

CAMARGO
CORRÊA

PALESTRA TÉCNICA INTRODUTÓRIA

POR

Alaor Coelho Júnior
Jaime Mesquita de Souza

ORIENTAÇÕES PARA EXECUÇÃO DE TÚNEIS

- 1. Características gerais do túnel**
- 2. Características Geológico-Geotécnicas**
- 3. Noções gerais sobre NATM**
- 4. Esforços no revestimento**
- 5. Considerações sobre a execução**
- 6. Outros**
- 7. Tópicos de qualidade**

1. Características gerais do túnel Tombos B

➤ **Extensão**

380 m

➤ **Declividade**

1,902%

➤ **Estacas**

Emboque Rio: 30

Emboque Minas: 11

2. Características Geológicas-Geotécnicas

➤ Extensão por classe de rocha

Classe de Rocha	Porcentagem	Extensão (m)
I ou II	26,84	102
III	20,79	79
IV	13,16	50
V	39,21	149

- A prospecção geofísica indica escavação em terreno saturado em três intervalos:
 - Intervalo 1: 13+4,83 a 14+18,45;
 - Intervalo 2: 18+0,71 a 19+10,26;
 - Intervalo 3: 23+14,03 a 24+16,61.
- Atenção aos lineamentos fotointerpretados que poderão ocasionar queda brusca na qualidade do maciço rochoso nas proximidades das estacas 20 e 24.

3. Noções gerais sobre NATM

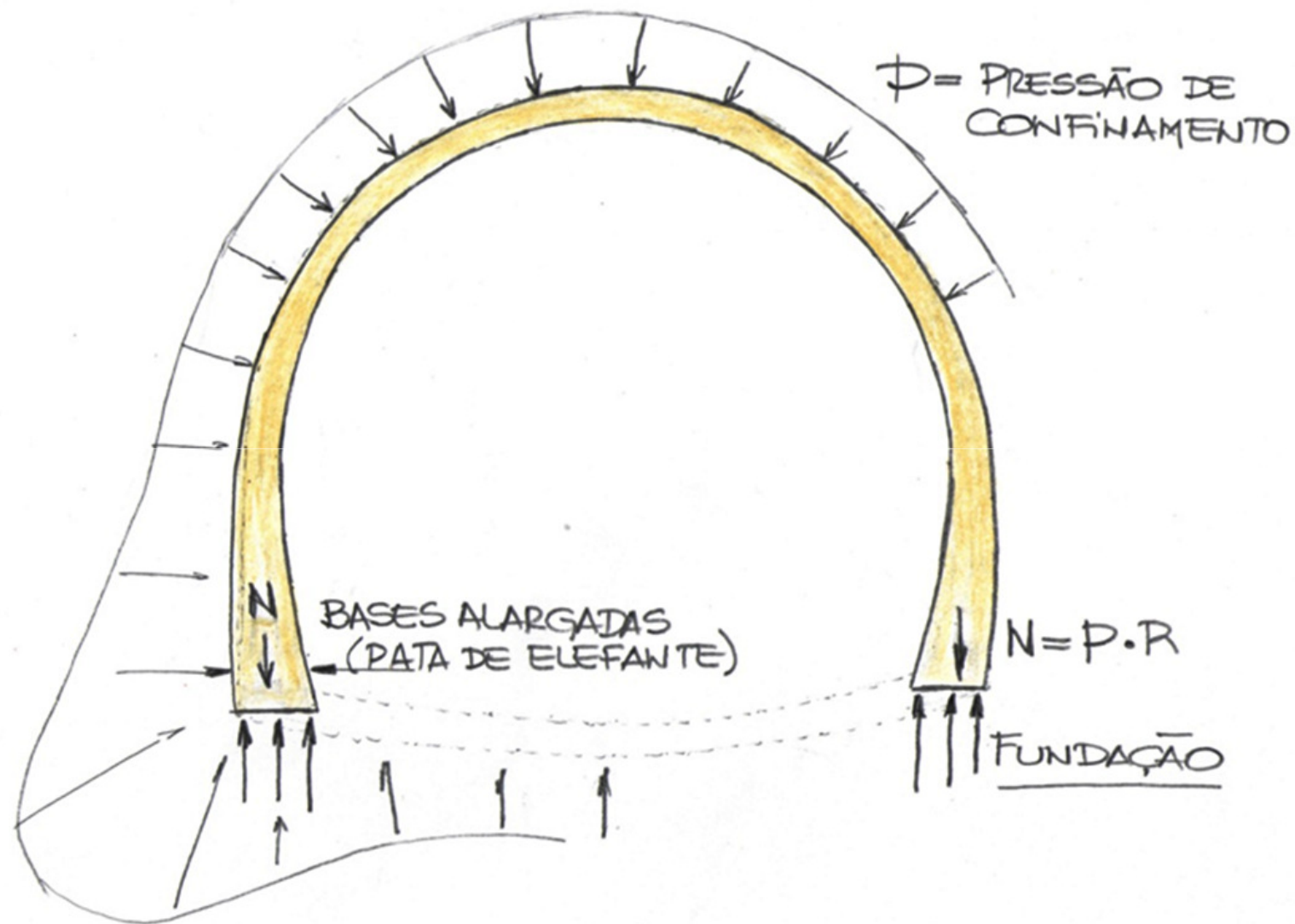
- A metodologia NATM (*New Austrian Tunneling Method*) foi desenvolvida no final da década de 50, para execução de túneis mineiros em rocha e adaptada para túneis em solo;
- Como característica principal do método, faz-se uso do revestimento primário em concreto projetado para evitar deformações excessivas do maciço, garantindo o controle destas, a níveis aceitáveis e pré-calculados;
- O revestimento normalmente é delgado e passível de pequenas deformações, até que se obtenha o equilíbrio das tensões e a conseqüente estabilização da escavação e da estrutura do túnel;

