

Método de escavação sequencial ou método de escavação por tuneladora – qual o mais seguro?

Manuel Tender¹, João Pedro Couto²

[1] Doutorando, Universidade do Minho

[2] Professor Auxiliar, Universidade do Minho

1. OS MÉTODOS DE ESCAVAÇÃO

Resenha Histórica

A obra no subterrâneo é um tipo de obra executada há vários milénios e com diversos fins, incluindo a habitação, o abastecimento de água ou o refúgio. Na verdade, tudo começou quando os povos pré-históricos necessitaram de alargar o seu espaço de habitação, as cavernas naturais. Ao longo dos anos, este tipo de obra evoluiu gradualmente, tendo recebido um grande impulso quando, já em 1800, o advento da ferrovia obrigou a construir diversos túneis para fazer frente aos obstáculos da topografia, dada a impossibilidade de realizar curvaturas acentuadas ou inclinações relevantes nas linhas e o facto de que seria mais oneroso aumentar o trajeto da linha para os evitar.

Com o passar dos tempos, os desafios e a consequente capacidade de engenharia foram aumentando, possibilitando o evoluir da técnica e o aparecimento de novas abordagens. Nos dias de hoje, são diversas as cidades que se encontram servidas por redes de metro ou linhas de alta velocidade. A tendência mundial é a de um aproveitamento gradual do espaço subterrâneo, devido à redução do espaço disponível e às limitações de construir à superfície – relacionadas com ruído, imagem e vibrações. Uma vez que os túneis idealizados são cada vez mais desafiadores e que a indústria da tuneladora aceita construir esses desafios, a necessidade de baixar o nível de risco associado é premente e, até, impulsionadora de estudos como o presente.

Nos primórdios das escavações, o método de escavação convencional era o único. Com a mecanização dos últimos séculos, surgiram as tuneladoras, mas os métodos de escavação

convencionais mantiveram-se sempre em funcionamento e sempre em aperfeiçoamento.

Em termos de riscos para a segurança e saúde, os que existem em obras subterrâneas são tão ou mais extensos do que os das obras à superfície, havendo que enfrentar, para além dos riscos convencionais, a incerteza do terreno, a variação dos solos, o espaço confinado, os ambientes fisicamente exigentes e o trabalho em ar comprimido. Todos estes fatores tornam a escavação subterrânea num manancial de problemas a investigar e resolver.

Enquadramento

Os métodos construtivos utilizados na escavação de obras subterrâneas, ilustrados na Figura 1, dividem-se em dois grandes grupos: o método de escavação por tuneladora (MET) ou Tunnelling Boring Machine, e os métodos associados à metodologia construtiva convencional (MEC), que incluem a escavação com recurso a explosivos ou meios mecânicos.

Sabendo que cada um dos métodos apresentará particularidades que influenciam as condições de segurança com que se desenvolverão as frentes de trabalho (D. Lamont, 2002), pretende-se saber qual dos métodos apresenta menores níveis de risco, em termos do impacto na segurança e saúde de trabalhadores e terceiros.

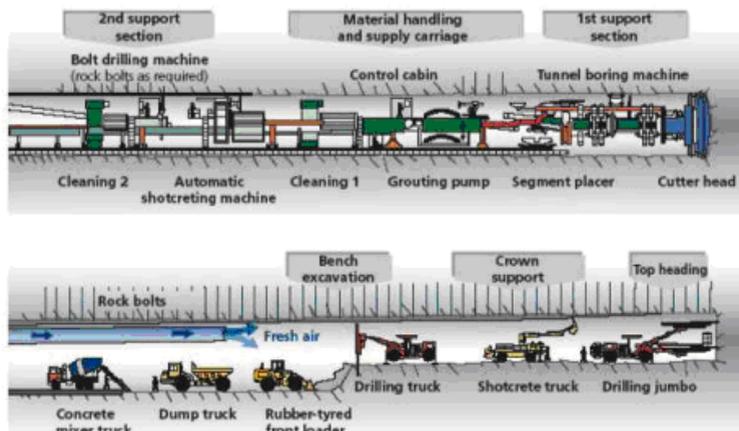


Figura 1- MEC (em cima) e MET (em baixo).

