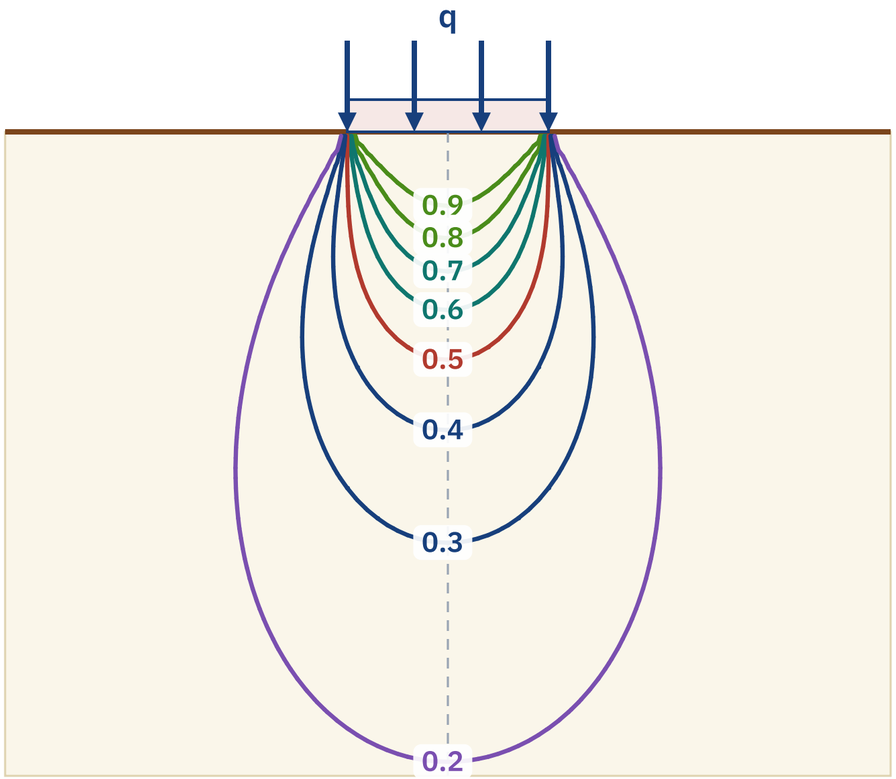
Apresentação de aula de geotecnia · Tensões no solo

Tensão sob uma carga em faixa vertical

Aula: carga em faixa vertical flexível e infinitamente longa; um ponto à mão, perfis em profundidade e horizontais, superposição.

Integral da carga linear | Forma angular | Bulbo de tensões | Superposição | Resolvível à mão



Introdução

O que veremos nesta aula?

O acréscimo de tensão vertical sob a **carga em faixa**: uma faixa flexível de comprimento infinito e largura B, com pressão uniforme q; **a integral da carga linear ao longo da largura**

A forma fechada com **arco-tangente** e a **forma angular**; a **correção de π** acrescentada à primeira arco-tangente quando x < B/2

Que a tensão depende apenas de **x/B** e **z/B** e nunca excede q; o **bulbo de tensões** e a tabela de fatores de influência

Resolver um ponto **de ponta a ponta, à mão**; perfis em profundidade e horizontais em tabelas; várias faixas por **superposição**

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 = 100 kN/m², B = 4 m; ponto A a x = 1 m lateralmente do eixo central, à profundidade z = 1 m.

Carga em faixa: largura finita, comprimento infinito

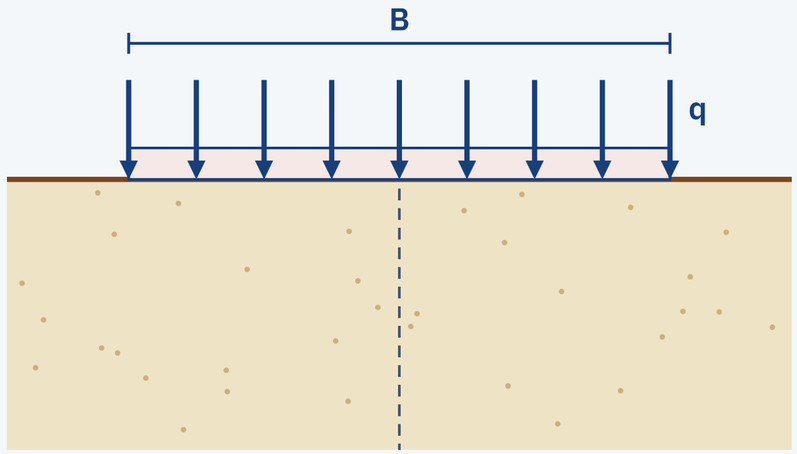
TEORIA

Uma fundação longa, a superfície superior de uma estrada ou de um aterro, a base de um muro: muitas cargas são longas em uma direção e de largura finita na outra. A **carga em faixa** modela essas situações

Faixa flexível: largura B, comprimento infinito, pressão vertical uniforme q. A tensão é a mesma em todas as seções; o problema é de **estado plano de deformação** (bidimensional)

Qualquer que seja o recalque, a tensão permanece igual a q ao longo da largura; uma sapata rígida redistribuiria essa tensão

O solo é um semiespaço **homogêneo, isótropo e linearmente elástico**. $\Delta\sigma_z$ é apenas o acréscimo devido à carga; a tensão do solo sobrejacente é somada separadamente



Seção: a faixa se estende infinitamente na direção y; a mesma tensão em todas as seções (estado plano de deformação)

