Breve evocação pessoal de Victor de Mello



X Lição Victor de Mello

Engenho e Arte no uso do pré-esforço (da pré-tensão) para suporte de grandes escavações em meio urbano

Manuel de Matos Fernandes
Universidade do Porto

Agradecimentos

Alberto Sayão

António Pedro

Alexandre Pinto

António Silva Cardoso

Baldomiro Xavier

David Taborda

Jorge Almeida e Sousa

José Mateus de Brito

Luiz Guilherme de Mello

Manuel Carvalho

Sara Rios

X Lição Victor de Mello

I Parte – Dois apontamentos sobre o pré-esforço convencional de ancoragens e escoras.

II Parte – Dois exemplos de como pré-esforçar a estrutura através do faseamento construtivo (resultados de três trabalhos submetidos em 2026).

III Parte – Duas obras excepcionais da Geotecnia Portuguesa.

Epílogo

Karl Terzaghi, ICSMFE, Rotterdam, 1948

In the good old days (…) it was assumed that one could construct an open cut or a tunnel without producing a settlement of the ground surface.

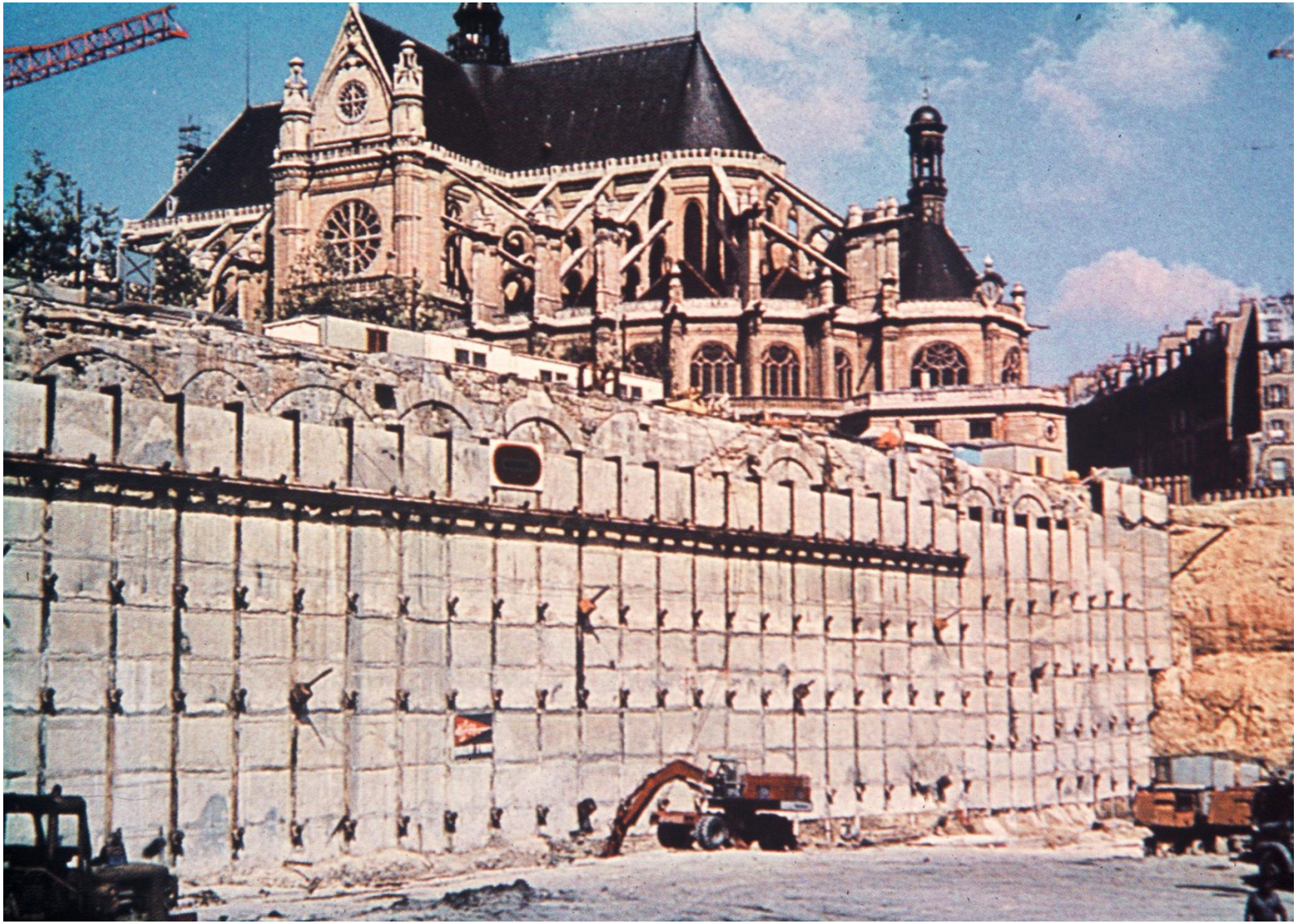
Karl Terzaghi, ICSMFE, Rotterdam, 1948

Settlement with detrimental consequences was considered a sympton of poor workmanship or, if the Contactor was lucky, it was classified as an act of God.

Karl Terzaghi, ICSMFE, Rotterdam, 1948

Soil Mechanics (…….) demonstrated that no excavation can be made without producing a settlement, and provided information regarding the factors which determine the magnitude and the distribution of the settlement.

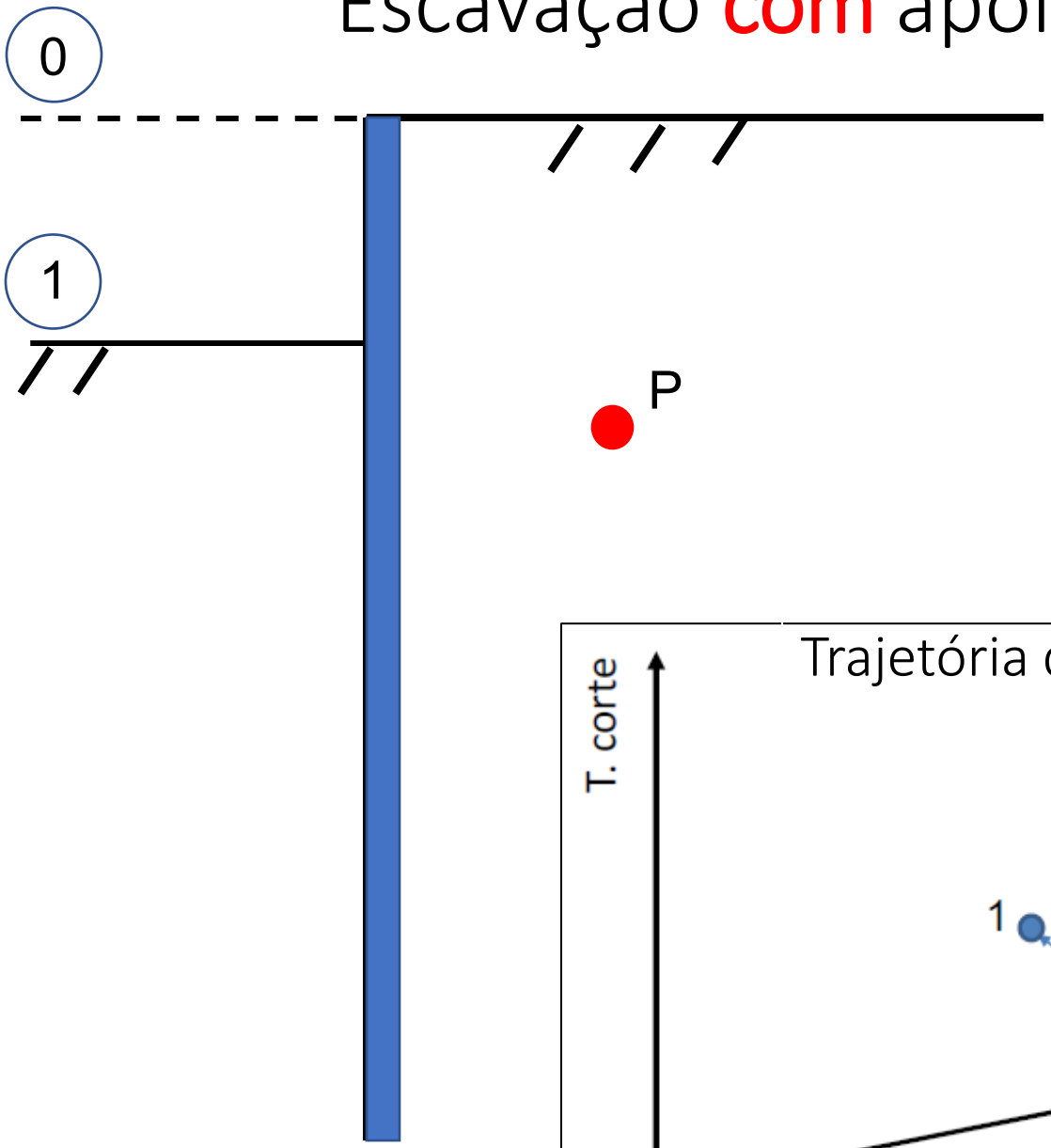
I Parte - Pré-esforço convencional de cortinas multi-ancoradas e multi-escoradas

