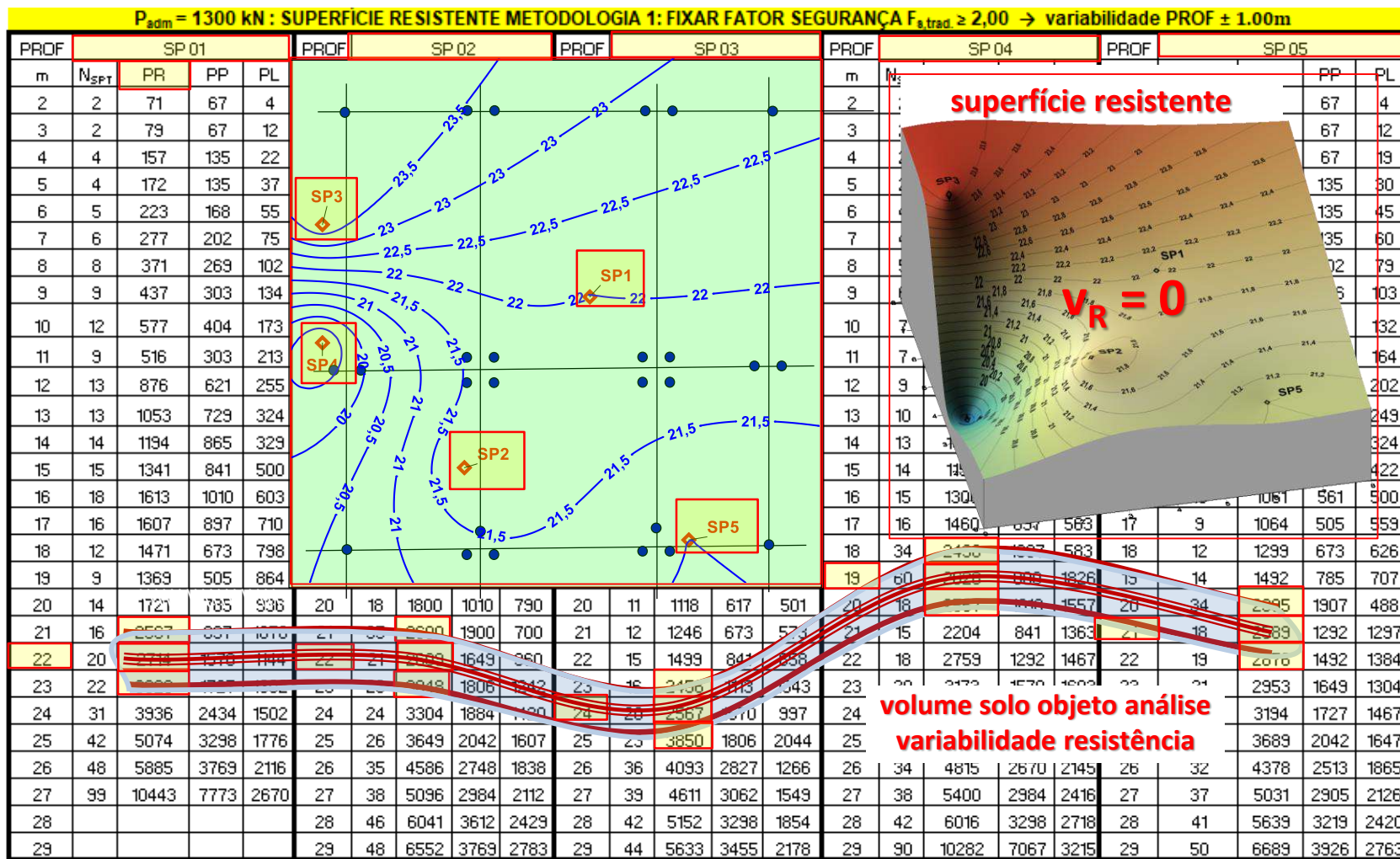
n	1	2	3	4	>=5
ξ_3	1,14	1,11	1,07	1,04	1
ξ_4	1,14	1,1	1,05	1,02	1

$$P_{adm} = 1300 \text{ kN}$$

PROF	SP 01			
m	N _{SP}	PR	PP	PL
2	2	71	67	4
3	2	79	67	12
4	4	157	135	22
5	4	172	135	37
6	5	223	168	55
7	6	277	202	75
8	8	371	269	102
9	9	437	303	134
10	12	577	404	173
11	9	516	303	213
12	13	876	621	255
13	13	1053	729	324
14	14	1194	865	329
15	15	1341	841	500
16	18	1613	1010	603
17	16	1607	897	710
18	12	1471	673	798
19	9	1369	505	864
20	14	1721	785	936
21	16	2567	897	1670
22	20	2714	← PR ≥ 2600 kN	
23	22	3010	1727	1283
24	31	3936	2434	1502
25	42	5074	3298	1776
26	48	5885	3769	2116
27	99	10443	7773	2670
28				
29				