Método de Escavação Sequencial

O Método de Escavação Sequencial tem origem austríaca, entre as décadas de 50 e 60 do séc. XX, sendo que a designação lhe foi atribuída no XIII Colóquio de Geomecânica, em Salzburgo, em 1962 (Stipek, Galler, & Bauer, 2012). Rabcewicz descreve-o, em 1964, da seguinte forma: “*consiste na aplicação de uma fina camada de betão projetado no suporte da escavação, o mais rapidamente possível, de forma a criar um arco auxiliar, sendo a deformação do terreno uma função do tempo até se atingir o equilíbrio.*”

O método envolve as seguintes oito fases:

- 1 – Marcação topográfica de frente de escavação;
- 2, 3 e 4 – Escavação mecânica sequencial do maciço por meios mecânicos (balde, martelo pneumático ou roçadora) ou explosivos (neste caso, com furação através de “Jumbo”). A secção escavada deverá ser tal que o valor das tensões que impedem o auto suporte não seja atingido;
- 5 – Ventilação de galeria, de modo a poder retirar o ar contaminado da atmosfera após a escavação (nomeadamente no caso da escavação ser realizada com recurso a explosivos) e garantir a substituição desse ar por ar puro, com os parâmetros mínimos de respirabilidade;
- 6 – Remoção de produtos de escavação para vazadouro, de modo a libertar espaço para que o saneamento e a projeção de betão possam ser iniciados;
- 7 – Saneamento, mecânico e manual, da escavação, de modo a retirar blocos ou fragmentos de maciço que estejam em posição instável e garantir que o maciço reúne condições de integridade para ser aplicada a primeira camada de betão projetado;
- 8 – Aplicação da primeira camada de betão projetado e dispositivos de estabilização. As deformações do maciço são minimizadas através da aplicação de uma primeira camada de betão, fina e flexível, projetado imediatamente após o avanço da escavação e de modo a permitir o rearranjo das tensões no maciço e minimizar a deformação do mesmo. Se necessário, são também aplicados dispositivos de estabilização: betão projetado, com possível adição

de fibras metálicas, cambotas metálicas, pregagens e enfilagens, que permitam melhorar a resistência do maciço rochoso.

Método de Escavação por Tuneladora

O Método de Tuneladora Automatizada tem origem em Inglaterra, em 1825, quando Marc I. Brunel venceu o desafio de escavar um túnel em terreno brando sob o Rio Tamisa, utilizando um escudo metálico sob o qual a escavação e o revestimento podiam ser feitos em segurança.

Este método é caracterizado pela utilização de máquinas de escavação de secção transversal circular, denominadas tuneladoras, para a realização de todo um conjunto de trabalhos de escavação, suporte e revestimento.

As tuneladoras são atualmente reconhecidas como um importante desenvolvimento da indústria de tunelagem, estando conotadas com uma mudança de paradigma no processo de execução de túneis.

As tuneladoras são constituídas por diversos elementos que realizam, aquando da passagem de equipamento, a escavação e o revestimento final: cabeça rotativa para escavação (com discos de corte que fraturam o maciço através de força de compressão destrutiva, sendo os resíduos de escavação retirados através de aberturas na cabeça de corte); corpo; sistema de transporte de produtos escavados (por ex. correia transportadora); e sistema de montagem de dispositivos de estabilização e braço robotizado de montagem de segmentos pré-fabricados.

2. CRITÉRIOS HABITUAIS PARA A ESCOLHA DO MÉTODO DE ESCAVAÇÃO

A determinação do método mais adequado para a escavação é um dilema antigo (Singh & Zoldy, 2014). Ao longo dos anos, os métodos sofreram avanços tecnológicos que levaram à melhoria das condições de segurança e saúde na sua utilização. No entanto, e apesar de alguns dos riscos terem desaparecido (por exemplo, os associados a utilização de pólvora no MEC), outros surgiram (por exemplo, no MET as elevadas pressões derivadas de escavação em túneis mais profundos). O princípio fundamental na escolha do método é que este deve realizar o túnel economicamente e em

segurança, bem como apresentar um pico de produção nas condições mais favoráveis de escavação, gerindo as piores condições com riscos toleráveis. De referir que, por vezes, mediante um determinado cenário, um dos métodos tem ser excluído à partida, dada a sua desadequação. Por exemplo, se a envolvente de obra inviabilizar a utilização de explosivos, isso obrigará a enveredar pela utilização de uma tuneladora.

