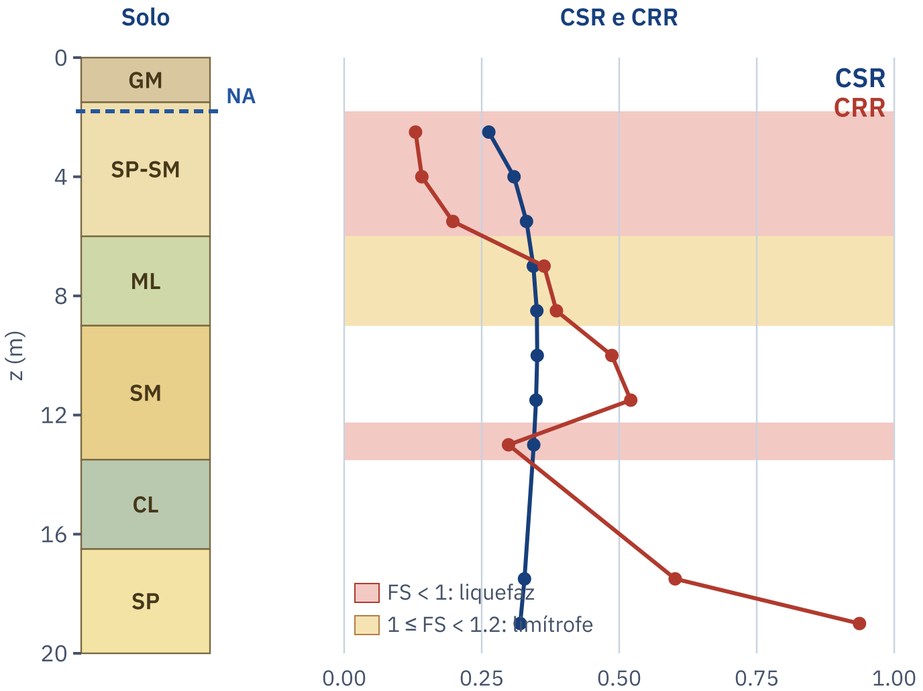
Apresentação de aula de geotecnia · Liquefação

Desencadeamento da liquefação pelo SPT

Aula: desencadeamento da liquefação a partir do SPT (Idriss–Boulanger); uma sondagem e um ponto de ensaio são resolvidos à mão do início ao fim, e os demais pontos, em tabelas.

Correções · CSR · CRR · MSF · Kσ · FS e zonas · Pode ser resolvido à mão



Introdução

O que veremos nesta aula?

A avaliação da liquefação **baseada em tensões**: a solicitação sísmica **CSR** é comparada com a resistência do solo **CRR**; **FS = CRR / CSR**

Correções do número de golpes bruto do SPT N_{30} para $\mathbf{(N_1)_{60cs}}$: energia, comprimento das hastes, sobrecarga e finos

CSR (r_d, σ_v/σ'_v), curva de CRR, **escalonamento de magnitude** MSF e **coeficiente de tensão de sobrecarga** K_σ

Quais ensaios não entram no cálculo, por **eliminação**; como se determinam as zonas e a espessura liquefável

Em uma sondagem, **um único ponto de ensaio calculado à mão, do início ao fim**, e os demais com as mesmas etapas na tabela

ROTEIRO DA AULA

Cada tópico é tratado em **três etapas**:

1 · **Teoria**: fórmula e justificativa

2 · **Enunciado**: dados e o que se pede

3 · **Solução**: passo a passo, com números

Exemplo: sondagem BH-1 (lençol freático a 1.80 m; aterro de 0–1.5 m, areia fofa de 1.5–6 m …); a_{max} = 0.35 g, M = 7.5, razão de energia do martelo 60%, $FS_{required}$ = 1.20.

Qual ensaio é avaliado?

