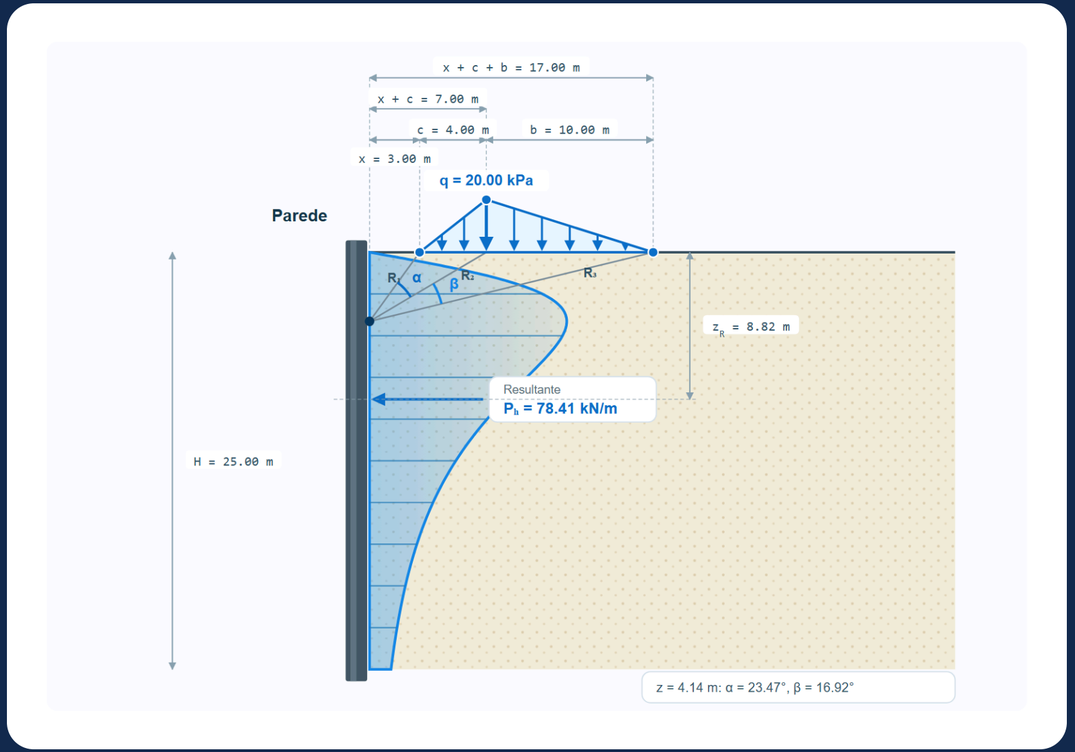
Apresentação de aula de geotecnia · Sobrecargas

# Sobrecarga triangular

Aula: carga triangular que começa em x, cresce até o valor de pico e decresce até zero; a ordenada em determinada profundidade é resolvida à mão, e o perfil, a resultante e as variantes são apresentados em tabelas.

- Superposição de cargas lineares
- Funções A e B
- Muro rígido ψ = 2
- Resultante e z_R
- Resolúvel à mão



Introdução

# O que veremos nesta aula?

- A geometria da **carga triangular**: começa em zero a uma distância **x** do muro, atinge o valor q na largura **c** e volta a zero na largura **b**
- Determinar, a uma profundidade z, os raios $\mathbf{R_1}$, $\mathbf{R_2}$, $\mathbf{R_3}$ e os ângulos **α, β** (em radianos)
- A forma fechada da pressão lateral obtida por superposição de cargas lineares: com as funções **A(s)** e **B(s)**
- A diferença entre o **muro rígido** (ψ = 2) e o **meio semi-infinito** (ψ = 1)
- **Resultante $P_H$** e **profundidade de aplicação $z_R$**: a área e o primeiro momento do diagrama; o efeito de x e da forma da carga

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: H = 25 m, x = 3 m, c = 4 m, b = 10 m, q = 20 kPa; muro rígido. Uma ordenada é resolvida à mão em z = 5 m.