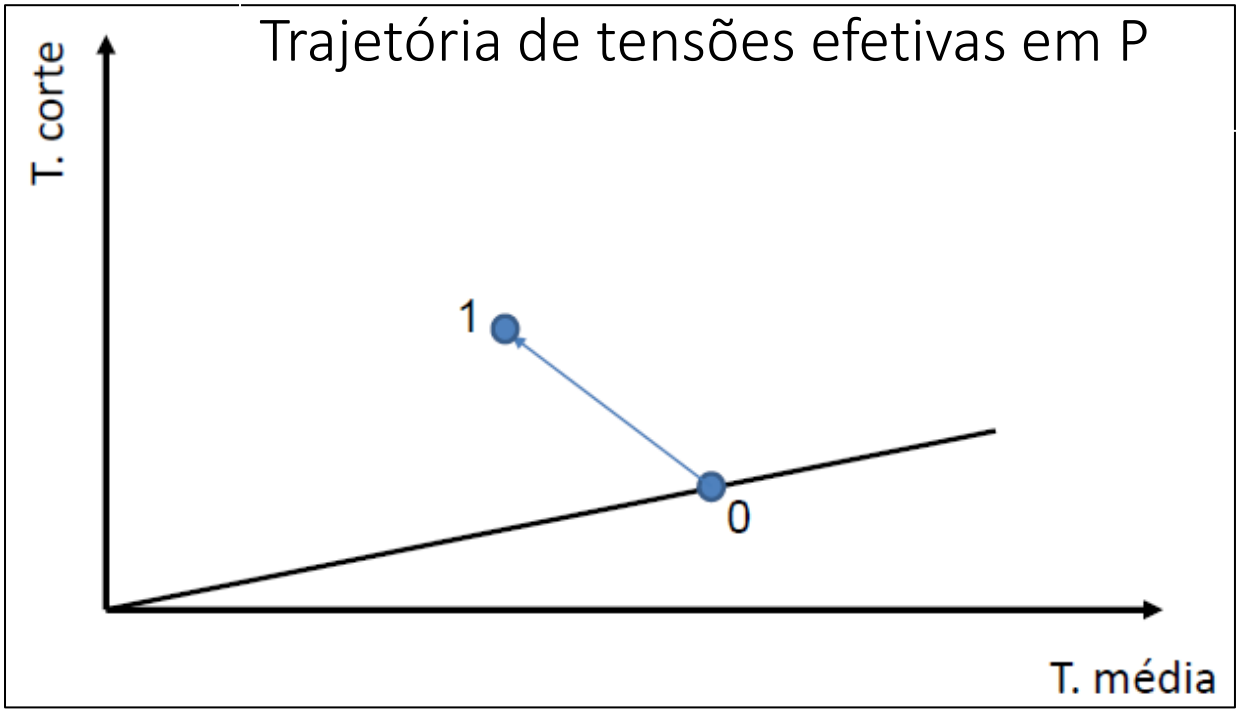


Fonte: Sif-Bachy

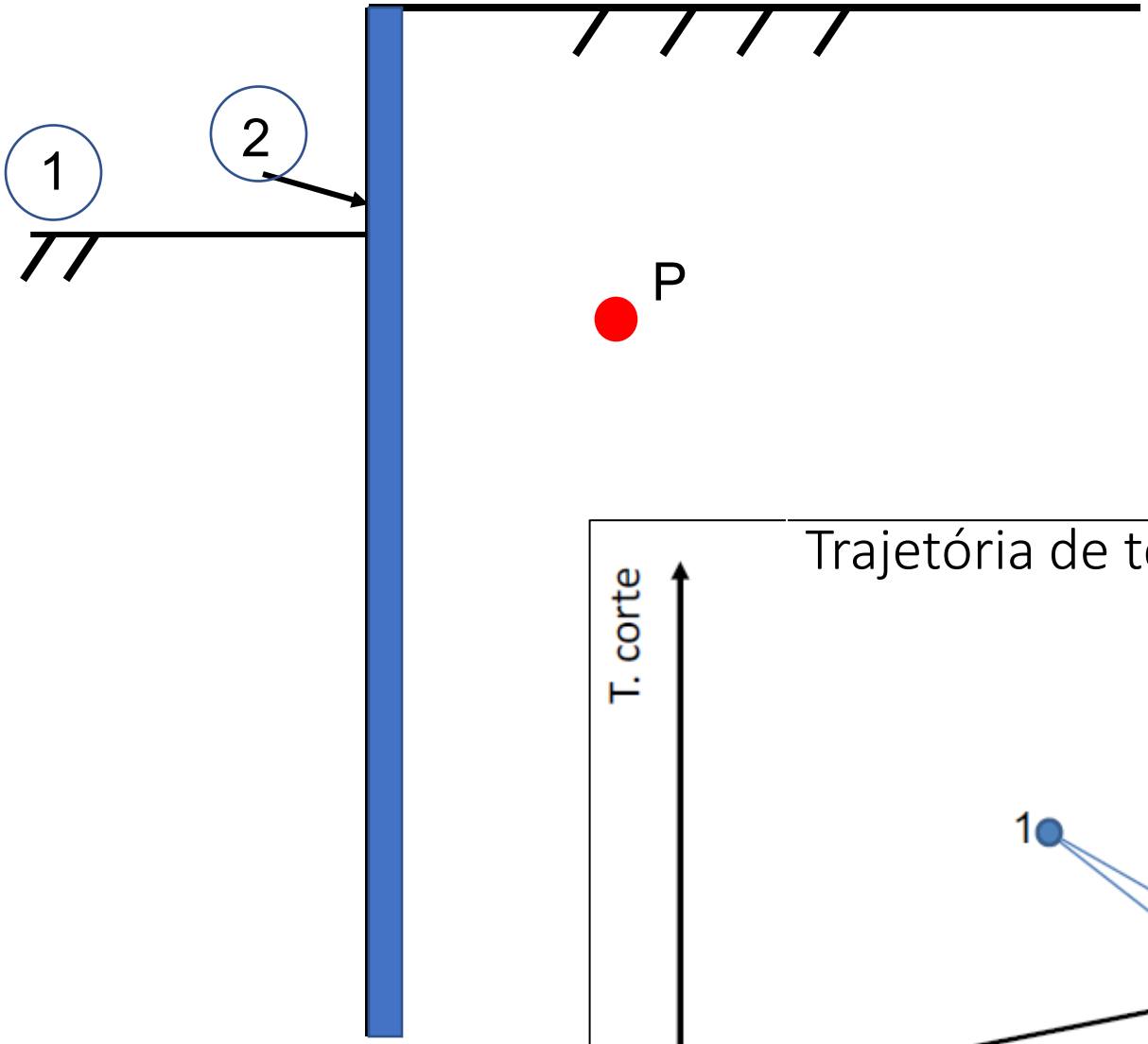
Forum des Halles, Paris, 1974

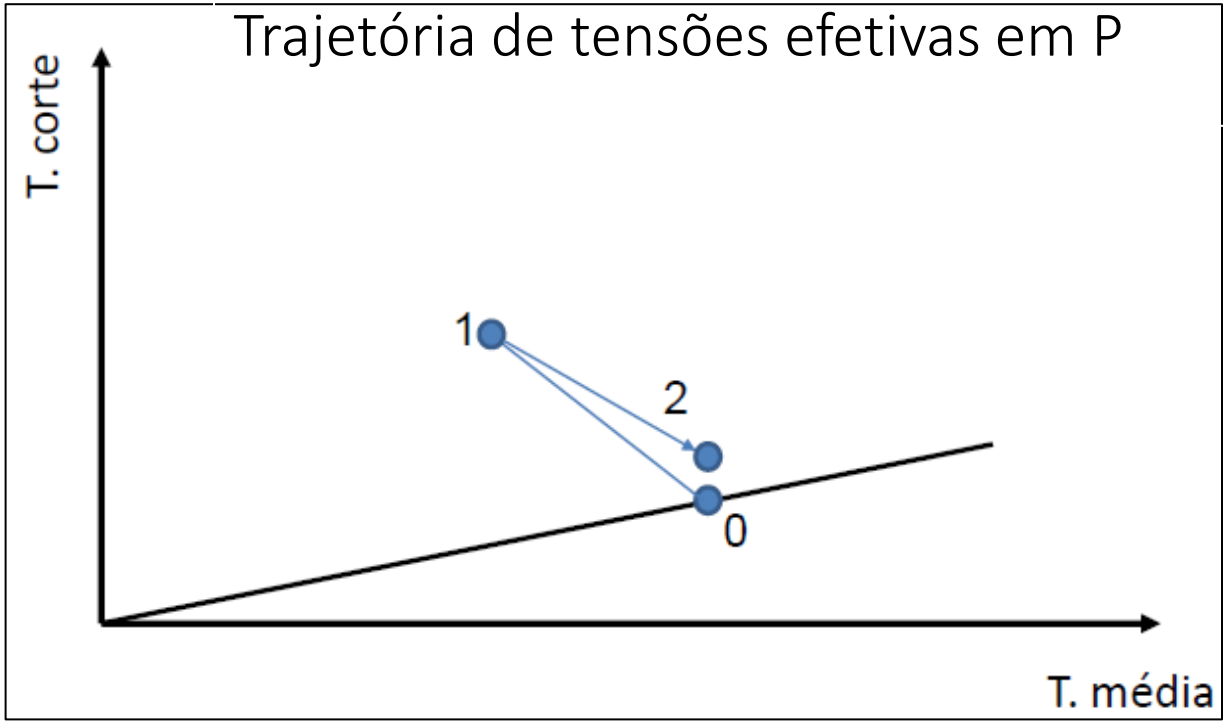
Escavação com apoios pré-esforçados



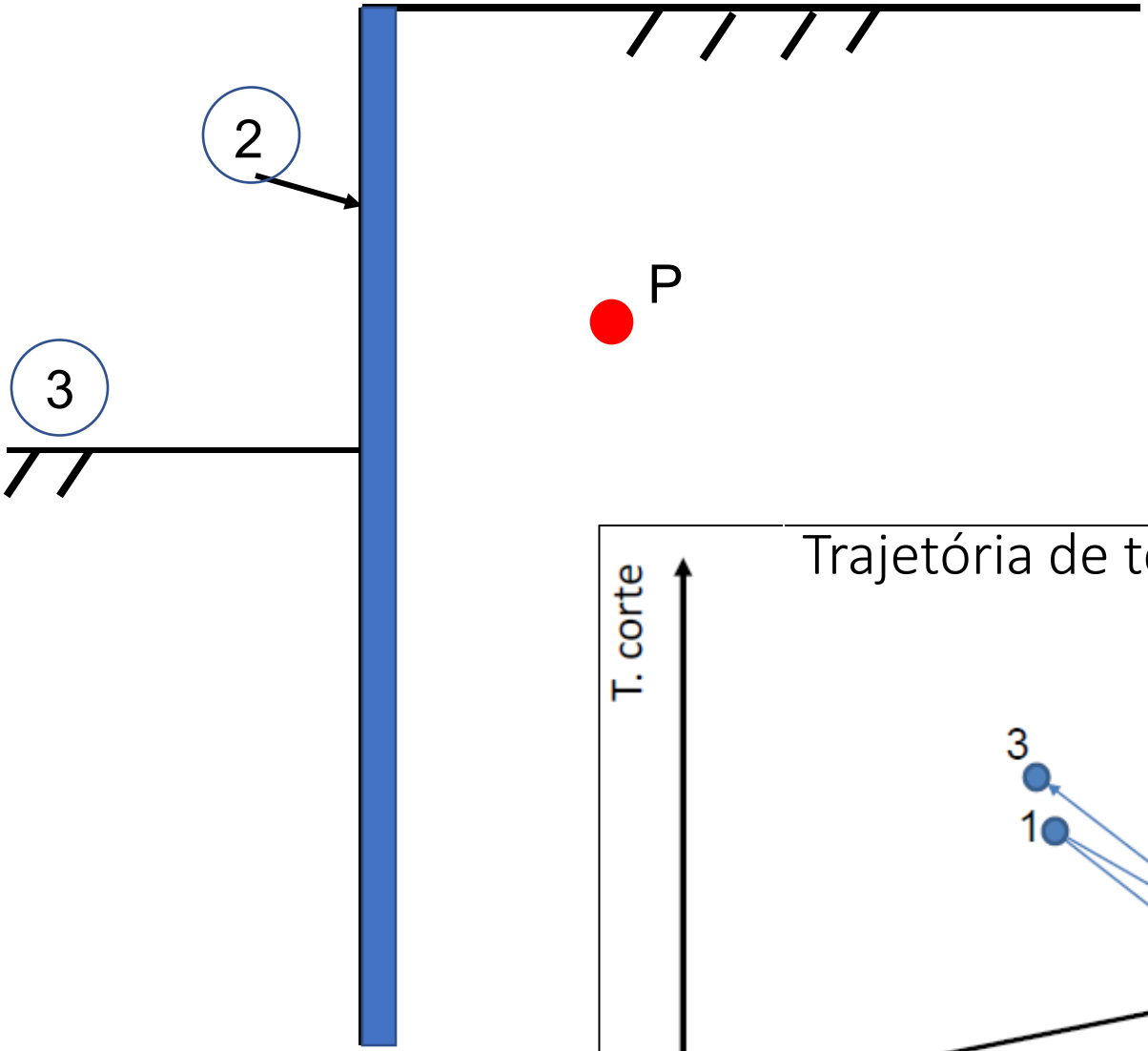


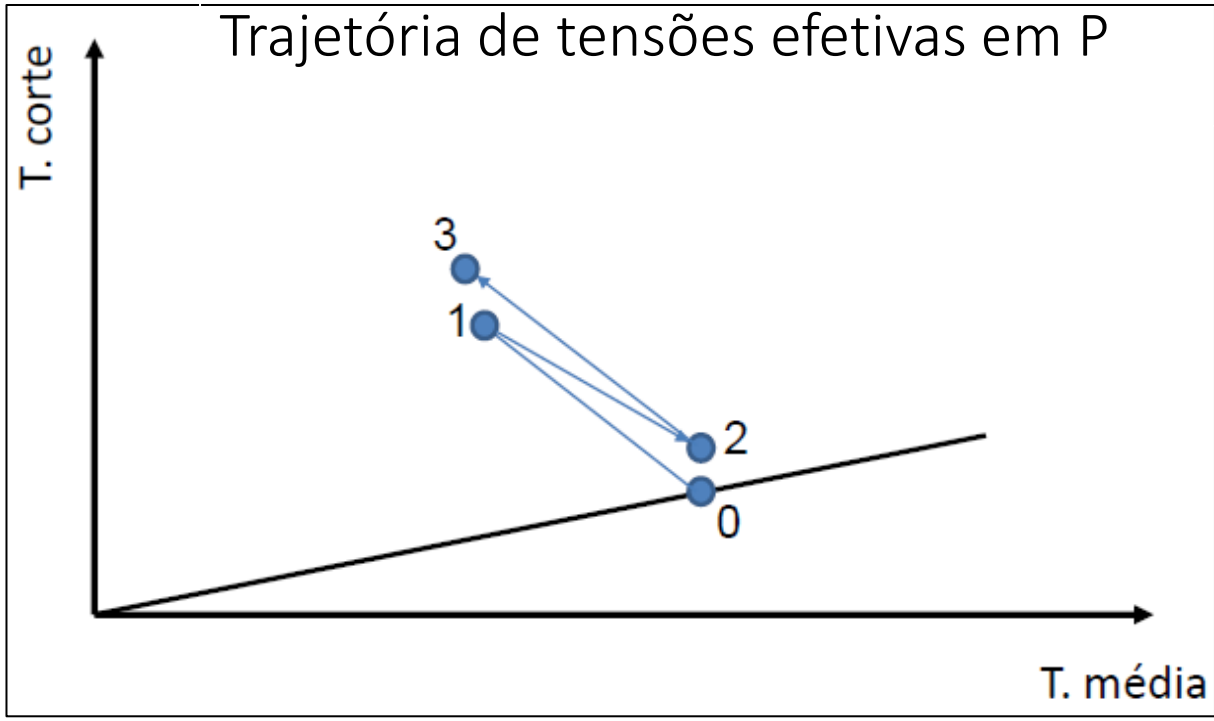
Escavação com apoios pré-esforçados





Escavação com apoios pré-esforçados

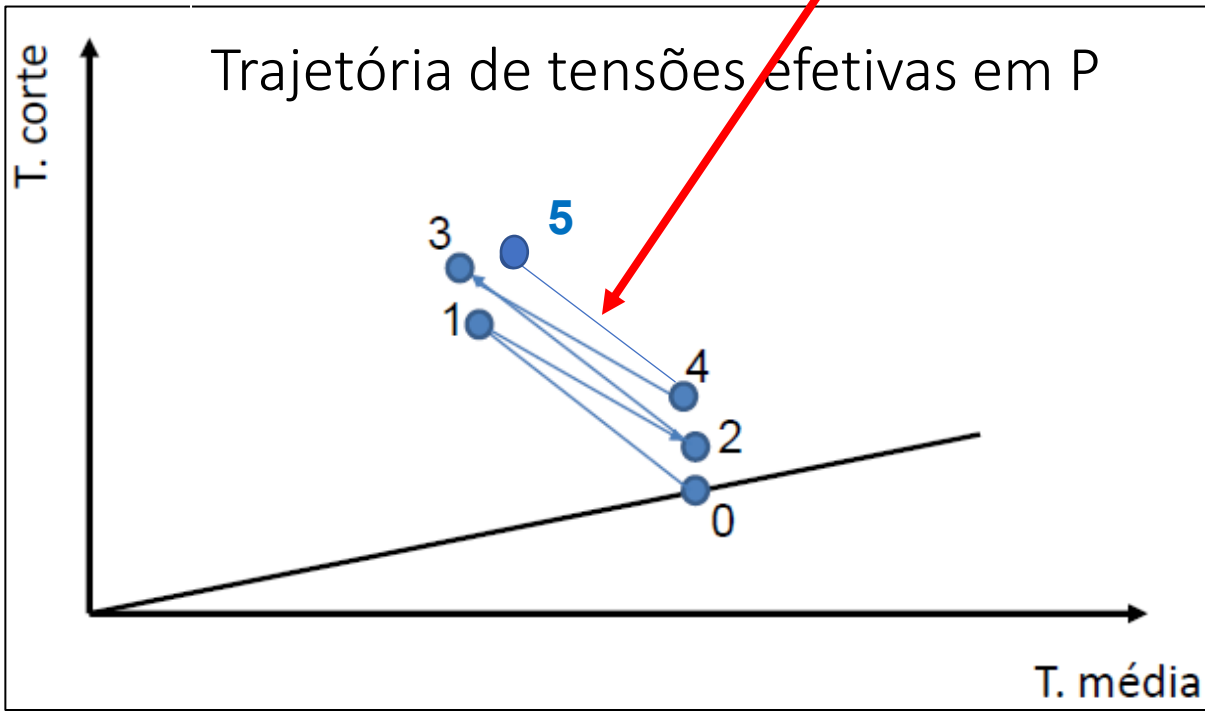




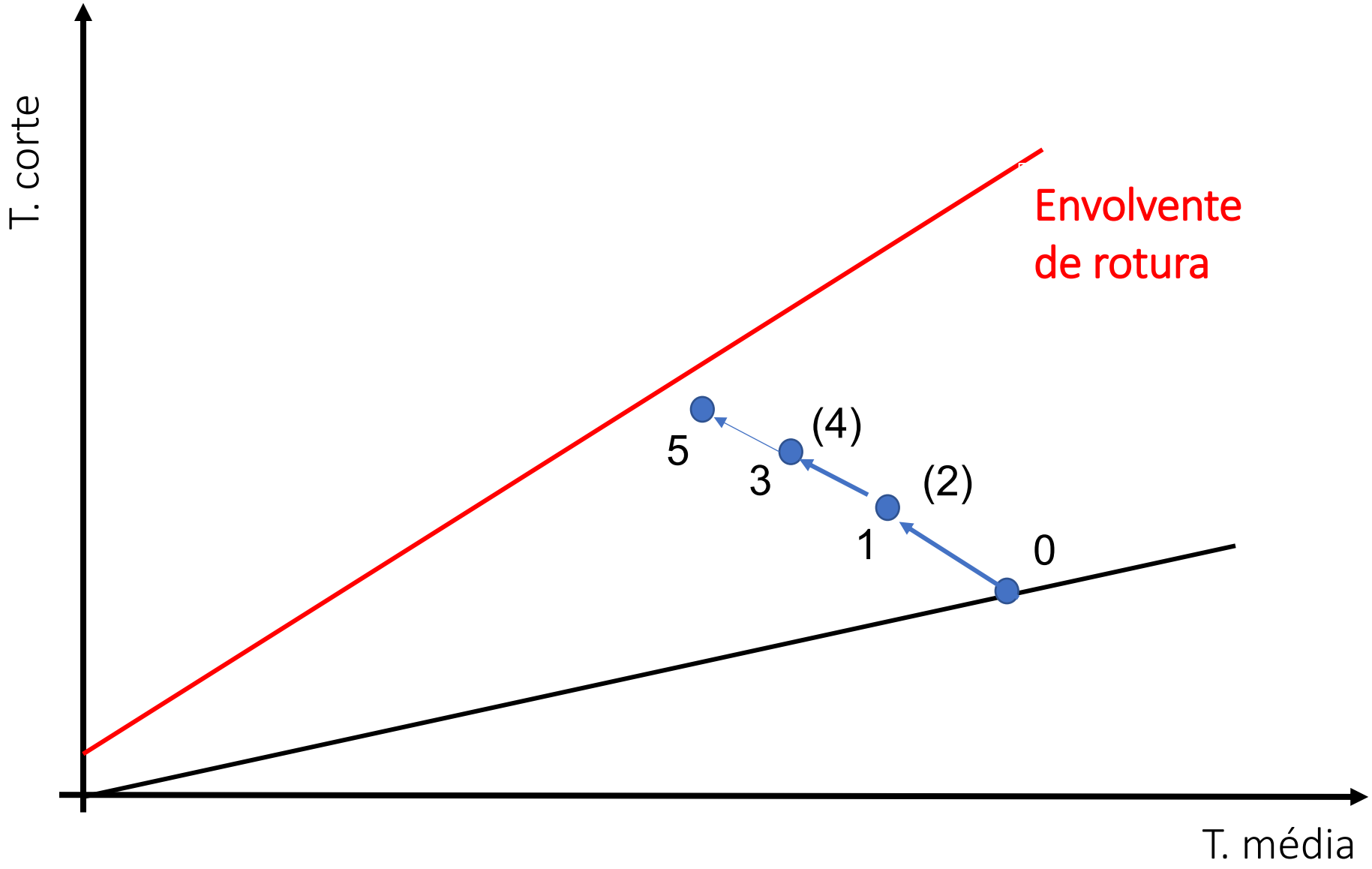
Escavação com apoios pré-esforçados



Ciclos de tensões

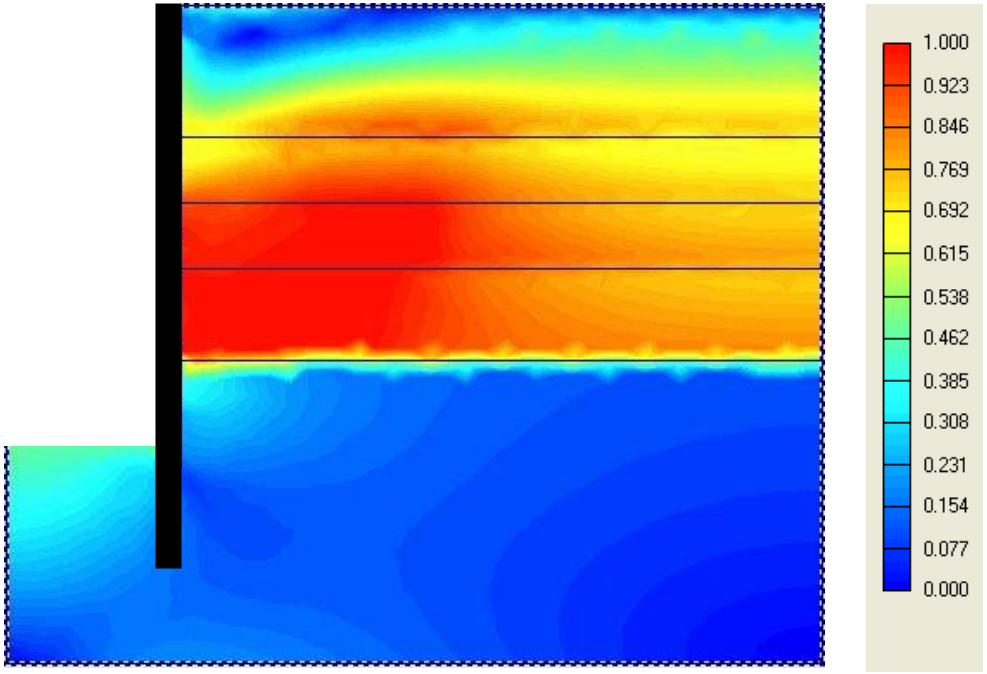


Escavação **sem** apoios pré-esforçados

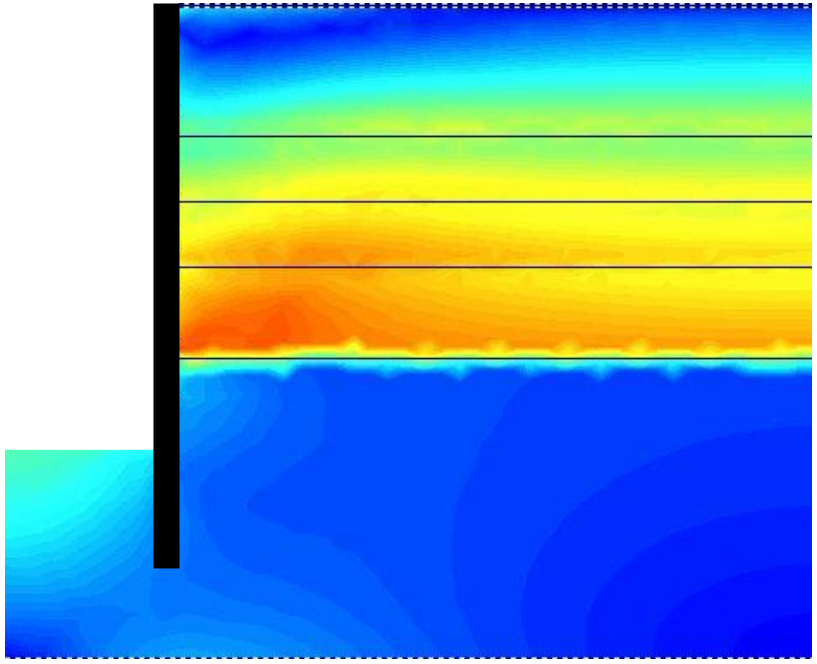


Níveis de tensão de corte no maciço (exemplo)

Sem pré-esforço



Com pré-esforço



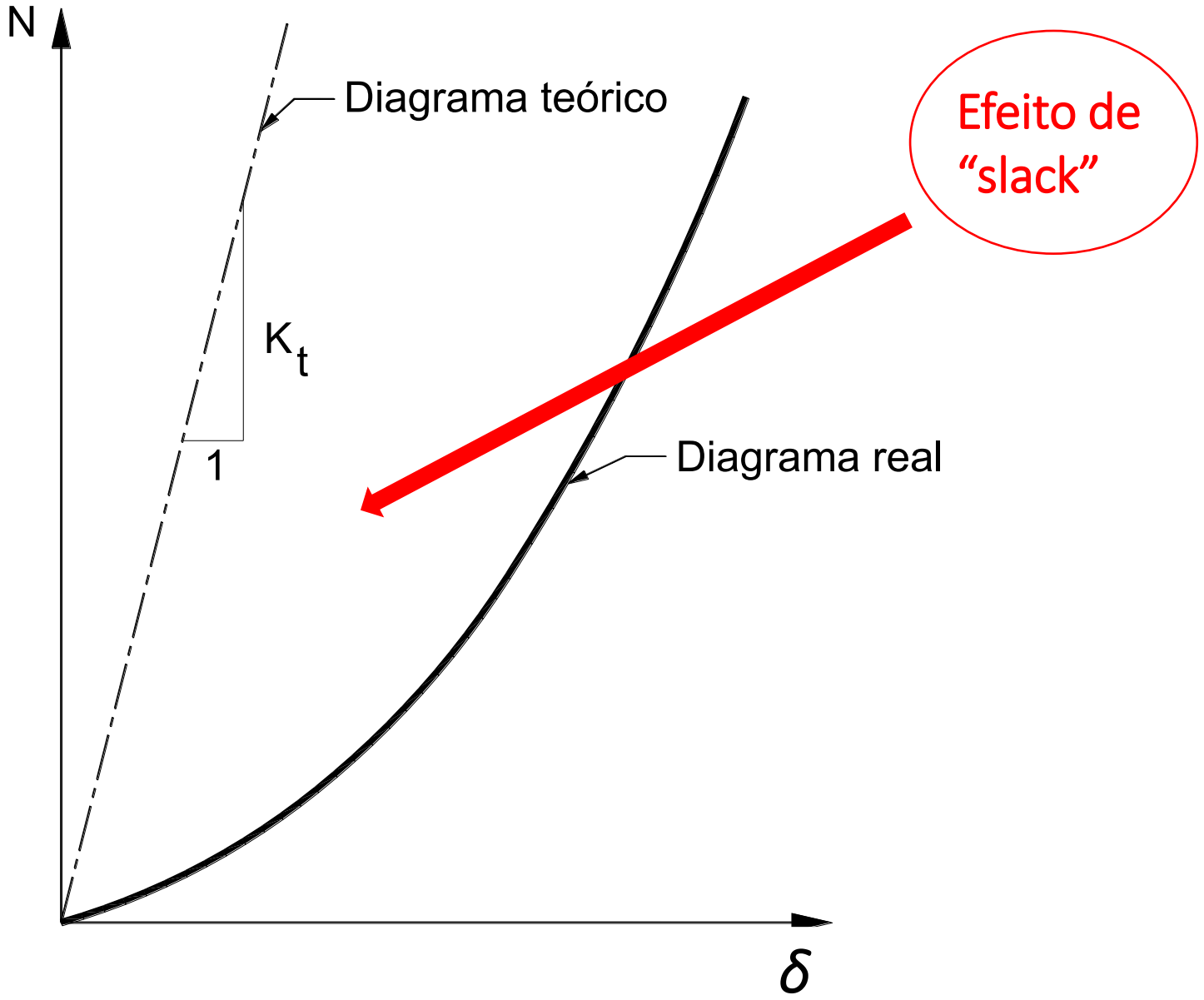
O pré-esforço dos apoios da cortina condiciona de modo favorável o estado de tensão no maciço, limita a plastificação, assegura maior rigidez, logo menores movimentos induzidos.

o caso singular das escavações escoradas



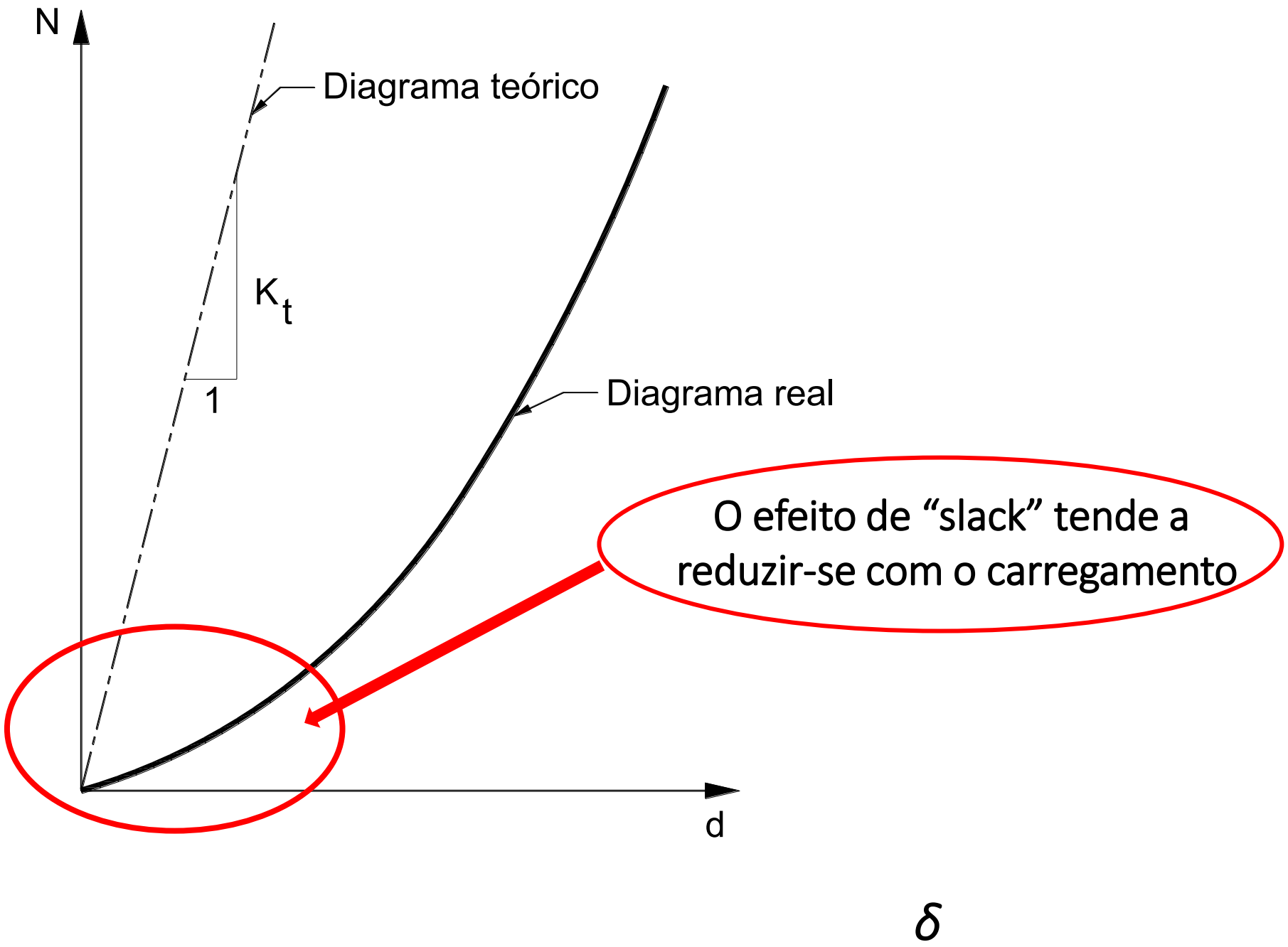
Estação Terreiro do Paço, Lisboa, 2002

Escora

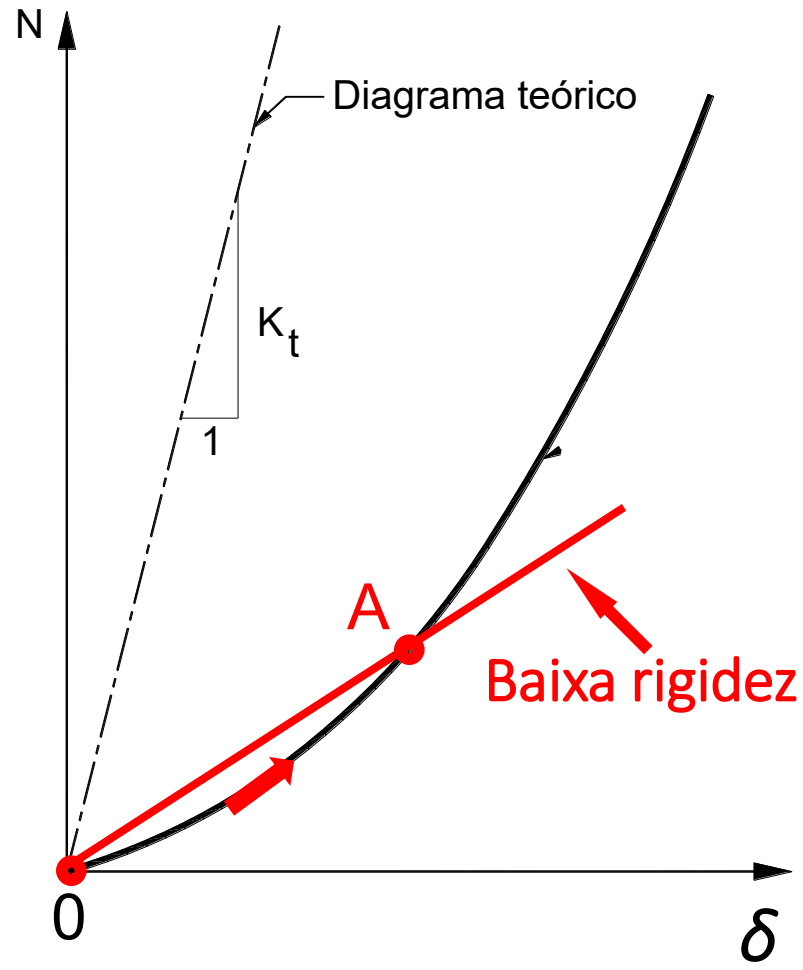


Principais causas do “slack”:

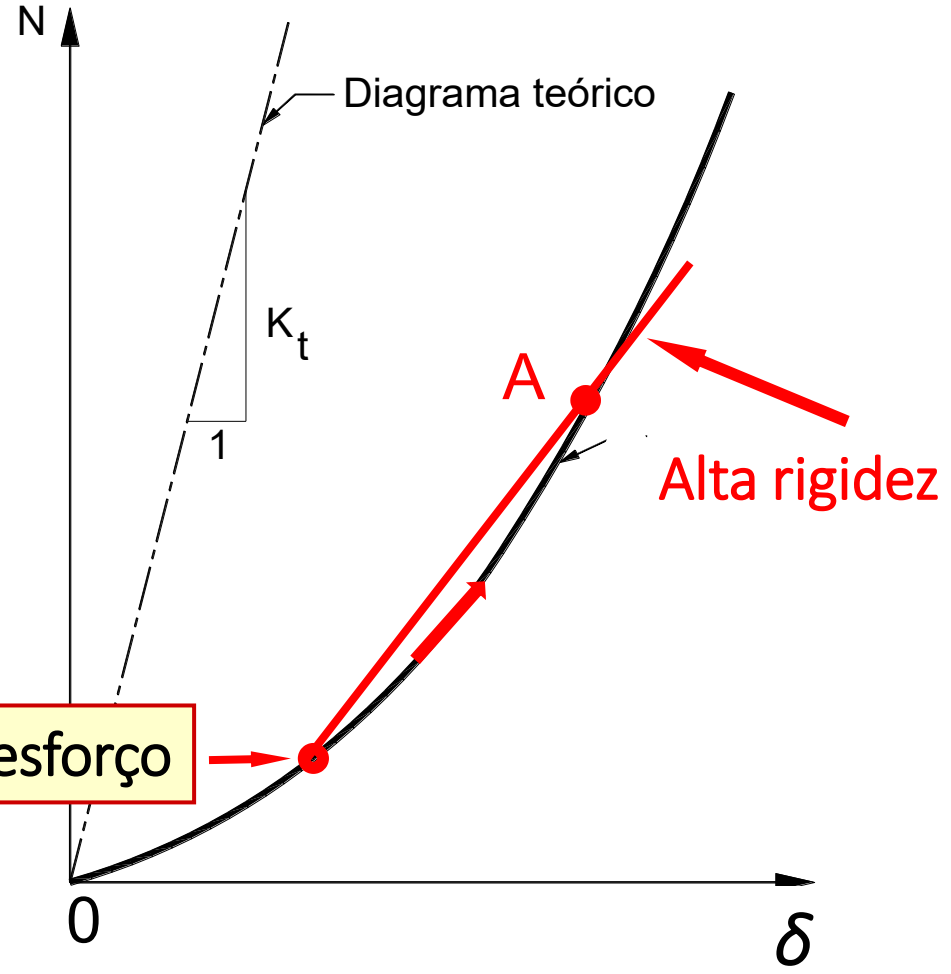
- imperfeições nas ligações metálicas;
- cunhas de material deformável;
- irregularidades na face da parede;
- *gap* ou contacto imperfeito na fase de instalação;
- curvatura inicial de escoras longas.


