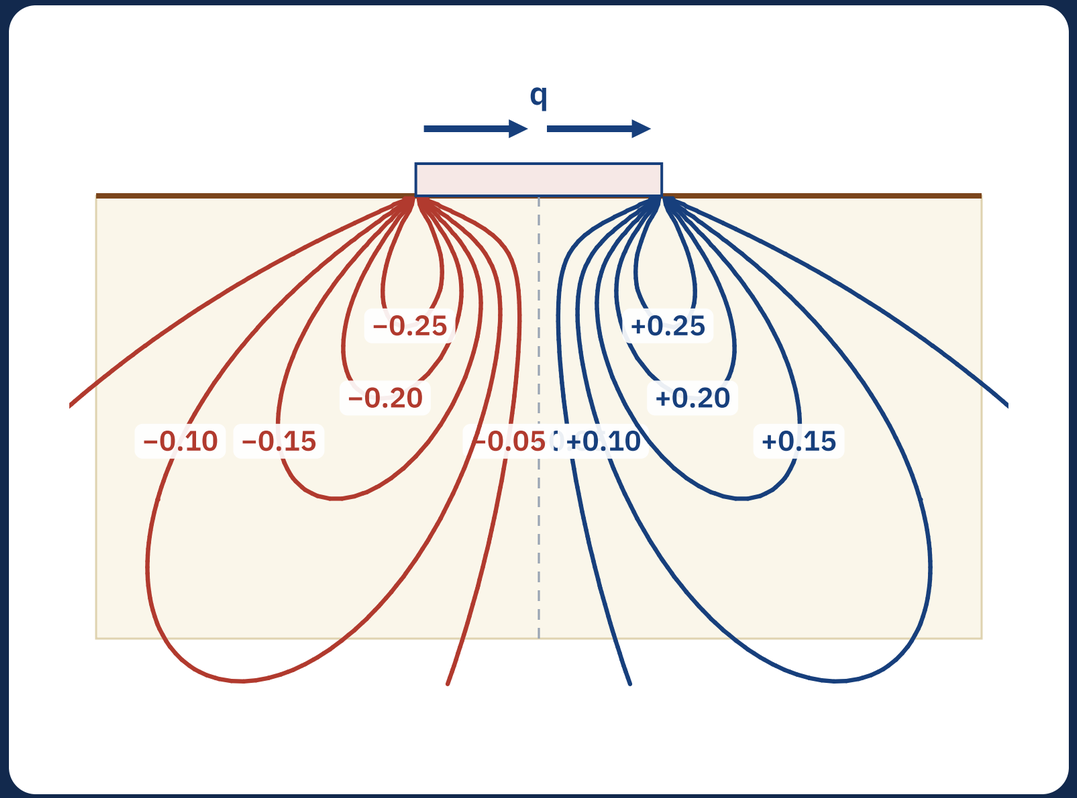
Apresentação de aula de geotecnia · Tensões no solo

Tensão sob uma carga em faixa horizontal

Aula: cargas em faixa horizontais e inclinadas que empurram ao longo da superfície; um ponto à mão, inclinação, perfis em profundidade e horizontais.

- Integral da carga linear horizontal
- Carga inclinada = vertical + horizontal
- Acréscimo à frente, redução atrás
- Superposição
- Solução manual possível



Introdução

O que veremos nesta aula?

O acréscimo de tensão vertical sob uma carga em faixa **de arraste** (horizontal) e **inclinada** ao longo da superfície: a integral da carga linear horizontal na largura da faixa

A equação da faixa horizontal e o fato de a tensão ser **função apenas de x**: aumento à frente da carga, diminuição atrás dela, nula sob o eixo

Decompor a carga inclinada nas componentes $\mathbf{q_v = q \cos \alpha}$ e $\mathbf{q_h = q \sin \alpha}$ e **superpor** as soluções de faixa vertical e horizontal

Um ponto resolvido **de ponta a ponta, manualmente** (A à frente da carga e B atrás dela); o efeito do ângulo de inclinação, da profundidade e de várias faixas, com tabelas

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: q = 150 kN/m², inclinada de α = 30° em relação à vertical; B = 3 m; ponto A em x = +2.25 m, z = 3 m.

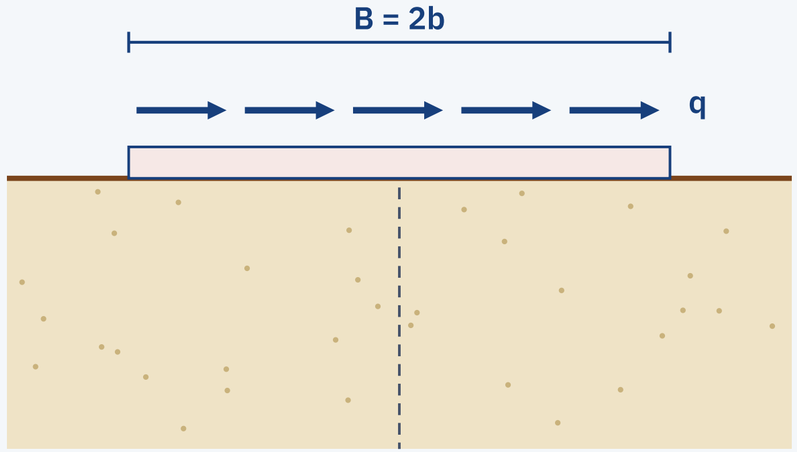
A carga em faixa também empurra ao longo da superfície

TEORIA

O atrito sob uma sapata que desliza, o empuxo na base de um muro de contenção, a força de frenagem dos veículos sobre uma via: uma faixa também **empurra** ao longo da superfície

