



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Civil



Análise de Risco e Segurança na Construção de Túneis

BRUNO MIGUEL CAMPINO GOMES
(Bacharel em Engenharia Civil)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Civil na área de especialização de Edificações
Dissertação

Orientador:

Eq. Prof. Adjunto Francisco António Rodrigues de Almeida, Licenciado (ISEL)

Júri:

Presidente: Prof. Adjunto Manuel Brazão C. Farinha, Mestre (ISEL)

Vogais:

Eq. Prof. Adjunto Francisco António Rodrigues de Almeida, Licenciado (ISEL)

Eq. Prof. Adjunto Frederico Florentino Simões Melâneo, Mestre (ISEL)

Setembro de 2009

Análise de Risco e Segurança na Construção de Túneis

Resumo

O presente trabalho aborda os diversos métodos de segurança e prevenção de riscos, que se devem ter para com as diferentes actividades envolvidas durante a construção de obras subterrâneas.

São também focados alguns aspectos que dizem respeito à preparação de uma obra subterrânea, nomeadamente o conhecimento prévio do terreno.

É dada atenção aos riscos que os trabalhadores correm ao estarem em contacto com a atmosfera do túnel, e em locais de trabalho que também envolvem circulação de equipamentos mecânicos, e conseqüentemente à sua prevenção.

Os tipos de equipamentos de protecção, tanto colectiva como individual, também não são esquecidos, assim como a sinalização necessária a este tipo de obras.

Posteriormente, fala-se das características de maciços rochosos e terrosos, e da sua influência para a escolha dos métodos de escavação.

Estes métodos, podem ser mecânicos ou então pode-se recorrer ao uso de explosivos, e a sua escolha varia de terreno para terreno. Dentro dos métodos mecânicos, existem diversos equipamentos. Aqui, abordam-se as técnicas de segurança que devem ser aplicadas, aquando da utilização, tanto das máquinas como dos explosivos.

Finalmente, referem-se as opções de suporte primário e de revestimento definitivo, que podem ser aplicadas, tendo em conta as características do terreno de construção. São também comentados os riscos e os métodos de segurança que se devem ter aquando da aplicação destes suportes e também do revestimento definitivo.

Palavras-chave: Segurança; Túneis; Obras Subterrâneas; Risco; Prevenção; Métodos de Escavação; Maciços Rochosos; Maciços Terrosos.

Safety and Risk Analysis on the Tunnel Construction

Abstract

This paper discusses the several methods of safety and risk prevention that must be taken for the many activities involved along the construction of underground works.

They are also focused on some aspects concerning the preparation of a underground work, including the prior knowledge of the ground. It's given attention to the risks that workers face when they are in contact with the tunnel atmosphere, and in workplaces that also involve movement of mechanical equipment, and thus to prevent them.

The types of protective equipment, both collective and individual, are not forgotten, as well as the signaling needed for this kind of work. After this, are referred the rock mass and the earth mass characteristics, and its influence on the excavation methods selection.

These methods may be mechanical or it can resort to the use of explosives, and its choice varies from ground to ground. Within the mechanical methods, there are several equipments. Here we discuss the safety techniques that should be applied when using both machines and explosives.

Finally, the options of primary support and final lining that can be applied are referred, always counting the ground construction characteristics. There are also comments on the risks and the safety methods that should be taken when implementing these supports and also the final lining.

Key-Words: Safety; Tunnels; Underground Works; Risk; Prevention; Excavation Methods; Rock Mass; Earth Mass.

Agradecimentos

À minha família, por todo o apoio que me deram ao longo de todo o meu percurso académico, especialmente aos meus pais, sem os quais eu não teria tido a possibilidade de fazer este curso.

À minha namorada, por todo o apoio que me deu sempre que necessitei, o qual foi precioso para a conclusão deste trabalho.

Aos meus amigos, pela ajuda prestada em alguns momentos necessários.

Ao meu orientador, o Eng^o Francisco de Almeida pelo auxílio prestado e pelos seus pareceres ao longo deste trabalho.

Ao Eng^o Joaquim Peres, também pelos seus pareceres em alguns pontos importantes deste trabalho.

Índice Geral

1. Introdução	1
1.1. Considerações gerais.....	1
1.2. Objectivos.....	2
2. Condições ambientais do local de trabalho	3
2.1. Grau de conhecimento do terreno.....	3
2.2. Instalações subterrâneas	7
2.2.1. Ventilação.....	7
2.2.2. Iluminação	10
2.2.3. Instalações eléctricas	11
2.2.4. Equipamento de emergência.....	14
2.3. Gases e Poeiras.....	15
2.4. Ruído.....	18
2.5. Acesso aos locais de trabalho.....	19
2.5.1. Circulação de trabalhadores.....	19
2.5.2. Escadas e passadiços.....	21
2.5.3. Andaimés	22
2.6. Transporte do material escavado	23
2.6.1. Veículos sobre rodas.....	23
2.6.2. Veículos sobre carris	26
3. Equipamentos de protecção	27
3.1. Equipamentos de protecção colectiva	27
3.2. Equipamentos de protecção individual.....	28
3.2.1. Protecção da cabeça.....	30
3.2.2. Protecção dos olhos	31
3.2.3. Protecção das vias respiratórias	33
3.2.4. Protecção dos ouvidos	33
3.2.5. Protecção de mãos e braços.....	34
3.2.6. Protecção de pés e pernas.....	35
3.2.7. Protecção do tronco	37
3.2.8. Protecção do corpo contra quedas.....	37

4. Sinalização de segurança.....	38
4.1. Sinais de perigo.....	39
4.2. Sinais de proibição	39
4.3. Sinais de obrigação	39
4.4. Sinais de emergência.....	40
4.5. Outros sinais	40
5. Influência do tipo de maciço na escavação do túnel.....	41
5.1. Escavação de túneis em maciços rochosos.....	42
5.2. Escavação de túneis em maciços terrosos	45
6. Métodos de escavação e desmonte	48
6.1. Escavação com meios mecânicos	48
6.1.1. Tuneladoras	49
6.1.2. Máquinas de ataque pontual (fresas)	51
6.1.3. Martelos hidráulicos.....	54
6.1.4. Máquinas giratórias e retroescavadoras.....	55
6.2. Escavação com recurso a explosivos.....	57
6.2.1. Segurança na utilização de explosivos.....	58
6.2.2. Danos causados ao maciço	62
6.2.3. Segurança no transporte e armazenamento de explosivos.....	63
7. Métodos de suporte primário e de revestimento	65
7.1. Suportes primários	66
7.2. Revestimento definitivo	75
8. Considerações finais	79
9. Referências bibliográficas.....	81

Índice de Figuras

Figura 1 – Sondagem geotécnica [37].....	4
Figura 2 – Recolha de amostras.	4
Figura 3 – Queda de blocos devido às descontinuidades [4].	5
Figura 4 – Deformação na parede do túnel devido à pressão do maciço [adaptado de Seigre G.].	6
Figura 5 – Presença de água no interior do maciço.	6
Figura 6 – Conduta de ventilação [adaptado de 2º Seminário da CPT e Obras Sub.].	9
Figura 7 – Iluminação da frente de trabalho.	11
Figura 8 – Quadro eléctrico [17].	13
Figura 9 – Sistema de cabos e fios devidamente instalados [16].	13
Figura 10 – Tomadas devidamente equipadas com tampa [17].	14
Figura 11 – Equipamento de emergência [23].	15
Figura 12 – Emissão de gases (esquerda) e emissão de poeiras (direita) [23].	17
Figura 13 – Circulação de peões em perigo e em segurança [23].	20
Figura 14 – Transporte de trabalhadores em perigo e em segurança [23].	21
Figura 15 – Camião para transporte do material escavado.	24
Figura 16 – Zona de carregamento de material escavado [23].	24
Figura 17 – Zona de manobras dos veículos [23].	25
Figura 18 – Vagões para transporte de material escavado [adaptado de Barla, Giovanni].	26
Figura 19 – Guarda-corpos.	28
Figura 20 – Capacete de protecção.	31
Figura 21 – Capacete de soldadura.	32
Figura 22 – Óculos de protecção.	32
Figura 23 – Óculos de protecção com protecção lateral.	32
Figura 24 – Semi máscara de protecção (esquerda) e máscara filtrante (direita).	33
Figura 25 – Máscaras descartáveis.	33
Figura 26 – Tampões de protecção (esquerda) e auscultadores de protecção (direita).	34

Figura 27 – Luvas de couro (esquerda) e luvas de tecido (direita).....	35
Figura 28 – Botas e sapatos de protecção com biqueira de aço.....	36
Figura 29 – Botins de borracha.	36
Figura 30 – Arnês de protecção.	37
Figura 31 – Sinal de perigo (Perigos vários).	39
Figura 32 – Sinal de proibição (Proibida e entrada a pessoas estranhas ao serviço).....	39
Figura 33 – Sinal de obrigação (Obrigatório o uso de capacete).	39
Figura 34 – Sinal de emergência (Equipamento de primeiros socorros).....	40
Figura 35 – Cones de sinalização.	40
Figura 36 – Cavaletes de sinalização.....	40
Figura 37 – Maciço terroso (esquerda) [21] e maciço rochoso (direita) [36]. ...	41
Figura 38 – Remoção de escombros [37].	43
Figura 39 – Maciço muito fracturado [37].	43
Figura 40 – (a): solo no seu estado natural; (b): três fases que compõem o solo [adaptado de Wikipedia].....	45
Figura 41 – Colapso do maciço terroso.....	46
Figura 42 – Colapso da parede do túnel [adaptado de Barla, Giovanni].	47
Figura 43 – Tuneladora [31].	50
Figura 44 – Cabeça de uma tuneladora (esquerda) [6] e tuneladora em trabalhos (direita) [36].	50
Figura 45 – Máquina de ataque pontual (fresa) [31].....	52
Figura 46 – Máquina de ataque pontual (fresa) de grandes dimensões [37]. ..	52
Figura 47 – Modo de actuação de uma fresa em perigo (à esquerda) e em segurança (à direita) [23].	53
Figura 48 – Martelos hidráulicos [4].	54
Figura 49 – Máquina giratória [36].....	55
Figura 50 – Retroescavadora.	56
Figura 51 – Queda de blocos [37].	57
Figura 52 – Jumbo de três braços [31].	59
Figura 53 – Carregamento dos furos com explosivos em perigo (à esquerda) e em segurança (à direita) [23].....	59
Figura 54 – Detonação de explosivos [31].	60

Figura 55 – Detonação de explosivos em perigo (à esq.) e em segurança (à direita) [23].	60
Figura 56 – Zonas de um diagrama de fogo tipo [4].	61
Figura 57 – Sobreescavação.	62
Figura 58 – Queda de blocos e deslizamentos.	63
Figura 59 – Colocação de cambotas metálicas [adaptado de Vuilleumier, François].	68
Figura 60 – Colocação de aduelas.	69
Figura 61 – Colocação de aduelas em perigo (à esq.) e em segurança (à direita) [23].	69
Figura 62 – Colocação de enfilagens [30].	70
Figura 63 – Projecção manual de betão [30].	71
Figura 64 – Projecção mecânica de betão [30].	72
Figura 65 – Colocação de pregagens [37].	73
Figura 66 – Aplicação de pregagens em perigo (à esq.) e em segurança (à direita) [23].	74
Figura 67 – Rede metálica (malhasol) com cambotas.	75
Figura 68 – Colocação de malhasol em perigo (à esq.) e em segurança (à direita) [23].	75
Figura 69 – Sistema de impermeabilização.	76
Figura 70 – Sistema de cofragens deslizantes [21].	76
Figura 71 – Aplicação de armadura [21].	77

1. Introdução

1.1. Considerações gerais

Desde sempre que a construção de túneis teve associada a vertente humana, cujas condições de trabalho nem sempre foram as melhores, sendo mesmo em muitos casos deploráveis ou até mesmo inexistentes.

Durante muito tempo, essas condições nunca foram levadas em conta, sendo sim importante a produtividade, mesmo que tal implicasse riscos de doença ou mesmo a morte dos trabalhadores.

Foi mesmo necessário muito tempo para que se reconhecesse que as condições de trabalho e as regras de segurança correspondentes, constituem um factor de grande importância para a melhoria de desempenho dos trabalhadores e conseqüentemente da respectiva obra.

A grande maioria dos acidentes de trabalho ocorre porque os trabalhadores se encontram mal preparados para enfrentar certos riscos.

A redução destes acidentes de trabalho, na construção de túneis, não é algo de fácil solução, pois apesar da melhoria de qualidade da legislação, ainda existem vários factores que necessitam de avanços significativos.

O facto de se trabalhar muitas vezes em terrenos instáveis, ainda agrava mais esta situação, o que faz com que a construção de túneis seja possivelmente a actividade de construção civil que acarreta mais riscos, sendo por isso necessário que se tomem medidas preventivas logo desde o início de cada construção.

A prevenção consiste na adopção de um conjunto de medidas de protecção, de modo que a segurança do trabalhador não seja colocada em risco durante a realização do seu trabalho.

Assim, para que os acidentes sejam evitados, e para que este conjunto de medidas de protecção e segurança seja eficaz, é necessário que todos os trabalhadores estejam comprometidos com uma mentalidade de prevenção de acidentes, sabendo identificar o risco associado a cada actividade em particular, e fazendo uso de todos os meios e equipamentos disponíveis para esse risco seja o mais reduzido possível.

1.2. Objectivos

O presente trabalho pretende contribuir para o aperfeiçoamento das técnicas de segurança que devem ser postas em funcionamento durante a construção de túneis.

Este trabalho tem como objectivos, analisar e alertar para os diferentes riscos e possíveis acidentes de trabalho que existem ou que podem ocorrer aquando a construção de túneis, assim como expor os diversos métodos de prevenção que podem colocar em segurança os trabalhadores, durante o desempenho da sua actividade.

2. Condições ambientais do local de trabalho

Neste capítulo pretende-se explicar de uma forma simples, um conjunto de actuações que se devem ter, antes e durante a execução da obra subterrânea, para que esta se desenvolva em níveis de segurança adequados.

2.1. Grau de conhecimento do terreno

Quando se fala de obras subterrâneas associa-se a trabalhos complicados e onde a segurança é difícil de obter.

A segurança na execução deste tipo de obras está, em grande parte, relacionada com o conhecimento profundo do tipo de terreno e do seu comportamento à escavação. [16]

A fase de investigação do terreno é fundamental para a segurança na construção de obras subterrâneas.

Esta actividade de construção civil exige um conhecimento tão aprofundado quanto possível, sobre as características geológicas e geotécnicas dos maciços em que as obras vão ser implantadas, para que não surjam situações imprevistas.

É muito importante fazer um reconhecimento geológico e geotécnico do maciço, antes de se proceder ao início da obra.

O reconhecimento geológico e geotécnico do maciço é feito através de diversas actividades, nomeadamente:

- Fotografias do local;
- Sondagens (Figura 1);
- Ensaios *in situ*;
- Recolha de amostras (Figura 2).

As informações recolhidas destas actividades, são elementos fundamentais tanto na fase de elaboração do projecto como na fase de obra.



Figura 1 – Sondagem geotécnica [37].



Figura 2 – Recolha de amostras.

Através deste reconhecimento geológico e geotécnico, podem-se encontrar algumas anomalias no terreno, podendo assim evitar-se alguns acidentes.

Mesmo procedendo a este estudo geológico e geotécnico do terreno, podem surgir várias dificuldades na execução da obra, sendo as mais frequentes:

- Fracturação do maciço;
- Mudança brusca para material de pior qualidade;
- Valor excessivo da pressão exercida pelo maciço sobre o sustimento;
- Presença de água.

Devido à **fracturação do maciço** podem formar-se discontinuidades que, consoante a sua atitude e orientação, podem provocar a queda de blocos do maciço (Figura 3), podendo dar origem a esmagamentos e soterramentos, que são os acidentes mais frequentes nas obras subterrâneas.

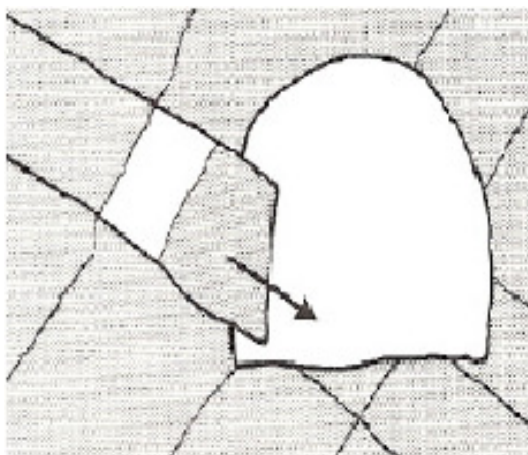


Figura 3 – Queda de blocos devido às descontinuidades [4].

A **mudança brusca para material de pior qualidade** costuma ocorrer com mais frequência no decorrer da escavação, por serem encontradas falhas com caixas de espessura importante, preenchidas com materiais de fraca resistência e, por vezes, sob elevadas pressões. [27] Esta ocorrência pode provocar soterramentos ou esmagamentos. Mesmo que não provoque estes acidentes, esta ocorrência obriga a alterar o método construtivo, aumentando os custos e os prazos da obra.

O **valor excessivo da pressão exercida pelo maciço sobre o sustimento** pode verificar-se não apenas em materiais de fraca resistência, mas também em rochas de elevada resistência, as quais podem sofrer uma ruptura brusca. [27] No caso de um túnel aberto por uma tuneladora em terrenos bastante deformáveis, a pressão pode levar à deformação do terreno, ruptura da parede e conseqüentemente ao bloqueamento da máquina.



Figura 4 – Deformação na parede do túnel devido à pressão do maciço [adaptado de Seigre G.].

A **presença de água** no interior dos maciços (Figura 5), principalmente nos maciços argilosos, pode provocar o arrastamento de terreno, ou mesmo a ruptura da frente da escavação, e conseqüentemente soterramentos ou esmagamentos.



Figura 5 – Presença de água no interior do maciço.

Pode-se então dizer que um adequado conhecimento prévio do maciço, habilita os responsáveis pela obra a definir os processos de construção mais económicos e mais seguros, evitando-se, assim, gastos desnecessários, atrasos nas obras e eventuais acidentes.

Sendo a segurança para todos os intervenientes na obra, o aspecto mais importante na construção de obras subterrâneas, não se pode deixar de fazer referência aos encargos financeiros.

Estes encargos, resultantes de um adequado conhecimento geológico e geotécnico do maciço para a implantação de uma grande obra subterrânea, são insignificantes, quando comparados com o custo da obra, e tais encargos serão sempre menores que os prejuízos, quer pessoais quer materiais, causados por eventuais acidentes estruturais.