- A movimentação tanto da estrutura quanto do maciço, deve ser acompanhada através de metodologia de avaliação própria, das leituras das deformações medidas através de:
 - ✓ Instrumentos instalados no maciço (tassômetros, marcos superficiais e piezômetros);
 - ✓ No revestimento do túnel (pinos de recalque e convergência);
 - ✓ Nos imóveis próximos (pinos de recalque) no caso de túneis urbanos, que deverão então, apontar as tendências à evolução ou à estabilização.

4. Esforços no revestimento

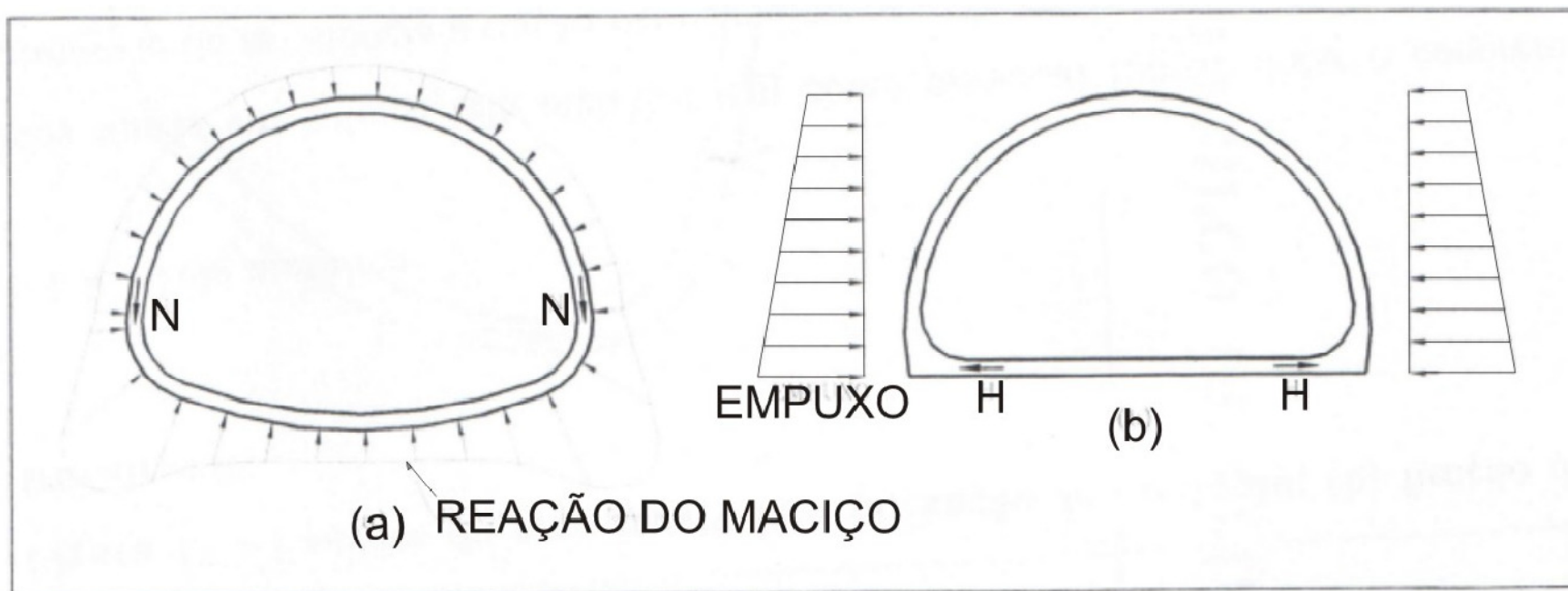
- O maciço aplica esforços em todo o envoltório do revestimento de concreto e este por sua vez, os transmite através de esforços normais;
- Na fase inicial ou seja, na instalação da calota, esses esforços são canalizados ao maciço (pé) que servirá de fundação e a sapata, base do revestimento (pata de elefante), deverá ser dimensionada para distribuir essas tensões no maciço conforme sua capacidade de suporte.

