



Universidade de São Paulo
Escola Politécnica – Departamento de
Engenharia de Estruturas e Geotécnica

PEF 3405

Alguns aspectos do projeto de estruturas de contenção de escavações

- Definições básicas
- Controle de água em escavações
- Determinação da ficha
- Tirantes

Prof. Pedro Wellington

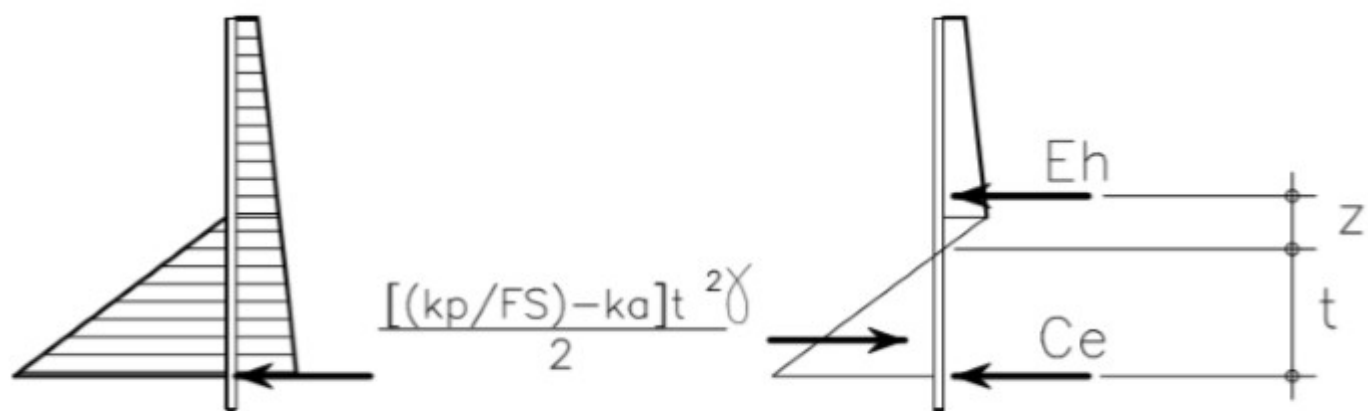
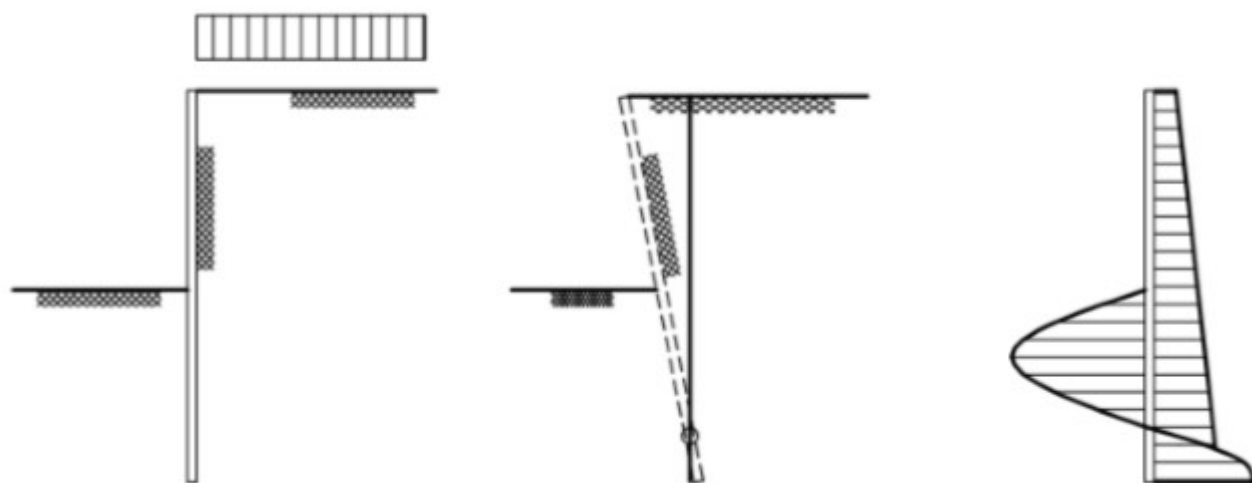