Citando Terzaghi: “... a geologia, mais que qualquer outro factor, determina o grau de dificuldade e o custo de uma obra subterrânea.” [29]

2.2. Instalações subterrâneas

Para que uma obra subterrânea decorra com as condições de segurança adequadas, tem que se proceder à montagem de alguns equipamentos e instalações, necessários para a boa exploração da mesma e também para que não ocorram situações indesejáveis.

As instalações devem ser concebidas de forma a permitir o desempenho, com eficiência e em boas condições de segurança, dos fins a que se destinam.

Esses equipamentos e instalações são:

- Ventilação;
- Iluminação;
- Instalações eléctricas;
- Equipamento de Emergência.

2.2.1. Ventilação

A ventilação é uma técnica que permite a substituição do ar de um ambiente interior por ar fresco.

Na concepção de uma obra subterrânea, este sistema é muito importante, pois os trabalhos realizados neste tipo de obras, produzem poeiras e gases que podem provocar graves acidentes e também algumas doenças.

A ventilação consiste na introdução de ar limpo em quantidade suficiente para que as concentrações dos contaminantes no ar ambiente se reduzam até níveis aceitáveis.

O sistema de **ventilação local** ou por aspiração localizada é o mais usado na concepção de obras subterrâneas.

Este sistema tem como objectivo captar os poluentes o mais próximo possível da sua fonte emissora, evitando a sua presença junto das vias respiratórias dos indivíduos que permanecem no local.

É um sistema de prevenção eficaz, para evitar a exposição dos trabalhadores aos diferentes contaminantes e consequentemente para salvaguarda da sua saúde. [8]

O sistema de ventilação local é constituído por quatro componentes:

- Dispositivo de captação;
- Conduatas (tubagens);
- Elemento despoluidor;
- Elemento motor (ventilador).

O **dispositivo de captação** permite captar as emissões de gases e poeiras, e pode tomar formas e tamanhos diferentes.

As **conduatas** têm por função conduzir o ar poluído até ao elemento despoluidor, e em seguida para o exterior.

O material utilizado na construção das conduatas deve ser adequado ao poluente que vai ser conduzido, e deve resistir ao desgaste.

A função do **elemento despoluidor (filtro)** é “limpar” o ar extraído, pois este pode atingir níveis de contaminação consideráveis, pelo que antes de ser lançado no exterior deve ser limpo.

O **elemento motor** tem por função movimentar o ar poluído através dos diferentes sistemas despoluidores.

Na montagem e utilização deste sistema de ventilação, devem ser tidos em conta alguns aspectos: [8]

- O dispositivo de captação deve ser colocado o mais perto possível da emissão do contaminante;
- O trabalhador não deve estar colocado entre a captação e a fonte, ou seja a deslocação do ar aspirado deve estar no sentido contrário às vias respiratórias do trabalhador;
- A velocidade de captação deve corresponder ao caudal de emissão do contaminante;
- O ar aspirado deve ser compensado com entrada de ar fresco, que deve ser 10% superior ao caudal de aspiração;
- As saídas de ar poluído não devem ser colocadas perto das entradas do ar novo;
- As condutas não devem ser torcidas;
- Caso existam anomalias como por exemplo fugas, estas devem ser reparadas de imediato.

A utilização de um sistema de ventilação não tem um custo muito elevado, apesar de necessitar de alguma manutenção, e pode evitar alguns acidentes graves assim como doenças profissionais, nomeadamente doenças respiratórias, do coração e de visão.



Figura 6 – Conduto de ventilação [adaptado de 2º Seminário da CPT e Obras Sub.].

2.2.2. Iluminação

Cerca de 80% dos estímulos sensoriais são de natureza óptica. Pode-se então dizer que os olhos desempenham um papel fundamental no controlo dos movimentos e actividades do Homem.

A fadiga visual, manifesta-se por uma série de sintomas de incomodidade, que vão desde uma visão toldada até dores de cabeça, contracção dos músculos faciais e mesmo por uma postura geral do corpo incorrecta. [32]

Uma iluminação adequada é, então, uma condição imprescindível para a obtenção de um bom ambiente e trabalho.

Caso esta condição não se verifique, podem haver consequências com alguma gravidade, como por exemplo:

- Danos visuais;
- Aumento do número de acidentes.

Porém, nem sempre mais iluminação significa menos cansaço visual ou menos acidentes. Uma iluminação excessiva pode por exemplo conduzir a encadeamento e a possíveis acidentes.

A iluminação ideal é a que é proporcionada pela luz natural, contudo na execução de obras subterrâneas essa iluminação é praticamente impossível de obter, havendo necessidade de recorrer a iluminação artificial.

A qualidade da iluminação artificial de um ambiente de trabalho depende fundamentalmente: [32]

- Da sua adequação à actividade prevista;
- Da limitação do encadeamento;
- Da distribuição conveniente de lâmpadas.

Os cuidados a ter com a utilização da rede de iluminação são muito importantes e devem ser planeados cuidadosamente por diversas razões, especialmente por questões de segurança.

Um dos vários cuidados a ter é a limpeza periódica das instalações luminosas, pois as poeiras neste ambiente de trabalho em particular são elevadas, o que reduz o rendimento das lâmpadas.

Outro cuidado a ter, é a protecção de todos os projectores de luz da entrada de água, que pode provocar um curto-circuito.

Deve também ser garantida a existência de um sistema de iluminação de segurança, ou seja, iluminação de emergência, alimentada por um gerador, para o caso de ocorrerem cortes de energia. [23]

Todos os locais de trabalho devem estar iluminados e nos locais perigosos deve mesmo ser instalada iluminação especial de segurança, que podem ser luzes intermitentes de perigo.

Se todas as regras forem cumpridas, a iluminação torna-se mesmo uma mais-valia para todos os trabalhadores, podendo mesmo aumentar o rendimento do trabalho e evitar acidentes.

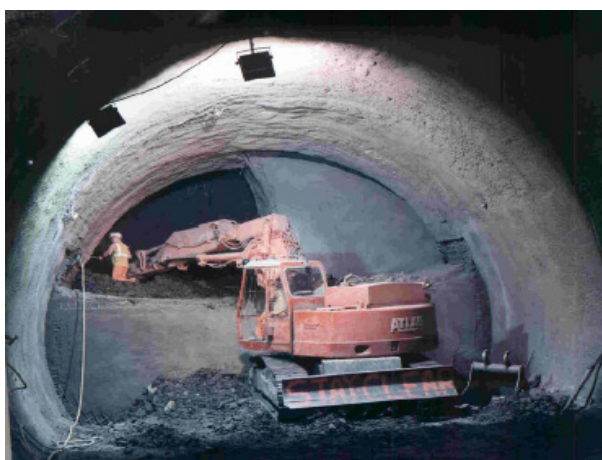


Figura 7 – Iluminação da frente de trabalho.

2.2.3. Instalações eléctricas

A utilização da energia eléctrica, em obras subterrâneas é extremamente necessária, pois caso contrário não haveria iluminação, que é essencial neste tipo de obras, como referido anteriormente.

Contudo, a electricidade é uma fonte de perigo, podendo causar a morte de pessoas, se não forem tomadas as devidas precauções.

O risco de electrocussão é elevado, e a passagem de corrente eléctrica através do corpo, pode determinar numerosas alterações e lesões temporárias ou permanentes.

Os riscos mais frequentes que a corrente eléctrica produz são:

- Paragem respiratória;
- Fibrilação ventricular;
- Queimaduras;
- Morte.

Portanto, para prevenir acidentes, todas as instalações eléctricas devem ser montadas, modificadas e reparadas de forma segura apenas por electricistas qualificados.

As instalações eléctricas em obras subterrâneas, são temporárias e servem para fornecer energia a algumas máquinas e iluminar os locais de trabalho, entre outras coisas, sendo desfeitas quando a obra termina. [17] Porém, isso não invalida o facto de terem que ser instaladas de forma correcta, para que sejam seguras.

Para isso é importante o conhecimento prévio do projecto de instalações eléctricas temporárias, carga a ser instalada, localização dos circuitos eléctricos e suas ampliações, bem como os seus componentes eléctricos, tais como:

- Quadros eléctricos;
- Cabos e fios;
- Tomadas.

Os **quadros eléctricos** (Figura 8) devem ser feitos de materiais que protejam os componentes eléctricos contra humidade, poeiras e contactos com outros objectos. Estes devem ficar fechados de modo a não servirem de cacifo aos trabalhadores e devem ficar em locais visíveis e devidamente sinalizados.

Devem também ficar o mais afastados possível da passagem de camiões e de outras máquinas e ter sempre ligação à terra, para evitar choques eléctricos.

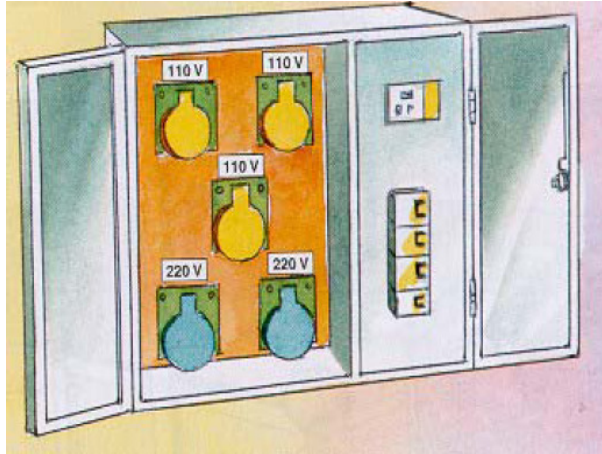


Figura 8 – Quadro eléctrico [17].

Os **cabos** (Figura 9) devem passar encostados à parede lateral do túnel, sendo presos com braçadeiras, assim como os **fios** (Figura 9) que devem passar por dentro de condutas para os proteger.

Os cabos e as condutas ficam assim devidamente instalados evitando-se situações como serem pisados por trabalhadores ou veículos.

Os sistemas de fixação à parede e os sistemas de união devem ser adequados.



Figura 9 – Sistema de cabos e fios devidamente instalados [16].

As **tomadas** (Figura 10) devem estar sempre munidas de tampa, de forma a evitar a entrada de poeiras, humidade ou mesmo água, que podem provocar acidentes como curto-circuito, ou mesmo electrocussão.

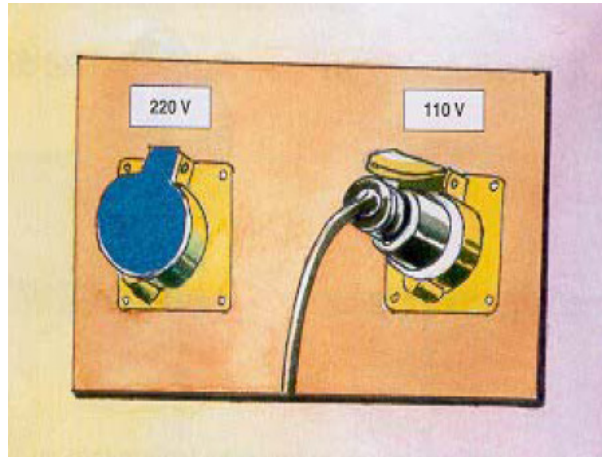


Figura 10 – Tomadas devidamente equipadas com tampa [17].

A electricidade é pois um perigo acrescido nas obras subterrâneas, mas como já se referiu é um elemento essencial neste tipo de obras.

Por todas as razões e acidentes referidos anteriormente, é muito importante que se cumpram todos os requisitos e normas de segurança para a sua utilização.

2.2.4. Equipamento de emergência

Em qualquer tipo de obra o equipamento de emergência é algo de grande importância e que pode salvar a vida a uma ou mais pessoas.

Neste tipo de equipamento englobam-se vários instrumentos:

- Telefone;
- Extintor;
- Caixa de Primeiros Socorros.

O **telefone** deve estar sempre operacional, assim como a linha telefónica de emergência.

Caso ocorra um acidente e seja necessária uma intervenção rápida, deverão ser seguidas à risca as instruções dadas pelo operador, estabelecendo os devidos procedimentos de intervenção, até à chegada da equipa médica.

Os **extintores** devem ser alvo de auditorias periódicas, tendo em conta o seu prazo de validade, de modo a estarem sempre prontos a ser utilizados.

A **caixa de primeiros socorros** deve conter todos os elementos necessários para uma primeira assistência a possíveis feridos e não devem estar danificadas, devendo ser devidamente mantidas periodicamente.

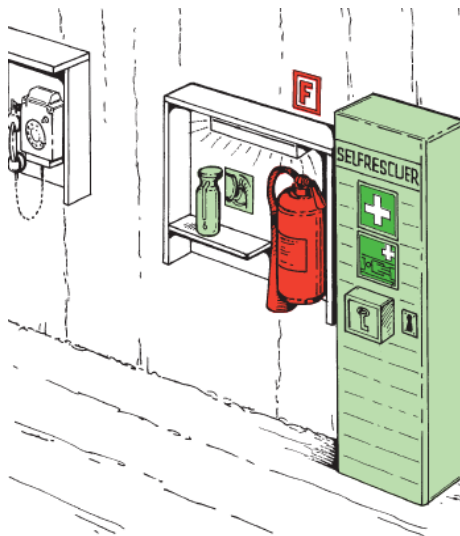


Figura 11 – Equipamento de emergência [23].

Todos estes equipamentos devem estar em locais visíveis e acessíveis, de modo a terem uma utilização rápida e fácil e também devem estar devidamente sinalizados (Figura 11).

2.3. Gases e Poeiras

Os diferentes trabalhos que são executados nas obras subterrâneas, como por exemplo, perfuração, detonação, carregamento do material escavado e mesmo as próprias máquinas (Figura 12), produzem poeiras e gases que tornam o ar impuro e por vezes irrespirável. [34]

Esses gases e poeiras se estiverem em concentrações demasiado elevadas, podem originar variadas situações indesejáveis, como sufocamentos que originam paragens cárdio-respiratórias e que caso os trabalhadores não sejam de imediato assistidos, podem mesmo morrer, ou também doenças respiratórias que se manterão para o resto da vida do trabalhador.

Como referido anteriormente, os gases e as poeiras têm variadas origens, e aparecem consoante o trabalho que está a decorrer.

Existem vários tipos de gases, que podem provocar uma atmosfera perigosa, como por exemplo: [14]

- Monóxido de carbono;
- Dióxido de carbono;
- Metano;
- Sulfureto de hidrogénio;
- Fumos nitrosos.

A fonte do **monóxido de carbono**, normalmente é o fumo expelido pelas máquinas e veículos que trabalham a gasolina ou a gasóleo.

O **dióxido de carbono** pode aparecer naturalmente, especialmente em zonas em que exista calcário.

O **metano** também aparece naturalmente e caso se esteja na presença de turfas ou carvão, aparece ainda em maiores concentrações.

O **sulfureto de hidrogénio** por sua vez, aparece devido à decomposição de matéria orgânica que contenha enxofre.

Já os **fumos nitrosos**, têm a sua origem no resultado de explosões ou de trabalhos de soldadura.

Outra atmosfera perigosa comum nas obras subterrâneas, é formada devido às poeiras, que como já referido aparecem devido aos trabalhos de escavação e subsequentes operações (Figura 12).

Estas poeiras podem aparecer devido a vários materiais existentes no terreno como por exemplo: granito, fósseis, argila seca, areias, ou até devido a trabalhos de betão projectado.

Ao passo que os gases levam ao sufocamento, as poeiras podem levar a problemas permanentes nos pulmões e nos brônquios.

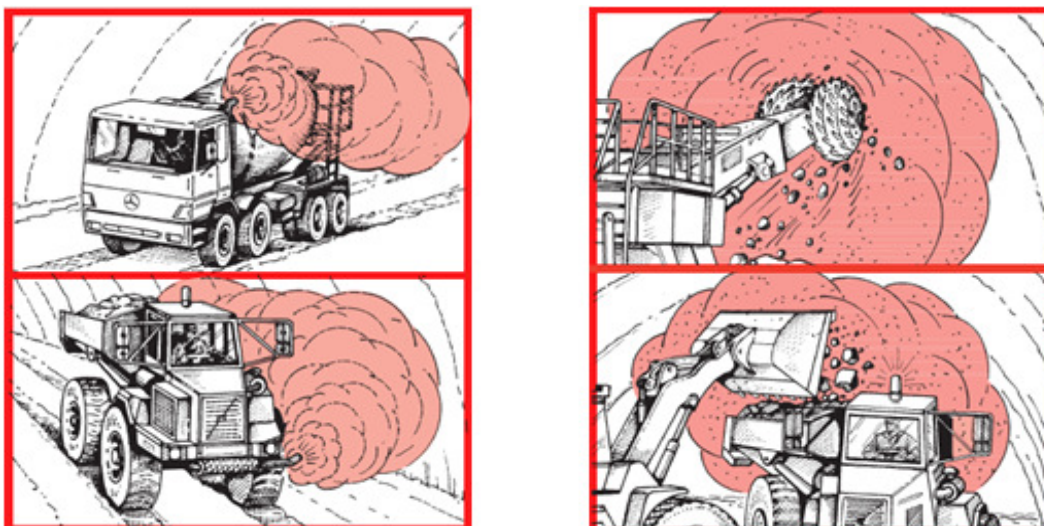


Figura 12 – Emissão de gases (esquerda) e emissão de poeiras (direita) [23].

Existem várias maneiras de prevenir estas situações indesejáveis, como por exemplo um bom e adequado sistema de ventilação ou o uso de equipamento de protecção individual adequado à situação.

Devem também ser feitos testes frequentes à atmosfera do túnel, recolhendo amostras e testando-as em locais apropriados, especialmente depois de trabalhos de betão projectado ou do uso de explosivos.

Neste último caso a verificação do ar deve logo ser feita alguns minutos depois da execução da explosão e por um profissional adequado, e se necessário o túnel deve mesmo ser evacuado até que o ar esteja em condições seguras de ser respirado.

Caso o sistema de ventilação falhe ou tenha que ser desligado, por exemplo no fim-de-semana ou em feriados, a atmosfera deve ser testada, sempre por um profissional adequado para a situação, e os trabalhadores só devem ocupar os seus postos de trabalho depois de o local ser dado como apto para tal.

O cumprimento das regras estabelecidas para a execução destes trabalhos, pode salvar vidas e evitar graves danos na saúde dos trabalhadores, evitando assim transtornos pessoais e a todas as pessoas que compõem a obra.

2.4. Ruído

O ruído constitui uma causa de incómodo para o trabalho, um obstáculo às comunicações verbais e sonoras, podendo provocar fadiga geral e, em casos extremos, trauma auditivo e alterações fisiológicas extra-auditivas.

