

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST

ENGENHARIA CIVIL

FERNANDO PASSOS DUARTE

NATM VS TBM:

COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS CONTRUTIVOS DE TÚNEIS

LAGES

2020

FERNANDO PASSOS DUARTE

**NATM VS TBM:
COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS CONTRUTIVOS DE TÚNEIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Aldori Batista dos Anjos

LAGES

2020

FERNANDO PASSOS DUARTE

NATM VS TBM:
COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS CONTRUTIVOS DE TÚNEIS

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Aldori Batista dos Anjos

Lages, SC, ___/___/2020. Nota _____
Orientador

Prof. Me. Aldori Batista dos Anjos (Coordenador do curso de Engenharia Civil).

LAGES

2020

TERMO DE APROVAÇÃO

FERNANDO PASSOS DUARTE

NATM VS TBM:

COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE TÚNEIS

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Aldori Batista dos Anjos

Banca Examinadora:

LAGES

2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, por permitir que eu pudesse um dia sonhar com essa profissão, permitir que todos os dias eu pudesse levantar e ir à luta. Também quero agradecer ao meu Pai e minha Mãe, por me darem a oportunidade de estudar, por cada dia, por toda vez que cheguei cansado e lá estavam me esperando, lutaram comigo, e me apoiaram todos esses anos, para que esse dia chegasse. Aos meus irmãos que tanto me incentivaram, e me ajudaram todas as vezes que, na maioria das vezes era de última hora precisei, sempre dispostos e presentes. A minha noiva Glória, por tantas vezes me acalmou e me mostrou que era possível, sempre me ajudando, prontamente em todas as situações da minha vida.

Agradeço também a todos meus colegas e amigos com quem dividi inúmeras alegrias e tristezas durante este período. Por fim, agradeço ao meu avô, já em memória, mesmo não tendo o conhecido tenho certeza que é merecedor, por isso dedico a ele também esses anos de estudo, honrando seu legado e seguindo seus passos, almejando um dia ser detentor de todo seu conhecimento. Enfim a todos meu muito obrigado, gratidão.

“Não cruze os braços diante de uma dificuldade, pois o maior homem do mundo morreu de braços abertos!”

Bob Marley.

RESUMO

Atualmente a população mundial está cada vez maior e com isso os espaços para construção estão sumindo, contudo os estudos e avanços em construções subterrâneas nos trazem uma grande opção. Neste contexto, o presente trabalho pretende comparar dois sistemas de construções de túneis NATM (*New Austrian Tunneling Method*), e TBM (*Tunneling boring Machine*), percorrendo um caminho histórico, um conhecimento aprofundado sobre os dois métodos em questão, e por fim comparando os dois, em seus aspectos positivos e negativos, no que toca a questões econômicas e ambientais, entre outras que são também de grande importância. Para identificar qual método é mais favorável foi utilizado uma revisão bibliográfica, conduzindo informações de autores com diversos pontos de vista, para que assim fosse possível chegar à conclusão de qual método é mais vantajoso e adequado.

Palavre chave: TÚNEL, NATM, TBM, SUBTERRÂNEO

ABSTRACT

Nowadays the world population is increasing and with that the spaces for construction are disappearing, however the studies and advances in underground constructions bring us a great option. In this context, the present project intends to compare two tunnel construction systems: NATM (*New Austrian Tunneling Method*), and TBM (*tunneling boring Machine*), following a historical path, an in-depth knowledge of the two methods, and finally comparing the two, in their positive and negative aspects, in the that deals with economic and environmental issues, for example. So in general we will bring up a question, is possible to find out which method is more advantageous? Then we will look for bibliographic references in books and articles so that it is possible to reach a solid conclusion.

Keys-words: TUNNEL, NATM, TBM, UNDERGROUND.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Caverna Font de Gaume e Lascaux.....	15
Figura 2- Cloaca Massima	16
Figura 3- Estrada de ferro de Dom Pedro II	17
Figura 4- Combotas e enfilagens	21
Figura 5- Concreto sendo projetado na parede do túnel na utilização do método NATM	21
Figura 6- Single Shield TBM	24
Figura 7- Classificação das máquinas tuneladoras	25
Figura 8- Tuneladora utilizada na Linha 1 do metrô de São Paulo	26
Figura 9- Diferença entre seção escavada com tuneladora e método convencional	28
Figura 10- Gráfico tempo e custo	29

LISTA DE ABREVIACOES

NATM - New Austrian Tunneling Method.

TBM - Tunneling Boring Machine.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Aspectos a serem comparados.....	35
--	-----------

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. Breve Histórico de Túneis.....	16
2.2. Aspectos do sistema construtivo NATM (<i>New Austrian Tunneling Method</i>).....	20
2.3. Aspectos do sistema construtivo TBM (<i>tunneling boring Machine</i>).....	24
2.4. Aspectos comparativos entre os métodos de construção de túneis TBM e NATM.....	28
2.4.1 Aspectos Ambientais	32
3. METODOLOGIA	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem o intuito de fazer um comparativo sobre dois métodos construtivos de túneis, sendo eles o NATM (*New Austrian Tunneling Method*), e TBM (*tunneling boring Machine*). Tendo como intenção, expor o conteúdo pesquisado de forma acadêmica e de fácil acesso, avaliando os aspectos positivos e negativos de ambos os métodos, trazendo uma didática simples a todos os leitores.

A construção de túneis é algo histórico, que está presente desde a pré-história. O *Homo Faber* já possuía o conhecimento em diferenciar a dureza dos maciços, sabendo identificar os pontos fracos da rocha e o instrumento ideal para atacá-la. Desde picaretas feitas de chifres até a capacidade de aquecer a rocha e despejar água fria, para criar uma expansão e contração no maciço, construindo então cavernas que serviam de abrigo. (MOREIRA, 2006)

Hoje no mundo sentimos a grande falta de espaço urbano nas superfícies, principalmente de grandes cidades, sendo que além da dificuldade, a supervalorização dos espaços está cada vez maior, o que motiva os investidores e estudiosos a alavancar estudos sobre diversos métodos que podem ser aplicados

O método NATM (*New Austrian Tunneling Method*), teve seu desenvolvimento entre 1957 e 1965, na Áustria, pelo professor Dr. Techn. Ladislaus Von Rabcewicz e Pacher. Até hoje mantem-se imprescindível em escavações de túneis. Um dos mais importantes conceitos desse método é “mobilizar o carregamento do maciço circundante para contribuir com a própria sustentação da cavidade aberta”. (TRICHÊS, 2019, p.119).

Já o método TBM (*Tunneling Boring Machine*), de acordo com Norô (2014, p 12) “surgiu pela necessidade de escavar túneis através de maciços mais complexos, as elevadas restrições a nível de segurança” no ambiente interno priorizando os trabalhadores, mas levando em consideração também a parte exterior, principalmente em perímetros urbanos, além disso também há uma certa ênfase nas questões econômicas.

Os impactos ambientais também são foco dos olhares da indústria tuneleira, no sentido de procurar minimizá-los o máximo possível. Sendo que as estruturas subterrâneas são menos suscetíveis a agentes externos que degradam e afetam estruturas que ficam expostas às adversidades do tempo. Vale lembrar também, que os avanços tecnológicos e geotécnicos estão

cada vez mais aperfeiçoados, buscando um resultado mais eficaz e trazendo menores custos e maior mecanização. (ROCHA, 2012).

A tomada de decisão, ao buscar pela opção ótima, portanto, deve levar em conta vantagens, desvantagens, disponibilidade de recursos, o contexto socioambiental, a viabilidade técnica e a viabilidade econômico-financeira de uma alternativa. (TRAVAGIN, 2012, p. 19).

Podemos considerar que o tema proposto é de suma importância para os aspectos ambientais, pois comparando os métodos pode-se considerar o menos prejudicial, para que assim os impactos ambientais sejam diminuídos, pois desta forma poderá ser controlado o desmatamento, poluição urbana e os demais aspectos que envolvem o meio ambiente. Portanto, pode-se identificar obras subterrâneas menos suscetíveis a agentes externos e a desgastes naturais.