SUPERFÍCIE RESISTENTE ESTAQUEAMENTO / VALOR ADMISSÍVEL / VALOR CÁLCULO

$$P_{adm} = 150 \text{ tf} \quad R_d = 210 \text{ tf}$$



ANÁLISE	
AOKI VELLOSO ANTIGO	
Sondagem	Ri (kN)
SP1	2567 2714 3029
SP2	2600 2609 3048
SP3	2456 2567 3850
SP4	2490 2626 2567
SP5	2395 2589 2876
CURVA DE RESISTÊNCIA	
No. sondagens	5
$(R_{pc})_{médio}$	2732
$(R_{pc})_{min}$	2395
ξ_1	1,29
ξ_2	1,15
R_k	2083
σ_R	395

A superfície resistente define a carga ou valor admissível (P_{adm}) e o valor de cálculo (R_d)

Valor admissível: $P_{adm} \leq R_k / FS_g \rightarrow P_{adm} = 2083 / 1,4 = 1488 \text{ kN}$

Valor de cálculo: $R_d \leq R_k / \gamma_m \rightarrow R_d = 2083 / 1,0 = 2083 \text{ kN}$

MARGEM SEGURANÇA → PROBABILIDADE RUÍNA

NORMAS: NBR 800 / NBR 6122

DOGMA FATOR SEGURANÇA

Variáveis que comandam segurança e confiabilidade

VS

VR

Distância pontos médios

Distância entre pontos

$$\mu_M = (\mu_R - \mu_S)$$

$$\sigma_M = (\sigma_R^2 + \sigma_S^2 - 2 \cdot \rho \cdot \sigma_R \cdot \sigma_S)^{1/2}$$