N
Diagrama teórico
K_t
1
Diagrama real
O efeito de “slack” tende a reduzir-se com o carregamento
d
δ

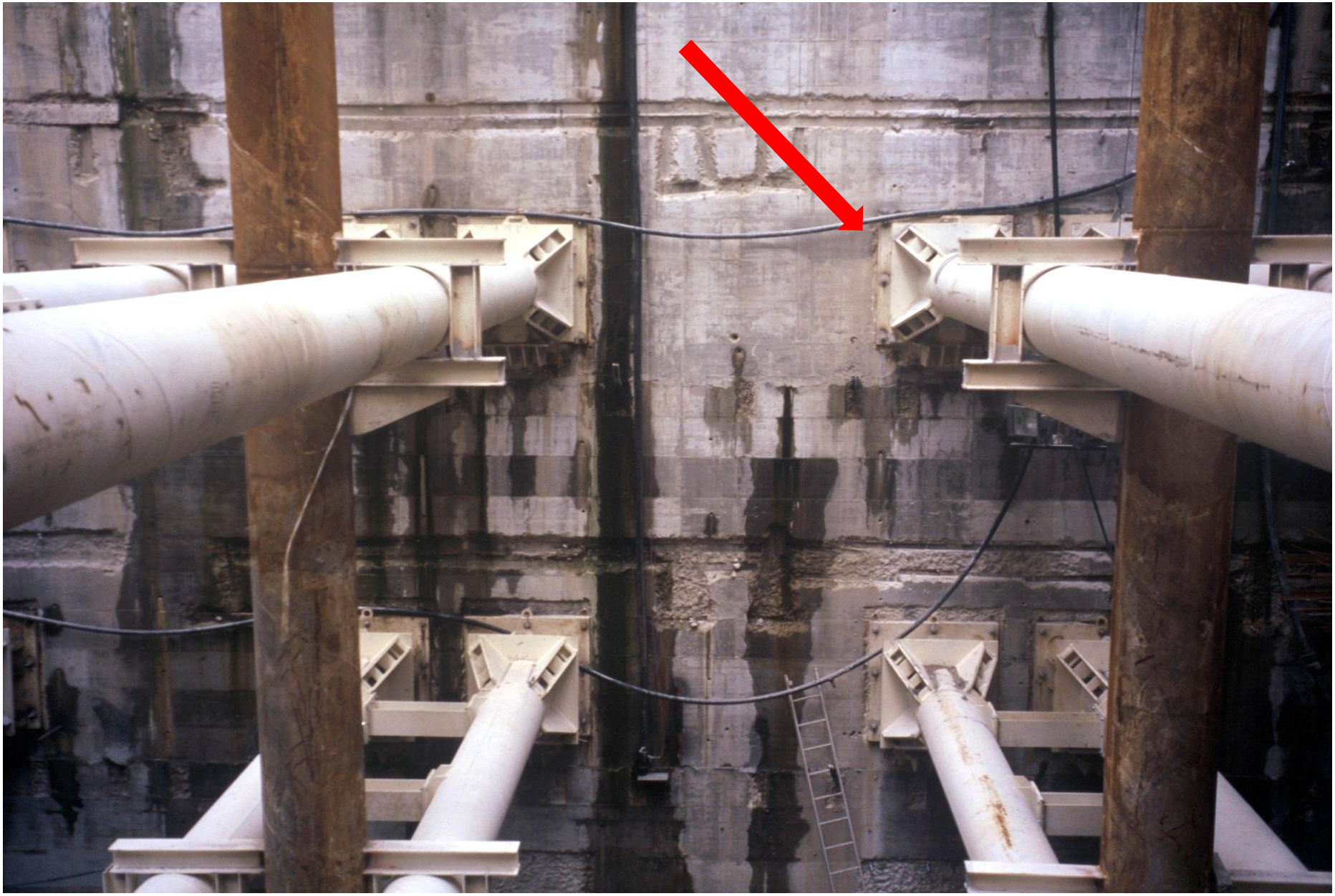
Escora sem pré-esforço



Escora com pré-esforço

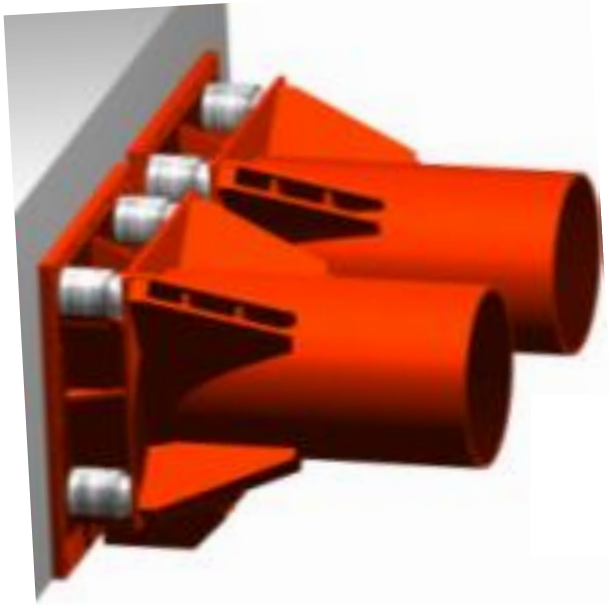


O pré-esforço das escoras assegura maior rigidez efetiva, logo menores movimentos induzidos.



Estação Terreiro do Paço, Lisboa

Cabeças das escoras
(pré-esforço = 3500 kN)





Estação Terreiro do Paço, Lisboa, 2002

17 casos de obra (1972 a 2025)

Razão da rigidez efetiva / rigidez teórica:

- mínimo 2%
- máximo 75%
- 5 casos < 10%

A nonlinear model for strut behaviour in braced excavations

D. Taborda, A. Pedro & M. Matos Fernandes

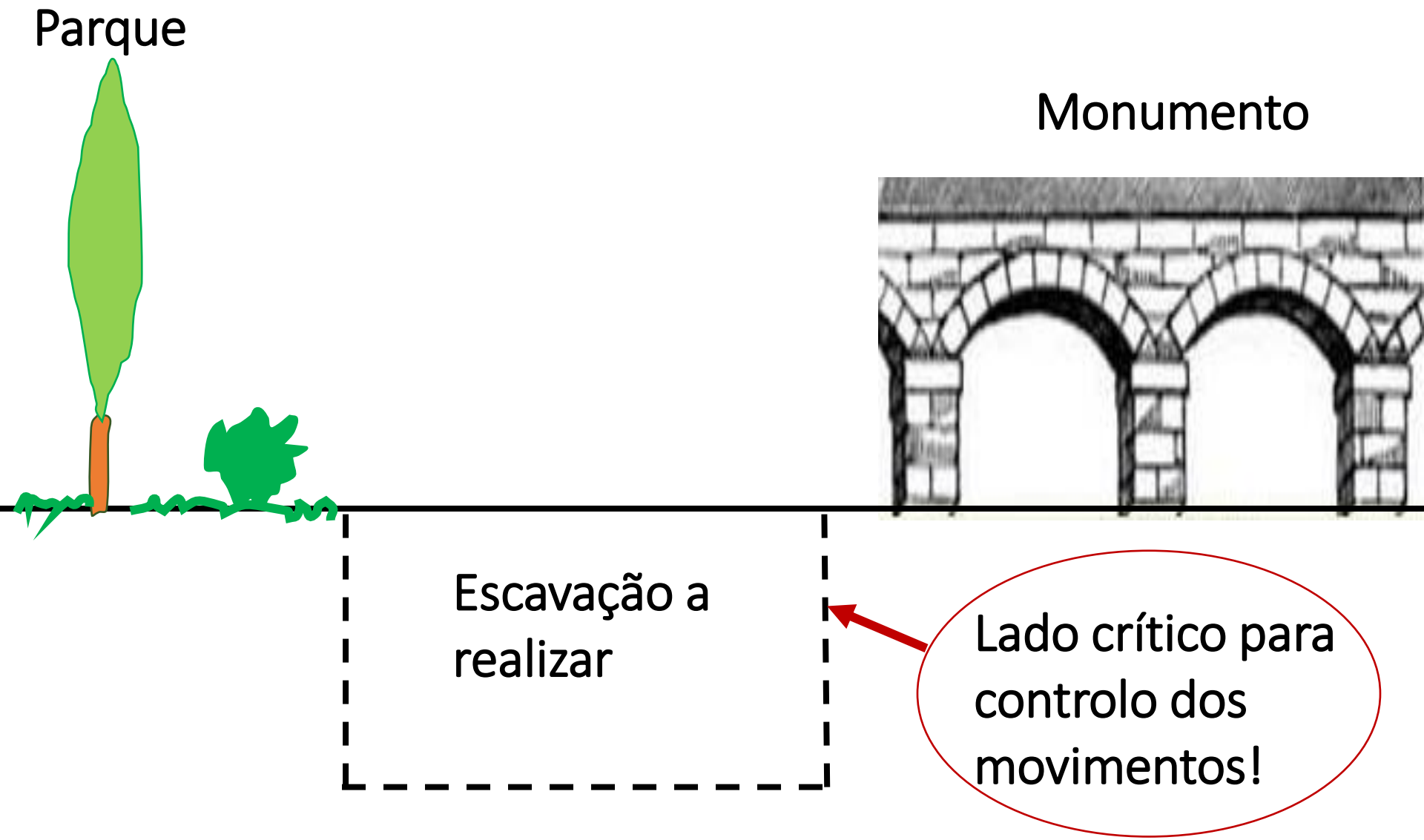
Computers and Geotechnics, 2026

II PARTE

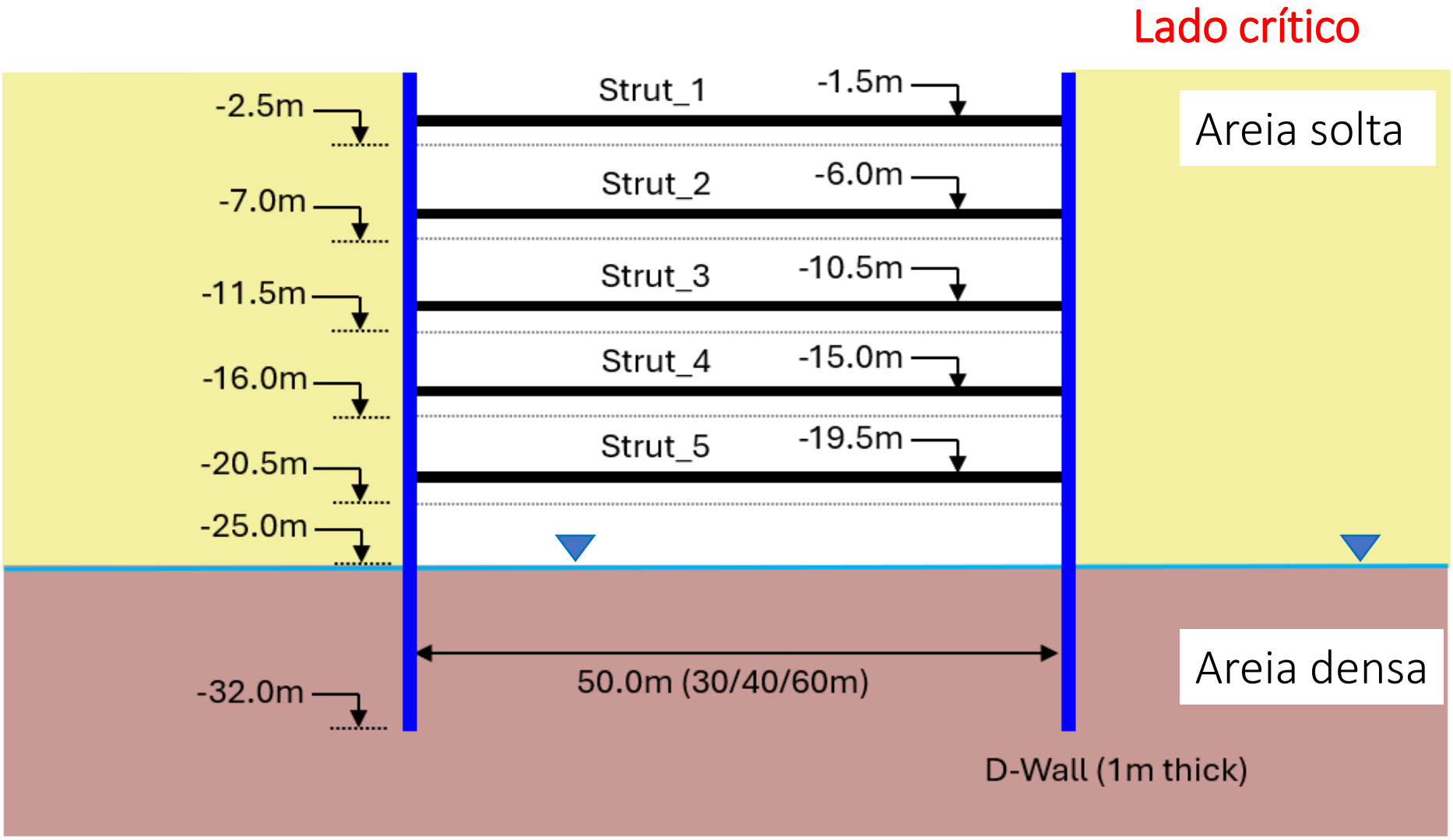
É POSSÍVEL PRÉ-ESFORÇAR O SISTEMA SEM MACACOS?

SIM! PODEMOS FAZÊ-LO ATRAVÉS DO FASEAMENTO CONSTRUTIVO.

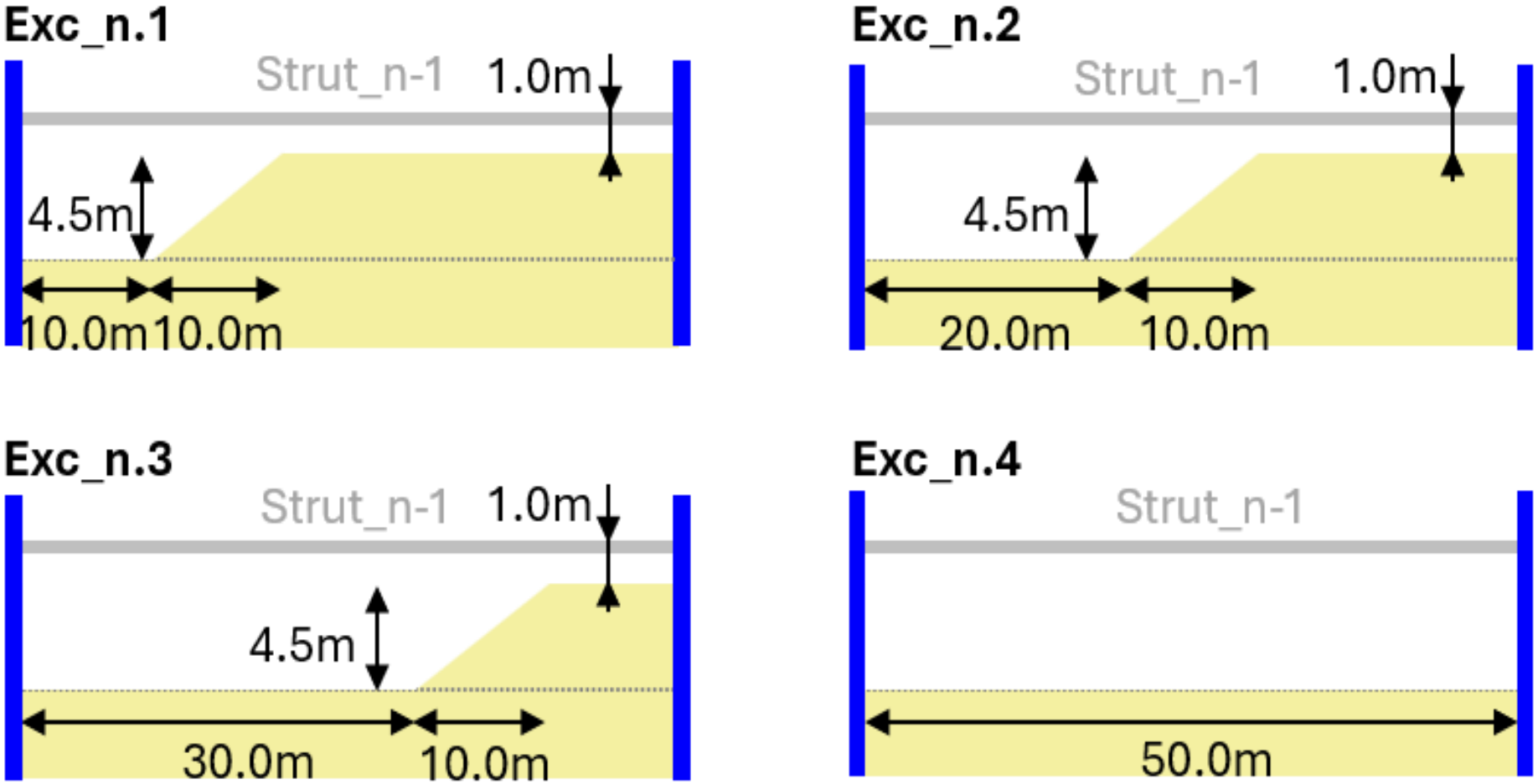
Exemplo 1 – Escavação assimétrica



Prestressing struts in braced retaining walls through asymmetric excavation staging. A. Pedro, D. Taborda, P. Gomes & M. Matos Fernandes. Trabalho submetido para publicação.



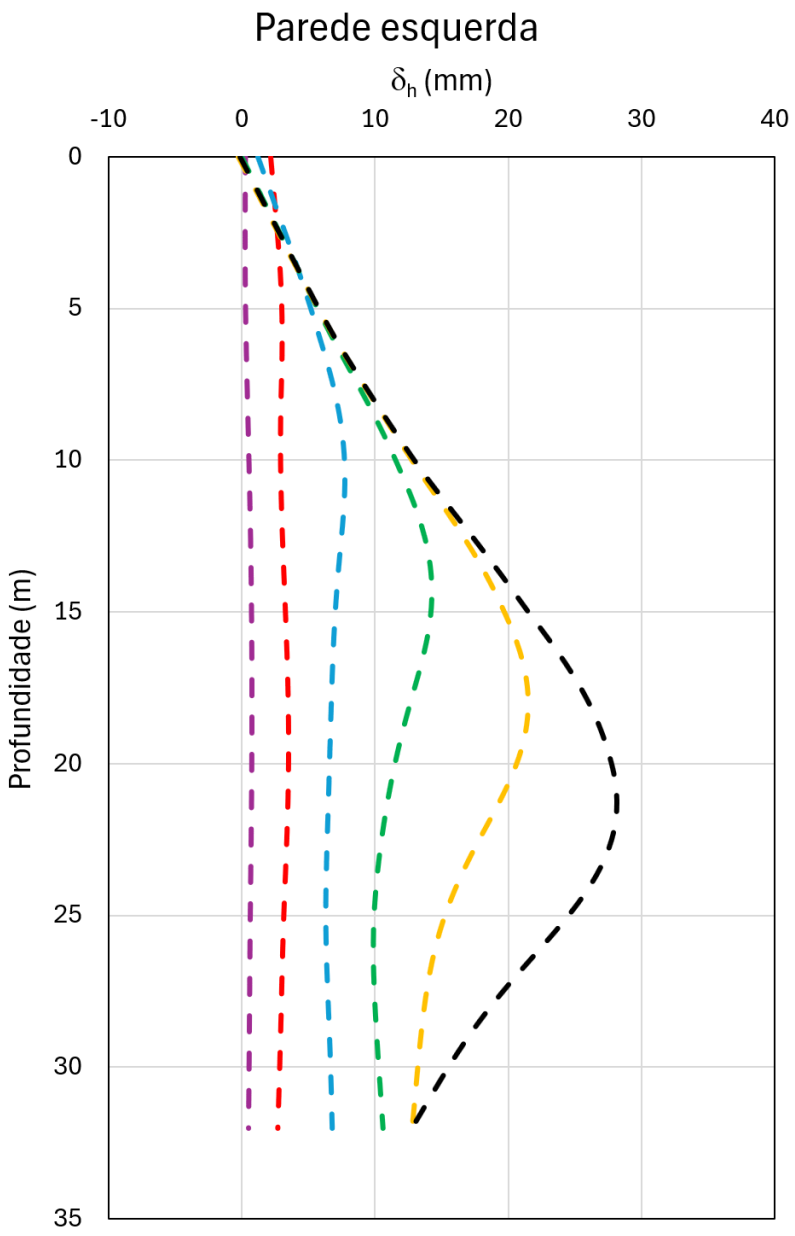
Sub-faseamento da escavação

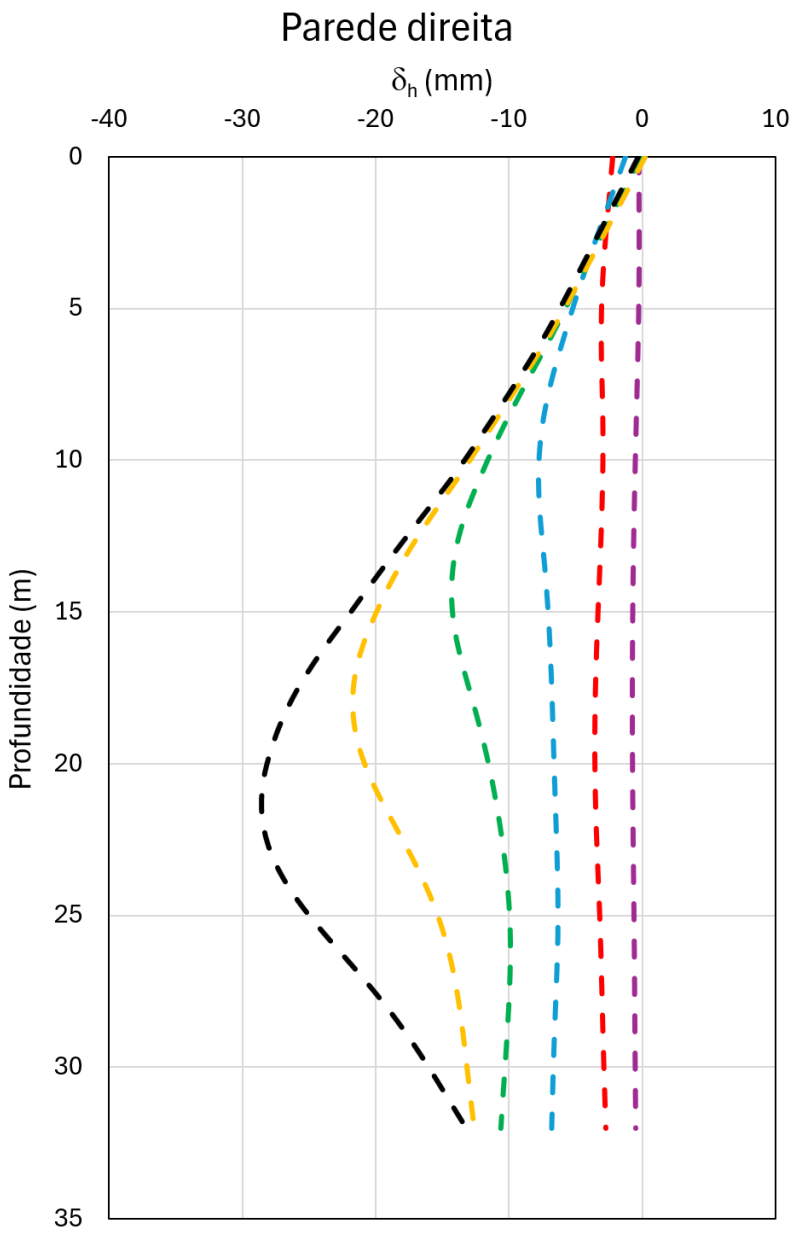


4 sub-fases de escavação progredindo da esquerda para a direita para uma escavação com 50 m de largura.