Da literatura analisada, verifica-se que diversos critérios são referidos como relevantes para a escolha do método de escavação. Listam-se os que foram identificados como mais importantes:

Secção transversal - A geometria da secção escavada é a primeira grande diferença entre os dois métodos. Enquanto, no MET, a secção é circular e com dimensões fixas (o que cria uma grande limitação à utilização deste método), no MEC, a secção pode ser variável, estando apenas dependente das condições geológicas. O MEC torna-se vantajoso para túneis rodoviários, em que a secção não é circular, mas em que a largura exigida para a escavação é bastante superior à altura. Adicionalmente, em túneis mais largos, pode atacar-se em diversas frentes, porque o espaço disponível para os equipamentos trabalharem é superior.

Caraterísticas do maciço rochoso – as características do maciço rochoso influenciam a escolha do método. Em zonas problemáticas, o MEC apresenta melhores resultados, dada a limitação do MET para lidar com maciços heterogéneos (Singh & Zoldy, 2014). No caso do MET, maciços rochosos fortes são desfavoráveis para penetrações grandes, ao contrário do MEC, que tem maior rendimento neste tipo de maciço, que minimiza aplicação de dispositivos de estabilização.

Custos, comprimento e prazo - Em tunelação, como nas outras áreas, o custo mais vantajoso (embora sendo sempre muito difícil, pelas variáveis em questão, prever o custo de uma obra subterrânea) (Nord, 2006) é um dos principais critérios de escolha. Antes de mais, deve referir-se que o rendimento de cada um dos métodos deve ser equacionado tendo também em conta o tempo necessário para montagem dos equipamentos a utilizar. No caso do MET, este pode ser tanto mais relevante (dado o elevado tempo de fabricação e montagem) quanto menor for o comprimento do túnel. No caso de

túneis de maior comprimento, a demora na mobilização é compensada pela maior velocidade de avanço do MET. Em termos de custos, portanto, os dois métodos apresentam-se como opostos: elevado custo inicial com baixo custo contínuo (com MET) contra um baixo custo inicial e médio custo contínuo (com o MEC). Em termos de frentes de trabalho disponíveis, existem também diferenças: no MEC pode existir uma frente de trabalho por emboquilhamento (ou em pontos intermédios), com duplicação de frentes (e minimização de probabilidade de existir um problema nas duas frentes em simultâneo); no MET, é raro acontecer o mesmo. Diversos autores apontam para números diferentes quanto aos comprimentos para os quais cada um dos métodos é rentável. Juntando estas opiniões quantificadas, podemos chegar à conclusão que, para as mesmas condições de construção, abaixo dos 1000-1600m é mais vantajosa a utilização do MEC e acima dos 3000m-4500m é mais vantajosa a utilização do MET.

Estaleiro necessário - No caso do MET, é necessário um estaleiro com espaço suficiente para proceder a montagem e montagem de peças. Já no MEC não existe essa necessidade. Geralmente, o MET também apresenta a limitação de ser necessário local para armazenamento de aduelas pré-fabricadas. Pode também ser necessário, no caso de solos brandos, locais de montagem de silos de reciclagem de lamas ou para que o escombros húmido retirado da escavação fique a secar.

Equipamentos disponíveis – Os dois métodos possuem filosofias opostas: o MEC é um método com bastante intervenção humana e utilizando muitos equipamentos diferentes (pequenos equipamentos, disponíveis no mercado e prontos a operar após a compra), enquanto o MET é automatizado, com reduzida intervenção humana. Um dos riscos associados à utilização de diversos equipamentos, patente no MEC e inexistente no MET, é o risco de inalação de vapores perigosos, devido à emissão de gases nocivos pelos motores *diesel* de todos os equipamentos utilizados.

Estudo do critério “Segurança e Saúde”

As grandes diferenças entre os métodos tornam difícil realizar uma comparação direta, pois as tarefas, os equipamentos e os materiais envolvidos são bastante diferentes. Todavia, com procedimentos adequados (designadamente o estabelecimento dos mesmos pressupostos, envolvimento e condicionalismos), podem ser aferidas conclusões genéricas (Jodl & Resch, 2011).

Indicam-se abaixo as principais diferenças entre os métodos.