O módulo fornece o acréscimo de tensão vertical sob uma **faixa flexível** que transmite uma pressão horizontal uniforme q e, por **superposição**, sob uma faixa inclinada; a faixa tem largura B = 2b e comprimento infinito (deformação plana)

O solo é um meio semi-infinito **homogêneo, isotrópico e linearmente elástico**. $\Delta\sigma_z$ é apenas o acréscimo causado pela carga e **pode ser negativo** (uma diminuição)



Seção: a carga horizontal empurra na direção +x; a faixa se estende infinitamente na direção y

Da carga linear horizontal à faixa

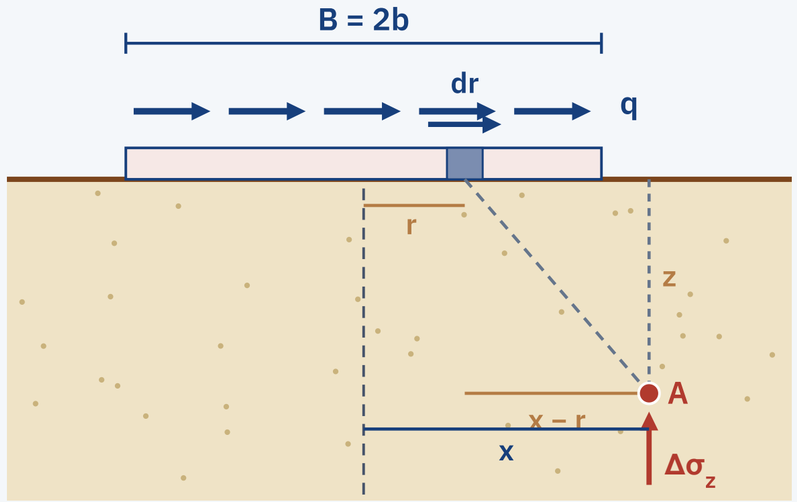
TEORIA

Como no caso da faixa vertical, a faixa elementar de largura dr suporta **q dr** por unidade de comprimento e comporta-se como uma **carga linear horizontal** atuando no sentido +x

$$d\sigma_z = \frac{2\,(q\,dr)\,(x-r)\,z^2}{\pi\,[(x-r)^2+z^2]^2}$$

Tomando u = x − r, a primitiva é −1/(u² + z²). No intervalo −b ≤ r ≤ b, a integral se reduz à diferença de duas cargas lineares:

$$\Delta\sigma_z = \frac{q\,z^2}{\pi}\left[\frac{1}{(x-b)^2+z^2} - \frac{1}{(x+b)^2+z^2}\right]$$



$\Delta\sigma_z = 4bqxz^2 / \{\pi[(x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2z^2]\}$

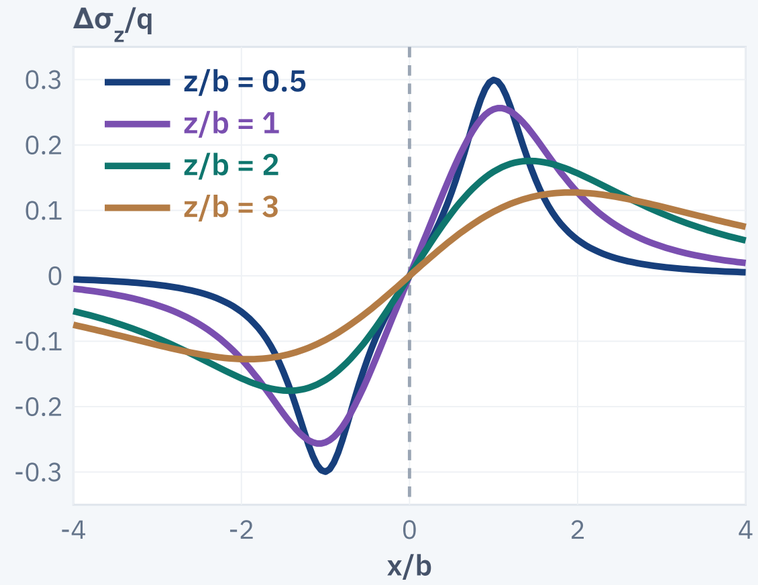
TEORIA

O produto dos dois denominadores torna-se $(x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2z^2$; obtém-se a **equação da faixa horizontal** (b = B/2):

$$\Delta\sigma_z = \frac{4\,b\,q\,x\,z^2}{\pi\,[(x^2+z^2-b^2)^2+4b^2z^2]} \qquad \frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{4XZ^2}{\pi\,[(X^2+Z^2-1)^2+4Z^2]}$$

A tensão é uma **função ímpar** de x: de mesma magnitude e sinais opostos nos pontos +x e –x. **À frente** da carga o solo é empurrado para baixo, **atrás** é levantado; sob o eixo da faixa é nula em qualquer profundidade

Com X = x/b, Z = z/b, **uma única família de curvas** é válida para qualquer q e B. Verificação numérica (q = 100, B = 4, x = 1, z = 1): a integral da carga linear horizontal ao longo da faixa resulta em **12.7324 kPa** e a equação, em **12.7324 kPa**



