

# Túnel NATM



## ÍNDICE

- 1. Definição**
- 2. Norma**
- 3. Conceitos do NATM**
- 4. Adaptação as condições Brasileiras**
- 5. Procedimento executivo básico para túneis em solo**
- 6. Equipe de trabalho**
- 7. Manutenção de túneis NATM**

## 1. DEFINIÇÃO

O Novo Método Austríaco para Abertura de Túneis (NATM, New Austrian Tunneling Method) é uma maneira segura e muito eficiente de construir túneis. Basicamente, logo após a escavação parcial do maciço é instalada a estrutura de suporte. Esta estrutura é feita com concreto projetado e complementada, quando necessário, por tirantes e cambotas. Nesta metodologia, que à primeira vista parece simples, estão embutidos conceitos fundamentais.

O NATM, desenvolvido por Ladislau Rabcewicz, teve evolução significativa na Europa entre o final da década de 1950 e a primeira metade da década seguinte. Este desenvolvimento é fruto da experiência com trabalhos de execução de túneis em minas de carvão.

À época, observou-se que os escoramentos de madeira colocados nas

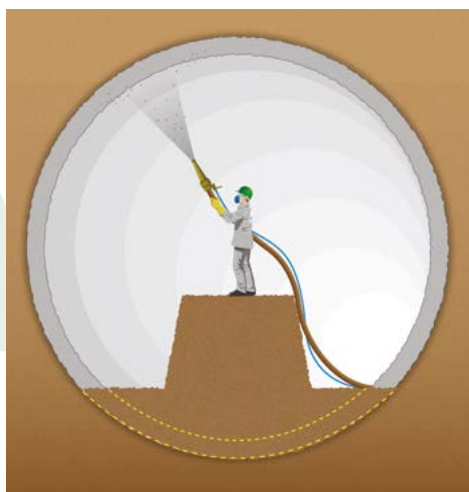


Figura 1 - Método NATM

galerias das minas, após as rupturas dos primeiros suportes provisórios, causadas pelos esforços do maciço, podiam ser mais leves que os instalados inicialmente, em consequência do alívio de tensões ocorridas.

O sucesso na utilização do NATM para escavação de túneis depende da compreensão e aplicação destes conceitos, bem como da experiência dos profissionais envolvidos na sua construção. Neste texto estão os principais conceitos que definem a tecnologia para a aplicação do NATM.

## 2. NORMA

Não existe norma específica da ABNT.

## 3 CONCEITOS DO NATM

### 3.1 Mobilização das tensões de resistência do maciço

O maciço que circunda o túnel, inicialmente atua como elemento de carga, mas passa a se constituir em elemento de escoramento com o tempo. Isto se deve à mobilização de suas tensões de resistência. É o princípio da estabilização pelo alívio das tensões e deformações controladas. (Figura 2)

que o suporte aja em toda a superfície escavada, melhorando sua interação com o maciço.

Métodos antigos, como o madeiramento, têm atuação pontual. Por mais cuidadoso que seja o encunhamento de fixação, estes processos causam vazios na junção, oferecendo condições para o início da desagregação do material e contribuindo para a perda da capacidade de auto-suporte do maciço.

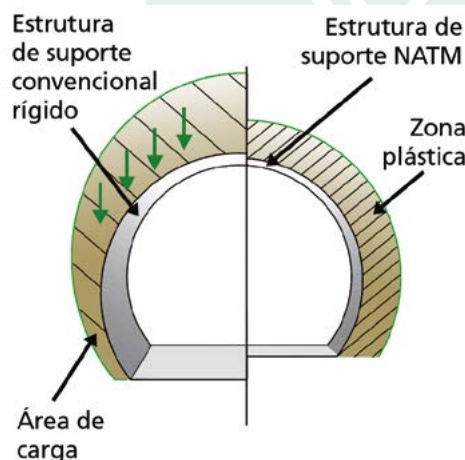


Figura 2 - Carga sobre revestimento.

### 3.2 Manutenção da qualidade do maciço pela limitação do avanço e aplicação imediata do revestimento

A acomodação excessiva do solo faz com que o maciço perca sua capacidade de auto-suporte e passe a exercer um esforço sobre a estrutura.

A aplicação imediata do revestimento de concreto projetado impede esta acomodação, bem como a formação de vazios na junção estrutura-macício, mantendo sua qualidade. Isto possibilita

### 3.3 Avanço e parcialização da seção de escavação, fechamento provisório e utilização do suporte adequado no momento certo

O avanço e a parcialização adequada da frente de escavação se dão em função do comportamento do maciço, que se traduz no tempo de auto-sustentação e deformidade do material.