3. RISCOS ASSOCIADOS A ESCAVAÇÃO

Riscos físicos

Ruído - O ruído, problemático no setor da construção em geral, agrava-se na obra subterrânea, pelo facto de se estar em espaço confinado. As principais fontes de ruído variam consoante o método e consoante a fase do ciclo de construção. As fontes de ruído podem ser os equipamentos de furação (quer os jumbos, quer as cabeças de corte de rocha), os ventiladores, os tapetes rolantes e as locomotivas. O ruído gerado por um jumbo durante a furação, no MEC, é mais elevado do que o gerado pela tuneladora, no MET.

Temperaturas elevadas - O aumento da temperatura do ar subterrâneo pode ter origem no funcionamento de equipamentos elétricos ou mecânicos, pela hidratação do betão, ou pelo aumento de profundidade dos túneis.

Pressões elevadas - A tendência atual para os túneis serem escavados mais fundo e com pressões mais altas, pode aumentar o risco de exposição a pressões elevadas. O risco de trabalhos sob pressão encontra-se associado, pela natureza dos métodos, às tuneladoras em modo EPB ou Slurry Shield, devido aos trabalhos de inspeção de face de escavação ou de manutenção necessários.

Riscos químicos e biológicos

Inalação de poeiras - A escavação propicia o aparecimento de poeira mineral, situação que assume especial importância no caso de maciços com elevado teor em quartzo, devido à possível presença de sílica cristalina respirável, potencialmente fatal (Chapman, Metje, & Stark, 2010). No MEC, o processo de remoção de produtos

de escavação é realizado por equipamentos móveis de carga e transporte de terras (pá carregadora, dumpers, camiões ou carris), propícios a libertação de poeiras. No MET, os produtos de escavação passam diretamente da cabeça de corte para tapetes rolantes ou correias transportadoras. Outro tipo de poeiras pode ocorrer: poeiras de betão projetado, criadas aquando do processo de estabilização no MEC, devido à necessidade gradual de obter resistências elevadas o mais rapidamente possível. A utilização de aceleradores de presa que não os “*alkali free*” (que possuem pH adequado a utilização) pode agravar as condições de segurança no transporte, armazenamento e manuseamento, provocando riscos de queimaduras ou danos para os olhos ou pulmões (Höfler, Schlumpf, & Jahn, 2011).

Inalação de gases – Os gases presentes no interior do túnel podem ter diversas proveniências. São elas:

a) Explosivos (exclusivamente MEC): por presença de óxidos de nitrogénio ou carbono (Vogel & Rast, 2001). No caso do ANFO, pode provocar, pela exposição a picos de nitrogénio, uma redução temporária da função pulmonar, situação ausente no caso de emulsões (Furuseth, Meraker, Hansen, Myran, & Brustad, 2013). No entanto, os fumos de emulsões bombadas, embora tendo uma percentagem baixa de fumos tóxicos, podem produzir fumos de amónia na presença de calor, humidade e betão projetado (Vogel & Kunz-Vondracek, 2013).

b) Equipamentos diesel: monóxido ou dióxido de carbono, derivados de combustão interna. Dado que o MEC utiliza diversos equipamentos, torna-se mais propenso a este risco.

c) Gases presentes no maciço rochoso: monóxido de carbono (bolsadas em maciço rochoso); dióxido de carbono (derivado de reações entre água e maciço rochoso); óxidos de nitrogénio (provenientes de explosivos); dióxido de enxofre (comum nas áreas vulcânicas); metano (proveniente de decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos, pode aparecer dissolvido na água).

d) Soldaduras: Propano, butano e acetileno, que são utilizados no corte e soldadura e podem formar misturas explosivas no ar.

Inalação de fumos derivados de incêndio – O fogo pode ter diversas origens: carga térmica (Vogel & Kunz-Vondracek, 2013); cabos de

veículos; diesel; pneus de borracha; lixos; fugas de óleo de equipamentos (Vogel & Kunz-Vondracek, 2013); óleos e gorduras (bastante presentes em tuneladora mecanizada); gás comprimido; soldaduras e cortes (British Standard Institute, 2011). O trabalho em pressão exacerba o risco de incêndio, dado os materiais combustíveis arderem mais facilmente a baixa pressão, dificultando o combate ao fogo.