Tensão da faixa horizontal: a carga empurra no sentido +x

Carga inclinada = componente vertical + componente horizontal

TEORIA

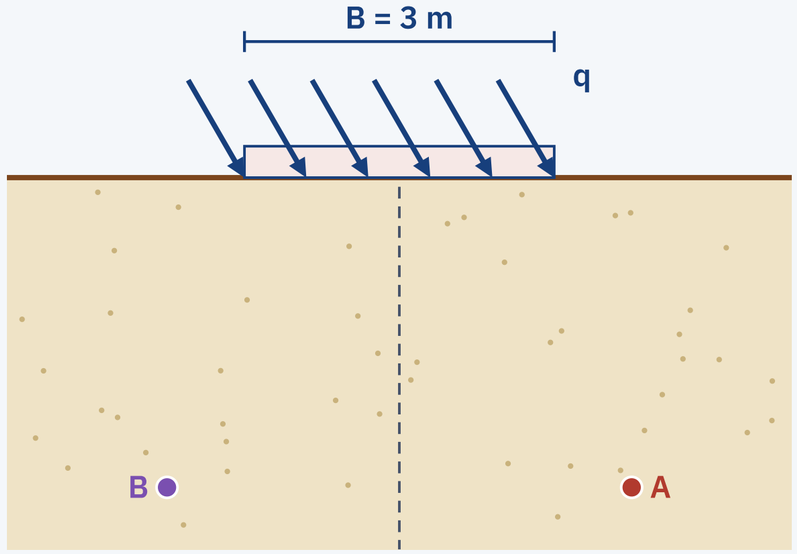
A carga inclinada é a pressão q que atua com um ângulo **α** em relação à vertical (α é positivo no sentido +x; α = 90° corresponde a carga totalmente horizontal, α = 0 a uma faixa vertical)

$$q_v = q\cos\alpha \qquad q_h = q\sin\alpha$$

A componente vertical fornece a tensão da **faixa vertical** e a componente horizontal, a da **faixa horizontal**; as duas são somadas

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(v)} + \Delta\sigma_{z(h)} \qquad \Delta\sigma_{z(v)} = q_v\, I_v \qquad \Delta\sigma_{z(h)} = q_h\, I_h$$

I_V é função par de x e I_h é função ímpar de x: no ponto A, à frente da carga, a componente horizontal é **somada**; no ponto B, atrás dela, é **subtraída**



q = 150 kN/m², α = 30°, B = 3 m; A à frente, B atrás (x = ±2.25 m, z = 3 m)

Faixa horizontal: valores de $\Delta\sigma_z/q_h$

TEORIA

z/b \ x/b	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0
0.25	0.0000	0.0551	0.3134	0.0605	0.0165	0.0070	0.0037	0.0014
0.50	0.0000	0.1273	0.2996	0.1469	0.0551	0.0255	0.0138	0.0055
1.00	0.0000	0.1567	0.2546	0.2107	0.1273	0.0739	0.0449	0.0196
1.50	0.0000	0.1273	0.2037	0.2022	0.1567	0.1098	0.0753	0.0374
2.00	0.0000	0.0959	0.1592	0.1754	0.1567	0.1254	0.0955	0.0540
3.00	0.0000	0.0551	0.0979	0.1219	0.1273	0.1198	0.1058	0.0749
4.00	0.0000	0.0343	0.0637	0.0845	0.0959	0.0988	0.0955	0.0795

$\Delta\sigma_{z(h)} = q_h \cdot$ (valor da tabela), para $x > 0$; nos pontos $x < 0$ o valor é o mesmo, com sinal contrário. A coluna $x = 0$ é nula em todas as profundidades; o valor de pico diminui com a profundidade e se afasta do eixo da faixa.

Superposição

TEORIA

Como o solo é **elástico**, a tensão de cada faixa é obtida separadamente e somada. Cada faixa é definida por seu próprio q, inclinação α, largura B e linha de eixo; no módulo podem ser inseridas, no máximo, oito faixas

As faixas **não podem se sobrepor** (podem encontrar-se na borda). A tensão de cada faixa é obtida **com o seu próprio valor de x**, isto é, com a distância do ponto A ao eixo central dessa faixa; as componentes vertical e horizontal também podem ser somadas separadamente

$$\Delta\sigma_z = \sum_k \left(q_{v,k} I_{v,k} + q_{h,k} I_{h,k}\right) \qquad x_k = x_A - x_{c,k}$$

Se a carga horizontal de uma faixa está no sentido −x (α < 0), q_h é negativo: o ponto da frente passa a ser o ponto do lado **−x** da faixa

Enunciado

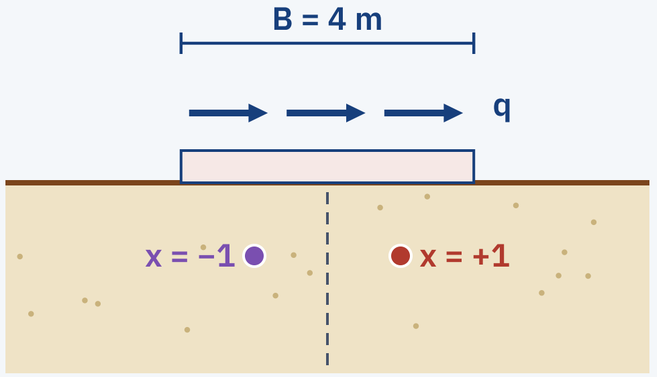
EXEMPLO

Dados

Carga em faixa	**Flexível, horizontal (na direção $+x$): $q =$ 100 kN/m², $B = 4$ m ($b = B/2 = 2$ m); linha do eixo $x = 0$**
Pontos	**a $z = 1$ m de profundidade, $x = +1$ m (à frente da carga) e $x = -1$ m (atrás)**

PEDE-SE

$\Delta\sigma_z$ e **$\Delta\sigma_z/q$**: pela equação fechada da faixa; verificação pela **forma em diferenças**.