Da carga linear à faixa

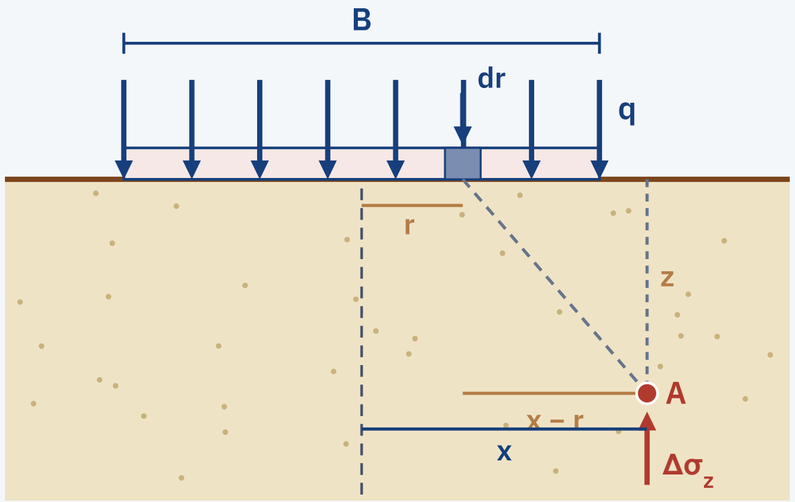
TEORIA

A faixa elementar de largura dr suporta uma carga **q dr** por unidade de comprimento e atua como uma **carga linear**; sua distância horizontal ao ponto A é x − r

$$d\sigma_z = \frac{2\,(q\,dr)\,z^3}{\pi\,[(x-r)^2+z^2]^2}$$

A faixa inteira é a soma dessas cargas lineares entre r = −B/2 ... +B/2

$$\Delta\sigma_z = \int_{-B/2}^{+B/2} \frac{2q}{\pi}\,\frac{z^3}{[(x-r)^2+z^2]^2}\,dr$$



Forma fechada da integral

TEORIA

Toma-se u = x − r; a **função primitiva** de 1/(u² + z²)² é (q/π)[tan⁻¹(u/z) + z u/(u² + z²)]. Ao calcular a integral nos limites u = x − B/2 e u = x + B/2, obtém-se a **forma em arco tangente**

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi}\left\{\tan^{-1}\frac{z}{x-B/2} - \tan^{-1}\frac{z}{x+B/2} - \frac{B\,z\,[x^2 - z^2 - B^2/4]}{[x^2 + z^2 - B^2/4]^2 + B^2 z^2}\right\}$$

As arco-tangentes estão em **radianos**; $\Delta\sigma_z$ é o mesmo nas posições +x e −x (a faixa é simétrica em relação ao seu eixo)

Como escrita, a equação é válida para x ≥ B/2. Para 0 ≤ x < B/2, a primeira arcotangente se torna negativa e é substituída por **π + tan⁻¹[z/(x − B/2)]**; exatamente em x = B/2, vale π/2

Verificação numérica (q = 100, B = 4, x = 1, z = 1): a integral numérica da solução de carga linear ao longo da largura da faixa é **90.2232 kPa**; a forma fechada, **90.2232 kPa**

A tensão depende apenas dos ângulos

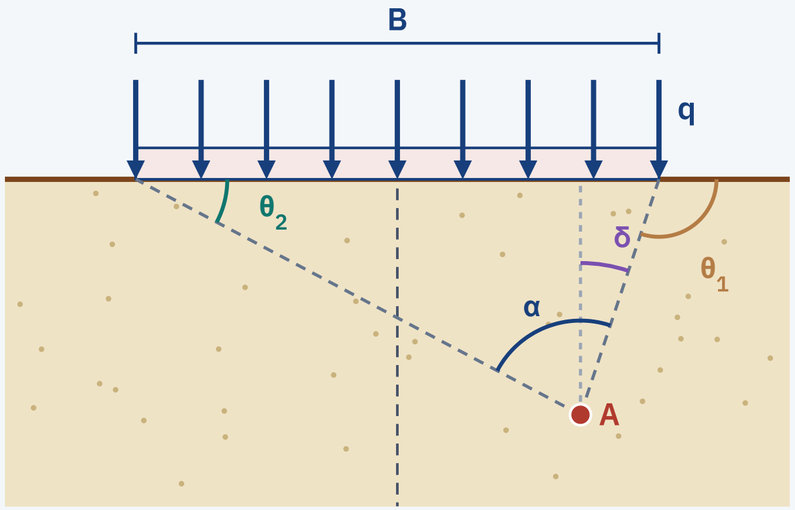
TEORIA

O mesmo resultado escreve-se com os ângulos da figura. θ é medido a partir da superfície; α = $\theta_1 - \theta_2$ é o ângulo sob o qual a faixa é vista de A. **δ** é o ângulo entre a vertical e a reta traçada de A até a borda +B/2: δ = 90° − θ_1 (negativo sob a faixa)

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi}\left[\alpha + \sin\alpha\,\cos(\alpha + 2\delta)\right]$$

$$F(u) = \tan^{-1}\frac{u}{z} + \frac{zu}{u^2+z^2} = \varphi + \tfrac{1}{2}\sin 2\varphi \quad (u = z\tan\varphi)$$

A tensão depende apenas de **x/B e z/B** e **não excede q**: na superfície, sob a faixa, α = π e $\Delta\sigma_z$ = q; ao lado da faixa, α = 0