# Sobrecarga triangular atuante no muro

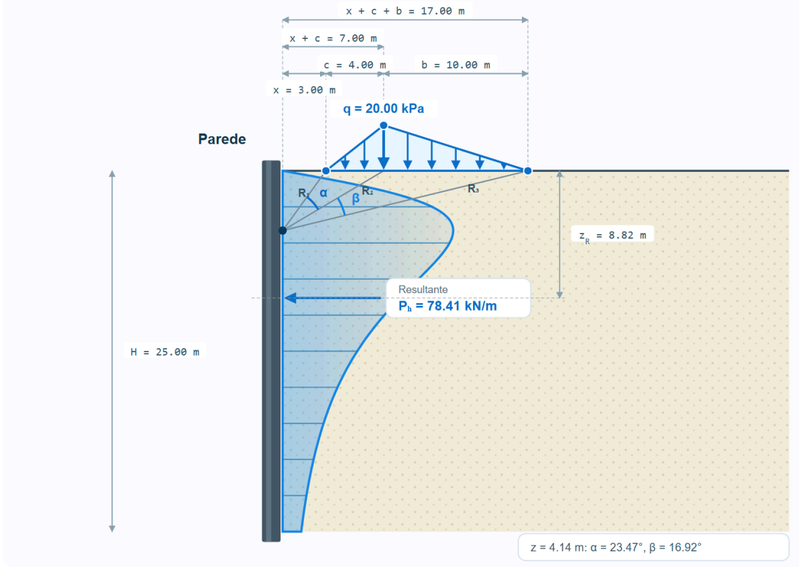
TEORIA

A sobrecarga de superfície começa a uma distância horizontal **x** do muro

Sua intensidade cresce linearmente de zero até o valor máximo **q** ao longo da largura **c** e, em seguida, decresce linearmente de volta a zero ao longo da largura **b**

Em cada profundidade z do muro, a geometria é definida pelos três raios $\mathbf{R_1}$, $\mathbf{R_2}$, $\mathbf{R_3}$ e pelos dois ângulos **α, β**

**H**: altura total do muro; **x**: distância do muro ao início da carga
**c**: largura do braço crescente, **b**: largura do braço decrescente
**q**: intensidade máxima da sobrecarga; **z**: profundidade a partir da superfície do terreno



# Geometria na profundidade z

TEORIA

Na profundidade z, seguem os comprimentos dos três raios que vão do ponto no muro ao **início**, ao **pico** e ao **fim** da carga e os dois ângulos entre eles

Na equação da pressão, os ângulos são tomados em **radianos**; os valores em graus são úteis apenas para fins de relatório

$$R_1 = \sqrt{x^2 + z^2} \quad R_2 = \sqrt{(x+c)^2 + z^2} \quad R_3 = \sqrt{(x+c+b)^2 + z^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{x+c}{z} - \tan^{-1}\frac{x}{z} \qquad \beta = \tan^{-1}\frac{x+c+b}{z} - \tan^{-1}\frac{x+c}{z}$$

# Superposição de cargas lineares

TEORIA

Uma carga triangular é uma série de cargas lineares contínuas, cada uma de intensidade **w(s)·ds**; as tensões horizontais elásticas (Flamant) são somadas ao longo da carga

Com $s_1 = x$, $s_2 = x + c$, $s_3 = x + c + b$, $R^2 = s^2 + z^2$ e as funções A, B abaixo, a integral resulta em forma fechada

$$\sigma_H = \psi \frac{2}{\pi} \int w(s) \frac{s^2 z}{(s^2 + z^2)^2} ds$$

$$A(s) = \frac{1}{2}\left[\tan^{-1}\frac{s}{z} - \frac{sz}{R^2}\right] \qquad B(s) = \frac{z}{2}\left[\ln R^2 + \frac{z^2}{R^2}\right]$$

$$\sigma_H = \psi \frac{2q}{\pi}\left\{\frac{B_2 - B_1 - x(A_2 - A_1)}{c} + \frac{s_3(A_3 - A_2) - (B_3 - B_2)}{b}\right\}$$

# A, B, α, β e ψ

TEORIA

Os termos $\mathbf{A_2 - A_1}$ e $\mathbf{A_3 - A_2}$ envolvem os ângulos α e β, e os termos $\mathbf{B_2 - B_1}$ e $\mathbf{B_3 - B_2}$ envolvem os logaritmos $\ln(R_2/R_1)$ e $\ln(R_3/R_2)$

Quando a mesma superposição é aplicada a uma faixa uniforme, obtém-se exatamente a conhecida expressão $\mathbf{(q/\pi)[\beta - \sin\beta\cdot\cos 2\alpha]}$; a equação é verificada nessa forma

**ψ = 1** é o meio semi-infinito (sem muro); **ψ = 2** é o muro rígido, sem deslocamento, que duplica a tensão horizontal: o padrão do módulo

Repetir o cálculo ao longo da altura do muro fornece $\boldsymbol{\sigma_H(z)}$; a pressão é nula na superfície do terreno

# Área e primeiro momento do diagrama

TEORIA

A **força resultante da sobrecarga** por unidade de comprimento do muro e a sua profundidade a partir da superfície do terreno correspondem à área e ao primeiro momento do diagrama; o módulo calcula numericamente ambas as integrais com precisão total

$$P_H = \int_0^H \sigma_H(z)\, dz$$

$$z_R = \frac{\int_0^H z\, \sigma_H(z)\, dz}{P_H}$$

No exemplo, $\mathbf{P_H = 78.41\ kN/m}$ (muro rígido) ou **39.21 kN/m** (meio semi-infinito); em ambos, $\mathbf{z_R = 8.82\ m}$, abaixo do nível do terreno