Solução (1/2)

SOLUÇÃO

1 Grandezas no denominador (b = B/2 = 2 m)

$$x^2 + z^2 - b^2 = 1 + 1 - 4 = -2$$

$$(x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2z^2 = 4 + 4(4)(1) = \mathbf{20}$$

2 Valor de influência e tensão

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{4b\,x\,z^2}{\pi\,[\ldots]} = \frac{4(2)(\pm1)(1)^2}{\pi\,(20)} = \pm\frac{8}{\pi\,(20)} = \pm\mathbf{0.1273}$$

$$\Delta\sigma_z = \pm 0.1273\,(100) = \pm\mathbf{12.73}\ \mathrm{kPa}$$

x = +1 m (à frente da carga): $\Delta\sigma_z$ = **+12.73 kPa**, o solo é empurrado para baixo. **x = −1 m** (atrás): **−12.73 kPa**, a tensão diminui. Abaixo do eixo, $\Delta\sigma_z$ = 0 em qualquer profundidade.

Solução (2/2)

SOLUÇÃO

3 Forma em diferença, x = +1 m

$$\Delta\sigma_z = \frac{q\,z^2}{\pi}\left[\frac{1}{(x-b)^2+z^2} - \frac{1}{(x+b)^2+z^2}\right] = \frac{100}{\pi}\left[\frac{1}{2} - \frac{1}{10}\right] = \frac{100}{\pi}(0.4) = \mathbf{12.73}\ \text{kPa}$$

4 Forma em diferença, x = −1 m

$$\Delta\sigma_z = \frac{100}{\pi}\left[\frac{1}{(-1-2)^2+1} - \frac{1}{(-1+2)^2+1}\right] = \frac{100}{\pi}\left[\frac{1}{10} - \frac{1}{2}\right] = -\mathbf{12.73}\ \text{kPa}$$

As duas formas fornecem o **mesmo valor**: ±12.73 kPa. O módulo (α = 90°) fornece o mesmo valor; o sinal decorre apenas de o ponto estar à frente ou atrás da carga.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Enunciado

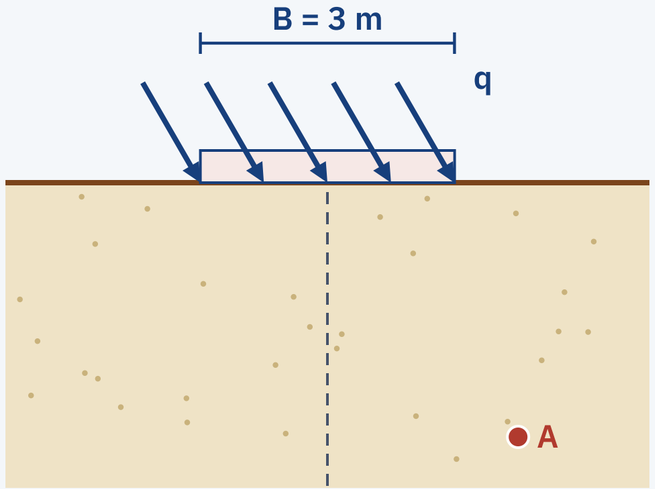
EXEMPLO

Dados

Carga em faixa	**Flexível, inclinada $\alpha = 30^\circ$ em relação à vertical (na direção $+x$): $q = 150$ kN/m², $B = 3$ m ($b = 1.5$ m); linha do eixo $x = 0$**
Ponto A	**À frente da carga: $x = +2.25$ m, $z = 3$ m ($x/b = 1.5$; $z/b = 2$)**

PEDE-SE

$\Delta\sigma_{z(v)}$, $\Delta\sigma_{z(h)}$ e **$\Delta\sigma_z$** total: decompondo a carga em seus componentes.



Solução (1/3)

SOLUÇÃO

1 Componentes da carga e distâncias adimensionais

$$q_v = 150\cos 30^\circ = \mathbf{129.90}\ \text{kPa} \qquad q_h = 150\sin 30^\circ = \mathbf{75.00}\ \text{kPa}$$

$$\frac{x}{b} = \frac{2.25}{1.5} = 1.5 \qquad \frac{z}{b} = \frac{3}{1.5} = 2$$

2 Componente vertical: arcotangentes e termo algébrico (x – b = 0.75 m; x + b = 3.75 m)

$$A_1 = \tan^{-1}\frac{3}{0.75} = 1.3258 \qquad A_2 = \tan^{-1}\frac{3}{3.75} = 0.6747$$

$$T = \frac{3(3)\,(5.0625 - 9 - 2.25)}{(5.0625 + 9 - 2.25)^2 + 9(9)} = \frac{-55.6875}{220.535} = -0.2525$$

O ponto A situa-se **fora** da faixa (x = 2.25 m > b = 1.5 m): as duas arco-tangentes são tomadas diretamente, sem necessidade de correção de π.

Solução (2/3)

SOLUÇÃO

3 Tensão devida à componente vertical

$$I_v = \frac{1}{\pi}\left[A_1 - A_2 - T\right] = \frac{1}{\pi}\left[1.3258 - 0.6747 - (-0.2525)\right] = \mathbf{0.2876}$$

$$\Delta\sigma_{z(v)} = 0.2876\,(129.90) = \mathbf{37.36}\ \text{kPa}$$

4 Tensão devida à componente horizontal (b = 1.5 m)

$$x^2 + z^2 - b^2 = 5.0625 + 9 - 2.25 = 11.8125 \qquad 4b\,x\,z^2 = 4(1.5)(2.25)(9) = 121.5$$

$$I_h = \frac{121.5}{\pi\left[(11.8125)^2 + 4(2.25)(9)\right]} = \frac{121.5}{\pi\,(220.535)} = \mathbf{0.1754}$$

$$\Delta\sigma_{z(h)} = 0.1754\,(75.00) = \mathbf{13.15}\ \text{kPa}$$

Como a carga é inclinada de 30°, a **componente vertical, 37.36 kPa**, e a **componente horizontal, 13.15 kPa**, geram tensão; o efeito da componente horizontal em A é positivo (à frente).