Os avanços dos estudos geológicos e geotécnicos estão cada vez mais aperfeiçoados, como em técnicas inovadoras que trazem maior velocidade e menos movimentação de terra, o tema proposto segue neste sentido aprimorando os estudos para que se obtenha uma comparação que é fundamental na escolha do método construtivo de túneis.

Por conseguinte, este projeto tem como objetivo geral comparar os sistemas construtivos de túneis NATM e TBM. Portanto, será percorrido um caminho que compõe quatro objetivos específicos. O histórico dos túneis, trará a importância do contexto histórico para avaliarmos a evolução dos métodos e sua utilização. Falaremos também sobre especificamente o método NATM, sua origem, a aplicação e a evolução de seus aspectos. Compõe também o método TBM que falaremos sobre sua origem, aplicação e evolução de forma a completar os objetivos para fazer um comparativo final entre os dois métodos.

Por fim, o presente projeto buscará referências bibliográficas em livros e artigos científicos, a fim de que possa estabelecer uma sólida comparação entre as metodologias de construção de túneis e então concluir as vantagens e desvantagens de cada um e indicar o método mais favorável de acordo com a necessidade de cada obra.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

- ✓ Comparar os sistemas construtivos de túneis: NATM vs TBM, através de revisão bibliográfica e destacar as principais diferenças entre ambos.

1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Pesquisar o histórico da construção de túneis.
- ✓ Descrever a respeito do sistema construtivo NATM.
- ✓ Descrever os aspectos do sistema construtivo TBM.
- ✓ Discorrer sobre os aspectos comparativos entre os métodos de construção de túneis TBM e NATM.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Breve Histórico de Túneis

Na parte histórica da construção de túneis, será descrito a origem das escavações subterrâneas desde os primórdios, a construção do primeiro túnel que se tem registro, passando também pelas principais civilizações antigas, seus métodos e maneiras de escavações, até chegar nos dias atuais, com a necessidade de explorar o subterrâneo.

Segundo dicionário da língua portuguesa Aurélio, o significado da palavra túnel sugere uma galeria, passagem subterrânea que se comunica com algum lugar. De acordo com Maragon (2007), o túnel tem como objetivo permitir uma passagem ininterrupta através de certos obstáculos, que podem ser elevações, canais, rios, áreas com grande população. Os túneis são elementos de transporte, seja rodoviário, ferroviário, metrô e transporte de fluidos, como a água, neste caso pode ser para obtenção de energia ou abastecimento de reservatórios para população.

A construção de túneis, porém, não é uma exclusividade dos humanos, no reino animal há diversas espécies que constroem túneis com objetivo de se abrigar e se locomover maiores distâncias sem risco, como os cães da pradaria, pequenos mamíferos da família dos roedores, são nativos da América do Norte e habitam os EUA, México e Canadá; o seu nome origina do Grego *cyno mys* (cão rato). Eles habitam em colônias subterrâneas, com complexos sistemas de túneis, podendo ter centenas de metros e atingir até 10 metros de profundidade. Esse sistema complexo conta com lugares específicos para comer, vigiar, dormir e até mesmo lugar certo para suas necessidades.

Há também em Santa Catarina, mais preciso na cidade de São Joaquim, evidências, segundo reportagem do site de notícias G1, do tatu gigante, já extinto há cerca de 10 mil anos, em paleontocas descobertas no ano de 2016. Segundo pesquisadores, os túneis contêm mais de 1.90 metro de diâmetro, contendo mais de 10 metros de profundidade, com longas e marcantes marcas de garras.

Já entre os seres humanos existem vestígios de experiência geotécnicas desde a pré-história. O *Homo Faber* já possuía o conhecimento em diferenciar a dureza dos maciços, sabendo identificar os pontos fracos da rocha e o instrumento ideal para atacá-la. Desde picaretas feitas de chifres até a capacidade de aquecer a rocha e despejar água fria, para criar uma expansão e contração no maciço. Há indícios que a intuição ou o instinto de sobrevivência

apontavam a estabilidade e segurança das cavidades subterrâneas, exemplos de cavernas francesas *font de Gaume e Lascaux*. (MOREIRA, 2006).

Figura 1-Caverna Font de Gaume e Lascaux



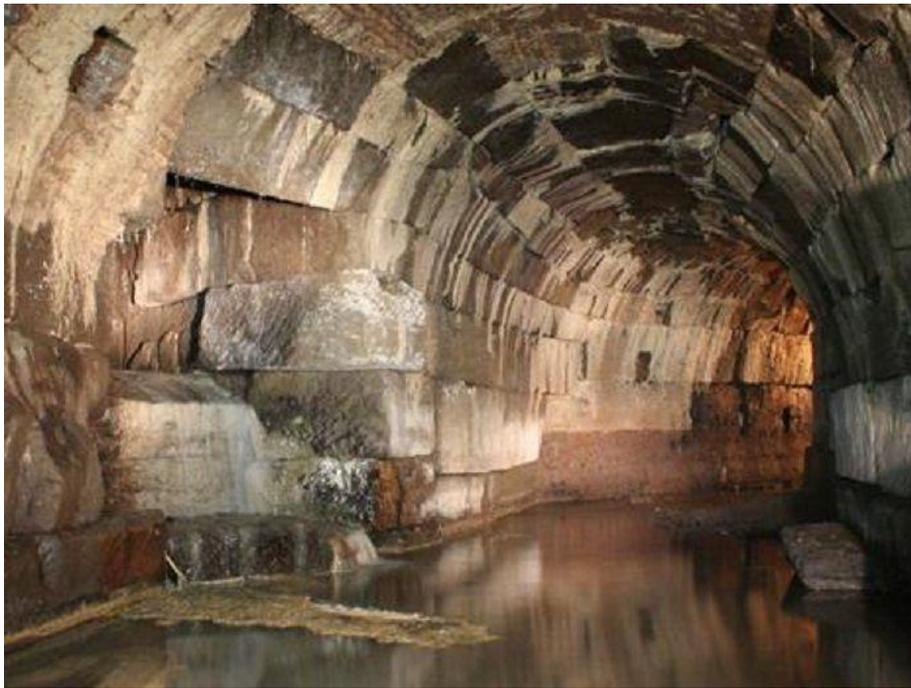
Fonte: LASCAUX- DORDOGNE

Os túneis surgem através da necessidade de facilitar certas atividades, seja o escoamento de água, o acesso a minas ou a comunicação entre locais isolados pela topografia da região. Mascarenhas (2014), expõe que os estudos sobre a geologia são recentes, mas observamos que as construções são muito mais antigas. O túnel mais antigo que se tem registro é sob o Rio Eufrates, localizado na Babilônia, tem cerca de 4000 anos, o objetivo da época era ligar o palácio do rei com o templo de oração. Já os persas, com a necessidade de água, exploraram as cadeias montanhosas no Sopé, nos locais onde encontravam as nascentes escavavam túneis com uma leve inclinação, para manter o frescor da água e diminuir a evaporação, podendo fazer a irrigação da água. (LIMA, 2016)

Os egípcios, por sua vez, também tinham suas técnicas muito sofisticadas para a extração do cobre por volta de 2900 a.C., faziam furos nos maciços e introduziam cunhas, que eram movimentadas ajudando a soltar os materiais, ou também introduziam madeiras que eram encharcadas com água, fraturando e dilatando a rocha. (CARREIRA, 2014)

Segundo Lima (2016), uma das obras mais conhecidas e impressionantes para a época foi o túnel de *Cloaca Massima*, localizado na cidade de Roma, Itália. Era um sistema de esgoto com dimensões enormes, chegando a aproximados 3 metros de altura e largura de mais de 4 metros.

