

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ALBERTO ZAMBISSA TECA PACA

**CONSTRUÇÃO DE TÚNEIS NOS ÚLTIMOS 40 ANOS NO BRASIL E ESTUDO
COMPARATIVO COM A CHINA**

Florianópolis
2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ALBERTO ZAMBISSA TECA PACA

**CONSTRUÇÃO DE TÚNEIS NOS ÚLTIMOS 40 ANOS NO BRASIL E ESTUDO
COMPARATIVO COM A CHINA**

Trabalho apresentado como requisito parcial para
Obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação
em Engenharia Civil do Centro tecnológico de
Florianópolis.

Orientador: Dr. Marcos Aurélio Marques Noronha

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Paca, Alberto Zambissa Teca
Construção de túneis nos últimos 40 anos no Brasil e
estudo comparativo com a China. / Alberto Zambissa Teca
Paca ; orientador, Marcos Aurélio Marques Noronha, 2020.
169 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Engenharia de túneis. 3.
Infraestrutura. 4. TBM (Tunnel Boring Machine). 5. NATM
(New Austrian Tunneling Method). I. Noronha, Marcos
Aurélio Marques . II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ALBERTO ZAMBISSA TECA PACA

**CONSTRUÇÃO DE TÚNEIS NOS ÚLTIMOS 40 ANOS NO BRASIL E ESTUDO
COMPARATIVO COM A CHINA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e adequado para obtenção do Título de bacharel em Engenharia Civil, e aprovado em sua forma final pela comissão examinadora e pelo curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.

Florianópolis, 14 de maio de 2020

Prof. Luciane Rohde, Dra.

Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Marcos Aurélio Marques Noronha, Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.

Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Civil. Rafael Elizeu Beltrão de Azevedo

Avaliador

Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais e toda minha família.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus pela proteção e pelos livramentos me dado durante o processo de graduação.

Aos meus pais, Simão Alberto e Maria Lueta, pelo apoio financeiro e emocional durante todo o período da graduação.

Às minhas irmãs, Guiguina, Helezescky e Maluzzy pelas palavras de força e apoio quando precisei.

Ao professor orientador Marcos Aurélio Marques Noronha por ter aceitado o convite e ter me dado todo apoio para elaboração deste trabalho de conclusão.

Aos colegas dos tempos de Joinville principalmente ao Fernando e Luana pela parceria e aos momentos de desconcentração.

Aos colegas do estágio obrigatório realizado na Paraná Edificações-PRED pelo aprendizado.

A todos aqueles que me apoiaram em orações, comunidade AVIVAR.

Aos colegas de estágio obrigatório realizado na Construção Padilha pelo aprendizado e apoio.

À Francine pelo apoio nos momentos finais deste curso e pelo companheirismo.

Por fim quero agradecer aos bons professores que eu tive no intercâmbio de mobilidade acadêmica realizado na UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR e aos bons professores da UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC que contribuíram na minha vida acadêmica.

RESUMO

Os túneis estão presentes na sociedade desde as civilizações mais antigas. No passado remoto, essas obras eram construídas manualmente e com equipamentos rudimentares, onde motivações religiosas muitas vezes estavam associadas às primeiras construções. Contudo com o passar dos anos essas obras subterrâneas adaptaram-se há diversas utilidades, como para o transporte ferroviário, rodoviário, metroviário ou para sistemas de saneamento. Em países desenvolvidos as infraestruturas tuneleiras são soluções comumente utilizadas para o desenvolvimento da sociedade contemporânea. Já em países em desenvolvimento a infraestrutura tuneleira é ainda precária. No Brasil com o advento, dos métodos TBM e NATM, verificou-se um grande aumento de obras de túneis entre 1979 e 2019. Porém, verificou-se um desenvolvimento muito maior nesse mesmo período na China, que vai de país pobre e rural à potência econômica atual graças às diversas técnicas utilizadas da Engenharia de Túneis. O presente trabalho tem a finalidade de levantar dados detalhados acerca de obras de túneis no Brasil e compará-lo com o caso China apresentando solução para os problemas de infraestruturas do Brasil.