As ondas sonoras podem transmitir-se directamente pelo ar, desde a fonte até ao ouvido. Nos casos em que os níveis de ruído sejam muito elevados, começa a ser notada uma fadiga no aparelho auditivo que, embora inicialmente seja susceptível de recuperação, pode em casos de exposição prolongada a ruído intenso, transformar-se em surdez permanente devido a lesões irreversíveis do ouvido interno. [32]

Assim, a exposição diária dos trabalhadores a níveis sonoros superiores a 30dB, dependendo das características individuais e de outros factores que integram o ambiente de trabalho, pode causar os seguintes efeitos:

- Perturbações fisiológicas – Contração dos vasos sanguíneos e tensão muscular.
- Sistema nervoso central – Alterações da memória e do sono.
- Psíquicos – Irritabilidade, agravamento da ansiedade e da depressão.
- Perturbações da actividade – Gerando a fadiga, que é um dos factores de acidentes de trabalho, contribuem para uma diminuição no rendimento no trabalho, influenciando negativamente a produtividade.

Se as exposições pessoais diárias têm níveis superiores a 85dB, podem provocar um trauma auditivo, provocando a surdez sono-traumática, em que existe uma destruição progressiva, permanente e irreversível do nervo coclear, dando origem à surdez profissional, que é considerada uma doença profissional. [8]

Existem várias formas de abordar este problema, controlando o ruído, como por exemplo:

- Utilizando-se máquinas, veículos e equipamentos menos ruidosos;
- Evitando-se o funcionamento prolongado das máquinas, veículos e equipamentos;
- Procedendo-se à manutenção das máquinas, veículos e equipamentos.

A utilização de equipamento de protecção individual é a medida mais eficaz de prevenção, pois cada máquina, veículo e equipamento, tem o seu ruído natural logo, não é possível reduzir o ruído que essa máquina, veículo ou equipamento produz.

O ruído é então um factor que deve ser tido em conta, pois se não for prevenido, pode gerar graves problemas aos trabalhadores, e conseqüentemente, à construção da obra.

2.5. Acesso aos locais de trabalho

A limpeza e organização geral do local de trabalho são extremamente importantes.

Deve-se assegurar que existem acessos seguros para todos os locais de trabalho, como por exemplo passagens para peões, escadas ou andaimes.

Todos os materiais e ferramentas de trabalho devem ser guardados de forma segura e no seu devido lugar, e os fios e cabos devem estar devidamente acomodados junto à parede, como já foi referido anteriormente, para que os acessos não possuam qualquer tipo de obstrução.

2.5.1. Circulação de trabalhadores

Na construção de túneis, devido aos diferentes trabalhos a executar, é frequente haver circulação de veículos, ora para escavar, ora para carregar o material escavado, assim como também é frequente a circulação de trabalhadores, pois nem todos os trabalhos são efectuados por meios mecânicos.

Esta circulação de máquinas misturada com a circulação de trabalhadores, pode levar a vários acidentes, como por exemplo, atropelamentos ou esmagamentos.

Para prevenir este tipo de situações, devem-se tomar algumas medidas de protecção, medidas essas que podem ser: [23]

- Definir caminhos de circulação distintos para veículos e trabalhadores;
- Instalar guardas de protecção ao longo do caminho para trabalhadores;
- Manter o caminho de circulação de máquinas / veículos;
- Todos os trabalhadores devem usar coletes reflectores ou casacos com barras reflectoras.

Como se verifica na Figura 13.

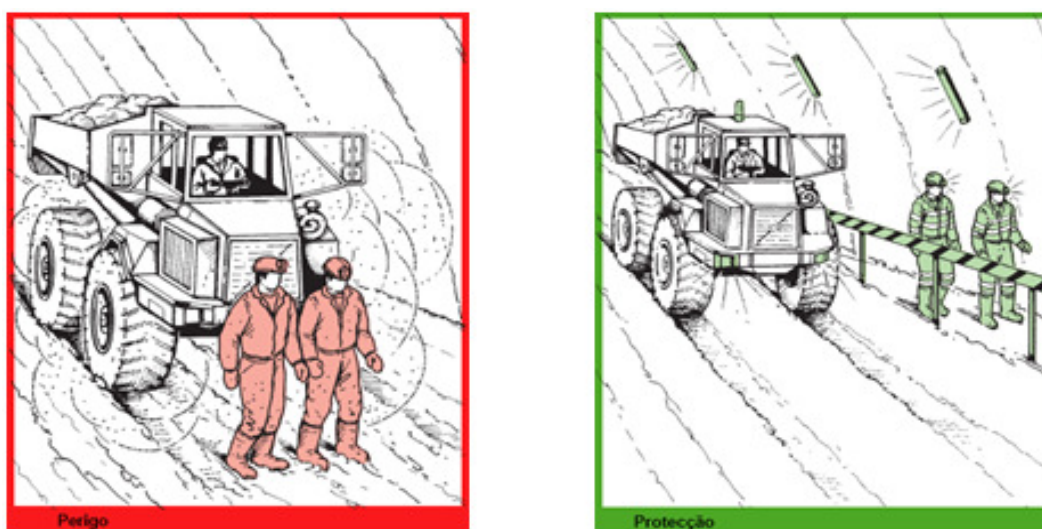


Figura 13 – Circulação de peões em perigo e em segurança [23].

Por vezes os túneis são demasiado extensos para os trabalhadores irem para o seu local de trabalho a pé.

Nestas situações deve-se garantir a existência de veículos adequados para o transporte de passageiros, e mesmo dentro desses veículos, os trabalhadores devem permanecer com equipamento de protecção individual. (Figura 14)

A existência destes veículos, é muito importante, pois evita situações que podem provocar quedas, atropelamentos e esmagamentos. Estas situações devem-se ao facto de os trabalhadores “apanharem boleia” dentro dos baldes das escavadoras ou na carroçaria dos camiões, e também de estes se empoleirarem na parte lateral da escavadora ou dos camiões. (Figura 14)

Este tipo de comportamento pode levar à ocorrência dos acidentes já referidos, por isso é muito importante que se cumpram todas as regras e medidas preventivas.

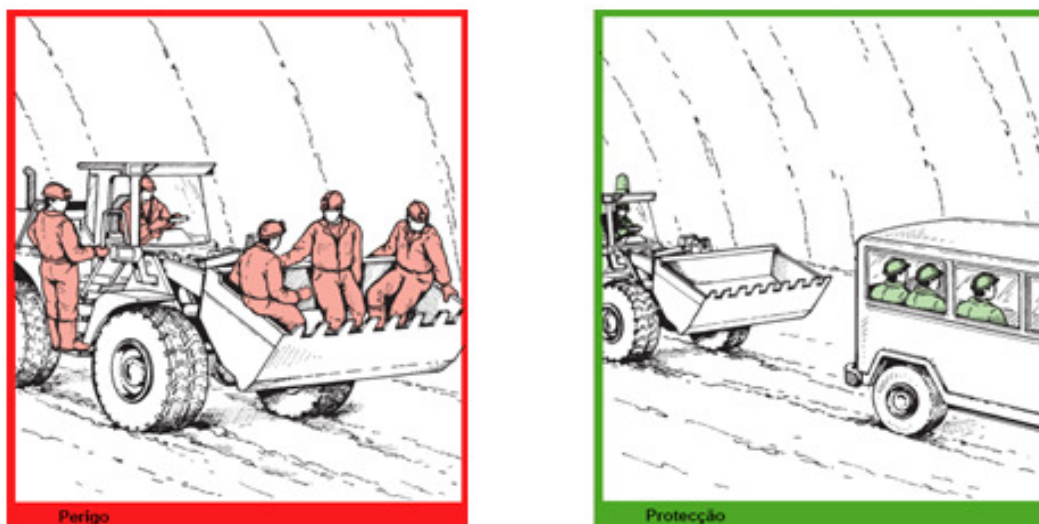


Figura 14 – Transporte de trabalhadores em perigo e em segurança [23].

2.5.2. Escadas e passadiços

As escadas e os passadiços, são acessos temporários, ou seja são colocados para fazer determinado tipo de trabalho e depois são removidos.

Em ambos os casos, existe o perigo de queda em altura, sendo para isso necessário recorrer a medidas de protecção para evitar esse tipo de acidente.

No caso das escadas, deve ser efectuada a devida manutenção, para verificar se não existem degraus ou outras partes da escada, que estejam danificados. Caso isto se verifique, a escada deve de imediato ser substituída.

O trabalhador, deve colocar os dois pés nos degraus e não trabalhar debruçado e apenas deve efectuar trabalhos simples e perto da escada.

No fim do trabalho executado, a escada deve ser removida e arrumada no local apropriado para tal.

Os passadiços podem ser inclinados ou nivelados e podem ser metálicos ou de madeira.

Na construção destes acessos temporários de madeira, observam-se cuidados especiais com a madeira a ser utilizada, que deverá ser de boa qualidade, estar completamente seca, e não apresentar nós e rachas que venham a comprometer a sua estabilidade e resistência.

Estes acessos de madeira devem ser executados apenas por profissionais qualificados para o tipo de trabalho, como o são os carpinteiros, e devem ser

submetidos a inspeções periódicas de manutenção de forma a garantir as condições de segurança apropriadas.

Os passadiços devem estar devidamente fixos nas extremidades, para que a sua estabilidade seja garantida e deve ser aplicado um antiderrapante na sua superfície, para evitar escorregamentos, que podem levar a fracturas ou outras situações mais graves, caso o trabalhador leve alguma carga nos braços.

As partes estruturais das superfícies de passagem que serão tocadas pelas mãos dos trabalhadores devem ser lixadas de maneira a não provocar ferimentos por farpas ou imperfeições.

Todos os passadiços devem ser dotados de guarda corpos e de guarda cabeças, e devem estar bem sinalizados.

2.5.3. Andaimos

Os andaimes, assim como as escadas e passadiços, são construções provisórias auxiliares. Estas construções provisórias são munidas de plataformas horizontais elevadas, suportadas por estruturas de secção reduzida, e que se destinam a apoiar a execução dos trabalhos de construção do túnel.

Os andaimes são utilizados desde há muitos anos, tendo tido, ultimamente, uma grande evolução técnica, passando-se dos tradicionais andaimes de madeira, que praticamente já não se utilizam, para andaimes metálicos, devido aos melhores rendimentos e níveis de segurança proporcionados por estes.

[18]

Existe uma elevada percentagem de vítimas mortais devido a acidentes de trabalho ocorridos na montagem, utilização, manutenção, e desmontagem destes equipamentos, pelo que a formação dos trabalhadores que montam, mantêm e desmontam os andaimes, bem como dos trabalhadores que os utilizam, é um aspecto importante na segurança em andaimes.

A montagem dos andaimes, deve então ser feita por pessoal especializado, equipado com protecções individuais adequadas e devem ser seguidas as regras estabelecidas pelo fabricante para o tipo de andaime correspondente.

Tem que se promover a utilização de arneses por parte do pessoal encarregue da montagem, sempre que se tenha de permanecer ou de deslocar em locais não protegidos contra queda de pessoas.

A sequência de montagem deve ser sempre respeitada, incluindo os meios de acesso previstos.

Durante a montagem deve-se impedir que estejam pessoas debaixo dos andaimes.

Um andaime nunca deve ser utilizado antes de estar completamente montado.

Os andaimes devem ser sólidos, resistentes e apresentar todas as garantias, de forma a impedir queda de pessoas, materiais e ferramentas.

Para isso devem possuir guarda corpos, rodapé, e devem ter as dimensões e condições necessárias, para que os trabalhadores façam o seu trabalho em segurança.

O acesso às plataformas deve ser realizado pelo interior do andaime, através de uma abertura e escadas, verticais ou inclinadas.

2.6. Transporte do material escavado

O transporte do material escavado e também dos materiais e equipamentos necessários para a construção da obra, deverão ser feitos através de veículos e de máquinas adequadas para o efeito.

Estes veículos podem ser sobre rodas, como os camiões (Figura 15), ou podem ser veículos que circulam sobre carris (Figura 18).

Em ambos os casos, existem riscos associados a cada uma das situações, riscos esses que devem ser prevenidos para que não aconteçam situações indesejáveis.

2.6.1. Veículos sobre rodas

Os camiões são veículos de grandes dimensões, logo há que ter alguns cuidados na sua utilização e circulação, assim como as escavadoras.



Figura 15 – Camião para transporte do material escavado.

Todos os camiões e escavadoras devem ser conduzidos por profissionais adequados e com carta de condução que os habilite para tal.

Deve ser sempre definida uma zona de circulação para estes veículos, independente da zona de circulação de peões, para não haver o risco de atropelamento (Figura 13).

Quando se procede ao carregamento do material escavado, apenas devem estar na zona de carregamento os veículos que estão a ser utilizados (a escavadora e o camião), pois pode haver queda de material, existindo assim perigo de esmagamento, além do perigo de atropelamento (Figura 16).



Figura 16 – Zona de carregamento de material escavado [23].

Os condutores de ambos os veículos devem possuir equipamento de protecção individual adequado, devido ao ruído dos veículos e às poeiras provenientes do material escavado.

A zona de carregamento, deve estar em boas condições e com iluminação adequada, e a capacidade de carga do camião não deve ser excedida, evitando assim queda de material quando o camião se estiver a deslocar (Figura 16). [23]

Quando o camião ou a escavadora estão dentro do túnel, eles têm que ter uma zona de viragem. Essa zona de manobras de veículos deve estar bem iluminada e sinalizada, e a plataforma de viragem deve ter as condições adequadas para tal (Figura 17).

Ao fazer esta manobra, o condutor deve controlar visualmente a retaguarda do veículo, para evitar atropelamentos.

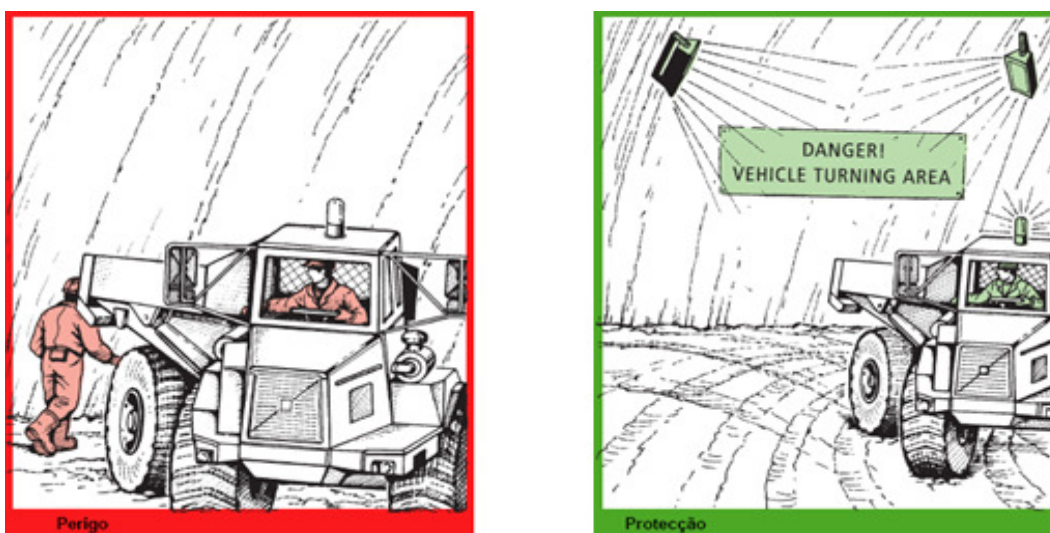


Figura 17 – Zona de manobras dos veículos [23].

Os veículos devem estar munidos de boa iluminação e de sinais sonoros quando se faz marcha atrás.

As luzes e espelhos dos veículos devem ser frequentemente verificadas e substituídas caso não se encontrem em condições.

Após o carregamento e quando o veículo se encontra em movimento, este deve circular devagar, especialmente quando passa em zonas em que decorrem outros trabalhos.

2.6.2. Veículos sobre carris

A vantagem dos veículos sobre carris em relação aos veículos sobre rodas, é que estes não libertam gases tóxicos devido ao combustível.

Contudo, isto não elimina os outros riscos que lhe estão associados, como por exemplo o risco de atropelamento, entalamento ou esmagamento.

O veículo deve possuir iluminação e sinalização adequada, para que seja detectado quando se aproxima.

Os vagões não devem exceder a carga para a qual estão dimensionados, pois pode haver queda e materiais que podem provocar esmagamentos ou que podem obstruir passagens.

Os trabalhadores não devem passar entre vagões nem quando a composição estiver parada, e muito menos quando esta se encontrar em andamento, pois correm o risco de ficar entalados entre vagões, podendo ser esmagados ou atropelados.

No caso de a área onde está a ser usado o veículo sobre carris ser muito estreita, a zona de passagem do veículo deve ser delimitada por barreiras de segurança.



Figura 18 – Vagões para transporte de material escavado [adaptado de Barla, Giovanni].

Assim como os veículos sobre rodas, os veículos sobre carris também devem circular a velocidades moderadas, especialmente em zonas onde estejam a decorrer trabalhos.

No caso do transporte dos materiais e equipamentos necessários à construção da obra, estes devem ir bem acondicionados e devidamente amarrados, para não haver o risco de se soltarem e de caírem, podendo provocar esmagamentos.

3. Equipamentos de protecção

Para prevenir os acidentes e as doenças decorrentes do trabalho, a ciência e as tecnologias colocam à nossa disposição uma série de medidas e equipamentos de protecção colectiva e individual.

3.1. Equipamentos de protecção colectiva

Os Equipamentos de Protecção Colectiva (EPC's) visam, além de proteger muitos trabalhadores ao mesmo tempo, à optimização dos ambientes de trabalho, destacando-se por serem mais rentáveis e duráveis para a empresa.

Estes equipamentos, devem ter prioridade, sobre os equipamentos de protecção individual, uma vez que todos os trabalhadores beneficiam deles, indistintamente.

Os equipamentos de protecção colectiva devem ser mantidos nas condições que os especialistas em segurança estabelecerem, devendo ser reparados sempre que apresentarem qualquer deficiência.

Um equipamento de protecção colectiva (EPC) é assim, toda a medida ou dispositivo, sinal, imagem, som, instrumento ou equipamento destinado à protecção de uma ou mais pessoas.

Como tal, tem-se como exemplos de EPC's: [7]

- Limpeza e organização dos locais de trabalho;
- Sistema de ventilação adequado;
- Ligação à terra nas instalações eléctricas;
- Protecção nos passadiços através de guarda corpos, rodapé e pastilha antiderrapante;
- Avisos sonoros e luminosos nas máquinas e veículos;
- Criação de passagens de circulação para peões;
- Iluminação adequada;
- Colocação de sinalização nos locais adequados.