Figura 2- Cloaca Massima



Fonte: Fandom (www.antiga.fandom.com)

Com o passar do tempo, a ampliação das construções dos túneis também trouxe consigo a ampliação do número de acidentes e mortes durante as obras. Carreira (2014) afirma que isso fez com que fossem estudadas e aprimoradas diversas técnicas e inovações de métodos mais seguros. Há registro da utilização da pólvora negra como explosivos para detonar rochas e facilitar a abertura de túneis em meados do século XVII. A pólvora oferecia grandes resultados, ela exigia a abertura de furos, criando assim o conceito de desmonte subterrâneo, que foi usado pela primeira na construção de um túnel de 157 metros de comprimento no *Canal du Midi*, no sul da França. No entanto, foi logo substituída por nitroglicerina, estabilizada em forma de dinamite.

Já no Brasil a indústria tuneleira, teve seu início em meados da segunda metade do século XIX, sendo que os primeiros túneis foram túneis ferroviários, por volta de 1860. Considerada uma das mais importantes obras, foi a estrada de ferro de Dom Pedro II, no Japeri – Barra do Piraí, na Serra do Mar no estado do Rio de Janeiro. (ROCHA, 2012).

Figura 3- Estrada de ferro de Dom Pedro II



Fonte: ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS (www.estacoesferroviarias.com.br)

Atualmente em Santa Catarina, existem diversos túneis, pode-se citar três dos mais importantes. Túnel Antonieta de Barros, facilitando o transporte de veículos entre a região central e a parte sul da Ilha de Santa Catarina, com extensão de 720 metros cada um, o método utilizado para a construção é o método NATM. Há também o túnel que liga as cidades de Itapema e Balneário Camboriú, atravessando o Morro do Boi, com 1007 metros, utilizando o mesmo método do túnel Antonieta de Barros. E o último, mas não menos importante, encontra-se em Lages, na localidade de Coxilha Rica, um túnel ferroviário construído pelo exército brasileiro, o qual hoje além da sua utilização para o transporte, tornou-se um ponto turístico da serra catarinense. (SANTOS, 2001).

Vale ressaltar, no Brasil, a crescente construção de obras subterrâneas. De acordo com Rocha (2012), uma pesquisa recente efetuada pelo Comitê Brasileiro de Túneis constatou que na década de 1990, o volume era inferior a quatro milhões de metros cúbicos, sendo que nos últimos cinco anos houve um aumento significativo de 500%.

Nos dias atuais a procura tem sido grande por caminhos subterrâneos, como é possível constatar na escrita de Moreira (2006):

A melhoria das condições de vida das populações e a minimização dos impactos ambientais, são dois fatores que hoje em dia orientam a concepção de infraestrutura

subterrânea, podendo-se mesmo dizer que se está atualmente lidando com a *Era ambiental* dos túneis e que a doutrina principal é a otimização dos procedimentos.

A luta por qualidade de vida se torna cada vez maior, trazendo com isso a preocupação com as causas ambientais. Buscar uma construção com mínimo de impacto ambiental está se tornando cada vez mais prioridade para a engenharia.

2.2. Aspectos do sistema construtivo NATM (*New Austrian Tunneling Method*).

Neste capítulo será abordado uma breve explicação de sua origem e principais obras feitas com a utilização do método de construção de túnel NATM, bem as suas principais características e vantagens e desvantagens.

NATM (*New Austrian tunnelling Method*), foi criado por volta dos anos 1957 e 1965, por Pacher e Rebcewicz, que transformaram as inovações do concreto projetado e criaram um método novo de construção de túneis, a partir de experiências em campo adquiridas em minas de carvão. O ponto inicial é o sistema de classificação e a descrição qualitativa de maciços rochosos, bem como o que apresentam de condições quando são escavados (LIMA, 2016).

Esse processo ganhou destaque, primeiramente, pelo fato econômico e também pela capacidade de poder utilizar o terreno a seu favor. Lima (2016), explica que a principal ideia é fazer com que o terreno, ao invés de atuar somente como carga a ser suportada pela estrutura, possa também ter funções que colaboram com a resistência do túnel. Palermo (1997), concorda relatando que o NATM é um método que, basicamente, após feita a escavação parcial da face é colocado um suporte.

Segundo Empresas CBPO/FIGUEIREDO FERRAZ, citado por Mascarenhas (2014), de tanto observar os colapsos e as dificuldades apresentadas na execução oferecidas por métodos convencionais, notava-se um relaxamento inicial do maciço, onde ficavam vazios entre a estrutura e o terreno. Imaginou-se um material que se moldasse na hora da aplicação, logo após a escavação, para preencher as partes irregulares. O material também devia conter um grande ganho de resistência em poucos minutos, impedindo então de haver o relaxamento do maciço e completando os vazios existentes.

Este material era o então concreto projetado aditivado com acelerador de pega. O método consiste em uma escavação sequencial do maciço, como já citado, utilizando o concreto

projetado como suporte, associado a elementos como cambotas metálicas, pregagens e enfilagens, em função da capacidade autoportante do maciço (MASCARENHAS, 2014).

Para Palermo (1997), também esse suporte é o concreto projetado que se completa com tirantes, telas e cambotas. A princípio parece básico e simples, mas estão embutidos diversos conceitos fundamentais que extrapolam o cálculo. O sucesso desse método depende exclusivamente destes conceitos e da experiência de pessoas envolvidas nele.

Este novo método austríaco é aplicável a rochas e solos em geral, concordando com a geometria e as condições do terreno. Filho (1978) também afirma que um grande princípio do método é a divisão da seção, normalmente a abertura de uma seção plena é a melhor forma e mais rápida para ser feita, no entanto, pela limitação dos equipamentos e também pela limitação do maciço nem sempre é possível, tornando então a parcialização da seção da escavação de forma sequencial.

Esse processo de escavação é feito de forma progressiva da seção do túnel, em avanços contínuos, conforme o tipo do terreno, podendo assim garantir a estabilidade das aberturas. Para rochas classificadas como sãs, onde seriam asseguradas com apoio em uma única extremidade, normalmente são aplicados tirantes, ou até mesmo chumbadores para a contenção de blocos soltos, conta ainda com concreto projetado na abóboda do túnel com telas embutidas nele. (FILHO, 1978).

Já nos solos, o esquema de escavação deve ser o da abertura em partes com a instalação progressiva do escoramento, com avanços sucessivos. A sequência da escavação é dividida em calota (parte superior), arco invertido (parte inferior), podendo ou não adotar o uso do mesmo provisoriamente (LIMA, 2016).

Filho (1978), cita que em situações em que a escavação ocorre abaixo do lençol freático, torna-se imprescindível o sistema de controle de água para que se permita o trabalho no interior do túnel, e também impedir risco de rupturas na construção do túnel. Os possíveis sistemas são o rebaixamento do lençol freático e também a aplicação do ar comprimido, podendo ser aplicado de forma simultânea.

Ainda segundo Lima (2016), umas das melhores vantagens do NATM é a liberdade e a flexibilização de projetar diversas formas e diferentes tamanhos de seção durante a escavação, possibilitando que o Engenheiro seja capaz de adaptar o método para diferentes tipos de maciços e solos.

Falando do ponto de vista estrutural, Filho (1978) relata que o método NATM tem como principal conceito a abertura de túneis que são suportados pelo próprio maciço, ou seja, autoportante. Portanto, quando é realizada a escavação, coloca-se imediatamente um revestimento de modo que substitua a superfície, forçando a rocha a se auto-suportar, de modo que ele mesmo atue como uma superfície rígida, transformando um solo com resistência inferior em uma edificação estável.

Carreira (2014), concorda afirmando que, concluída a escavação, deve-se restabelecer o equilíbrio que continha no maciço, fazendo que então ele mesmo contribua para sua própria sustentação, definindo-se que deve haver a total interação do maciço e do revestimento, ou seja, impedindo o relaxamento e completando os vazios existentes nas interfaces do material escavado.

Palermo (1997), ainda afirma que quando se escava o solo ou rocha, as tensões que circundam alteram de um estado primário para um estado secundário. O aumento das tensões radiais na divisa, é dado de maneira a suportar o carregamento, o que antes era suportado pelo material escavado. Resultando, a região próxima à escavação continua quase em sua posição original, podendo colaborar efetivamente do efeito em arco.