$$v_M = \sigma_M / \mu_M$$

$$\beta = 1 / v_M$$

$\beta =$ fator confiabilidade

Probabilidade ruína

$p_f = \text{ÁREA} < 0$

Ruptura pode ocorrer com FS > 1,0

S > R

$$M_S = (R - S)$$

$$p_f \approx 1/10^\beta$$

0

μ_S

S > R

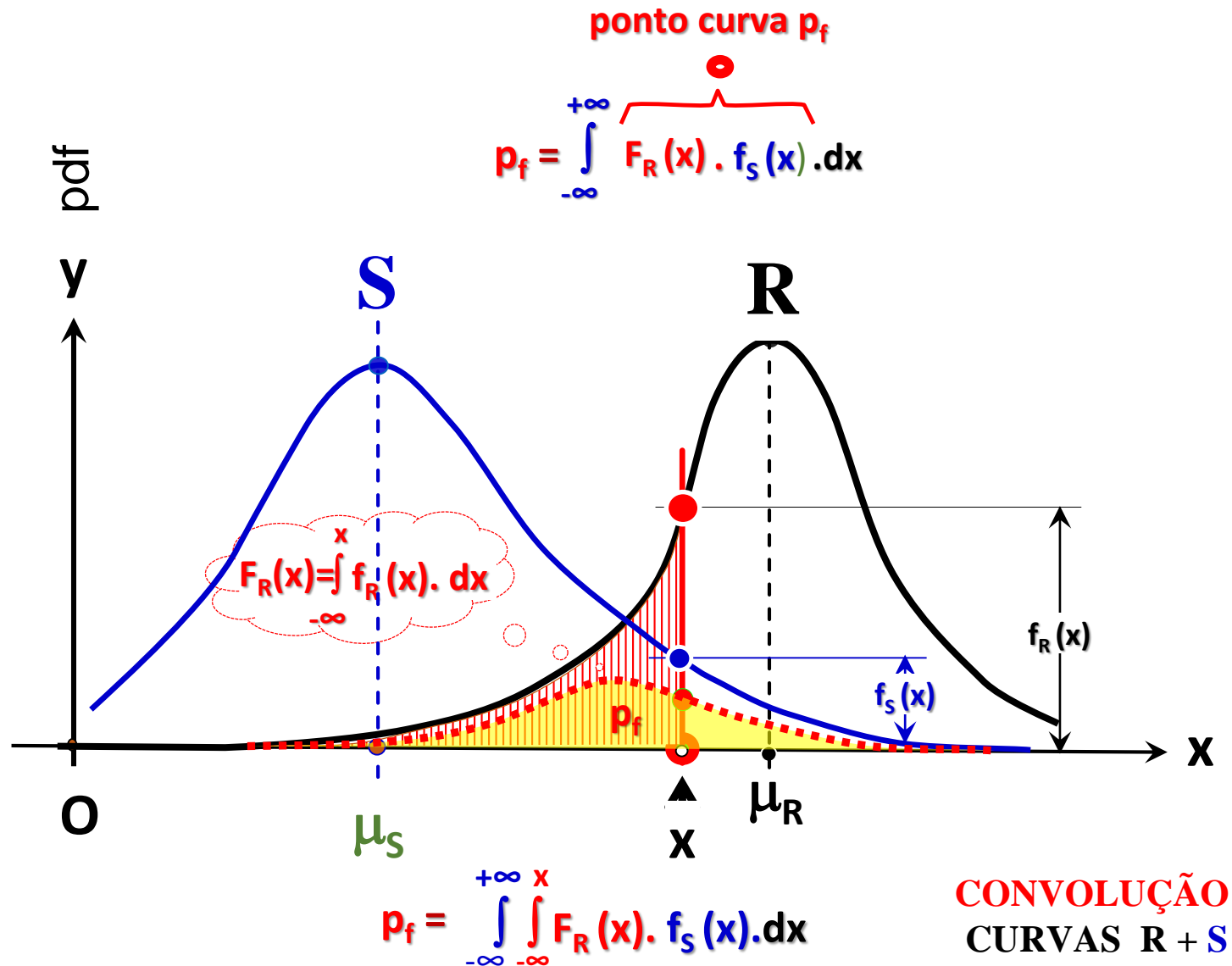
μ_R

x = (R - S)

$$p_f = \text{DIST.NORM} (0; \mu_M; \sigma_M; \text{verdadeiro})$$

$$p_f = 1 - \text{DIST.NORM} (\beta; 0; 1; \text{verdadeiro})$$

PROBABILIDADE RUÍNA FREUDENTHAL



INTERRELAÇÃO FATOR SEGURANÇA E FATOR CONFIABILIDADE

(Curva normal Gauss)

$$F_S^2 (\beta^2 v_R^2 - 1) + 2.F_S + \beta^2 v_S^2 - 1 = 0$$

$$F_S = \frac{1 + \beta \cdot \sqrt{v_S^2 + v_R^2 - \beta^2 \cdot v_S^2 \cdot v_R^2}}{1 - \beta^2 \cdot v_R^2}$$

$$\beta = \frac{(1 - \frac{1}{F_S})}{\sqrt{v_R^2 + (1/F_S)^2 \cdot v_S^2}} \quad F_S \rightarrow \infty \Rightarrow \beta = \frac{1}{v_R}$$

$$v_S = \frac{1}{\beta} \cdot \sqrt{(F_S - 1)^2 - \beta^2 \cdot F_S^2 \cdot v_R^2}$$

$$v_R = \frac{1}{\beta \cdot F_S} \cdot \sqrt{(F_S - 1)^2 - \beta^2 \cdot v_S^2}$$

(Curvas log normais)

AASHTO1994

$$\beta = \left\{ \frac{\ln \frac{\mu_R}{\mu_E} \sqrt{\frac{1 + V_E^2}{1 + V_R^2}}}{\sqrt{\ln[(1 + V_E^2)(1 + V_R^2)]}} \right\}$$

EUROCODE CODE 7

$$\beta = \left\{ \frac{\ln \frac{\mu_R}{\mu_E} \sqrt{\frac{1 + V_E^2}{1 + V_R^2}}}{\alpha_R \sqrt{\ln(1 + V_R^2)} + \alpha_E \sqrt{\ln(1 + V_E^2)}} \right\}$$

Curvas normais são mais desfavoráveis

NÃO SE PODE FIXAR β e F_S AO MESMO TEMPO !