Figura 19 – Guarda-corpos.

Os equipamentos de protecção colectiva, podem por si só evitar acidentes. Porém, em muitos casos este tipo de equipamentos precisa de ser complementado.

Para isso, deve-se recorrer ao uso de equipamentos de protecção individual, reduzindo assim, muito mais o risco de acidentes.

3.2. Equipamentos de protecção individual

Um Equipamento de Protecção Individual (EPI) é qualquer equipamento destinado a ser usado individualmente pelo trabalhador para a sua protecção contra um ou mais riscos susceptíveis de ameaçar a sua segurança ou saúde no trabalho.

Os EPI's não evitam os acidentes, como acontece de forma eficaz com a protecção colectiva, apenas diminuem ou evitam lesões que podem decorrer de acidentes. [3]

Estes podem usar-se em diferentes tipos de situações:

- Quando não for possível eliminar o risco por outras medidas ou equipamentos de protecção colectiva;
- Quando for necessário complementar a protecção colectiva, por se achar que esta não é suficiente;
- Quando o trabalho que, em princípio, deveria ser efectuado com protecção colectiva tem tão curta duração, que não se justifica a montagem dessa protecção.

Os EPI's devem ser cómodos, robustos, leves, adaptáveis e homologados, isto é, acompanhados da declaração "CE" de conformidade.

A selecção do EPI deve ser feita por pessoal especializado, conhecedor não só do equipamento, como também das condições em que o trabalho é executado. É preciso conhecer também o tipo de risco, a parte do corpo que se pretende proteger e principalmente, o grau de protecção que o equipamento deverá proporcionar.

Na maior parte dos casos, e tendo em conta o tipo de trabalho, cada trabalhador tem que usar mais que um EPI.

Nestas situações, estes equipamentos devem ser compatíveis entre si, de forma que o trabalhador não se sinta desconfortável.

Ao adoptar como medida de segurança a utilização dos EPI's, deve-se sempre ter em consideração que estes provocam, no trabalhador, um "conflito" entre as razões de segurança que o levam a usá-los e o desconforto e esforço adicional na execução das suas tarefas, muitas vezes motivadores da sua rejeição. [20]

Para que esta rejeição não se verifique, após a selecção dos EPI's que vão ser utilizados, devem ser organizadas sessões de formação e treino aos utilizadores destes equipamentos, a fim de garantir uma correcta utilização dos equipamentos, e para que estes se tornem num hábito.

Os pontos fundamentais na formação do utilizador são os seguintes: [10]

- Porquê utilizar um determinado EPI e qual o tipo de protecção que ele garante?
- Qual o tipo de protecção que ele não garante?
- Como utilizar o EPI e ficar seguro de que o EPI garante a protecção esperada?
- Quando se devem substituir as peças de um dado EPI?

Os EPI's devem ser usados pelo trabalhador exclusivamente nas circunstâncias para as quais são recomendados e depois de o trabalhador ter sido informado da natureza dos riscos contra os quais o referido EPI o protege. Após terem estas sessões de formação, os trabalhadores ficam habilitados, e com a obrigação de fazer a manutenção dos seus próprios equipamentos.

Ao usar o equipamento de protecção individual o trabalhador deve então seguir algumas regras práticas, no que respeita à sua utilização, conservação, acomodação e armazenagem.

Essas regras são as seguintes:

- Antes de utilizar o EPI, o trabalhador deverá verificar sempre o seu estado de conservação e limpeza e respectivos prazos de validade;
- Se o EPI apresentar alguma deficiência que altere as suas características protectoras, deverá a sua utilização ser evitada e a chefia directa informada de tal acto, por escrito;
- Os EPI's são de uso individual, a fim de se adaptarem às medidas do utilizador e também por razões higiénicas;
- O trabalhador deverá limpar cuidadosamente os EPI's após cada utilização;
- Após a utilização dos EPI's em presença de produtos tóxicos, deverão os mesmos ser desinfectados com materiais adequados que não alterem as suas características;
- Os EPI's deverão ser guardados em recipiente ou armário próprio, isento de poeiras, produtos tóxicos ou abrasivos, utilizando embalagem própria e nas melhores condições de higiene;
- Os EPI's não deverão nunca estar em contacto directo com ferramentas e outros materiais ou equipamentos.

Os equipamentos de protecção individual podem ser classificados em conformidade com a parte do corpo que deve ser protegida.

3.2.1. Protecção da cabeça

É na cabeça que se situa um dos órgãos mais importantes, senão mesmo o mais importante, do nosso corpo, o cérebro.

Este órgão é protegido pelo crânio, e qualquer acidente que danifique a massa craniana, pode levar a sérios danos ao nível do cérebro.

Como tal, a cabeça deve ser adequadamente protegida perante o risco de queda de objectos pesados, pancadas violentas ou projecção de partículas.

A protecção da cabeça obtém-se mediante uso de capacete de protecção, o qual têm como função principal resguardar o crânio de agressões externas durante a execução dos trabalhos.



Figura 20 – Capacete de protecção.

Os capacetes de protecção, devem apresentar elevada resistência ao impacto e à penetração, evitando assim quaisquer lesões na cabeça. Devem também ser leves, confortáveis e de limpeza fácil.

Os capacetes são constituídos por duas partes: casco e arnês.

O casco é a parte exterior e resistente do capacete, e o arnês é o conjunto de elementos interiores destinados a absorver a energia transmitida pelo choque e a manter o capacete numa posição correcta quando colocado na cabeça. [19]

Os capacetes podem ser feitos de vários materiais: Couro, Metal ou Plástico.

Na construção de túneis, devem usar-se os de plástico, pois possuem características melhores e mais adequadas para os riscos que possam decorrer dos trabalhos efectuados.

3.2.2. Protecção dos olhos

Os olhos constituem uma das partes mais sensíveis do corpo humano, e como tal, os acidentes que estão relacionados com eles, podem atingir uma grande gravidade. [10]

Os acidentes que podem ocorrer com os olhos na construção de túneis são na sua grande parte devidos a projecção de poeiras e partículas, e à falta de iluminação adequada, podendo também ser devidos a eventuais trabalhos de soldadura.

Para este tipo de trabalhos deve-se usar um capacete de soldador, que além de ser eficaz para os olhos também evita a inalação dos fumos produzidos pela soldadura.



Figura 21 – Capacete de soldadura.

Em relação à falta de iluminação adequada, não há nenhum tipo de protecção individual que se possa aplicar, já em relação à projecção de poeiras e partículas, devem-se usar óculos de protecção, como por exemplo uns óculos com protecção lateral.



Figura 22 – Óculos de protecção.



Figura 23 – Óculos de protecção com protecção lateral.

3.2.3. Protecção das vias respiratórias

A atmosfera dos locais de trabalho encontra-se, muitas vezes, contaminada em virtude da existência de poeiras e gases.

Na construção de túneis, a protecção das vias respiratórias pode ser feita através de semi máscaras, de máscaras descartáveis ou de máscaras filtrantes.



Figura 24 – Semi máscara de protecção (esquerda) e máscara filtrante (direita).



Figura 25 – Máscaras descartáveis.

As máscaras podem por vezes tornar-se desconfortáveis, mas são um equipamento de protecção muito útil, que podem evitar futuras doenças respiratórias.

3.2.4. Protecção dos ouvidos

A acção do ruído sobre os trabalhadores verifica-se quer a nível fisiológico, com reflexos nocivos sobre o aparelho auditivo e outras funções orgânicas,

quer a nível psicológico, provocando acréscimos de tensões que podem gerar situações favoráveis à ocorrência de acidentes.

Para evitar estes acidentes provocados pelo ruído, pode-se usar como equipamento de protecção individual, os protectores de ouvidos.

Existem dois tipos de protectores de ouvidos: os auriculares (ou tampões) e os auscultadores (ou protectores de tipo abafador).



Figura 26 – Tampões de protecção (esquerda) e auscultadores de protecção (direita).

Os protectores referidos devem ser escolhidos de uma forma adequada, isto é, devem satisfazer as exigências impostas, quer para os valores limite de exposição diária ao ruído ou da pressão acústica instantânea, quer para a média semanal dos valores diários.

Por exemplo no caso de um trabalhador que esteja a executar um trabalho com um martelo pneumático, esse trabalhador deve usar auscultadores.

No caso dos manobradores de máquinas, os tampões são suficientes.

3.2.5. Protecção de mãos e braços

Os ferimentos nas mãos são os mais frequentes por serem as partes mais vulneráveis do corpo, pois são elas que manipulam os objectos, utilizam equipamentos e contactam com todos os materiais.

A protecção das mãos é efectuada através do uso de luvas, existindo no mercado diversos tipos em função do fim a que se destinam. Podem ser constituídas de diferentes materiais nomeadamente, de couro, de tecido, de borracha natural ou sintética e ainda de malhas metálicas.

Para trabalhos relacionados com a construção de túneis, as mais usadas são as de couro ou as de tecido.



Figura 27 – Luvas de couro (esquerda) e luvas de tecido (direita).

As luvas de couro têm uma boa resistência mecânica, e são mais ou menos maleáveis, consoante a sua espessura.

As luvas de tecido são muito maleáveis e com porosidade que não dificulta a respiração da pele, contudo são muito pouco resistentes mecanicamente.

Pode em certos casos ser necessário recorrer às luvas de material de borracha ou sintético, como por exemplo se for algum trabalho eléctrico.

Apesar do uso de luvas, por vezes a pele das mãos pode ficar seca, não sendo de excluir nestes casos o uso de cremes hidratantes ou pomadas.

O braço e o antebraço estão, geralmente menos expostos do que as mãos, não sendo contudo de subestimar a sua protecção.

Para isso podem-se usar mangas ou braçadeiras, diminuindo assim o risco de acidente nessas partes do corpo.

3.2.6. Protecção de pés e pernas

Quando há possibilidade de queda de materiais, ou outro tipo de acidentes que possam provocar danos nos pés e pernas, como é o caso da construção de obras subterrâneas, há que usar calçado adequado para prevenir esses acidentes.

Os riscos mais comuns neste tipo de trabalho são o esmagamento ou a fracturação do pé.

Existem vários tipos de calçado, para evitar estas situações: [19]

- Sapato - Utilizado para resguardar o pé abaixo do artelho;
- Bota - Utilizado para resguardar o pé e parte da perna ao nível do artelho;
- Botim - Utilizado para resguardar o pé e parte da perna acima do artelho.

No caso dos sapatos e das botas, estes são revestidos interiormente com biqueira e palmilhas de aço, eventualmente com reforço no peito do pé, e no caso das botas também no artelho.



Figura 28 – Botas e sapatos de protecção com biqueira de aço.

No caso dos botins, estes são de borracha e são mais indicados para trabalhos eléctricos e em ambientes mãos húmidos.



Figura 29 – Botins de borracha.

A biqueira de aço permite proteger os dedos dos pés contra riscos de esmagamento originários de quedas de objectos. Para tal é fundamental que possua uma resistência mínima ao impacto e de compressão adequada e comportamento satisfatório em ensaio de corrosão.

Define-se calçado de segurança quando a biqueira tem a capacidade de protecção contra 200J de energia de impacto, calçado de protecção, quando a biqueira tem a capacidade de protecção contra 100J de energia de impacto e calçado de trabalho quando não é utilizada biqueira de aço.

3.2.7. Protecção do tronco

O tronco é protegido através do vestuário, que pode ser confeccionado em diferentes tecidos.

O vestuário de trabalho deve ser cingido ao corpo para se evitar a sua prisão pelos órgãos em movimento.

3.2.8. Protecção do corpo contra quedas

Em todos os trabalhos que apresentam risco de queda livre deve utilizar-se um cinto de segurança, ou um arnês de segurança.

Estes equipamentos são compostos por:

- Dispositivo que prende o corpo;
- Dispositivo de regulação;
- Sistema de segurança anti-queda.



Figura 30 – Arnês de protecção.

4. Sinalização de segurança

A sinalização de segurança é uma das mais básicas medidas de prevenção, que se pode colocar em prática, pois se não for conhecida e respeitada por todos, qualquer sistema de protecção dos trabalhadores no seu local de trabalho, por mais eficaz que seja, pode não ter o efeito desejado.

Contudo, para que a sinalização de segurança tenha o grau de eficácia que se pretende com a sua utilização, é necessário que se estabeleçam duas condições fundamentais.

A primeira condição estabelece que a sinalização de segurança é uma componente essencial de prevenção dos acidentes de trabalho e, nessa medida, deve estar associada aos processos e métodos de organização do trabalho, onde, naturalmente, se inscrevem as diversas medidas de protecção colectiva ou individual. [38]

Assim, deve ser garantida a existência de adequada sinalização de segurança, que possa auxiliar os trabalhadores a actuar em conformidade com os procedimentos de segurança, mesmo que os riscos possam ser evitados por equipamentos de protecção. Então, deve existir sinalização que informe sobre os perigos iminentes, e sobre a utilização de equipamentos de protecção.

A segunda condição de eficácia passa, invariavelmente, pela consulta e formação dos trabalhadores, a propósito das medidas adequadas às características do seu local de trabalho que visem a sinalização de segurança, de modo especial quando implique comportamentos específicos a adoptar. [38] Ou seja, os trabalhadores devem ser submetidos a acções de formação e informação, sobre as características, e o significado da sinalização adoptada para os trabalhos que vão ser executados.

Os sinais devem estar bem conservados, de modo a estarem com boas condições de utilização, tanto visuais como auditivas, de forma a serem eficazes.

Existe então um conjunto de símbolos e sinais, especificamente criados para garantir a fácil compreensão dos riscos ou dos procedimentos a cumprir nas diversas situações de trabalho que podem ocorrer durante a construção de uma obra subterrânea.

4.1. Sinais de perigo

Indicam situações de risco potencial de acordo com o pictograma inserido no sinal. Têm forma triangular, o contorno e pictograma a preto e o fundo amarelo.



Figura 31 – Sinal de perigo (Perigos vários).

4.2. Sinais de proibição

Indicam comportamentos proibidos de acordo com o pictograma inserido no sinal. Têm forma circular, o contorno vermelho, pictograma a preto e o fundo branco.



Figura 32 – Sinal de proibição (Proibida e entrada a pessoas estranhas ao serviço).

4.3. Sinais de obrigação

Indicam comportamentos obrigatórios de acordo com o pictograma inserido no sinal. Têm forma circular, fundo azul e pictograma a branco.



Figura 33 – Sinal de obrigação (Obrigatório o uso de capacete).

4.4. Sinais de emergência

Fornecem informações de salvamento de acordo com o pictograma inserido no sinal. Têm forma rectangular, fundo verde e pictograma a branco.



Figura 34 – Sinal de emergência (Equipamento de primeiros socorros).

4.5. Outros sinais

Existem ainda outros sinais que não estão englobados em nenhum dos referidos acima. Esses sinais são por exemplo cones de sinalização ou cavaletes.



Figura 35 – Cones de sinalização.



Figura 36 – Cavaletes de sinalização.

5. Influência do tipo de maciço na escavação do túnel

Um dos aspectos mais importantes ligados aos estudos de terrenos para fins de engenharia civil é o da respectiva classificação, nomeadamente no que se refere à definição dos parâmetros que melhor caracterizam uma formação do ponto de vista de Geologia de Engenharia. Uma primeira classificação dos materiais geológicos do ponto de vista da Geologia de Engenharia bem como da engenharia civil é em solos e em rochas. Às formações constituídas por solos é atribuída a designação genérica de maciços terrosos (Figura 37), enquanto as que são essencialmente constituídas por rocha se designam por maciços rochosos (Figura 37).



Figura 37 – Maciço terroso (esquerda) [21] e maciço rochoso (direita) [36].

Consoante se pretenda realizar uma obra subterrânea em terrenos brandos ou em maciços rochosos competentes, com desenvolvimento horizontal ou vertical, com grande ou pequena secção, longe ou perto de zonas urbanas, assim se utilizam métodos de escavação e equipamentos significativamente distintos. [36]

Uma adequada caracterização geotécnica dos maciços, habilita os responsáveis a definir os processos de construção mais económicos e mais seguros, e também tipologias de suporte provisório e definitivo, evitando-se, assim, gastos desnecessários.

Qualquer que seja o tipo ou dimensão da obra interessada no estudo de um maciço, a preocupação geral que sempre deve existir é a de se escolher para cada fase do estudo os métodos que, em cada situação, poderão dar mais

informação, com menor custo e em menos tempo, garantindo também as respectivas medidas de segurança.

Mais do que para qualquer outro tipo de estrutura, a concepção dos túneis deve envolver selecção ou antecipação dos métodos de construção.

5.1. Escavação de túneis em maciços rochosos

Um maciço rochoso, pode considerar-se como sendo constituído por material rochoso e descontinuidades, daí a sua heterogeneidade, quer em termos da sua compartimentação, quer em termos da sua alteração.

Devido à grande diversidade de materiais que se pode encontrar nos maciços rochosos, estes apresentam uma estrutura, composição e propriedades mecânicas muito diferentes e mais complexas do que a maioria dos materiais.

Como tal, a construção de túneis em maciços rochosos, exige processos e procedimentos previamente pensados e estudados, que são de muitas formas diferentes de outros projectos de concepção e construção, pois o principal material de construção é o próprio maciço rochoso, que possui propriedades que se podem alterar ao longo da construção do túnel.

Assim, tendo em conta o que foi dito acerca da grande diversidade de materiais que podem compor um maciço rochoso, e de que por vezes o material de construção é o próprio maciço, pode-se afirmar que a escavação em maciços rochosos é uma actividade complexa e com enormes repercussões na eficiência da construção de túneis. Em termos geotécnicos esta actividade é, possivelmente, a que maiores implicações acarreta para a execução de uma obra subterrânea. [4]

As vertentes ligadas ao método de escavação, equipamentos utilizados e velocidades de avanço, afectam praticamente todas as operações que se realizam a jusante, nomeadamente a remoção de escombros (Figura 38), o dimensionamento e instalação de suportes, as actividades acessórias (ventilação, iluminação, etc.) e, como é óbvio, as condições globais de segurança do túnel.