4. Esforços no revestimento



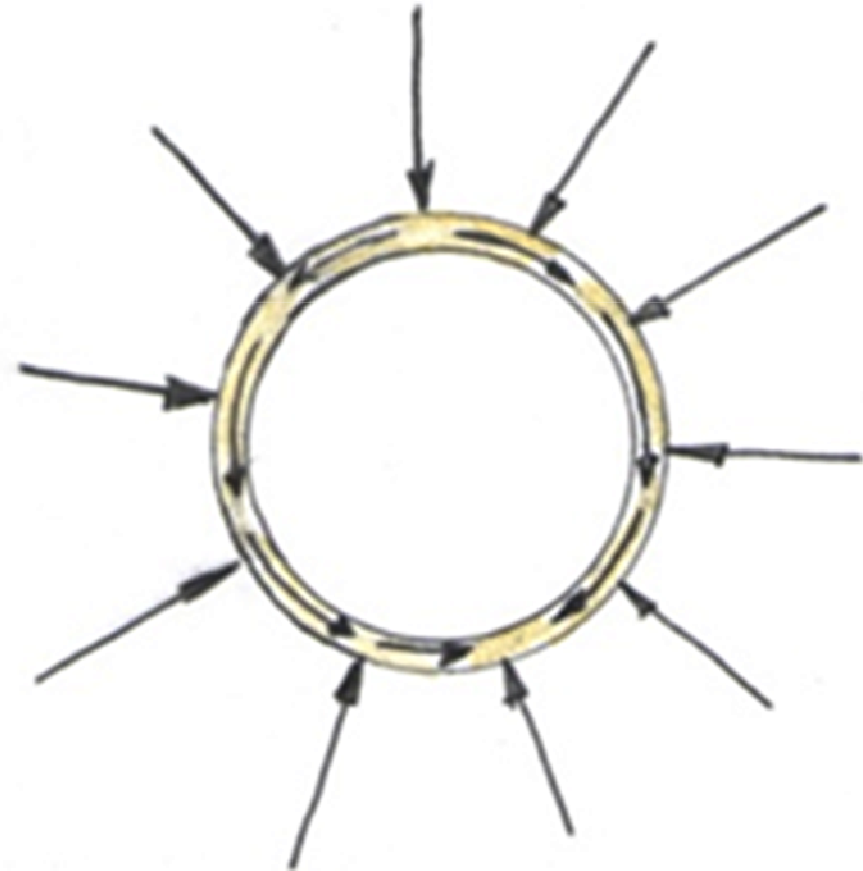
4. Esforços no revestimento

- Ao ser instalado o arco invertido, esses esforços são equilibrados pela seqüência construtiva do revestimento, fechando o envoltório e equilibrando o sistema .



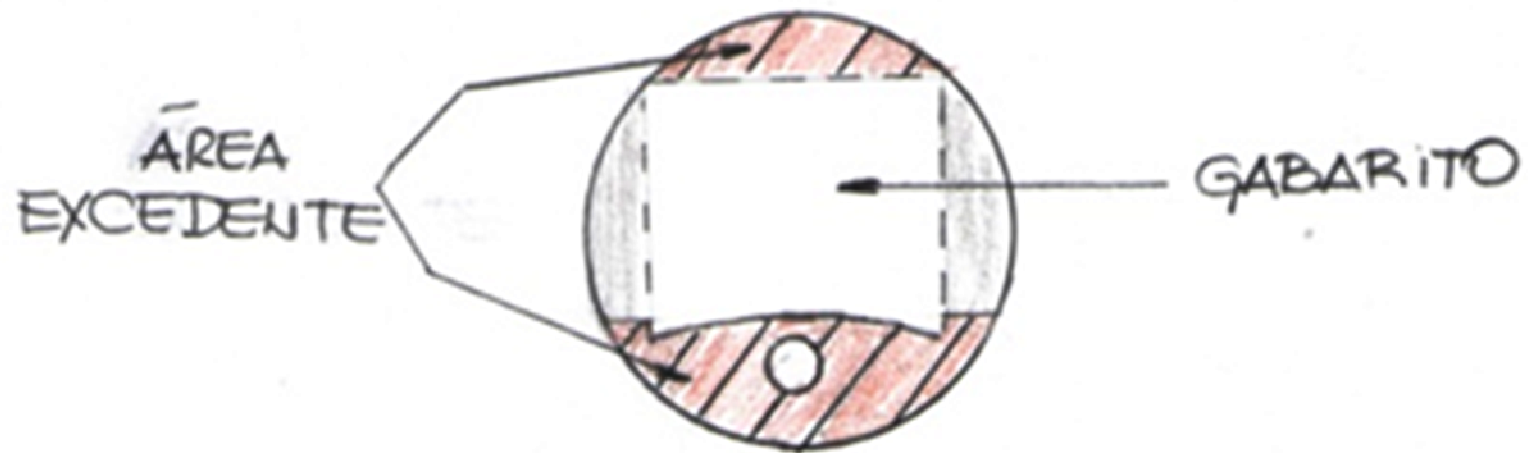
4. Esforços no revestimento

- A seção do túnel ideal é a circular, onde o maciço aplica esforços ao revestimento de forma regular e homogênea sem pontos de inflexão e portanto sem concentração de tensões;



