


Antonio Figueiredo



Concepção de túneis pelos métodos convencionais (cut&cover - NATM)

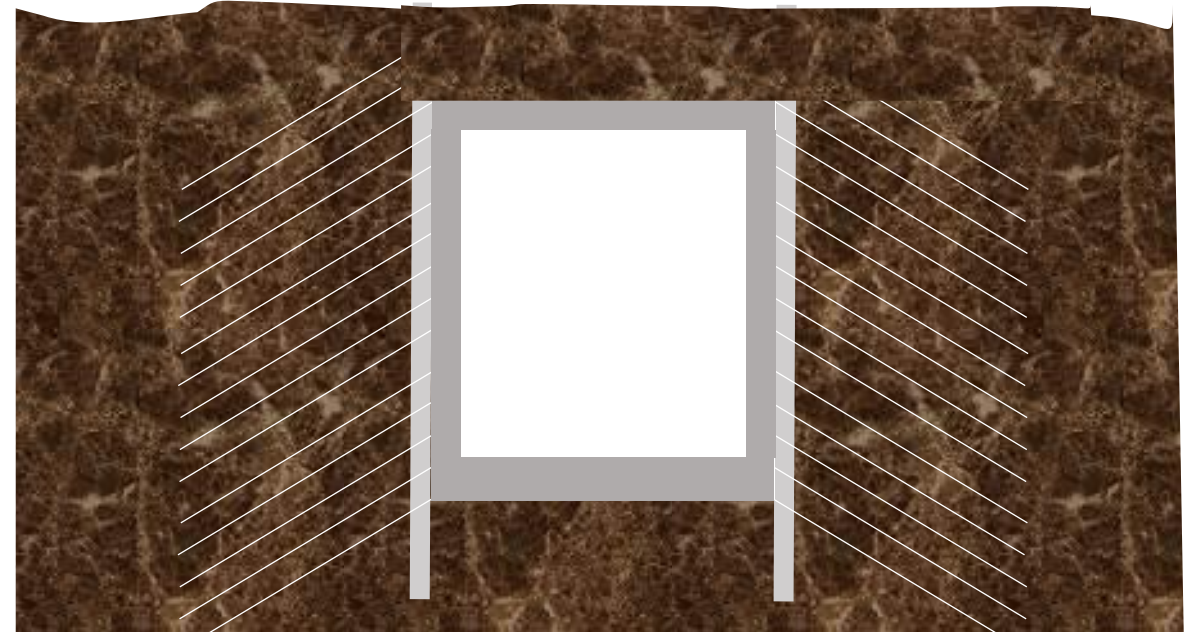


# Métodos convencionais de execução de túneis

<https://www.youtube.com/watch?v=LSbnoLSloEQ>



# Estratégias de execução de túneis pelo método do Cut&Cover



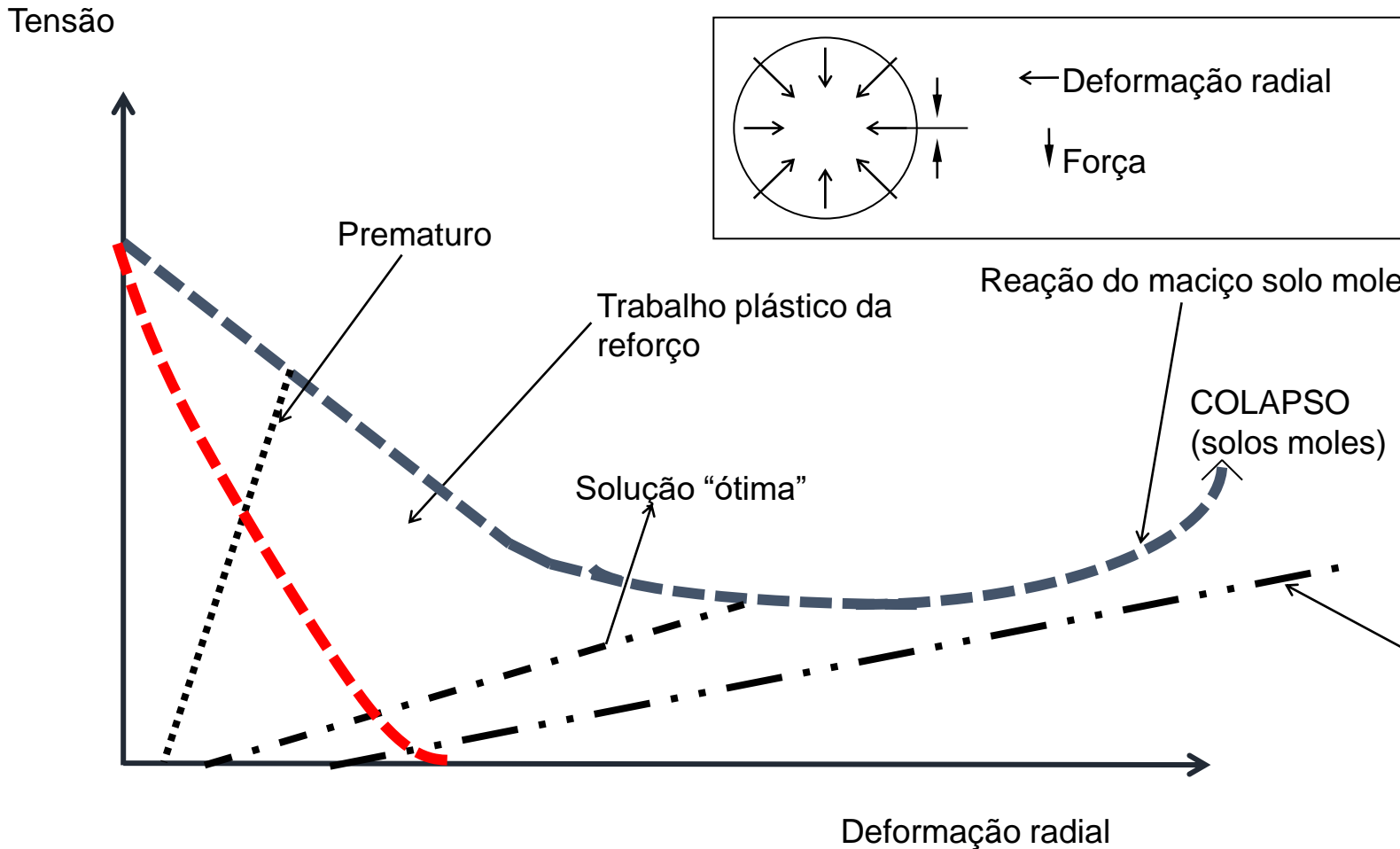
# Concepção de túneis pelo método do Cut&Cover

- Só é aplicável para projetos de túneis rasos
- Gera grande impacto na superfície durante a construção
- A concepção de cálculo é a convencional de obras enterradas suportando o conjunto de pressões e empuxo