Sob o eixo e sob a borda

TEORIA

Sob o eixo (x = 0; b = B/2), a equação se reduz a um único termo; **sob a borda** (x = b), o primeiro arco-tangente vale π/2 e, na superfície, $\Delta\sigma_z = q/2$

$$\left.\frac{\Delta\sigma_z}{q}\right|_{x=0} = \frac{2}{\pi}\left[\tan^{-1}\frac{b}{z} + \frac{bz}{b^2+z^2}\right]$$

$$\left.\frac{\Delta\sigma_z}{q}\right|_{x=b} = \frac{1}{\pi}\left[\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\frac{z}{B} + \frac{Bz}{B^2+z^2}\right]$$

2z/B	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	6.0
Sob o eixo (2x/B = 0)	0.959	0.818	0.550	0.396	0.306	0.208
Sob a borda (2x/B = 1)	0.497	0.480	0.409	0.334	0.275	0.198

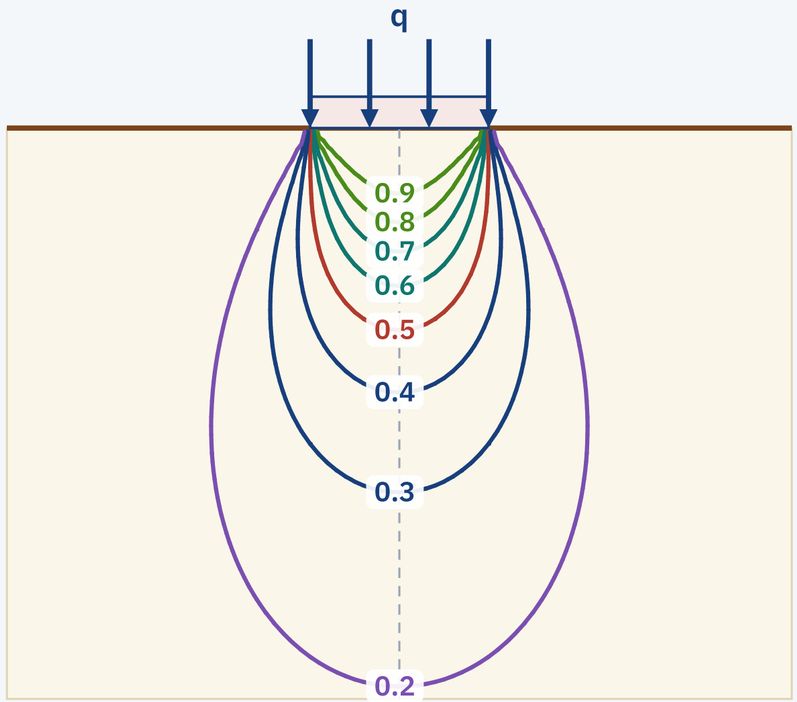
Curvas de isovalor: $\Delta\sigma_z/q$

TEORIA

Abaixo do eixo, a tensão cai à metade de q a uma profundidade de cerca de **z = 1.1B**, a um quinto em **3.1B** e só a um décimo em **6.3B**

As isolinhas de 0.6 – 0.9 se adensam sob a faixa na zona próxima à superfície: o conhecido **bulbo de tensões**

Quando as distâncias são divididas por B, as curvas são **as mesmas para cada faixa**: um único diagrama traçado em x/B e z/B vale para qualquer q e B



Valores de $\Delta\sigma_z/q$

TEORIA

2z/B \ 2x/B	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
0.0	1.000	1.000	0.500	0.000	0.000	0.000	0.000
0.5	0.959	0.902	0.497	0.089	0.019	0.006	0.003
1.0	0.818	0.735	0.480	0.214	0.084	0.036	0.017
1.5	0.668	0.607	0.448	0.271	0.146	0.077	0.042
2.0	0.550	0.510	0.409	0.288	0.185	0.114	0.071
2.5	0.462	0.436	0.370	0.285	0.205	0.141	0.095
3.0	0.396	0.379	0.334	0.274	0.211	0.157	0.114
3.5	0.345	0.334	0.302	0.258	0.210	0.165	0.127
4.0	0.306	0.298	0.275	0.242	0.205	0.168	0.134
5.0	0.248	0.244	0.231	0.212	0.188	0.164	0.139
6.0	0.208	0.206	0.198	0.186	0.171	0.154	0.136

$\Delta\sigma_z = q \cdot$ (valor da tabela). Cada valor da tabela provém da mesma equação; a linha z = 0 é a superfície (1 sob a faixa, 0.5 na borda, 0 fora).

Superposição

TEORIA

Como o solo é **elástico**, a tensão de cada faixa é determinada separadamente e somada. Cada faixa é definida por seu próprio q, B e linha de eixo; o módulo aceita no máximo oito faixas

As faixas **não podem se sobrepor**: duas podem se encontrar em uma 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 dessa faixa

$$\Delta\sigma_z = \sum_k \Delta\sigma_{z(k)} \qquad x_k = x_A - x_{c,k}$$

$\Delta\sigma_{z(k)}$ é calculado pela equação acima (q_k, B_k, x_k, z); por simetria, só é necessário $|x_k|$

Enunciado

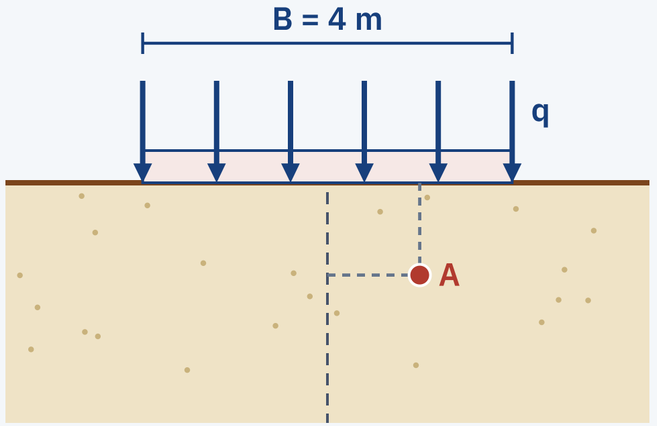
EXEMPLO

Dados

Carga em faixa	**Flexível, vertical: $q = 100$ kN/m², $B = 4$ m ($b = B/2 = 2$ m); linha do eixo $x = 0$**
Ponto A	**A $x = 1$ m do eixo, na profundidade de $z = 1$ m (sob a faixa)**

PEDE-SE

$\Delta\sigma_z$ e **$\Delta\sigma_z/q$**: primeiro pela forma fechada (arco-tangente) e depois verificação pela **forma angular**.