INCERTEZA SUBJETIVA PROBABILIDADE RUÍNA (BAYES)

Probabilidade de ruína é frequencista $\Rightarrow P(A) = p_f$

$$P(A/B) = \frac{P(B/A) \cdot P(A) + (P(B/A^c) \cdot P(A^c))}{P(A)}$$

$P(A)$ = probabilidade 50% verossimilhança

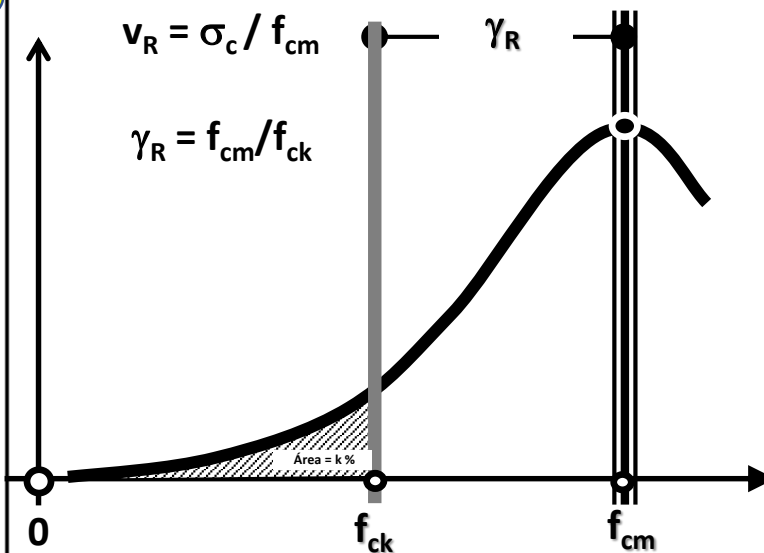
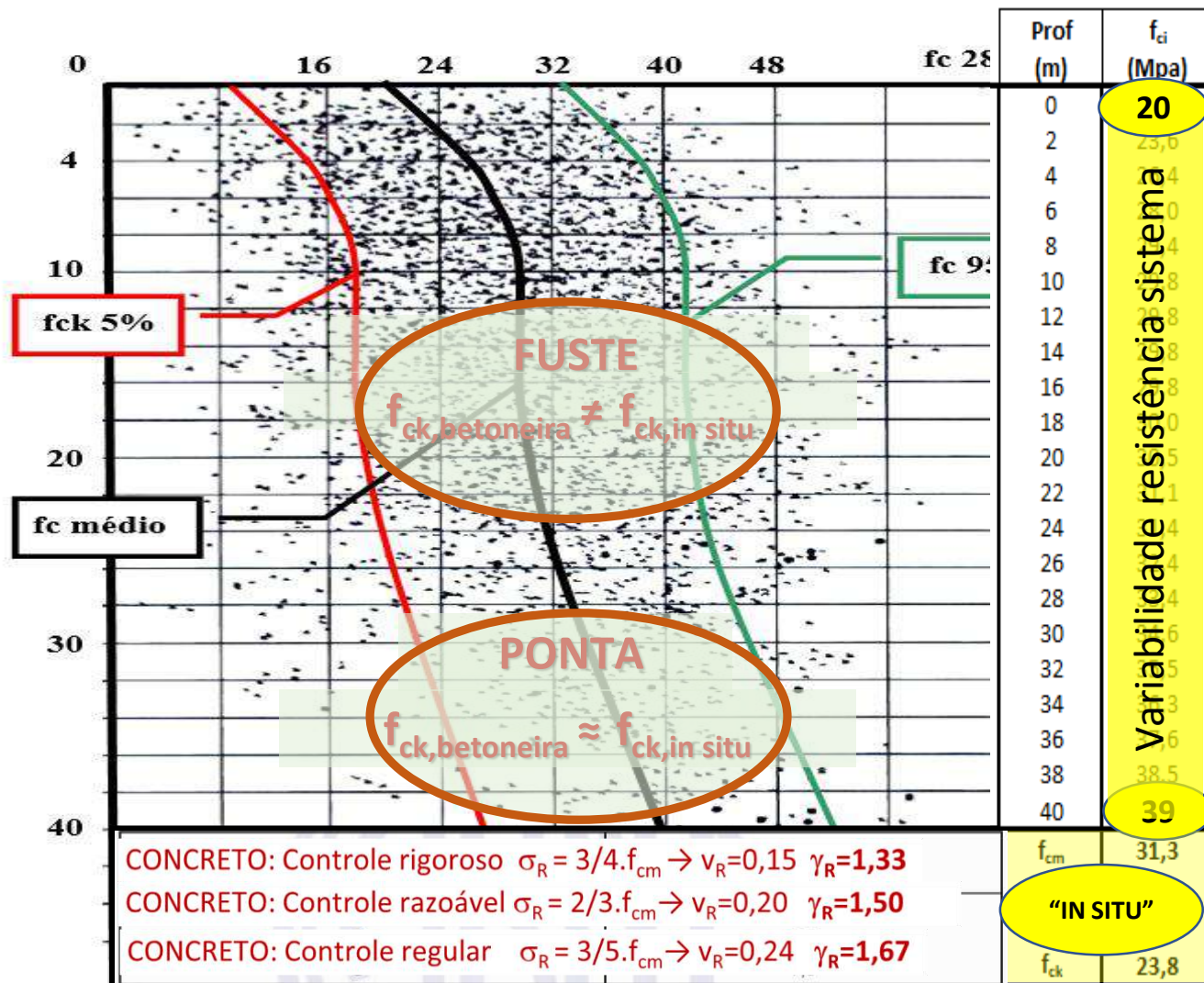
Probabilidade verossimilhança $v\%$