# Seis etapas e uma ordenada

TEORIA

**1** · Definem-se H, x, c, b, q e escolhe-se ψ; **2** · escolhe-se uma profundidade z

**3** · $R_1$, $R_2$, $R_3$ são calculados; **4** · α e β são calculados (radianos)

**5** · $\sigma_H$ é calculado: as funções A e B são obtidas nos pontos $s_1$, $s_2$, $s_3$ e substituídas

**6** · repete-se e integra-se: perfil de pressão, depois $P_H$ e $z_R$

$$z = 5\ \text{m}: \quad R_1 = 5.831\ \text{m} \quad R_2 = 8.602\ \text{m} \quad R_3 = 17.720\ \text{m} \qquad \alpha = 23.499^\circ \quad \beta = 19.148^\circ$$

$$\sigma_H = 3.247\ \text{kPa}\ \ (\psi = 1) \ \ \rightarrow \ \ 2 \times 3.247 = 6.494\ \text{kPa}\ \ (\psi = 2) \qquad P_H = 78.41\ \text{kN/m} \quad z_R = 8.82\ \text{m}$$

# Enunciado

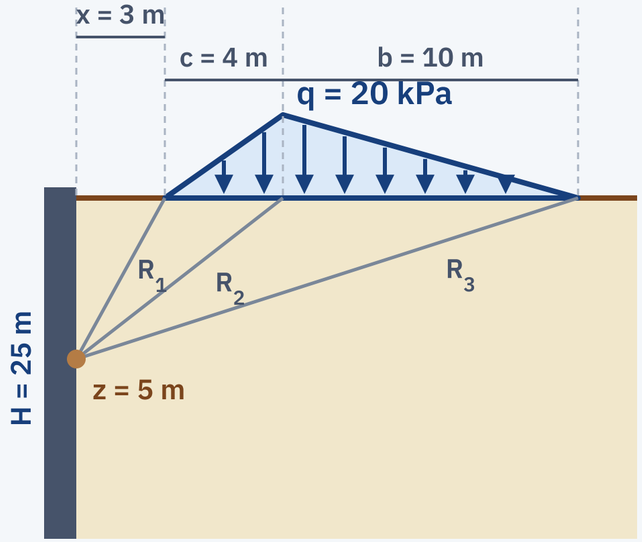
EXEMPLO

**PEDE-SE**

Na profundidade **z = 5 m**, os valores de **$R_1$, $R_2$, $R_3$, α, β**, A e B, e a pressão horizontal **$\sigma_H$** (para dois valores de ψ); comparação com o módulo.

**Dados**

| | |
|---|---|
| Muro e carga | $H = 25.0$ **m;** $x = 3.0$ **m;** $c = 4.0$ **m;** $b = 10.0$ **m;** $q = 20.0$ **kPa** |
| Muro | **meio semi-infinito ($\psi = 1$) e muro rígido ( $\psi = 2$)** |



# Solução (1/3)

SOLUÇÃO

**1** Os pontos $s_1 = x$, $s_2 = x + c$, $s_3 = x + c + b$ e os raios

$$s_1 = 3\ \text{m} \quad s_2 = 3 + 4 = 7\ \text{m} \quad s_3 = 7 + 10 = 17\ \text{m}$$

$$R_1 = \sqrt{3^2 + 5^2} = \mathbf{5.831} \quad R_2 = \sqrt{7^2 + 5^2} = \mathbf{8.602} \quad R_3 = \sqrt{17^2 + 5^2} = \mathbf{17.720}\ \text{m}$$

**2** Ângulos (radianos)

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{7}{5} - \tan^{-1}\frac{3}{5} = 0.95055 - 0.54042 = \mathbf{0.41013}\ \text{rad}\ \ (23.499^\circ)$$

$$\beta = \tan^{-1}\frac{17}{5} - \tan^{-1}\frac{7}{5} = 1.28474 - 0.95055 = \mathbf{0.33420}\ \text{rad}\ \ (19.148^\circ)$$

O ângulo entre o início da carga e o seu pico, medido a partir do ponto no muro, é de **23.50°**; o ângulo entre o pico e o fim é de **19.15°**.