4. Esforços no revestimento

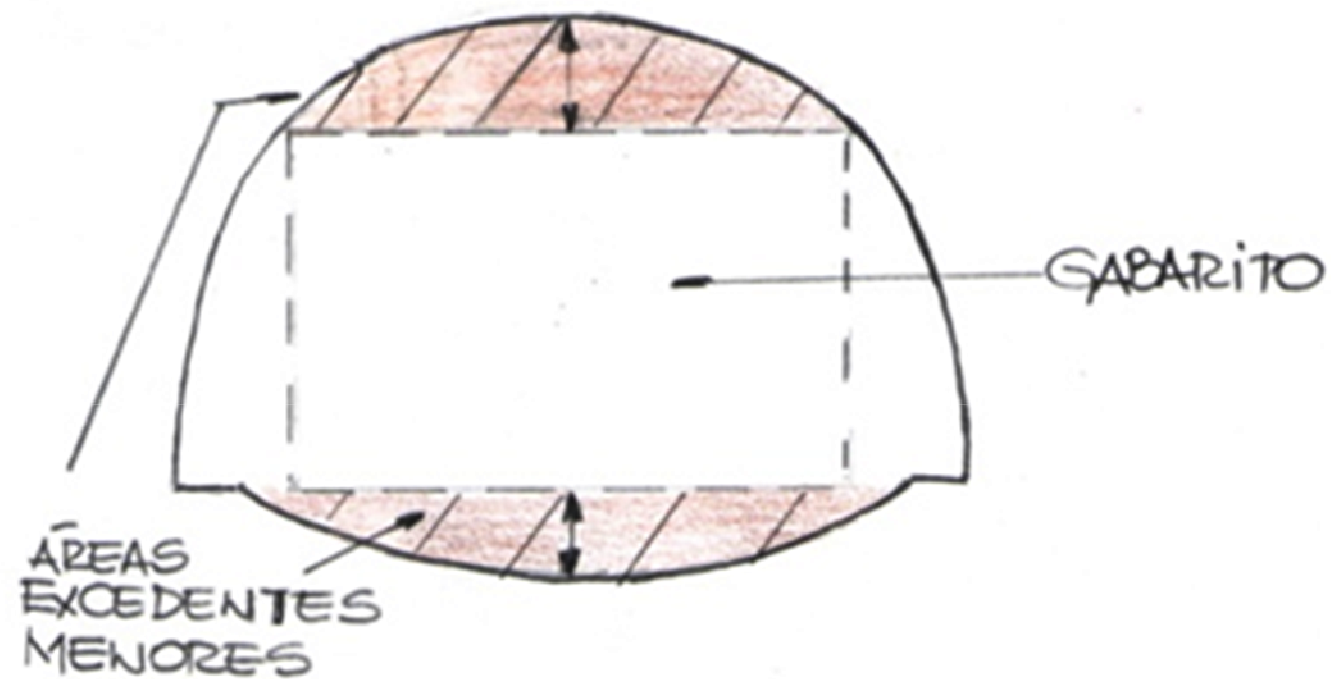
- Acontece que a seção circular, principalmente no caso de grandes seções, com gabarito intrínseco, não é uma opção econômica, por “produzir” grandes áreas a serem preenchidas (*invert*) ou perdidas, sem uso;



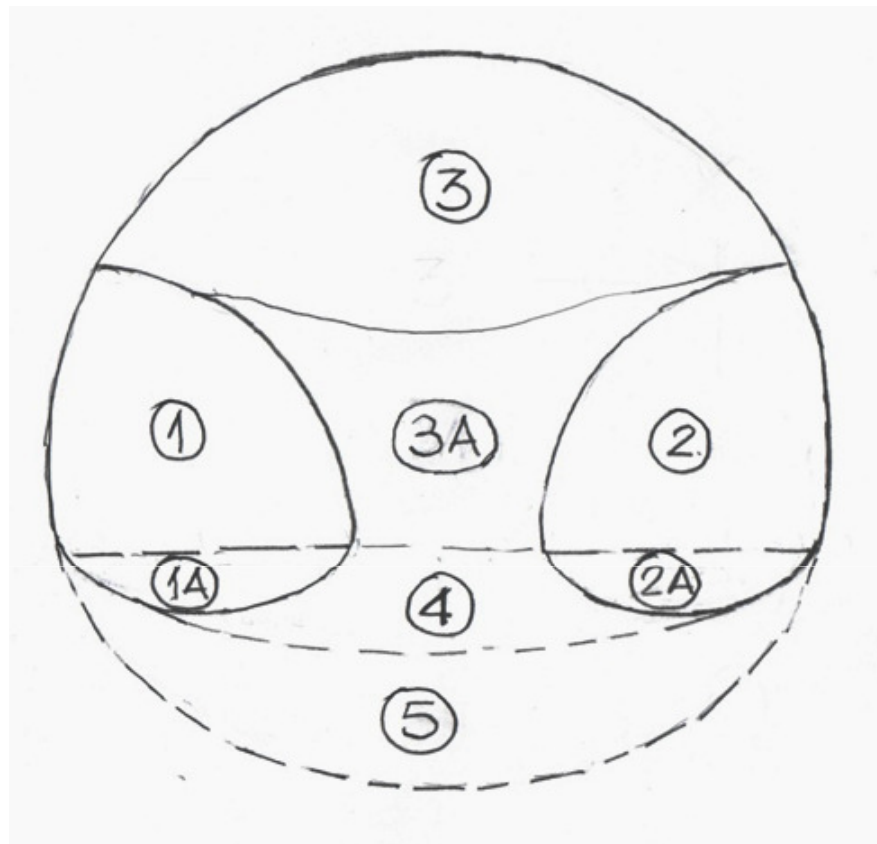
4. Esforços no revestimento

- Desta maneira, opta-se por seções semi circulares, ovóides ou mistas, que se adéquem ao gabarito proposto, diminuindo as áreas perdidas e mais viáveis economicamente;
- Como consequência aparecem pontos de concentração de tensões no revestimento que invariavelmente se concentram nas inflexões, ou seja, na junção entre o pé da cambota e o arco invertido. **ÁREA A SER TRATADA COM ATENÇÃO;**