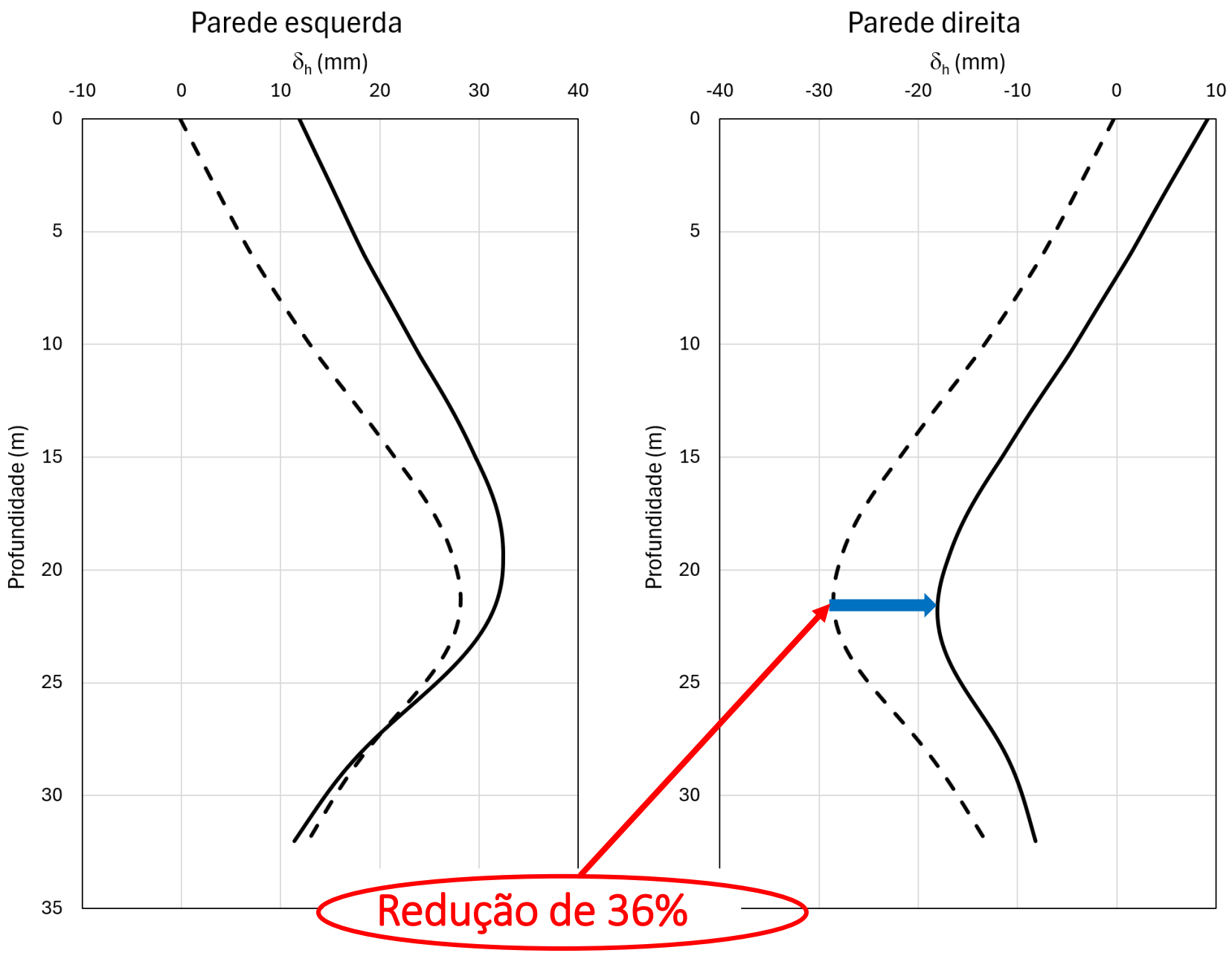
Deslocamentos para a escavação simétrica

Escoras com comportamento linear (*Kt*)



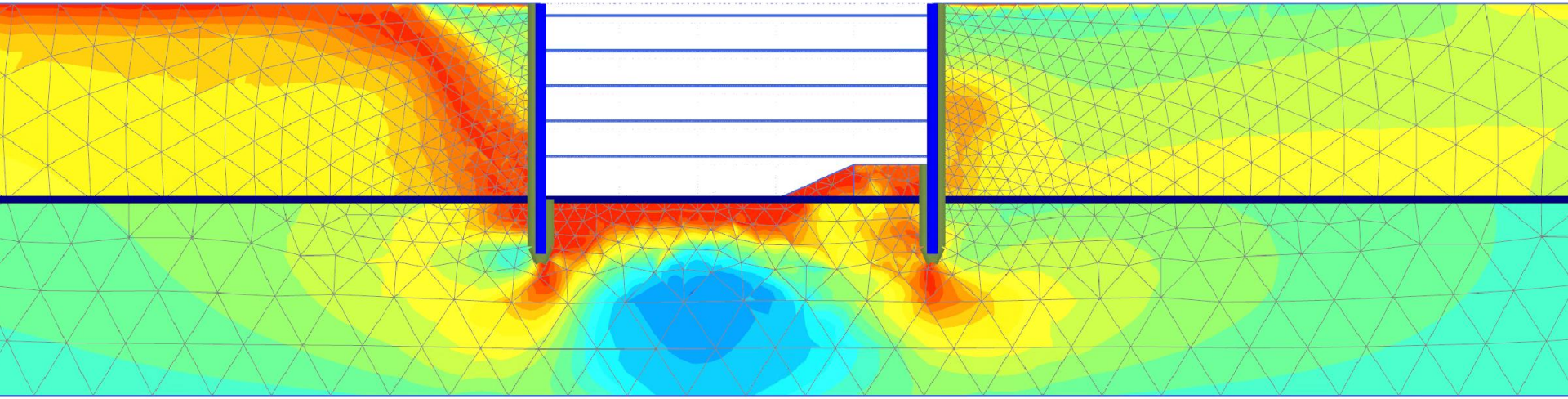


Deslocamentos finais para a escavação simétrica e assimétrica



Níveis de tensão de corte (análise assimétrica)

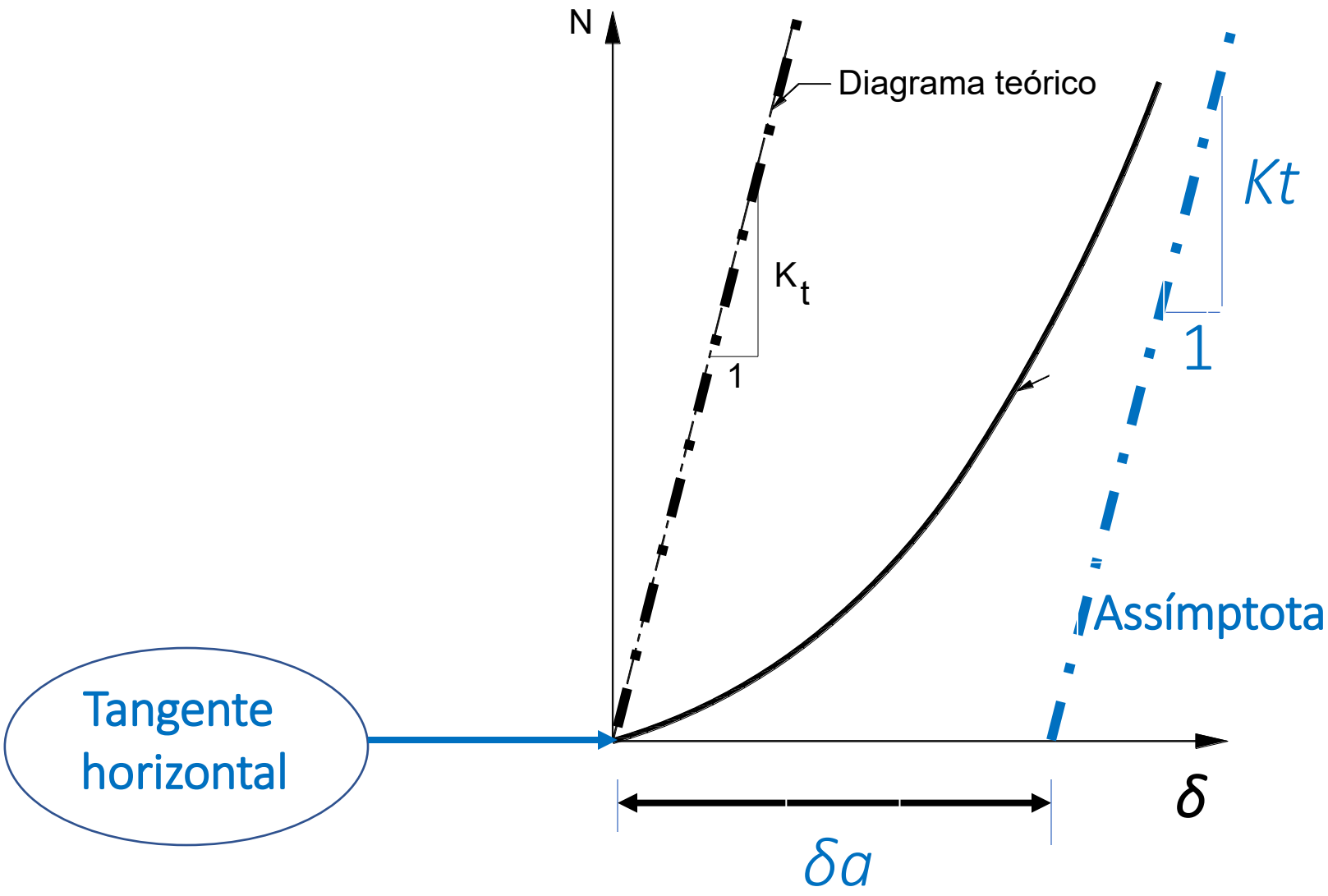
Escoras com comportamento linear (*Kt*)



Escavação 6.3

Modelo não linear para o comportamento das escoras

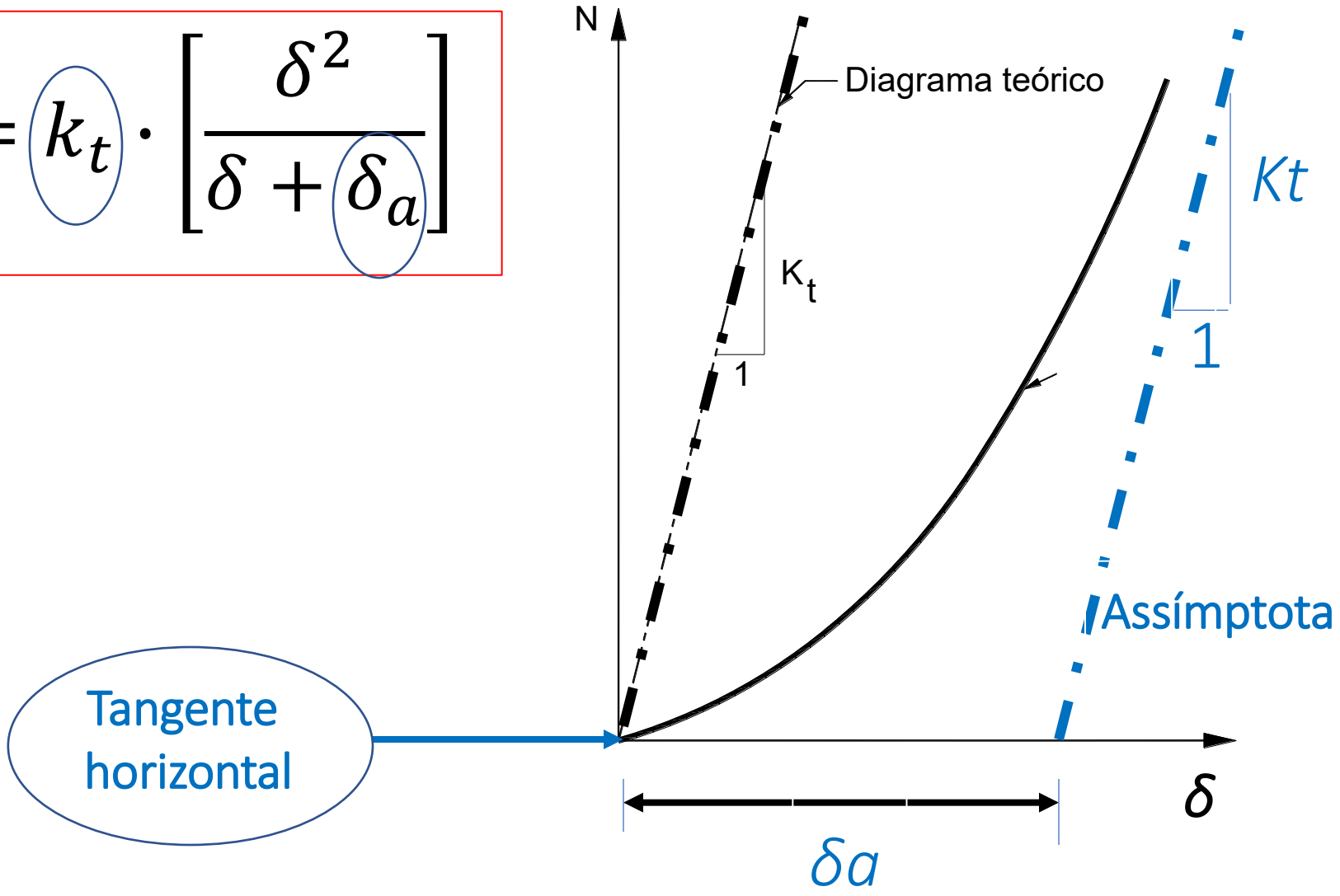
D. Taborda, A. Pedro & M. Matos Fernandes, Computers and Geotechnics, 2026



Modelo não linear para o comportamento das escoras

D. Taborda, A. Pedro & M. Matos Fernandes, Computers and Geotechnics, 2026

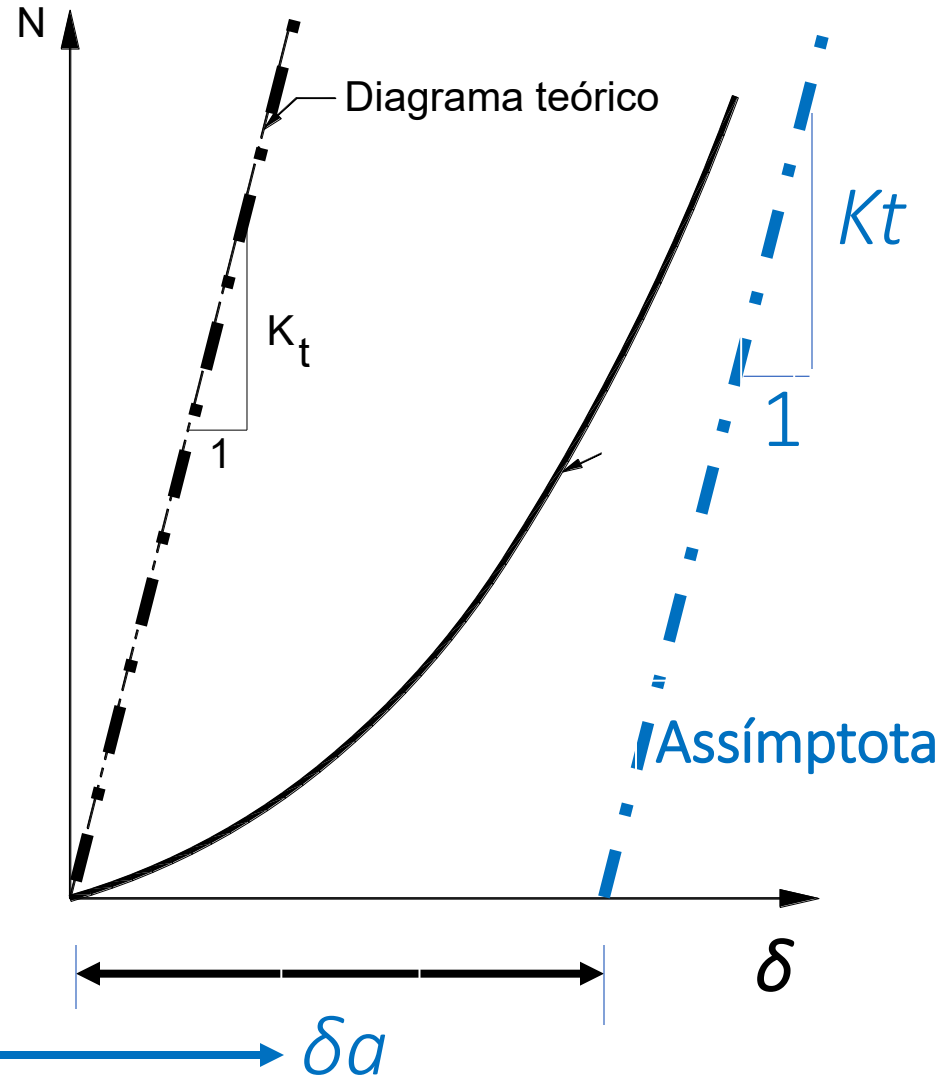
$$F = k_t \cdot \left[\frac{\delta^2}{\delta + \delta_a}\right]$$



Modelo não linear para o comportamento das escoras

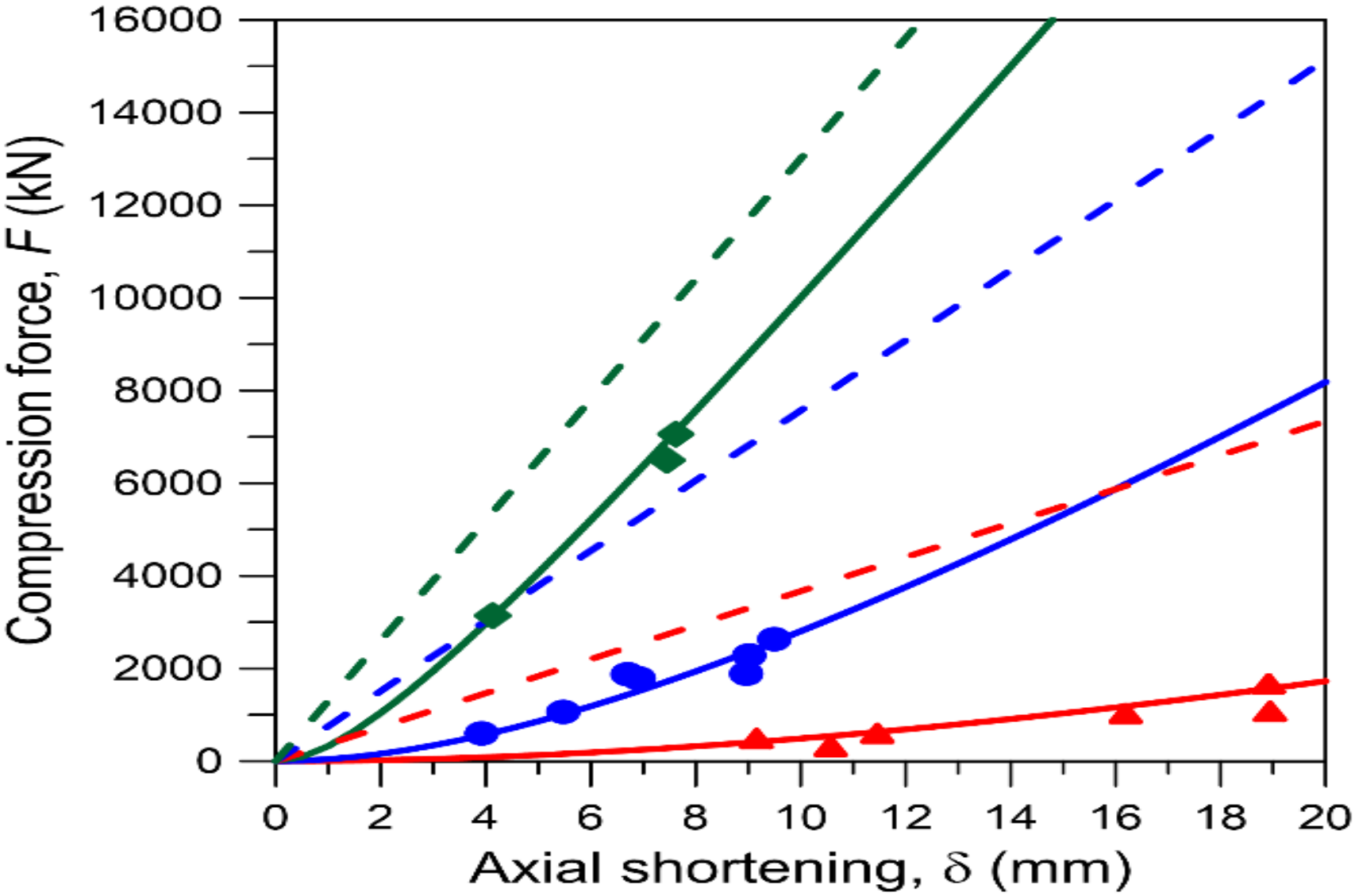
D. Taborda, A. Pedro & M. Matos Fernandes, Computers and Geotechnics, 2026

$$F = k_t \cdot \left[\frac{\delta^2}{\delta + \delta_a}\right]$$

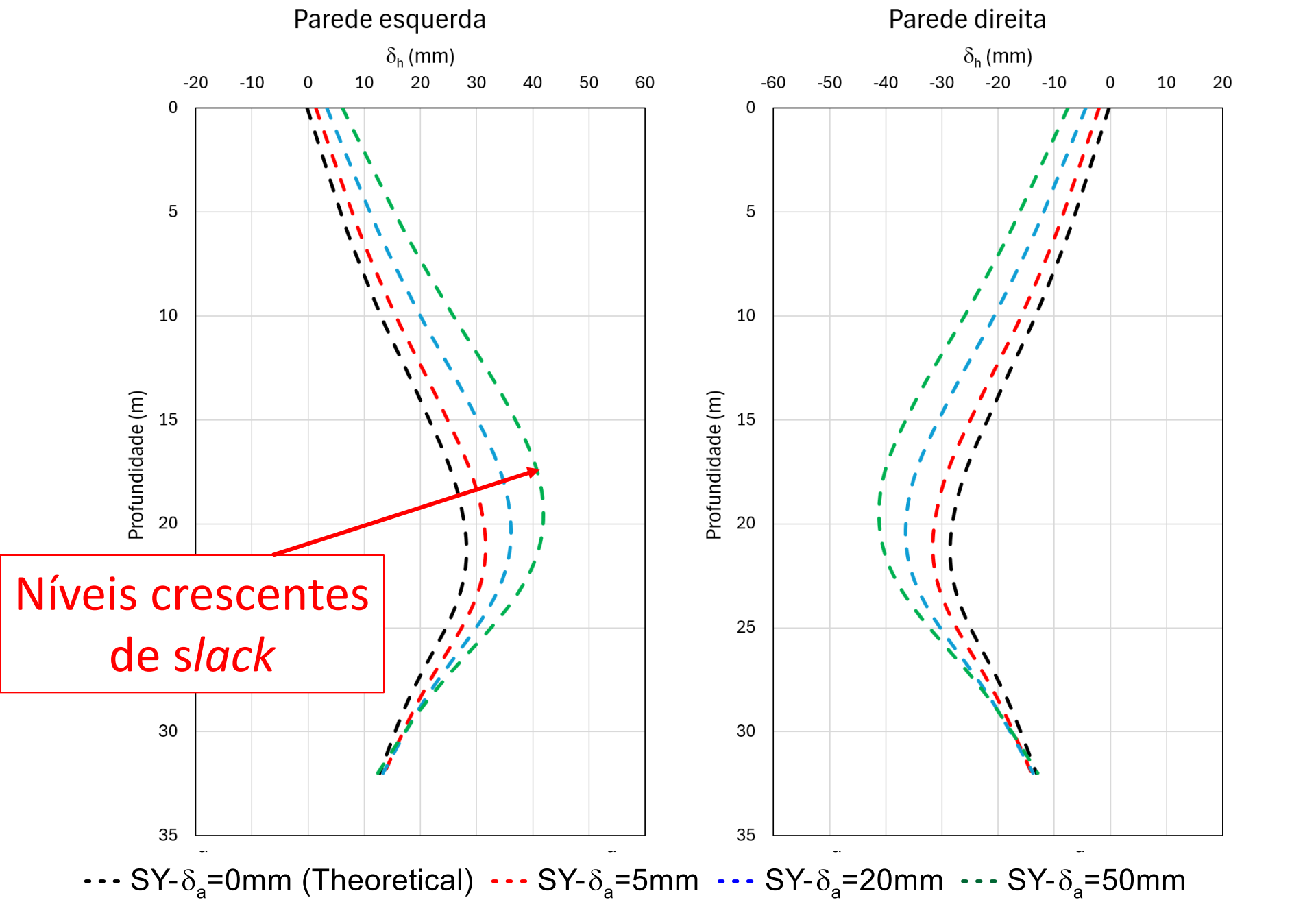


Indicador
da qualidade da ligação
(*slack*)

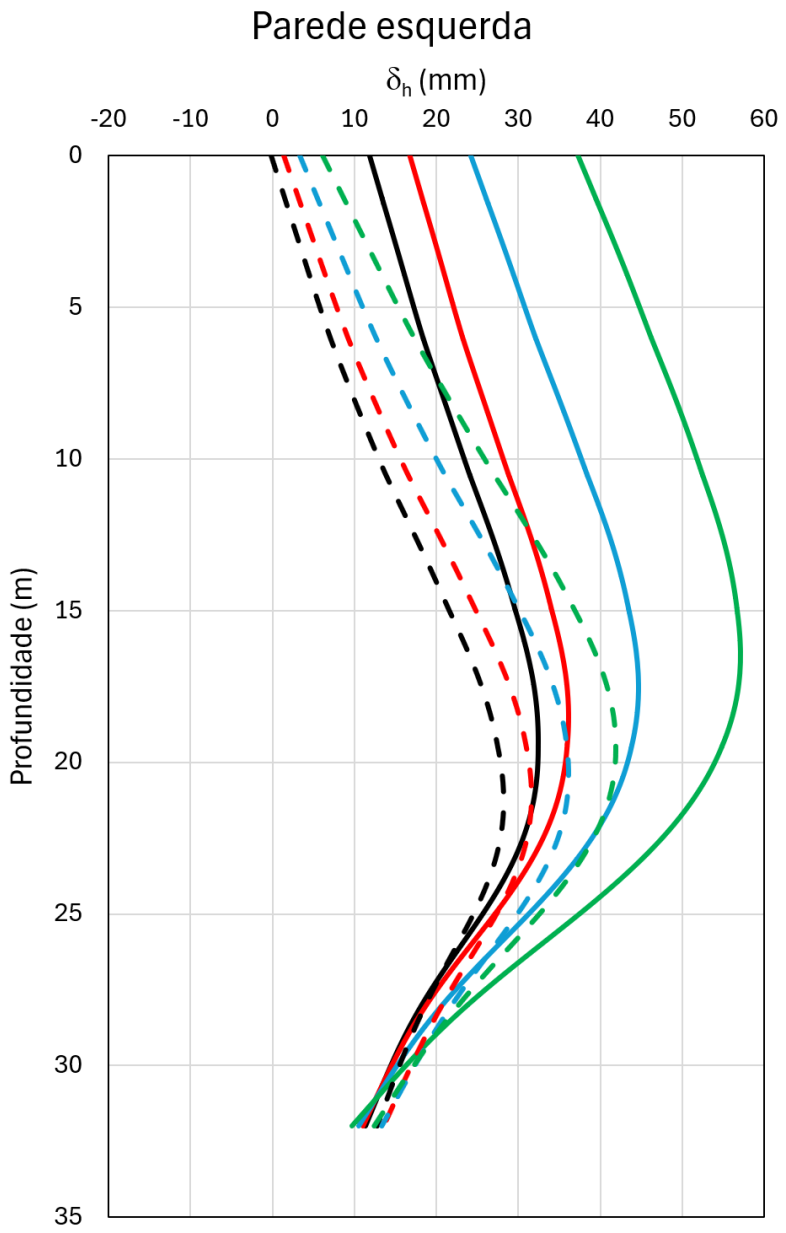
Calibração do modelo não linear contra 3 casos de obra