$P(B/A) =$ verossimilhança $v\%$

PREMISSA FÓRMULA BAYES

$$P(A/B) = P(A) \text{ se a verossimilhança } v = P(B/A) = 50\%$$

RESISTÊNCIA ESTRUTURAL CONCRETO ESTACA ESCAVADA



Concreto in situ
 só é igual ao lançado
 na seção da ponta

Concreto estaca escavada *in situ* NÃO é igual concreto betoneira !!
Solo adjacente estaca escavada *in situ* NÃO é igual solo natural !!

FATOR SEGURANÇA CONCRETO ESTACA ESCAVADA

Tabela 4 – Estacas moldadas *in loco* e tubulões: parâmetros para dimensionamento

Tipo de estaca	Classe de agressividade ambiental (CAA) conforme ABNT NBR 6118	Classe de concreto/resistência característica da argamassa ou concreto	γ_c	% de armadura mínima e comprimento útil mínimo (incluindo trecho de ligação com o bloco)		Tensão de compressão simples atuante abaixo da qual não é necessário armar (exceto ligação com o bloco) MPa	Anexo onde se encontram definidos concreto/ argamassa
				Armadura %	Comprimento m		
Hélice/hélice de deslocamento/hélice com trado segmentado ^a	I, II	C30	2,7	0,4	4,0	6,0	N / O / P
	III, IV	C40	3,6				
Escavadas sem fluido	I, II	C25	3,1	0,4	2,0	5,0	I
	III, IV	C40	5,0				
Escavadas com fluido	I, II	C30	2,7	0,4	4,0	6,0	J
	III, IV	C40	3,6				
Strauss ^b	I, II	20 MPa	2,5	0,4	2,0	5,0	G
Franki ^b	I, II, III, IV	20 MPa	1,8	0,4	Integral	–	H
Tubulões não encamisados	I, II	C25	2,2	0,4	3,0	5,0	B
	III, IV	C40	3,6				
Raiz ^{b,c,d}	I, II, III, IV	20 MPa	1,6	0,4	Integral	–	K
Microestacas ^{b,c,e}	I, II, III, IV	20 MPa	1,8	0,4	Integral	–	M
Estaca trado vazado segmentado ^{a,d}	I, II, III, IV	20 MPa	1,8	0,4	Integral	–	L

^a Nestas estacas, o comprimento máximo da armadura é limitado devido ao processo executivo.

^b Neste tipo de estaca, o diâmetro a ser considerado no dimensionamento é o diâmetro externo do revestimento.