TEORIA

Um ensaio é avaliado se estiver **abaixo do nível do lençol freático (NA)**, não mais profundo que z_{max} (padrão 20 m) e em solo que **se comporta como areia**

O solo com índice de plasticidade PI ≥ PI_{lim} (padrão 7) é **do tipo argila**; se o PI não for informado, o símbolo CL, CH, OL, OH ou PT assinala essa condição

O solo argiloso pode **amolecer** sob carregamento cíclico, mas não sofre liquefação no sentido aqui empregado: a questão fica para a verificação de amolecimento cíclico

As verificações não avaliadas permanecem em todas as tabelas **com as respectivas justificativas**. As consequências da liquefação (recalque, espalhamento lateral, perda de capacidade de carga) estão fora do escopo desta versão

Tensão vertical total, poropressão e tensão vertical efetiva

TEORIA

γ acima do nível do lençol freático (NA); **γ_{sat}** abaixo dele; somam-se camada por camada. A poropressão é **hidrostática** a partir do NA (z_W é a profundidade do NA da sondagem)

A tensão efetiva σ'_v é usada tanto no CSR quanto nas correções da tensão de sobrecarga

$$\sigma_v = \sum \gamma_i \, h_i \qquad u = \gamma_w \, (z - z_w) \qquad \sigma'_v = \sigma_v - u$$

A tensão efetiva é calculada apenas para os ensaios situados abaixo do nível do lençol freático (NA): acima do NA, u = 0 e o ensaio é descartado.

De N_{30} a N_{60}

TEORIA

O número bruto de golpes N_{30} (últimos 30 cm) é referido à haste padrão com **60% de energia**: $\mathbf{C_E}$ = ER/60 (martelo), $\mathbf{C_B}$ (diâmetro da sondagem), $\mathbf{C_S}$ (tubo amostrador)

$\mathbf{C_R}$ depende do comprimento das hastes: comprimento das hastes = z + comprimento acima da superfície (aqui 1.5 m)

$$N_{60} = N_{30} \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_R$$

Comprimento da barra (m)	< 3	3 – 4	4 – 6	6 – 10	≥ 10
C_R	0.75	0.80	0.85	0.95	1.00

$N_{60} \rightarrow (N_1)_{60} \rightarrow (N_1)_{60cs}$

TEORIA

C_N leva a medida à tensão efetiva de 1 atm (P_a = 101.3 kPa); como o expoente m depende do próprio resultado, ele é obtido **por iteração**; $C_N \leq 1.7$

O **teor de finos** aumenta a resistência semelhante à da areia: com FC (em porcentagem, o valor do próprio ensaio, se medido, ou, caso contrário, o valor da camada), passa-se ao equivalente de areia limpa

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^m \leq 1.7 \qquad m = 0.784 - 0.0768\sqrt{(N_1)_{60cs}} \qquad (N_1)_{60} = C_N N_{60}$$

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left[1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01}\right)^2\right] \qquad (N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}$$

FC (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	50
$\Delta(N_1)_{60}$	0.00	0.00	1.15	3.26	4.48	5.07	5.36	5.51	5.61

Solicitação sísmica: CSR e r_d

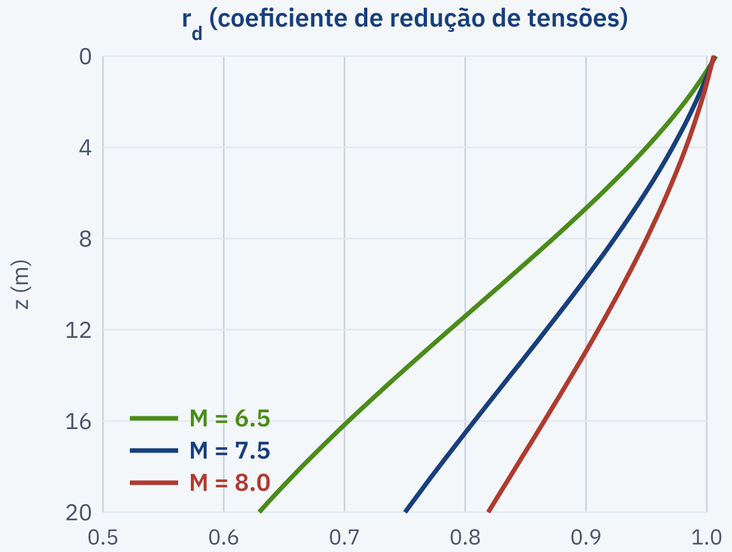
TEORIA

O **CSR** é a razão entre a tensão de cisalhamento cíclica aplicada pelo sismo ao solo e a tensão efetiva; 0.65 representa a tensão média e σ_V/σ'_V representa o efeito da profundidade

r_d (coeficiente de redução de tensões) diminui com a profundidade e com a magnitude; na superfície, vale 1

$$CSR = 0.65\,\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\,a_{max}\,r_d \qquad r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z)M]$$

$$\alpha = -1.012 - 1.126\sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right) \qquad \beta = 0.106 + 0.118\sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$