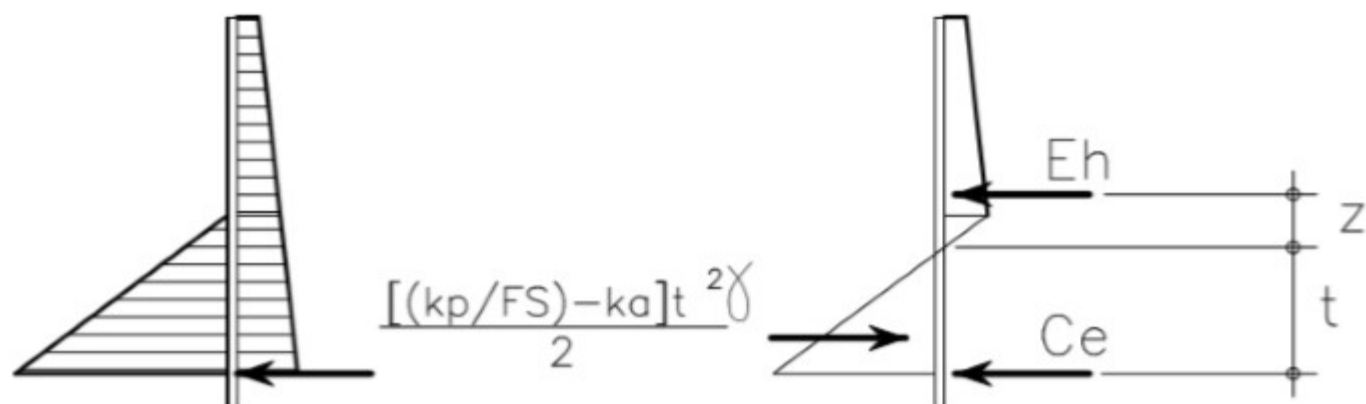












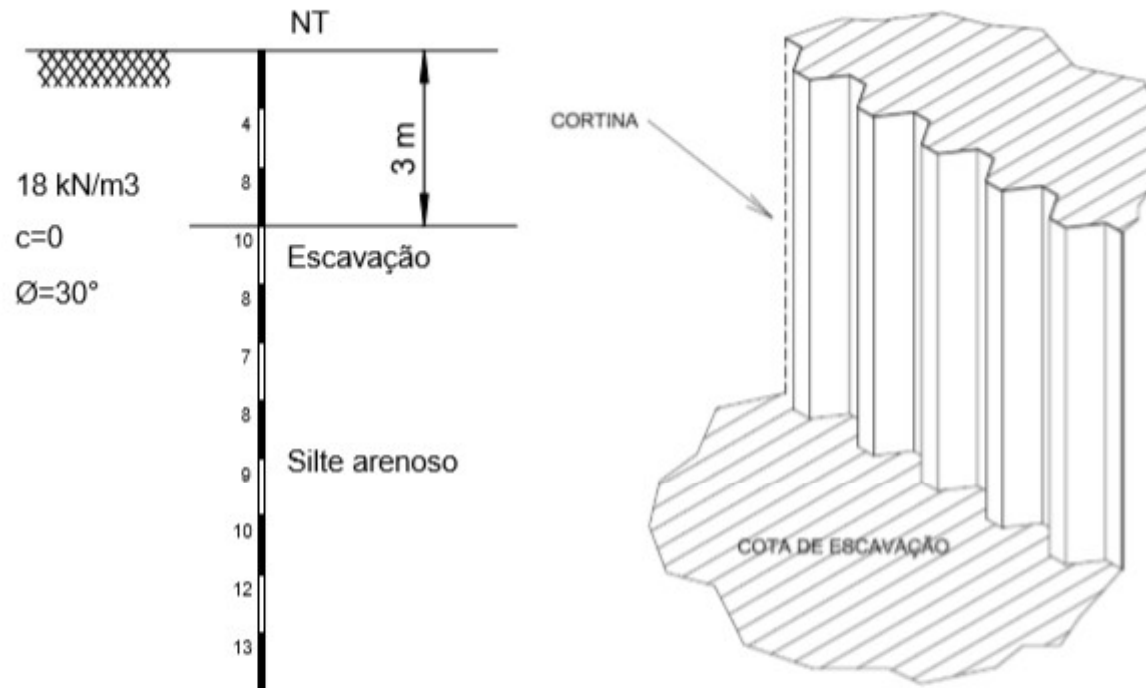
$$E_h \times (z + t) - \frac{1}{6} \times \gamma \left[\left(\frac{K_{ph}}{FS} \right) - K_{ah} \right] \times t^3 = 0$$

Equação 1

Onde:

- γ = peso específico do solo, conforme a situação;
- K_{ph} = coeficiente de empuxo passivo;
- K_{ah} = coeficiente de empuxo ativo;
- F.S. = fator de segurança;
- C_e = Contra empuxo;
- As demais dimensões conforme a figura;

Perfil geotécnico e esquema da contenção

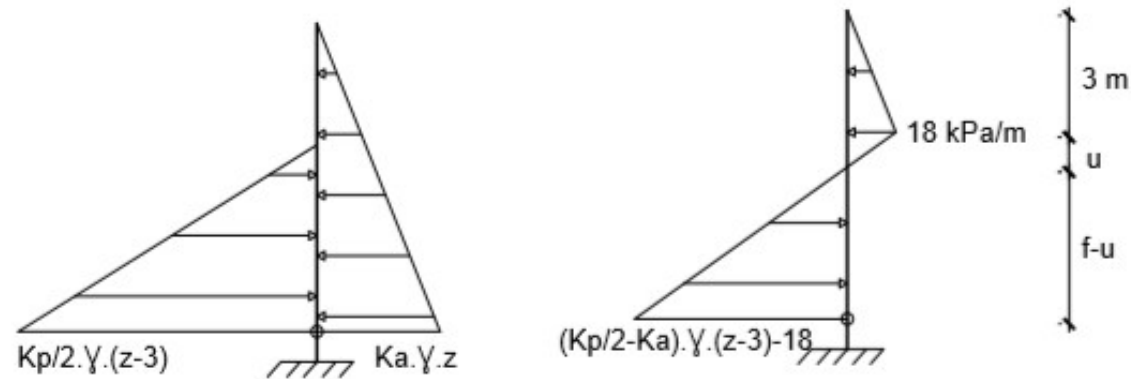


Seção da estrutura



ESTACA-PRANCHA AU 14
momento de inércia= $28680 \text{ cm}^4/\text{m}$
módulo de flexão= $1405 \text{ cm}^3/\text{m}$
momento estático= $820 \text{ cm}^3/\text{m}$

TENSÕES HORIZONTAIS



Determinação da Altura “u”