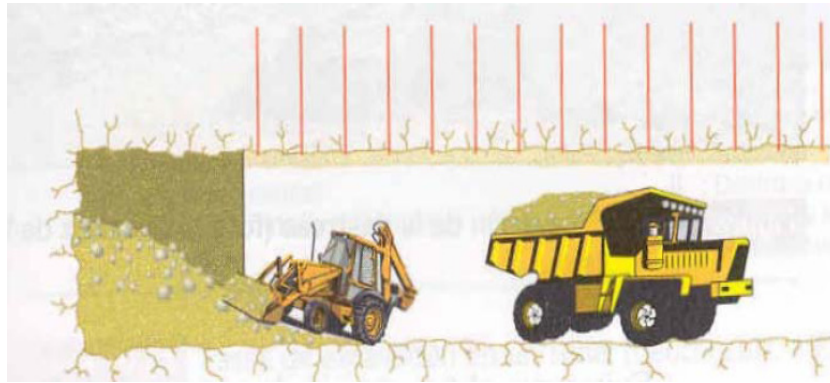


Figura 38 – Remoção de escombros [37].

A escavação dos maciços rochosos depende maioritariamente de duas características principais do maciço: a capacidade de resistência da rocha e as características de fracturação existentes.



Figura 39 – Maciço muito fracturado [37].

Os métodos de escavação, nomeadamente o uso de explosivos ou o uso de equipamentos mecânicos, estão ligados a estas duas características, sendo escolhido um ou outro de acordo com elas, de modo a este trabalho ser feito nas melhores condições de segurança possíveis.

Existem também critérios de escavação, desenvolvidos pelos vários fabricantes de equipamentos de escavação que, com base na experiência acumulada e para cada equipamento, identificam os tipos de rocha escaváveis consoante as respectivas velocidades das ondas sísmicas, sendo assim possível escolher de forma eficaz, o tipo de equipamento a ser utilizado. [36]

Os maciços rochosos, como elementos geológicos complexos, só raramente possuem as características de homogeneidade, isotropia e continuidade que lhes são frequentemente atribuídos. Desta forma, poderá não ser suficiente a utilização de um único método ou técnica de desmonte de rocha, para a escavação integral de uma obra subterrânea.

Os métodos de escavação, tanto por explosivos como mecânicos, podem ser faseados de acordo com as características da obra e do maciço rochoso. Em alguns casos, é utilizada a técnica de escavação em secção dividida.

Esta técnica consiste na abertura prévia de uma ou mais galerias de pequena secção, em que uma pequena parte do suporte participará no suporte da escavação total a realizar [31], e permite minorar a instabilidade das frentes, dos tectos e dos hasteais, evitando assim alguns acidentes que poderiam ocorrer, como por exemplo soterramentos ou esmagamentos devido à queda de blocos.

Se bem que seja económica e tecnicamente inviável a substituição frequente dos métodos de escavação no decorrer da abertura de um túnel, existem adaptações possíveis nos diferentes métodos, dependentes das características do maciço e das condicionantes locais. Estas variantes, consoante o processo em uso, traduzem-se na aplicação de equipamentos de diferente potência ou sistema de corte, ou na adaptação sucessiva do diagrama de fogo no caso de desmonte com explosivos. [4]

A secção do túnel, é outro dos condicionalismos com que se debate a escolha da técnica de desmonte, uma vez que pode limitar a gama de equipamentos a operar no espaço disponível e a eficiência destes.

A selecção do tipo de sistema de desmonte a aplicar (mecânico ou com explosivos), deve ter em conta aspectos como a altura do nível freático acima da soleira do túnel, a profundidade de recobrimento, a distância do eixo do túnel às estruturas existentes, a sensibilidade das estruturas superficiais, bem como os parâmetros mecânicos característicos do maciço a escavar.

Todos estes aspectos são importantes, pois como se disse cada um deles pode influenciar a escolha do método de desmonte, método esse que vai influenciar as condições de segurança da obra.

5.2. Escavação de túneis em maciços terrosos

Um solo é um conjunto natural de partículas minerais que podem ser separadas por agitação na água. Este é composto por um grande número de partículas, com dimensões e formas variadas, que formam a sua estrutura. Esta estrutura é porosa, logo possui vazios. Esses vazios podem estar, totalmente preenchidos por água (solo saturado), completamente ocupados por ar (solo seco), ou com ambos (ar e água) que é a forma mais comum na natureza. De um modo geral, pode-se então afirmar que o solo é composto por três fases: partículas sólidas, água e ar (Figura 40).

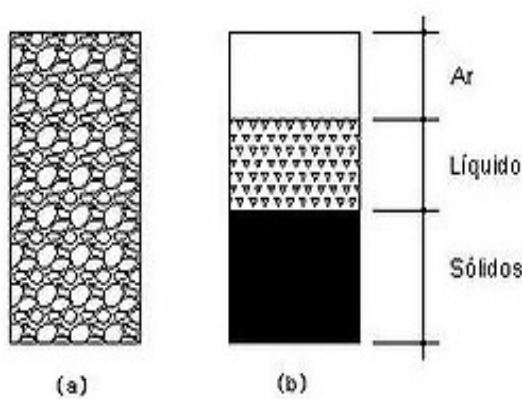


Figura 40 – (a): solo no seu estado natural; (b): três fases que compõem o solo
[adaptado de Wikipedia].

Ao contrário dos maciços rochosos, nos maciços terrosos não existem classificações abrangentes para túneis, que permitam o dimensionamento do suporte ou a quantificação das condições de estabilidade, com base em aspectos descritivos. [33]

Assim a sua caracterização geotécnica baseia-se em aspectos gerais do comportamento mecânico, como por exemplo nos dados geológicos obtidos através de sondagens sobre as características dos terrenos atravessados (litologia), a profundidade de cada camada, e do nível freático, caso este exista, e também através de ensaios *in situ* como o ensaio de penetração dinâmica SPT (Standard Penetration Test).

Do ponto de vista da construção de túneis, os solos são considerados materiais contínuos, ou seja, as suas propriedades físicas são, numa primeira análise, isotrópicas. Assim, na altura de fazer simulações computacionais, os solos podem ser considerados como uma massa contínua.

Os problemas que se apresentam no projecto e execução das obras subterrâneas em maciço terroso, distinguem-se em dois tipos fundamentais: os que se referem a deformações do solo, e os que consideram a ruptura de uma massa de solo. [9]

O primeiro, abrange o estudo dos assentamentos das obras, e o segundo, envolve as questões relativas à capacidade de carga do solo ou à estabilidade de maciços terrosos.



Figura 41 – Colapso do maciço terroso

A escavação dos maciços terrosos depende então fundamentalmente das propriedades e características do solo, ou seja, da sua permeabilidade, porosidade, plasticidade, elasticidade, resistência à compressão ou composição mineralógica.

De forma a obter estas características, usam-se diversos tipos de ensaios, como por exemplo os ensaios SPT, CPT, Molinete ou Pressiométrico. Estes ensaios vão ser uma ajuda preciosa, uma vez que, devido aos dados obtidos através dos mesmos, como a resistência e a deformabilidade do solo, pode-se determinar qual o método construtivo mais adequado a aplicar na construção de um túnel em maciço terroso, uma vez que existem diversos tipos de solos, nomeadamente, argilas, areias, cascalho entre outros, cada um com diferentes propriedades e características.

Assim, a forma como se vai abordar a escavação de um maciço terroso varia de solo para solo.

Contudo, independentemente das características dos solos, as escavações subterrâneas provocam alterações na estrutura dos maciços terrosos. Estas

alterações, principalmente nos estados de tensões, podem chegar a limites críticos, causando o rompimento da frente da obra subterrânea (Figura 41) e reflectindo-se na estabilidade do maciço, podendo-se propagar por convergência no interior da obra subterrânea. [22]

Geralmente quando um túnel é perfurado em solo, as tensões são libertadas e o solo tende a mover-se internamente. Como consequência desse movimento no interior do maciço, originam-se assentamentos profundos, e deslocamentos horizontais, que podem provocar o colapso das paredes do túnel (Figura 42).



Figura 42 – Colapso da parede do túnel [adaptado de Barla, Giovanni].

Estes movimentos devem assim ser estudados previamente, de forma a evitar acidentes, que são sempre prejudiciais para a obra, mas principalmente para os trabalhadores afectados por eles.

Ao contrário do que ocorre em rocha, as escavações em solo admitem grandes deformações antes de se dar a ruptura.

Assim, o uso de suportes e de pré-suportes, que serão mencionados e estudados mais à frente neste trabalho, são muito importantes, pois podem evitar alguns acidentes de trabalho, como soterramentos ou esmagamentos.

Desta forma, e uma vez que existe tempo para actuar, não se devem ignorar os sinais dados pelo terreno, como por exemplo a aparição de algumas fendas, assentamentos ou deformações, devendo-se agir em prol da segurança da obra e de todos os envolvidos nela.

6. Métodos de escavação e desmonte

Relativamente à selecção e adaptação do método de escavação, e para que a escavação seja efectuada nas melhores condições de segurança possíveis, devem efectuar-se trabalhos com a seguinte composição: [4]

- Prospeccção expedita e contínua da frente;
- Levantamento dos constrangimentos locais (subterrâneos e superficiais);
- Classificação e caracterização geotécnica dos terrenos atravessados pelo túnel e integração da informação recolhida na prospeccção da frente com o zonamento geotécnico anteriormente definido;
- Estabelecimento dos métodos de desmonte da rocha e de escavação do solo com base nos elementos disponíveis no zonamento e prospeccção.

Depois de efectuados estes trabalhos, já estão reunidas condições para escolher os meios mais eficientes e economicamente mais viáveis para a construção do túnel.

6.1. Escavação com meios mecânicos

Os métodos de desagregação mecânica do material rochoso e terroso, devido à sua diversidade, devem ser escolhidos essencialmente pela sua adequação, flexibilidade, disponibilidade e alargado campo de utilização, de forma a reduzir o número de equipamentos em obra.

A tecnologia associada aos equipamentos mecânicos é bastante complexa, envolvendo distintos componentes que variam quanto à forma, técnica de emprego e campo de aplicação. [36]

O desmonte mecânico de um túnel pode ser realizado, sem prejuízo das variantes existentes, por dois métodos principais: abertura em secção plena e abertura faseada.

A escolha de um destes métodos tem em conta as características do terreno. Por exemplo, no caso dos maciços rochosos, se a rocha tem capacidade para se auto-suportar, utiliza-se a abertura em secção plena, caso contrário utiliza-se a abertura faseada, de modo a instalar mais rapidamente o suporte necessário.

Desta forma, evitam-se possíveis acidentes, como soterramentos ou esmagamentos devido a queda de materiais e colapso da frente de trabalho.

Os equipamentos mecânicos mais utilizados na escavação de túneis incluem:

- Tuneladoras (TBM - Tunneling Boring Machine);
- Máquinas de ataque pontual (fresas);
- Martelos hidráulicos;
- Máquinas giratórias;
- Retroescavadoras.

As tuneladoras são as únicas máquinas para abertura em secção plena, todas as outras referidas são máquinas para abertura parcial faseada.

6.1.1. Tuneladoras

As tuneladoras são máquinas utilizadas na escavação de túneis com secção transversal circular. São mecanismos apreciados pela sua eficiência em diversos tipos de subsolo, mostrando uma versatilidade que vai das rochas mais duras até terrenos arenosos.

Existem diversos tipos de tuneladoras, tendo como características comuns a perfuração integral do túnel e a estrutura própria de colocação do sustimento (geralmente aduelas).

Estes equipamentos são constituídos por: [31]

- Uma cabeça de perfuração de forma circular nas máquinas rotativas, sobre a qual se encontram colocadas as ferramentas de corte, que transformam o material escavado em fragmentos, cujo tamanho permita a fácil remoção destes. Estas ferramentas estão colocadas numa disposição que permite a eficácia da escavação;
- Um elemento fixo de reacção ao impulso da cabeça de corte sobre a frente de ataque no momento do desmonte/corte da rocha;
- Um sistema de propulsão e apoio;
- Sapatas de apoio lateral contra o terreno com macacos hidráulicos;
- Grupo de macacos hidráulicos de propulsão que apoiam sobre o revestimento colocado em avanço ou contra o anel de reacção quando o terreno não permite placa de apoio;
- Sistema de carregamento e transporte de escombros.

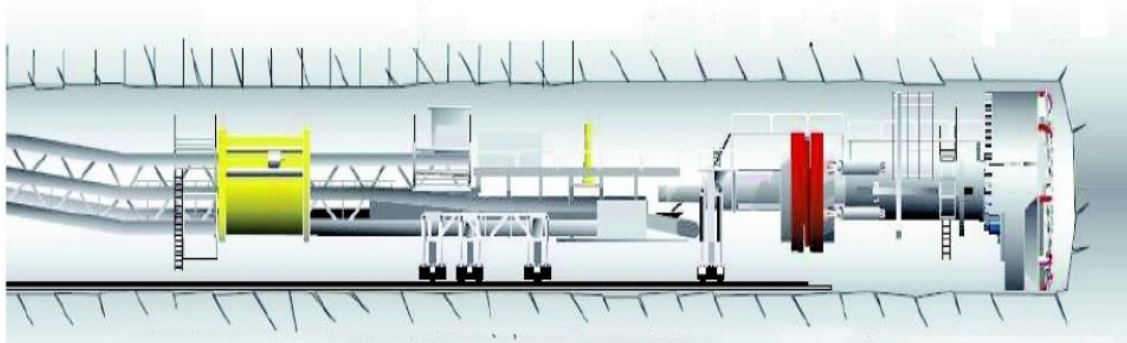


Figura 43 – Tuneladora [31].

Um dos factores que rege a aplicabilidade destes equipamentos prende-se com o terreno de fundação que terá de possuir resistência suficiente à força exercida pelas sapatas e lagartas das tuneladoras, no seu movimento ao longo do túnel.



Figura 44 – Cabeça de uma tuneladora (esquerda) [6] e tuneladora em trabalhos (direita) [36].

Como se disse, as tuneladoras têm a capacidade de escavar em maciços rochosos e também em maciços terrosos, mas ao mesmo tempo tem que ter capacidade para suportar as forças de reacção resultantes dessa escavação.

Os meios de suporte da tuneladora têm as seguintes funções:

- Suportar o impulso da máquina;
- Suportar o peso próprio da tuneladora;
- Suportar as possíveis cargas do recobrimento sobre o escudo;
- Estabilizar a cabeça de corte;
- Manter a máquina alinhada.

As vibrações provocadas pelas tuneladoras durante a escavação subterrânea, poderão constituir um impacte ambiental com duas vertentes distintas. A primeira é a possibilidade de causarem danos estruturais em construções próximas e a segunda consiste na incomodidade para as pessoas afectadas pelas vibrações, principalmente os trabalhadores que se encontram mais próximos da máquina. Assim sendo, é importante efectuar a monitorização das vibrações próximo das estruturas, assim como de locais com pessoas susceptíveis de sofrerem este tipo de impacte ambiental. [15]

O controlo destes impactes é essencial, visto que as vibrações têm efeitos indesejáveis para as obras de engenharia e desagradáveis para as pessoas.

Os movimentos vibratórios implicam a transmissão de solicitações dinâmicas que podem ser destrutivas, quer para as estruturas civis e máquinas, quer para as próprias formações geológicas, onde assentam as fundações de edifícios e túneis subterrâneos, havendo assim o risco de desmoronamentos que podem causar soterramentos ou esmagamentos.

Mesmo os níveis mais baixos de vibrações podem causar um grande desconforto com efeitos negativos para a saúde humana, com a consequente perda de rendimento no trabalho.

Os principais cuidados a ter com a utilização de tuneladoras, são a manutenção da máquina e não entrar no campo de acção da mesma.

6.1.2. Máquinas de ataque pontual (fresas)

As máquinas de ataque pontual (fresas), destinam-se a escavar maciços constituídos por rochas pouco abrasivas, de baixa tenacidade e alguma fracturação. Assim, estes equipamentos são utilizados fundamentalmente em rochas brandas, existindo diferentes variedades com diversos tipos de cabeças, adequados às diferentes características do material a escavar. [4]

Em relação às tuneladoras, estes equipamentos têm a vantagem de não produzir desmoronamentos locais, nem vibrações nocivas sobre edifícios existentes nas proximidades e sobre a própria estrutura do túnel.

Contudo, a sua utilização é limitada devido às características de resistência dos terrenos.

Uma máquina comporta, geralmente, os seguintes componentes: [31]

- Chassis automotor sobre pneus ou de lagartas;
- Braço orientável dotado de uma cabeça rotativa equipada com as ferramentas de corte (picas);
- Sistema de evacuação dos escombros da frente.

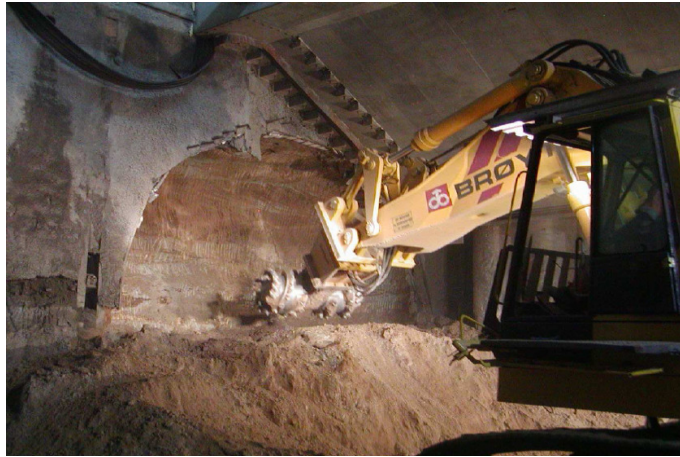


Figura 45 – Máquina de ataque pontual (fresa) [31].

O princípio de desmonte da rocha consiste em romper a rocha sob o efeito conjugado da penetração das “picas” na frente de escavação e o movimento lateral do braço da fresa.

As condições de melhor utilização deste tipo de máquinas dependem de vários factores, como por exemplo o tipo de perfil a obter (forma e dimensões da secção transversal), ou as características de resistência da rocha como já foi referido.



Figura 46 – Máquina de ataque pontual (fresa) de grandes dimensões [37].

Estes equipamentos são de fácil adaptação às variações de secção, e a sua utilização provoca uma diminuição das perturbações no maciço envolvente.

Para a utilização de uma máquina de ataque é necessário conhecerem-se dois grupos de parâmetros geotécnicos:

- Características de resistência da rocha;
- Estado de fracturação do maciço.

De uma forma geral, uma fissuração intensa é favorável ao trabalho de desmonte mecânico do maciço, pela existência de superfícies de fraqueza privilegiada do maciço.

O emprego destas máquinas coloca a questão do limite económico para a dureza das rochas, pelo que há necessidade de uma avaliação geológica estrutural detalhada e conhecer muito bem os parâmetros geotécnicos definidos anteriormente.