^c O espaçamento entre face de barras deve ser de um diâmetro da barra e no mínimo 20 mm. As taxas máximas de armadura são de 8 % A_c para diâmetros menores ou iguais a 310, e de 6 % A_c para diâmetros iguais ou superiores a 400 mm. As taxas máximas devem ser verificadas na seção de maior concentração de aço (considerando inclusive as emendas por transpasse). Em situações críticas, o dimensionamento pode ser feito em função da área de aço ($f_{yk} \geq 500$ MPa; A_s = área de aço), conforme a seguir:

- quando $A_s \leq 6\% A_c$, o dimensionamento deve ser feito considerando a estaca trabalhando como pilar de concreto (a resistência da estaca é formada pela parcela do concreto e pela parcela do aço);
- quando $A_s \geq 6\% A_c$, o dimensionamento deve ser feito considerando que todo o esforço solicitante deve ser resistido apenas pelo aço da seção da estaca (a parcela resistente do concreto é desprezada).

^d Argamassa.

^e Calda de cimento.

γ_c
Fatores
minoração
resistência
concreto
estacas
moldadas
in loco

DETERMINAÇÃO RISCO FINANCEIRO

O **risco financeiro** mede a possibilidade de prejuízo decorrente da ruína ou falha de um elemento de fundação da obra

Risco financeiro → três variáveis independentes !

$$\text{Risco financeiro} = p_f \cdot v \cdot C$$

p_f = probabilidade de ruína

v = vulnerabilidade

C = custo reparação ruína

VULNERABILIDADE

A vulnerabilidade relaciona a solicitação que causa certo dano e sua consequência na estabilidade/conservação obra.

Quanto menor a solicitação necessária para provocar um dano e maior for a consequência resultante, maior será a vulnerabilidade da obra.

Vulnerabilidade depende grau hiper estaticidade sistema estrutural (redundância apoios)!

MESA REDONDA ABMS-NRPRSC

"A Contribuição da Engenharia Geotécnica para a Redução do Custo do Seguro de Acidente de Obra" Curitiba/Joinville - (2014)

O Papel da Vulnerabilidade

Prof. Eduardo Dell'Avanzi- UFPR Egel Engenharia

Vul_e	Descrição da Situação de Exposição
1	Potencial extremo de exposição do elemento (ou conjunto de elementos) à perda súbita de integridade (colapso) sem tempo hábil de reação por parte do agente causador, incluindo alto potencial de danos ambientais
0.9	Alto potencial de exposição do elemento ou conjunto de elementos à situação iminente de ruína; Potencial de danos ambientais devido à ruína ou mal desempenho do elemento ou conjunto de elementos
0.8	Potencial de danos estruturais ao elemento ou conjunto de elementos que possam induzir ruína (ELU) se não mitigados em tempo hábil
0.7	Potencial de danos estruturais localizados em elemento ou conjunto de elementos com diminuição de desempenho quanto aos ELS se não mitigados em tempo hábil
0.6	Potencial de danos localizados em elemento ou conjunto de elementos sem diminuição de desempenho quanto aos ELS
0.5	Potencial limitado de danos induzidos a um elemento ou conjunto de elementos com função estrutural sem diminuição de desempenho quanto aos ELS
0.4	Potencial limitado de danos a um elemento ou conjunto de elementos sem função estrutural, sem diminuição de desempenho quanto aos ELS
0.3	Potencial limitado de danos a um elemento ou conjunto de elementos sem função estrutural, sem diminuição de desempenho quanto aos ELS, mas com diminuição da vida útil do elemento
0.2	Potencial mínimo de perda de desempenho de um elemento isolado com impacto limitado ao meio ambiente
0.1	Baixo potencial de impacto ao meio ambiente ou ao elemento vulnerável sem diminuição da integridade do elemento ou conjunto de elementos localizados no interior da área vulnerável
0.0	A integridade do elemento ou conjunto de elementos é mantida independentemente da ocorrência do evento
Vul_f	Descrição da Situação de Exposição
≥ 8	Situações potenciais envolvendo embargo da obra por períodos prolongados, custos com indenizações relacionadas à óbitos, danos materiais, lucros cessantes, danos morais e ao meio ambiente, custos com remoção, estadia, transporte e alimentação, realocação, reconstrução e/ou recuperação estrutural de elementos danificados por mal desempenho da solução de engenharia implementada, danos à imagem da empresa pelos fatos ocorridos
4	Situações potenciais envolvendo embargo temporário da obra, custos com indenizações relacionados a danos materiais, lucros cessantes, danos morais e ao meio ambiente, custos com remoção, estadia, transporte e alimentação, realocação, reforço, reconstrução e/ou recuperação estrutural de elementos danificados por mal desempenho da solução de engenharia implementada
2	Situações potenciais envolvendo custos com indenizações relacionados a danos materiais, lucros cessantes, danos morais e ao meio ambiente, reforço, reconstrução e/ou recuperação estrutural de elementos danificados por mal desempenho da solução de engenharia implementada
1	Situações potenciais envolvendo custos com reconstrução e/ou recuperação/ reforço estrutural de elementos danificados por mal desempenho da solução de engenharia implementada
0.5	Situações potenciais envolvendo custos com recuperação estrutural de elementos danificados por mal desempenho da solução de engenharia implementada (ELS)
0.25	Situações potenciais envolvendo custos com reformas de elementos localizados na área vulnerável
0.125	Custos marginais envolvendo a implantação da solução de engenharia