Quanto maior o número de etapas, menor a área unitária de escavação, maior o tempo de auto-suporte da abertura,

que não está escorada, e menores os recalques.

Também influem na forma de parcialização: equipamentos disponíveis, prazo para execução da obra e custos. Em geral, é procurada uma solução que resulte na maior velocidade de execução.

O suporte do túnel trabalha como um anel contínuo, que deve ser concluído o mais brevemente possível. Por questões de organização construtiva, quando é previsto o avanço pronunciado da abóbada do túnel, muitas vezes é colocado um fechamento provisório do anel, para estabilizar aquela área do maciço enquanto as demais áreas são escavadas. Quando a escavação é finalizada, este piso é retirado para a construção do piso definitivo.

Duas questões são importantes na colocação do suporte: sua própria deformidade e o momento da aplicação. Quando o suporte é aplicado muito cedo, ou quando há pouca deformação, sua capacidade de resistência deve ser superior àquela realmente necessária para o caso ótimo, pois ele precisará trabalhar com níveis de tensões mais elevados, uma vez que o maciço ainda pode sofrer um alívio e, portanto, a aplicação de menor carga.

O comportamento da interação maciço-estrutura recebe fortes influências dos seguintes fatores: deformações do maciço e do suporte; tamanho da abertura da escavação; defasagem entre escavação e aplicação do suporte; espessura do suporte; método de avanço da escavação.

Quando necessário, e para melhorar as condições de sustentação, são adicionados elementos estruturais ao concreto projetado. Pode-se ter cambotas feitas com perfil metálico ou treliçadas, ancoragem no maciço do tipo tirante ou chumbador e enfilagem.

A colocação sistemática da ancoragem permite a mobilização da capacidade portante do maciço, impondo que as tensões confinantes ao redor da abertura se mantenham em níveis compatíveis, limitando as deformações. Para estabilizar previamente trechos a serem escavados, ou os emboques, são utilizadas enfilagens, cravadas ou injetadas.

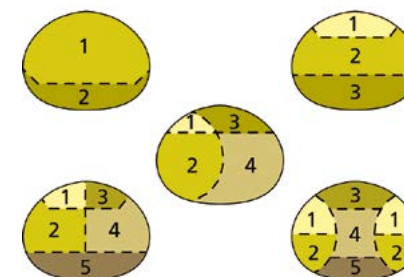


Figura 3 - Exemplos de parcialização de seção.

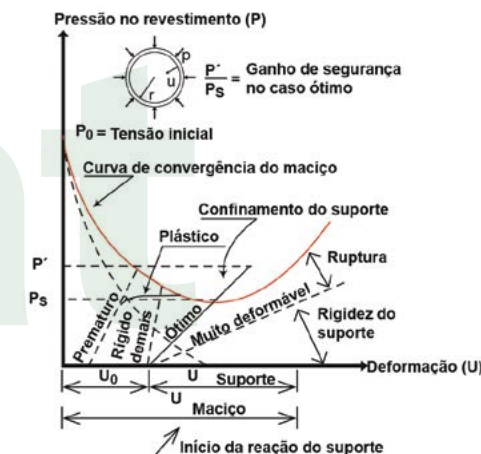


Figura 4 - Análise de variação de pressões atuantes no revestimento.

### 3.4 A utilização de enfilagem, tirante e cambota

### 3.5 Geometria mínima da seção escavada, preferencialmente arredondada

No NATM, o volume de solo escavado é somente o necessário para aplicação do revestimento de concreto projetado, sem necessidade de qualquer sobre-escavação.

Na construção do túnel, deve-se evitar geometrias com cantos vivos, eliminando locais com concentração de tensões, que

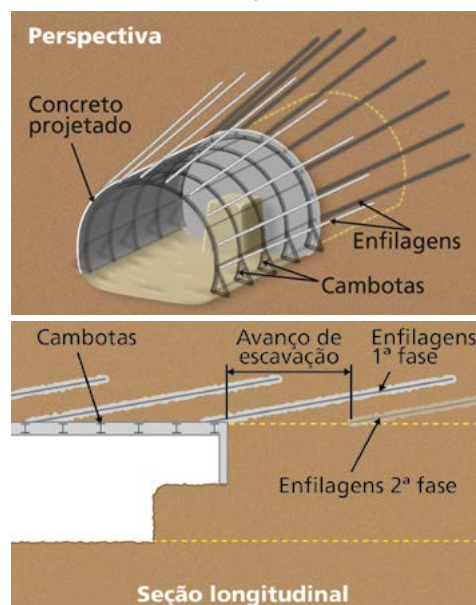


Figura 5 - Enfilagem e cambota.

podem levar à ruptura.