Solução (3/3)

SOLUÇÃO

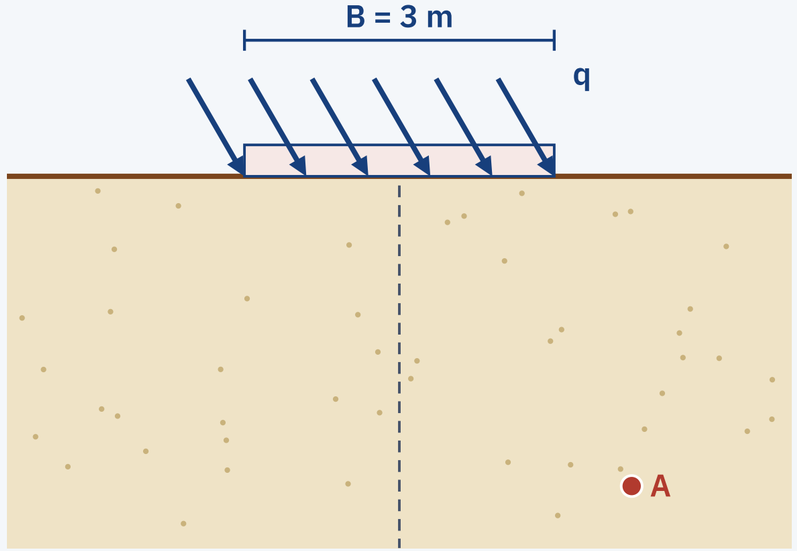
5 Superposição

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(v)} + \Delta\sigma_{z(h)} = 37.36 + 13.15 = \mathbf{50.52}\ \text{kPa}$$

6 Verificação da componente horizontal pela forma em diferença

$$I_h = \frac{z^2}{\pi}\left[\frac{1}{(x-b)^2+z^2} - \frac{1}{(x+b)^2+z^2}\right]$$

$$= \frac{9}{\pi}\left[\frac{1}{9.5625} - \frac{1}{23.0625}\right] = \mathbf{0.1754}$$



$\Delta\sigma_z$ = 50.52 kPa; o módulo fornece o mesmo valor (vertical 37.36, horizontal 13.15). Se a carga vertical fosse de 150 kPa (α = 0), seria apenas 43.14 kPa em A.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Enunciado

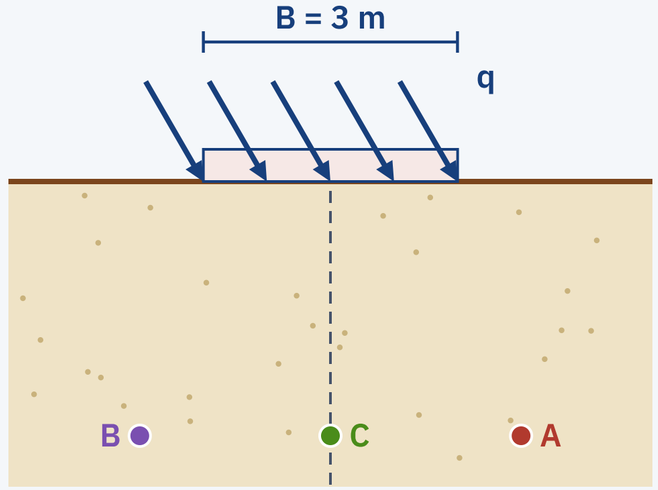
EXEMPLO

Dados

Carga em faixa	**A faixa do Exemplo 2: $q = 150$ kN/m², $B = 3$ m, $\alpha = 30^\circ$**
Pontos	**B: $x = -2.25$ m (atrás da carga); C: $x = 0$ (eixo); $z = 3$ m**
Inclinação	$\alpha = 0,\ 15^\circ,\ 30^\circ,\ 45^\circ,\ 60^\circ,\ 75^\circ,\ 90^\circ$ **(em A e B)**

PEDE-SE

$\Delta\sigma_z$ nos pontos **B** e **C**, por simetria; variação da tensão em A e B conforme α varia.



Solução (1/2)

SOLUÇÃO

1 Ponto B (x = −2.25 m): componente vertical em dobro, componente horizontal simples

$$\Delta\sigma_{z(v)}(B) = \Delta\sigma_{z(v)}(A) = 37.36\ \text{kPa} \qquad \Delta\sigma_{z(h)}(B) = -\Delta\sigma_{z(h)}(A) = -13.15\ \text{kPa}$$

$$\Delta\sigma_z(B) = 37.36 + (-13.15) = \mathbf{24.21}\ \text{kPa}$$

2 Ponto C (eixo, x = 0): componente horizontal nula; componente vertical pela fórmula sob o eixo

$$I_v = \frac{2}{\pi}\left[\tan^{-1}\frac{b}{z} + \frac{bz}{b^2+z^2}\right] = \frac{2}{\pi}\left[0.4636 + 0.4000\right] = 0.5498$$

$$\Delta\sigma_z(C) = 0.5498\,(129.90) = \mathbf{71.42}\ \text{kPa}$$

À frente da carga (A) 50.52, **atrás** dela (B) 24.21, **sob o eixo** (C) 71.42 kPa: na mesma profundidade, a componente horizontal acrescenta 13.15 kPa em A e subtrai o mesmo valor em B. O módulo fornece os mesmos valores para A e B.

