

VOLUME 4 - Parte 2 (Tecnologia)

ANEXO A - Breve descrição de tecnologias de perfuração de túneis

TBM de Face Aberta

É um método de perfuração mecanizada de túneis no qual é usado lama para equilibrar a pressão na face da TBM.

Vantagens

- Limita o recalque do solo e produz uma parede lisa no túnel. Isso reduz significativamente o custo de revestir o túnel, e torna-o adequado para uso em áreas altamente urbanizadas
- Tecnologia simples
- Ideal para curtos percursos

Desvantagens

- A maior desvantagem é o custo de capital inicial. TBMs são caras para construir, difíceis de transportar, requerem significativos sistemas de backup e energia.
- Requer solo estável e taxas gerenciáveis de infiltração de água subterrânea
- Capacidade limitada de avançar com segurança em velocidade máxima através de condições de solo instáveis

Principais características

- Revestimento do Túnel – Segmentos de Concreto Moldado
- Desempenho Típico – 1m a 5m por dia. O desempenho e custos reais dependerão das condições do solo e diâmetro do túnel
- Custos Típicos – US\$ 33.300 a US\$ 49.600 por metro

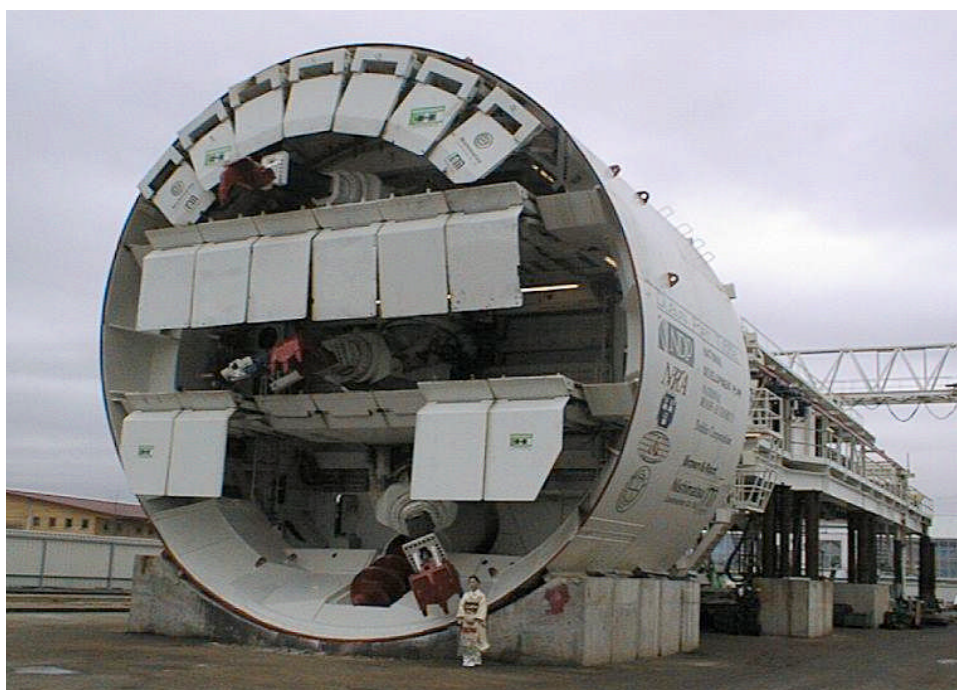


Figura 1 Típico TBM de Face Aberta

TBM de Equilíbrio de Pressão com Lama (SPB)

O princípio básico desta TBM é manter a pressão da face durante a fase de escavação, enchendo a câmara de trabalho, localizada atrás da cabeça de corte, com lama.

Vantagens

- Permite que sejam perfurados túneis em solo mole, úmido ou instável com velocidade e segurança previamente impossíveis
- Adequado para solos com altas pressões de água (abaixo do lençol freático)
- Limita o recalque do solo e produz uma parede lisa no túnel. Isso reduz significativamente o custo de revestir o túnel, e torna-o adequado para uso em áreas altamente urbanizadas

Desvantagens

- A maior desvantagem é o custo de capital inicial. TBMs são caras para construir, difíceis de transportar, requerem significativos sistemas de backup e energia.
- O avanço pode ser atrapalhado por grandes pedras e rochas

Principais características

- Revestimento do Túnel – Segmentos de Concreto Moldado
- Desempenho Típico – 5m a 30m por dia. O desempenho e custos reais dependerão das condições do solo e diâmetro do túnel.
- Custos Típicos – US\$ 7.106 a US\$ 47.036 por metro



Figura 2 TBM de Lama

TBM de Equilíbrio de Pressão com Solo (EPB)

É um método de perfuração mecanizada de túneis no qual o entulho é trazido para dentro da máquina de perfuração do túnel (TBM) através de um dispositivo transportador de rosca que permite manter equilibrada a pressão na face da TBM sem a utilização de lama.

Vantagens

- Permite que sejam perfurados túneis em solo mole, úmido ou instável com velocidade e segurança previamente impossíveis
- Limita o recalque do solo e produz uma parede lisa no túnel. Isso reduz significativamente o custo de revestir o túnel, e torna-o adequado para uso em áreas altamente urbanizadas

Desvantagens

- A maior desvantagem é o custo de capital inicial. TBMs são caras para construir, difíceis de transportar, requerem significativos sistemas de backup e energia.