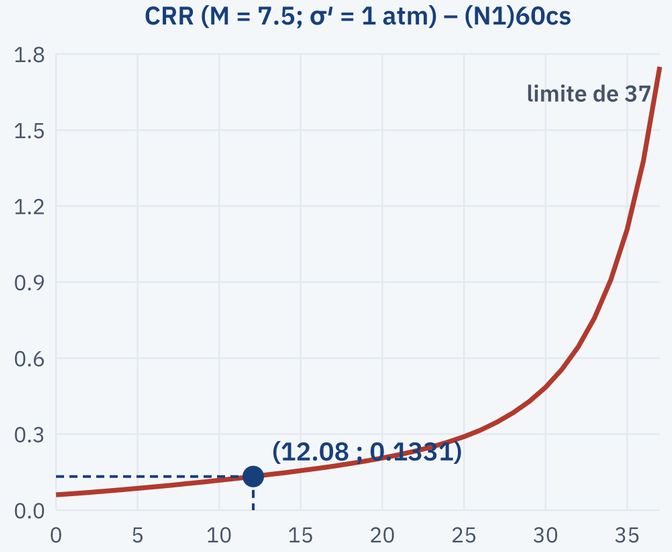
Resistência do solo: curva CRR

TEORIA

$CRR_{M=7.5;\,\sigma'=1}$ depende apenas de $(N_1)_{60cs}$ (curva de Idriss–Boulanger); vale para M = 7.5 e σ'_v = 1 atm

A curva é utilizada até $(N_1)_{60cs} = 37$; um ensaio de maior compacidade é avaliado nesse limite, com emissão de aviso

$$CRR_{7.5,1} = \exp\left[\frac{n}{14.1} + \left(\frac{n}{126}\right)^2 - \left(\frac{n}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{n}{25.4}\right)^4 - 2.8\right] \qquad n = (N_1)_{60cs}$$



MSF e K_σ

TEORIA

Escalonamento de magnitude **MSF**: o CRR refere-se a M = 7.5; para outras magnitudes, incorpora a diferença no número de ciclos. Para M < 7.5, MSF > 1

K_σ, coeficiente da tensão de sobrecarga: o CRR refere-se a 1 atm; à medida que σ'_V aumenta, a razão de resistência diminui. $K_\sigma \leq 1.1$

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1)\left(8.64\, e^{-M/4} - 1.325\right) \qquad MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{31.5}\right)^2 \leq 2.2$$

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln \frac{\sigma'_v}{P_a} \leq 1.1 \qquad C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{(N_1)_{60cs}}} \leq 0.3$$

FS = CRR / CSR; zona e espessura

TEORIA

CRR = $CRR_{7.5;1}$ · MSF · K_σ; **FS = CRR / CSR**. FS < 1: **a liquefação é deflagrada**; 1 ≤ FS < $FS_{required}$ (1.20): **marginal**; o valor requerido é um dado de entrada tomado da especificação de projeto

Cada ensaio avaliado representa a sua própria camada: até o **ponto médio** em relação ao ensaio acima e ao ensaio abaixo; o intervalo termina no limite da camada e no nível do lençol freático