# Solução (2/3)

SOLUÇÃO

**3** Em três pontos A(s) = ½[tan⁻¹(s/z) − sz/R²] e B(s) = (z/2)[ln R² + z²/R²]

$$A_1 = \frac{1}{2}\left[0.54042 - \frac{3(5)}{34}\right] = 0.04962 \qquad A_2 = \frac{1}{2}\left[0.95055 - \frac{7(5)}{74}\right] = 0.23879$$

$$A_3 = \frac{1}{2}\left[1.28474 - \frac{17(5)}{314}\right] = 0.50702$$

| s (m) | R² (m²) | tan⁻¹(s/z) | A(s) | ln R² | B(s) |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 34 | 0.54042 | **0.04962** | 3.52636 | **10.6541** |
| 7 | 74 | 0.95055 | **0.23879** | 4.30407 | **11.6048** |
| 17 | 314 | 1.28474 | **0.50702** | 5.74939 | **14.5725** |

As diferenças de A envolvem os ângulos; as diferenças de B, os logaritmos: $\mathbf{A_2 - A_1}$ = 0.18917, $\mathbf{A_3 - A_2}$ = 0.26824; $\mathbf{B_2 - B_1}$ = 0.9506, $\mathbf{B_3 - B_2}$ = 2.9678.

# Solução (3/3)

SOLUÇÃO

**4** Contribuição dos ramos crescente e decrescente

$$\text{crescente} = \frac{B_2 - B_1 - x(A_2 - A_1)}{c} = \frac{0.9506 - 3(0.18917)}{4} = 0.09578$$

$$\text{decrescente} = \frac{s_3(A_3 - A_2) - (B_3 - B_2)}{b} = \frac{17(0.26824) - 2.9678}{10} = 0.15922$$

**5** Meio semi-infinito (ψ = 1) e muro rígido (ψ = 2)

$$\sigma_H = \frac{2q}{\pi}\,(\text{crescente} + \text{decrescente}) = \frac{2(20)}{\pi}(0.09578 + 0.15922) = \mathbf{3.247}\ \text{kPa}\ \ (\psi = 1)$$

$$\sigma_H = 2 \times 3.247 = \mathbf{6.494}\ \text{kPa}\ \ (\psi = 2)$$

Em z = 5 m, **$\sigma_H$ = 6.494 kPa** (muro rígido; 3.247 no meio semi-infinito). O módulo fornece o mesmo valor.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

# Enunciado

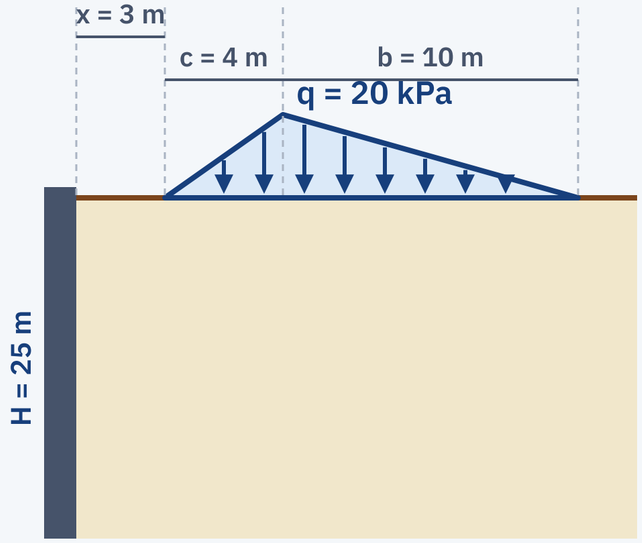
EXEMPLO

**PEDE-SE**

**Perfil de pressão**; pressão máxima e sua profundidade; ângulos na profundidade de pico.

**Dados**

| | |
|---|---|
| Modelo | **Carga triangular do Exemplo 1; muro rígido; tabela a cada $H/30 = 0.833$ m** |
| Em cada linha | **$R_1$, $R_2$, $R_3$, $\alpha$, $\beta$ e $\sigma_H$; os valores do meio semi-infinito são a metade dos valores do muro rígido** |