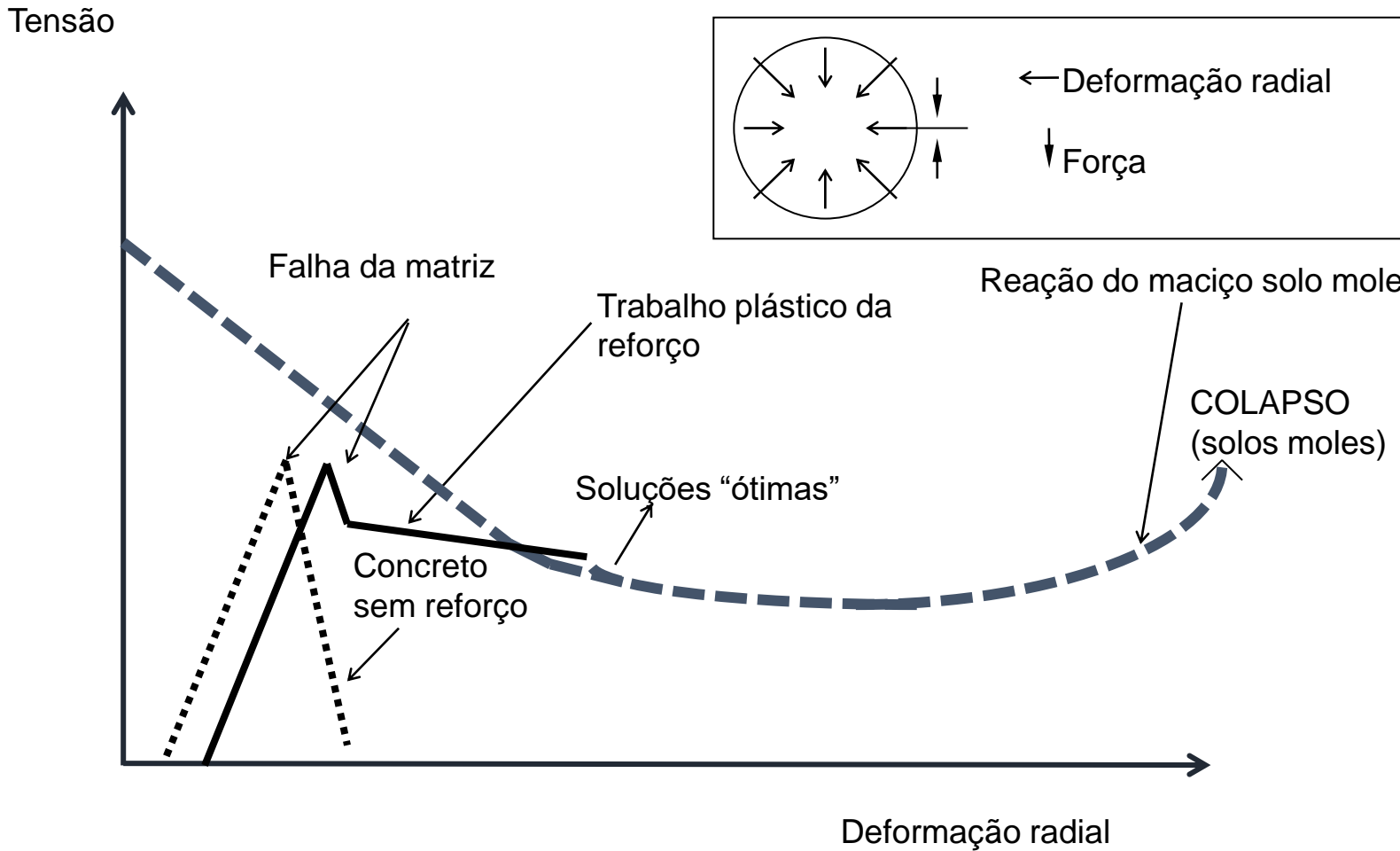


# Modelo convencional escavado “NATM”



- Há a necessidade de compatibilização de deformações para estabilização de deslocamentos dos maciços.
- O monitoramento dos deslocamentos é algo essencial para o controle de execução das obras.
- No conceito clássico o revestimento tem um comportamento elástico

# Modelo convencional escavado “NATM”



- O revestimento nunca é perfeitamente elástico
- Ductilização do sistema de revestimento permite redistribuição de esforços



# Controle de convergência (Rodovia Nova Tamoios)

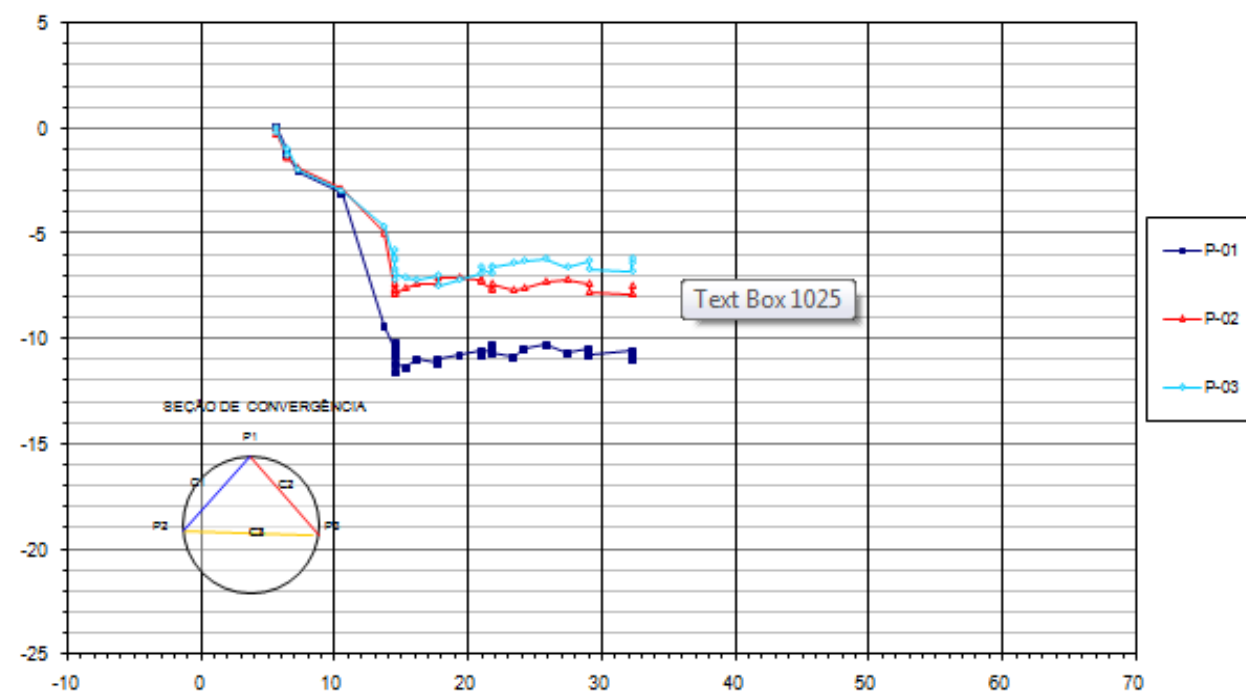
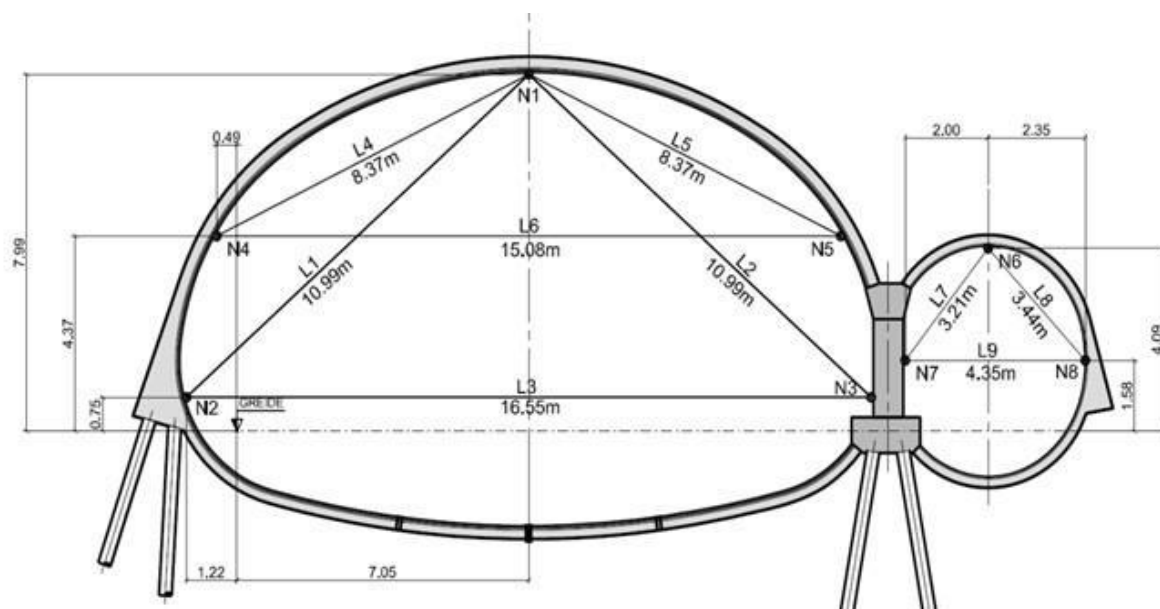