Solução (2/2)

SOLUÇÃO

α (°)	q_v	q_h	A: $\Delta\sigma_{z(v)}$	A: $\Delta\sigma_{z(h)}$	A: $\Delta\sigma_z$	B: $\Delta\sigma_z$
0	150.00	0.00	43.14	0.00	**43.14**	**43.14**
15	144.89	38.82	41.67	6.81	**48.48**	**34.86**
30	129.90	75.00	37.36	13.15	**50.52**	**24.21**
45	106.07	106.07	30.51	18.60	**49.11**	**11.91**
60	75.00	129.90	21.57	22.78	**44.35**	**−1.21**
75	38.82	144.89	11.17	25.41	**36.58**	**−14.24**
90	0.00	150.00	0.00	26.31	**26.31**	**−26.31**

Com o aumento da inclinação, a componente vertical diminui e a horizontal aumenta. Em **A**, o total é máximo em torno de α ≈ 30° (50.5 kPa); em α = 90° resta apenas a componente horizontal (26.3 kPa). Em **B**, a tensão **passa a diminuir** em α = 60°, com -1.21 kPa, e chega a −26.3 kPa em α = 90°.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Enunciado

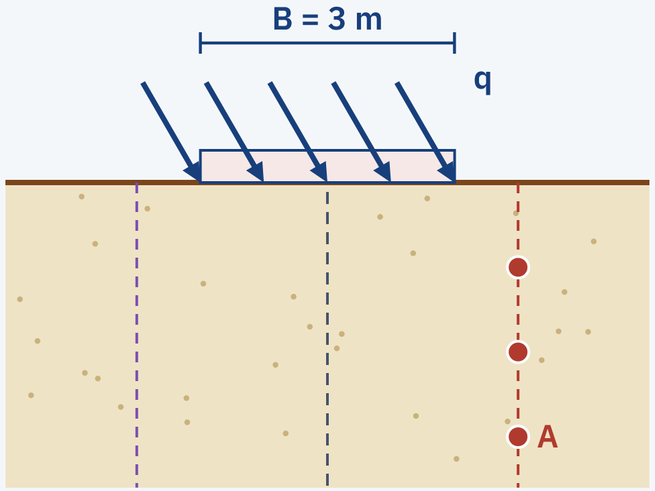
EXEMPLO

Dados

Carga em faixa	**A faixa inclinada do Exemplo 2: $q = 150$ kN/m², $\alpha = 30°$, $B = 3$ m**
Retas	**A reta vertical de A está a $x = +2.25$ m e a de B a $x = -2.25$ m**
Profundidade	$z = 0.5$ **…** 12 **m**

PEDE-SE

Variação de $\Delta\sigma_{z(v)}$, $\Delta\sigma_{z(h)}$ e do total com a profundidade; a **profundidade em que o componente horizontal é máximo**.

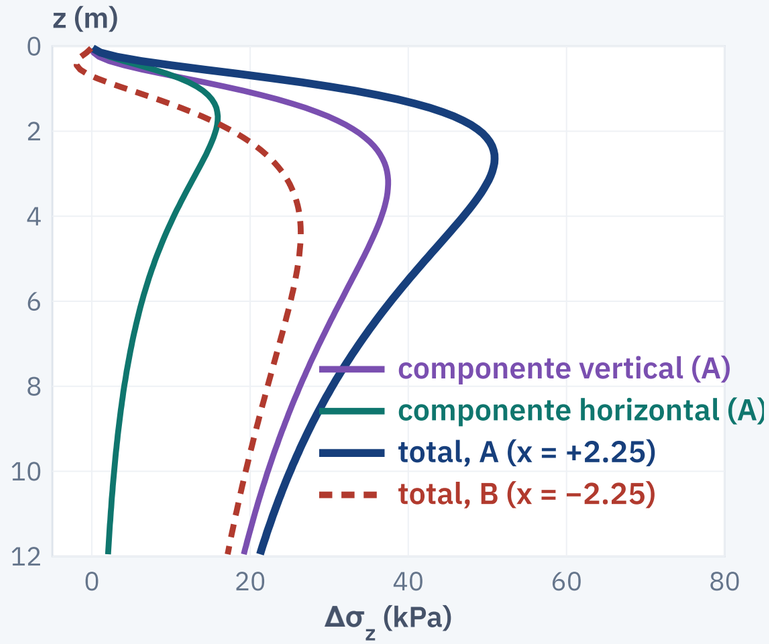


Solução

SOLUÇÃO

z (m)	z/b	A: $\Delta\sigma_{z(v)}$	A: $\Delta\sigma_{z(h)}$	A: $\Delta\sigma_z$	B: $\Delta\sigma_z$
0.5	0.33	5.17	6.93	**12.09**	**−1.76**
1.0	0.67	18.01	13.69	**31.71**	**4.32**
1.5	1.00	27.77	15.81	**43.57**	**11.96**
2.0	1.33	33.43	15.64	**49.08**	**17.79**
3.0	**2.00**	**37.36**	**13.15**	**50.52**	**24.21**
4.0	2.67	36.62	10.36	**46.98**	**26.26**
5.0	3.33	34.23	8.07	**42.30**	**26.16**
6.0	4.00	31.45	6.34	**37.79**	**25.11**
8.0	5.33	26.31	4.09	**30.40**	**22.22**
10.0	6.67	22.25	2.81	**25.06**	**19.44**
12.0	8.00	19.14	2.03	**21.17**	**17.11**

Abaixo de A, a **componente vertical** atinge o pico em z ≈ 3.25 m (37.5 kPa); a **componente horizontal** é máxima em profundidade menor, z ≈ 1.65 m (15.9 kPa), e depois decai como 1/z². Abaixo de B, a tensão perto da superfície é negativa (-1.76 kPa em z = 0.5 m).