Sabendo que “u” é a profundidade do ponto de tensão nula em relação ao fundo da escavação, foi calculado:

$$\left(\frac{k_p}{2} - k_a\right) * \gamma * (z - 3) - 18 = 0$$

$$\left(\frac{3}{2} - \frac{1}{3}\right) * 18 * (3 + u - 3) - 18 = 0$$

$$\frac{7}{6} * 18 * u = 18$$

$$u = \frac{6}{7} = 0,86$$

Determinação da ficha

$$\sum M_o = 0$$

$$\frac{1}{3} * (3 + f) * \frac{1}{3} * 18 * (3 + f) * \frac{(3 + f)}{2} = \frac{1}{3} * f * \frac{3}{2} * 18 * f * \frac{f}{2}$$

$$\frac{1}{3} * (3 + f)^3 = \frac{3}{2} * f^3$$

$$(3 + f)^3 = \frac{9}{2} * f^3 \therefore \sqrt[3]{(3 + f)^3} = \sqrt[3]{\frac{9}{2} * f^3}$$

$$3 + f = 1,65 * f$$

$$f = 4,61 \text{ m}$$

*Deve-se adicionar 20% de (f – u) para a determinação da ficha total,
f :*

$$f_T = f + 0,20 * (f - u)$$

$$f_T = 4,61 + 0,20 * (4,61 - 0,86)$$

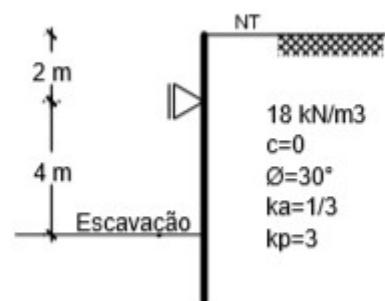
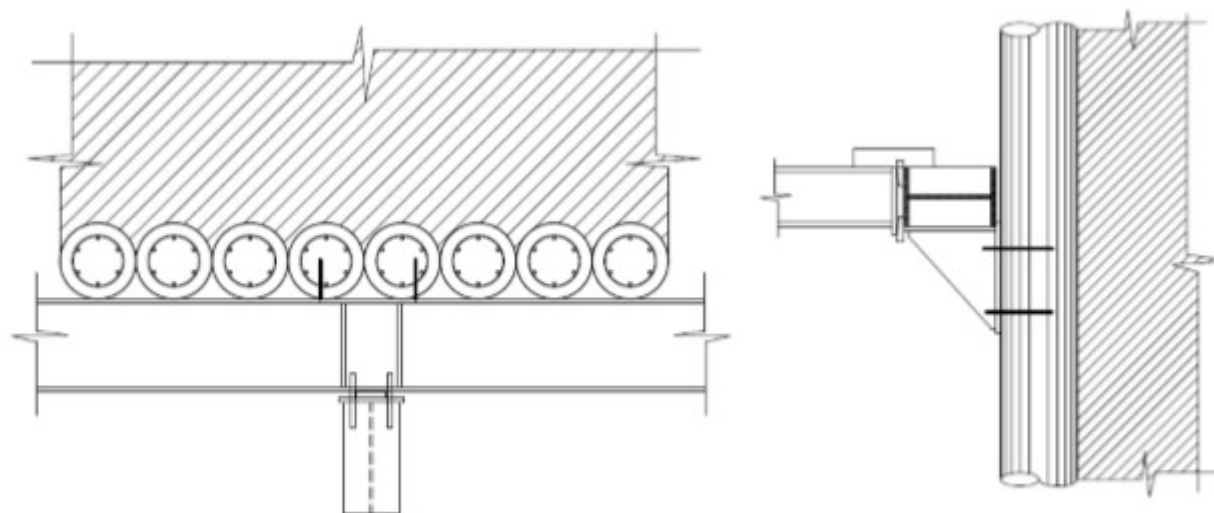
$$f_T = 5,36 \text{ m}$$

ESFORÇO CORTANTE (kN)



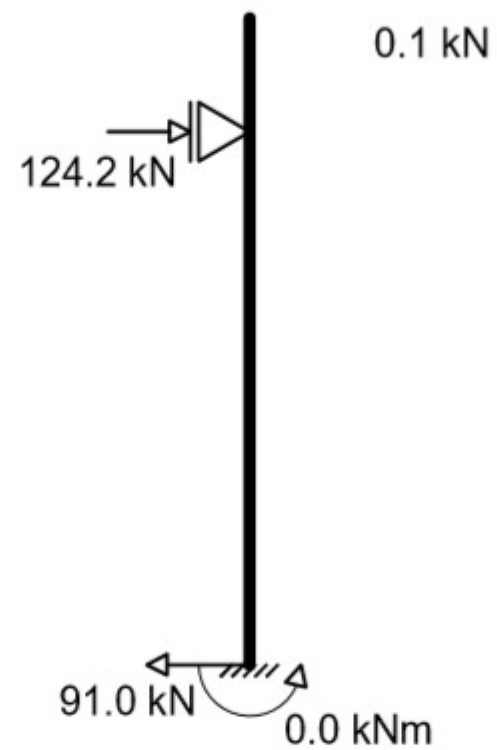
MOMENTO FLETOR (kN.m)





Seção da escavação

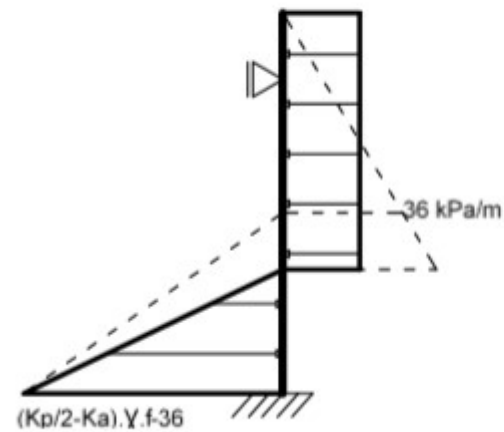
REAÇÕES ENGASTE



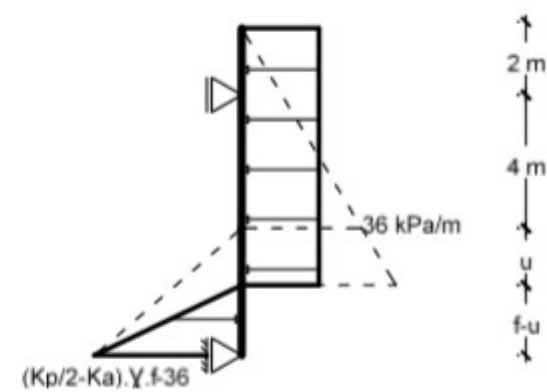
APOIO SIMPLES



CONDIÇÃO DE ENGASTE



CONDIÇÃO DE APOIO SIMPLES



Determinação da profundidade em que as tensões se anulam (u):