Se intervalos vizinhos dão o mesmo resultado, unem-se em uma **zona**; a **espessura liquefazível** de uma sondagem é a soma das zonas com FS < 1

$$CRR = CRR_{7.5,\,1} \cdot MSF \cdot K_\sigma \qquad FS = \frac{CRR}{CSR}$$

Enunciado

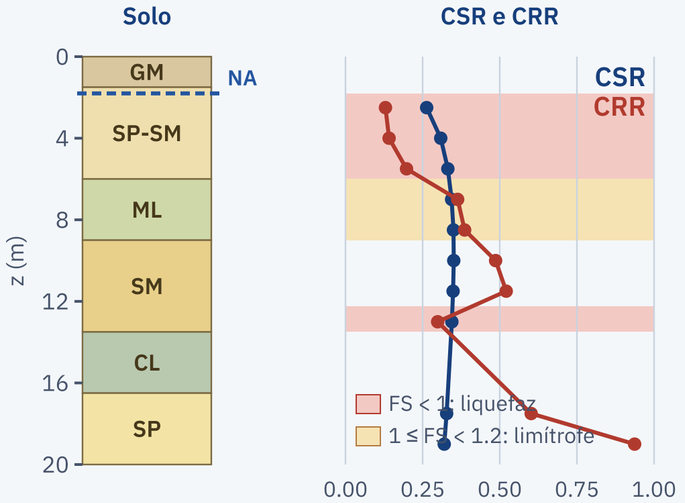
EXEMPLO

Dados

Sondagem BH-1	**Nível do lençol freático $z_w = 1.80$ m; 0–1.5 m aterro (GM): $\gamma = 18.5$; 1.5–6 m areia fofa (SP-SM): $\gamma = 18.0$, $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m³, FC = 8 %**
Ensaio	**em $z = 4.0$ m, $N_{30} = 10$ (abaixo do nível do lençol freático)**
Sismo e equipamentos	**$a_{max} = 0.35g$, $M = 7.5$; ER = 60% ($C_E = C_B = C_S = 1$), comprimento das hastes = $z + 1.5$ m; $FS_{req} = 1.20$**

PEDE-SE

Tensões, **N_{60}**, **$(N_1)_{60cs}$** (por iteração), **CSR**, **CRR** e **FS**.



Solução (1/5)

SOLUÇÃO

1 Tensão vertical total (camada por camada; nível do lençol freático a 1.80 m)

$$\sigma_v = 18.5(1.5) + 18.0(1.80 - 1.5) + 19.5(4.0 - 1.80) = 27.75 + 5.40 + 42.90 = \mathbf{76.05}\ \mathrm{kPa}$$

2 Poropressão e tensão efetiva

$$u = \gamma_w (z - z_w) = 9.81(4.0 - 1.80) = \mathbf{21.58}\ \mathrm{kPa}$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = 76.05 - 21.58 = \mathbf{54.47}\ \mathrm{kPa}$$

O ensaio situa-se **2.20 m** abaixo do nível do lençol freático: σ_V = 76.05, u = 21.58, **σ'_V = 54.47 kPa**. Esse ponto é aquele em que ocorre o menor FS da sondagem (figura da página do enunciado).

Solução (2/5)

SOLUÇÃO

3 Correção do comprimento das hastes e N_{60}

$$L = z + 1.5 = 5.5\ \text{m} \Rightarrow C_R = 0.85 \qquad N_{60} = 10(1)(1)(1)(0.85) = \mathbf{8.50}$$

4 Aumento do teor de finos

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp[1.63 + 9.7/8.01 - (15.7/8.01)^2] = \exp[-1.0008] = \mathbf{0.3676}$$

5 Correção da tensão de sobrecarga: como C_N depende de $(N_1)_{60cs}$, é necessário iterar (σ'_v = 54.47 kPa)

Iteração	n (entrada)	m	C_N	$(N_1)_{60} = C_N N_{60}$	$(N_1)_{60cs} = + \Delta$
1	8.5000	0.5601	1.4158	12.0339	12.4015
2	12.4015	0.5135	1.3754	11.6912	12.0587
3	12.0587	0.5173	1.3786	11.7185	12.0861
…	…	…	…	…	…
8	12.0840	0.5170	1.3784	11.7165	12.0840

Converge em 8 iterações: **C_N = 1.3784**, $(N_1)_{60}$ = 11.716, **$(N_1)_{60cs}$ = 12.08**.