### 3.6 Drenagem do maciço

Sempre que houver a ocorrência de água, a colocação de drenos entre a estrutura e o solo permite o alívio destas pressões sobre a superfície de suporte do túnel, melhorando as condições de segurança

da obra e facilitando a escavação. Também com este objetivo, a aplicação de rebaixamento induzido do lençol freático é muito eficiente.

### 3.7 Caracterização geológico-geotécnica do maciço, instrumentação e interpretação das leituras de campo

A realização de ensaios de campo e de laboratório, somados às investigações de prospecção geológica e à análise de deformações do túnel, permite caracterizar e determinar parâmetros de resistência, deformidade e permeabilidade do maciço.

Segundo o projeto, são aplicados os seguintes tipos de instrumentação:

- Marcos de superfície para controle de recalques.
- Tassômetro para controle de recalques logo acima da calota do túnel.
- Pinos para controle de recalques nas edificações vizinhas.
- Nivelamento interno do túnel.
- Seções de convergência para controle de deslocamentos internos no revestimento do túnel.
- Piezômetro para controle da pressão hidráulica no maciço.
- Indicadores de nível d'água para controle do nível freático.
- Inclinômetros.

No NATM, dados oriundos das instrumentações de campo têm papel muito importante, pois eles permitem medir o desenvolvimento das deformações, o alívio das tensões e, conseqüentemente, a interação entre

suporte e maciço circundante, e além disso:

- Alertam para situações imprevistas, possibilitando tomar decisões rápidas.
- Fornecem subsídios para aferir as hipóteses iniciais do projeto, permitindo adaptações e correções do método construtivo, ajustando o espaçamento entre as cambotas e os tratamentos previstos.
- Promovem condições para melhorar o desempenho da obra quanto à produtividade, segurança, economia e qualidade, através da interpretação das leituras dos instrumentos associada aos eventos observados na obra.

## 4. ADAPTAÇÃO AS CONDIÇÕES BRASILEIRAS

No início de sua aplicação no Brasil o método NATM considerava os condicionantes e necessidades européias. Em sua adaptação aos solos locais, os túneis passaram a ser executados com alguns detalhes práticos aqui desenvolvidos, por exemplo:

- Execução previamente à escavação de:
  - a) Enfilagens constituídas por tubos com válvulas manchete;
  - b) Jet grouting horizontal.
  - c) Grampeamento da frente de trabalho. Este trabalho considera o tratamento do solo a escavar diretamente pela frente de escavação. Pode ser constituído por barras de fibra de vidro inseridas em perfurações e fixadas com calda de cimento, ou por injeção de consolidação através tubos de PVC dotado válvulas manchete.

## 5. PROCEDIMENTO EXECUTIVO BÁSICO

### 5.1 Considerações Iniciais

O gabarito externo da seção transversal do túnel é fixado antes do início dos trabalhos, servindo como diretriz para a escavação do túnel.

Previamente, é definido se o túnel será executado em uma ou duas frentes, dependendo da urgência na conclusão da obra. No caso de duas frentes de ataque, é recomendável o uso de serviços topográficos de precisão, para que ocorra a perfeita concordância no momento do encontro das duas frentes de escavação.

### 5.2 Escavação e execução do revestimento

A abertura do túnel deve ser efetuada nas etapas indicadas a seguir:

- a) De acordo com a área da seção transversal do túnel e das características geotécnicas do maciço a escavação da frente pode ser parcializada ou plena, conforme indicações contidas no projeto. No caso de escavação parcializada, é deixada na frente da escavação e no seu miolo, um núcleo de terra para auxiliar na estabilidade. O comprimento do avanço, ou passo da escavação, é definido no projeto. Todavia, o que determina os passos do avanço é o comportamento do maciço, revelado no dia-a-dia da obra.
- b) Uma vez efetuado o passo da escavação, é aplicado o concreto projetado. No caso de túnel com armação de fibras, o concreto projetado é aplicado na espessura determinada no projeto. No caso de armação com tela, aplica-se uma camada de concreto projetado com 3 cm de espessura, que evita possíveis deslocamentos do solo.