Palavras – chave: Engenharia de Túneis, Infraestrutura, TBM, NATM.

ABSTRACT

Tunnels have been present in society since the earliest civilizations. In the remote past, these works were built manually and with rudimentary equipment, where religious motivations were often associated with the first constructions. However, over the years, these underground works have been adapted for several uses, such as for rail, road, subway or sanitation systems. In developed countries, tunneling infrastructures are solutions commonly used for the development of contemporary society. In developing countries, tunneling infrastructure is still precarious. In Brazil, with the advent of the TBM and NATM methods, there was a great increase in the construction of tunnels between 1979 and 2019. However, there was a much greater development in that same period in China, which goes from a poor and rural country to current economic power thanks to the various techniques used in Tunnel Engineering. The present work has the purpose of gathering detailed data about tunnel works in Brazil and comparing it with the case of China, presenting a solution to Brazil's infrastructure problems.

Keywords: Tunnel Engineering, Infrastructure, TBM, NATM

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Túnel ferroviário.....	25
Figura 2.2. Túnel rodoviário (São Bernardino).....	26
Figura 2.3. Túnel metroviário	26
Figura 2.4. Túnel subaquático (Veluwemeer; Harderwijk- Holanda).....	27
Figura 2.5. Sistema de transposição cursos d'água para abastecimento	27
Figura 2.6. Coletor de esgoto	28
Figura 2.7. Reservatório túnel da Sabesp	28
Figura 2.8. Túnel de passagem- ‘‘Toca da onça’’	29
Figura 2.9. Métodos construtivos	32
Figura 2.10. Sequencia executiva típica do método NATM.....	35
Figura 2.11. Processo construtivo NATM - Túnel Bellevue	36
Figura 2.12. Desmonte mecânico Drill & Blast.....	36
Figura 2.13. Formas possíveis para tunnel liner, além de a forma circular.	37
Figura 2.14. Chapas metálicas corrugadas.....	38
Figura 2.15. Chapas metálicas corrugadas eco túneis	39
Figura 2.16. Método construtivo túnel liner	40
Figura 2.17. Montagem da estrutura de chapa corrugada.....	40
Figura 2.18. Plano de fogo.....	41
Figura 2.19. O ciclo típico de escavação por detonação	42
Figura 2.20 Sequência da construção de baixo para cima a céu aberto	44
Figura 2.21. Sequencia da construção de cima para baixo a céu aberto	45
Figura 2.22: Escavadeira de esteira	46
Figura 2.23. Retroescavadeira.....	47
Figura 2.24. Valetadeira sobre esteiras com lança de escavação (grande dimensão).	47
Figura 2.25. Valetadeira sobre esteiras com lança de escavação (pequena dimensão).	48
Figura 2.26. Montagem da tuneladora no fundo do poço de entrada.	49
Figura 2.27. Principais elementos do sistema pipe jacking	50
Figura 2.28. Cilindros de avanço do sistema pipe jacking	50
Figura 2.29. Fonte: etapas construtivas	51
Figura 2.30. Pipe jacking	52