4. Esforços no revestimento

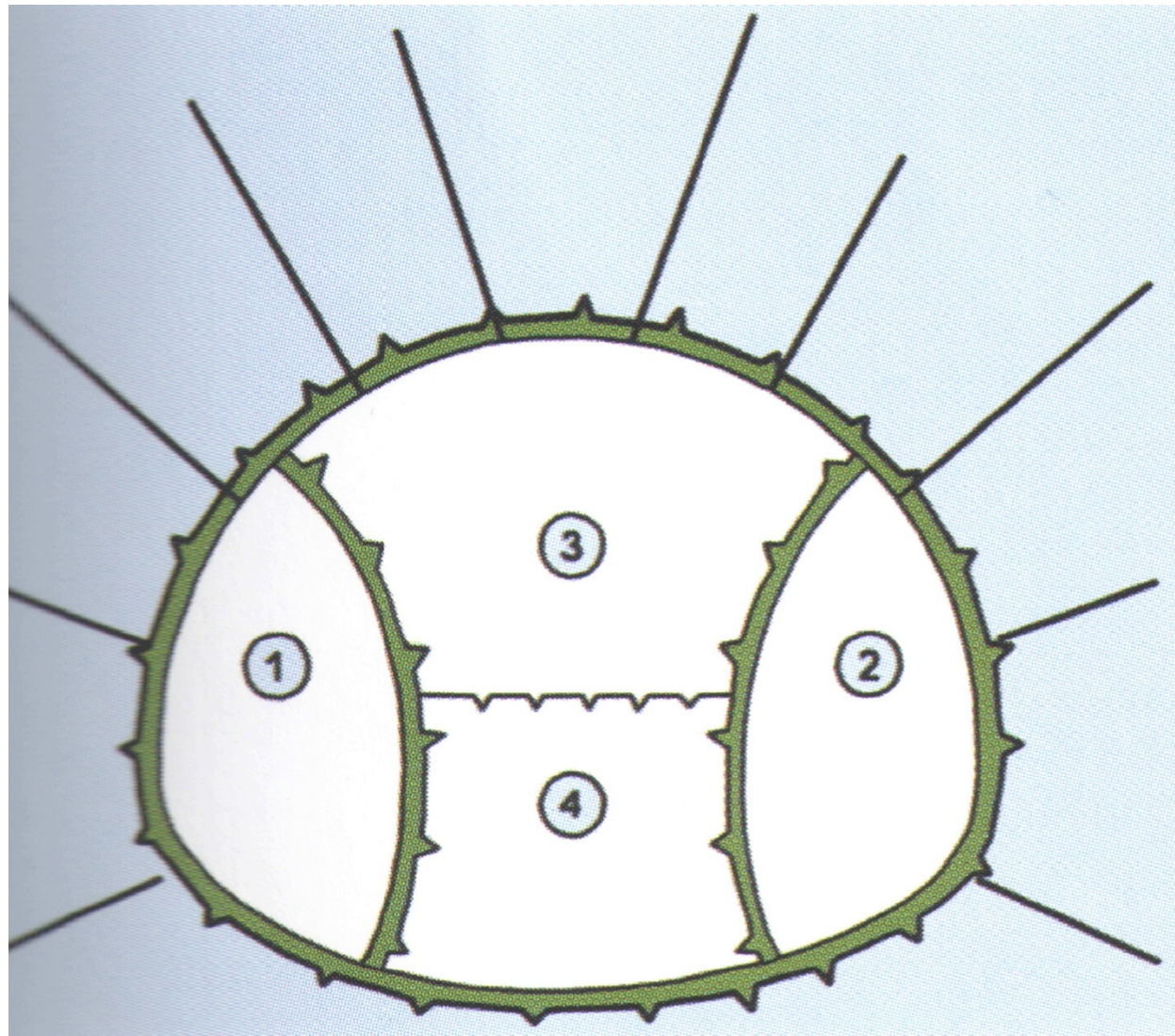


4. Esforços no revestimento



- Túnel para estação de metrô, com seção 230 m², sendo:
- ✓ 1 e 2: *side drifts*;
 - ✓ 3: calota;
 - ✓ 4: arco invertido provisório;
 - ✓ 5: arco invertido definitivo.