O rearranjo das tensões é seguido de deformações para dentro da abertura do túnel. Se não for impedido que as deformações aconteçam, muitas vezes podendo provocar a ruptura do túnel, para impedir é utilizada uma base de concreto projetado, sendo sua flexibilidade e sua espessura o suficiente para suportar a situação nova. Esse revestimento do maciço se comporta como o aço e o concreto, nessa ordem, em uma seção mista de uma ponte. (FILHO, 1978).

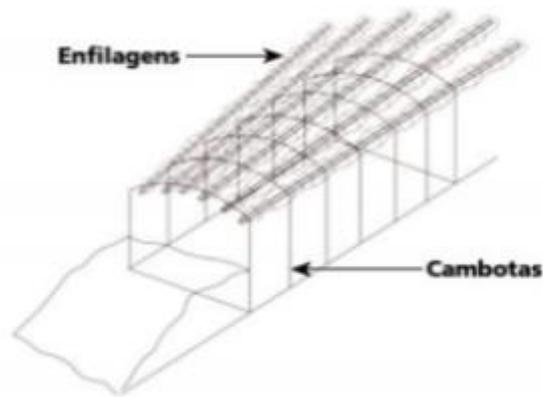
O maciço rochoso tem como característica que a sua resistência à compressão seja maior que as tensões tangenciais que se desenvolvem, sendo assim o túnel é estável sem precisar de “ajuda”.

Segundo Mendonça (2017), muitos solos têm dificuldade de manter-se estável no período das escavações, por isso são recomendadas medidas que auxiliam nesse processo, como combotas, enfilagens e o próprio concreto projetado.

As enfilagens acontecem da seguinte forma: antes da escavação uma perfuratriz faz furos acima da abertura do túnel, esses furos são limpos e é injetado uma calda de cimento, juntamente com tubos de aço, a cada seção o processo se repete.

As cambotas são estruturas em formato de arco que envolvem a seção. O esquema a seguir mostra no trecho do túnel cambotas e enfilagens. (MENDONÇA, 2017).

Figura 4- Combotas e Enfilagens



Fonte: MENDONÇA (2017)

O concreto projetado é o que dá fechamento, marcando o final da seção escavada e normalmente está presente em quase todas as obras que envolvem o método NATM.

Figura 5- Concreto sendo projetado na parede do túnel na utilização do método NATM



Fonte: MENDONÇA (2017)

No Brasil, esse método teve início em meados da década de 1960 a 1970, foi utilizado na construção da pista ascendente da Rodovia dos Imigrantes de São Paulo ao litoral paulista, mais precisamente em Santos, mas se implantou de vez em 1975, na construção dos 72 km de túneis da ferrovia do aço entre Belo Horizonte e Rio de Janeiro. Além da construção de diversos

túneis na capital de São Paulo referente ao metrô, na década de 1980 a 1990. MASCARENHAS (2014).

2.3. Aspectos do sistema construtivo TBM (*tunneling boring Machine*).

Neste capítulo será apresentado, um breve histórico sobre a origem do método, bem como suas principais características a serem descritas, abordando também vantagens e desvantagens do método de construção de túnel TBM.

Marc I. Brunel, foi o pioneiro em construção de túnel com o avanço de uma Couraça metálica, foi sob o Rio Tâmisa em 1825, sendo feito esse avanço com segurança e nenhum risco aos trabalhadores. Na Alemanha, foi implantado durante os anos 60, para construir o túnel sob o Rio Elba, em Hamburgo (KUGUELLE 2004).

As tuneladoras de couraça (Shield Tunneling) como antigamente eram conhecidas, hoje também conhecidas pela sigla TBM, abreviação da língua inglesa *tunneling boring machine*, já no Brasil chamadas por “Tatuzão”, são projetadas, formadas, para escavar diretamente uma seção plena e auxiliam na colocação do revestimento definitivo. (SILVA et al, 2017).

Essa tuneladora (TBM), ou como apelidado tatuzão, é composta por uma tuneladora que se localiza dentro de uma estrutura de aço, a qual é denominada (SHIELD), de onde vem seu nome. A função do escudo é sustentar e estabilizar o terreno durante a escavação na qual foi instalada. É um equipamento mecanizado utilizado para a escavações de túneis não destrutivas. (ISSA; VALERETTO; BERTIQUINI, 2016).

Uma definição técnica sobre o sistema, segundo Travagin (2012):

É um sistema complexo, composto de um corpo principal e os elementos de apoio, constituídos de elementos de corte, de impulso, de direção, de proteção, de perfuração exploratória, de controle e suporte do maciço, instalação e revestimento, de remoção de escombros, ventilação e de abastecimento energético.

Segundo Issa; Valeretto; Bertiquini (2016), esse método construtivo utiliza uma seção plena, ou seja, uma escavação total da circunferência projetada para a obra. Permitindo também que todos os processos de construção sejam realizados de forma simultânea e também automatizada, tornando esse processo uns dos mais eficientes e mais rápidos para construção de túneis.

As tuneladoras, são utilizadas tanto para grandes profundidades quanto para pequenas, além de se encaixar em diferentes tipos de solos. Outra grande vantagem deste método é a precisão que os cortes são realizados, já que a seção transversal é idêntica à que será escavada, trazendo benefícios, pois são gerados mínimos impactos em edificações e na superfície em geral, além de gerar baixo impacto ambiental. (MENDONÇA, 2017)

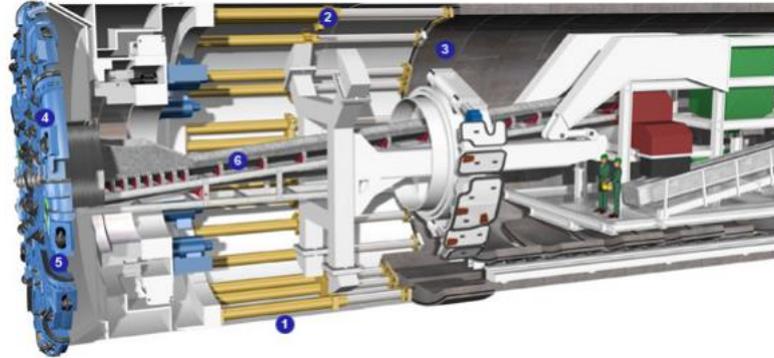
A ideia da utilização de um tatuzão traz uma grande facilidade, pois a tuneladora, como já citado, faz uma escavação não destrutiva, ou seja, sem explosivos, facilitando então a aplicação em áreas urbanas, trazendo menores problemas com tráfego e também podendo ser utilizado em qualquer tipo de solo, seja ele mole ou rígido, acima ou abaixo do lençol freático (KUGUELLE 2004).

Filho (1978), concorda afirmando que esse método é muito utilizado normalmente em zonas com maior densidade populacional, e também em solos com maior inconsistência, ou seja, areia, argilas moles à média, com grande frequência, abaixo do nível da água. (FILHO 1978).

A primeira etapa da tuneladora inicia-se quando a couraça, ou seja, cortadora é pressionada com uma grande pressão que é exercida pelos cilindros hidráulicos, que vai então fragmentando o maciço à frente. Na etapa a seguir, o maciço é estabilizado, juntamente com isso é aplicado, encaixando um anel de concreto. Conforme a couraça avança colocam-se os anéis de concreto sucessivamente. Esse sistema é chamado de erector. (GUERRERO et al, 2017).

Na maioria das vezes as máquinas contam com uma cortadora circular, que nelas possuem outras cortadoras menores de moagem e de disco. Essa cortadora gira, no mesmo momento em que é pressionada contra o maciço, conseguindo então fazer a escavação. Conforme avança são encaixados seguimentos de concreto que dão forma ao túnel. As tuneladoras são equipadas com um sistema de injeção de argamassa nos vazios existentes entre o concreto e o solo. O solo escavado é levado através de uma esteira ou uma rosca infinita, até a traseira da máquina, onde é tirado para um sistema que levará para fora do túnel. (MENDONÇA, 2017).