Solução (1/3)

SOLUÇÃO

1 Meia largura e distâncias do ponto A às bordas

$$b = \frac{B}{2} = 2\ \text{m} \qquad x - b = 1 - 2 = -1\ \text{m} \qquad x + b = 1 + 2 = 3\ \text{m}$$

$$\frac{2x}{B} = 0.5 \qquad \frac{2z}{B} = 0.5$$

2 Como x < B/2, o primeiro arco tangente é negativo; soma-se π

$$\tan^{-1}\frac{z}{x-b} = \tan^{-1}\frac{1}{-1} = -0.7854 \;\Rightarrow\; A_1 = \pi + (-0.7854) = \mathbf{2.3562}$$

$$A_2 = \tan^{-1}\frac{z}{x+b} = \tan^{-1}\frac{1}{3} = \mathbf{0.3218}$$

O ponto A está **sob** a faixa (|x| = 1 m < B/2 = 2 m). Por isso é necessária a correção de π no primeiro arco tangente; A_1 = 2.3562 e A_2 = 0.3218 rad.

Solução (2/3)

SOLUÇÃO

3 Terceiro termo (algébrico)

$$T = \frac{B\,z\,(x^2 - z^2 - b^2)}{(x^2 + z^2 - b^2)^2 + B^2 z^2} = \frac{4(1)(1 - 1 - 4)}{(1 + 1 - 4)^2 + 16(1)} = \frac{-16}{20} = \mathbf{-0.8000}$$

4 Valor de influência e tensão

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{1}{\pi}\left[A_1 - A_2 - T\right] = \frac{1}{\pi}\left[2.3562 - 0.3218 - (-0.8)\right] = \mathbf{0.9022}$$

$$\Delta\sigma_z = 0.9022\,(100) = \mathbf{90.22}\ \mathrm{kPa}$$

$\Delta\sigma_z$ = 90.22 kPa: no ponto A, a tensão corresponde a **90.2**% da pressão na superfície ($\Delta\sigma_z/q$ = 0.9022). A tensão não ultrapassa q = 100 kPa.

Solução (3/3)

SOLUÇÃO

5 Ângulos: θ a partir da superfície, δ a partir da vertical

$$\theta_1 = 135.00^\circ \quad (x - b < 0) \qquad \theta_2 = \tan^{-1}\frac{z}{x+b} = 18.43^\circ$$

$$\alpha = \theta_1 - \theta_2 = 116.57^\circ = 2.0344 \text{ rad}$$

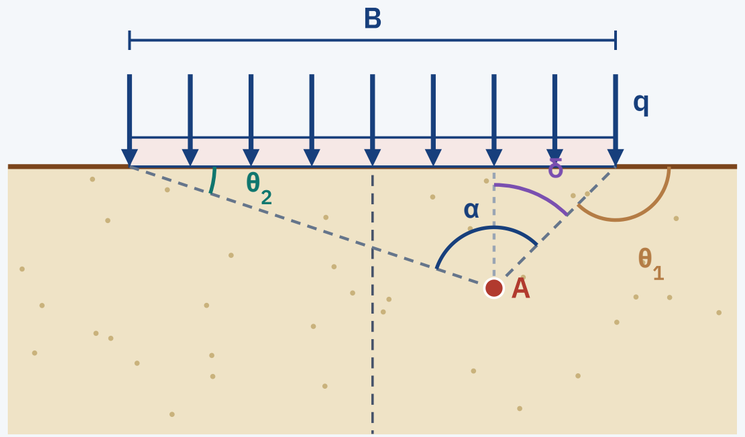
$$\delta = 90^\circ - \theta_1 = -\mathbf{45}^\circ$$

6 Forma angular

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi}\left[\alpha + \sin\alpha\cos(\alpha + 2\delta)\right]$$

$$= \frac{100}{\pi}\left[2.0344 + (0.8944)\cos(26.57^\circ)\right]$$

$$= \frac{100}{\pi}(2.8344) = \mathbf{90.22}\ \text{kPa}$$



As duas formas fornecem **o mesmo resultado**: $\Delta\sigma_z$ = 90.22 kPa. O módulo fornece o mesmo valor; a forma angular mostra que a tensão depende apenas dos ângulos, isto é, de x/B e z/B.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Enunciado