# Solução (1/2)

SOLUÇÃO

| z (m) | $R_1$ (m) | $R_2$ (m) | $R_3$ (m) | α (°) | β (°) | $\sigma_H$ (kPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.00 | 3.000 | 7.000 | 17.000 | 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 0.83 | 3.114 | 7.049 | 17.020 | 8.74 | 3.98 | 2.513 |
| 1.67 | 3.432 | 7.196 | 17.082 | 15.66 | 7.79 | 4.520 |
| 2.50 | 3.905 | 7.433 | 17.183 | 20.15 | 11.29 | 5.815 |
| 3.33 | 4.485 | 7.753 | 17.324 | 22.55 | 14.37 | 6.463 |
| 4.17 | 5.134 | 8.146 | 17.503 | 23.48 | 16.99 | 6.635 |
| **5.00** | **5.831** | **8.602** | **17.720** | **23.50** | **19.15** | **6.494** |
| 5.83 | 6.560 | 9.112 | 17.973 | 22.98 | 20.87 | 6.168 |
| 6.67 | 7.311 | 9.667 | 18.260 | 22.17 | 22.19 | 5.746 |
| 7.50 | 8.078 | 10.259 | 18.581 | 21.22 | 23.17 | 5.286 |
| 8.33 | 8.857 | 10.883 | 18.933 | 20.23 | 23.86 | 4.821 |
| 9.17 | 9.645 | 11.534 | 19.314 | 19.24 | 24.30 | 4.374 |
| 10.00 | 10.440 | 12.207 | 19.723 | 18.29 | 24.54 | 3.955 |
| 10.83 | 11.241 | 12.898 | 20.158 | 17.39 | 24.62 | 3.569 |
| 11.67 | 12.046 | 13.606 | 20.618 | 16.54 | 24.58 | 3.218 |
| 12.50 | 12.855 | 14.327 | 21.101 | 15.75 | 24.42 | 2.901 |
| 13.33 | 13.667 | 15.059 | 21.605 | 15.02 | 24.19 | 2.617 |
| 14.17 | 14.481 | 15.802 | 22.129 | 14.34 | 23.90 | 2.363 |
| 15.00 | 15.297 | 16.553 | 22.672 | 13.71 | 23.56 | 2.136 |
| 15.83 | 16.115 | 17.312 | 23.231 | 13.12 | 23.18 | 1.933 |
| 16.67 | 16.935 | 18.077 | 23.807 | 12.58 | 22.78 | 1.752 |
| 17.50 | 17.755 | 18.848 | 24.398 | 12.07 | 22.37 | 1.591 |
| 18.33 | 18.577 | 19.624 | 25.002 | 11.60 | 21.94 | 1.447 |
| 19.17 | 19.400 | 20.405 | 25.620 | 11.17 | 21.51 | 1.319 |
| 20.00 | 20.224 | 21.190 | 26.249 | 10.76 | 21.07 | 1.204 |
| 20.83 | 21.048 | 21.978 | 26.889 | 10.38 | 20.64 | 1.101 |
| 21.67 | 21.873 | 22.769 | 27.540 | 10.02 | 20.21 | 1.009 |
| 22.50 | 22.699 | 23.564 | 28.200 | 9.69 | 19.79 | 0.926 |
| 23.33 | 23.525 | 24.361 | 28.869 | 9.37 | 19.38 | 0.851 |
| 24.17 | 24.352 | 25.160 | 29.547 | 9.08 | 18.97 | 0.784 |
| 25.00 | 25.179 | 25.962 | 30.232 | 8.80 | 18.57 | 0.723 |

# Solução (2/2)

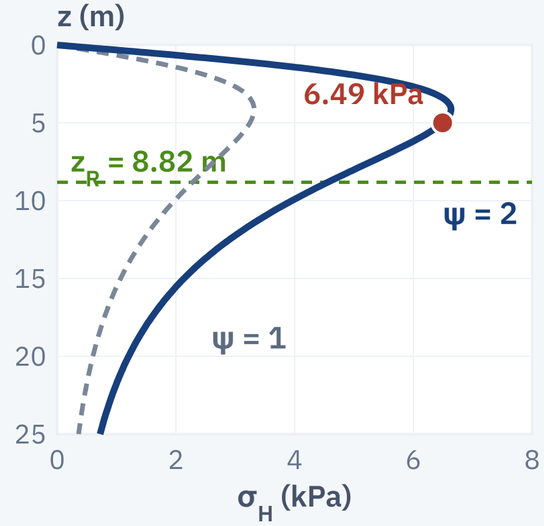
SOLUÇÃO

**1** A pressão é nula na superfície, atinge o máximo na profundidade de pico e depois diminui

$$z = 0: \quad \sigma_H = 0 \qquad z = 4.14\ \text{m}: \quad \sigma_H = \mathbf{6.635}\ \text{kPa}$$

$$\alpha = 23.47^\circ \quad \beta = 16.92^\circ \qquad z = H: \quad \sigma_H = 0.723\ \text{kPa}$$

A pressão máxima é de **6.63 kPa**, em **z = 4.14 m** (4.14 m abaixo do topo da carga); diminui para 0.72 kPa na base. Esses ângulos são mostrados na figura do módulo. A ordenada em z = 5 m é 6.494 kPa (linha em negrito, Exemplo 1).