Contacto com agentes biológicos – a existência de solos ou água contaminados ou a presença de substâncias cáusticas ou irritantes propiciam a contaminação, através de inalação ou ingestão de substâncias prejudiciais. Os trabalhadores ficam expostos a contaminação por cortes ou abrasões, mas também pelo simples esfregar de olhos, com o eventual aparecimento de leptospirose.

Riscos mecânicos

Atropelamento – O espaço confinado do túnel, com visibilidade fraca, cria o risco de colisões entre trabalhadores e equipamentos. A maior parte dos acidentes são relacionados com tráfego e transporte (Vogel & Kunz-Vondracek, 2013). O atropelamento apresenta-se como causador da maior parte dos acidentes fatais em túneis (Vogel & Rast, 2001). Enquanto o MEC é um método com bastante intervenção humana (logo, o risco aumenta, com bastantes trabalhadores expostos a atropelamento (Tender, Couto, & Gomes, 2015)) e que utiliza muitos equipamentos diferentes para remoção de escombros (pá carregadora, giratória, dumpers, camiões), o MET é automatizado, com reduzida intervenção humana, e utiliza um equipamento (tuneladora) de maior dimensão. O risco é agravado pela existência de ângulos mortos, com consequente aparecimento de zonas de visibilidade deficiente, entre equipamentos (de muita inércia, o que dificulta a sua reação) e trabalhadores (D. Lamont, 2002).

Queda de materiais de face de escavação, abóbada ou hastes – O risco de queda de blocos da face de escavação e nas galerias, em zonas de trabalho ou de circulação, pode ocorrer por instabilidade de frente de escavação (após pega de fogo e antes de instalação de suporte primário), suporte inadequado, infiltrações ou elevadas pressões de água, condições geológicas imprevistas, erros técnicos,

de cálculo, ou de gestão; e *rockbursting*. O MEC é especialmente atreito a este risco, pois não existe suporte para a frente de escavação, o que pode levar ao colapso para o interior do túnel, com formação de chaminé. Em termos de posicionamento da zona de colapso, no MEC, o colapso ocorre perto da face e, no MET, a alguma distância da face (Donald Lamont, 2002). No entanto, e comparativamente com o MEC, desde que a tuneladora seja corretamente escolhida e utilizada, a probabilidade de colapso com o MET diminui (D. Lamont, 2002). Para além do colapso da frente de escavação, existe também o risco de instabilidade e queda de blocos nas galerias, situação mais preocupante com o MEC, atendendo a que, com MET, o revestimento é montado simultânea e gradualmente com o avanço da escavação. O *rockbursting*, que consiste numa descompressão violenta do maciço com consequentes danos no revestimento primário e posterior projeção de blocos, é mais provável no MET do que no MEC.

No MEC, para além da queda de blocos no sentido vertical, pode ocorrer a projeção de blocos (*flyrock*) numa direção oblíqua, aquando da pega de fogo, para além da área de segurança. As causas prováveis podem ser a descontinuidade no maciço, um plano de fogo desadequado, a sobrecarga de furos ou o insuficiente atacamento.

Ainda no MEC, pode ocorrer a queda de torrões de betão projetado da abóbada ou dos hasteais, antes do betão projetado para revestimento primário ganhar presa suficiente. Por esta razão, obter atempadamente uma resistência adequada é um elemento chave que, para além de ter influência na produtividade, também o tem na segurança.

Lesões musculoesqueléticas – Em obra subterrânea, o manuseamento repetido de ferramentas ou discos, que são materiais pesados e disformes, tem como consequência frequente lesões musculoesqueléticas. A este facto acresce o ambiente desfavorável (quente e húmido), que pode maximizar problemas (Lamont, 2010). No MET, o revestimento final (montado aquando da passagem de tuneladora) consiste em aduelas pré-fabricadas de difícil instalação, com consequentes riscos de entalamento. O MET apresenta ainda outra atividade onde os riscos associados a movimentação de cargas

predominam: as mudanças de discos na cabeça de escavação. No MEC, o revestimento é colocado faseadamente (betão projetado inicial e, numa fase posterior, que pode ocorrer passado algumas semanas, a impermeabilização, as armaduras e o betão definitivo), o que acarreta riscos diferentes. As quedas e escorregamentos são frequentes, designadamente no MEC, pelo facto de haver blocos soltos no chão ou de existirem locais com acumulação de água ou outros obstáculos de pequena dimensão.