$$\left(\frac{k_p}{2} - k_a\right) * \gamma * f - 36 = 0$$

$$\left(\frac{3}{2} - \frac{1}{3}\right) * 18 * u - 36 = 0$$

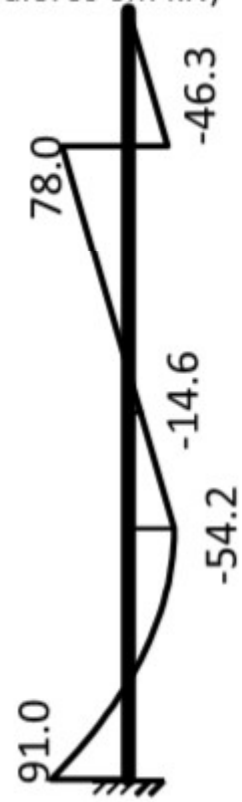
$$\frac{7}{6} * 18 * u = 36$$

$$u = 1,71 \text{ m}$$

ESFORÇO CORTANTE

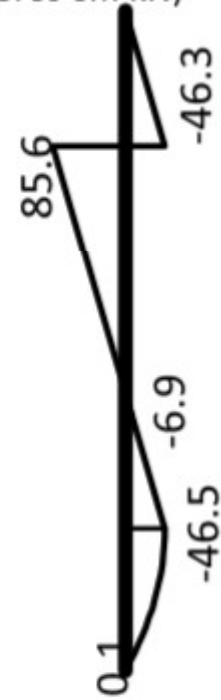
ENGASTE

(valores em kN)



APOIO SIMPLES

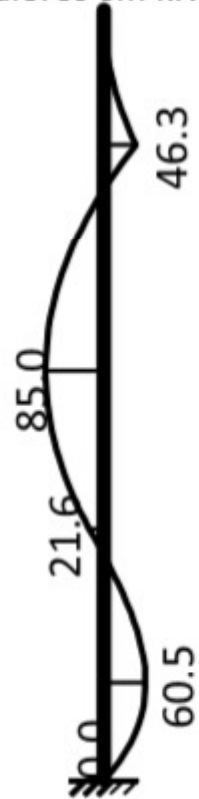
(valores em kN)



MOMENTOS FLETORES

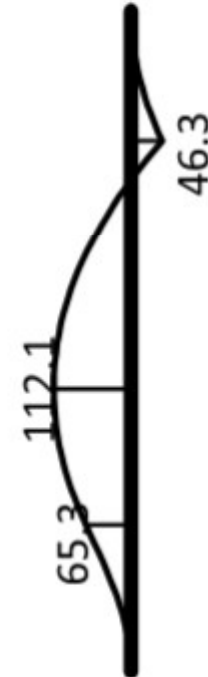
ENGASTE

(valores em kNm)



APOIO SIMPLES

(valores em kNm)



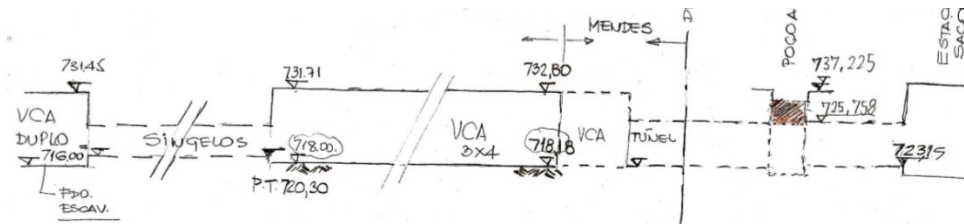
Peculiaridades da água

- Conhecimento geral:
 - Ao se aquecer uma substância tem-se aumento de volume. A água constitui exceção, entre 0°C e 4°C;
 - “Quando lidares com água, consultas primeiro a experiência e depois a razão.” (Atribuído a Leonardo da Vinci);
- Relacionadas com obras civis (Winterkorn):
 - Relativamente pesada;
 - Resistência ao cisalhamento virtualmente nula;
 - Quase incompre(en)ssível;
 - Isso tudo faz com que a água consiga penetrar em espaços minutíssimos e exercer forças impressionantes!

Objetivos do controle de água em escavações

- Impedir inundação da escavação;
- Evitar perda de estabilidade, fazendo para isso controle da pressão neutra por:
 - Interceptação do fluxo e rebaixamento do lençol;
 - Aumento da segurança de taludes e consequente possibilidade de redução da área da obra;
 - Prevenção de areia movediça ou ruptura de fundo na base da escavação;
 - Aumento da densidade e compactação do solo na base da escavação;
 - Redução teor de umidade do solo da base da escavação;
 - Redução das pressões sobre a estrutura de contenção;

Águas de chuva (Brasil é país tropical)