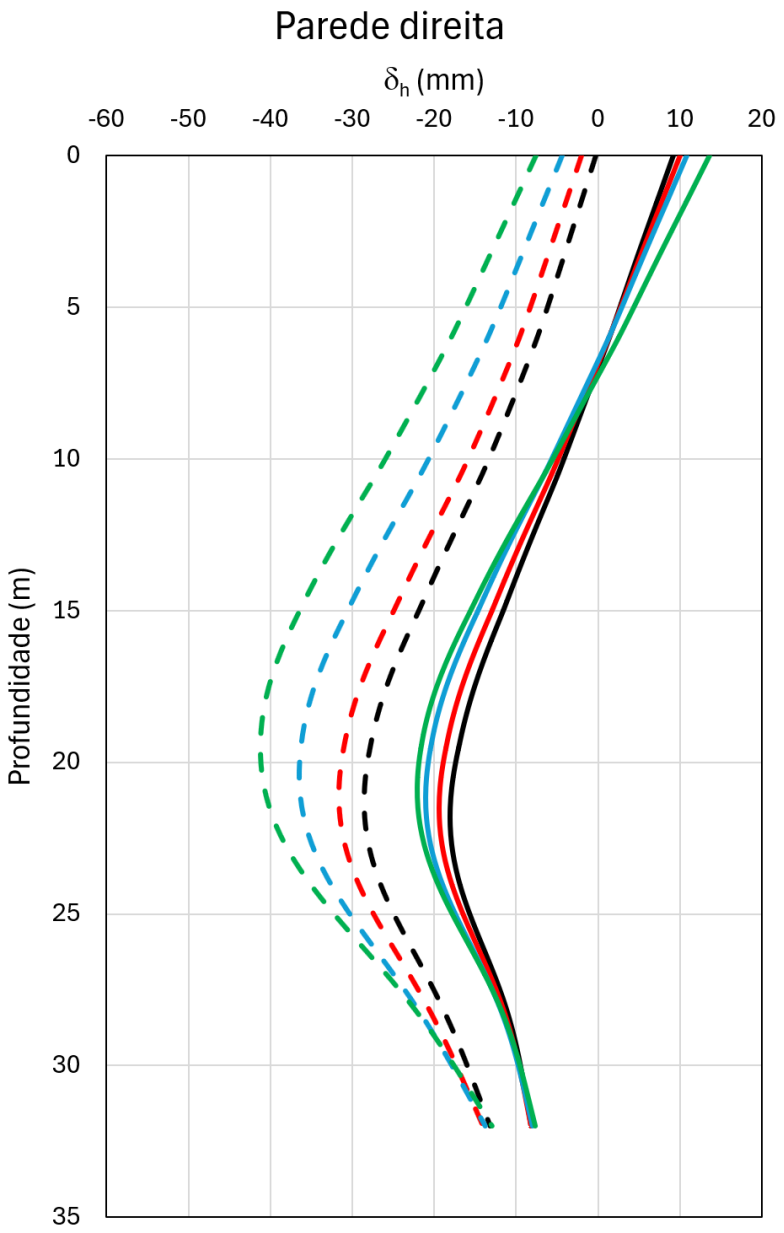


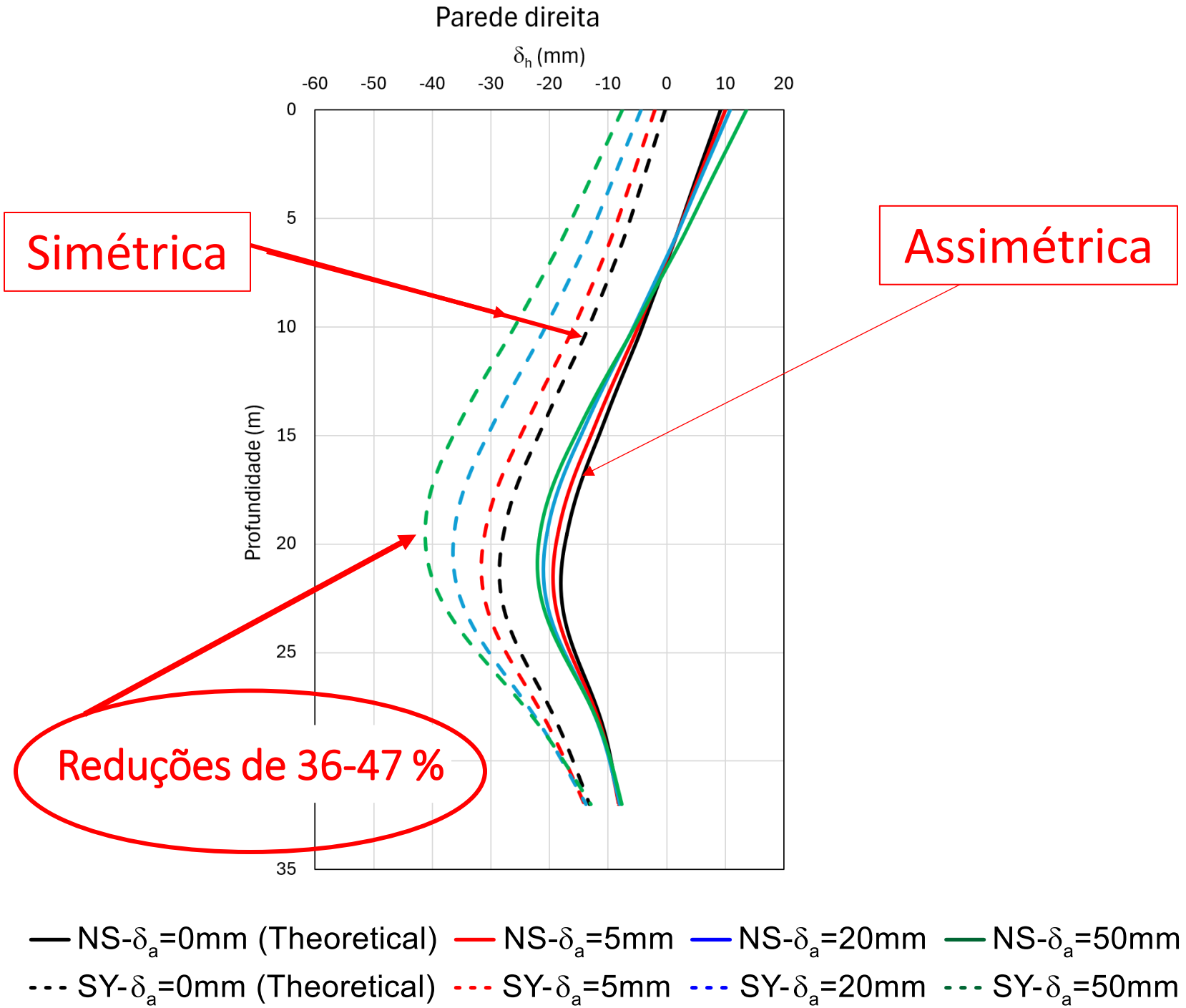
Deslocamentos finais para a escavação simétrica



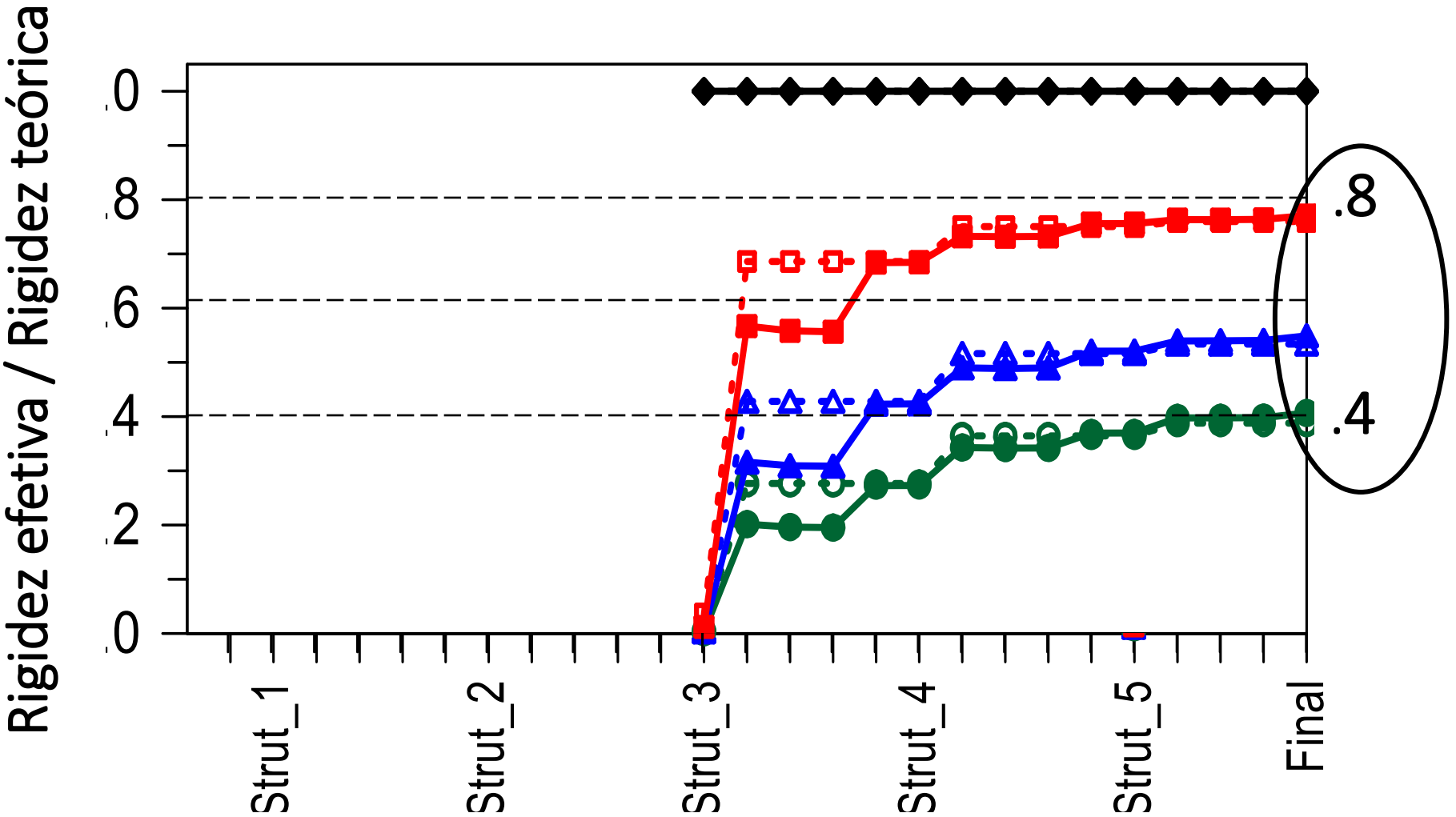
Deslocamentos finais para a escavação simétrica e assimétrica



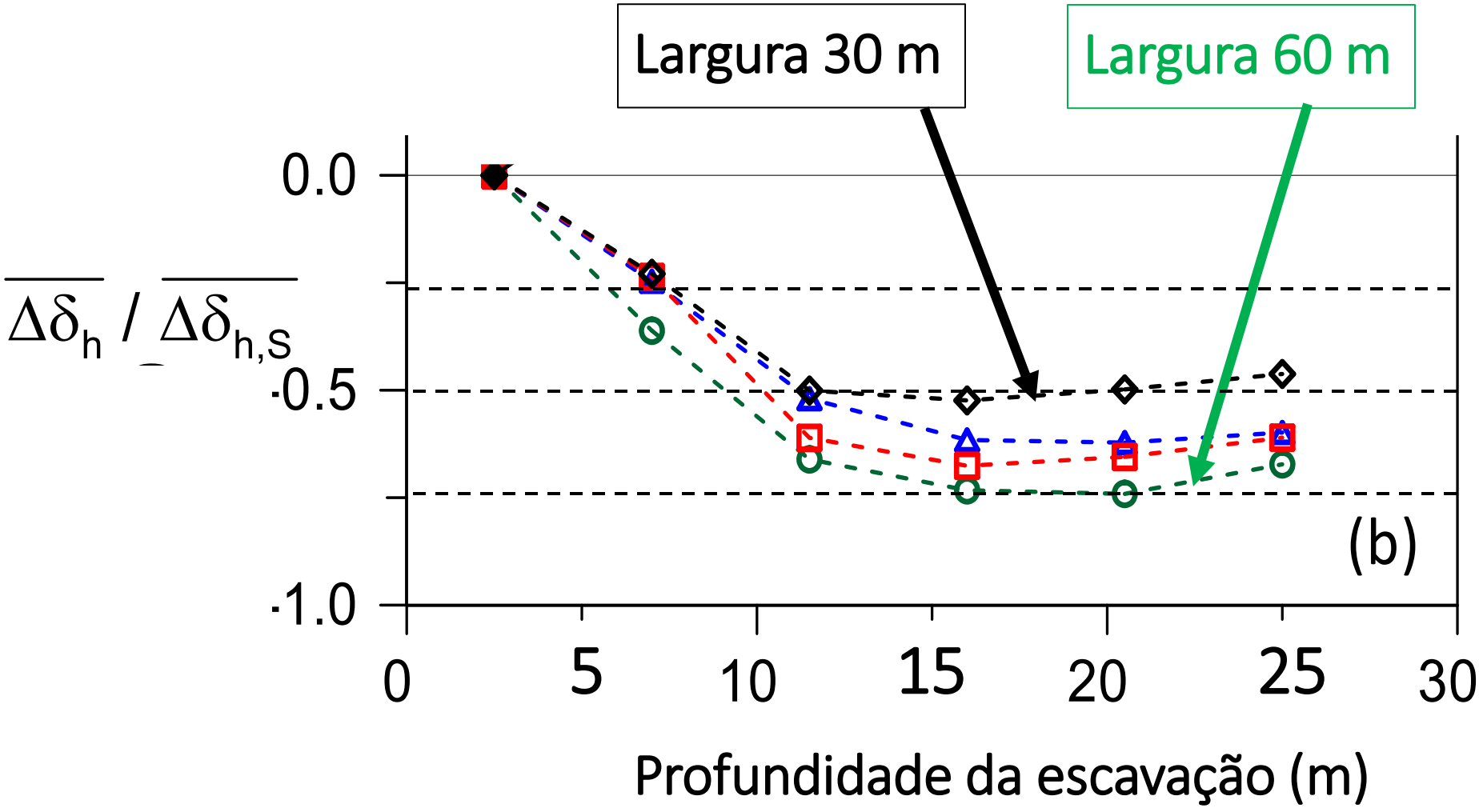



Parede direita
δ_h (mm)
-60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20
0 5 10 15 20 25 35
Profundidade (m)
Simétrica
Assimétrica
Reduções de 36-47 %
NS-δ_a=0mm (Theoretical)
NS-δ_a=5mm
NS-δ_a=20mm
NS-δ_a=50mm
SY-δ_a=0mm (Theoretical)
SY-δ_a=5mm
SY-δ_a=20mm
SY-δ_a=50mm

Evolução da rigidez efetiva para o nível de escoras 3



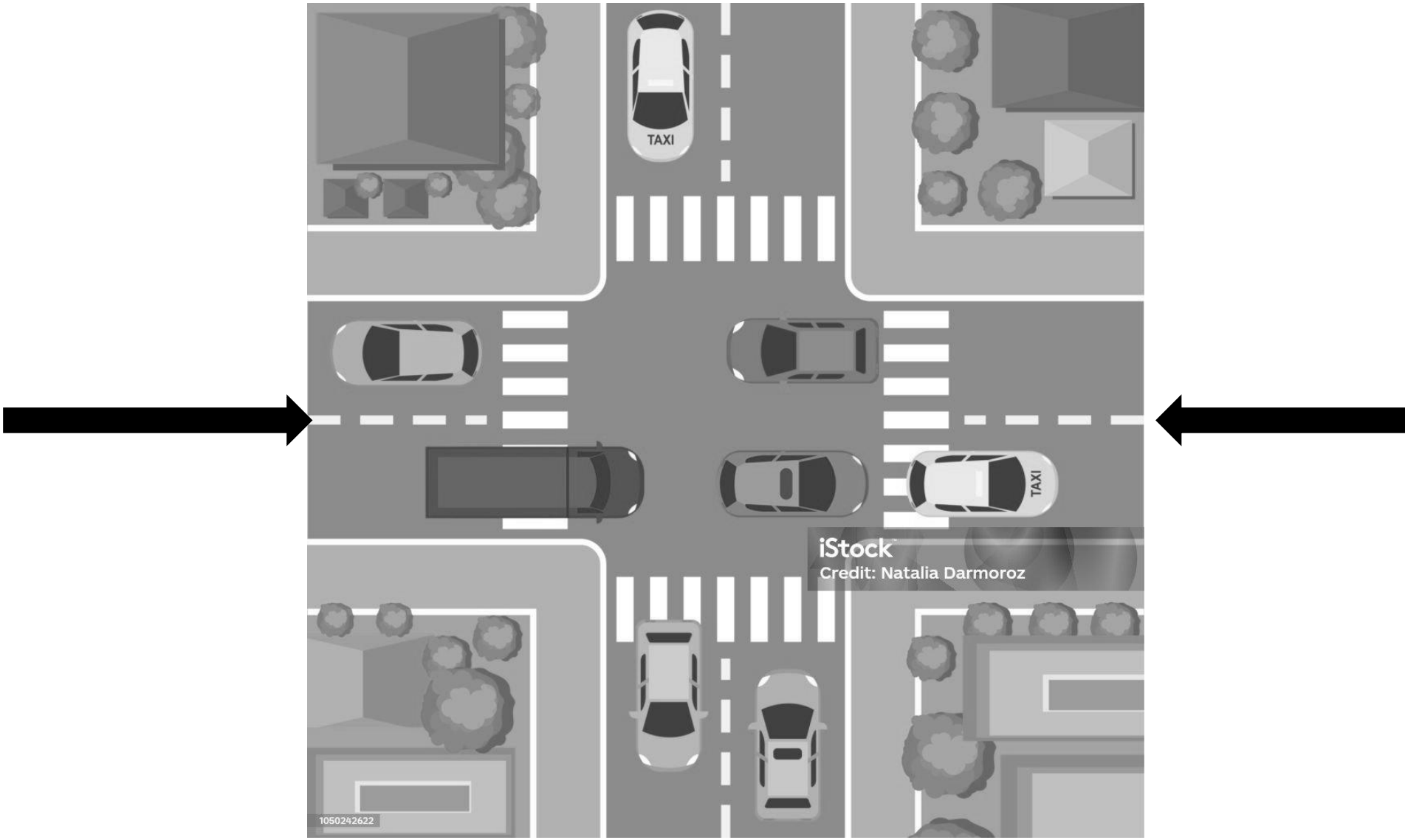
Redução do deslocamento médio em relação à escavação simétrica
(influência da profundidade e da largura da escavação)



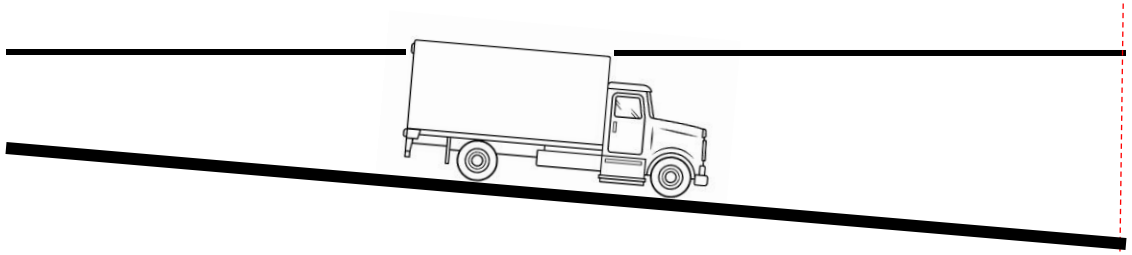
Em muitos casos obra reportados na literatura a variabilidade dos deslocamentos observados foi influenciada pela sequência real de remoção do solo em cada fase.

Isto é, a sequência real de cada caso introduziu inevitavelmente algum *ruído* nos movimentos observados reportados na literatura .