# Controle de convergência (Rodovia Nova Tamoios)



# Controle de convergência é fundamental

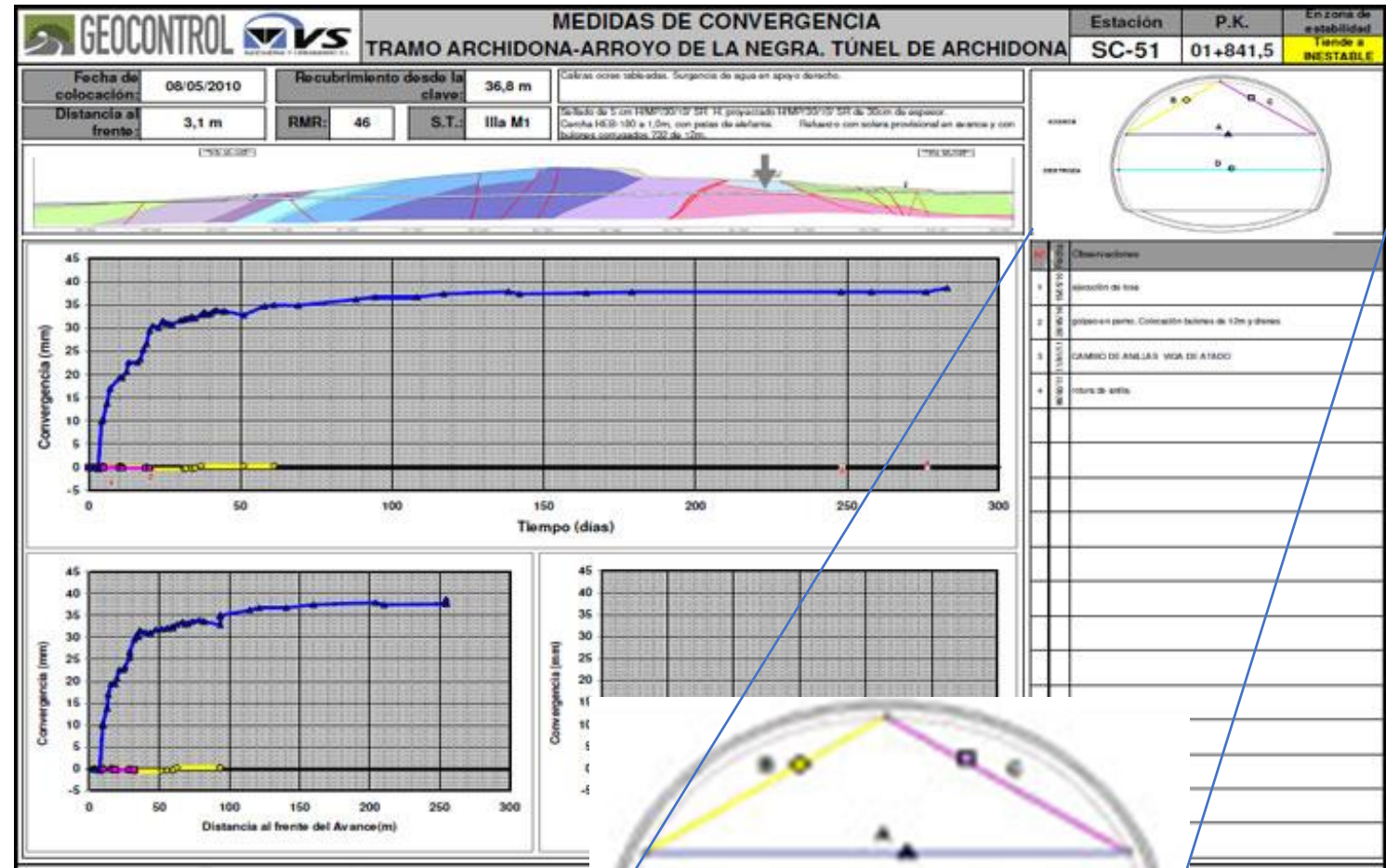


RODRIGO ÁLVARES DE ARAÚJO MELO ; ALBUQUERQUE, P. J. R. ; [GARCIA, J. R.](#) . ANÁLISE DA INSTRUMENTAÇÃO DURANTE A ESCAVAÇÃO DE TÚNEL DE BAIXA COBERTURA EM SOLO SOB UMA RODOVIA EM OPERAÇÃO. In: 4º Congresso Brasileiro de Túneis e Estruturas Subterrâneas, 2017, São Paulo. Tunes. São Paulo: CBT / ABMS, 2017. v. 1. p. 1-9.