Solução (3/5)

SOLUÇÃO

6 Coeficiente de redução de tensões r_d (z = 4.0 m, M = 7.5)

$$\alpha = -1.012 - 1.126 \sin\left(\frac{4}{11.73} + 5.133\right) = -0.1971$$

$$\beta = 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{4}{11.28} + 5.142\right) = 0.0225$$

$$r_d = \exp[\alpha + \beta M] = \exp[-0.1971 + 0.0225(7.5)] = \mathbf{0.9718}$$

7 Razão de tensões cíclicas

$$CSR = 0.65 \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} a_{max}\, r_d = 0.65 \left(\frac{76.05}{54.47}\right)(0.35)(0.9718) = \mathbf{0.3087}$$

O sismo aplica, nessa profundidade, uma tensão cisalhante cíclica equivalente a **30.9**% da tensão efetiva (CSR = 0.3087).

Solução (4/5)

SOLUÇÃO

8 Resistência básica, para M = 7.5 e σ′ = 1 atm ($(N_1)_{60cs}$ = 12.08)

$$CRR_{7.5,1} = \exp\left[\frac{12.08}{14.1} + \left(\frac{12.08}{126}\right)^2 - \left(\frac{12.08}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{12.08}{25.4}\right)^4 - 2.8\right]$$

$$CRR_{7.5,1} = \exp[-2.0168] = \mathbf{0.1331}$$

9 Coeficientes de magnitude e de tensão de sobrecarga

$$MSF_{max} = 1.09 + (12.08/31.5)^2 = 1.2372$$

$$MSF = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\, e^{-7.5/4} - 1.325) = \mathbf{1.0000}$$

$$C_\sigma = 1/(18.9 - 2.55\sqrt{12.08}) = 0.0996 \qquad K_\sigma = 1 - 0.0996 \ln(54.47/101.325) = \mathbf{1.0619}$$

$CRR_{7.5;1}$ = **0.1331**; MSF = **1.0000**; K_σ = **1.0619**: o produto desses três números fornece o CRR (página seguinte).

Solução (5/5)

SOLUÇÃO

10 Resistência e fator de segurança

$$CRR = CRR_{7.5,1} \cdot MSF \cdot K_\sigma = 0.1331(1.0000)(1.0619) = \mathbf{0.1413}$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.1413}{0.3087} = \mathbf{0.458}$$

FS = 0.458 < 1: neste ensaio, a liquefação é **deflagrada**. O ensaio representa o intervalo de 3.25 – 4.75 m (pontos médios até o ensaio de cima, a 2.5 m, e até o de baixo, a 5.5 m). As mesmas dez etapas repetem-se em cada ensaio.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Enunciado

EXEMPLO

Dados

Sondagem BH-1	**13 SPT: $z = 1.0$ – 19.0 m; nível do lençol freático 1.80 m; $z_{max} = 20$ m; $PI_{lim} = 7$**
Camadas	**GM (0–1.5), SP-SM (1.5–6), ML $PI = 5$ (6–9), SM (9–13.5), CL $PI = 18$ (13.5–16.5), SP (16.5–20)**

PEDE-SE

Para cada ensaio, a decisão **avaliado / não avaliado** e a justificativa.

Solução

SOLUÇÃO

z (m)	N_{30}	Solo	PI	NA?	Semelhante à argila?	Decisão
1.0	9	GM	–	**acima**	–	**não avaliado**: acima do nível do lençol freático
2.5	7	SP-SM	–	abaixo	não	avalia-se
4.0	10	SP-SM	–	abaixo	não	avalia-se
5.5	16	SP-SM	–	abaixo	não	avalia-se
7.0	21	ML	5	abaixo	não	avalia-se
8.5	22	ML	5	abaixo	não	avalia-se
10.0	27	SM	–	abaixo	não	avalia-se
11.5	29	SM	–	abaixo	não	avalia-se
13.0	25	SM	–	abaixo	não	avalia-se
14.5	13	CL	18	abaixo	sim	**não avaliado**: comportamento argiloso (IP ≥ 7)
16.0	15	CL	18	abaixo	sim	**não avaliado**: comportamento argiloso (IP ≥ 7)
17.5	40	SP	–	abaixo	não	avalia-se
19.0	44	SP	–	abaixo	não	avalia-se