Principais características

- Revestimento do Túnel – Segmentos de Concreto Moldado
- Desempenho Típico – 9m a 35m por dia. O desempenho e custos reais dependerão das condições do solo e diâmetro do túnel.
- Custos Típicos – US\$ 6.460 a US\$ 42.760 por metro

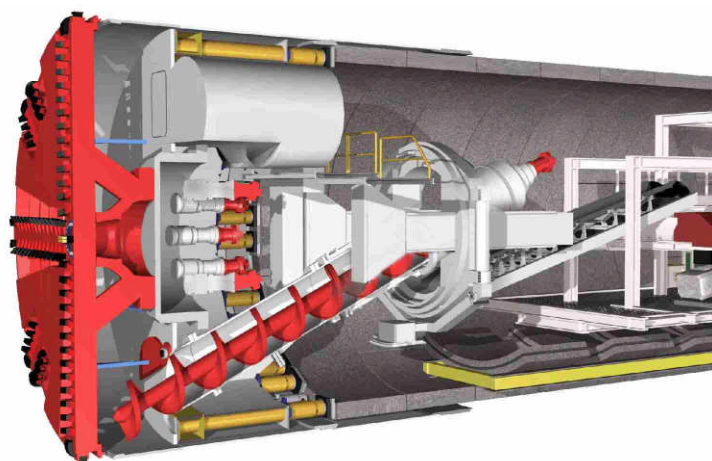


Figura 3 Corte Transversal de uma TBM de Equilíbrio de Pressão com Solo



Figura 4 TBM de Equilíbrio de Pressão com Solo

TBM de Rocha Dura

Este método envolve a utilização de uma máquina de Perfuração de Túnel com um escudo e cabeça de corte adequados para rocha dura

Vantagens

- Oferecem uma maneira contínua e controlada de perfuração de túneis capaz de altas taxas de progresso em condições favoráveis.

Desvantagens

- A maior desvantagem é o custo de capital inicial. TBMs são caras para construir, difíceis de transportar, requerem significativos sistemas de backup e energia.
- Sua aplicabilidade limita-se a túneis compridos onde as altas taxas de progresso e qualidade do túnel podem compensar seu alto custo de capital.

Principais características

- Revestimento do Túnel – Segmentos de Concreto Moldado / Concreto Projetado / Sem Revestimento
- Desempenho Típico – 12m a 67m por dia. O desempenho e custos reais dependerão das condições do solo e diâmetro do túnel
- Custos Típicos – US\$ 3.300 a US\$ 33.075 por metro



Figura 5 TBM de Rocha Dura

Furar e Explodir

Antes do advento de máquinas de perfuração de túneis, furar e explodir é a única maneira econômica de escavar longos túneis através de rocha dura, onde cavar era impossível

Furar e explodir funciona como segue:

1. São feitos vários furos na rocha, que é então preenchida com explosivo.
2. Detonar o explosivo fará com que a rocha colapse e assim encompride o túnel.
3. Remove-se o entulho e reforça-se a superfície do túnel.
4. Repetir estes passos eventualmente resultará num túnel.

As posições e comprimentos dos furos (e a quantidade de explosivo colocada em cada furo) são determinados por um padrão cuidadosamente construído, que, juntamente com o instante correto das explosões individuais, garantirá que o túnel tenha uma seção transversal aproximadamente circular.

Vantagens

- Adequado para rocha dura, onde cavar é impossível
- Sua flexibilidade mobilidade e baixo custo de capital constituem vantagens reais em muitas situações, tais como as que envolvem curtos percursos de túneis ou baixas taxas de progresso.

Desvantagens

- Existe alto risco de quebrar além do perfil do túnel e danificar a rocha vizinha
- Altos níveis de ruído e vibração fazem com que não seja adequado para área urbana.

Principais características

- Revestimento do Túnel – Concreto Projetado / Chumbadores de Rocha / Sem Revestimento
- Desempenho Típico – 0,1m a 1m por dia. O desempenho e custos reais dependerão das condições do solo e diâmetro do túnel
- Custos Típicos – US\$ 11.040 a US\$ 31.150 por metro



Figura 6 Típico Túnel de Furar e Explodir

NATM / SCL / SEM

O Novo Método Austríaco de Perfuração de Túnel (NATM), também conhecido como Revestimento de Concreto Projetado (SCL) ou Método de Escavação Seqüencial (SEM). NATM envolve revestir as paredes de um túnel escavado com telas metálicas e então projetar concreto de secagem rápida sobre elas. Um segundo revestimento de concreto pode ser instalado posteriormente.

NATM foi desenvolvido na Áustria, entre 1957 e 1965. A idéia básica é utilizar carga geológica da massa de solo circundante para estabilizar o próprio túnel.

Vantagens

- Elimina a necessidade de usar caros equipamentos de TBM durante a escavação
- Adequado para uma larga gama de geometrias (poços, junções, túneis não circulares e túneis com formas variáveis)

Desvantagens

- Sua adequação diminui em solo mais mole, que pode ceder quando escavado
- Não adequado abaixo do lençol freático em solos altamente permeáveis

Principais características

- Revestimento do Túnel – Concreto Projetado
- Desempenho Típico – 1m a 3m por dia. O desempenho e custos reais dependerão das condições do solo e diâmetro do túnel
- Custos Típicos – US\$ 9.700 a US\$ 88.525 por metro



Figura 7 Concreto Projetado



Figura 8 Túnel NATM