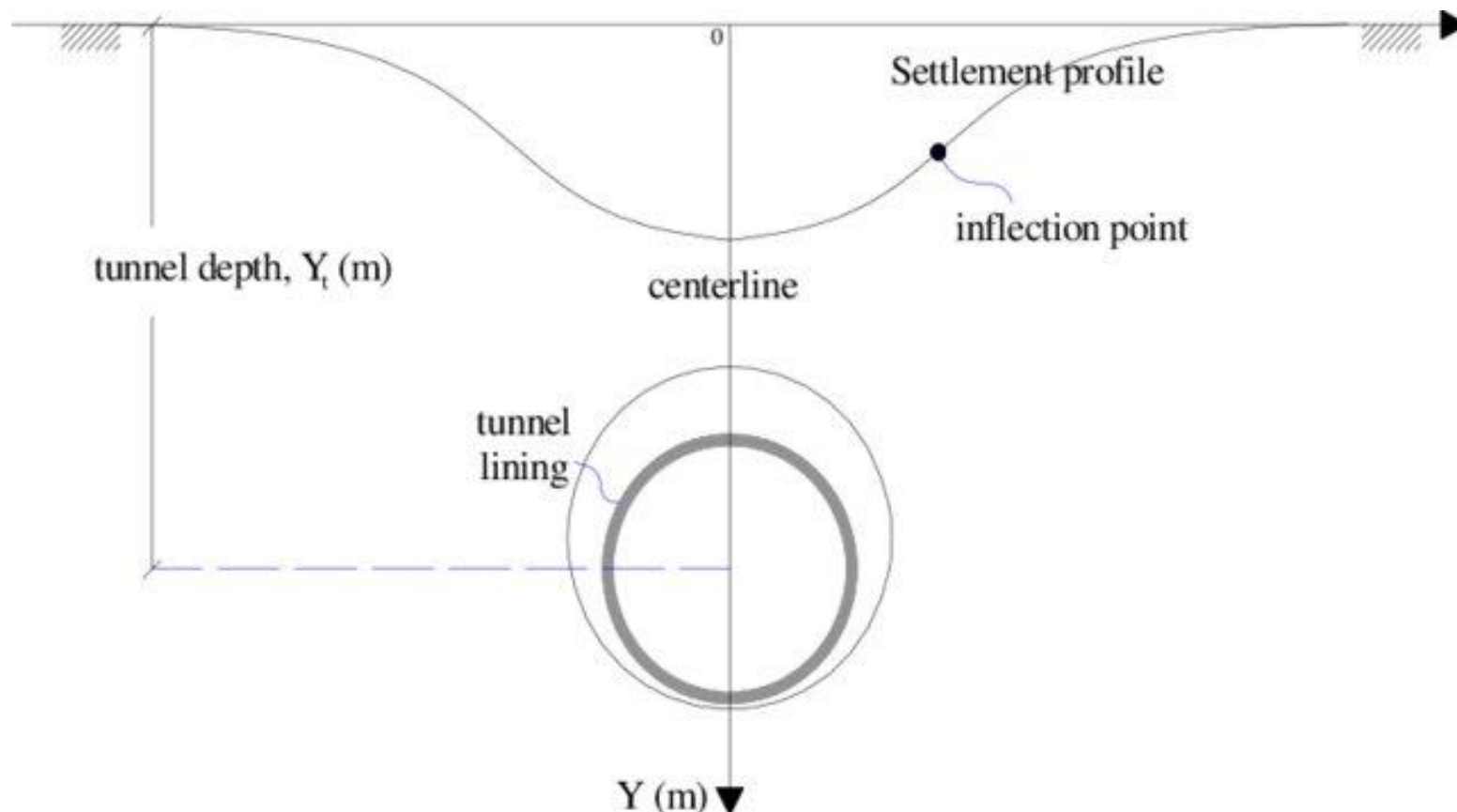
# Instrumentação de túneis

- Medidas de:
- ✓ Convergência,
  - ✓ Recalques,
  - ✓ Deformações em estruturas adjacentes,
  - ✓ Etc.





# Controle de recalques é também fundamental



- Deve-se instrumentar a região no entorno do túnel.
- Importantíssimo em regiões urbanas
  - Monitorar edificações lindeiras
  - Tassômetros
  - Clinômetros

Saeid Hesami; Saeed Ahmadi; Saeed Ahmadi; Abbasali Taghavi Ghalesari; Abbasali Taghavi Ghalesari; Ali Hasanzadeh; Ali Hasanzadeh. Ground Surface Settlement Prediction in Urban Areas due to Tunnel Excavation by the NATM. Electronic Journal of Geotechnical Engineering. January 2013.

# Empirical approach

Classe (EFNARC)	EN 14487-1	Nível de energia (J)	Nível equivalente de energia (J) ASTM C1550:2005
A	E500	500	200
B	E700	700	280
C	E1000	1000	400