Figura 6- Single Shield TBM: (1) couraça (2) cilindros hidráulicos de propulsão (3) segmento pré-moldado instalado (4) corte (5) cavidade para entrada de material escavado (6) transportador



Fonte: TRAVAGIN (2012)

Algumas máquinas TBM balanceiam a pressão exercida pela face do túnel, usando o próprio resíduo escavado. Foi analisado que ar-comprimido, lama bentonítica ou contrapressão, podem ser utilizados para esta função. Neste caso o solo que foi recém escavado é armazenado em um espaço logo atrás da cortadora, criando uma pressão que regulariza a pressão do solo e da água que atuam contra a cortadora, controlando isso é controlado o ritmo de escavação. Este processo é chamado de *Earth pressure balanced shield*. E só é recomendado para solos com mais de 30% de finos. (MENDONÇA, 2017).

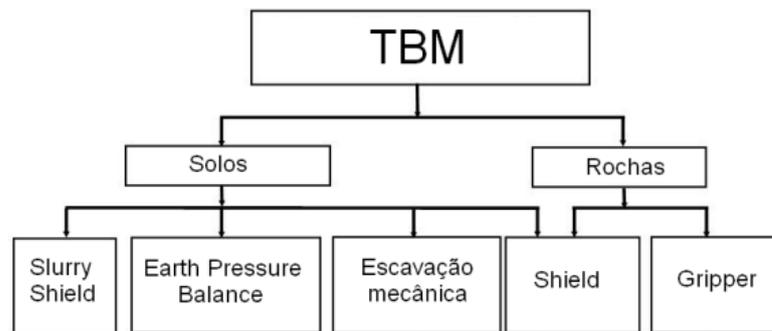
Contudo, para a utilização de TBMs, são necessárias máquinas complexas e isso requer muito tempo para desenvolver e construir uma, sendo que também se exige tempo para que o engenheiro possa fazer o treinamento, se adaptar com a máquina para sua perfeita utilização, o canteiro de obras também é uma grande preocupação, ele acaba sendo maior e com instalações mais complexas, conseqüentemente mais caras. Além de a couraça poder ficar comprometida por mudanças abruptas no tipo de solo podendo prejudicar seu desempenho. (MENDONÇA, 2017).

Segundo Marangon (2007), observando os últimos 10 anos, nota-se a evolução considerável a partir da couraça utilizada, primeiramente era manual, passando por uma semi-mecanizada até chegar na totalmente mecanizada. Um dos principais motivos para a evolução deve-se ao aumento da mão-de-obra. A evolução também traz o aumento de velocidade de avanço.

Essa couraça evoluiu com o passar dos anos, sendo que hoje se dividem em diversos tipos de máquinas. Travagin, (2012), traz a existência de vários tipos de tuneladoras, adaptando-

se de acordo com o solo a ser escavado, seja em rocha brandas, solos saturados, ou outras condições que precisem da colocação imediata do suporte.

Figura 7- Classificação das máquinas tuneladoras



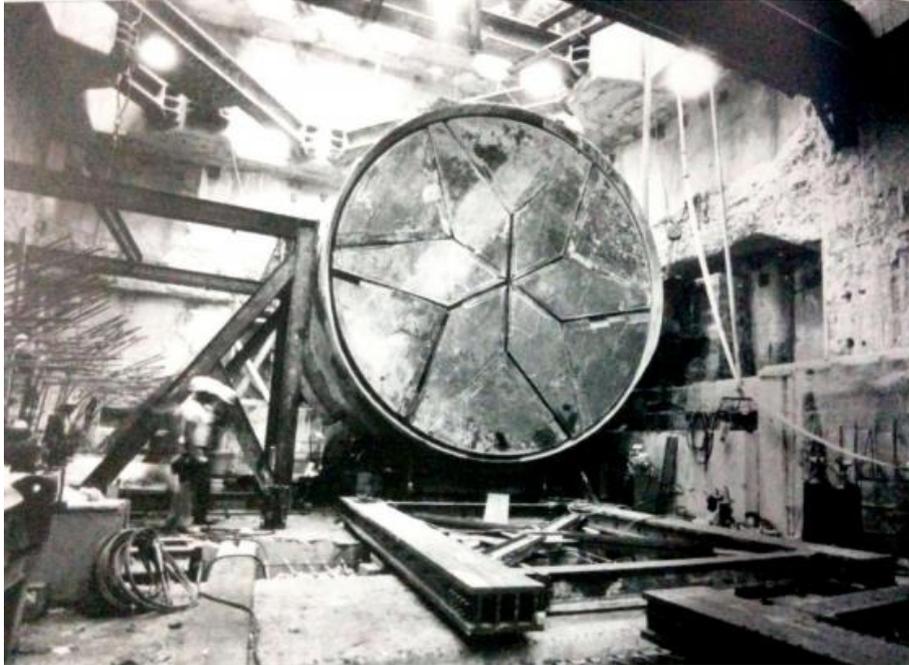
Fonte: TRAVAGIN (2012)

Além destas divisões, também é diferenciado o TBM pela frente da cortadora, podendo ser aberto ou fechado. O modo aberto é geralmente utilizado para solos estáveis, e que não se tem problema com lençóis freáticos, já o modo fechado é direcionado a solos instáveis que necessitam de uma proteção. (GUERRERO et al, 2017).

As descrições feitas não contemplam os diversos tipos existentes de máquinas, pois não é o foco deste trabalho.

No Brasil, a primeira utilização de um TBM antes chamado de SHIELD, foi o metrô de São Paulo, em 1970, (na linha 1 azul), foram utilizadas 4 tuneladoras, 2 delas com frente aberta e outras 2 com frente fechada, como mostra na Figura 8. A tecnologia e a velocidade fizeram com que o “tatuzão”, popularmente dito, fosse também utilizado em obras de saneamento pelo Brasil, o mini-SHIELD, versão de diâmetro menor, se torna uma das melhores alternativas para trechos urbanos em escavações de saneamento. (MENDONÇA, 2017).

Figura 8- Tuneladora utilizada na Linha 1 do metrô de São Paulo



Fonte: MENDONÇA (2017).

2.4. Aspectos comparativos entre os métodos de construção de túneis TBM e NATM

A descrição dos sistemas construtivos NATM e TBM, leva necessariamente ao questionamento sobre as vantagens e desvantagens, aspectos positivos e negativos, de cada um. Neste sentido, esta pesquisa busca estabelecer a comparação entre os dois sistemas construtivos acima citados, de maneira que seja possível verificar os impactos ambientais, econômicos, urbanísticos, sociais, entre outros.

Tendo em vista estes aspectos, Maragon (2007), cita que, para ela, a fase mais importante dos trabalhos preliminares, em primeiro lugar deve ser analisar as condições geológicas do local, através de sondagens espaçadas de forma correta que mais a frente será citada, mas normalmente a locação do túnel é guiada por aspectos econômicos e de tráfego, deixando a geologia do terreno em segundo plano. A locação de um túnel deve preferencialmente ser acima do nível da água, caso contrário pode causar infiltrações tanto no teto quanto nas paredes laterais do túnel, nesses casos também pode ser utilizado, nas condições corretas, o método construtivo com uma couraça, ou seja, TBM.

De acordo com Travagin (2012), quando pensamos em comparar, o aspecto econômico é um dos primeiros que lembramos. Pensando nisso, o autor desenvolveu dois tipos de custo, o técnico e o social.

Custo técnico: este custo é aquele que se deve analisar custos quantificados, o custo total, analisando antes do início da construção, envolvendo custos de tempo, custo operacional, comprimento do túnel, tempo de escavação, aquisição de equipamentos, salários e encargos, consumos de energia, produtividade média por dia/mês, implantação do canteiro de obra, avaliar todas as possibilidades decorrentes da obra.

Custo social: estes custos são mais difíceis de quantificar, sendo aqueles custos que a população de maneira geral pode sofrer com a construção do túnel, estes danos ou custos são aqueles causados pela interrupção do trânsito, danificar o pavimento, danos à rede elétrica, danos às estruturas vizinhas, como rachaduras, trincas, ruídos pela escavação, vibração ou ainda agentes poluentes gerados pela construção.