Exemplo 2 - cruzamento desnivelado

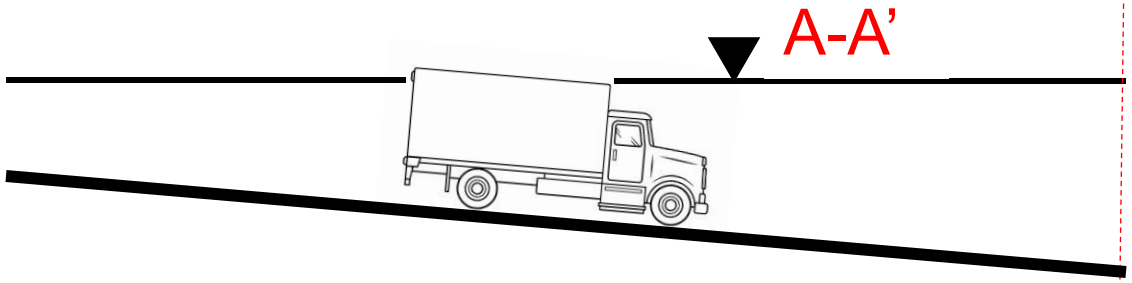


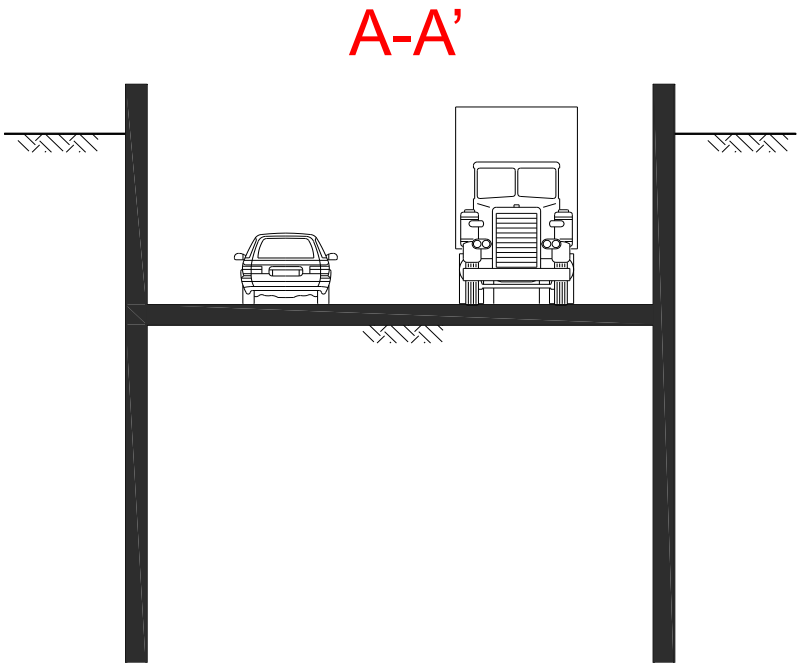
EXEMPLO 2 cruzamento desnivelado



EXEMPLO 2 cruzamento desnivelado

Cortina cantilever

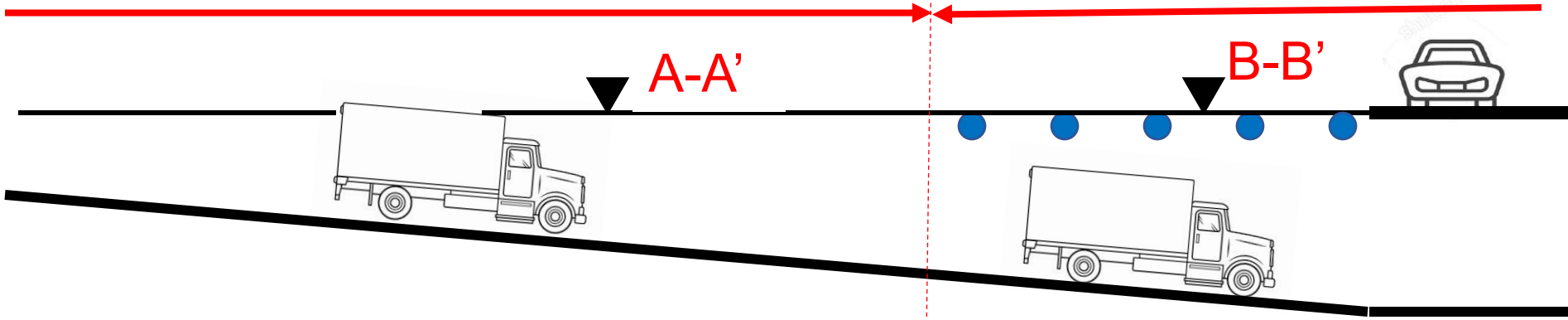




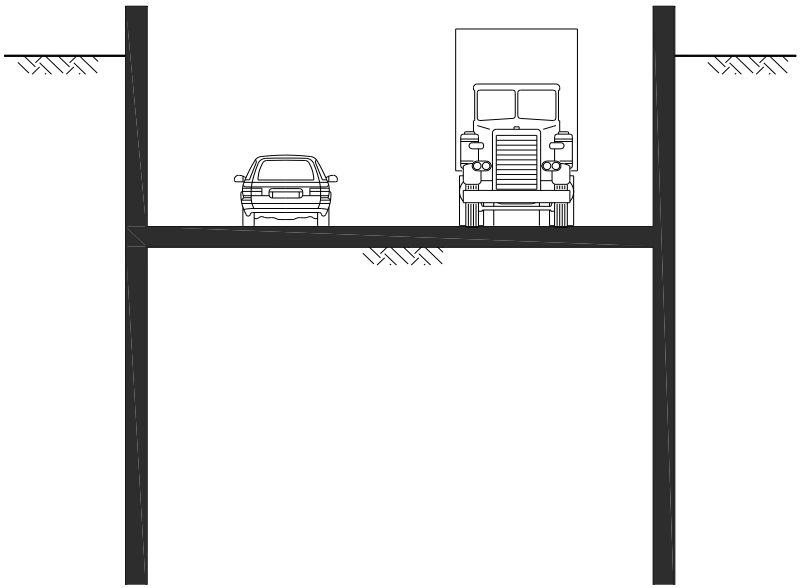
EXEMPLO 2 cruzamento desnivelado

Cortina cantilever

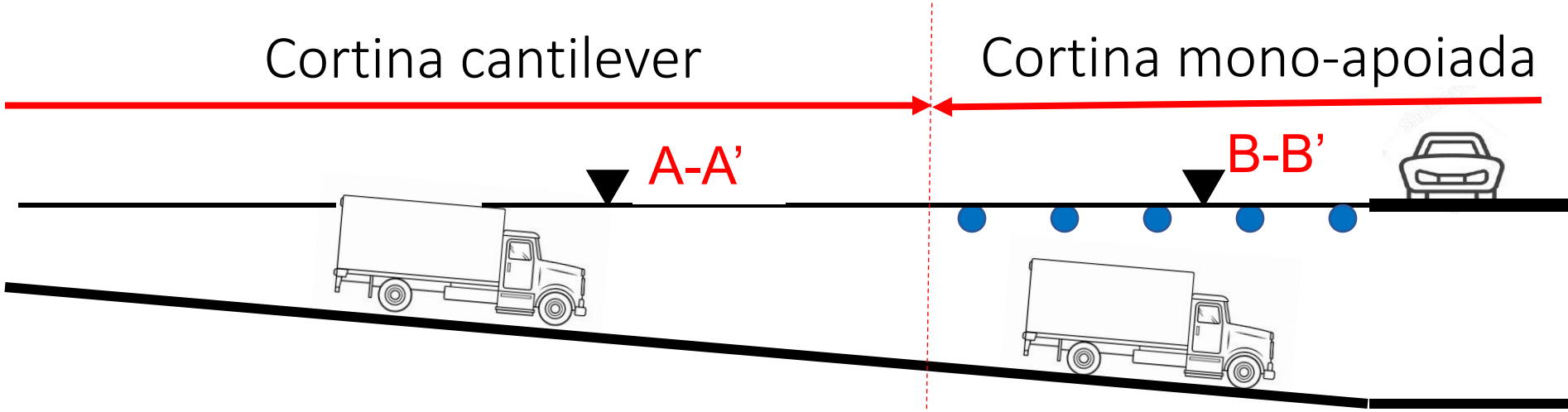
Cortina mono-apoiada

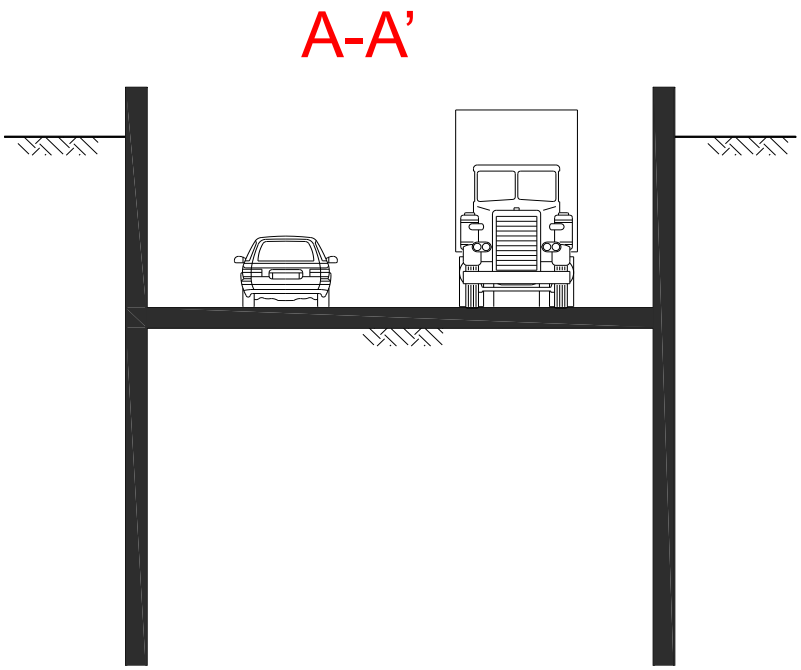


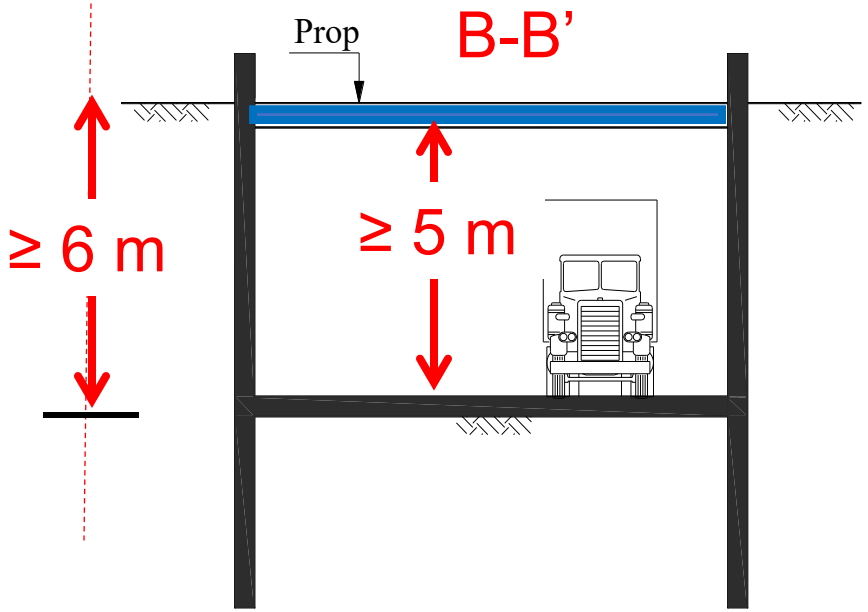
A-A’



EXEMPLO 2 cruzamento desnivelado

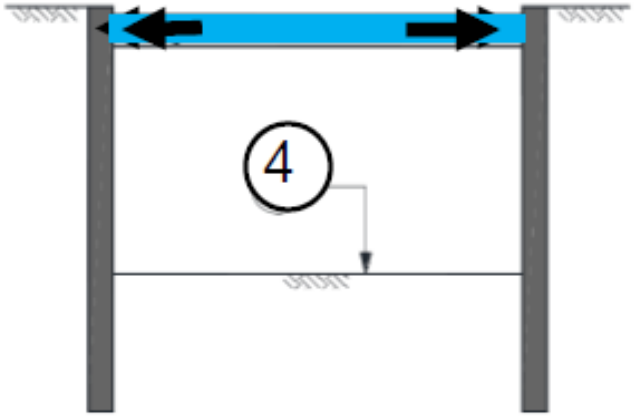


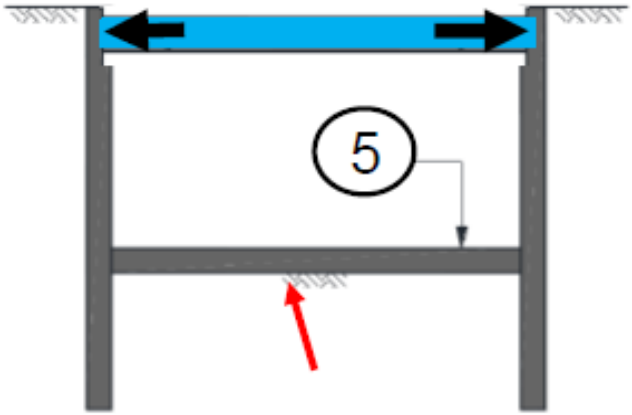




Solução combinando os dois tipos de estrutura em fases diferentes da construção

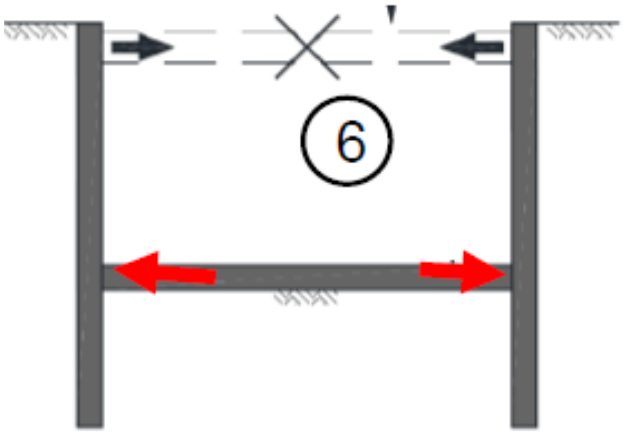
Escavação com escora provisória



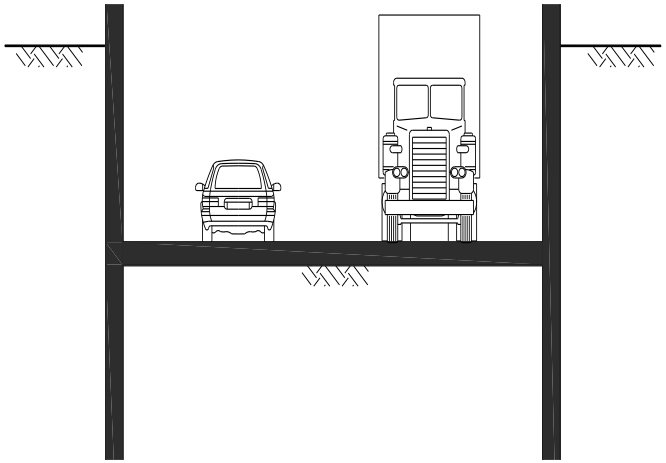


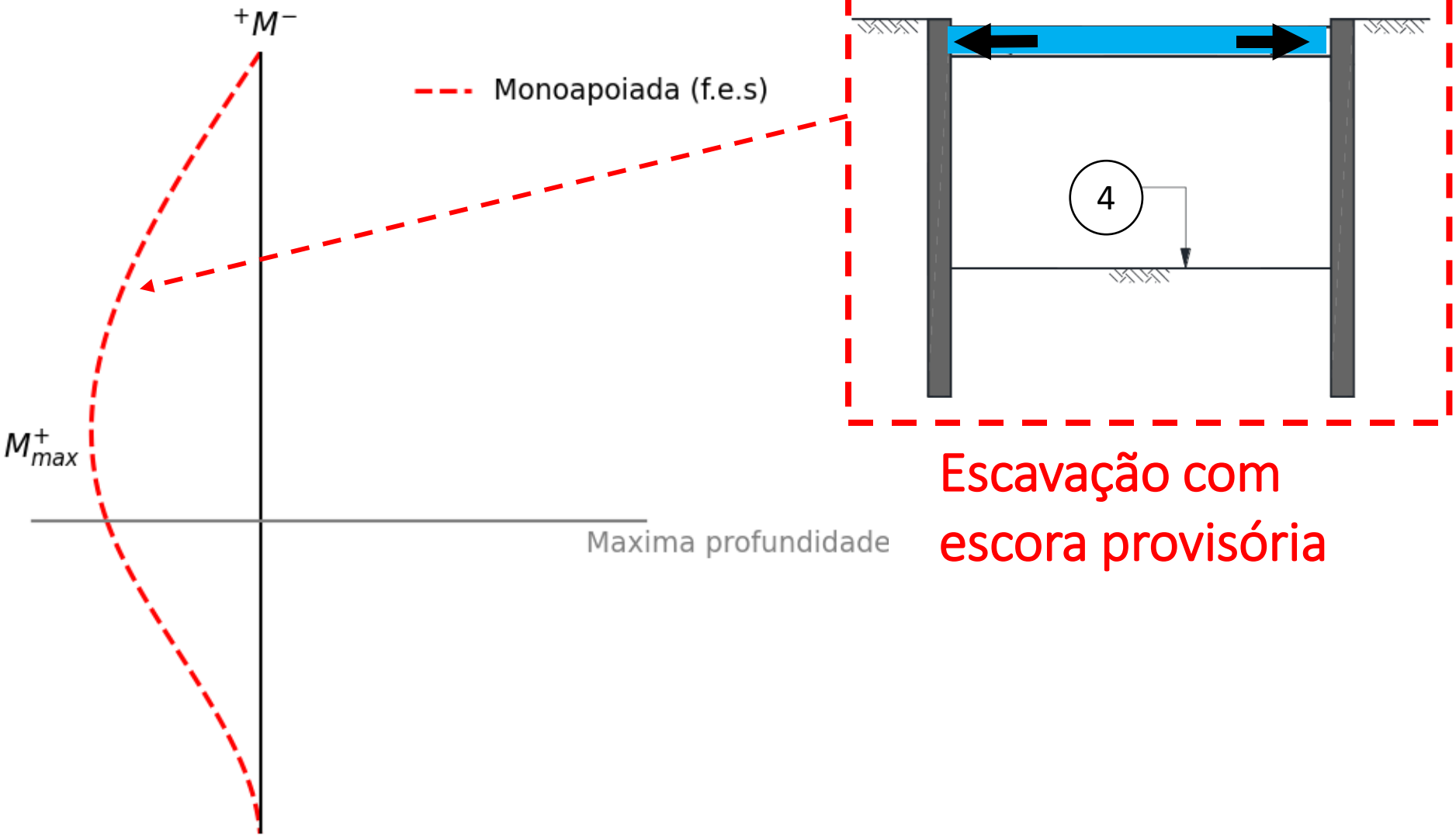
Pavimento rígido

Retirada da escora provisória



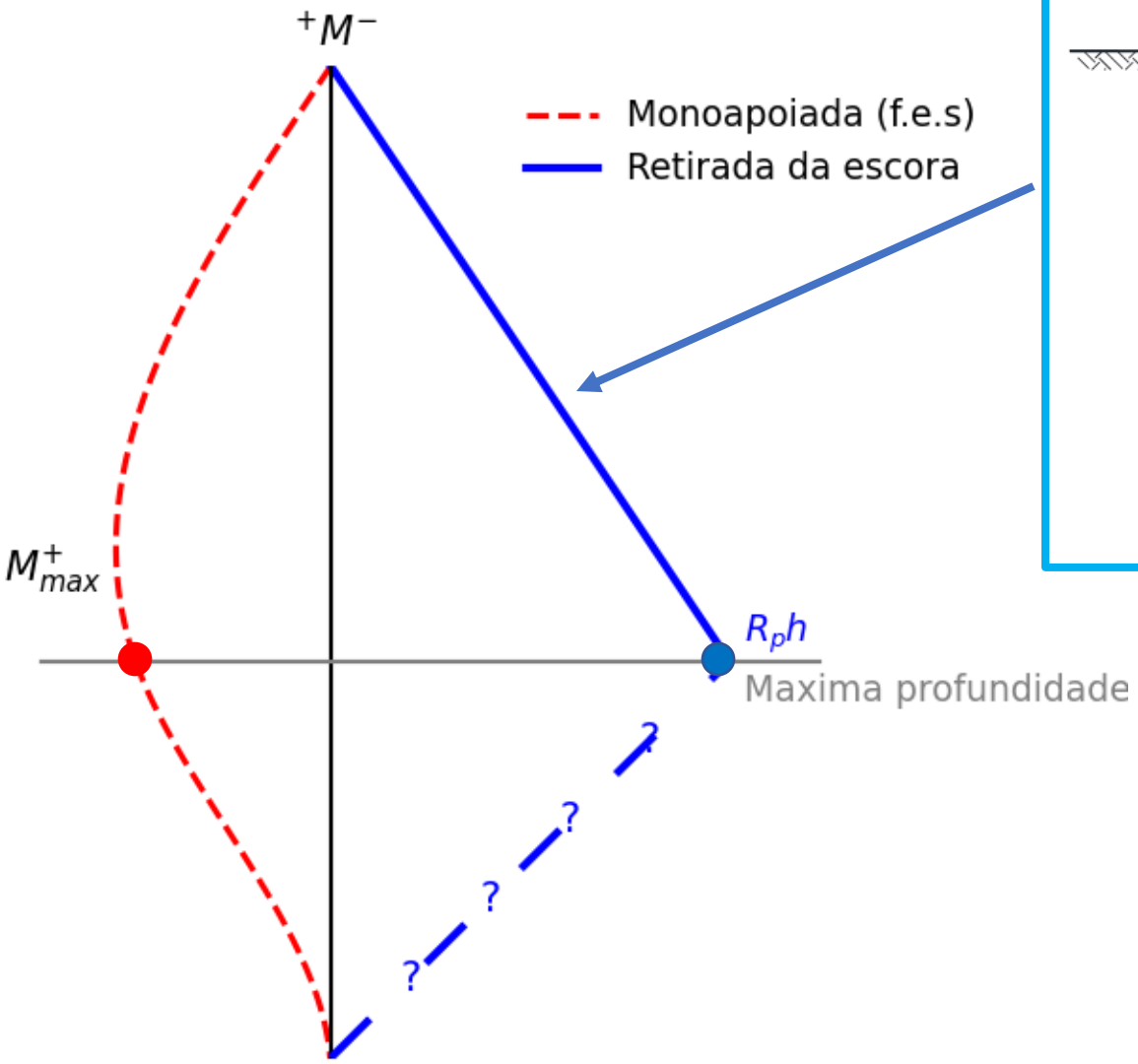
Fim da construção

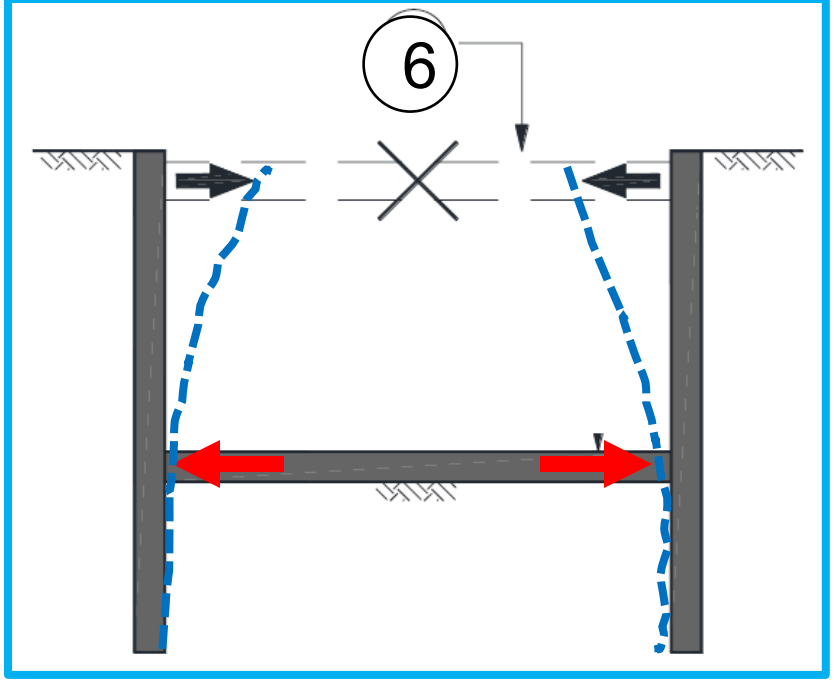




Escavação com escora provisória

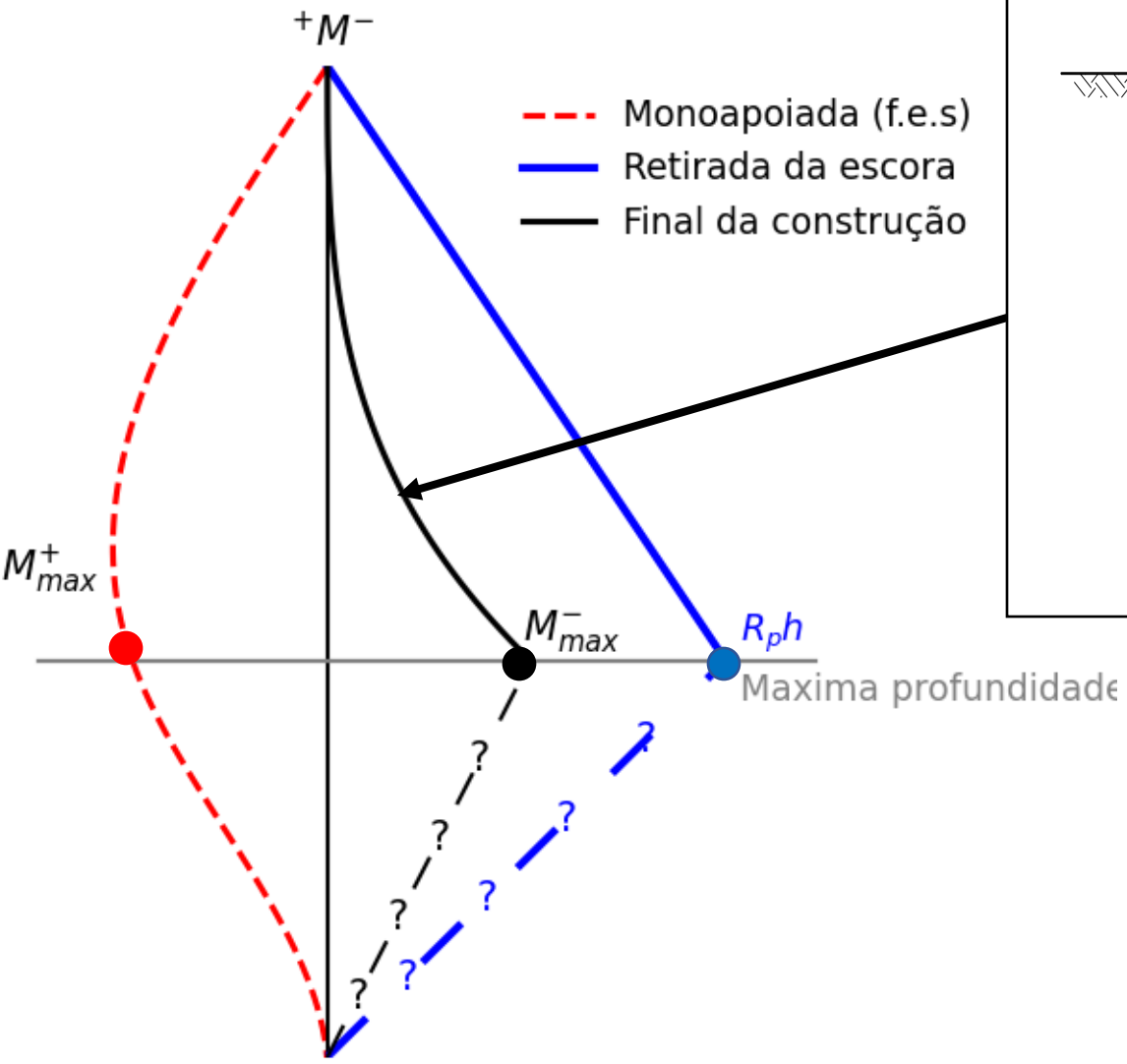
Rios, S., Almeida e Sousa, J. & Matos Fernandes, M. (2026). Embedded retaining wall design combining a temporary top prop with a permanent slab at formation level. Journal of ???????.