RISCO RUÍNA É PARCELA CUSTO OBRA

Custo total = Custo direto obra + Custo ruína

$\rho = \text{custo total} / \text{custo obra}$ (JCSS, 2001)

Custo ruína = p_f x vulnerabilidade x custo consequência ruína

Risco ruína depende de **3** fatores **independentes**
(um valor **baixo** de um só fator não significa que o risco seja **baixo**)

Premissas

- **Probabilidade de ocorrência de erro humano é imprevisível e a maior causa de ruínas.**
- Alto valor de probabilidade de ruína não implica, necessariamente em alto risco
- Custo consequência ruína alto não implica, necessariamente em alto risco
- Alta vulnerabilidade não implica, necessariamente, alto risco
- Perda de vidas humanas e consequências ambientais implica necessariamente em alto risco

**Proprietário da obra deve ser informado sobre o risco conforme
CDC - Código de Defesa do Consumidor.**

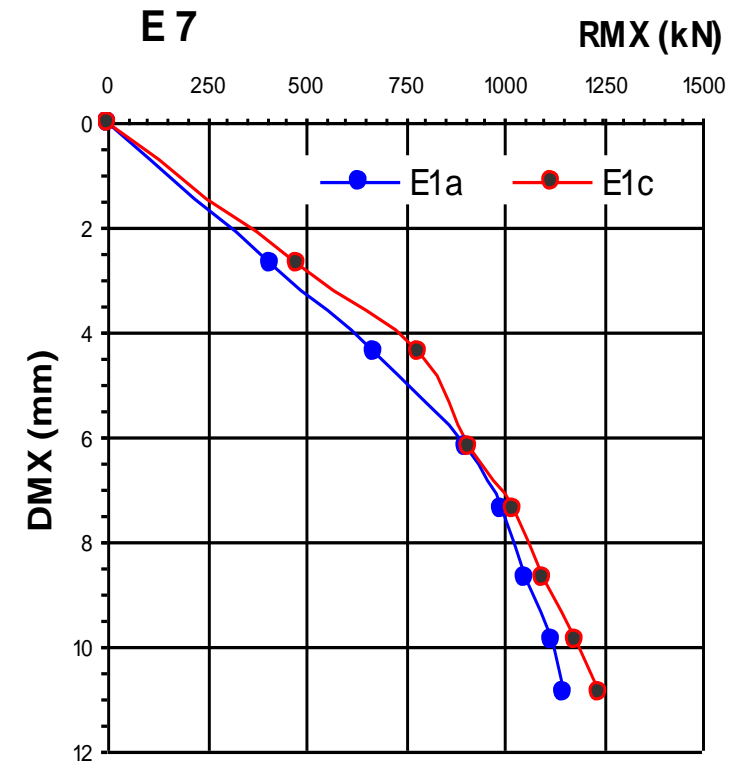
PONTE DE MADEIRA NO CAMPUS II USP/SC



Miná, A.J.S.- *Estudo de estaca's de madeira para fundações de pontes de madeira.*
Tese (Doutorado) – Escola Engenharia São Carlos-Universidade São Paulo, 2005.

Google

PREVISÃO/COMPROVAÇÃO RISCO E SEGURANÇA → PONTE USP/SC



CONCLUSÕES

- **Maciço solos e rochas comanda interação solo estrutura (ISE)**
- **Fator segurança é imposto por condições legais**
- **Risco financeiro depende superfície resistente executada**
- **CDC obriga engenheiro informar risco geotécnico à Sociedade**
- **Resistência característica não define a curva de resistência**
- **Risco minimizado controlando resistência na execução !**
- **Engenharia não é ciência exata !**



MUITO OBRIGADO!

SOLICITE PLANILHA → nelson.aoki@uol.com.br