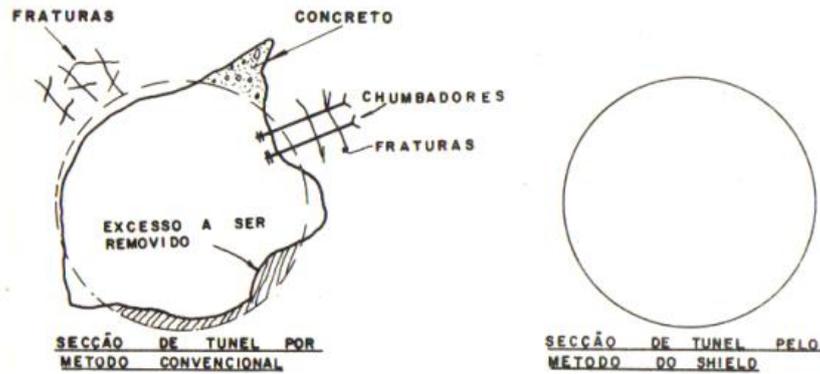
Para comparar um método e outro devemos começar pela principal diferença quanto ao processo de cada um, o método NATM é um método semi-mecanizado, já o TBM é um método totalmente mecanizado. (GUERRERO et al, 2017).

O conceito de perfurar mecanicamente já é antigo, mas ainda comparados com métodos tradicionais, as vantagens são evidentes. Maragon (2007) segue citando algumas das vantagens:

- 1) A abertura de paredes redondas traz maior segurança, pois elas são mais resistentes a capacidade de sustentação.
- 2) Em túneis que são utilizados o revestimento de concreto a economia será grande, sendo que não existirá *overbreak* (trecho de rocha removido além do necessário).
- 3) Menor contingente profissional.
- 4) Avanço rápido.

Conforme a imagem abaixo podemos observar a seção escavada por método NATM e pelo método TBM. (MARAGON 2007).

Figura 9- Diferença entre seção escavada com tuneladora e método convencional



Fonte: MARAGON 2007

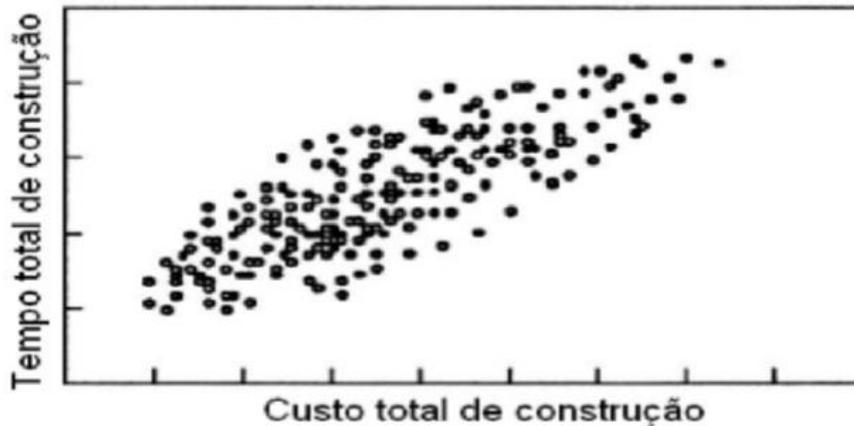
Maragon (2007), também se refere a desvantagens desse método. Uma das principais desvantagens é o alto investimento aplicado inicialmente, tornando esse método inviável para túneis de menores distâncias. Um outro grande problema é a necessidade de tubos de ventilação mais complexos, proporcionando o controle de calor e poeira que se acumulam no túnel. Também deve se atentar à direção correta, evitando possíveis desvios, uma vez que acontecer, para corrigir requer muito tempo e custo elevado. Apesar desses equipamentos serem projetados para escavação de túneis com maior dureza do maciço, testes comprovam sua eficácia em rochas com baixa e média dureza.

Já no NATM, a sua principal vantagem é a flexibilização, a parcialização da escavação, podendo até mesmo mudar o tamanho da seção escavada, possibilitando ao construtor avaliar o maciço e optar pela forma mais recomendada à escavação. (LIMA, 2016).

Outro ponto importante, segundo Mendonça (2017), o método NATM, consegue usar ao seu favor o próprio maciço, de certa forma que ele se auto-suporte. Quando a seção é escavada é posto um revestimento imediatamente, fazendo com que as tensões se reorganizem, esse suporte faz a vez do solo que foi escavado anteriormente.

Em todo projeto de túnel é crucial que se saiba informações como a extensão do túnel, neste caso a relação com o custo está diretamente ligada à distância a ser escavada. De acordo com Guerrero et al (2017), no método de escavação NATM, quanto menor a área escavada menor será o custo, mas já com o método TBM, quanto menor a área escavada, menos viável economicamente se torna a utilização do método.

Figura 10- Gráfico tempo e custo



Fonte: (TRAVAGIN, 2012)

Como podemos observar no gráfico, mostra-se a relação do tempo com o custo da obra, ou seja, quanto maior o tempo maior o custo neste caso. (TRAVAGIN, 2012).

Em relação a seção de escavação, podemos citar duas grandes diferenças entre os dois métodos: o NATM pode ser parcializado, no caso a escavação pode ser dividida em partes para manter a estabilização do maciço; já no TBM, a seção é plena, o único problema disso é que ela é imutável, ou seja, uma vez escolhido, não se pode alterar. Também citamos a geologia do maciço: para o TBM, ele foi projetado para qualquer tipo de solo, bem flexível, não interferindo na construção do túnel; o NATM, também se adapta bem com a diferença de solo, mas segundo estudos apresentado por Guerrero et al (2017), referindo-se a custo haverá uma influência quanto a essa variação, podendo tornar o método inviável em relação ao TBM.

Outro grande aspecto, é em relação ao canteiro de obras, para o TBM, é necessário um canteiro muito maior, com instalações mais complexas, se tornando muito mais caro, enquanto o NATM utiliza instalações de porte normal, usualmente utilizadas.

No ano de 2007, em São Paulo, ocorreu um acidente na linha 4 da estação pinheiros do metrô, tendo grande repercussão na mídia em geral. Segundo Maragon (2007), indícios apontam que a principal causa foi a escolha equivocada do método a ser utilizado na construção do túnel, a instabilidade no solo da região era grande e devido às fortes chuvas na época o risco se intensificou ainda mais. O autor ainda cita os dois maiores geólogos nessa linha, Kenzo Hori e Adalberto Azevedo, relatam que defendiam a utilização do método diferente do que foi adotado pelo consórcio via amarela. O trecho em que houve o acidente estava sendo construído pelo método NATM, neste trecho Hori relata que o método indicado seria o TBM, pelo fato da instabilidade do solo.

Como já citado, Maragon (2007) reforça dizendo que ambos os métodos têm seus pontos negativos e positivos. A literatura técnica internacional cita o TBM como método mais seguro que o NATM, mas, por outro lado, o custo é bem maior.

Para a execução do projeto é imprescindível fazer uma sondagem para conhecer melhor o solo que se vai escavar, existem tipo de sondagens, sendo a mais conhecida e utilizada como a sondagem por percussão SPT, a também a rotativa e geofísica, conforme o projeto será selecionado a que melhor se encaixe.

Contudo, a escolha do melhor método deve ser analisada e comparada em relação aos aspectos que melhor se encaixam com as características do solo, fatores que contribuem para essa escolha devem ser previstos antes do início das obras, elaborando um projeto com profissionais qualificados para sua perfeita escolha.