A seguir, é fixada por meio de grampos

a camada externa de tela soldada, obedecendo-se o transpasse estipulado no projeto, e executada a posterior cobertura da mesma com concreto projetado, até a posição de instalação da camada interna da tela. Após a colocação da tela, efetua-se sua cobertura com 3 cm de concreto projetado, finalizando-se assim o revestimento deste passo de avanço.

Caso o projeto especifique acabamento liso da superfície do revestimento, esta última camada será feita de argamassa, com superfície desempenada a sarrafo.

c) O processo de abertura e execução do revestimento, conforme os itens anteriores, é repetido até a finalização da obra. A grande vantagem na aplicação da fibra em substituição a tela é a redução do tempo de trabalho decorrente da ausência do transpasse da tela a cada avanço.

### 5.3 Rebaixamento temporário do lençol freático

O projeto determina a necessidade, ou não, de se promover o rebaixamento temporário do lençol freático durante a execução do túnel. Conforme a profundidade do túnel o rebaixamento se dá por ponteiros a vácuo ou por poços com bombas submersas (para saber mais detalhes consulte o capítulo Rebaixamento do Lençol Freático).

Diâmetros e profundidades dos componentes do rebaixamento são definidos no projeto. Em qualquer sistema devem estar disponíveis na obra bombas sobressalentes para imediata substituição daquelas com avarias. A operação dos sistemas deve ter assistência permanente, 24 horas por dia.

A necessidade de um gerador na obra, para manter a operação em eventuais faltas de energia na rede pública, deve ser analisada.

### 5.4 Cambotas e enfilagens

Quando há suspeita de instabilidades na frente de escavação, em qualquer trecho do túnel, ou ocorrência de recalques na superfície superiores aos esperados, deve se sistematizar o uso de cambotas.

As cambotas podem ser de perfis metálicos calandrados ou de treliças de barra de aço. Suas geometrias têm a função de guia para execução das enfilagens. As enfilagens podem ser também de chapas de aço onduladas ou de vergalhões, cravados com martelete pneumático.

A espessura da chapa de aço é definida no projeto. Os vergalhões têm entre 20 e 25 mm de diâmetro, e comprimentos determinados no projeto. O processo de execução é descrito a seguir.

- Instalação da cambota metálica nas dimensões já definidas. O espaçamento entre cambotas é definido diariamente no campo, dependendo do comportamento do maciço.
- Execução das enfilagens.
- Escavação da seção, até a posição de instalação de outra cambota, respeitando-se o passo de avanço do projeto ou aquele definido na obra.
- Aplicação do revestimento de concreto projetado e de telas soldadas.
- Escavação da seção e repetição de todo o processo, até que se ultrapasse a região de instabilidade.
- Retorna-se, ou não, às condições normais de escavação, conforme as condições locais do maciço. As cambotas,

neste caso, têm função de suporte temporário, sem efeito estrutural permanente. Todos os esforços são absorvidos pelo revestimento de concreto projetado armado.

### 5.5 Enfilagens especiais

Quando o túnel passa sob estruturas, galerias, canais ou ferrovias, os recalques na superfície devem ser minimizados, e deve obter-se maior estabilidade na frente de escavação, com a execução prévia de enfilagens especiais instaladas em perfurações, cujos comprimentos situam-se em torno de 12 m.

As enfilagens podem ser formadas por tubos de aço com ou sem válvulas-manchete, ou barras acopladas a tubos com ou sem válvulas-manchete. Suas características e espaçamentos são definidos no projeto. No caso do uso de válvulas-manchete há a injeção de nata de cimento em diversas etapas com quantidades e pressões definidas no projeto.

### 5.6 Precaução

Em todas as interrupções de turnos de trabalho, deve ser avaliada a estabilidade provisória da frente. Se necessário, deve ser aplicada uma camada provisória de concreto projetado.

## 6. EQUIPE DE TRABALHO

### 6.1 Encarregado geral de serviços

a) Verifica: condições para entrada e movimentação de equipamentos no canteiro da obra; descarregamento de equipamentos, utensílios e ferramentas; instalação da central de trabalho e

implantação geral da obra.

b) Verifica a programação de execução (sequência executiva) de acordo com características da obra e necessidades do cliente.

c) Coordena o DDS (diálogo diário de segurança) antes do início das atividades diárias e instrui os demais trabalhadores em relação à segurança durante a execução dos serviços.

d) Coordena o direcionamento do túnel através da topografia expedita.

e) Orienta em relação aos procedimentos de escavação, da aplicação do revestimento provisório, da drenagem na frente de escavação, da montagem da rede elétrica e dos dutos de ventilação.

f) Decide pela execução de serviços complementares de segurança: enfilagens, drenos etc.

g) Obtém do responsável pela obra a liberação formal no tocante à geometria e locação do túnel (cotas e direção), à medida que os trabalhos são desenvolvidos.