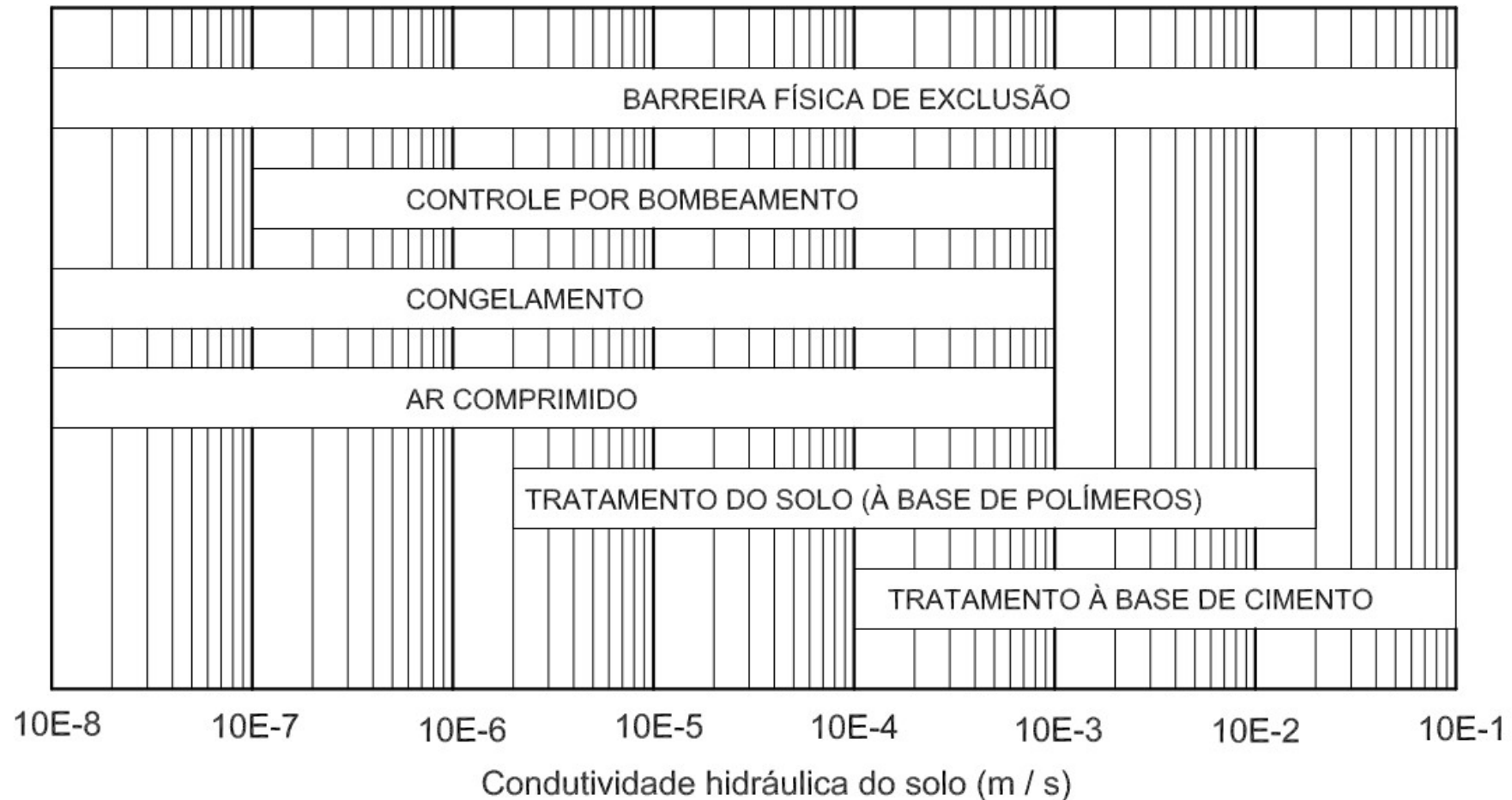
Vazões excepcionais



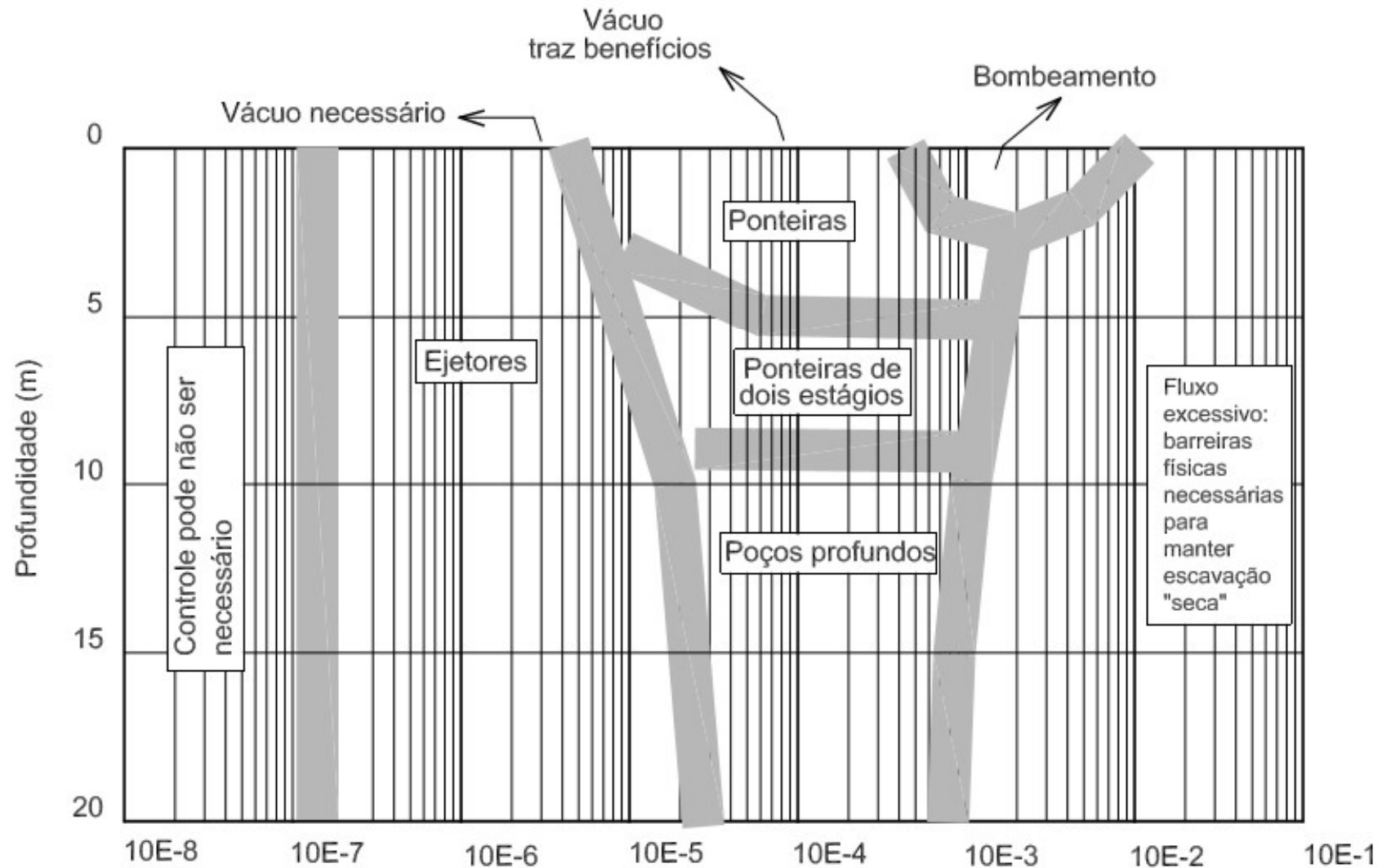
Métodos de controle de água

- Exclusão de água por barreiras físicas;
- Bombeamento com ou sem rebaixamento:
 - Poços na base da escavação;
 - Poços profundos;
 - Ponteiras;
 - Drenos horizontais;
 - Vácuo;
- Tratamento prévio do solo;