2.4.1 Aspectos Ambientais

Como foi citado ao longo da pesquisa, a engenharia está doutrinada à questão ambiental. O cuidado que hoje se dedica para a natureza nos traz benefícios para o futuro, com os métodos construtivos de túneis não é diferente. Os engenheiros estão a cada dia se aperfeiçoando e melhorando o conhecimento para os cuidados ambientais; pensando nisto a pesquisa traz aspectos a serem comparados entre os métodos. (TRAVAGIN, 2012)

O método TBM leva vantagem neste âmbito por ser considerado não destrutivo, fato é que ele não utiliza explosivos para a construção do túnel, a seção escavada pela cabeça de corte é a seção final do túnel. Em contrapartida, o método NATM pode ser considerado um método destrutivo, por que dependendo da situação encontrada ele pode utilizar-se de explosivos, podendo afetar todo o ambiente próximo a escavação, causando perturbações nas vizinhanças. (VIEIRA, 2003).

3. METODOLOGIA

Para compreender e comparar os métodos de construção de túneis NATM e TBM, foi realizada uma pesquisa de cunho bibliográfico, para a qual foram extraídas informações já existentes, através de artigos e livros referentes ao assunto.

Pizzani, Silva, Bello, Hayashi (2012), discutem que a revisão bibliográfica é um método constantemente utilizado em pesquisas e também o mais comum, pois tem a função científica de explanar uma ideia, utilizando obras já existentes, as quais podem servir para comprovar uma ideia, ressignificar ou incrementar novas ideias. Portanto, esse método de pesquisa é muito relevante e útil no âmbito científico.

Segundo Rodrigues (2017), o principal objetivo da pesquisa bibliográfica é executar e fundamentar um problema através de trabalhos já escritos, o que automaticamente possibilita e estimula o desenvolvimento do pensar e também da análise crítica. Esse método de pesquisa é também uma forma reflexiva, analítica e sistemática, é um trabalho de cunho investigativo.

Fonseca (2002 apud Gerhardt, 2009), concorda afirmando que este tipo de pesquisa é o início, ele permite que o pesquisador vá a fundo em assuntos já existentes, o que gera uma grande experiência acadêmica, pois avalia e conhece vários pontos de vista sobre o mesmo assunto, assim como refletir e tirar suas próprias conclusões. Porém, existem trabalhos científicos que se baseiam somente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios a respeito do que se procura.

Para Gil (2007, apud Gerhardt, 2009) investigações sobre ideologias ou aquelas que se propõem a análise das diversas posições a respeito de um problema são os exemplos mais característicos desse tipo de pesquisa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados apresentados e analisados neste trabalho de referencial bibliográfico, trataremos neste tópico comparações que podem auxiliar na melhor escolha por um método construtivo de túnel entre o NATM e TBM.

Em âmbito ambiental e social, o método TBM se destaca por ser um método não destrutivo, ou seja, não utilizam explosivos e dinamites para a destruição de maciços. Vieira (2003), concorda dizendo que o método TBM elimina o desconforto ambiental gerado pelas detonações. Já o método NATM, pode utilizar-se de dinamites para destruir grandes rochas que estejam na passagem do túnel, podendo também causar perturbações vizinhas, causando trincas, rachaduras e barulhos de explosivos. Maragon (2007), também concorda afirmando que o método NATM é um método destrutivo e atualmente a questão ambiental é crucial para a engenharia.

Em relação a tempo de obra, a extensão está ligada diretamente: quanto maior a extensão mais tempo demora. Podemos observar que neste aspecto o método TBM se destaca, podendo alcançar uma produtividade de 5 a 67 metros por dia. Enquanto o método NATM, tem avanços de 1 a 3 metros por dia de trabalho, ambos variam de acordo com o solo existente na obra.

Travagin (2012), concorda afirmando que o grande ganho de velocidade está ligado ao avanço da cabeça de corte, isto é, quanto mais fácil ela penetra o solo, mais rápido o avanço acontecerá. O autor continua afirmando que mesmo as taxas sendo mais baixas que as apresentadas pela tuneladora, o método NATM tenta compensar adotando mais aberturas, poços de acessos adicionais, que aumentam a produtividade, mas por outro lado os custos crescem também.

No que diz respeito às condições do maciço, quando a escavação é mecanizada, minimiza-se a preocupação com a escavação abaixo do lençol freático, uma vez que as tuneladoras são adaptadas com a frente fechada, já para tratar disto. Com a utilização do NATM, necessitam-se de medidas preventivas, como rebaixamento do lençol freático ou a utilização de ar comprimido, podendo utilizá-los simultaneamente, mas isso afeta o custo e o prazo da obra.

Segundo Aguiar (2017), esta desvantagem do método NATM pode se tornar uma vantagem pela sua flexibilização, a parcialização da escavação, sendo que no método com tuneladoras não há essa possibilidade, podendo inviabilizar a construção.

Quanto à comparação de custos entre esses métodos, devemos analisar que uma escavação mecanizada tem um custo de maquinários, equipamentos e canteiro de obra, superior. Analisando isto, obras com menor extensão são economicamente inviáveis para o método TBM, neste caso levamos em conta obras superiores a 3200 metros, nas quais a tuneladora levam vantagem. (AGUIAR 2017)

Segundo Maragon (2007), no ano em que o autor escreveu, uma tuneladora estava sendo construída na Av. Brigadeiro Faria de Lima. A máquina custou cerca de 30 milhões, sendo que ela é feita sob medida, então não pode ser reutilizada. Já o NATM se utiliza de equipamentos básicos e reutilizados, o que na época variava em torno dos 500 mil reais.

Outro problema do TBM é o sistema de ventilação, que é um sistema muito mais complexo e caro se comparado ao método NATM, pois a poeira e o calor gerados são muito maiores que do outro método. (GUERRERO et al, 2017).

A tabela 1 a seguir apresenta um resumo dos comparativos citados na pesquisa, sendo que X significa que está em desvantagem na comparação, enquanto V quer dizer que está em vantagem.

TABELA 1 – Aspectos a serem comparados

ASPECTOS A SEREM COMPARADOS	NATM	TBM
Ambiental e Social	X	V
Econômico	V	X
Tempo em mesma extensão	X	V
Condições do Maciço	V	V
Variação da seção	V	X

Fonte: do autor.

Apesar de existir divergências entre os métodos, é necessária uma avaliação precisa da obra, pois como ficou claro ambos os métodos possuem vantagens e desvantagens, comparados um ao outro. Fazendo com que a escolha seja feita através de uma análise que contenha as informações necessárias sobre os aspectos que envolvem o projeto.

“Qualidade tem preço (e a falta dela também!).”

Engenheiro Waldemar Hachich

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do presente estudo foi possível comparar os métodos, buscando ajudar no desenvolvimento acadêmico, facilitando e auxiliando em futuros estudos que possam ser aplicados e desenvolvidos sobre esses métodos.

A construção de túneis, como podemos observar, é algo que nos acompanha desde a pré-história, os nossos ancestrais já utilizavam de seus métodos de escavação para poder se abrigar e se defender, sendo que se mantinham mais seguros. Com o passar do tempo a engenharia foi se aperfeiçoando e com os avanços populacionais, os espaços subterrâneos se tornaram uma opção. A ligação entre dois pontos, sendo ela transporte de veículos, pessoas ou fluidos, permitiu e permite pensar em evoluções cada vez mais complexas e com menos impactos ambientais.

Sendo assim, atualmente no mercado existem diversos métodos construtivos de túneis, sendo que apresentamos a comparação de dois desses métodos, o NATM e o TBM, em aspectos ambientais, sociais, econômicos e estruturas de maciços.

O método NATM é um método que utiliza tanto serviço manual quanto de máquinas, um método que tem por base a escavação sequencial do maciço, ou seja, setorizando partes da escavação, sendo um importante aspecto positivo, trazendo a liberdade de construção, ou qualquer mudança que possa ter, pode até mesmo alterar a seção do túnel. Já o método TBM é método mecanizado, ou seja, uma tuneladora desenvolve e mecaniza todo o processo: a cabeça de corte é pressionada sobre o maciço através de macacos hidráulicos instalados na frente da máquina; as tuneladoras são máquinas enormes e já fabricadas especialmente para a seção projetada, isso não permite com que esses tipos de mudanças na seção possam acontecer, o que dá um ponto negativo em relação ao outro método comparado.