Verificar a solução no GeoTerva ↗

# Enunciado

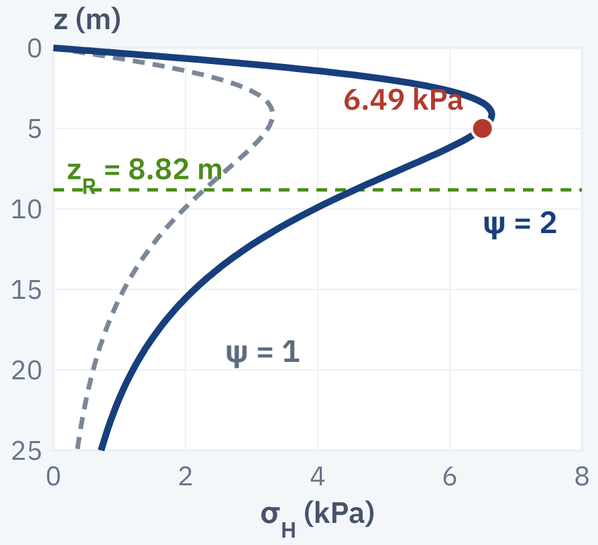
EXEMPLO

**PEDE-SE**

**$P_H$** e **$z_R$** (à mão, pela tabela); valores do meio semi-infinito; comparação com o resultado do módulo.

**Dados**

| | |
|---|---|
| Modelo | **A carga triangular do Exemplo 1; muro rígido; a tabela $H/30$ do Exemplo 2 ($n = 30$, $h = H/30 = 0.8333$ m)** |
| Método | **Regra de Simpson; $z_R = \int z\,\sigma\,dz \,/\, P_H$** |



# Solução (1/2)

SOLUÇÃO

| | $\sigma_0$ | Σ ímpares (i = 1, 3, …, 29) | Σ pares (i = 2, 4, …, 28) | $\sigma_{30}$ |
|---|---|---|---|---|
| $\sigma_H$ (kPa) | 0.000 | 47.277 | 46.234 | 0.723 |

**1** Soma de Simpson e área

$$\Sigma = \sigma_0 + 4(47.277) + 2(46.234) + \sigma_{30} = 282.30$$

$$P_H \approx \frac{h}{3}\,\Sigma = \frac{0.8333}{3}(282.30) = \mathbf{78.42}\ \mathrm{kN/m}$$

À mão, **78.42 kN/m**; a integral precisa do módulo resulta em **78.41 kN/m** (diferença de 0.004%). Em meio semi-infinito, a metade: **39.21 kN/m**.

# Solução (2/2)

SOLUÇÃO

| | $z_0\sigma_0$ | Σ individual | Σ dupla | $z_{30}\sigma_{30}$ |
|---|---|---|---|---|
| $z\sigma_H$ (kPa·m) | 0.000 | 414.83 | 405.58 | 18.07 |

**2** Primeiro momento e profundidade

$$\int z\,\sigma\,dz \approx \frac{0.8333}{3}\left[0 + 4(414.83) + 2(405.58) + 18.07\right] = 691.3\ \text{kN}$$

$$z_R = \frac{691.3}{78.42} = \mathbf{8.82}\ \text{m}\ \ (\text{a partir do terreno}) \qquad H - z_R = 16.18\ \text{m}\ (\text{a partir da base})$$

Manualmente, **$z_R$ = 8.82 m**; o módulo fornece 8.82 m. A resultante de 78.41 kN/m atua a **8.82 m abaixo da superfície do terreno** (16.18 m acima da base); $z_R$ não muda quando ψ muda.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

# Enunciado

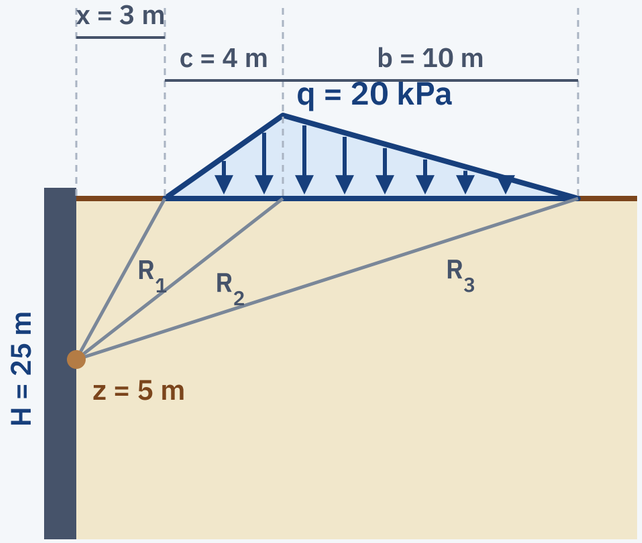
EXEMPLO

## Dados

| | |
|---|---|
| Modelo | **Exemplo 1:** $z = 5$ **m; meio semi-infinito (** $\psi = 1$**)** |
| Método | $\sigma_H = \frac{2}{\pi} \int w(s) \, \frac{s^2 z}{(s^2 + z^2)^2} \, ds$**; triângulo** $w$**:** $0$ **a** $s = 3$ **m,** $q$ **a** $7$ **m,** $0$ **a** $17$ **m** |
| Cálculo | **Simpson,** $n = 14$**,** $h = 1.0$ **m (**$s = 3, 4, \ldots, 17$**)** |

## PEDE-SE

$\sigma_H$ pela soma das cargas lineares; comparação com a forma fechada do Exemplo 1.