### 6.2 Feitor

a) Distribui e fiscaliza atividades da frente de escavação, dos serviços de apoio para a retirada de material, do preparo e da projeção do concreto, da instalação de ferragens, enfilagens, drenos etc.

b) Acompanha passo-a-passo a escavação (geometria e avanço) com especial atenção às condições de estabilidade do maciço.

c) Discute com o encarregado geral da obra as velocidades de avanço e o ciclo de operação (escavação e revestimento do túnel), operacionaliza o direcionamento

do túnel (topografia expedita) e a execução de serviços complementares de segurança: enfilagens, drenos etc.

### 6.3 Frentista

a) Executa a escavação conforme o gabarito do projeto (geometria).

b) Aplica ferragens, cambotas, enfilagens, drenos ou outros elementos que sejam necessários.

c) Opera o mangote de projeção (como mangoteiro) ou controla a bomba de projetado (operador de bomba).

d) Ajuda o feitor na execução da topografia expedita.

### 6.4 Auxiliar geral

a) Retira a terra escavada e leva materiais até a frente de escavação: ferragens, cambotas, ferramentas etc.

b) Quando o concreto é produzido na obra, operacionaliza a mistura dos materiais, de acordo com o projeto.

\* Devido à não simultaneidade das tarefas, um mesmo funcionário pode exercer várias funções, desde que esteja qualificado.

## 7. MANUTENÇÃO DE TÚNEIS NATM

### 7.1 Paramento de concreto

A parede de concreto não exige manutenção especial, só as usuais para o concreto comum.

As juntas devem ser limpas com aplicação de mastique sempre que for necessário.

Manchas eventuais de umidade no concreto podem evidenciar uma possível ineficiência da drenagem de face ou

da drenagem profunda. Inicialmente, deve ser feita a manutenção preventiva. Caso ocorram manchas de umidade na superfície do concreto, este deve ser perfurado para se verificar o motivo desta ocorrência. Pode ser instalado um dreno profundo adicional para eliminação da umidade local.

### 7.2 Drenagem de face

As saídas destes drenos devem sofrer limpezas constantes, de forma a não interromper o caminho aberto para o fluxo de água.

### 7.3 Drenagem profunda

Os drenos profundos devem ser verificados anualmente, da seguinte forma:

- Construa um êmbolo que penetre no DHP (a folga entre o êmbolo e o PVC do dreno deve ser de aproximadamente 1 mm);
- Injete água pelo êmbolo e, ao mesmo tempo, introduza-o até o final do dreno;
- Retire o êmbolo.

Esta operação deve ser repetida diversas vezes, até a água, que sai logo após a retirada do êmbolo, estar translúcida.

Veja as ilustrações na página 21, capítulo Solo Grampeado.

## ALGUNS EXEMPLOS DE TÚNEIS NATM EXECUTADOS PELA SOLOTRAT



Figura 6 - Túnel residencial para acesso a elevador, com 3,5m de diâmetro.



Figura 7 - Túnel Industrial.



Figura 8 - Túnel metroviário, com seção de 66,0m².



Figura 9 - Túnel sob via pública para interligação entre prédios hospitalares, com 3,64m de diâmetro.



Figura 10 - Túnel urbano de pedestres sob ferrovia, com seção de 10,0m².



Figura 11 - Túnel industrial para serviços industriais, com 5,16m de diâmetro.

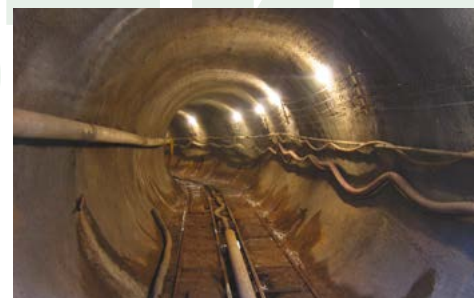


Figura 11 - Túnel para canalização de água com 3,00m de diâmetro.



Figura 12 - Túnel de interligação entre edifícios.