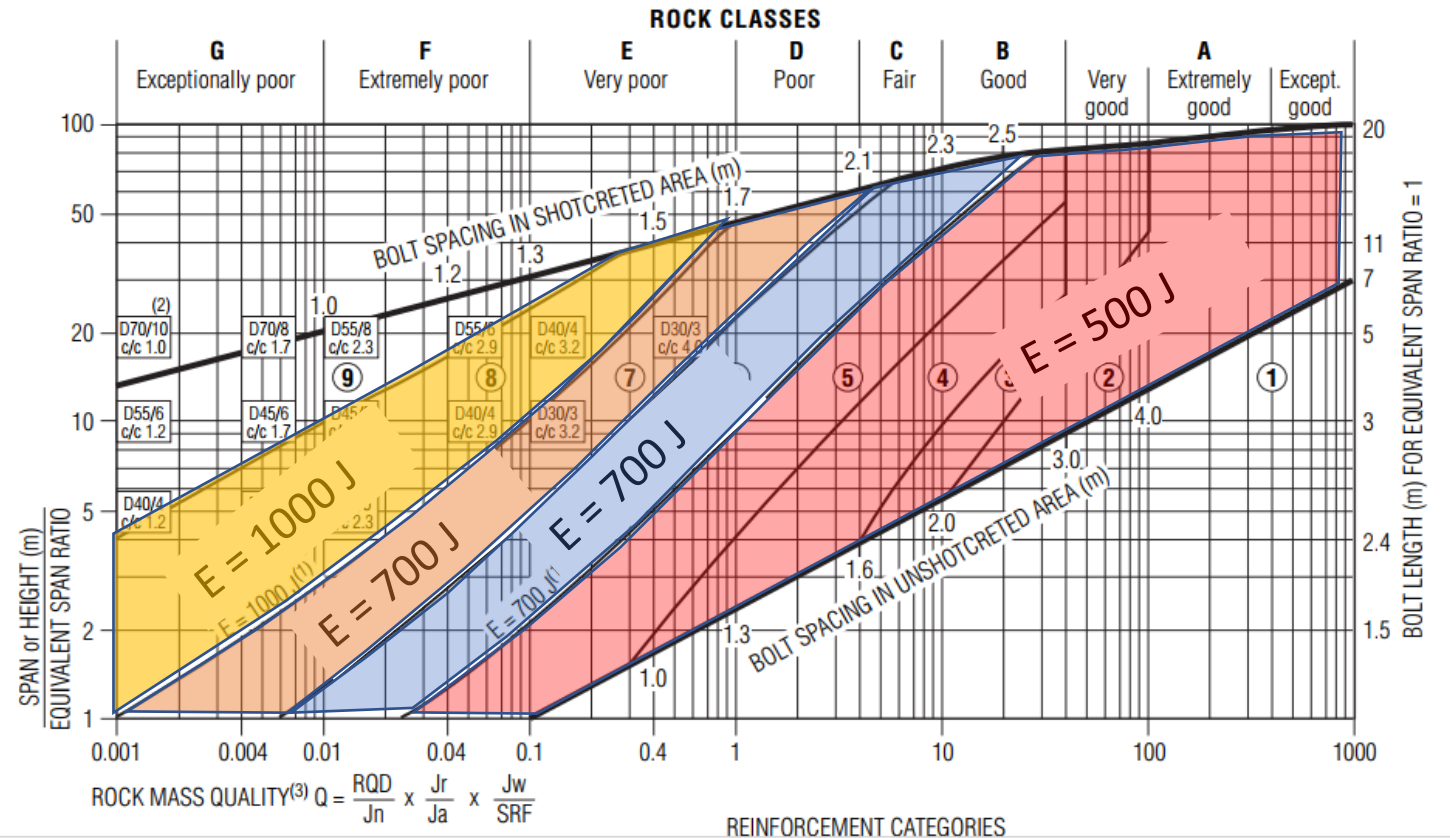
EN 14488-5



ASTM C1550:2005

## Examples of national guides:

- Australian Shotcrete Society
- Norwegian Concrete Association



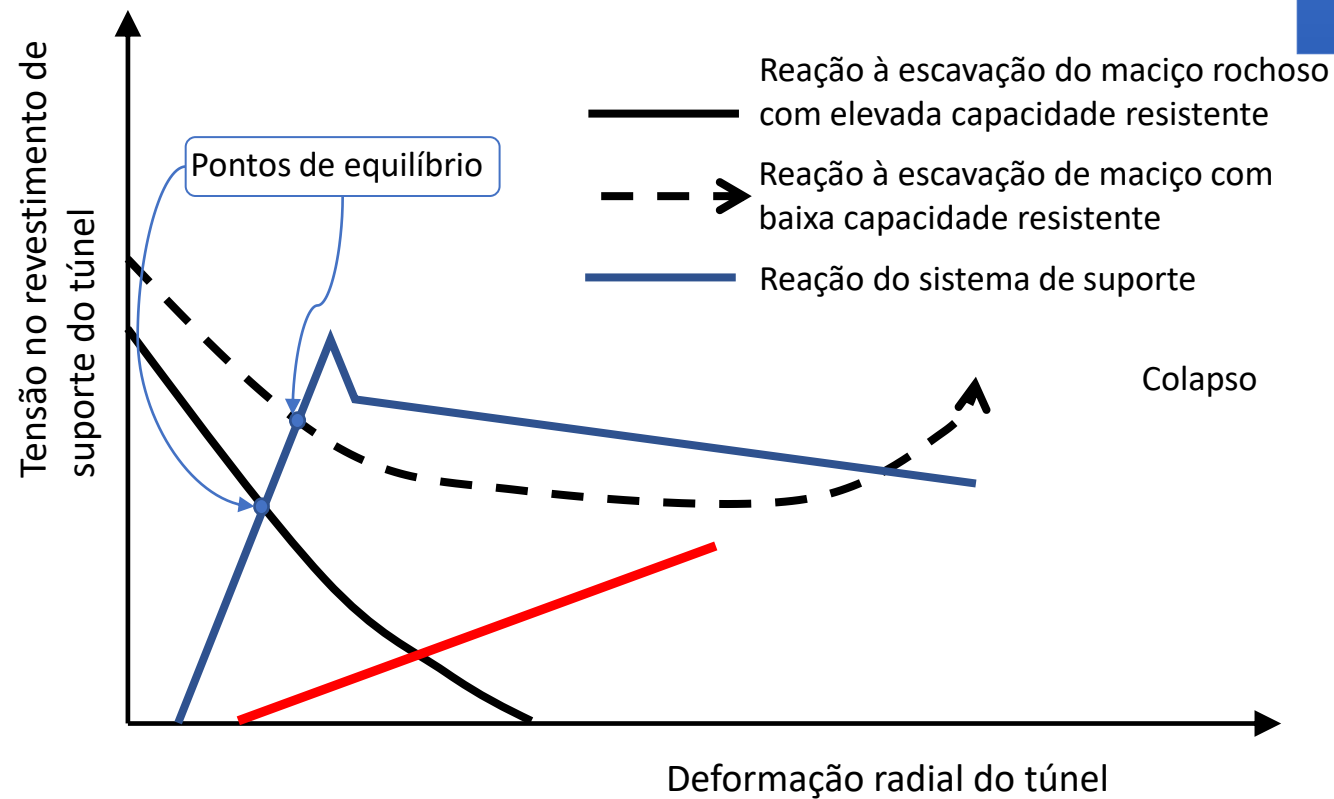
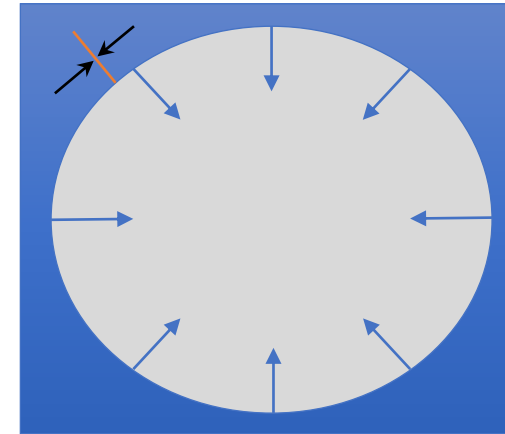


# Importância do tema da estabilização

- A estabilidade da estrutura dos túneis NATM durante o processo de execução depende da evolução da resistência mecânica do concreto projetado.
- Normalmente atrela-se essa exigência ao uso de aditivos aceleradores.
- Deve haver controle para garantia da segurança da obra.



# Modelo de RABCEWICZ



# Aditivos aceleradores: fundamentais para o revestimento de túneis.

- Atualmente existem duas grandes famílias de aditivos em termos de composição
  - Aditivos alcalinos (ex. aluminatos e silicatos de sódio e de potássio)
  - Aditivos livres de álcalis (ex. sulfato de alumínio)
- Existem duas principais possibilidades de fornecimento quanto ao estado físico: líquido e em pó.
- É fundamental caracterizar e ter um procedimento de qualificação do produto, pois dele depende a estabilidade da frente de escavação.
- Fundamental: estudos prévios de qualificação e verificação de compatibilidade cimento/aditivos

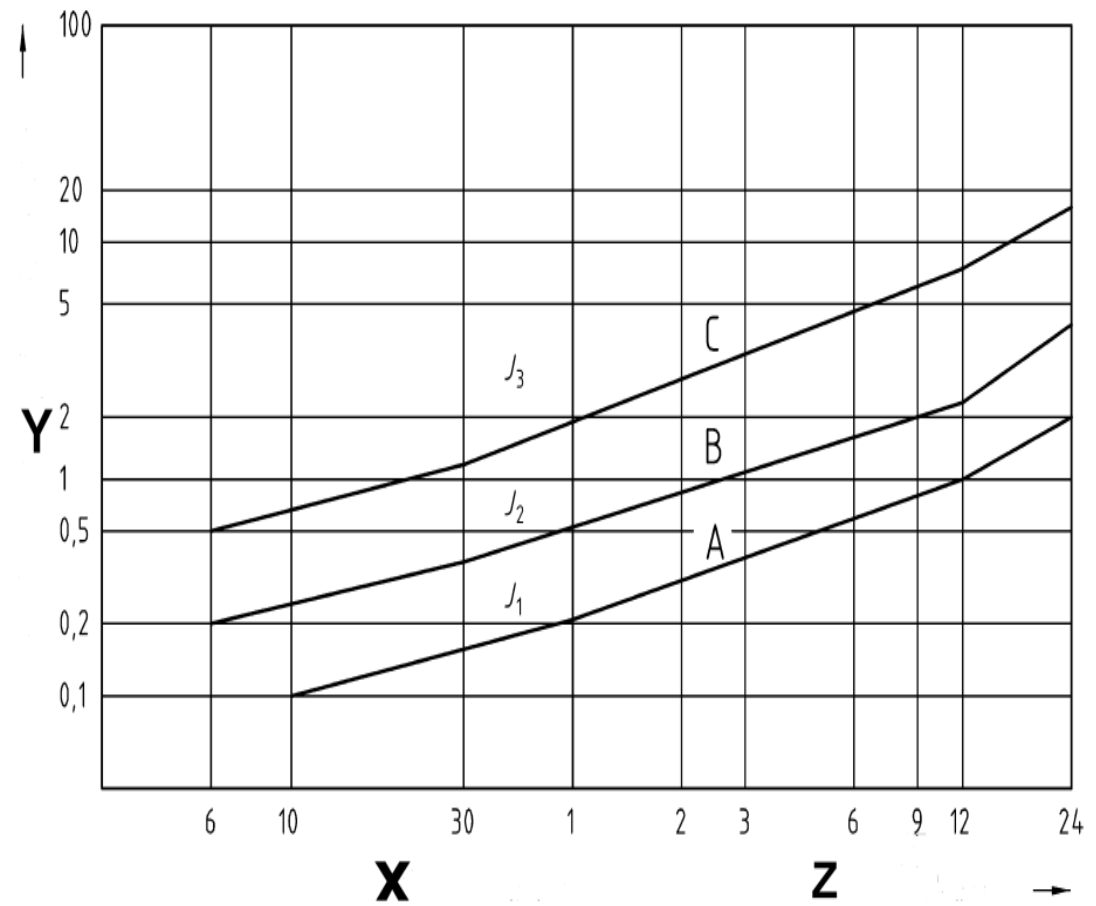
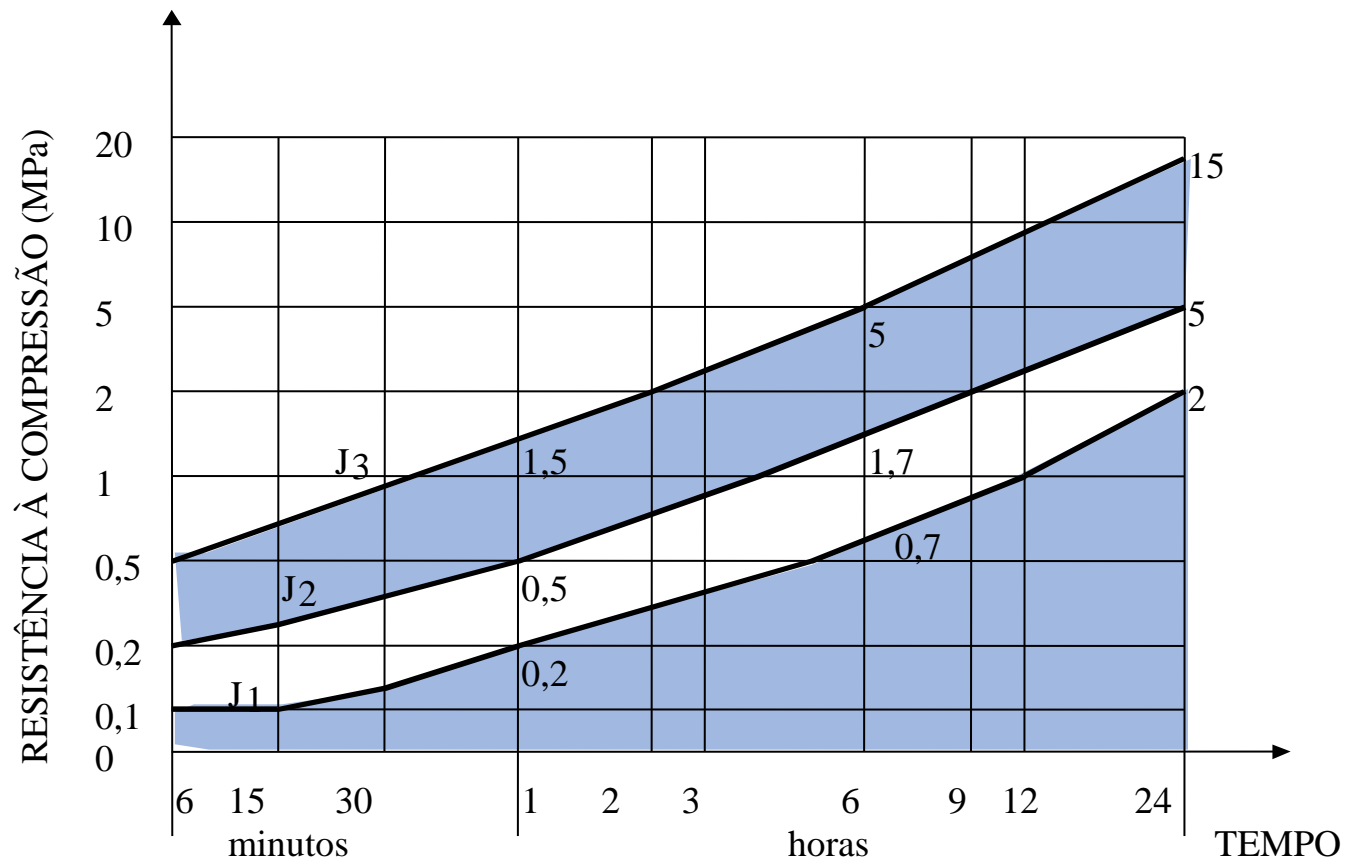
# **Exigência de ganho elevado de resistência inicial para o revestimento – aditivos aceleradores**