- Eletroosmose;
- Congelamento;

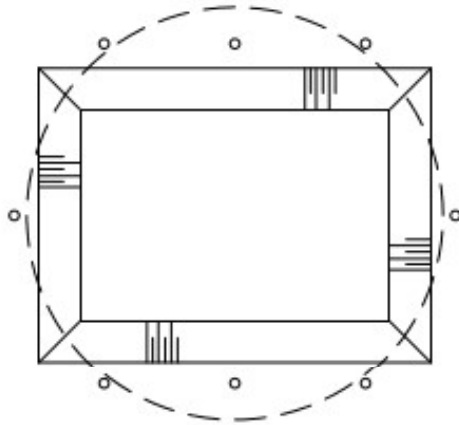
Tipo de abordagem em função da condutividade hidráulica do solo ($k - \text{m/s}$) cf. BURLAND



Critérios para escolha do método (Burland)

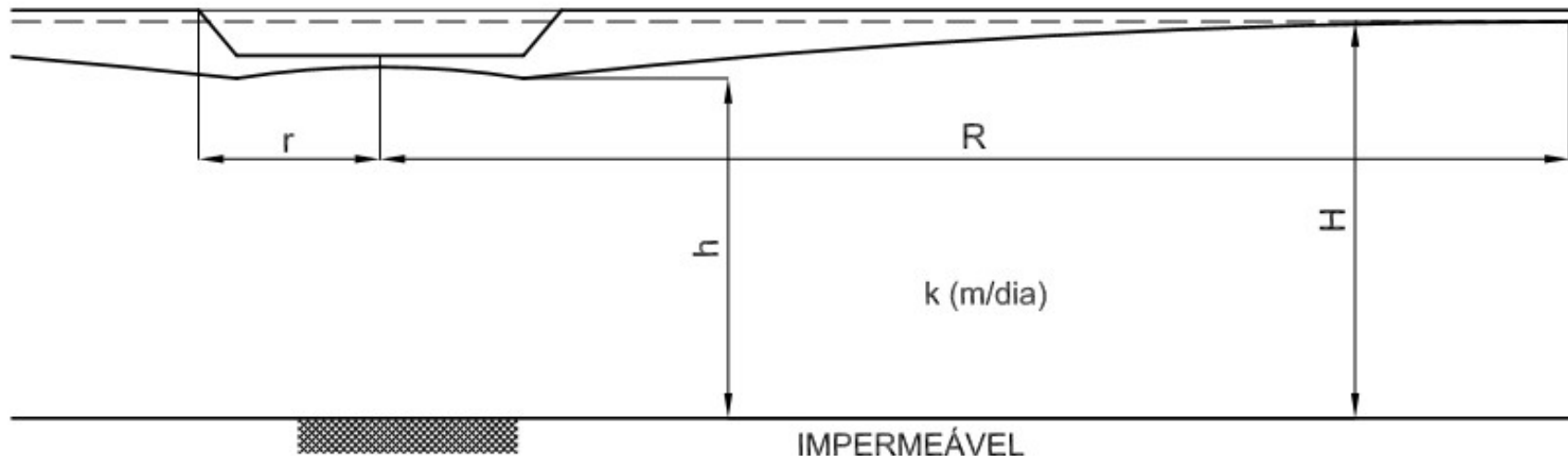


Vazão estimada (exemplo com $k = 3,5E-5 \text{ m/s} = 3,04 \text{ m/dia}$)