Verificar a solução no GeoTerva ↗

Enunciado

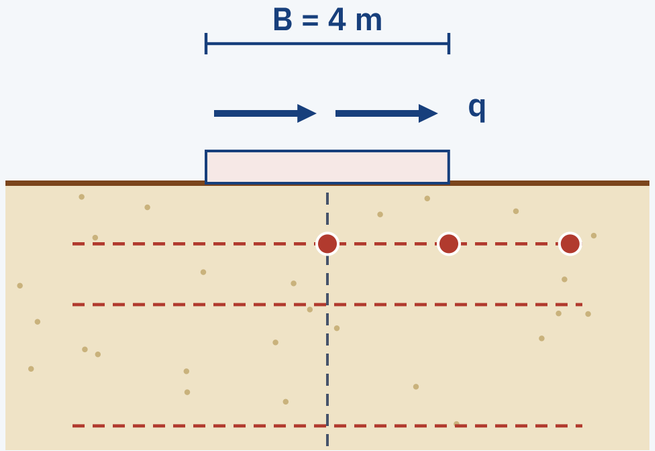
EXEMPLO

Dados

Carga em faixa	**Horizontal: $q = 100$ kN/m², $B = 4$ m ($b = 2$ m), na direção $+x$**
Retas	**Retas horizontais a $z = 1,\ 2,\ 4,\ 6$ m de profundidade; $x = 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8$ m**
Cálculo manual	**Ponto $z = 1$ m, $x = 2$ m (borda)**

PEDE-SE

A variação de $\Delta\sigma_z$ ao longo de x em cada profundidade; a **posição do valor de pico** e a variação de sua magnitude com a profundidade.



Solução (1/2)

SOLUÇÃO

1 Grandezas no denominador (b = 2 m)

$$x^2 + z^2 - b^2 = 4 + 1 - 4 = 1 \qquad (x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2 z^2 = 1 + 16 = 17$$

$$4b\,x\,z^2 = 4(2)(2)(1) = 16$$

2 Valor de influência e tensão

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{16}{\pi\,(17)} = \mathbf{0.2996}$$

$$\Delta\sigma_z = 0.2996\,(100) = \mathbf{29.96}\ \mathrm{kPa}$$

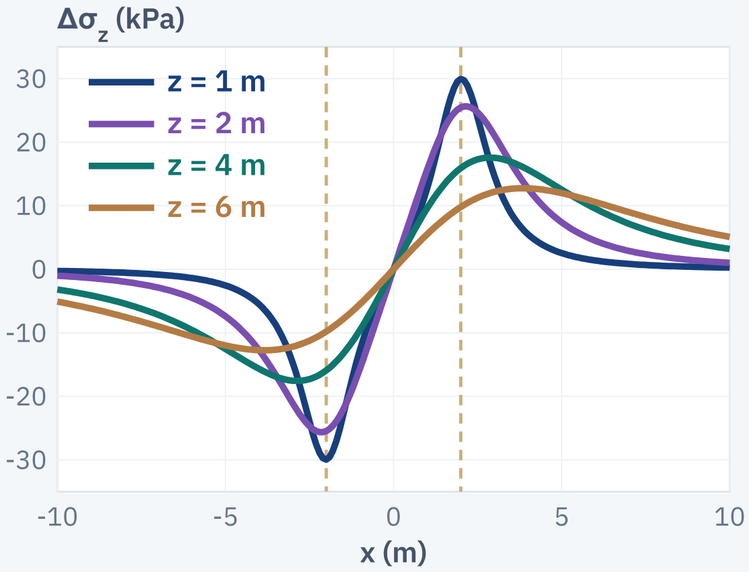
Na borda frontal da faixa (x = b), à profundidade z = 1 m, $\Delta\sigma_z$ = **29.96 kPa**: valor muito próximo ao **valor de pico** na linha z = 1 m (x = 2.01 m, 29.96 kPa).

Solução (2/2)

SOLUÇÃO

z (m)	x = 1 m	x = 2 m	x = 3 m	x = 4 m	x = 6 m	x = 8 m	Pico: x (m)	Pico: $\Delta\sigma_z$
1	12.73	29.96	14.69	5.51	1.38	0.55	**2.01**	**29.96**
2	15.67	25.46	21.07	12.73	4.49	1.96	**2.15**	**25.65**
4	9.59	15.92	17.54	15.67	9.55	5.40	**2.87**	**17.57**
6	5.51	9.79	12.19	12.73	10.58	7.49	**3.84**	**12.75**

O valor máximo, próximo da superfície (z = 1 m), é de **30.0 kPa** logo abaixo da borda da faixa; com o aumento da profundidade, **diminui** (12.7 kPa em z = 6 m) e **afasta-se da faixa** (x = 2.0 m → 3.8 m). A coluna x = 0 é sempre nula; nos pontos x < 0 os valores são os mesmos, com sinal contrário (simetria ímpar).



Verificar a solução no GeoTerva ↗

Enunciado

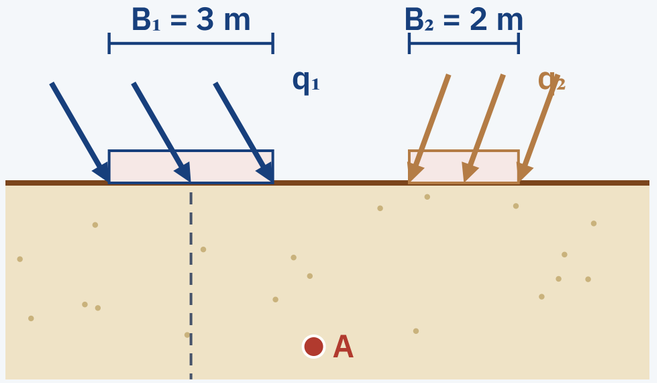
EXEMPLO

Dados

1ª faixa	$q_1 = 150$ **kN/m²,** $\alpha_1 = 30^\circ$ **(**$+x$**),** $B_1 = 3$ **m,** $x_{c1} = 0$ **(–1.5 … 1.5 m) — a faixa do Exemplo 2**
2ª faixa	$q_2 = 100$ **kN/m²,** $\alpha_2 = -20^\circ$ **(direção** $-x$**),** $B_2 = 2$ **m,** $x_{c2} = 5$ **m (4 … 6 m)**
Ponto A	$x = 2.25$ **m,** $z = 3$ **m (entre as duas faixas)**

PEDE-SE

Contribuição da 2.ª faixa (vertical, horizontal) e **$\Delta\sigma_z$ total**; perfil em profundidade.