Devido às poeiras causadas por este tipo de equipamento, deve-se instalar um sistema pulverizador de água na cabeça da furação, de modo a atenuar um pouco este efeito. Ainda por causa das poeiras, o sistema de ventilação deve estar em condições de funcionamento e deve estar ligado (Figura 47). Porém, é estritamente necessário que os trabalhadores que estejam na zona em que os trabalhos decorrem, usem equipamentos de protecção individual, como máscaras, óculos, capacete e botas. [23]

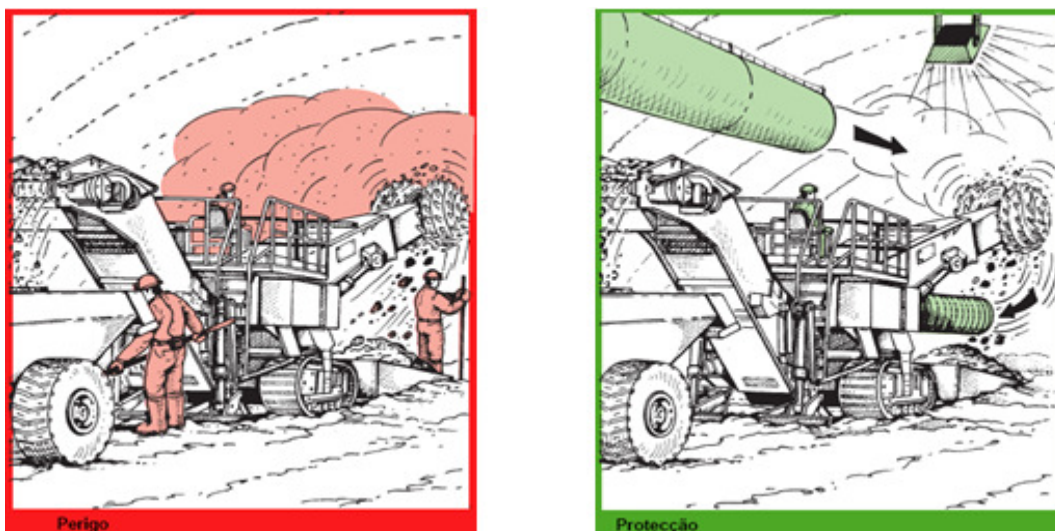


Figura 47 – Modo de actuação de uma fresa em perigo (à esquerda) e em segurança (à direita) [23].

Na zona de acção da máquina, não se devem encontrar trabalhadores, de modo a evitar atropelamento, esmagamento, soterramento, ou outros acidentes que possam ser provocados pela projecção de materiais provenientes do maciço (Figura 47).

6.1.3. Martelos hidráulicos

Os martelos hidráulicos, aplicáveis apenas em maciços rochosos muito brandos, possuem uma tecnologia convencional, dependendo a sua aplicabilidade do espaço disponível e das características do material a escavar. Em túneis com constrangimentos próprios, nomeadamente em zonas urbanas e com materiais brandos e heterogéneos, estes equipamentos podem tornar-se numa alternativa rentável à utilização de explosivos ou de tuneladoras.

O princípio de funcionamento de um martelo hidráulico moderno é simples. Existe um pistão que se desloca para cima e para baixo e que bate contra a extremidade da ferramenta. São assim produzidos impulsos de grande energia que fazem com o martelo bata na rocha, desagregando-a, facilitando a sua remoção.

As condições de utilização destes equipamentos são muito semelhantes às das fresas, sendo talvez ainda mais relevante o facto de o maciço ter que possuir um grau de fracturação elevado para que a sua utilização seja rentável e vantajosa.

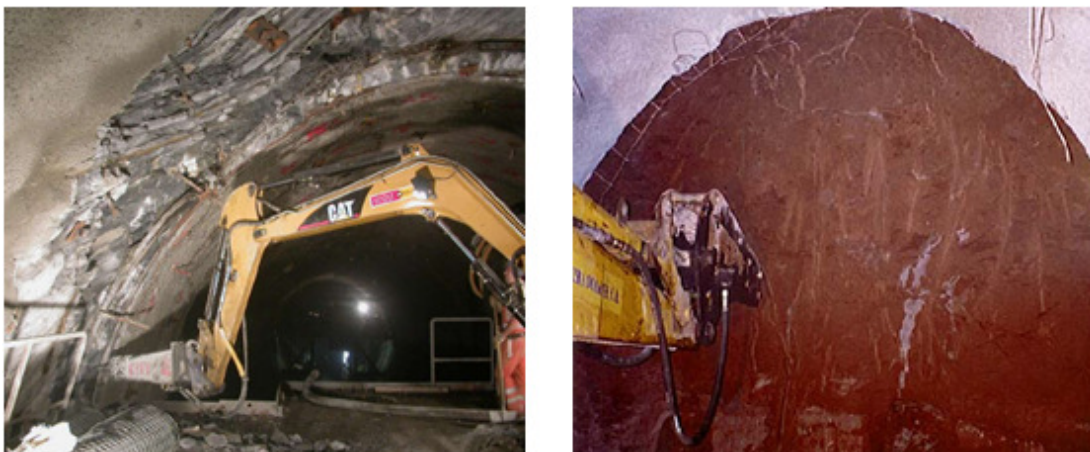


Figura 48 – Martelos hidráulicos [4].

Os cuidados a ter na sua utilização são praticamente os mesmos que se devem ter com a fresa, tirando o facto de não ser necessária a instalação do sistema pulverizador de água. Contudo, continua a ser essencial que a ventilação esteja a funcionar.

Assim como todas as máquinas, também os martelos hidráulicos necessitam de manutenção adequada, e aquando da sua utilização, a campo de acção da máquina deve estar desimpedido.

6.1.4. Máquinas giratórias e retroescavadoras

As máquinas giratórias e as retroescavadoras, com função de escavadoras, são apenas utilizadas na escavação de maciços terrosos, pois não possuem características para a escavação de maciços rochosos.

As giratórias são constituídas por um braço de alcance variável, consoante o modelo de máquina a adoptar, em cuja extremidade está um balde também com capacidade variável. Esta máquina tem apenas como função escavar.



Figura 49 – Máquina giratória [36].

Em relação às retroescavadoras, estas possuem na sua retaguarda um braço também extensível e de alcance variável assim como as giratórias, e também um balde com capacidade variável.



Figura 50 – Retroescavadora.

O que estas máquinas têm de diferente das giratórias, é que na sua parte da frente, possuem uma pá, que tem função de recolha e transporte dos materiais escavados, o que faz com que a sua utilização se estenda também à escavação de maciços rochosos.

Assim como as máquinas referidas anteriormente, o campo de acção destas deve estar desimpedido, de modo a evitar atropelamentos, esmagamentos ou soterramentos.

Quando as retroescavadoras tiverem função de carregamento e transporte de materiais, a estas acresce o cuidado que se deve ter na sua circulação.

Também estas máquinas devem ter uma manutenção adequada e feita por pessoas com habilitações para tal.

Todas as máquinas devem ser conduzidas ou manobradas por profissionais experientes e com formação adequada para o efeito, e todos eles devem respeitar as regras de segurança no seu manobramento.

Dentro das técnicas de escavação mecânica existem ainda bastantes tipos de equipamentos, nomeadamente máquinas de pré-corte mecânico e desmonte com equipamentos mecânicos manuais. Os equipamentos disponíveis no mercado possuem especificações técnicas dos fabricantes, com dados relativos ao avanço, potência e campos de aplicação, devendo a sua escolha ser alvo de critérios e estudos de detalhe que abranjam todo o desenvolvimento linear do túnel.

No desmonte de maciços heterogêneos, com ocorrência simultânea de materiais brandos e duros, poderá ser conveniente a utilização de métodos mistos, isto é, aplicação de explosivos e arranque mecânico.

6.2. Escavação com recurso a explosivos

O desmonte de rocha com explosivos motiva, invariavelmente, um conjunto de acções benéficas e um conjunto de acções prejudiciais. Como acções benéficas, contam-se como principais, o arranque da rocha do maciço e a sua fragmentação, facilitando assim a remoção e transporte.

Contudo, apenas uma pequena parte da energia libertada pelas detonações, de explosivos em rocha, são efectivamente usados a fragmentar a rocha.

Isso significa que a maior parcela da energia contida nos explosivos é transferida ao ambiente circundante, causando assim o conjunto de acções prejudiciais, como por exemplo: vibrações transmitidas aos terrenos e estruturas adjacentes, ruídos, criação de gases e poeiras, projecção de blocos de rocha e partículas, e deterioração do maciço remanescente, com a possibilidade de criar instabilidades no mesmo, como por exemplo, queda de blocos (Figura 51). [36]

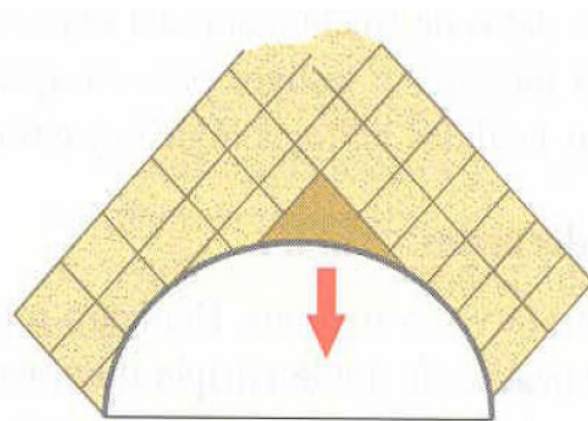


Figura 51 – Queda de blocos [37].

Tendo estes factores em conta, o desmonte com explosivos em áreas urbanas, reveste-se de grandes dificuldades e exige um apurado domínio por parte dos executantes, que devem ser profissionais com experiência no seu manuseamento.

As limitações associadas ao uso de explosivos prendem-se, portanto, com as condições do meio onde se desenrolam as actividades. Estas condicionantes estão normalmente relacionadas com a presença de estruturas civis ou com o ambiente natural existente, potencialmente afectados pelas acções prejudiciais referidas atrás.

Os explosivos são preferencialmente usados na escavação ou desmorte de túneis em rocha dura, onde são obtidos os melhores resultados em termos da eficácia e rendimento.

No caso de a rocha ser muito fracturada, não se devem usar explosivos pois pode ocorrer instabilidade dos furos carregados.

A utilização dos explosivos pode, e deve, ser alvo de um estudo preliminar com vista à determinação dos objectivos a atingir e das causas resultantes.

Este estudo deve ter em conta o conhecimento das características do maciço, assim como o conhecimento das condições envolventes da obra, como por exemplo se existem estruturas civis nas imediações, e ainda o conhecimento das restrições ambientais existentes.

6.2.1. Segurança na utilização de explosivos

A primeira actividade do processo de desmorte com explosivos é a perfuração da frente, que tem a finalidade de abrir os furos onde irão ser introduzidos os explosivos. Esta operação de perfuração pode ser realizada por equipamentos hidráulicos automatizados denominados Jumbos, ou manualmente, em casos excepcionais (pequeno espaço de operação ou poucos furos).

Os Jumbos são equipamentos de perfuração com 2 a 5 braços dotados de martelos perfuradores hidráulicos, que permitem que as operações de furação sejam computadorizadas, efectuando a máquina de forma automática a implantação do plano de fogo para a secção em causa. [31]



Figura 52 – Jumbo de três braços [31].

As ferramentas de perfuração são brocas, e são escolhidas em função da dureza da rocha, podendo actuar em rotação e/ou à percussão.

Durante a perfuração dos furos, não deve estar ninguém na zona de acção da máquina, para evitar acidentes como atropelamentos, esmagamentos devido à queda de materiais ou inalação de poeiras provenientes da rocha perfurada.

No caso de os furos serem feitos manualmente, os operários devem estar devidamente equipados com equipamentos de protecção individual, como por exemplo, botas, máscaras, e capacete.

Após a perfuração dos furos, processa-se o carregamento dos mesmos com as cargas explosivas (Figura 53).

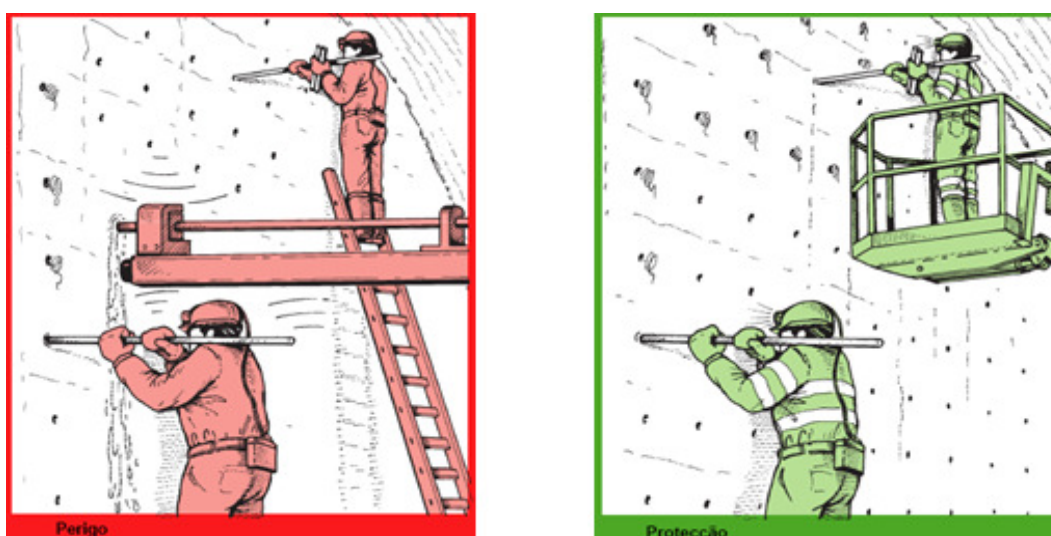


Figura 53 – Carregamento dos furos com explosivos em perigo (à esquerda) e em segurança (à direita) [23].

Esta operação deve ser executada só após todos os furos estarem feitos, e no caso de o carregamento ser em locais de difícil acesso, este deve ser feito através de plataformas e nunca de escadas (Figura 53). Debaxo da plataforma não devem circular pessoas, pois a plataforma pode baixar havendo o perigo de entalamento ou de esmagamento.

A operação de carregamento dos furos com as cargas explosivas, deve ser executada por profissionais devidamente habilitados para tal.

Depois de executado o carregamento dos furos, passa-se à detonação dos explosivos (Figura 54).

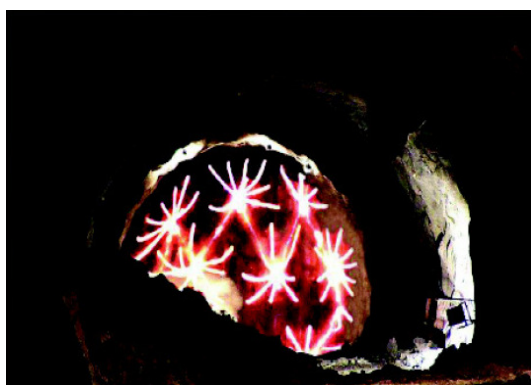


Figura 54 – Detonação de explosivos [31].

Antes da detonação a ventilação deve ser desligada, e as pessoas devem abrigar-se em locais seguros por causa da projecção de blocos e partículas, e dos gases tóxicos e das poeiras emitidos após a detonação (Figura 55).

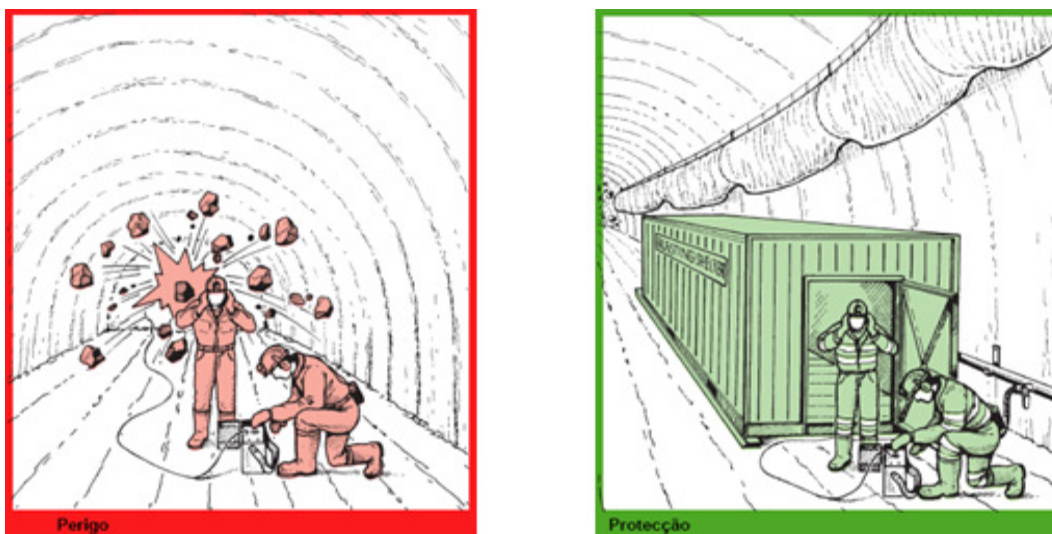


Figura 55 – Detonação de explosivos em perigo (à esq.) e em segurança (à direita) [23].

Num diagrama de fogo usual, a sequência de detonação segue a seguinte ordem: caldeira, alargamento, soleira (sapateira) e contorno (Figura 56).

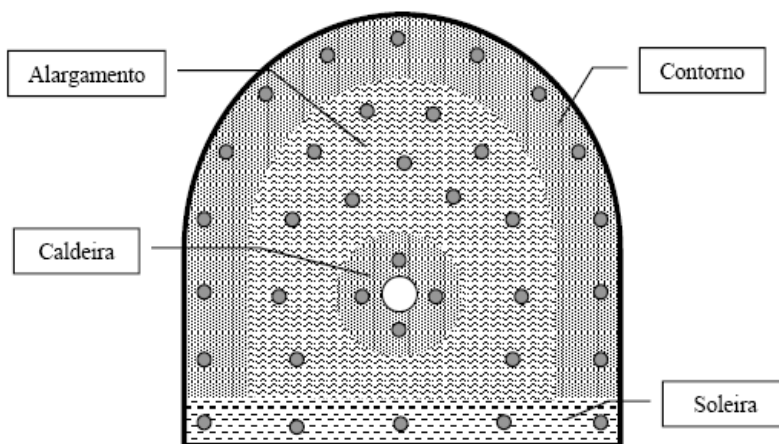


Figura 56 – Zonas de um diagrama de fogo tipo [4].