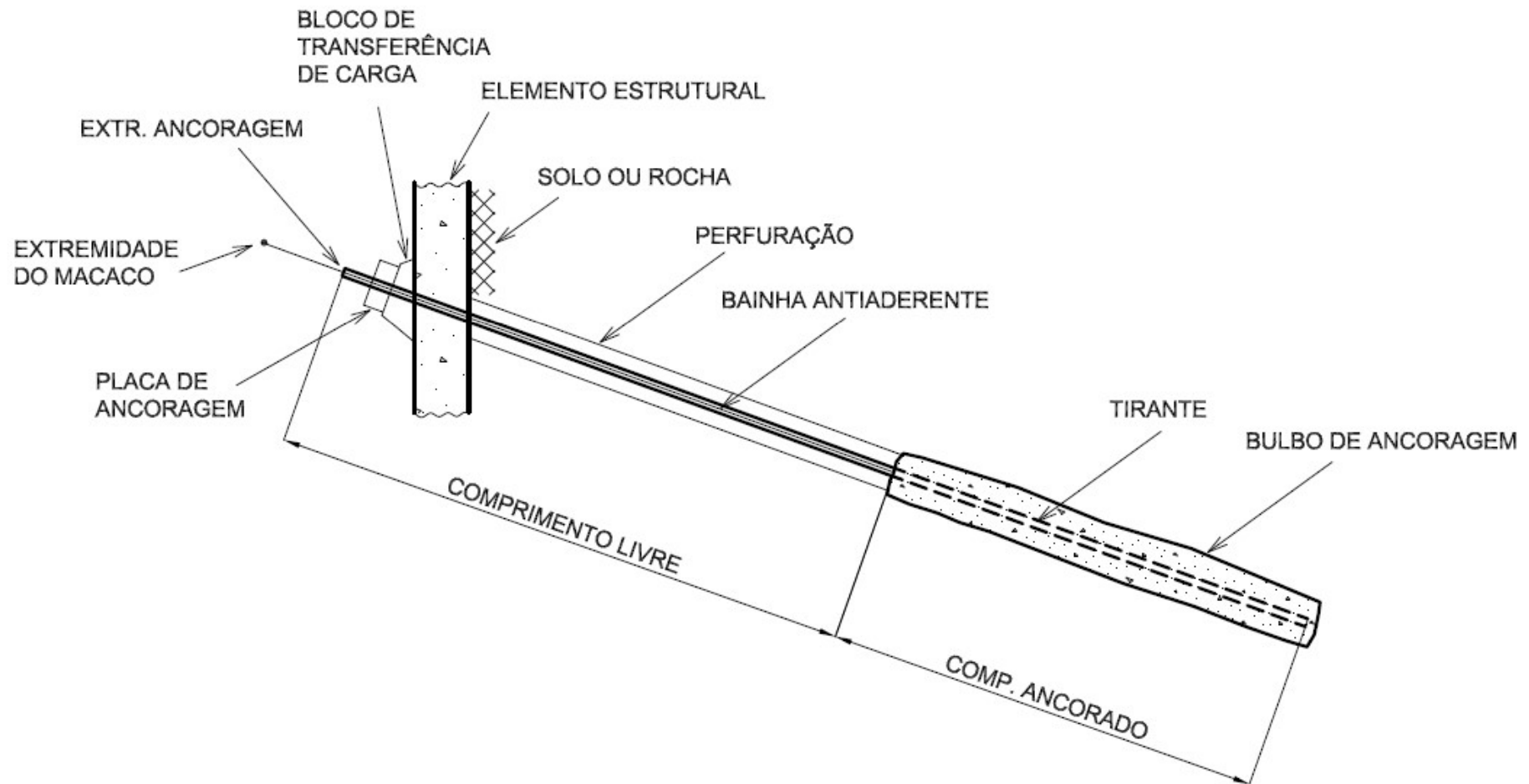


$$Q = \frac{\pi * k * (H^2 - h^2)}{2,3 * \log_{10} (R / r)}$$

R (m)	r (m)	H (m)	h (m)	Q (m ³ / dia)
150	8,5	18	15	337
240	8,5	18	15	289
360	8,5	18	15	258



Elementos de um tirante

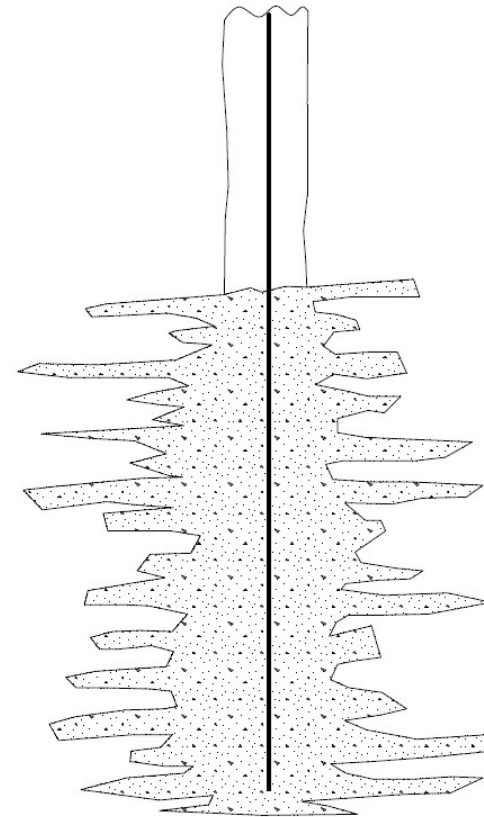
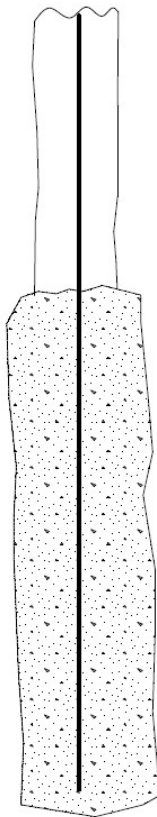


Aspectos importantes

- Investigações de campo devem abranger a área do bulbo de ancoragem;
- Parâmetros iniciais importantes para projeto:
 - Força total necessária;
 - Fatores de segurança;
 - Tipo de tirante (permanente ou provisório);
- Detalhes do projeto:
 - Comprimentos e inclinação;
 - Espaçamento;
 - Força nos tirantes;
 - Características do bulbo e da ancoragem na estrutura;
 - Estabilidade geral;
 - Sistemas de proteção contra corrosão;
- Sequência executiva:
 - Controle de materiais;
 - Controle de qualidade de execução;
 - Testes;
 - Instrumentação;
- Manutenção;