- Para via seca são dispensáveis do ponto de vista de aplicabilidade (o sistema pode trabalhar por coesão)
- Para via úmida são necessários para aplicabilidade.
- Para o revestimento primário de túneis são fundamentais para garantir resistência inicial adequada para estabilização da frente de escavação.



# Requisitos de desempenho à baixa idade

Austrian Concrete Society (1990) = EN14.488-1



## Faixa J1: condições de exigência

- Necessidade de aplicação rápida e em camadas espessas (inclusive no teto)
- Quando há infiltrações
- Ocorrência de tensões logo após a projeção do concreto (ex.: perfurações para colocação de tirantes e vibrações devido a explosões)

## Faixa J2: condições de exigência

- Ocorrência de todas as condições de J1 e
- Ocorrência de pressões ativas do maciço desenvolvendo-se muito rapidamente.

## Faixa J3: condições de exigência

- Casos excepcionais.
- Todos os que conheci no Brasil.

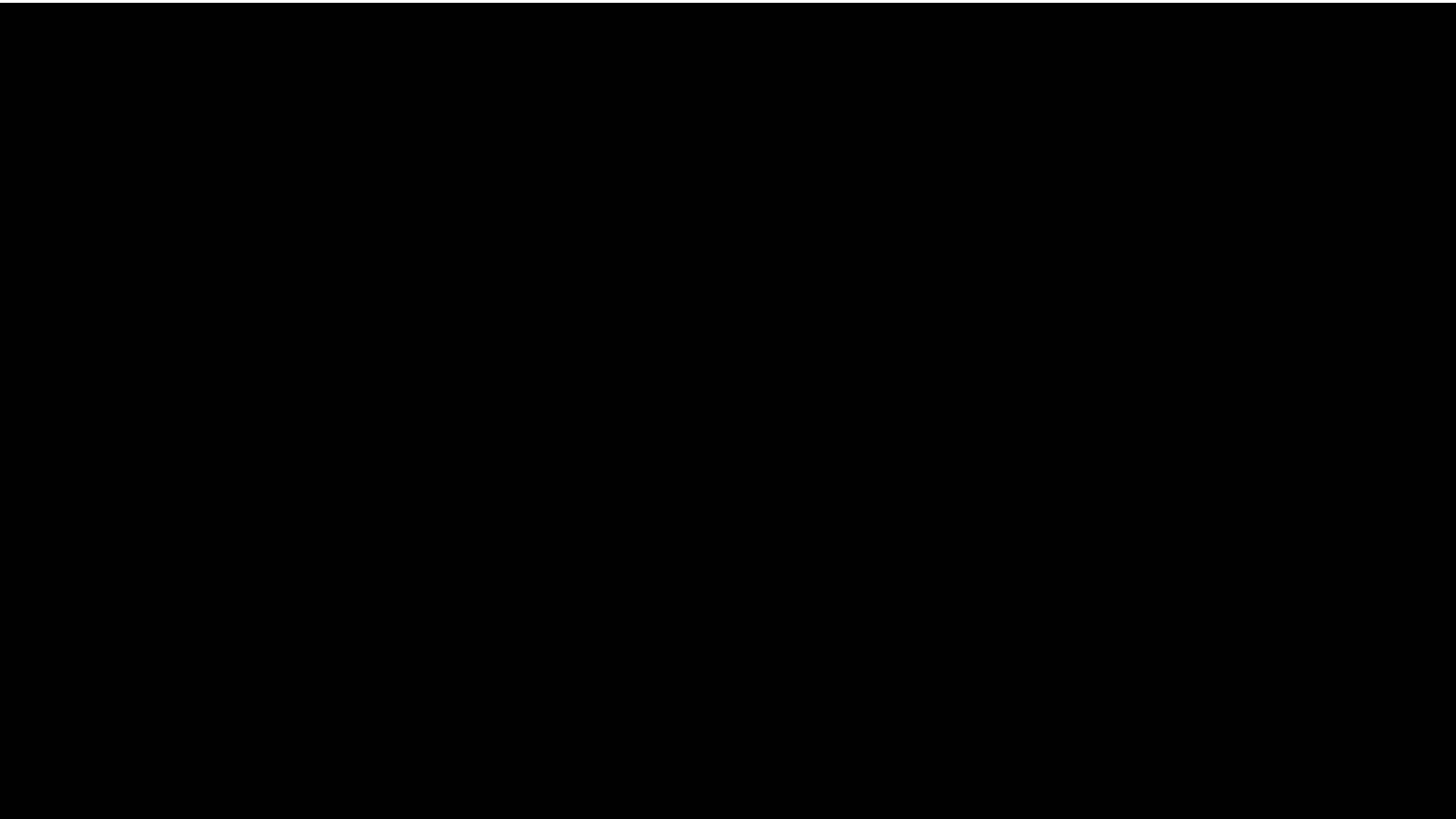




# Classes de resistência

## Austrian Concrete Society (1990)

Classe	fc média mínima (MPa)	Observações
SC 12	12	J1, J2 ou J3
SC 16	16	
SC 19	19	Com requisitos J1 ou J2 (28 dias)
SC 22	22	Com requisitos J1 ou J2 (28 dias)
SC 25	25	Com requisitos J1 ou J2 (91 dias)
SC 28	28	
SC 30	30	Sem exigências para baixas idades
SC 40	40	