Dos 13 ensaios, **3 são eliminados**: 1.0 m (acima do nível do lençol freático) e 14.5 e 16.0 m (CL, PI = 18 ≥ 7). A camada ML (PI = 5 < 7) não é considerada de comportamento argiloso; os ensaios de 7.0 e 8.5 m **são avaliados** (FC = 62 %). Os ensaios eliminados continuam constando nas tabelas.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Enunciado

EXEMPLO

Dados

Sondagem	**BH-1 e parâmetros do Exemplo 1; as dez etapas são idênticas em cada ensaio**
Regra da zona	**cada ensaio se estende, em sua própria camada, até o ponto médio dos ensaios vizinhos; termina no limite da camada e no nível do lençol freático (NA)**

PEDE-SE

Tabela de todos os ensaios; **zonas liquefeitas**, **espessura liquefeita** e o menor FS.

Solução (1/2)

SOLUÇÃO

z (m)	N_{30}	Solo	FC %	σ_v	σ'_v	N_{60}	C_N	$(N_1)_{60cs}$	CSR	CRR	FS	Situação
1.0	9	GM	20	–	–	6.75	1.700	15.95	–	–	–	*acima do NA*
2.5	7	SP-SM	8	46.8	39.9	5.95	1.652	10.19	0.263	0.130	0.493	Liquefaz
4.0	**10**	**SP-SM**	**8**	**76.1**	**54.5**	**8.50**	**1.378**	**12.08**	**0.309**	**0.141**	**0.458**	**Liquefaz**
5.5	16	SP-SM	8	105.3	69.0	15.20	1.191	18.46	0.332	0.198	0.596	Liquefaz
7.0	21	ML	62	134.1	83.0	19.95	1.079	27.13	0.344	0.363	1.056	No limite
8.5	22	ML	62	162.6	96.8	22.00	1.017	27.98	0.350	0.386	1.102	No limite
10.0	27	SM	18	191.9	111.4	27.00	0.966	30.18	0.351	0.487	1.386	Seguro
11.5	29	SM	18	221.6	126.4	29.00	0.924	30.89	0.349	0.521	1.494	Seguro
13.0	25	SM	18	251.2	141.4	25.00	0.878	26.03	0.345	0.299	0.867	Liquefaz
14.5	13	CL	88	–	–	13.00	0.816	16.12	–	–	–	*tipo argila (PI ≥ 7)*
16.0	15	CL	88	–	–	15.00	0.788	17.34	–	–	–	*tipo argila (PI ≥ 7)*
17.5	40	SP	4	338.7	184.6	40.00	0.812	32.50	0.328	0.602	1.835	Seguro
19.0	44	SP	4	369.4	200.7	44.00	0.799	35.15	0.320	0.937	2.928	Seguro

Menor FS = 0.458 (z = 4.0 m). Zonas de liquefação: **1.80 – 6.00 m** e **12.25 – 13.50 m**; no limite: 6.00 – 9.00 m. Espessura liquefeita = 5.45 m. A linha de 4.0 m é o Exemplo 1, resolvido à mão.

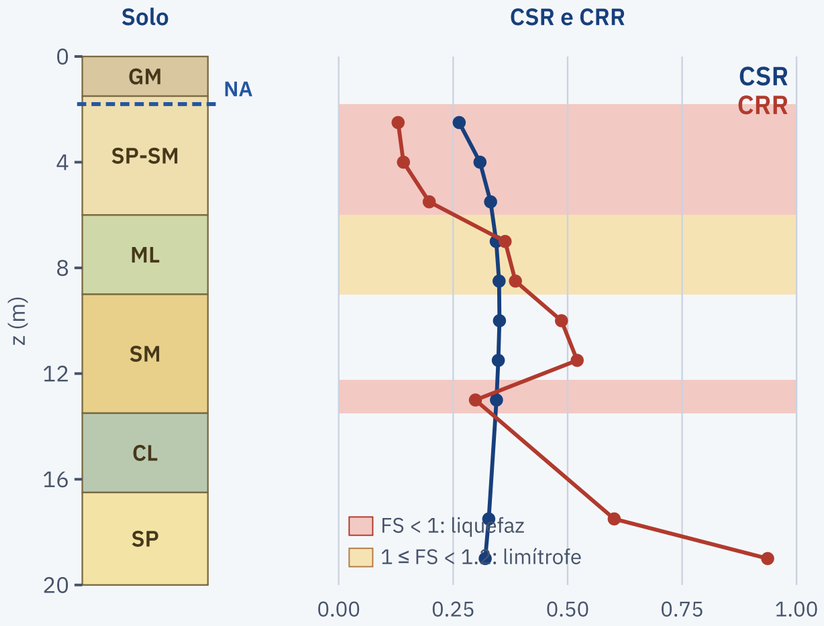
Solução (2/2)