# Solução (1/2)

SOLUÇÃO

| i | s (m) | w(s) (kPa) | f(s) = s²z/(s²+z²)² (1/m) | c | c·w·f |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 3 | 0.00 | 0.03893 | 1 | 0.00000 |
| 1 | 4 | 5.00 | 0.04759 | 4 | 0.95181 |
| 2 | 5 | 10.00 | 0.05000 | 2 | 1.00000 |
| 3 | 6 | 15.00 | 0.04837 | 4 | 2.90245 |
| 4 | 7 | 20.00 | 0.04474 | 2 | 1.78963 |
| 5 | 8 | 18.00 | 0.04040 | 4 | 2.90872 |
| 6 | 9 | 16.00 | 0.03604 | 2 | 1.15344 |
| 7 | 10 | 14.00 | 0.03200 | 4 | 1.79200 |
| 8 | 11 | 12.00 | 0.02838 | 2 | 0.68118 |
| 9 | 12 | 10.00 | 0.02521 | 4 | 1.00837 |
| 10 | 13 | 8.00 | 0.02245 | 2 | 0.35923 |
| 11 | 14 | 6.00 | 0.02007 | 4 | 0.48156 |
| 12 | 15 | 4.00 | 0.01800 | 2 | 0.14400 |
| 13 | 16 | 2.00 | 0.01621 | 4 | 0.12968 |
| 14 | 17 | 0.00 | 0.01466 | 1 | 0.00000 |
| | | | Σ c·w·f = | | **15.30207** |

# Solução (2/2)

SOLUÇÃO

**1** Simpson e ψ

$$\sigma_H = \frac{2}{\pi}\,\frac{h}{3}\sum c_i\, w_i f_i = \frac{2}{\pi}\,\frac{1}{3}(15.30207) = \mathbf{3.2472}\ \mathrm{kPa}\ \ (\psi = 1)$$

$$\psi = 2: \quad \sigma_H = \mathbf{6.494}\ \mathrm{kPa}$$

| | Soma das cargas lineares (Simpson) | Forma fechada (A, B; Exemplo 1) | Diferença |
|---|---|---|---|
| $\sigma_H$, ψ = 1 (kPa) | 3.2472 | 3.2468 | %0.012 |
| $\sigma_H$, ψ = 2 (kPa) | 6.4944 | 6.4936 | %0.012 |

Os dois caminhos dão o mesmo resultado: os termos A e B na forma fechada são a soma das integrais de carga linear dos ramos crescente e decrescente. À medida que o intervalo de Simpson diminui, a diferença tende a zero (0.0006% para h = 0.5 m).

Verificar a solução no GeoTerva ↗

# Enunciado

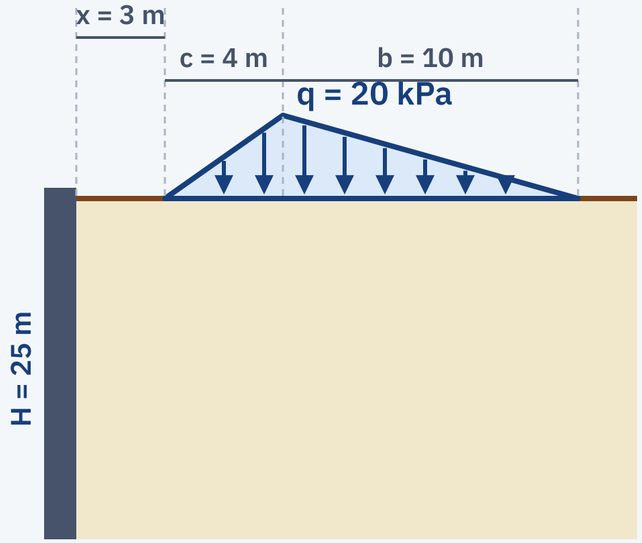
EXEMPLO

**Dados**

| | |
|---|---|
| Modelo | $H = 25.0$ **m;** $q = 20$ **kPa; muro rígido; apenas um parâmetro varia por vez** |
| Variáveis | **distância inicial** $x = 0; 3; 6; 10$ **m (**$c = 4$**,** $b = 10$ **m) e figura** $(c, b) = (2, 12); (4, 10); (7, 7); (10, 4); (12, 2)$ **m (**$x = 3$ **m)** |
| Comparação | **o peso do triângulo** $Q = q(c + b)/2$**, carga linear com o centro de gravidade na posição** $x + (2c + b)/3$ |

**PEDE-SE**

Para cada caso, $P_H$, $z_R$, $\sigma_{H,max}$ e sua profundidade; comparação com a resultante da carga linear equivalente.