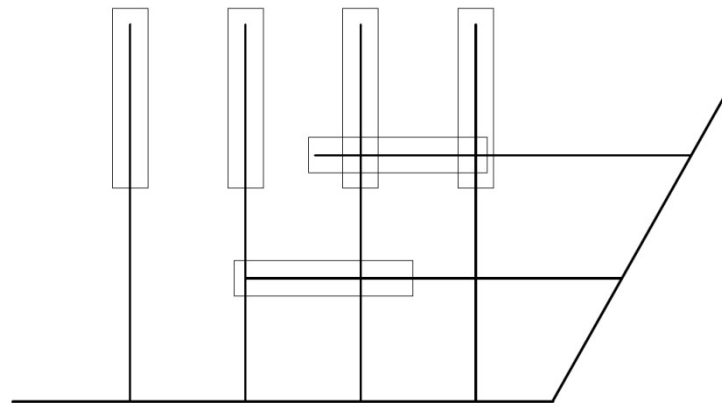
Tipos de bulbo

- Injeção em fase única;
- Injeção em múltiplas fases;



Características usuais

- Cargas entre 200 kN e 600 kN (maior ocorrência entre 300 kN e 400 kN);
- Espaçamentos: 2 m a 4 m;
- Inclinação entre 20° e 45°;
- Bulbos entre 3 m e 10 m são os mais usuais:
 - Eventualmente cargas menores (~200 kN) podem ter 2 m;
 - Há dúvidas de que comprimentos maiores que 10 m não aumentem resistência da ancoragem;
- Problemas especiais em cantos que imponham interferências entre trechos livres e ou bulbos:



Resistência

- $P = P_u / F$;
- Alguns valores usuais de “F” (ABNT NBR 5629):

Tirante	Ancoragem solo-bulbo	Ancoragem bulbo-tirante	Ensaio de qualificação, de recebimento e de fluência
1,4	2,0	2,0	1,20
A	A	A	A
2,0	3,0	3,0	1,75

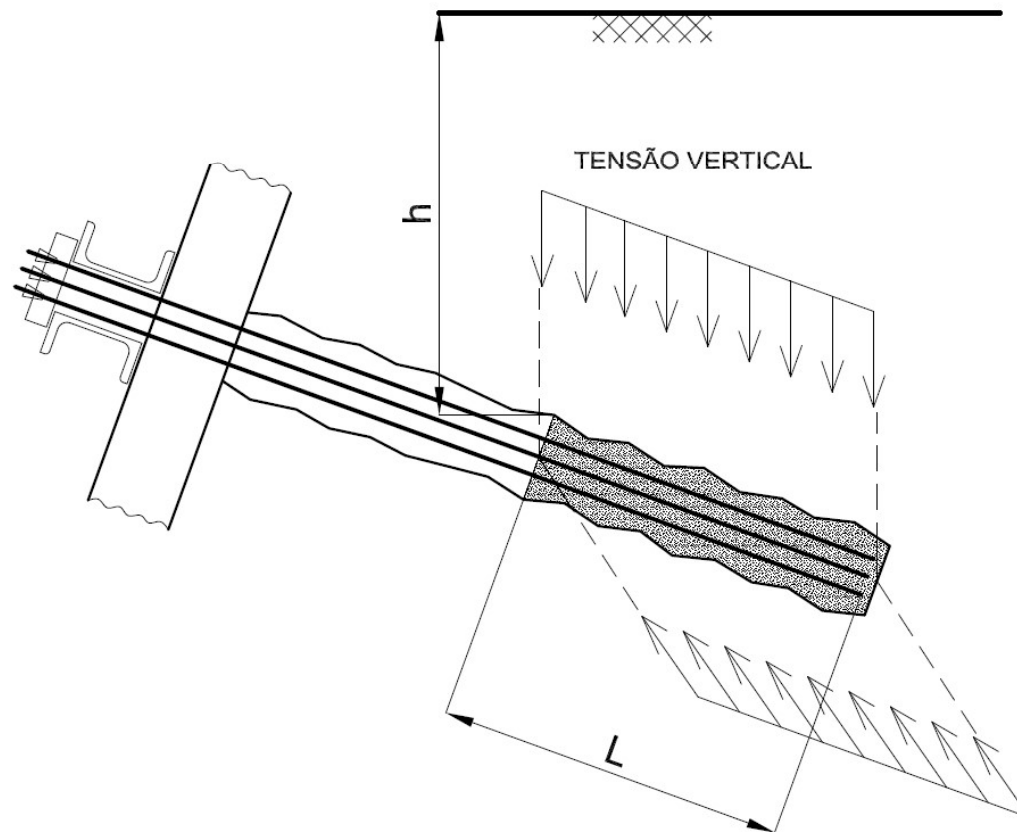
- Cálculo detalhado:
 - Transferência de carga para o solo;
 - Definição do tipo de tirante: barra, cordoalha, fio;
 - Afastamento dos bulbos da face escavada para conferir estabilidade geral (ver Coleção 10);
 - Transferência de carga para a estrutura;

Exemplo (Manual Solotrat)

- Tirante de cordoalha **provisório**:
 - Carga de trabalho: 810 kN;
 - Unidade de protensão: 8 $\phi 1/2''$ (Aço Tipo CP 190 RB);
 - Área = 789,6 mm²;
 - Massa = 6,20 kg/m;
 - Módulo de Elasticidade (E) = 19.500 kgf/mm²
 - Tensão de ruptura = 190 kgf/mm²;
 - Tensão de escoamento = 171 kgf/mm²;
 - Forças de protensão:
 - Para ensaio de qualificação = $1,75 \times 810 = 1417$ kN;
 - Para ensaio de recebimento = $1,4 \times 810 = 1134$ kN;
 - Para incorporação = $0,8 \times 810 = 648$ kN;

Resistência

- Estimativas de P_u :
 - Areias: $P_u = k * \pi * d * L * (\sigma_v) * \tan(\phi')$ com $0,7 < k < 0,9$;
 - Argilas: $P_u = \alpha * \pi * d * L * c_u$ com $0,3 < \alpha < 0,35$;



Ilustrações



Etapas



Exemplo com contenção formada por cortina descontínua com tirantes diretamente ancorados nos elementos principais da contenção