4. Esforços no revestimento



4. Esforços no revestimento

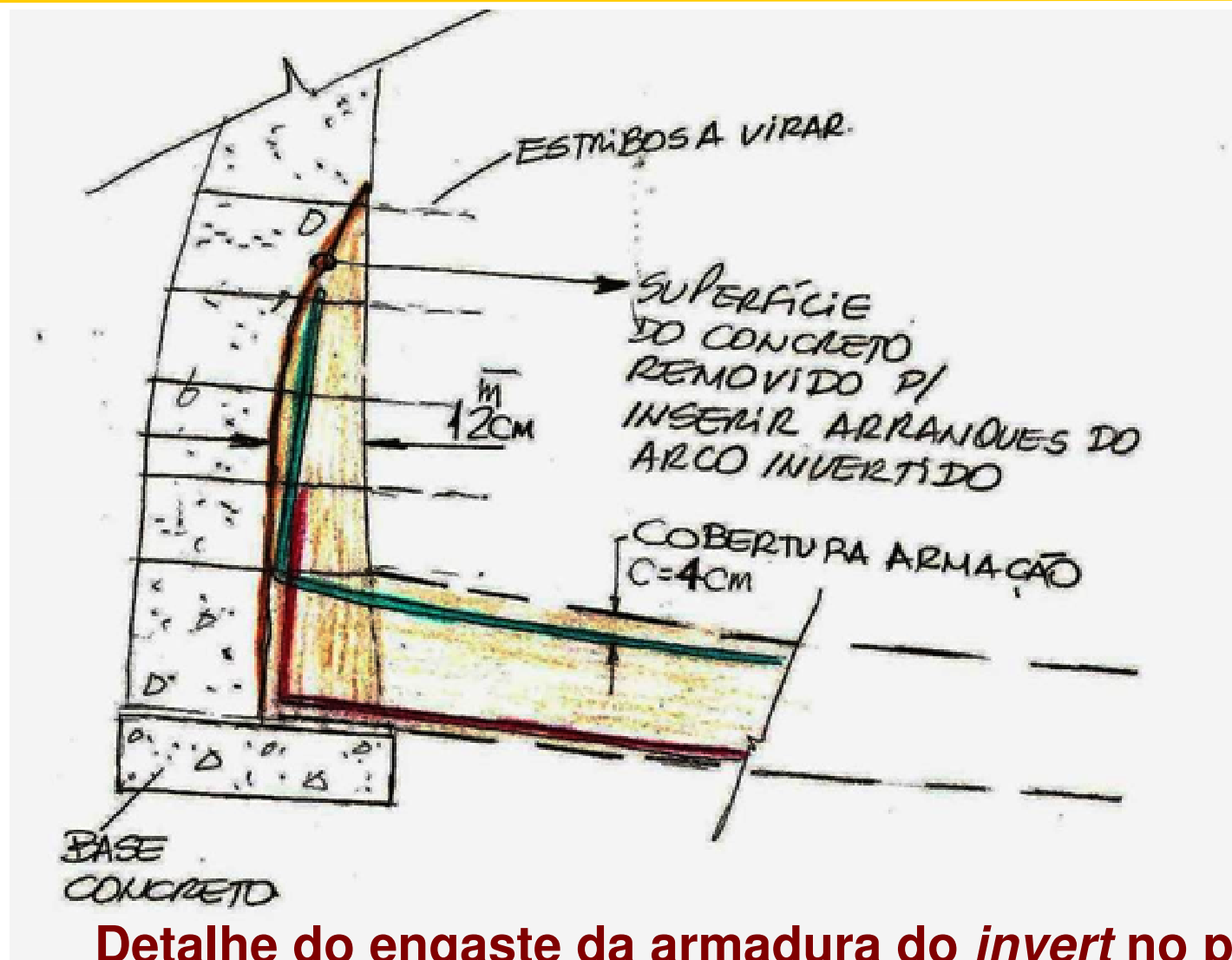
- A depender da classificação do maciço e das peculiaridades admitidas pelo projeto, haverá uma variação no revestimento do túnel, revestimentos primário e secundário assim como nos tratamentos a aplicar:
 - ✓ Túneis em solo: o revestimento primário consiste na aplicação de concreto projetado (com ou sem fibras) e instalação de cambotas metálicas;
 - ✓ Túneis em rocha: concreto projetado e chumbadores e/ou tirantes;
 - ✓ Em ambos os casos, os tratamentos podem estar associados a tratamentos mais específicos para a garantia da estabilidade da escavação, como pregagens de frente, enfilagens, CCPH (*jet grouting* horizontal).

5. Considerações sobre a execução

➤ Cambota metálicas

- ✓ As cambotas são parte integrante do revestimento primário dos túneis, e ultimamente levando-se em consideração o aspecto econômico, são projetadas como uma treliça metálica e executadas com barras de aço CA-50, sendo resistentes e mais leves;
- ✓ São responsáveis pelo suporte de concreto projetado até que este tenha a resistência necessária para se auto portar, assim como absorver parte dos esforços do maciço;
- ✓ Outra função das cambotas é a de ser o gabarito, fornecendo o alinhamento e a espessura do concreto projetado do revestimento primário.

5. Considerações sobre a execução



Detalhe do engaste da armadura do *invert* no pé direito do túnel.

5. Considerações sobre a execução



5. Considerações sobre a execução

➤ Notas (cambota metálica)

- ✓ Nos túneis do mineroduto a projetista previu um único revestimento para os túneis em solo, sendo assim, as cambotas tem função também estrutural;
- ✓ Portanto devem ser preservadas de choques contra os equipamentos e ferramentas, preservando assim a armadura tanto na escavação como na limpeza do túnel;
- ✓ Seu apoio deve ser feito sobre bloco de concreto e este diretamente sobre o solo do maciço;
- ✓ Caso a escavação tenha avançado além da cota de apoio prevista, complementar com brita e nunca com solo, para evitar recalques (figura 7);