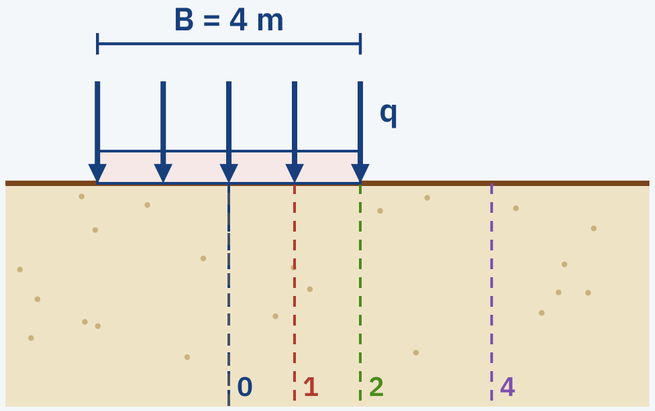
EXEMPLO

Dados

Carga em faixa	$q = 100$ **kN/m²,** $B = 4$ **m, eixo central** $x = 0$ **(faixa do Exemplo 1)**
Retas	$x = 0$ **(eixo),** $x = 1$ **m (reta de A),** $x = 2$ **m (borda),** $x = 4$ **m (2 m além da borda)**
Profundidade	$z = 0.5$ **...** 12 **m**

PEDE-SE

A variação de $\Delta\sigma_z$ com a profundidade ao longo de cada reta; as profundidades, sob o eixo, nas quais a tensão é **q/2, q/5, q/10**.

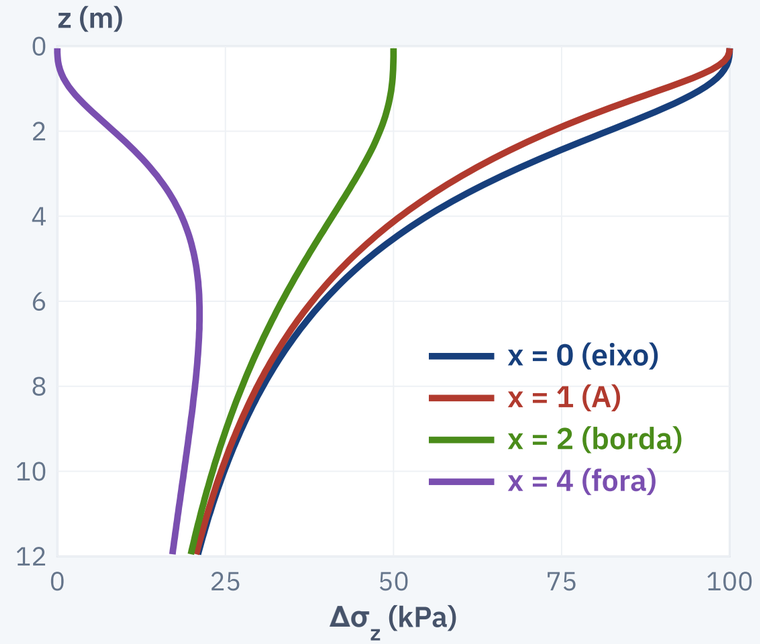


Solução (1/2)

SOLUÇÃO

z (m)	2z/B	x = 0 (eixo)	x = 1 m (A)	x = 2 m (borda)	x = 4 m (fora)
0.5	0.250	99.38	97.88	49.96	0.30
1.0	0.500	95.95	**90.22**	49.69	1.93
1.5	0.750	89.59	81.38	49.04	4.90
2.0	1.000	81.83	73.47	47.97	8.39
3.0	1.500	66.82	60.71	44.80	14.57
4.0	2.000	54.98	51.05	40.92	18.48
5.0	2.500	46.18	43.65	37.00	20.45
6.0	3.000	39.58	37.91	33.41	21.12
8.0	4.000	30.58	29.76	27.49	20.47
10.0	5.000	24.81	24.36	23.09	18.84
12.0	6.000	20.84	20.57	19.79	17.07

Sob o eixo, a tensão diminui lentamente da superfície para baixo (20.8 kPa em z = 12 m); **sob a borda**, é muito próxima de q/2 na superfície (50.0 kPa) e depois diminui; **fora**, sobre a reta, a tensão primeiro aumenta, atinge o máximo em z ≈ 6 m (21.1 kPa) e depois diminui.



Solução (2/2)

SOLUÇÃO

1 Sob o eixo, a equação reduz-se a um único termo (x = 0, b = B/2 = 2 m)

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{2}{\pi}\left[\tan^{-1}\frac{b}{z} + \frac{bz}{b^2+z^2}\right] \qquad z = 1.132B = 4.53\ \text{m} \Rightarrow \frac{2}{\pi}[0.4159 + 0.3695] = \mathbf{0.500}$$

2 Valores da equação em três profundidades

Valor de influência	z/B	z (m)	$\tan^{-1}(b/z)$	$bz/(b^2+z^2)$	$\Delta\sigma_z/q$	$\Delta\sigma_z$ (kPa)
q/2	1.132	4.53	0.4159	0.3695	**0.500**	50.00
q/5	3.130	12.52	0.1584	0.1558	**0.200**	20.00
q/10	6.340	25.36	0.0787	0.0784	**0.100**	10.00

Abaixo do eixo, a tensão cai a q/2 em **z = 1.13B = 4.5 m**, a q/5 em **3.13B = 12.5 m** e a q/10 em **6.34B = 25.4 m**: o solo continua carregado até uma profundidade de várias vezes a largura da faixa.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Enunciado

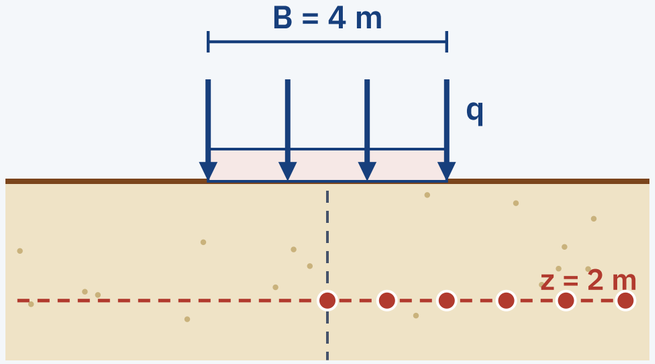
EXEMPLO

Dados

Carga em faixa	$q = 100$ **kN/m²,** $B = 4$ **m,** $x = 0$ **(**$b = 2$ **m)**
Reta	**reta horizontal à profundidade de** $z = 2$ **m; pontos** $x = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8$ **m**
Cálculo manual	**sob a borda** $x = b = 2$ **m e fora da faixa** $x = 3$ **m**

PEDE-SE

Cálculo manual de $\Delta\sigma_z$ **sob a borda** (x = B/2) e **fora da faixa** (x = 3 m); todo o perfil horizontal em z = 2 m; comparação entre x = −3 m e x = +3 m.