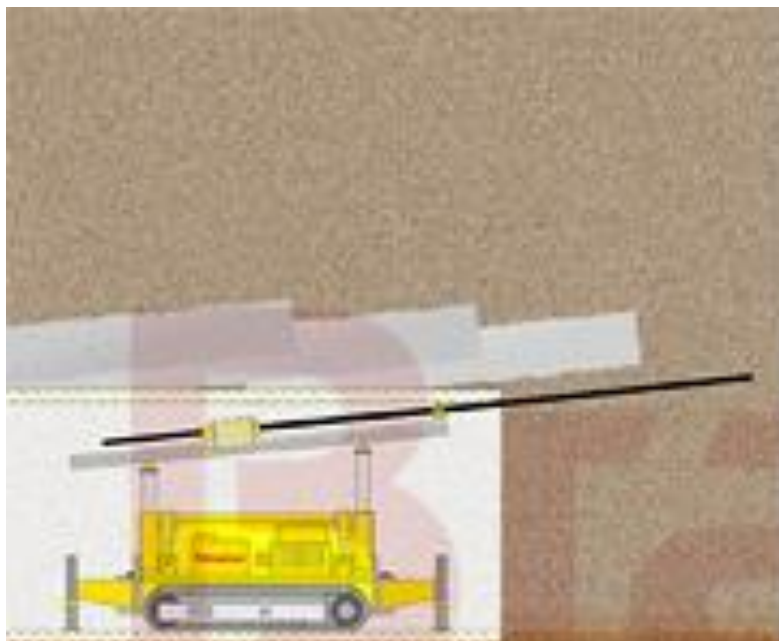


# Tratamento do maciço - Coluna de Cimento Sob Pressão Horizontal (CCPH)

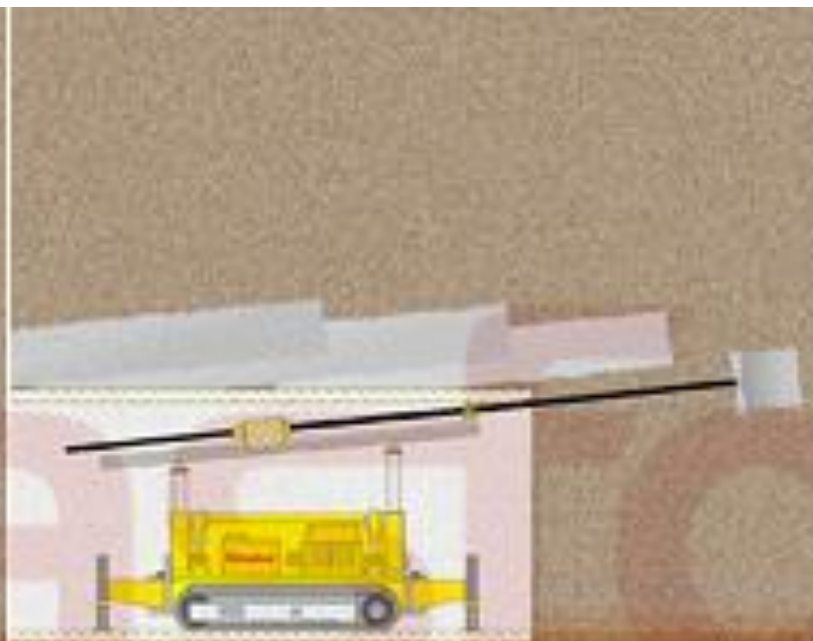




# Tratamento do maciço - Coluna de Cimento Sob Pressão Horizontal (CCPH)



Perfuração por destruição do núcleo até a cota de projeto utilizando bomba de altíssima pressão



Início da injeção da calda de cimento em alta pressão pelos bicos laterais



Retorno da haste de perfuração com rotação, pressão de injeção e passo pré-definidos