# Solução (1/2)

SOLUÇÃO

| x (m) | $P_H$ (kN/m), ψ = 2 | $P_H$ (kN/m), ψ = 1 | $z_R$ (m) | $\sigma_{H,max}$ (kPa) | z (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 83.46 | 41.73 | 6.53 | 10.12 | 1.93 |
| **3** | 78.41 | 39.21 | 8.82 | 6.63 | 4.14 |
| 6 | 72.25 | 36.13 | 10.51 | 4.91 | 6.14 |
| 10 | 63.33 | 31.67 | 12.13 | 3.65 | 8.64 |

| (c, b) (m) | $P_H$ (kN/m), ψ = 2 | $P_H$ (kN/m), ψ = 1 | $z_R$ (m) | $\sigma_{H,max}$ (kPa) | z (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| (2; 12) | 79.61 | 39.81 | 8.33 | 7.30 | 3.63 |
| **(4; 10)** | 78.41 | 39.21 | 8.82 | 6.63 | 4.14 |
| (7; 7) | 76.44 | 38.22 | 9.45 | 5.87 | 4.78 |
| (10; 4) | 74.32 | 37.16 | 9.97 | 5.29 | 5.31 |
| (12; 2) | 72.85 | 36.43 | 10.28 | 4.97 | 5.62 |

À medida que a carga se afasta do muro (x ↑), **a resultante diminui, e $z_R$ e a profundidade do pico aumentam**. Com a largura total constante (c + b = 14 m), à medida que o pico se afasta do muro (c ↑), a resultante também diminui e $z_R$ se aprofunda. Os valores com ψ = 1 correspondem à metade dos de um muro rígido.

# Solução (2/2)

SOLUÇÃO

**1** Peso e centro de gravidade do triângulo

$$Q = \frac{q(c+b)}{2} = \frac{20(4+10)}{2} = \mathbf{140}\ \mathrm{kN/m}$$

$$\bar{x} = x + \frac{2c+b}{3} = 3 + \frac{2(4)+10}{3} = \mathbf{9}\ \mathrm{m} \qquad m = \frac{\bar{x}}{H} = 0.36$$

**2** Resultante da carga linear (ψ = 2): integral do integrando da carga linear ao longo da profundidade

$$P_H = \psi\,\frac{Q}{\pi}\,\frac{H^2}{\bar{x}^2+H^2} = \frac{2Q}{\pi}\,\frac{1}{1+m^2} = \frac{2(140)}{\pi}\,\frac{1}{1+0.1296} = \mathbf{78.90}\ \mathrm{kN/m}$$

A carga linear equivalente fornece **78.90 kN/m**; a resultante da carga triangular é **78.41 kN/m** (diferença de 0.6%). As pressões máximas são 6.43 e 6.63 kPa; $z_R$ vale 9.22 e 8.82 m. Quanto à resultante, a diferença é pequena; já o diagrama de pressões (pressão máxima e sua profundidade, $z_R$) difere do da carga linear.

Verificar a solução no GeoTerva ↗

Resumo

# Pontos-chave

**$\sigma_H = \psi\,(2q/\pi)\,\{[B_2 - B_1 - x(A_2 - A_1)]/c + [s_3(A_3 - A_2) - (B_3 - B_2)]/b\}$**; $A(s) = \tfrac{1}{2}[\tan^{-1}(s/z) - sz/R^2]$, $B(s) = (z/2)[\ln R^2 + z^2/R^2]$; $\psi = 2$ muro rígido, $\psi = 1$ meio semi-infinito

**Exemplo (z = 5 m)**: $R_1$ 5.831, $R_2$ 8.602, $R_3$ 17.720 m; $\alpha$ 23.499°, $\beta$ 19.148°; $\sigma_H$ = 3.247 kPa ($\psi = 1$), **6.494 kPa** ($\psi = 2$)

**Perfil**: 0 na superfície; pressão máxima de **6.63 kPa**, em z = 4.14 m; depois diminui

**Resultante** $P_H$ = **78.41 kN/m**, $z_R$ = **8.82 m** (a partir da superfície do terreno); para $\psi = 1$, $P_H$ = 39.21 kN/m, com o mesmo $z_R$

**Comparação**: a resultante diminui à medida que a carga se afasta do muro; a carga triangular fornece uma resultante próxima à da carga linear equivalente no centro de gravidade (78.41 e 78.90 kN/m)

# Referências bibliográficas

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning; esta página segue essa referência.

**NOTA**

Todos os exemplos numéricos foram gerados com o próprio motor de cálculo do módulo; o módulo fornece os mesmos valores. O exemplo inicial do módulo é o muro com H = 25 m, x = 3 m, c = 4 m, b = 10 m, q = 20 kPa.

GeoTerva

Cálculos geotécnicos on-line

# Da teoria à prática

Informar a própria carga triangular, a distância inicial, as larguras dos braços e a altura do muro no GeoTerva; o módulo fornece, em conjunto, o diagrama de pressões, a resultante e a sua profundidade de atuação, as três vistas, a solução passo a passo e o relatório.

**Abrir o módulo →**

**Página de teoria →**

**Abrir no celular**
Os módulos de teste não exigem cadastro.