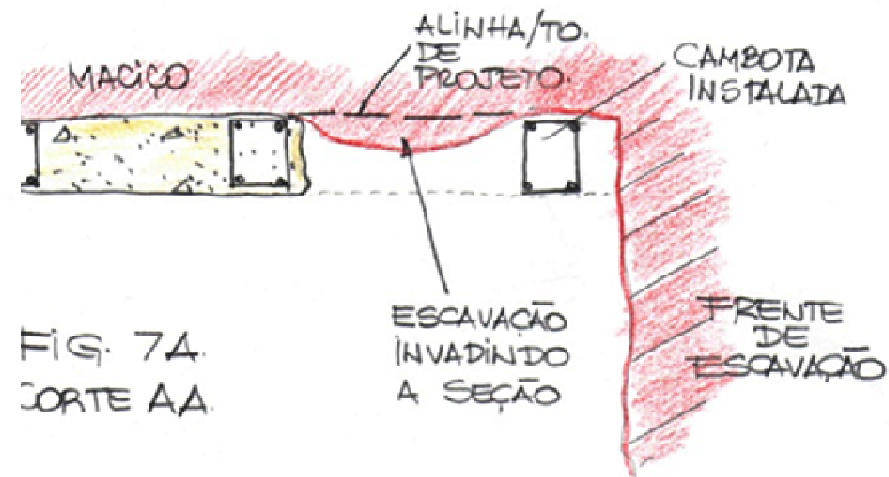
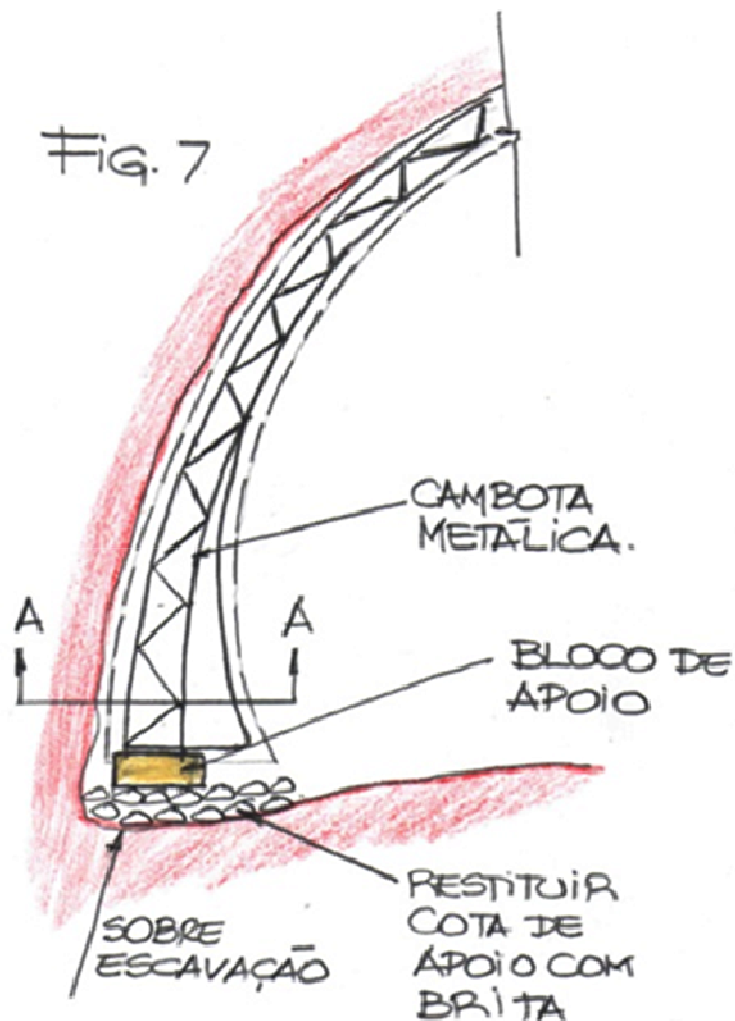
5. Considerações sobre a execução

- ✓ Escavar conforme o projeto as sapatas de apoio do revestimento do túnel (pés das cambotas), não só na região do apoio da cambota, mas em todo o comprimento do avanço (figura 7A);

➤ Concreto projetado

- ✓ O concreto projetado é o componente fundamental para garantia da estabilidade do túnel, a partir da sua aplicação, pois as deformações e esforços serão suportados por ele;
- ✓ Aplicar materiais de qualidade e livres de impurezas;

5. Considerações sobre a execução



5. Considerações sobre a execução



Fundação da
cambota

5. Considerações sobre a execução

- ✓ **Traço correto: seguir a dosagem especificada para o traço;**
- ✓ **Dosagem corretamente: água e os aditivos;**
- ✓ **Aferir as bombas de aditivos em função do traço e da vazão das bombas de projetado;**
- ✓ **Atentar para a mistura correta, para a distância de transporte e para os volumes a serem fabricados, em comum acordo com o tempo de aplicação da bomba evitando aplicação de concreto vencido.**

5. Considerações sobre a execução

- **Aplicação do concreto projetado**
 - ✓ **Movimentos circulares do bico;**
 - ✓ **Afastamento do bico em relação a superfície de aplicação entre 1,20 e 1,50 m;**
 - ✓ **No caso de via seca, o mangoteiro deve utilizar o mínimo de água necessária;**
 - ✓ **Estar atento à pressão do compressor e as distâncias das redes de mangotes (20 m) e redes metálicas;**