Hoje a engenharia está muito voltada à questão ambiental, das grandes construções até as menores, esse cuidado é crucial. Por este motivo trouxemos um comparativo socioambiental na construção de túneis, ressaltando que é muito usual a utilização de explosivos, dinamites, para retirar grandes rochas que estão no trajeto do túnel, o que traz custos sociais e ambientais para toda a população, vibrações, ruídos, trincas, rachaduras nas pavimentações próximas. O método TBM é considerado um sistema não-destrutivo, pois sua escavação acontece somente com a tuneladora, não utilizando dinamites e explosivos. Já o método NATM, pode utilizar-se de explosivos para a retirada de grandes rochas que são encontradas no caminho, apresentando então neste aspecto um ponto negativo em relação ao método TBM.

Não podemos deixar de lado um comparativo econômico, levamos em consideração que o método mecanizado, precisa utilizar-se de equipamentos complexos que compõem a tuneladora, isto torna o investimento inicial mais caro. Neste sentido trago um comparativo que tem uma relação à extensão do túnel: para o método NATM, concluiu-se que ele só se torna economicamente viável em túneis que são menores ou igual a 1600 metros de comprimento, pelo seu baixo custo e eficácia, enquanto o método TBM se torna economicamente viável em túneis acima de 3600 metros, ou seja, quanto maior a extensão melhor economicamente para o método. Sendo que entre essas distâncias de 1600 a 3600 metros, deve-se levar em conta itens como o canteiro de obras e o sistema de ventilação, que para o TBM deve ser maior, também deve analisar para o NATM o lençol freático, que neste caso deve ser feitas medidas preventivas como rebaixamento do mesmo, podendo encarecer a obra.

Por fim, neste sentido, evidencia-se a importância de sempre atualizar estes estudos sobre os métodos construtivos de túneis, tendo em vista a necessidade de analisar todos os passos da obra e todos os aspectos envolvidos antes da execução, para que assim seja escolhido o método mais favorável de acordo com todos os fatores, características e necessidades da obra em questão.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, G. **Túneis escavados em solo por máquina tuneladora: conceituação, comportamento do maciço e modelagem numérica.** 2017, São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3145/tde-21062017-132502/publico/GustavoAguiarCorr17.pdf>. Acesso em: 29 de novembro de 2020.
- ASSIS, L. C. M. de. **Túneis “NATM”- Controles e cuidados práticos para acompanhamento.** [2010?]. Disponível em: <https://bibliotecabibliografico.metrosp.com.br//asp/prima-pdf.asp?codigoMidia=40208&iIndexSrv=>. Acesso em: 01 de Outubro de 2020.
- FILHO, K. C. **Método construtivos para obras metroviárias subterrâneas.** 1978, São Paulo. Disponível em: <https://bibliotecabibliografico.metrosp.com.br//asp/prima-pdf.asp?codigoMidia=42471&iIndexSrv=1>. Acesso em: 13 de Setembro de 2020.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa.** Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- GUERRERO, B. M. **Comparação do desempenho dos métodos construtivos de túneis NATM e TBM com base nos deslocamentos provocados.** 2017, São Bernardo do Campo. Disponível em: <https://bibliotecabibliografico.metrosp.com.br//asp/primapdf.asp?codigoMidia=43552&iIndexSrv=1>. Acesso em: 22 de novembro de 2020.
- ISSA, A. C. Q.; VALERETTO, M. S.; BERTEQUINI, A. B. T. **Método de execução de túneis com tuneladora “shield”.** 2016. Disponível em: <http://www.unitoledo.br/repositorio/handle/7574/245>. Acesso em: 08 de junho de 2020.
- KUGUELLE, A. B. **Métodos construtivos no sistema metroviário de São Paulo - ênfase para o método da couraça – SHIELDS.** 2004. Disponível em: <https://docplayer.com.br/6565888-Metodos-construtivos-no-sistema-metroviario-de-saopaulo-enfase-para-o-metodo-da-couraca-shields.html>. Acesso em: 07 de junho de 2020.
- LIMA, V. B. de O. **Aplicação do método NATM na execução de túnel em rocha.** 2016. Universidade do Rio de Janeiro. Escola Politécnica. Rio de Janeiro.
- MARANGON, M. **Unidade 06 - Noções sobre escavações subterrâneas túneis.** 2007. Disponível em: https://docplayer.com.br/2382783-Unidade-06-noco-es-sobre-escavacoes-subterraneas-tuneis.html#show_full_text. Acesso em: 04 de junho de 2020.
- MASCARENHAS, A. M. **Estudo de caso: escavação e tratamento para emboque de túnel em rocha utilizando o método NATM - região portuária, centro do Rio de Janeiro/RJ.** 2014. Disponível em: http://guaralife.blogspot.com/2013/06/v-behaviorurldefaultvml_13.html. Acesso em: 16. Set. 2019.
- MENDONÇA, R. M. P. F. de. **Estudo da viabilidade de túneis viários em obras de infraestrutura.** 2017. Disponível em: <https://docplayer.com.br/6460811-Estudo-de-caso-escavacao-e-tratamento-para-emboque-de-tunel-em-rocha-utilizando-o-metodo-natm-regiao-portuaria-centro-do-rio-de-janeiro-rj.html>. Acesso em: 05 de junho de 2020.

MOREIRA, C. M. de C. **Túneis uma herança ancestral rumo ao futuro**. 2006. Disponível em: <https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/1886/1/92-115.pdf>. Acesso em: 06 de junho de 2020.

NORÔ, A. C. de M. **Análise de Construção de Túneis com Tuneladoras**. 2014, Coimbra. Disponível em: <https://eg.uc.pt/handle/10316/38661>. Acesso em: 22 de novembro de 2020.

PALERMO, G. **Concreto projetado como revestimento de túneis**. 1997, São Paulo. Disponível em: <https://bibliotecabibliografico.metrosp.com.br//asp/prima-pdf.asp?codigoMidia=42573&iIndexSrv=1>. Acesso em: 25 de Setembro de 2020.

PIZZANI, L.; SILVA, R. C. da.; BELLO S. F.; HAYASHI, M. C. P. I. (2012). **A arte da pesquisa bibliográfica na busca do conhecimento**. RDBCI: Revista Digital De Biblioteconomia E Ciência Da Informação, 10(2), 53-66. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/1896>>. Acesso em: 15 de novembro de 2020.

RODRIGUES, R.; GONÇALVES, J. C. **Procedimentos de metodologia científica**. 8. Ed. Lages: Editora Papervest, 2017.

ROCHA, H.C. **Panorama do Mercado Brasileiro de Túneis: Passado, Presente e Futuro**. 2012. Disponível em: www.ibracon.org.br/eventos/54cbc/Infra/ibracon_2012rev1hugo.pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br. Acesso em: 07 de junho de 2020.

SILVA, E. M. da. et al. **Orientação topográfica na escavação de túneis com tuneladora TBM SHIELD**. 2017, São Paulo. Disponível em: <https://bibliotecabibliografico.metrosp.com.br//asp/prima-pdf.asp?codigoMidia=43500&iIndexSrv=1>. Acesso em: 25 de Outubro de 2020.

TRAVAGIN, V. B. **Subsídios para escolha do método construtivo de túneis**. 2012, Curitiba. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/347/1/CT_PPGECC_M_Travagin%2C%20Vin%20Bernardino_2012.pdf. Acesso em: 05 de novembro de 2020.

TRICHÊS, L. E. de F. **Execução de túneis pelo método NATM: estudo de caso do túnel do morro agudo em Paulo Lopes-SC**. 2019, Palhoça. Disponível em: <https://www.riuni.unisul.br/handle/12345/8526>. Acesso em: 22 de novembro de 2020.

_____. **Túneis subterrâneos gigantes são descobertos em São Joaquim**. G1 Sc, 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2016/07/tuneis-subterraneos-gigantes-sao-descobertos-em-sao-joaquim.html>. Acesso em: 25 de setembro de 2020.