Rolamento / capotamento – Quer no MEC, quer no MET, existe uma grande movimentação de equipamentos de transporte de materiais provenientes da face de escavação para vazadouro, em local afastado do local de escavação. Em meio montanhoso, os equipamentos só podem circular no talude de meia encosta. Isto cria um risco elevado de rolamento de equipamentos para níveis inferiores (muitas vezes, em taludes com altura superior a 40m).

Explosão extemporânea – Este risco está associado ao manuseamento, armazenamento, ou transporte de explosivos, sendo exclusivo (e um dos principais riscos) do MEC. É ainda mais grave quando em zona urbana (dadas as estruturas e infraestruturas existentes junto à superfície). A utilização de alguns explosivos, designadamente o ANFO, traz riscos acrescidos, pela toxicidade dos vapores. Em termos de forma de apresentação do explosivo, o sistema por cartucho envolve riscos associados a falta de fiabilidade durante o carregamento, dado poder ocorrer o encravamento nos furos, aumentando o perigo de não detonação do explosivo devido à falta de contacto com os cartuchos adjacentes. A utilização de detonadores não-elétricos, por sua vez, por lacunas na verificação prévia e inequívoca do funcionamento das ligações e dos detonadores, e pela suscetibilidade a erros associados ao elemento retardador pirotécnico, aumenta os riscos de explosão extemporânea e de projeção de blocos).

Eletrização / eletrocussão – Em termos de infraestruturas, no MEC existe muita energia em pequenas quantidades de tempo, enquanto no MET existe pouca energia continuamente. O MET exige uma rede elétrica mais potente do que o MEC (Skawina, 2013), mas o risco de eletrização pode acentuar-se no MEC, devido à necessidade de massivas instalações provisórias. Em qualquer dos métodos, o

risco de eletrização pode aumentar se houver afluência de água suficiente para alcançar as redes elétricas provisórias.

Riscos psicossociais

Neste setor, assiste-se ao surgimento de novos tipos de contratos de trabalho, a um volume muito elevado de trabalho, com elevado grau de exigência e ritmo acelerado, a equipas subdimensionadas e pressões psicológicas (Tender, 2014). Estes novos fatores, influenciando o dia-a-dia dos trabalhadores, levam ao aparecimento de sintomas físicos e psicológicos, como o stresse. Trata-se do segundo problema de saúde mais frequentemente referido na Europa e crê-se que, juntamente com outros riscos psicossociais, representa mais de metade de todos os dias de trabalho perdidos (Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho, 2015). Num inquérito realizado por um dos autores deste artigo, verificou-se que cerca de 82% dos técnicos consideravam que as obras subterrâneas têm maior propensão do que as obras de construção de edifícios para originar situações de stresse (Tender, 2014).

4. VALORIZAÇÃO DE RISCOS

Na Figura 2, expõem-se os resultados das entrevistas realizadas e da valoração atribuída a cada risco, em termos de ocorrência de acidentes de trabalho e doenças profissionais.

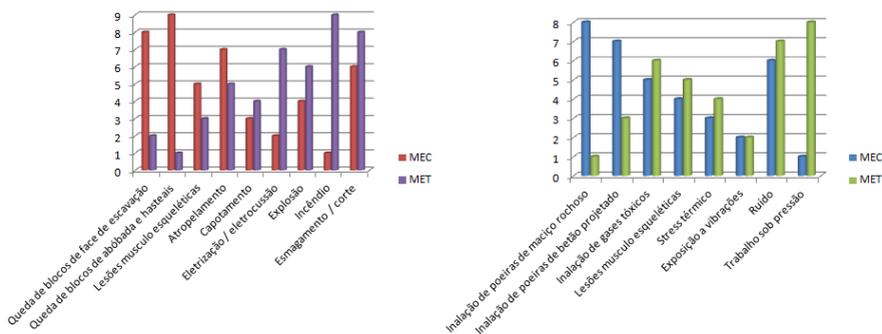


Figura 2- Riscos principais no MEC e MET

Nas escalas de avaliações apresentadas, os valores mais altos correspondem a um nível de risco mais elevado. Este inquérito excluiu os riscos biológicos e psicossociais, face à sua reduzida significância em obras deste cariz.