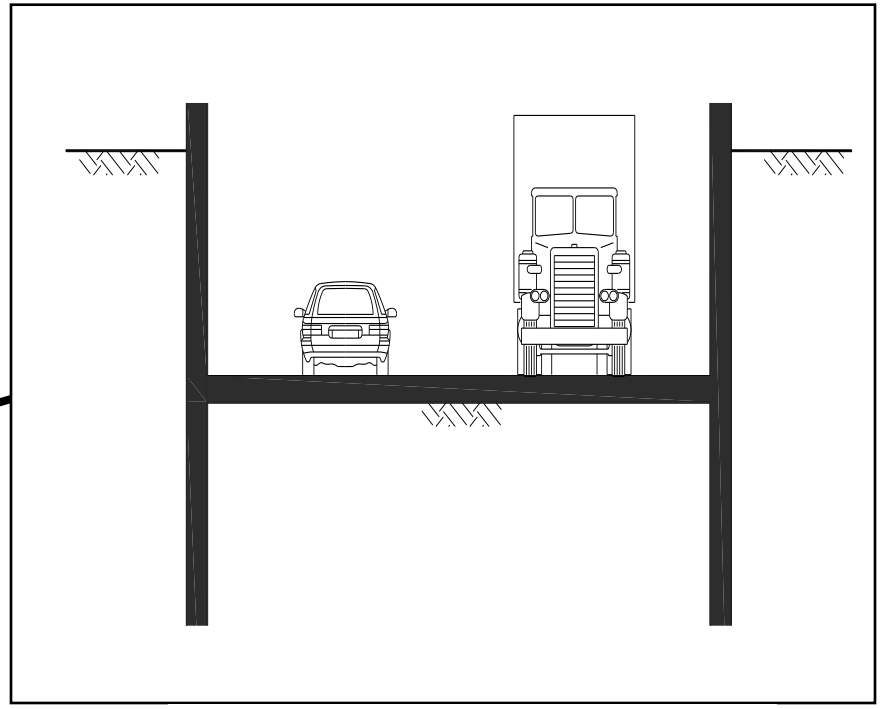




Pavimento rígido.
Retirada da escora provisória

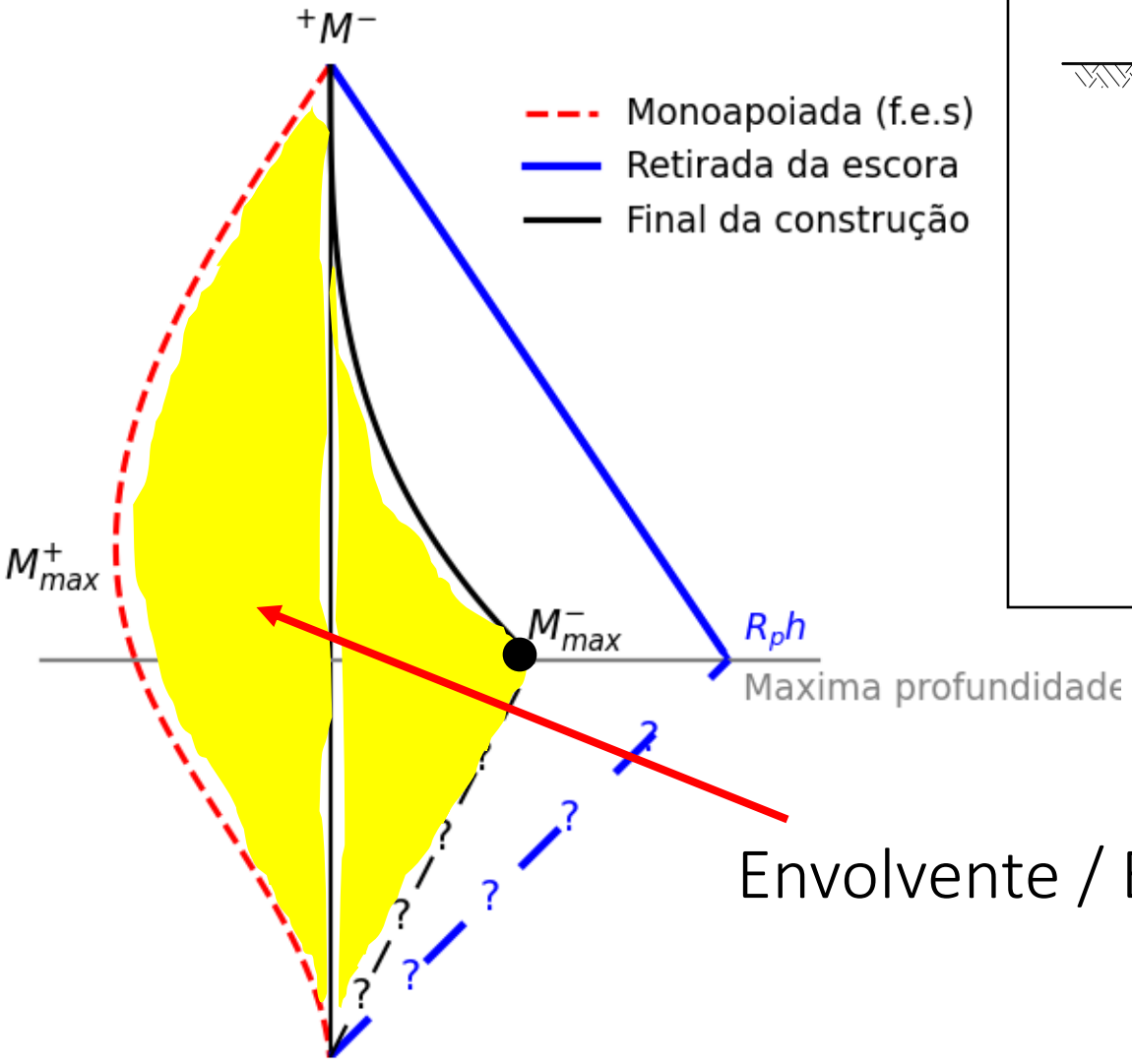
Rios, S., Almeida e Sousa, J. & Matos Fernandes, M. (2026). Embedded retaining wall design combining a temporary top prop with a permanent slab at formation level. Journal of ???????.

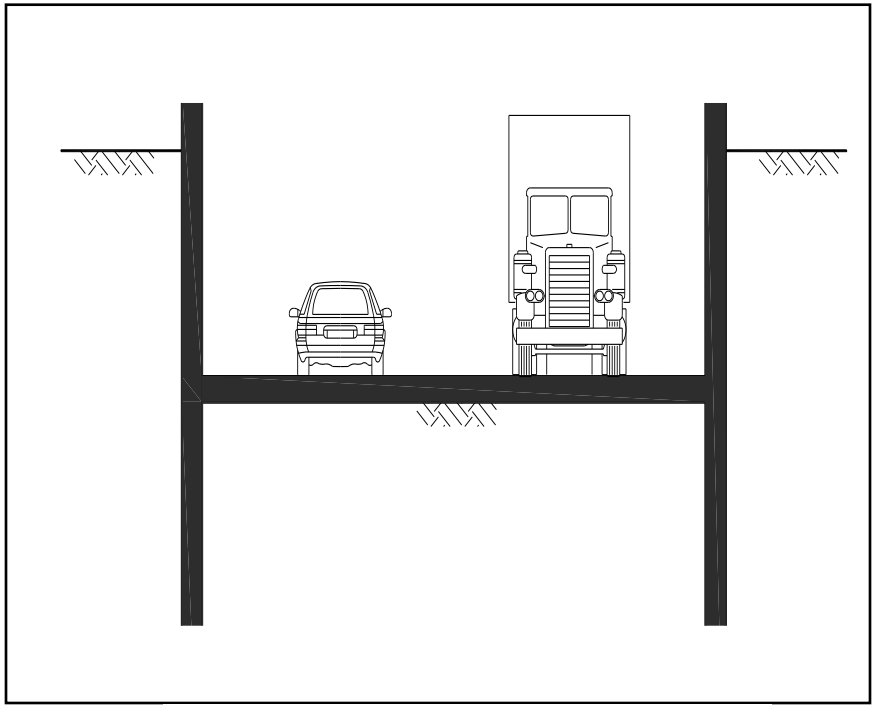




Fim da construção

Rios, S., Almeida e Sousa, J. & Matos Fernandes, M. (2026). Embedded retaining wall design combining a temporary top prop with a permanent slab at formation level. Journal of ???????.

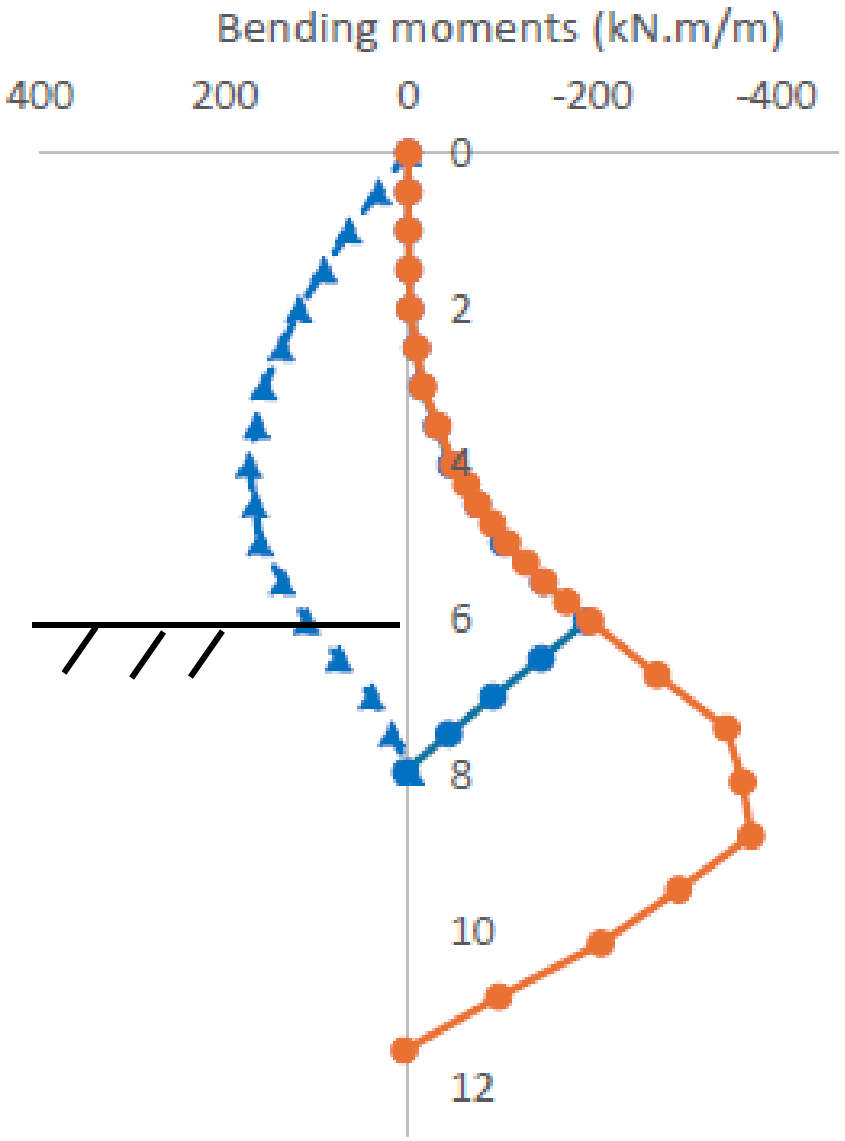


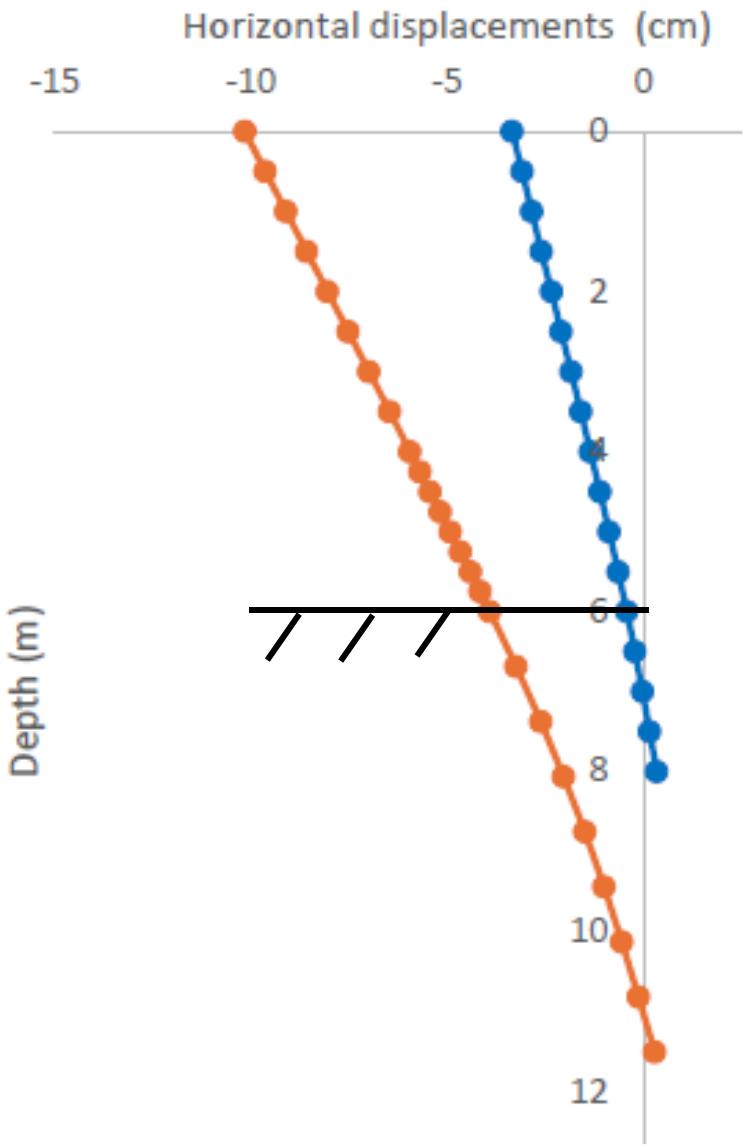


Fim da construção

Envolvente / Envoltória

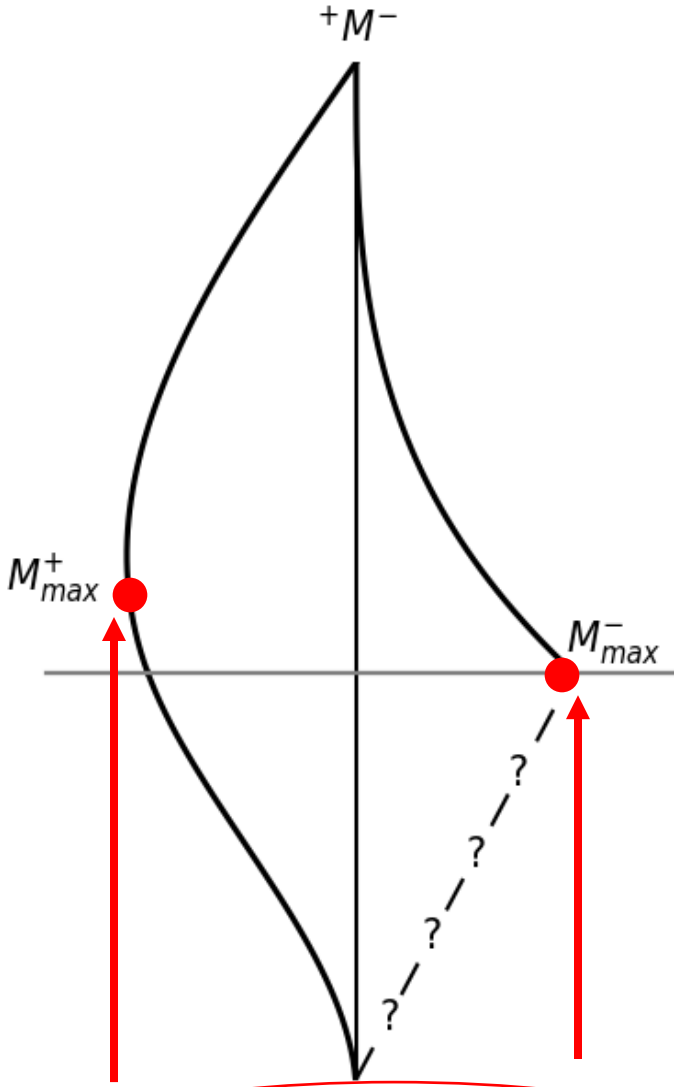
Rios, S., Almeida e Sousa, J. & Matos Fernandes, M. (2026). Embedded retaining wall design combining a temporary top prop with a permanent slab at formation level. Journal of ???????.





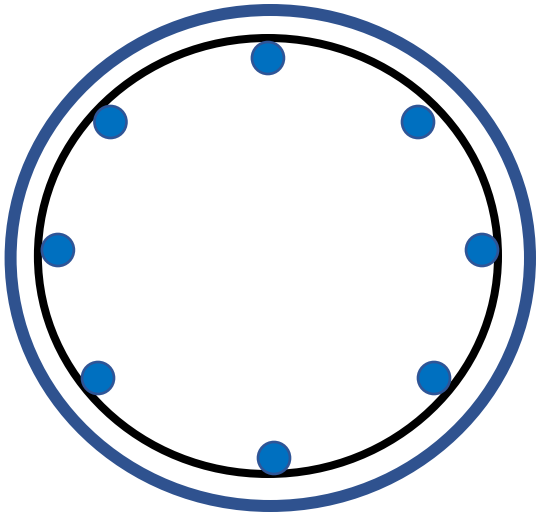
Rios, S., Almeida e Sousa, J. & Matos Fernandes, M. (2026). Embedded retaining wall design combining a temporary top prop with a permanent slab at formation level. Trabalho em apreciação.

Envolvente / Envoltória



Valores dos momentos máximos similares

Otimização do dimensionamento em estacas de concreto armado

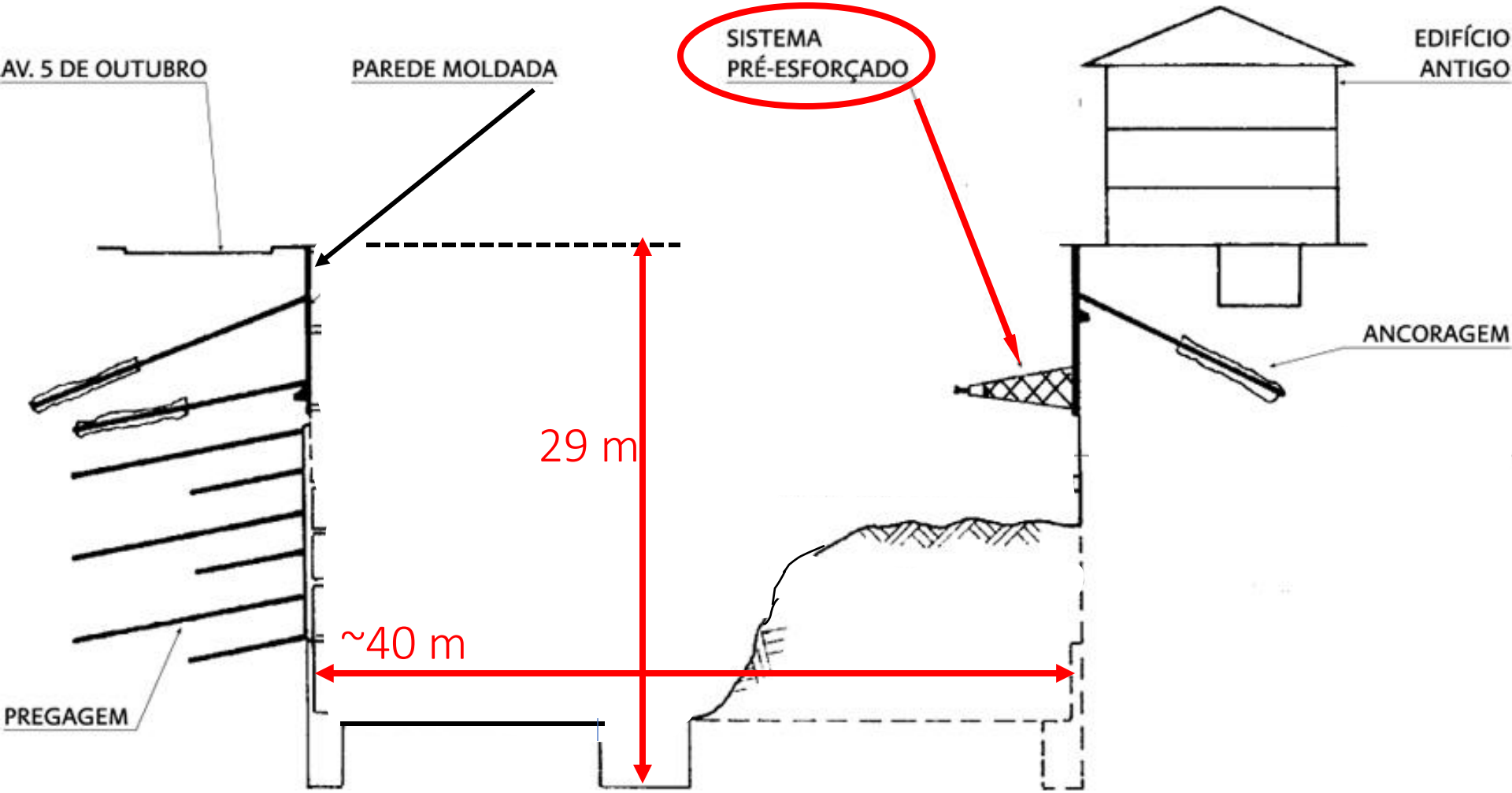


III Parte

DUAS OBRAS EXCEPCIONAIS
da
ENGENHARIA PORTUGUESA

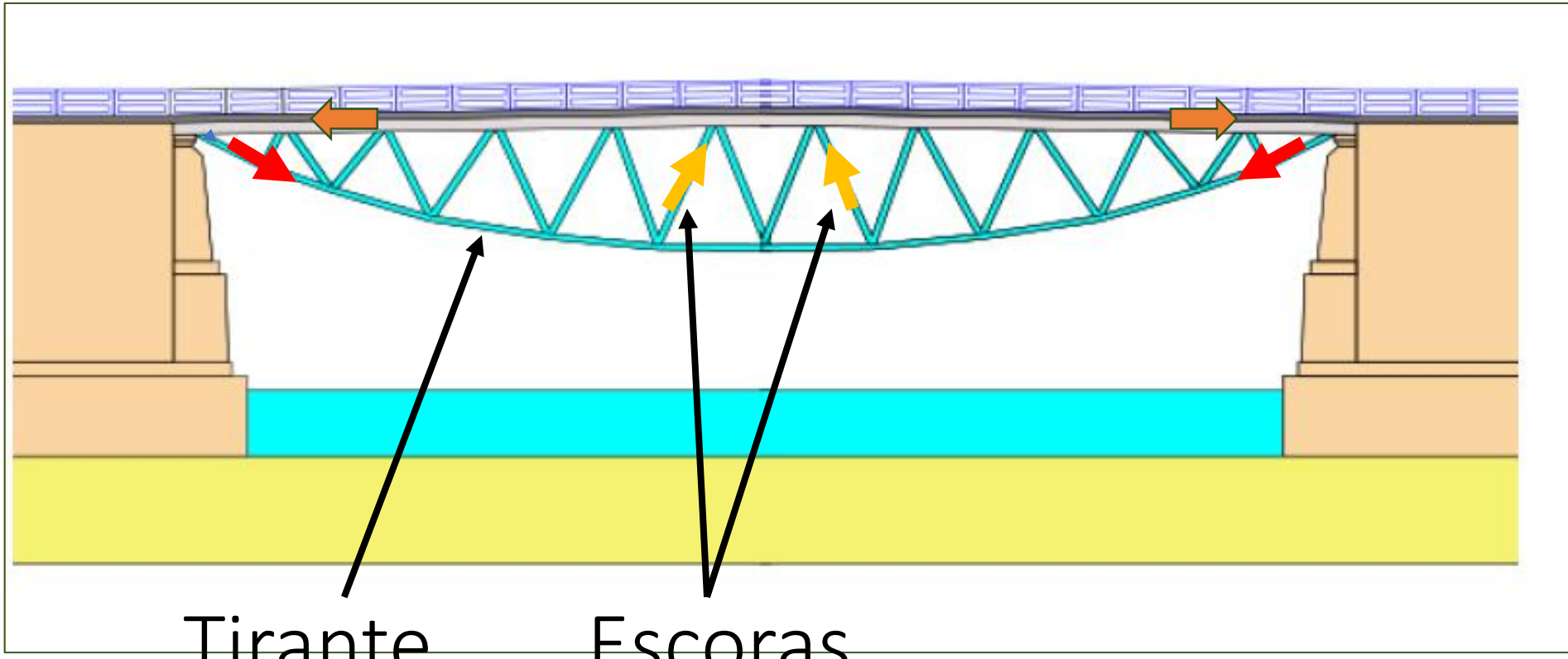
Edifício BCP, Lisboa, 1982

Av. 5 de Outubro, Lisboa, Prof. Edgar Cardoso, Teixeira Duarte, 1982

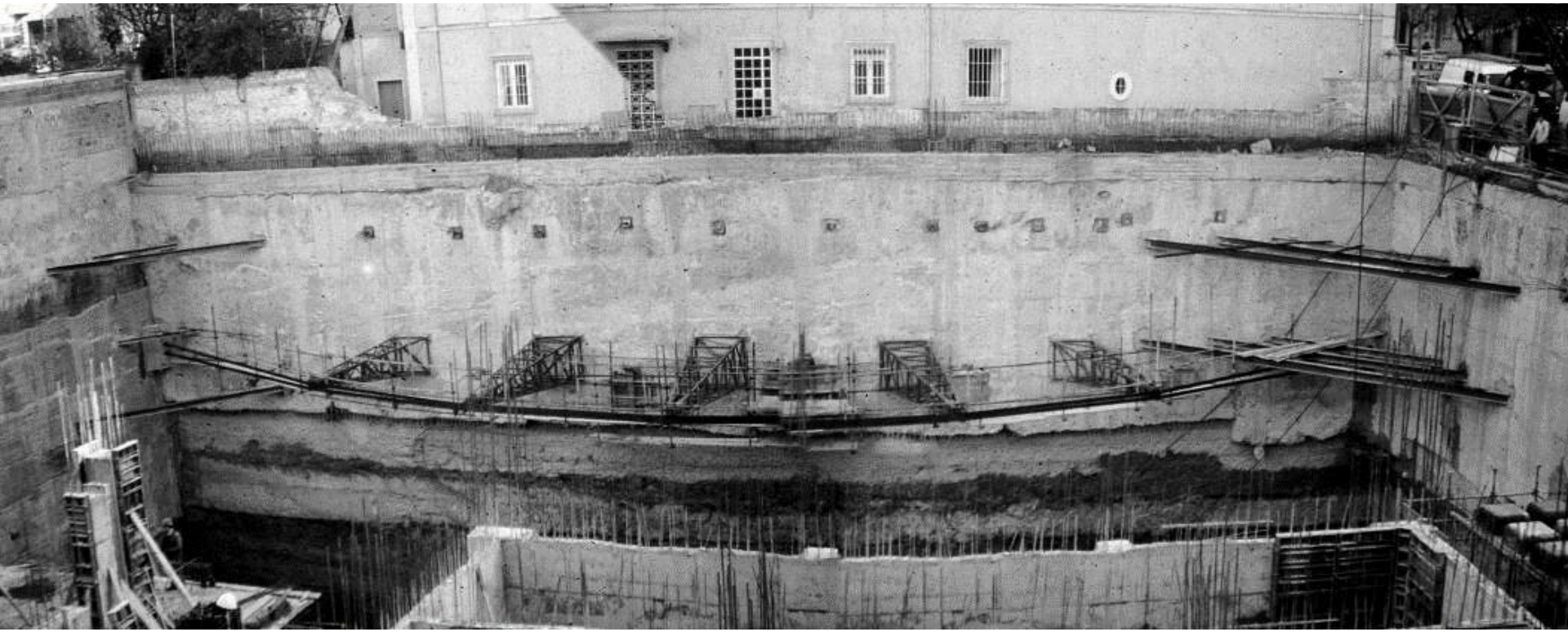


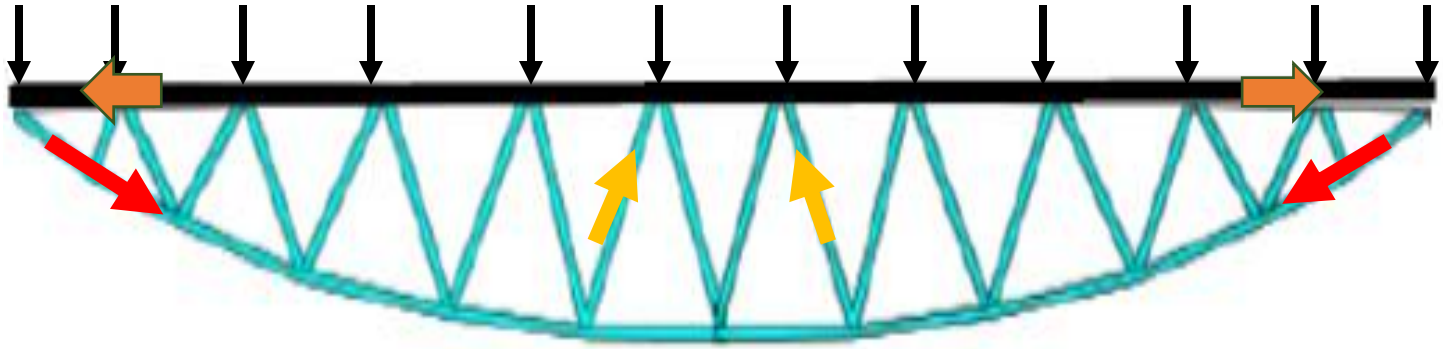
Matos Fernandes, M. & Xavier, B. (2011). Discussion on 'New earth retention system with prestressed wales in an urban excavation'. ASCE J. Geotech. and Geoenvir. Eng., 137(5):555-556.