SOLUÇÃO

1 Cada ensaio representa o seu próprio intervalo; intervalos vizinhos com o mesmo resultado são reunidos

Zona	Intervalo (m)	Espessura (m)	Ensaios	Intervalo de FS
Liquefável 1	1.80 – 6.00	4.20	2.5; 4.0; 5.5 m	0.458 – 0.596
No limite	6.00 – 9.00	3.00	7.0; 8.5 m	1,056 – 1,102
Liquefável 2	12.25 – 13.50	1.25	13.0 m	0.867
Total liquefeito		**5.45**		

Exemplo: o ensaio a 4.0 m representa o intervalo de 3.25 – 4.75 m; o ensaio a 2.5 m abrange 1.80 – 3.25 m (termina no nível do lençol freático) e o ensaio a 5.5 m abrange 4.75 – 6.00 m (termina no limite da camada): total de **4.20 m**. A espessura que sofre liquefação na sondagem é 5.45 m.



Verificar a solução no GeoTerva ↗

Enunciado

EXEMPLO

Dados

Caso-base	**BH-1:** $a_{max} = 0.35g$, $M = 7.5$, **NA** 1.80 **m, ER = 60%**
Variáveis	**apenas um de cada vez:** $a_{max} = 0.25g$ / $0.45g$; $M = 6.5$ / 8.0; **nível do lençol freático** 3.0 **m** / 1.0 **m; ER 45% / 80%**

PEDE-SE

O **menor FS** e a **espessura liquefeita** do BH-1; verificação manual do MSF no ensaio a 4.0 m.

Solução (1/2)

SOLUÇÃO

Situação	Variação	FS mínimo	z (m)	Espessura liquefeita (m)	Limítrofe (m)
Base	a_{max} 0.35g; M 7.5; NA 1.8; ER 60	**0.458**	4.0	5.45	3.00
a_{max} diminui	0.25g	**0.641**	4.0	4.20	0.00
a_{max} aumenta	0.45g	**0.356**	4.0	8.45	3.25
A magnitude diminui	M 6.5	**0.510**	4.0	4.20	0.00
A magnitude aumenta	M 8.0	**0.436**	4.0	8.45	3.25
Nível do lençol freático desce	3.0 m	**0.517**	4.0	4.00	3.00
Nível do lençol freático sobe	1.0 m	**0.412**	2.5	5.75	3.00
A energia diminui	ER %45 (C_E 0.75)	**0.388**	4.0	15.20	0.00
A energia aumenta	ER %80 (C_E 1.33)	**0.560**	4.0	4.20	0.00

a_{max} é o dado de entrada mais influente: com 0.25g, a espessura liquefazível é de 4.20 m; com 0.45g, de 8.45 m. A **energia do martelo** tem efeito inesperadamente grande: com ER de 45%, N_{60} diminui e a espessura liquefazível sobe para 15.20 m. Por isso é importante **conhecer** a razão de energia medida.