Solução (1/3)

SOLUÇÃO

1 x = b = 2 m, z = 2 m: o primeiro arco tangente é exatamente π/2

$$A_1 = \tan^{-1}\frac{z}{x-b} = \tan^{-1}\frac{2}{0} = \frac{\pi}{2} = 1.5708 \qquad A_2 = \tan^{-1}\frac{2}{4} = 0.4636$$

$$T = \frac{4(2)(4-4-4)}{(4+4-4)^2+16(4)} = \frac{-32}{80} = -0.4$$

2 Valor de influência e tensão

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{1}{\pi}\left[1.5708 - 0.4636 - (-0.4)\right] = \mathbf{0.4797}$$

$$\Delta\sigma_z = 0.4797\,(100) = \mathbf{47.97}\ \mathrm{kPa}$$

Abaixo da borda, a tensão diminui do valor q/2 na superfície para **47.97 kPa** (48.0% de q) na profundidade z = 2 m. Exatamente na borda, o primeiro arco tangente vale π/2; não é necessária a correção de π.

Solução (2/3)

SOLUÇÃO

3 x = 3 m > b: ambas as arcotangentes são tomadas diretamente (x − b = 1, x + b = 5)

$$A_1 = \tan^{-1}\frac{2}{1} = 1.1071 \qquad A_2 = \tan^{-1}\frac{2}{5} = 0.3805$$

$$T = \frac{4(2)(9-4-4)}{(9+4-4)^2+16(4)} = \frac{8}{145} = 0.0552$$

4 Valor de influência e tensão

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{1}{\pi}\left[1.1071 - 0.3805 - 0.0552\right] = \mathbf{0.2137}$$

$$\Delta\sigma_z = 0.2137\,(100) = \mathbf{21.37}\ \text{kPa}$$

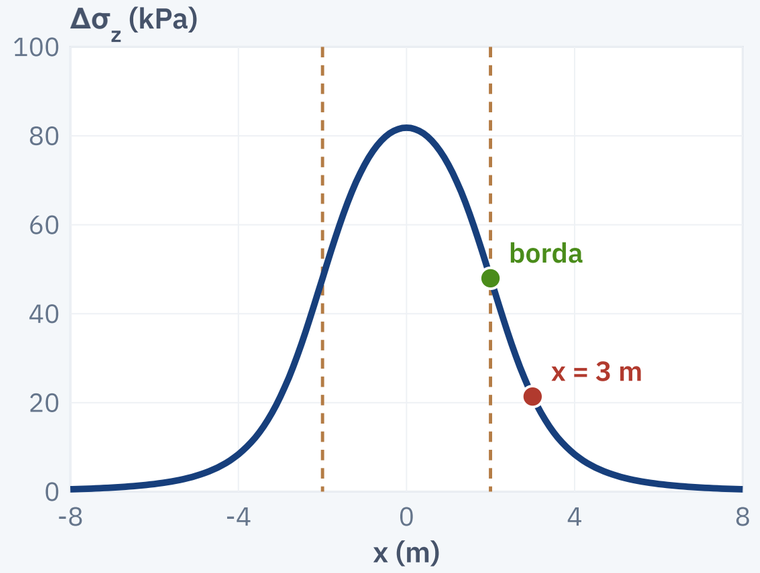
A **1 m fora** da faixa (x = 3 m), a tensão é 21.37 kPa; não há carga nesse ponto, mas o solo transmite tensão. Por simetria, obtém-se também **21.37 kPa** para x = −3 m (o módulo fornece o mesmo valor).

Solução (3/3)

SOLUÇÃO

x (m)	2x/B	$\Delta\sigma_z$ (kPa)	$\Delta\sigma_z/q$	Posição
0	0.00	81.83	0.8183	eixo
1	0.50	73.47	0.7347	sob a faixa
2	1.00	47.97	0.4797	borda
3	1.50	21.37	0.2137	fora
4	2.00	8.39	0.0839	fora
5	2.50	3.58	0.0358	fora
6	3.00	1.72	0.0172	fora
8	4.00	0.53	0.0053	fora

A tensão é máxima no eixo (81.8 kPa), cai para 48.0 kPa na borda (cerca de metade de q) e se atenua rapidamente fora da faixa: 0.53 kPa em x = 8 m. O perfil é **simétrico** em relação ao eixo x = 0.