Em termos de acidentes de trabalho, as avaliações atribuídas não são coincidentes nos dois métodos. No caso do MEC, as principais causas identificadas são a queda de blocos de abóbada e hasteais, o atropelamento e o esmagamento/corte. No caso do MET, são o incêndio, a eletrização/eletrocussão e o esmagamento/corte.

Em termos de doenças profissionais, as principais causas identificadas são a inalação de poeiras de maciço rochoso (quase inexistente no MET), a inalação de poeiras de betão projetado e o ruído (para o MEC), e as diferenças de pressão (quase inexistente no MEC) e o ruído (para o MET).

5. CONCLUSÕES

Verifica-se que a obra subterrânea possui riscos adicionais aos existentes na construção tradicional.

Em termos do critério “Segurança e Saúde”, verifica-se que este é geralmente subvalorizado face aos restantes critérios. No entanto, concluiu-se que esta pode não ser a opção mais correta face ao impacto produtivo e logístico e financeiro de um acidente de trabalho grave ou mortal.

Os riscos analisados variam significativamente, em tipo e nível, consoante o método em utilização. No MEC, constata-se que os riscos de queda de blocos, atropelamento, esmagamento e inalação de poeiras se encontram diretamente associados ao facto de o método utilizar bastante mão-de-obra e bastantes equipamentos em simultâneo. No MET, constata-se também que os riscos de incêndio, eletrização, trabalho em pressão e ruído se associam à utilização de um equipamento automatizado, com bastantes infraestruturas elétricas.

A fase posterior deste estudo envolverá a quantificação de nível de riscos, utilizando um método específico para o efeito.

REFERÊNCIAS

- Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho. *Campanha "Locais de Trabalho Seguros e Saudáveis"*. Acedido em 03/02/2015 em <https://osha.europa.eu/pt/campaigns>.
- British Standard Institute (2011). *British Standard 6164:2011 - Code of practice for health and safety in tunnelling in the construction industry*. Londres.
- Chapman, D., Metje, N., Stark, A. (2010). *Introduction to Tunnel Construction*. Spon Architecture Price Book. Londres.
- Furuseth, K. (2013). *Recent studies of health effects in tunnel construction work in Norway*. Norwegian Tunneling Society.
- Jodl, H., Resch, D. (2011). NATM and TBM – comparison with regard to construction operation. *Geomechanics and Tunnelling*, 4), pg. 337-345.
- Höfler, J., Schlumpf, J., Jahn, M. (2011). *Sika Sprayed Concrete Handbook*. SIKA.
- Lamont, D. (2002). Health and Safety in Tunnel Construction - Keynote Lecture. Comunicação apresentada em *World Tunnelling Congress*. Sidney.
- Lamont, D. (2010). *Occupational Health and Welfare in Tunneling*. Comunicação apresentada em *British Tunneling Society YM*.
- Nord, G. (2006). TBM versus Drill and Blast, the choice of tunneling method. Comunicação apresentada em *International Conference and Exhibition on Tunnelling and Trenchless Technology*. Subang.
- Rast, H. (2003). *Prophylaxie médicale lors des travaux souterrains en ambiance chaude et humide*. SUVA Pro. Suíça.
- Singh, P., Zoldy, D. (2014). Drilling dilemmas. *Tunnels and Tunneling*. Outubro, pg. 46-51.
- Skawina, B. (2013). *Comparison of mechanical excavation and drilling*. MSc Thesis in Civil Engineering. Luleå University of Technology.
- Stipek, W., Galler, R., Bauer, M. (2012). *50 years of NATM-experience reports*. Austria.

Tender, M. (2014). *Guide for work accidents and health diseases prevention in tunneling with NATM*. Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP. Porto.

Tender, M., Couto, J., Gomes, A. (2015). Portuguese strengths and fragilities on Safety and Health practices. Comunicação apresentada em *Promoting Tunneling in SEE Region - International Tunneling Association World Tunneling Congress*. Hubitg. Dubrovnik

Vogel, M., Rast, H. (2001). Alptransit-Safety in Construction as a challenge. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 15, (4), pg. 481-484.

Vogel, M., Kunz-Vondracek, I. (2013). *Safety and health in long deep tunneling-lessons learned in Swiss transalpine tunnel projects*. Comunicação apresentada em *World Tunnel Congress* . Genebra.