# Escavação da calota



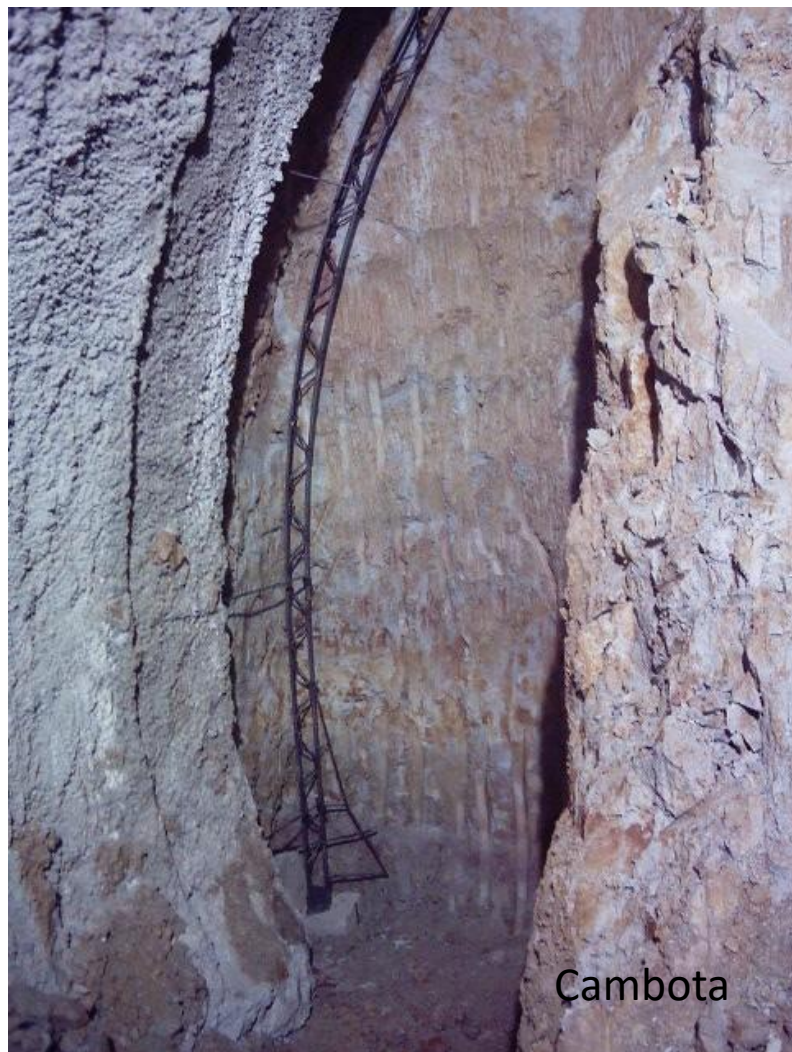


# Núcleo de estabilização da frente de escavação





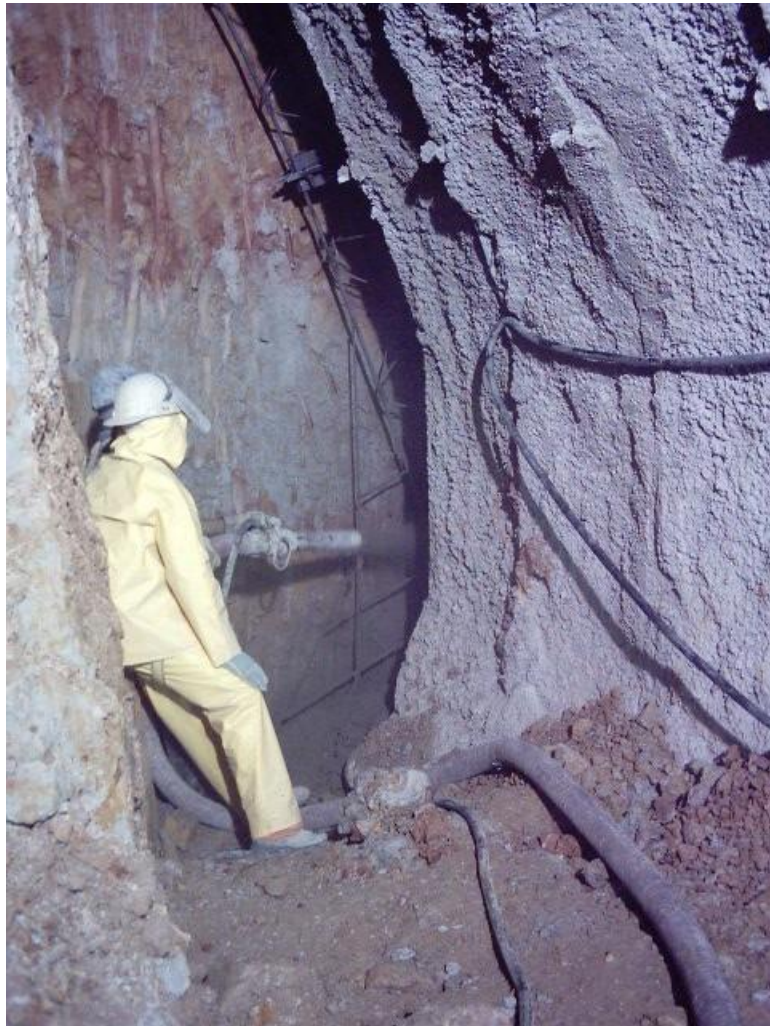
# Posicionamento da armadura



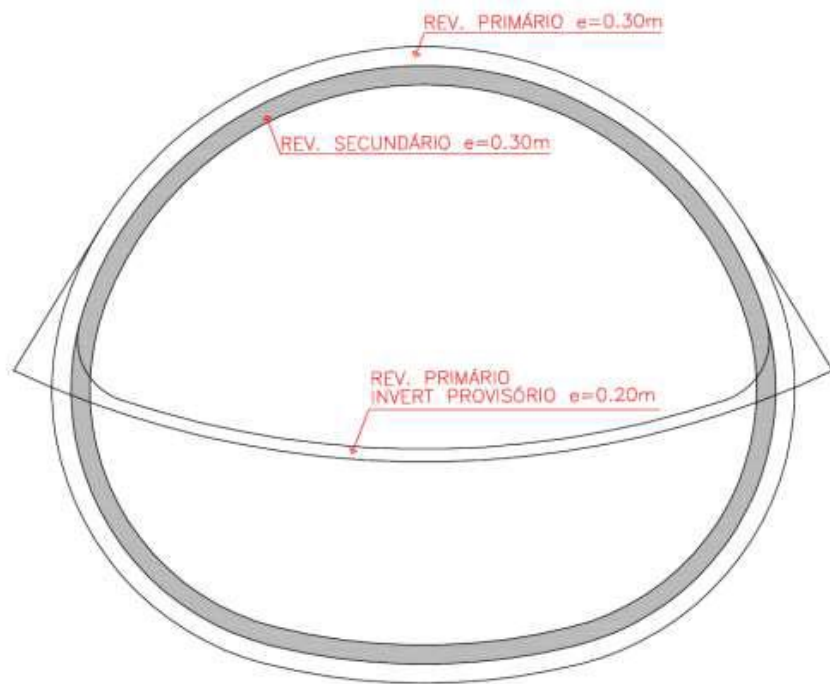
Tela metálica



# Execução do revestimento primário

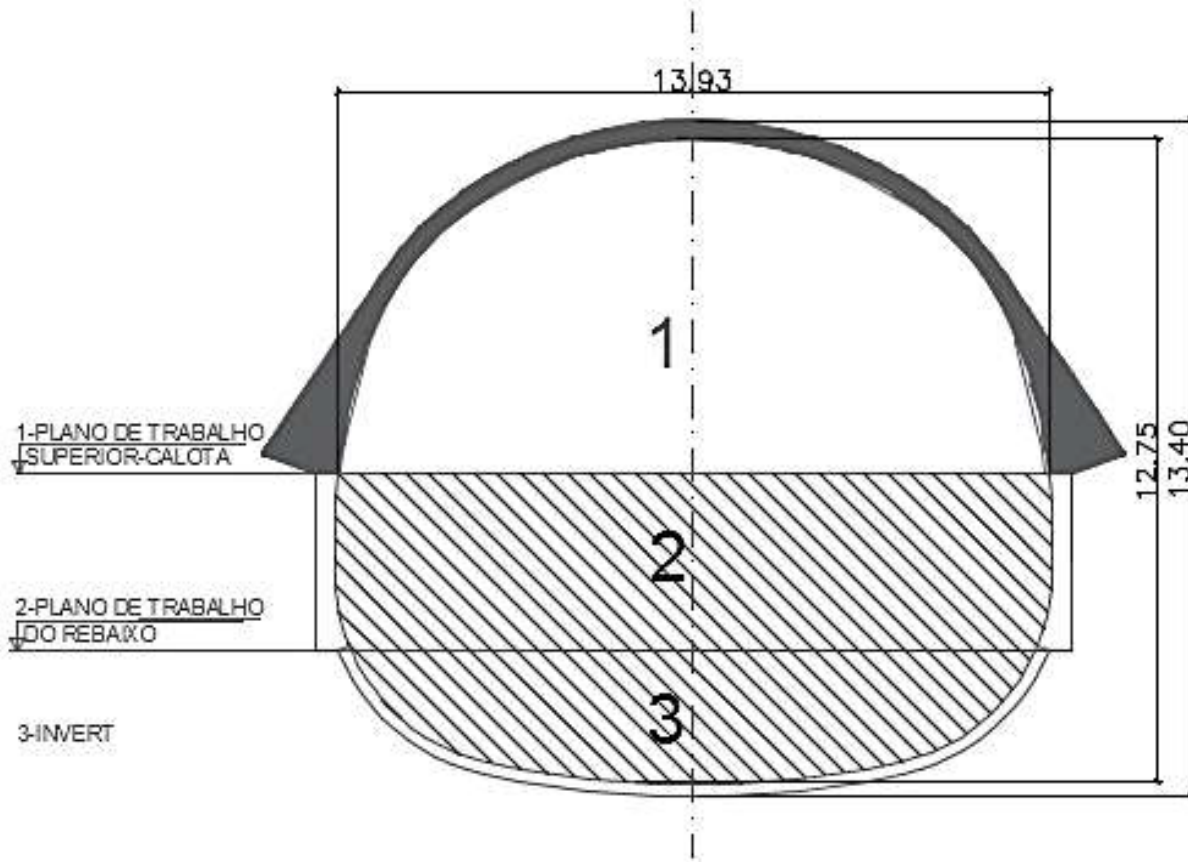


# Parcialização da frente de escavação: um nível de rebaixo





# Parcialização da frente de escavação: dois níveis de rebaixo



Fonte: Valéria Cavalcanti

# Escavação do arco invertido provisório





# Execução do revestimento primário do arco invertido provisório



Fonte: Valéria Cavalcanti



# Escavação do arco invertido definitivo



Fonte: Valéria Cavalcanti

# Execução do revestimento primário do arco invertido definitivo



Fonte: Valéria Cavalcanti





TECHNOFLICKS

[www.TechnoFlicks.com](http://www.TechnoFlicks.com)

+98 21 88379242-49



# Instalação da manta de impermeabilização



Fonte: Valéria Cavalcanti



# Execução do revestimento secundário



Fonte: Valéria Cavalcanti

Pergunta: existe a necessidade do concreto projetado apresentar elevado ganho de resistência inicial?



# Pontos importantes

- O concreto projetado é material inerente ao processo de projeção NATM para execução do revestimento (primário e secundário) do túnel.
- O concreto projetado pode ser utilizado em outros sistemas (Tuneladora).

**• Concreto com dimensão máxima característica do agregado maior ou igual a 9,5mm, transportado através de uma tubulação, projetado sob pressão sobre uma superfície, com compactação simultânea. (NBR 14026).**

Obrigado pela atenção!