Verificar a solução no GeoTerva ↗

Enunciado

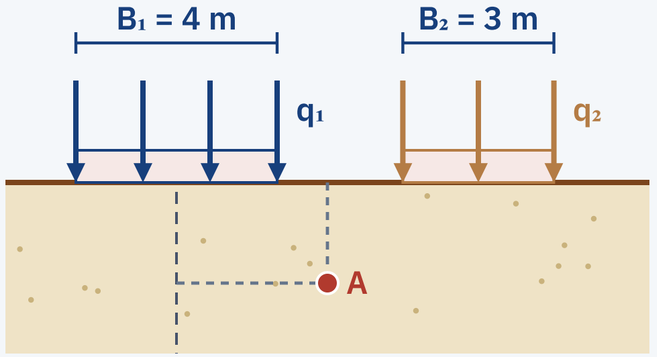
EXEMPLO

Dados

1ª faixa	$q_1 = 100$ **kN/m², $B_1 = 4$ m, linha de eixo $x_{c1} = 0$ (–2 … 2 m)**
2ª faixa	$q_2 = 60$ **kN/m², $B_2 = 3$ m, eixo central $x_{c2} = 6$ m (4.5 … 7.5 m)**
Ponto A	$x = 3$ **m, $z = 2$ m (entre as duas faixas)**

PEDE-SE

A tensão em A devida a cada faixa e o **$\Delta\sigma_z$ total**; a variação da tensão com a profundidade abaixo de A.



Solução (1/2)

SOLUÇÃO

1 faixa 1: $x_1 = 3 - 0 = 3$ m, $b = 2$ m ($x > b$)

$$A_1 = \tan^{-1}\frac{2}{1} = 1.1071 \quad A_2 = \tan^{-1}\frac{2}{5} = 0.3805 \quad T = \frac{4(2)(1)}{9^2+64} = 0.0552$$

$$\Delta\sigma_{z(1)} = \frac{100}{\pi}\left[A_1 - A_2 - T\right] = 0.2137\,(100) = \mathbf{21.37}\ \text{kPa}$$

2 2ª faixa: $x_2 = 3 - 6 = -3$ m ($|x_2| = 3$ m), $b = 1.5$ m

$$A_1 = \tan^{-1}\frac{2}{1.5} = 0.9273 \quad A_2 = \tan^{-1}\frac{2}{4.5} = 0.4182 \quad T = \frac{3(2)(2.75)}{(10.75)^2+36} = 0.1089$$

$$\Delta\sigma_{z(2)} = \frac{60}{\pi}\left[A_1 - A_2 - T\right] = 0.1274\,(60) = \mathbf{7.64}\ \text{kPa}$$

3 Superposição

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = 21.37 + 7.64 = \mathbf{29.02}\ \text{kPa}$$

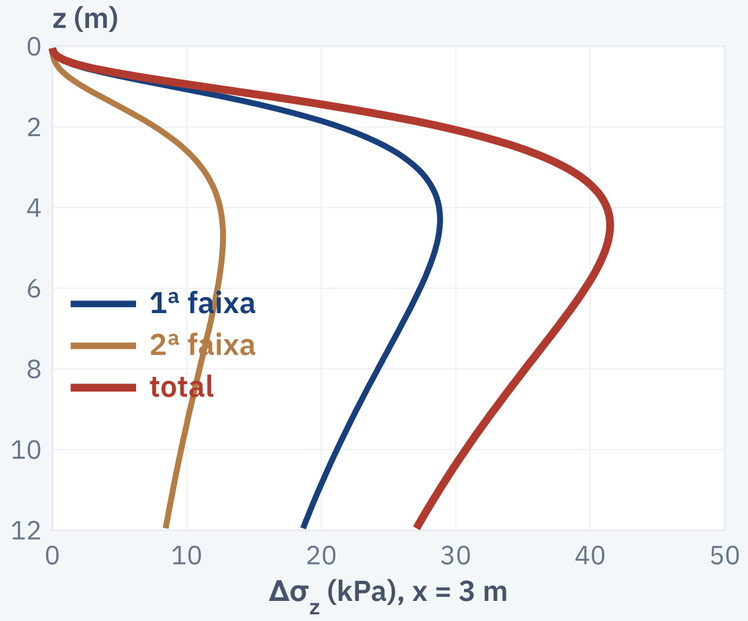
$\Delta\sigma_z$ total = 29.02 kPa; o módulo fornece o mesmo valor. A parcela da 2.ª faixa corresponde a 26% do total.

Solução (2/2)

SOLUÇÃO

z (m)	1ª faixa (kPa)	2ª faixa (kPa)	Total (kPa)	parcela da faixa 2
1	8.92	2.28	**11.21**	20 %
2	21.37	7.64	**29.02**	26 %
3	27.05	11.09	**38.14**	29 %
4	28.76	12.47	**41.24**	30 %
6	27.35	12.28	**39.63**	31 %
8	24.21	10.95	**35.16**	31 %
12	18.59	8.41	**26.99**	31 %

Sob A, a tensão total é máxima em z ≈ 4.5 m (41.5 kPa) e depois diminui. Na camada próxima da superfície, a faixa 1 predomina; em profundidade, as parcelas das duas faixas se aproximam (em z = 12 m, a parcela da faixa 2 é de 31%).