Figura 2.31. Primeira TBM moderna	53
Figura 2.32. Primeira TBM moderna construída pela empresa Robbins em 1952	53
Figura 2.33. Corte longitudinal de uma tuneladora.....	54
Figura 2.34. Couraça de frente aberta.....	56
Figura 2.35. Esquema tridimensional de uma open TBM	57
Figura 2.36. Tuneladora de frente aberta com ar comprimido.....	58
Figura 2.37: Equilíbrio das pressões na frente do “Shields” e transporte do material escavado.	59
Figura 2.38. Esquema tridimensional de uma tuneladora EPB.....	59
Figura 2.39. Visão geral da máquina de face slurry	61
Figura 2.40. Principais fabricantes de TBMs no mundo	62
Figura 2.41. Mecanização - custos diretos e indiretos.....	66
Figura 3.1. Localização do Brasil no Mundo	67
Figura 3.2. Localização do Brasil e sua vizinhança	68
Figura 3.3. Mapa dos pontos extremos do Brasil	69
Figura 3.4. Relevo do Brasil	70
Figura 3.5. Mapa climático do Brasil de acordo com a classificação climática de Köppen	71
Figuras 3.6. Os diferentes biomas do Brasil	72
Figura 3.7. Mapa de densidade populacional do Brasil.....	73
Figura 3.8. As maiores metrópoles brasileira	74
Figura 3.9. As cinco grandes regiões.....	76
Figura 3.10. Subdivisão e Estados brasileiros.....	77
Figura 3.11. Os 34 principais portos no Brasil 2008 a 2010	79
Figura 3.12. Porto de Santos – Mais movimentado da América Latina	79
Figura 3.13. Primeiro túnel ferroviário do Brasil.....	80
Figura 3.14. Visita do imperador D. Pedro II ao vazamento do túnel grande	81
Figura 3.15. Maior túnel ferroviário - túnel da Mantiqueira - túnel ferrovia do aço	82
Figura 3.16. Maior túnel rodoviário - Túnel Prefeito Marcello Alencar	84
Figura 3.17. Linha 1- metrô do Rio de Janeiro	91
Figura 3.18. Localização da travessia entre Santos e Guarujá.....	93
Figura 3.19. Localização do projeto de túnel e seus arredores	94
Figura 3.20. Restrições portuárias: gabarito de navegação	95

Figura 3.21. Restrições aeroportuárias	95
Figura 3.22. Opções construtivas	96
Figura 3.23. Apresentação do mapa da rede	97
Figura 3.24. Linhas e estações	98
Figura 3.25. Posição Relativa do Túnel.....	98
Figura 3.26. TBM Metrofor	99
Figura 3.27. Estrutura básica de tuneladora existentes.....	100
Figura 3.28. As três inovações da tuneladora	101
Figura 3.29. Apresenta corte lateral da Brabo e seus sistemas de funcionamento.....	101
Figura 4.1. China no Mundo	104
Figura 4.2. Localização da China e sua vizinhança	105
Figura 4.3. Mapa dos pontos extremos da China	106
Figura 4.4. Relevo da China	107
Figura 4.5. Clima da China	108
Figura 4.6. As diferentes paisagens da China	109
Figura 4.7. Mapa de densidade populacional da China	110
Figura 4.8. Algumas das maiores metrópoles chinesa	111
Figura 4.9. As grandes regiões administrativas e as províncias da China	112
Figura 4.10. Porto de Shanghai – o mais movimentado do mundo	115
Figura 4.11. Principais portos da China	116
Figura 4.12. Mapa de localização túnel Shiqiuling	117
Figura 4.13. Túnel Shiqiuling	117
Figura 4.14. Mapa de localização New Guanjiao Tunnel	119
Figura 4.15. Maior túnel ferroviário da China – New Guanjiao tunnel	119
Figura 4.16. Mapa de localização túnel Zhongnashan	126
Figura 4.17. Túnel Zhongnanshan.....	127
Figura 4.18. Inauguração do primeiro metrô da China.....	133
Figura 4.19. Abertura da trincheira	136
Figura 4.20. Construção dos elementos em doca seca	136
Figura 4.21. Flutuação dos elementos	137
Figura 4.22. Transporte dos elementos.....	137
Figura 4.23. Submersão dos elementos	138

Figura 4.24. Detalhe de sedação dos elementos.....	138
Figura 4.25. Preenchimento lateral e sobre o túnel	139
Figura 4.26. Mapa Guangzhou - Dongguan.....	142
Figura 4.27. Futuro túnel imerso	143
Figura 5.1. Mapa-múndi destacando Brasil e China	146