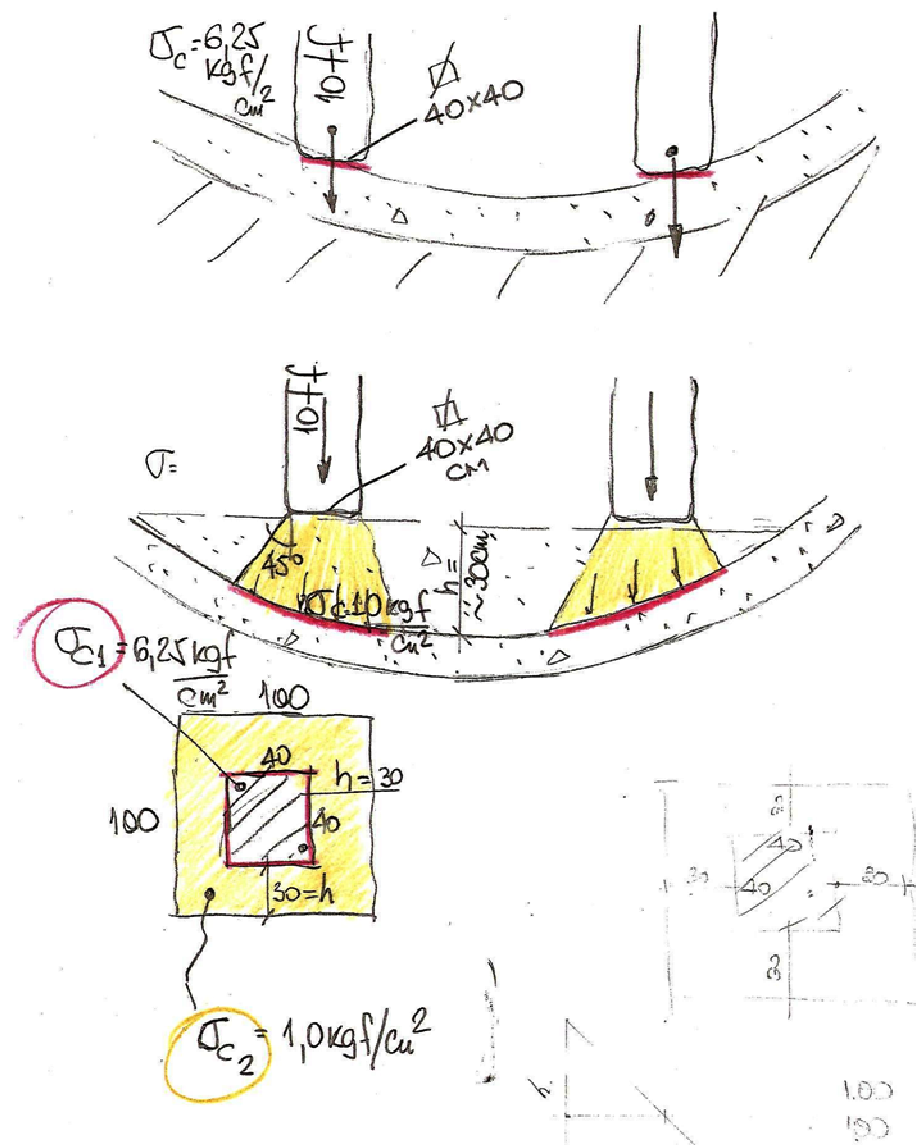
➤ **Instrumentação**

- ✓ Os pinos devem ser embutidos no revestimento para preservá-los de choques com equipamentos e ferramentas;
- ✓ Observar medidas de controle para o cobrimento do concreto projetado especificado em projeto;
- ✓ Ciclo de trabalho no trecho em solo que preveja avanço de calota na semana e execução do arco invertido da frente para o emboque no final da semana, permitindo a cura do *invert* de mínimo 24 h (domingo);

➤ **Instrumentação**

- ✓ **A cobertura mínima de 30 cm de material sobre o concreto do *invert* para o greide de trabalho evitando assim o contato direto dos pneus do equipamento com o concreto. Observar no croqui seguinte a distribuição de tensões no concreto com e sem enchimento;**
- ✓ **Identificar cambotas a cada 5 unidades nas laterais dos túneis e proceder da mesma forma identificando as estacas do túnel e as seções de convergência. Exemplo: SC 05 M e E – 21 + 3,50m;**

6. Outros



6. Tópicos de qualidade

- A qualidade deve estar atenta aos procedimentos de serviços detectando anomalias e abrindo processo de não conformidade para correção de desvios;
- Aspectos ligados ao controle de qualidade dos materiais recebidos no canteiro, assim como cuidados com seu armazenamento:
 - ✓ Areia: granulometria (impurezas e abrigo da chuva);
 - ✓ Pedrisco: impurezas (pó de pedra em excesso);
 - ✓ Cimento: vencimento, estocagem pilhas com altura máxima, abrigo da umidade, não misturar tipos de cimento em um mesmo local;

6. Tópicos de qualidade

- ✓ **Aditivos: vencimento e abrigo do calor;**
- ✓ **Resina: vencimento e abrigo do calor;**
- ✓ **Cambotas: organizar a estocagem e identificar peças, segmentos de uma mesma cambota (calota, pés e arco invertido);**
- **Controles tecnológicos:**
 - ✓ **Concreto projetado em emboques e túnel;**
 - ✓ **Aço CA 50 e chumbadores do túnel com aplicação de pintura anti-corrosiva;**
 - ✓ **Água “tratada”;**
 - ✓ **Solo: controle de compactação de ADME.**

- **Aferições de ferramentas e equipamentos:**
 - ✓ **Sismógrafo;**
 - ✓ **Estação total;**
 - ✓ **Aparelho para medir convergência;**
 - ✓ **Aparelho para medir dosagem de gases;**
 - ✓ **Bombas dosadoras de aditivo;**
 - ✓ **Torquímetro;**
 - ✓ **Balanças.**

6. Tópicos de qualidade



6. Tópicos de qualidade



6. Tópicos de qualidade



6. Tópicos de qualidade



6. Tópicos de qualidade



Escarificação do concreto das cambotas após verificação de choco nas mesmas.



6. Tópicos de qualidade

Refazer os *inverts* devido ao tráfego no túnel sem a proteção adequada (forro).



6. Tópicos de qualidade



6. Tópicos de qualidade



6. Tópicos de qualidade



**Execução de segmento
de *invert* de 3m.**



**Proteção de frente de
escavação com concreto
projetado.**