Solução (2/2)

SOLUÇÃO

1 Fator de escala de magnitude para M = 6.5 e M = 8.0 ($(N_1)_{60cs}$ = 12.08)

$$MSF_{6.5} = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\, e^{-6.5/4} - 1.325) = \mathbf{1.0892}$$

$$MSF_{8.0} = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\, e^{-8.0/4} - 1.325) = \mathbf{0.9631}$$

2 No mesmo ensaio (4.0 m) FS

M	r_d	CSR	MSF	CRR	FS
6.5	0.9502	0.3018	1.0892	0.1539	**0.510**
7.5	0.9718	0.3087	1.0000	0.1413	**0.458**
8.0	0.9828	0.3122	0.9631	0.1361	**0.436**

Uma magnitude menor significa menos ciclos: o MSF aumenta e FS passa de 0.458 para **0.510**; para M = 8.0, FS é 0.436. Tanto r_d quanto MSF dependem da magnitude; ambos atuam no mesmo sentido.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Enunciado

EXEMPLO

Dados

Sondagens	**BH-1 (nível do lençol freático a 1.80 m), BH-2 (2.40 m), BH-3 (3.10 m); mesmos parâmetros**
Corte	**BH-1 $x = 0$, BH-2 $x = 32$, BH-3 $x = 70$ m**

PEDE-SE

O **menor FS** de cada sondagem, as espessuras **liquefeita** e **marginal**; resumo do projeto.

Solução

SOLUÇÃO

Sondagem	NA (m)	Ensaio	Descartado	FS mínimo	z (m)	Zonas liquefeitas (m)	Espessura (m)	Limítrofe (m)
BH-1	1.80	13	3	**0.458**	4.0	1.80–6.00; 12.25–13.50	5.45	3.00
BH-2	2.40	13	3	**0.697**	3.0	2.40–5.25	2.85	3.50
BH-3	3.10	13	6	**0.841**	6.0	5.00–8.25	3.25	1.75

A liquefação é desencadeada **nas três sondagens**. Menor FS = 0.458 (BH-1, 4.0 m); o solo liquefeito mais espesso está em BH-1 (5.45 m). Dos 39 ensaios, 27 foram avaliados e 12 foram descartados (acima do nível do lençol freático ou com comportamento de argila).

Se houver linha de corte, a faixa de cores é interpolada linearmente entre as sondagens; a área cinza é o terreno não avaliado.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Resumo

Pontos-chave

FS = CRR / CSR; CSR = 0.65 (σ_v/σ'_v) a_{max} r_d; CRR = $CRR_{7.5;1}$ · MSF · K_σ

N_{60} = N_{30} C_E C_B C_S C_R; **$(N_1)_{60cs}$** = C_N N_{60} + Δ(FC), sendo C_N obtido por iteração

Exemplo (BH-1, 4.0 m): σ'_v 54.47 kPa; N_{60} 8.50; C_N 1.378; $(N_1)_{60cs}$ 12.08; CSR 0.3087; CRR 0.1413 (MSF 1.000, K_σ 1.062) → **FS 0.458**

Triagem: ensaios acima do nível do lençol freático, abaixo de z_{max} e de tipo argiloso (PI ≥ 7) não entram no cálculo; **zona**: os ensaios se estendem até os pontos médios vizinhos

Sensibilidade: a_{max} e a energia medida do martelo são os dados de entrada que mais alteram o resultado; as consequências da liquefação constituem um cálculo à parte

Referências bibliográficas

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Report UCD/CGM-14/01, University of California, Davis.

Idriss, I.M., Boulanger, R.W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes. EERI, MNO-12.

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2006). Liquefaction susceptibility criteria for silts and clays. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 132(11).

Youd, T.L. et al. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 127(10).

Seed, H.B., Idriss, I.M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. J. Soil Mech. Found. Div., 97(SM9).

NOTA

Todos os exemplos numéricos foram gerados com o mecanismo de cálculo do próprio módulo; o módulo fornece os mesmos valores. O projeto inicial do módulo consiste nestas três sondagens (a_{max} = 0.35g, M = 7.5).

Cálculos geotécnicos on-line

Da teoria à prática

Inserir no GeoTerva as sondagens, os resultados de SPT, o nível do lençol freático e os parâmetros sísmicos; o módulo fornece as correções para cada ensaio, CSR, CRR, FS, as zonas, a espessura liquefável e o corte com faixas coloridas, a solução passo a passo e o relatório.

Abrir o módulo →

Página de teoria →

Abrir no celular
Os módulos de teste não exigem cadastro.