Verificar a solução no GeoTerva ↗

Enunciado

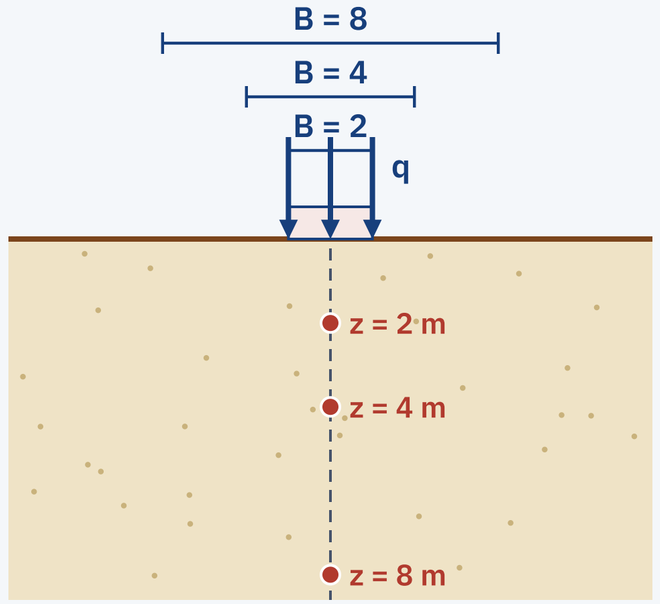
EXEMPLO

Dados

Efeito da largura	**mesmo** $q = 100$ **kN/m²;** $B = 2,\ 4,\ 8$ **m; sob o eixo** $z = 2,\ 4,\ 8$ **m**
Faixa estreita	**intensidade da carga** $P = qB = 100$ **kN/m constante;** $B = 2,\ 1,\ 0.5,\ 0.1$ **m; ponto** $x = 2$ **m,** $z = 2$ **m**
Comparação	**carga linear:** $\Delta\sigma_z = 2Pz^3/[\pi(x^2 + z^2)^2]$

PEDE-SE

Mostrar que a tensão é a mesma quando **z/B** é o mesmo; ver que, à medida que a faixa se estreita, o resultado se aproxima do valor da **carga linear**.



Solução (1/2)

SOLUÇÃO

1 Sob o eixo, B = 2 m, z = 2 m (z/B = 1; b = 1 m)

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q} = \frac{2}{\pi}\left[\tan^{-1}\frac{1}{2} + \frac{1(2)}{1+4}\right] = \frac{2}{\pi}\left[0.4636 + 0.4\right] = 0.5498 \;\Rightarrow\; \Delta\sigma_z = \mathbf{54.98}\ \text{kPa}$$

2 Três larguras, três profundidades (sob o eixo, kPa)

B (m)	z = 2 m	z = 4 m	z = 8 m
2	54.98 (z/B = 1.00)	30.58 (z/B = 2.00)	15.75 (z/B = 4.00)
4	81.83 (z/B = 0.50)	54.98 (z/B = 1.00)	30.58 (z/B = 2.00)
8	95.95 (z/B = 0.25)	81.83 (z/B = 0.50)	54.98 (z/B = 1.00)

A tensão depende **apenas de z/B**: B = 2 m, z = 2 m; B = 4 m, z = 4 m e B = 8 m, z = 8 m resultam sempre em **54.98 kPa**. Com o mesmo q, uma **faixa mais larga atua mais fundo**: em z = 8 m, 15.8 kPa para B = 2 m e 55.0 kPa para B = 8 m.

Solução (2/2)

SOLUÇÃO

3 Solução para carga linear (P = 100 kN/m; x = 2 m, z = 2 m)

$$\Delta\sigma_z = \frac{2Pz^3}{\pi(x^2+z^2)^2} = \frac{2(100)(2)^3}{\pi(4+4)^2} = \frac{1{,}600}{201.06} = \mathbf{7.958}\ \text{kPa}$$

4 Faixas progressivamente mais estreitas com o mesmo P = qB (forma fechada, mesmo ponto)

B (m)	q = P/B (kPa)	$\Delta\sigma_z$ (faixa, kPa)	Diferença em relação à carga linear
2.0	50	9.242	%16.1
1.0	100	8.287	%4.1
0.5	200	8.041	%1.0
0.1	1,000	7.961	%0.0
→ **0**	→ ∞	**7.958** (carga linear)	0

À medida que B diminui, a solução da faixa aproxima-se do valor da carga linear, **7.96 kPa**, a partir de **9.24 kPa**; para B = 0.1 m, a diferença é de apenas 0.04%. A carga linear é o limite B → 0 da carga em faixa.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Resumo

Pontos-chave

Forma fechada: $\Delta\sigma_z = (q/\pi)\{\tan^{-1}[z/(x - B/2)] - \tan^{-1}[z/(x + B/2)] - Bz[x^2 - z^2 - B^2/4] / ([x^2 + z^2 - B^2/4]^2 + B^2z^2)\}$; para $x < B/2$, acrescenta-se π ao primeiro arco tangente

Forma angular: $\Delta\sigma_z = (q/\pi)[\alpha + \sin\alpha \cos(\alpha + 2\delta)]$; $\alpha = \theta_1 - \theta_2$, $\delta = 90° - \theta_1$. A tensão depende apenas de **x/B e z/B** e não ultrapassa q; na superfície vale q sob a faixa, q/2 na borda e 0 fora

Exemplo (q = 100 kN/m², B = 4 m; A: x = 1, z = 1 m): A_1 2.3562, A_2 0.3218, T -0.8 → $\Delta\sigma_z/q$ = **0.9022**; **$\Delta\sigma_z$ = 90.22 kPa**; a forma angular fornece o mesmo valor

Bulbo de tensões: sob o eixo, as profundidades em que a tensão vale q/2, q/5, q/10 são 1.13B, 3.13B, 6.34B. **Superposição**: cada faixa com o seu próprio valor de x; no exemplo de duas faixas, 21.37 + 7.64 = **29.02 kPa**

Limites: o mesmo z/B fornece a mesma tensão; com B → 0 e P = qB constante, a faixa se aproxima da solução de carga linear

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 = 100 kN/m², B = 4 m e A (x = 1 m, z = 1 m).

GeoTerva

Cálculos geotécnicos on-line

Da teoria à prática

Inserir no GeoTerva as próprias faixas (q, 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.