Ponte em arco invertido

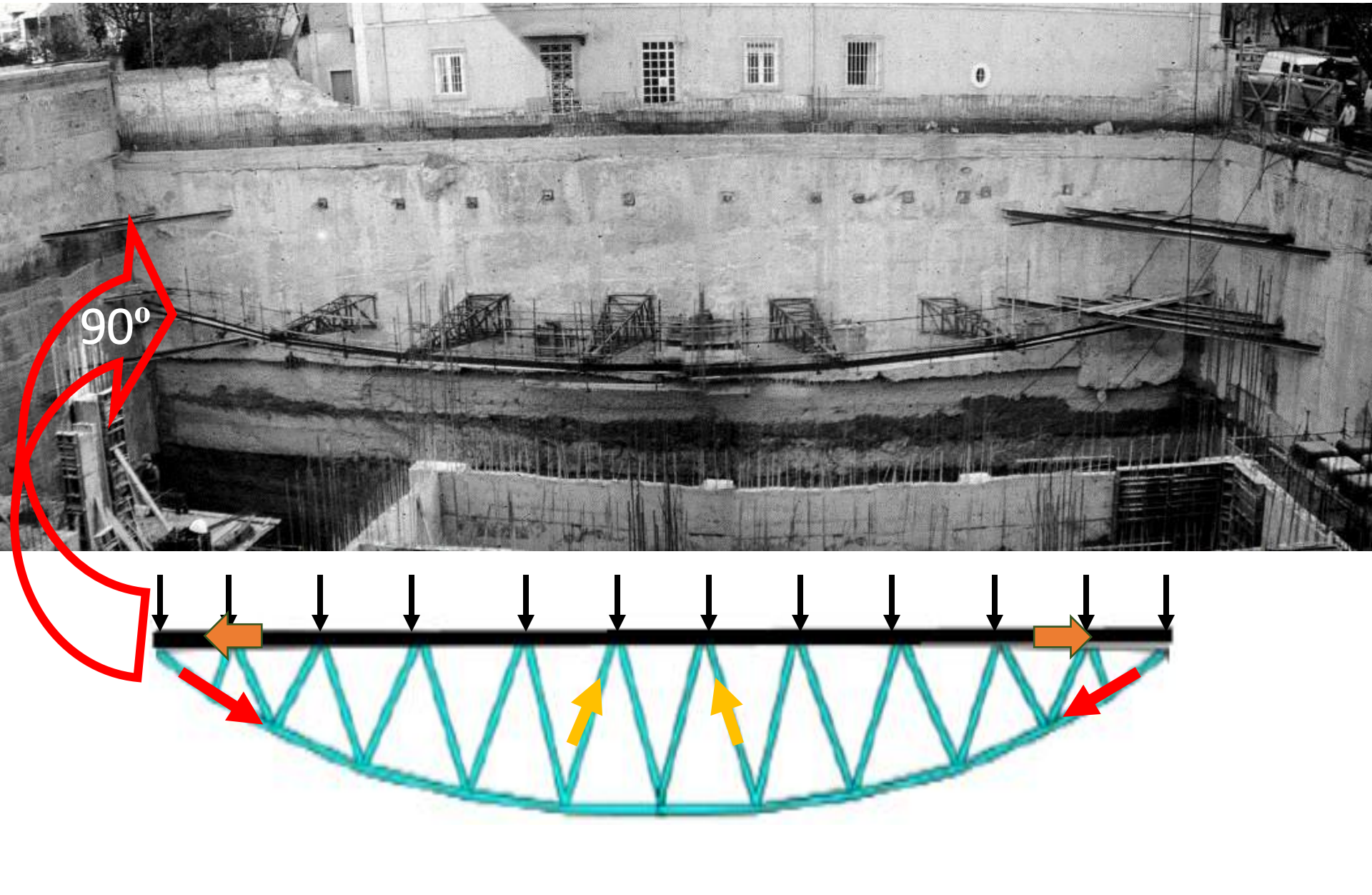


Av. 5 de Outubro, Lisboa, Prof. Edgar Cardoso, Teixeira Duarte, 1982

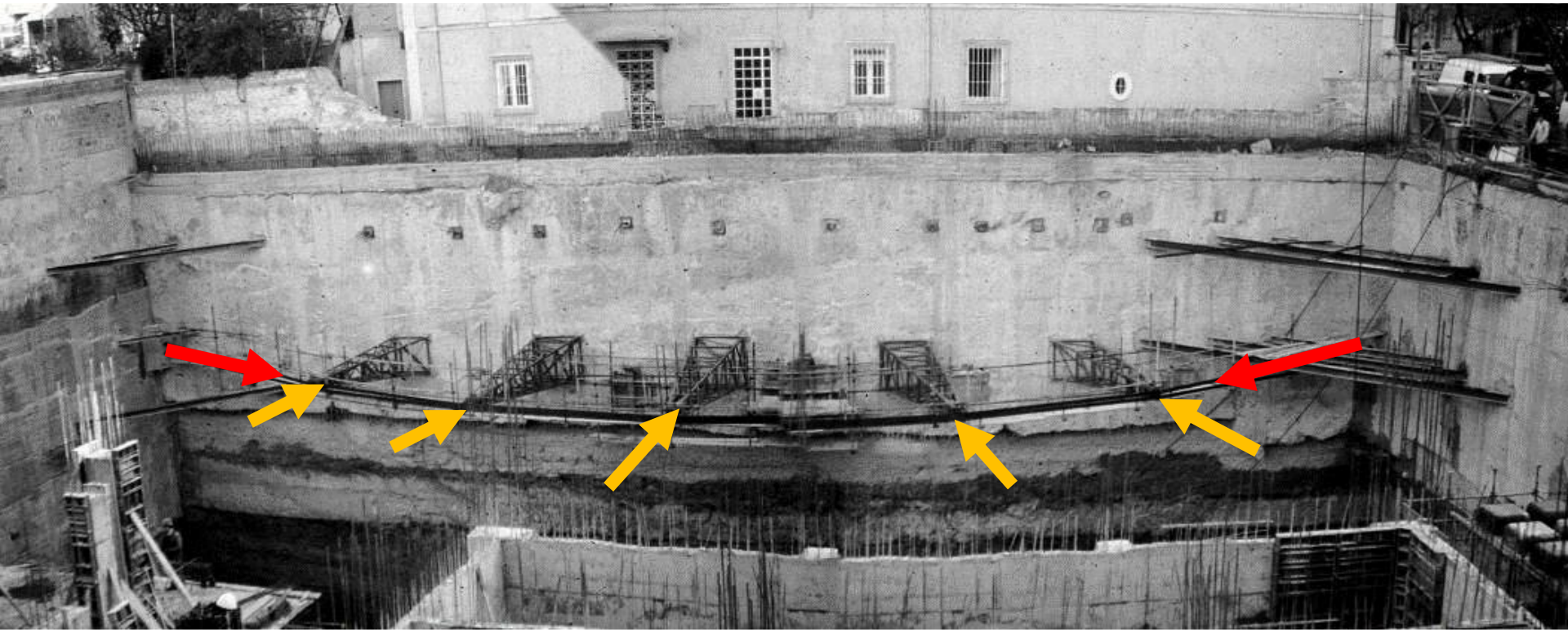


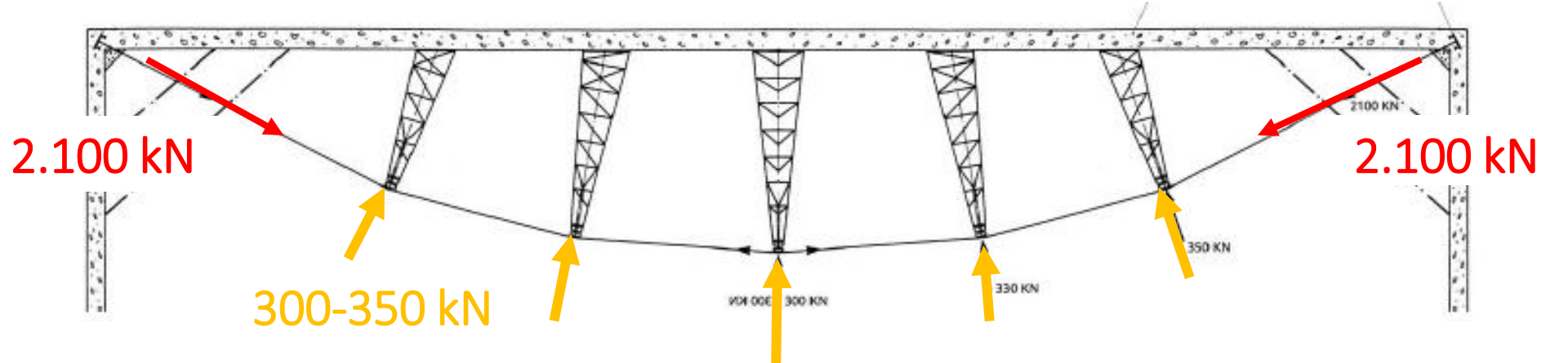


Av. 5 de Outubro, Lisboa, Prof. Edgar Cardoso, Teixeira Duarte, 1982

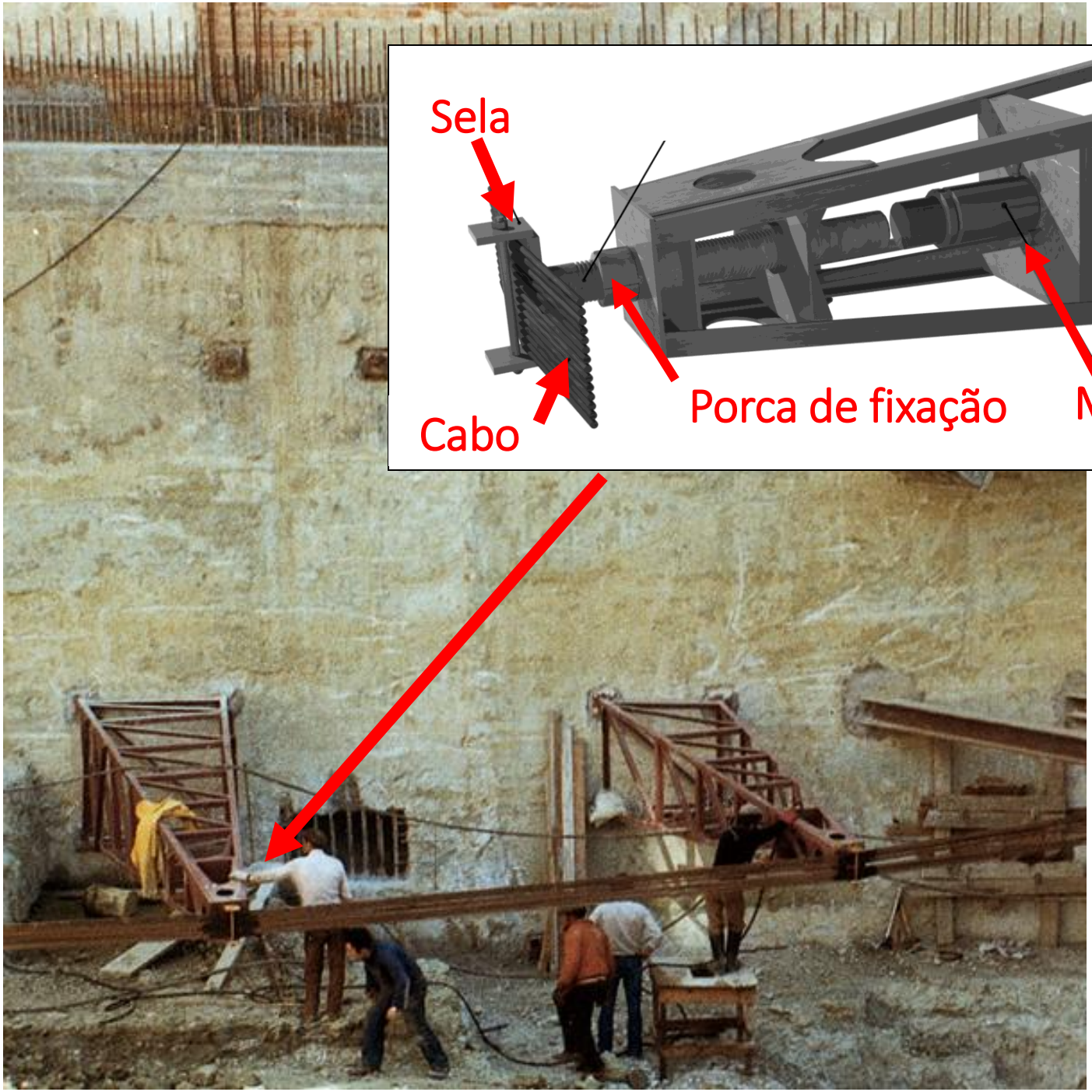


Av. 5 de Outubro, Lisboa, Prof. Edgar Cardoso, Teixeira Duarte, 1982

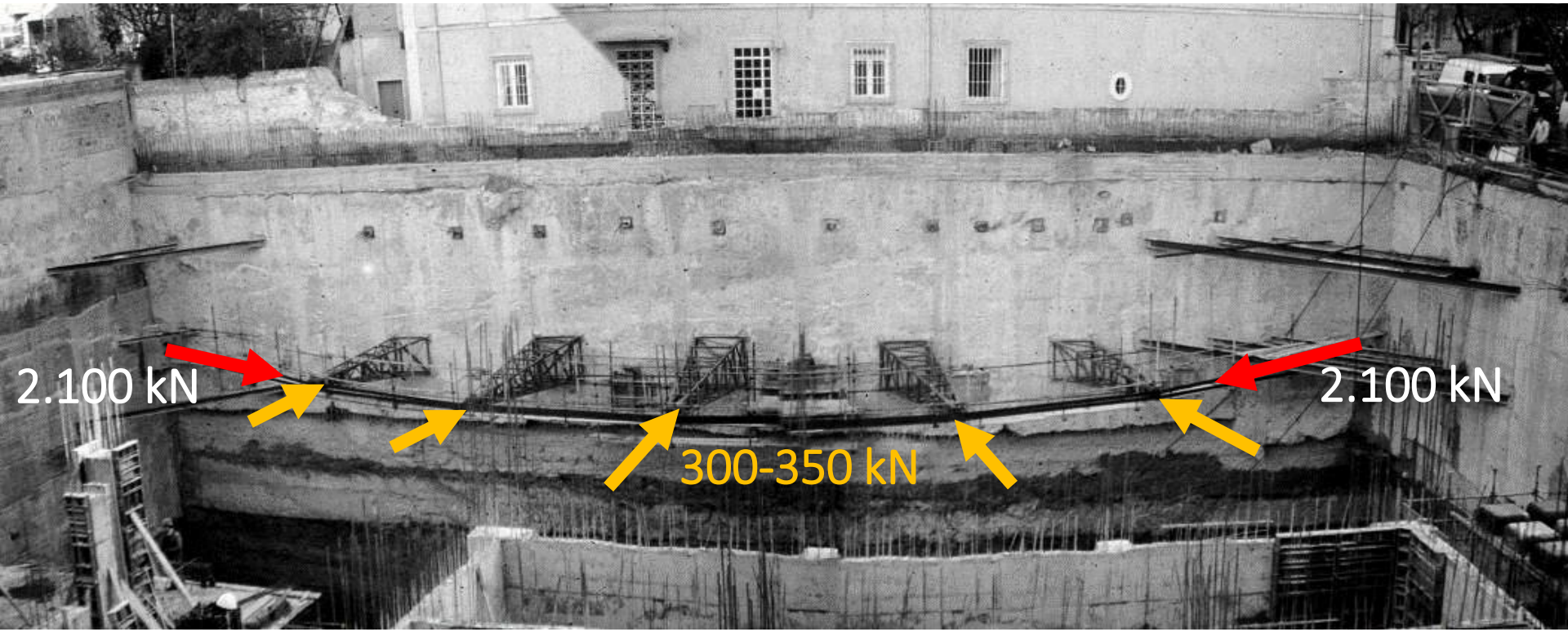







Sela
Cabo
Porca de fixação
Macaco

Av. 5 de Outubro, Lisboa, Prof. Edgar Cardoso, Teixeira Duarte, 1982





Edgar Cardoso

Baldomiro Xavier, T. Duarte

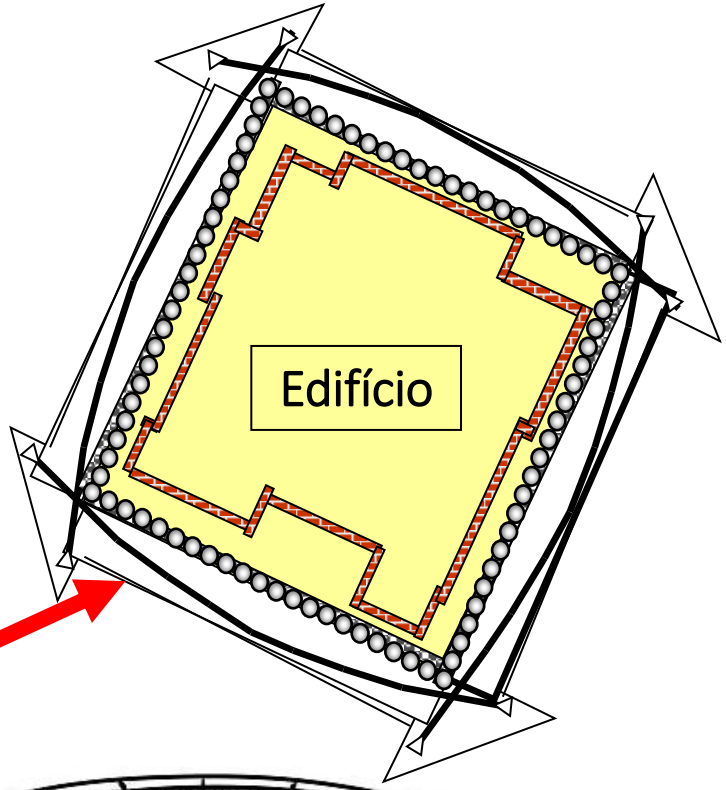


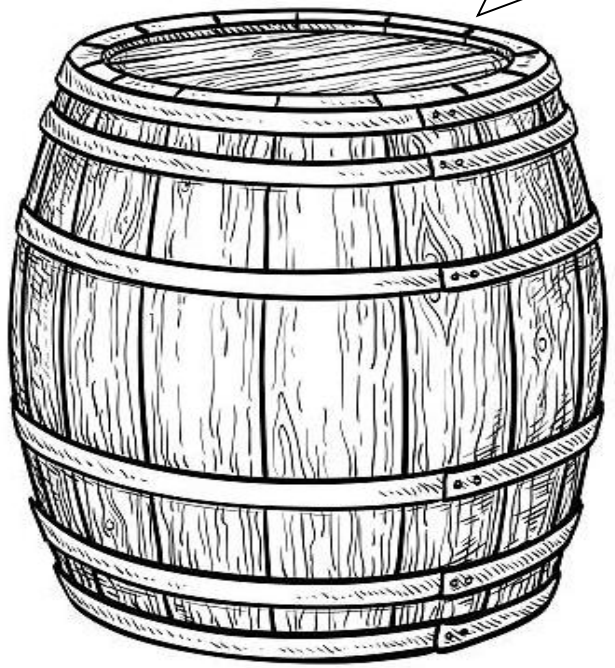
Palácio Sotto Mayor, Lisboa, 2000

Palácio Sotto Mayor, Lisboa, Tecnasol/FGE, 2000





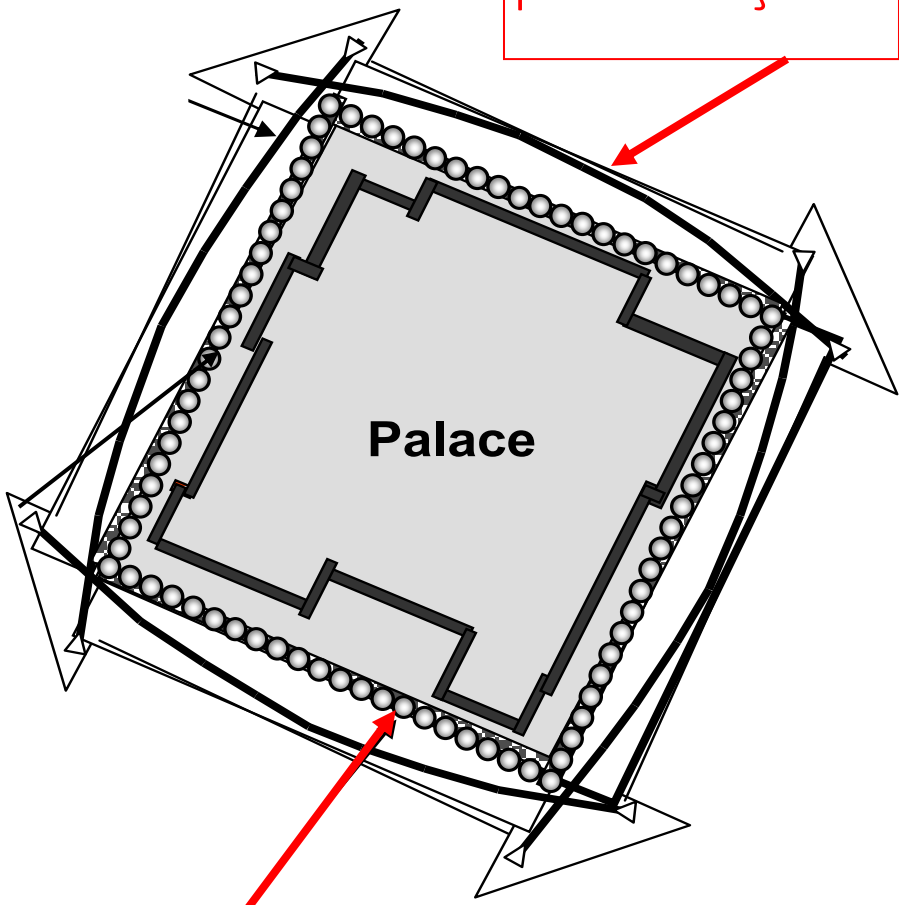

Edifício



Palácio Sotto Mayor, Lisboa, Tecnasol/FGE, 2000







6 vigas-cinta
pré-esforçadas

Cortina de estacas
ϕ0.80/1.00 m

Palácio Sotto Mayor, Lisboa, Tecnasol/FGE, 2000




Maio 2000

Maio 2000



Junho 2000




Maio 2000


Junho 2000


Julho 2000


Maio 2000


Junho 2000


Julho 2000


Agosto 2000



Novembro 2000



Dezembro 2000



Alexandre Pinto

EPÍLOGO

A exploração do Pré-esforço, nas suas múltiplas formas, permite conceber e construir estruturas para suportar escavações em condições particularmente exigentes e singulares.

EPÍLOGO

O que é fascinante no suporte das grandes escavações urbanas é que podem ser campo fértil para cultivarmos o Engenho, palavra que está na origem do nome da nossa Profissão.

Choice your love. Love your choice!

Victor de Mello