A ordem de disparo referida pode ser alterada mediante os objectivos a atingir, existindo diagramas de fogo onde os primeiros furos a detonar são os de contorno. Esta técnica, denominada de pré-corte, tende a minorar os efeitos prejudiciais ao maciço, criando uma superfície de descontinuidade por onde não se transmitem as vibrações provenientes das outras sequências de disparo. [4]

Após a detonação, deve ligar-se a ventilação no máximo, de forma a tornar o ar respirável na frente de escavação.

Só depois de serem efectuados testes à atmosfera do túnel, e se verificar que o ar já não está poluído por gases nem poeiras, é que é dada autorização de entrada no mesmo. Estes testes devem ser executados por profissionais com habilitações para esse tipo de trabalho.

Depois de ser dada autorização para entrar no túnel, e de as pessoas responsáveis verificarem a inexistência de explosivos não detonados, passa-se à última fase da operação do desmonte, que é a remoção dos escombros produzidos pela explosão. Para tal podem ser usadas retroescavadoras que fazem o transporte dos escombros para camiões.

Nesta actividade deve haver o cuidado de não existirem pessoas no raio de acção das máquinas e da circulação das mesmas ser feita pelos locais devidos, de modo a evitar atropelamentos, esmagamentos ou entalamentos.

6.2.2. Danos causados ao maciço

A finalidade da utilização de explosivos é a fracturação da rocha compacta, de forma a facilitar a sua extracção. O maciço rochoso é, desta forma, desagregado pela energia do explosivo, resultando num conjunto de escombros, que são posteriormente removidos.

Como foi já referido, existem inevitáveis efeitos secundários sobre o maciço remanescente, provocados pela energia libertada, como por exemplo fenómenos de sobreescavação e sobrefracturação.

A sobreescavação, que é o efeito do arranque de rocha fora dos limites definidos para a abertura do túnel, apesar de não afectar a obra em termos de segurança, tem outro tipo de consequências como maiores custos na remoção dos escombros e em betão para enchimento dos espaços que ficaram abertos.

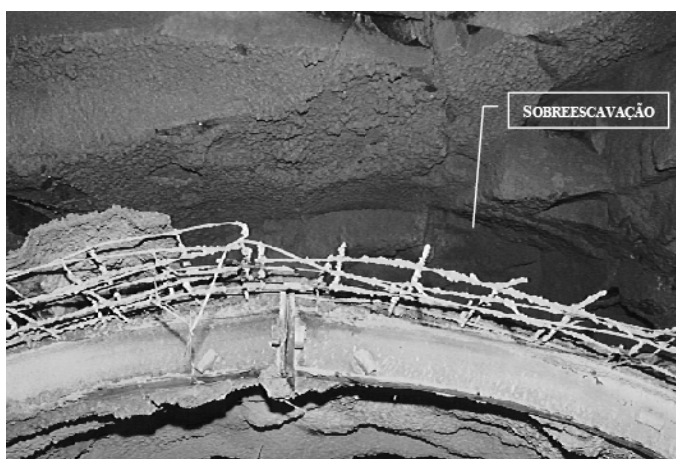


Figura 57 – Sobreescavação.

Relativamente à sobrefracturação induzida ao maciço, já tem efeitos sobre as condições de segurança no túnel, pois aumenta o perigo de queda de blocos (Figura 58) podendo provocar esmagamentos ou soterramentos, e também origina um aumento da permeabilidade do maciço, provocando maior afluência de água para o interior do túnel, podendo provocar acidentes como choques eléctricos, no caso de existirem cabos ou aparelhos que tenham necessidade de energia eléctrica.

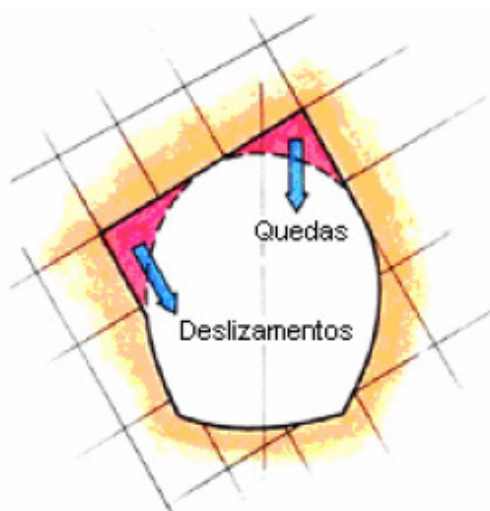


Figura 58 – Queda de blocos e deslizamentos.

Este fenómeno origina também um aumento de custos para a obra, pois têm que se tomar medidas para prevenir os acidentes referidos, medidas essas que são o sustimento do maciço, logo mais custos em suportes, e a remoção da água, logo maior dispêndio em bombagem.

6.2.3. Segurança no transporte e armazenamento de explosivos

As principais causas de acidentes com explosivos são: explosões prematuras, explosões retardadas, tiros falhados e restos de tiros com explosivos, bem como as acções tóxicas ou asfixiantes dos gases das explosões, manuseamento das cápsulas detonadoras e fenómenos relacionados com os disparos eléctricos. [4]

Como tal todo o processo que envolve cargas explosivas deve ser acompanhado por pessoas responsáveis e habilitadas para o manuseamento das referidas cargas.

Antes de todo o processo de utilização de explosivos, que já foi descrito num ponto anterior, estes têm que ser transportados e armazenados.

Também este processo de transporte e armazenamento deve ser acompanhado por uma pessoa responsável e deve obedecer a algumas regras para que não ocorram situações indesejáveis.

Assim, os explosivos devem ser transportados devidamente acondicionados e sempre por tipos de explosivos, ou seja, não se devem misturar explosivos diferentes. O veículo de transporte deve ser apropriado para tal e deve estar

sempre bem sinalizado, e nunca em caso algum se deve transportar no mesmo veículo, explosivos e detonadores.

Em relação ao armazenamento dos explosivos as regras são muito semelhantes às regras de transporte, ou seja, o armazenamento deve ser feito por tipos de explosivo, e estes devem ficar bem acondicionados. Nunca se deve armazenar os explosivos no mesmo local dos detonadores, e o local de armazenamento deve estar bem isolado e sinalizado com sinais visuais e sonoros que não se confundam com outros sinais de emergência, tais como ambulâncias, polícia, bombeiros, etc.

As detonações acidentais constituem um elevado risco, devendo-se adoptar uma postura inflexível no que respeita à conduta e normas de segurança.

Por vezes, os explosivos são tratados como materiais que não apresentam qualquer tipo de risco, quando a realidade é precisamente ao contrário.

Deve haver então o pulso forte das pessoas que são responsáveis pelas cargas explosivas em seguir e fazer cumprir as normas de segurança inerentes à correcta utilização e armazenamento de matérias explosivas.

7. Métodos de suporte primário e de revestimento

A construção de uma obra subterrânea provoca uma alteração no estado de tensão pré-existente no maciço, gerando a necessidade de instalação de sistemas de suporte que garantam a estabilidade do túnel.

Quando a construção de túneis se processa em maciços terrosos, torna-se inevitável o uso de suportes para a estabilização dos mesmos, pois os solos não têm capacidade para se auto-suportarem, mas quando a escavação se faz em maciços rochosos, a situação já é diferente.

Nestas situações, utiliza-se a rocha como material estrutural resistente, pois no seu estado natural, quando sujeitas a acções de compressão, a maioria das rochas duras são bastante mais resistentes que o betão e algumas são mesmo tão resistentes como o aço. [4]

Assim, não faz sentido substituir a rocha por outro material que não lhe é superior, devendo-se evitar deteriorar o maciço no decorrer da escavação, de forma a aplicar o mínimo de elementos artificiais de sustimento.

Contudo, nem todos os maciços rochosos têm capacidade para se auto-suportar, ficando instáveis aquando da abertura de uma cavidade subterrânea. Existem então várias fontes de instabilidade que ocorrem numa cavidade subterrânea.

Uma dessas fontes é a ocorrência de condições adversas em termos de geologia estrutural. Neste caso as causas de instabilidade referem-se à presença de falhas e descontinuidades nas rochas que, devido às suas diferentes direcções, podem formar blocos de rocha individuais que podem provocar o colapso da frente de trabalho ou das paredes do túnel. A fracturação da rocha também pode provocar este tipo de acidentes. Nestas situações, as condições de estabilidade podem ser melhoradas através da reorientação do traçado do túnel, bem como pela aplicação de pregagens e ancoragens.

Outro factor de instabilidade, é a ocorrência de tensões excessivas no interior do maciço. Este factor ocorre normalmente em túneis construídos a grandes profundidades. Uma forma de atenuar ou eliminar os efeitos provocados, por este factor é o ajustamento da orientação e da forma da secção do túnel de acordo com o estado de tensão existente. Mas em muitos casos esta solução

não é possível, ou então é muito dispendiosa, portanto recorre-se a um reforço substancial do suporte.

Existem também situações, em que as instabilidades são devidas à pressão ou circulação de água no interior dos maciços.

Nestes casos pode haver o perigo de entrada de água para dentro do túnel, ou mesmo o colapso da frente de trabalho ou das paredes do mesmo. A solução para este tipo de problema passa pela drenagem da água do maciço, ou pelo revestimento do túnel de forma a reduzir a pressão.

Nos maciços rochosos brandos, pode ainda ocorrer expansão ou decomposição da rocha por acção da água ou ar.

Nestes casos, as medidas preventivas a adoptar consistem em isolar esses locais através de revestimentos que impeçam a exposição da rocha ao ar e à água.

O suporte requerido por uma escavação depende fundamentalmente dos tipos de maciço em que estão inseridos os túneis.

Assim, os sistemas de suporte e de revestimento a utilizar têm que possuir características de forma e resistência adequadas, para o tipo de maciço existente e para as condições geomecânicas do local. [4]

Na construção civil, estabelece-se a separação entre a função de suporte e a de revestimento.

O **Suporte** assegura a estabilidade da cavidade e a segurança dos homens durante os trabalhos de escavação, e a sua aplicação ocorre imediatamente a seguir à escavação e, preferencialmente, no menor espaço de tempo possível.

O **Revestimento** destina-se a garantir a estabilidade a longo prazo e a estabelecer as condições de serviço da infra-estrutura.

7.1. Suportes primários

Os suportes primários ou simplesmente suportes, são elementos estruturais de entivação e de escoramento da escavação, instalados no acto sequente da escavação, com carácter provisório, e necessários à estabilização da frente e das paredes da cavidade escavada.

A sua instalação, é uma fase construtiva de extrema importância na execução de um túnel. Em grande parte das obras subterrâneas, o suporte primário permanece instalado por todo o período de vida da obra, uma vez que não é

retirado aquando da instalação do revestimento ou como também é denominado, suporte secundário.

Existem então alguns suportes que podem desempenhar ao mesmo tempo a acção de suporte, e de revestimento.

Por esta razão, em que os suportes têm também a acção de revestimento, as situações em que isso aconteça devem ser previstas, para estes suportes serem então dimensionados para tal efeito.

Ou seja, ao ser assumida a não remoção dos suportes primários, garante-se a sua actividade por todo o período de serviço, facto que deverá ser incorporado no dimensionamento dos revestimentos a aplicar na obra.

Segundo o seu modo de acção, os suportes podem ser classificados de duas maneiras:

- Suporte;
- Confinamento.

A acção de **suporte** traduz-se pelo comportamento dos seus elementos constituintes sob um ponto de vista de resistência deles próprios.

A acção de **confinamento** confere ao terreno capacidade de se auto-suportar ao conferir às paredes da escavação uma pressão radial de confinamento. [30]

Assim, existem vários tipos de suporte que são aplicados de acordo com as características de cada maciço. São eles:

- Cambotas metálicas;
- Aduelas;
- Enfilagens;
- Betão projectado;
- Pregagens e Ancoragens;
- Rede metálica de aço electrossoldado (malhasol).

As **cambotas metálicas**, são elementos metálicos com variadas secções, e que são formadas por várias peças pré-fabricadas, que são normalmente juntas em obra, ficando com a forma do túnel em que vão ser aplicadas. Estes

elementos têm uma acção de suporte, e são muito utilizados em solos e em rochas muito fracturadas.



Figura 59 – Colocação de cambotas metálicas [adaptado de Vuilleumier, François].

As cambotas possuem várias características que as tornam numa boa opção para muitas obras, nomeadamente a facilidade de fabrico, a simplicidade na sua aplicação, as excelentes resistências mecânicas aos esforços de tracção e de compressão, entre outras. Porém o facto de serem elementos metálicos, necessitam de tratamentos anti-corrosão, o que aumenta os custos associados a este tipo de suporte.

Na sua aplicação existem vários riscos, como por exemplo quedas em altura ou esmagamento. Como tal, devem utilizar-se máquinas com cestos de trabalho para a sua colocação, nunca deve estar nenhum trabalhador na zona de perigo, ou seja debaixo da cambota que está a ser colocada ou nas suas imediações, e o local de trabalho deve estar bem iluminado, de modo a os trabalhadores terem uma boa visibilidade (Figura 59).

As **aduelas** são peças pré-fabricadas que podem ser de ferro fundido ou de betão. Assim como as cambotas, estas também têm uma acção de suporte. São normalmente colocadas por intermédio da tuneladora, que possui um sistema precisamente para este efeito.



Figura 60 – Colocação de aduelas.

Este método de suporte é muito eficiente em maciços terrosos ou em maciços rochosos muito fracturados.

Para a sua fixação devem ser usadas plataformas, para não haver o perigo de queda, e a zona de trabalho deve estar desimpedida, de modo a não existir o risco de esmagamento. Aquando da sua colocação, o trabalhador que a está a orientar, deve manter o contacto visual com o manobrador do braço que coloca a aduela (Figura 61). [23]

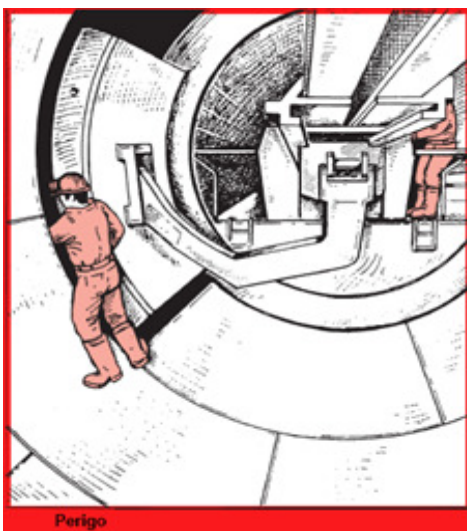


Figura 61 – Colocação de aduelas em perigo (à esq.) e em segurança (à direita) [23].

O local de trabalho deve estar sempre com boa visibilidade, para não haver o perigo de o suporte ficar mal colocado, e sujeito a cair.

As **enfilagens** são elementos metálicos que têm função de pré-suporte, pois são colocadas antes da escavação da zona em vão ser aplicadas, de forma a estabilização das frentes.



Figura 62 – Colocação de enfilagens [30].

São normalmente usadas em maciços terrosos com pouca coesão, ou em maciços rochosos muito fracturados ou brandos, conferindo assim um reforço à capacidade resistente dos mesmos.

A sua aplicação evita assentamentos de terreno e também o colapso da frente de trabalho, reduzindo assim o risco de soterramento e de esmagamento, e é feita por intermédio de uma máquina própria para esse efeito.

A máquina deve ser manobrada por um profissional experiente, e não deve estar nenhum trabalhador no raio de acção da máquina, de forma a evitar atropelamentos (Figura 62).

O **betão projectado**, é o suporte mais usado na construção de túneis, e tem uma acção de confinamento.

A aplicação de sucessivas camadas de betão projectado, associadas à rede metálica, é uma metodologia favorável no controlo das convergências em túneis. [4]

Este suporte desempenha um papel muito importante na sustentação a curto prazo da frente de trabalho, pois possui uma grande resistência nas primeiras horas de aplicação.

Devido às suas características, como a elevada resistência para suportar o terreno e as suas tensões, o betão projectado funciona também como revestimento definitivo.

A sua aplicação exige determinados cuidados de forma a evitar acidentes. Caso a sua aplicação seja manual, quando necessário, devem utilizar-se cestos de trabalho, para evitar quedas em altura, e o trabalhador que o esteja a aplicar deve ter qualificações e experiência para tal. Este deve usar vestuário de protecção, e capacete com viseira para o caso de haver projecção de fragmentos ou partículas de betão como é frequente acontecer (Figura 63). Para minimizar este efeito, e também para não haver muito desperdício de betão, a projecção deve ser feita com a mangueira o mais possível que seja na direcção perpendicular à parede, e bem presa entre as pernas do trabalhador (Figura 63). Este deve também estar equipado com máscara, devido aos produtos químicos existentes no betão.



Figura 63 – Projecção manual de betão [30].

Na situação mais corrente, em a projecção é feita mecanicamente, através de uma máquina com um braço, em que a mangueira está presa na extremidade deste, também o manobrador do braço mecânico deve estar devidamente equipado com vestuário, capacete com viseira e máscara (Figura 64). O manobrador não deve estar na zona de acção do braço e da projecção, pois a

mangueira pode rebentar, pode haver o risco de esmagamento, e também existe o risco da projecção de partículas.



Figura 64 – Projecção mecânica de betão [30].

Em ambos os casos, deve ser usado um aditivo ao betão, de forma a reduzir as poeiras, e conseqüentemente a poluição da atmosfera envolvente.

Os sustimentos por **pregagens** e por **ancoragens** diferem entre si, fundamentalmente, pela dimensão do maciço a sustentar.

As pregagens são constituídas por simples varões de aço ancorados nos maciços por injeção de selagem ou por intermédio de dispositivos mecânicos de expansão, que possuem uma rosca e uma placa metálica na sua extremidade através da qual se efectua o seu aperto.

Estas têm um carácter passivo, ou seja, os esforços que sobre elas actuam dependem do comportamento do terreno onde estão instaladas.



Figura 65 – Colocação de pregagens [37].

A utilização de pregagens em rocha, tem como finalidade suportar blocos esporádicos que se encontrem instáveis, tendo assim uma função pontual.

Assim, no mesmo maciço, podem existir zonas com poucas pregagens e zonas com elevada densidade destes elementos.

Relativamente às ancoragens, estas são constituídas por armaduras de pré-esforço seladas nos terrenos por injeção e colocadas em tensão logo após a sua construção, tendo assim um carácter activo, ao contrário das pregagens.

As ancoragens destinam-se a fornecer ao maciço uma acção de confinamento que permite aproveitar as suas características próprias de sustentação.

Estas constituem um suporte com aplicação igualmente de elementos pontuais, que actuam globalmente, possuindo todavia uma acção que envolve toda a periferia da escavação. [4]

Os cuidados a ter na construção de pregagens e de ancoragens são idênticos, uma vez que o seu método de execução também é idêntico. Deve então usar-se uma máquina com cestos de trabalho, de modo a evitar quedas em altura (Figura 66).