Solução (1/3)

SOLUÇÃO

1 2.ª faixa: $x_2 = 2.25 - 5 = -2.75$ m ($|x_2| = 2.75$ m), b = 1 m; $\alpha_2 = -20°$

$$q_v = 100\cos 20^\circ = \mathbf{93.97}\ \text{kPa} \qquad q_h = 100\sin(-20^\circ) = -\mathbf{34.20}\ \text{kPa}$$

2 Componente vertical (simetria: para $|x_2| = 2.75$ m)

$$A_1 = \tan^{-1}\frac{3}{1.75} = 1.0427 \quad A_2 = \tan^{-1}\frac{3}{3.75} = 0.6747 \quad T = \frac{2(3)(-2.4375)}{(15.5625)^2 + 36} = -0.0526$$

$$\Delta\sigma_{z(v)} = \frac{93.97}{\pi}[A_1 - A_2 - T] = 0.1339\,(93.97) = \mathbf{12.58}\ \text{kPa}$$

Solução (2/3)

SOLUÇÃO

3 Componente horizontal: q_h negativo, x_2 negativo → $\Delta\sigma_{z(h)}$ positivo

$$I_h(|x|) = \frac{4b\,x\,z^2}{\pi\left[(x^2+z^2-b^2)^2+4b^2z^2\right]} = \frac{4(1)(2.75)(9)}{\pi\left[(15.5625)^2+36\right]} = \mathbf{0.1133}$$

$$\Delta\sigma_{z(h)} = (-34.20)\left(-0.1133\right) = \mathbf{3.87}\ \text{kPa}$$

4 Superposição (1ª faixa: Exemplo 2)

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = (37.36 + 13.15) + (12.58 + 3.87)$$
$$= 50.52 + 16.45 = \mathbf{66.97}\ \text{kPa}$$

$\Delta\sigma_z$ = 66.97 kPa (componentes verticais 49.94, componentes horizontais 17.03 kPa). O módulo fornece os mesmos valores para as duas faixas.

Solução (3/3)

SOLUÇÃO

z (m)	1ª faixa (kPa)	2ª faixa (kPa)	Total (kPa)	parcela da faixa 2
1	31.71	4.25	**35.96**	%12
2	49.08	12.18	**61.26**	%20
3	50.52	16.45	**66.97**	%25
4	46.98	17.48	**64.45**	%27
6	37.79	15.83	**53.62**	%30
8	30.40	13.38	**43.79**	%31
12	21.17	9.71	**30.89**	%31

Na camada próxima da superfície, a faixa 1 predomina; em **z = 12 m** a parcela da faixa 2 sobe a 31% do total. As componentes horizontais das duas faixas somam-se no mesmo sentido em A (ambas em direção a A): as cargas empurram uma em direção à outra.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Resumo

Pontos-chave

Carga em faixa horizontal: $\Delta\sigma_z = 4bqxz^2 / \{\pi[(x^2 + z^2 - b^2)^2 + 4b^2z^2]\}$, $b = B/2$; forma equivalente $(qz^2/\pi)[1/((x - b)^2 + z^2) - 1/((x + b)^2 + z^2)]$. **Função ímpar** de x: + à frente, − atrás, 0 sob o eixo

Faixa inclinada: $q_v = q \cos\alpha$, $q_h = q \sin\alpha$; $\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(v)} + \Delta\sigma_{z(h)}$. A componente vertical é par em x e a horizontal, ímpar

Exemplo ($q = 150$ kPa, $\alpha = 30°$, $B = 3$ m; $z = 3$ m): A ($x = +2.25$): 37.36 + 13.15 = **50.52 kPa**; B ($x = -2.25$): 37.36 − 13.15 = **24.21 kPa**; faixa horizontal ($q = 100$, $B = 4$; $x = \pm1$, $z = 1$): **±12.73 kPa**

Efeitos: à medida que α aumenta, o total em A é máximo em $\alpha \approx 30°$, e em B a tensão diminui para $\alpha \geq 60°$; na faixa horizontal, diminui à medida que o pico se aprofunda e se afasta da faixa

Superposição: cada faixa com seus próprios valores de x e α; no exemplo de duas faixas inclinadas, 50.52 + 16.45 = **66.97 kPa**

Referências bibliográficas

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning.

NOTA

Todos os exemplos numéricos foram gerados com o próprio motor de cálculo do módulo; o módulo fornece os mesmos valores. O módulo abre com q = 150 kN/m², α = 30°, B = 3 m e A (x = +2.25 m, z = 3 m); ao se inserir x = −2.25 m, obtém-se o ponto B, e ao se inserir α = 90°, obtém-se uma faixa totalmente horizontal.

GeoTerva

Cálculos geotécnicos on-line

Da teoria à prática

Inserir no GeoTerva as próprias faixas (q, inclinação, B, linha de eixo) e o ponto A; o módulo fornece, em conjunto, a tensão, as curvas de isotensão, o perfil em profundidade, a solução passo a passo e o relatório.

Abrir o módulo →

Página de teoria →

Abrir no celular
Os módulos de teste não exigem cadastro.