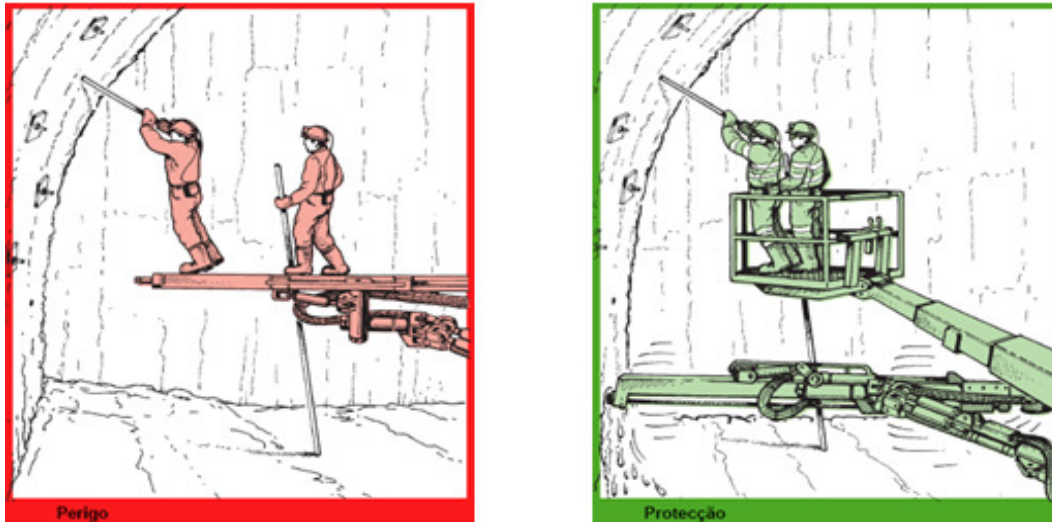


Figura 66 – Aplicação de pregagens em perigo (à esq.) e em segurança (à direita) [23].

Os trabalhadores devem usar protecções auditivas e visuais, além do capacete, devido ao ruído na abertura do furo em que se vão colocar os varões de aço, e devido à projecção de fragmentos nesta mesma operação.

Durante estas acções, os trabalhadores não devem estar no raio de acção da máquina, para não haver o risco de atropelamentos e esmagamentos.

Apesar das suas diferenças, ambos os métodos de suporte, têm como função estabilizar e reforçar os maciços, para que estes se consigam suportar aquando de construção dos túneis, podendo mesmo por vezes, terem durabilidade permanente, ou seja asseguram a estabilidade da obra durante a sua vida útil.

A **rede metálica de aço electrossoldado**, é frequentemente utilizada como suporte de túneis, e aplica-se normalmente em conjunto com as cambotas metálicas ou com as pregagens (Figura 67). A sua utilização é um método de suporte aconselhável em maciços com fracturação significativa.

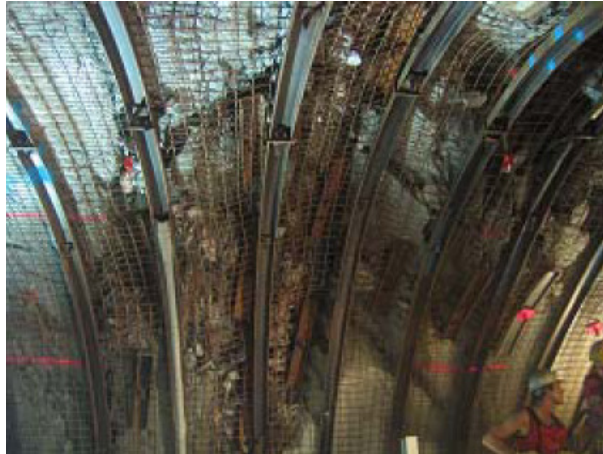


Figura 67 – Rede metálica (malhasol) com cambotas.

Para a sua colocação, devem usar-se máquinas com cestos, para evitar quedas em altura, e a zona de trabalho deve estar bem iluminada e desimpedida de trabalhadores, para evitar esmagamentos (Figura 68).

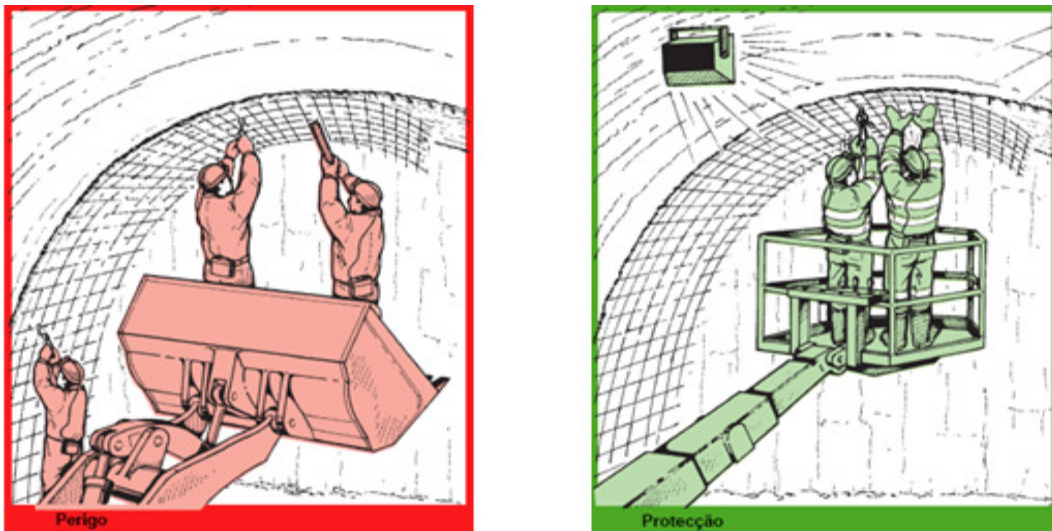


Figura 68 – Colocação de malhasol em perigo (à esq.) e em segurança (à direita) [23].

7.2. Revestimento definitivo

O revestimento definitivo, ou suporte secundário, como também é chamado, é o elemento estrutural que vai dar o aspecto final à obra. Este é normalmente uma estrutura de aço, ou de betão que envolve todas as paredes e tecto do túnel.

O revestimento tem como principais objectivos: assegurar a estabilidade do túnel a longo prazo, conferindo-lhe capacidade resistente; a impermeabilização das paredes do túnel, de modo a impedir o fluxo de água para o seu interior; a

estética do túnel, ou seja, dar ao túnel um aspecto regular e uniforme de acabamento final. [4]

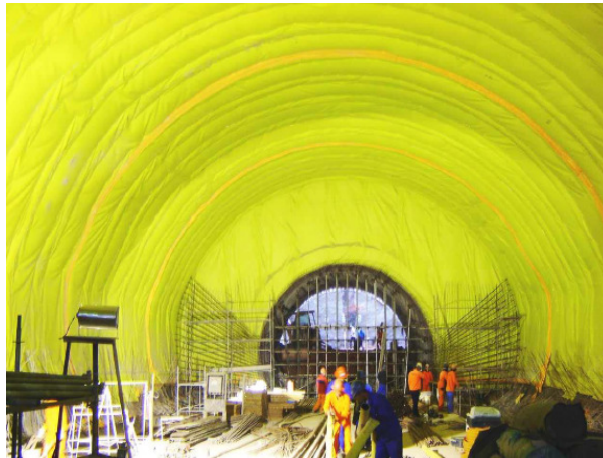


Figura 69 – Sistema de impermeabilização.

Tendo isto em conta, existem vários métodos de revestimento, sendo alguns já conhecidos, pois têm características de revestimento, mas também de suporte, como por exemplo as aduelas pré-fabricadas e o betão projectado e as ancoragens. Mas em muitos casos é mesmo necessário betonar as paredes e tectos do túnel, aplicando também armadura. Neste último caso, usam-se cofragens deslizantes.



Figura 70 – Sistema de cofragens deslizantes [21].

As aduelas como já foi referido, são mais usadas quando se utilizam tuneladoras, pois estas têm um sistema próprio para a sua colocação.

Estes métodos têm função resistente, contudo, o revestimento também pode ter uma função meramente estética, como já foi referido, para tal podem usar-se chapas metálicas ou de betão para uniformizar as paredes.

Os cuidados a ter na aplicação do revestimento por meio de aduelas, são os já referidos anteriormente, assim como os cuidados a ter na aplicação de betão projectado e das ancoragens. Em relação à betonagem, primeiro deve ser colocada a armadura, para isso devem usar-se plataformas de trabalho para não haver o risco de queda em altura, e o trabalhador que está a executar este trabalho deve estar devidamente equipado com capacete, luvas e botas. A zona de trabalho deve estar bem iluminada, e debaixo das plataformas não devem circular pessoas.



Figura 71 – Aplicação de armadura [21].

Após a colocação da armadura, coloca-se a cofragem. Esta deve ser colocada por pessoas indicadas para esse tipo de trabalho, e devem ficar bem apoiadas, para não caírem e provocarem esmagamentos. A betonagem deve ser feita por trabalhadores com os devidos equipamentos de protecção individual, como por exemplo botas, capacete e máscaras devido aos químicos do betão.

Na colocação das chapas metálicas ou de betão, devem também ser usadas plataformas de trabalho para não haver quedas em altura, e a zona debaixo destas deve estar desimpedida, para não ocorrerem esmagamentos.

Pode-se então dizer que o revestimento definitivo pode ter uma função puramente estética, como essencialmente resistente.

Seja como for, o factor tempo deve ter-se em conta, pois com o passar dos anos, o suporte primário pode ficar deteriorado, através da acção da água e da humidade, que pode levar à corrosão do aço e à degradação do betão.

Também a perspectiva de novas construções nas imediações, tanto subterrâneas como superficiais, pode alterar o estado de tensão pré-determinado, tornando inadequado o sistema global de suporte. [4]

Todos estes factores devem ser estudados e tidos em conta antecipadamente, de forma a tornar o sistema de suporte adequado, e de modo que este proporcione as condições de segurança necessárias à construção da obra e também ao resto da sua vida útil.

8. Considerações finais

Como foi referido diversas vezes ao longo deste trabalho, a construção de túneis é uma actividade perigosa e que envolve vários riscos.

Os conceitos apresentados neste trabalho, destacam a aplicação de várias regras de segurança e métodos de prevenção, nas diversas actividades ligadas à construção de túneis.

A execução de um túnel, engloba um vasto conjunto de conhecimentos, exigindo a participação de peritos em várias especialidades, como por exemplo em Geologia, em Mecânica dos Solos e de Rochas, em Obras Subterrâneas, entre outros.

A interligação entre as fases de projecto e de execução de obras subterrâneas é de extrema importância. É imperativo fazer um reconhecimento geológico e geotécnico dos terrenos em que a obra subterrânea vai ser construída, pois são extremamente benéficos para o desenrolar da obra, podendo evitar graves acidentes.

De facto, a prospecção, a escavação, e a aplicação de suportes, são algumas das actividades que não se devem resumir a uma execução independente e isolada mas, antes de mais, devem influenciar-se entre si, para que a obra decorra sem acidentes e nas melhores condições de segurança possíveis.

Há que respeitar todas as regras de segurança, desde os equipamentos de protecção individual e colectivos até à sinalização, de modo a reduzir ou mesmo eliminar o risco de acidentes.

Também as máquinas envolvidas nos trabalhos de construção de túneis exigem cuidados que devem ser tidos em conta, assim como a utilização de explosivos, que se não forem tomadas as devidas precauções podem provocar resultados catastróficos.

É fundamental reduzir os acidentes, não só na construção de túneis, mas também em todas as outras obras de Engenharia, para demonstrar, à custa da ausência prolongada de fatalidades, que o grau de conhecimento das regras de segurança permite a execução segura, de obras para as populações.

9. Referências bibliográficas

- [1] Agência Europeia para a Segurança e a Saúde no Trabalho – *“Prevenção de Acidentes no Sector da Construção”*, Março 2001.
- [2] ALVAREZ, Laureano Cornejo – *“Excavacion Mecanica de Tuneles”*, Editorial Rueda, Alcorcon 1988.
- [3] Associação Empresarial de Portugal – *“Manual de Formação: Higiene e Segurança no Trabalho”*, Programa Formação PME.
- [4] BASTOS, Mário José Nascimento – *“A geotecnia na concepção, projecto e execução de túneis em maciços rochosos”*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Junho de 1998.
- [5] BENITE, Anderson Glauco – *“Sistema de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho para Empresas Construtoras”*, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo 2004.
- [6] BILGIN, Nuh; BALCI, Cemal – *“Performance Prediction of Mechanical Excavators in Tunnels”*, ITA/AITES – Training Course: Tunnel Engineering, Istanbul 2005.
- [7] BRASIL, Luiz Augusto Damasceno – *“Dicas de Prevenção de Acidentes e Doenças no Trabalho”*, SESI – SEBRAE: Saúde e Segurança no Trabalho, Brasília 2005.
- [8] CABRAL, Fernando; VEIGA, Rui – *“Higiene, Segurança, Saúde e Prevenção de Acidentes de Trabalho”*, Unidade 8 – Higiene do Trabalho, Verlag Dashofer - Edições Profissionais, Lda, Lisboa 2001.
- [9] CAPUTO, Homero Pinto – *“Mecânica dos Solos e suas Aplicações”*, 6ª Edição, Volume 1, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro 1988.

[10] CARVALHO, Natália – *“EPI - Equipamentos de Protecção Individual”*, SHST.

[11] CECW-ED; CECW-EG – *“Engineering and Design: Tunnels and Shafts in Rock”*, Department of the Army – U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 1997.

[12] COSTA E SILVA, M. Matilde – *“Critérios para a Caracterização Geotécnica de Maciços Rochosos para Obras Subterrâneas”*, Congresso de Engenheiros, Ordem dos Engenheiros, Vidago em 2001.

[13] CUSTÓDIO, Dorival; ANDRADE, Luis; GUSMÃO, Francisco de Almeida – *“Recomendação Técnica de Procedimentos: Escavações, Fundações e Desmonte de Rochas”*, FUNDACENTRO, 2002.

[14] DAVIES, V. J.; TOMASIN, K. – *“Construction Safety Handbook”*, Thomas Telford, London 1996.

[15] DINIS DA GAMA, Carlos; BARROSO, Fernando – *“Caracterização de Vibrações Devidas à Tuneladora na Escavação do Lote Alameda-Saldanha do Metro de Lisboa”*, Centro de Geotecnia, IST, Lisboa 2005.

[16] FERREIRA, Paulo; GOMEZ, José – *“Construção de Túneis em Segurança para Terceiros”*.

[17] FILHO, Antonino Rangel – *“Engenharia de Segurança do Trabalho na Indústria da Construção – Acessos Temporários de Madeira; Medidas de Protecção Contra Quedas em Altura; Instalações Elétricas Temporárias em Canteiros de Obras”*, FUNDACENTRO, 2001.

[18] FLAMBÓ, Aníbal Alves – *“Segurança em andaimes”*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa 2002.

[19] Folhas da cadeira de Higiene e Segurança no Trabalho, ISEL.

[20] FONSECA, Alberto; FERRAZ, Iris; ALBA, Francisco – *“Higiene e Segurança no Trabalho”*, Ficha Técnica PRONACI, Setembro 2002.

[21] GONÇALVES, Eng^o Pedro Pereira – *“As Vantagens na Construção de um Túnel Duplo”*, CPT 2008

[22] GUILART, Moustafa Hamze – *“Metodologia para a Interpretação do Monitoramento de Escavações Subterrâneas”*, Tese de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo 2007.

[23] ITA Working Group Health and Safety – *“Segurança no Trabalho em Túneis”*.

[24] JIMENO, Carlos López – *“Ingeo Túneles – Libro 1”*, Serie Ingeniería de Túneles, Ed. C.L. Jimeno, Entorno Gráfico, Madrid 1998.

[25] JIMENO, Carlos López – *“Ingeo Túneles – Libro 2”*, Serie Ingeniería de Túneles, Ed. C.L. Jimeno, Entorno Gráfico, Madrid 1999.

[26] JORDÃO, António José; MOREIRA, Jorge Frazão – *“Equipamentos de Protecção Individual a Utilizar na Manipulação e Aplicação de Produtos Fitofarmacêuticos”*, 2006.

[27] JUSTO, João Lourenço – *“Obras Subterrâneas: Impermeabilização e drenagem associadas”*, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa 2004.

[28] MEIRELES, Alfredo Bessa; MARTINS, João Guerra – *“Fundações e Contenção Lateral de Solos”*, Universidade Fernando Pessoa, Porto 2006.

[29] MELÂNEO, Frederico – *“Capítulo 2 – Reconhecimento Geológico e Geotécnico”*, Apontamentos da Unidade Curricular de Obras Subterrâneas, Ano Lectivo 2008/2009, ISEL, Lisboa 2008.

[30] MELÂNEO, Frederico – *“Capítulo 7 – Suportes”*, Apontamentos da Unidade Curricular de Obras Subterrâneas, Ano Lectivo 2008/2009, ISEL, Lisboa 2008.

[31] MELÂNEO, Frederico – *“Capítulo 8 – Métodos de Escavação”*, Apontamentos da Unidade Curricular de Obras Subterrâneas, Ano Lectivo 2008/2009, ISEL, Lisboa 2008.

[32] MIGUEL, Alberto Sérgio S. R. – *“Manual de Higiene e Segurança no Trabalho”*, Porto Editora, Porto 2004.

[33] NETO, Edmundo Talamini – *“Caracterização Geotécnica do Subsolo de Curitiba para o Planeamento de Ocupação do Espaço Subterrâneo”*, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos 2001.

[34] ROGGENBUK, Klaus Wenzel – *“Túneles y Obras Subterráneas: Sistemas Constructivos en Tuneles y Obras Subterráneas”*, Editores Técnicos Asociados, Barcelona 1972.

[35] TATIYA, Ratan Raj – *“Surface and Underground Excavations: Methods, Techniques and Equipment”*, A.A.Balkema Publishers, Leiden 2005.

[36] UNIVERSIDADE FERNANDO PESSOA – *“Materiais de Construção II: Cap. II - Desmontes e Demolições”*, Universidade Fernando Pessoa, Porto 2008.

[37] VALLEJO, Luis I. González de – *“Ingeniería Geológica”*, Pearson Educación, Madrid 2002.

[38] VIEIRA, Luís – *“Sinalização de segurança no trabalho - Conhecer e cumprir!”*, Instituto para a Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho (ISHST), Lisboa, Março 2006.