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1. Seção Típica de túneis	30
Quadro 2.2. Método construtivo x seção típica de túnel	31
Quadro 2.3. Desempenho entre tuneladoras	63
Quadro 3.1. As 10 maiores metrópoles do Brasil	74
Quadro 3.2. Estados brasileiros e suas capitais.....	77
Quadro 3.3. Túnel ferroviário	82
Quadro 3.4. Túneis rodoviários de 1979 a 2019	85
Quadro 3.5. Túnel metroviário	91
Quadro 3.6. Números totais no Brasil catalogado pelo autor	102
Quadro 3.7. Os 10 maiores túneis do Brasil	103
Quadro 4.1. As 10 maiores metrópoles da China.....	111
Quadro 4.2. Regiões administrativas da China.	113
Quadro 4.3. Principais túneis ferroviários da China.....	120
Quadro 4.4. Túneis rodoviários construídos 1979 a 2019 e com comprimento > 5.000 m....	128
Quadro 4.5. Túneis metroviários da China.	133
Quadro 4.6. Túneis imersos da China.....	140
Quadro 4.7. Número e extensão dos túneis construídos na China nos últimos 40 anos	144
Quadro 4.8. Os 10 Maiores túneis da China método construtivo, topografia do terreno.	145

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1. Evolução da expansão de túnel ferroviário Brasil	83
Gráfico 3.2. Evolução da expansão de túnel rodoviário do Brasil.....	89
Gráfico 3.3. Evolução da expansão de túnel metroviário do Brasil.....	92
Gráfico 4.1. Evolução de alguns túneis ferroviário da China	125
Gráfico 4.2. Apresenta a evolução de alguns túneis rodoviários da China	132
Gráfico 4.3. Expansão de alguns túneis metroviário da China	134
Gráfico 4.4. Evolução da expansão dos túneis imersos da China	140
Gráfico 5.1. Extensão território Brasil e China.....	147
Gráfico 5.2. Evolução do crescimento da população chinesa e brasileira de 1979 a 2019	148
Gráfico 5.3. Densidade populacional por km China e Brasil	148
Gráfico 5.4. Porcentagem da população urbana China e Brasil.....	149
Gráfico 5.5. Evolução do crescimento do PIB Brasil e China	149
Gráfico 5.6. Crescimento anual China e Brasil.....	150
Gráfico 5.7. Investimentos interno PIB China e Brasil	151
Gráfico 5.8. Comparativo de extensões de tuneis ferroviários China e Brasil.	152
Gráfico 5.9. Comparativo de quantidade e extensão de túneis rodoviários entre China e Brasil.	153
Gráfico 5.10. Comparativo metroviário de quantidade e extensão de túneis China e Brasil.	154
Gráfico 5.11. Comparativo túnel imerso de quantidade e extensão de túneis China e Brasil.	155
Gráfico 5.12 apresenta a quantidade de túneis construídos entre 1979 a 2019 na China e no Brasil.....	155

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABMES	Associação Brasileiro de Mantenedoras de Ensino Superior
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEAS	Associação de Engenheiros e Arquitetos de Santos
CBC	Congresso Brasileiro de Concreto
COBRAMSEG	Congresso Brasileiro de Mecânico dos Solos e Engenharia Geotécnica
CBT	Comitê Brasileiro de Túnel
CONIC	Congresso Nacional de Iniciação Científica
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
CPT	Comitê Português de Túnel
DERSA	Desenvolvimento Rodoviário S/A
EM	Escavação Manual
ENAFRON	Estratégia Nacional de Segurança Pública nas Fronteiras
EPB	Earth Pressure Balance
FHA	Federal Highway Administration
ITA	International Tunnelling and Underground Space Association
NATM	New Austrian Tunnelling Method
PJ	Pipe Jacking
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEINFRA	Secretaria da Infraestrutura
SEMESP	Secretaria de Modalidades Especializadas de Educação
SFM	Slurry Face Machines
TBM	Tunnel Boring Machines
VCA	Vala a Céu Aberto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1. Breve histórico acerca do tema.....	19
1.2. OBJETIVOS.....	20
1.2.1. Objetivo Geral.....	20
1.2.2. Objetivos específicos.....	20
1.3. JUSTIFICATIVA.....	20
1.4. METODOLOGIA APLICADA.....	21
1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1. Investigações e descrição das condições geológicas e geotécnicas.....	23
2.2. Aspectos Sobre Túneis.....	24
2.2.1. Classificações de túneis.....	25
2.2.2. Forma de seção de túnel.....	29
2.2.3. Métodos construtivos.....	31
2.3. MÉTODOS NÃO MECANIZADOS - NÃO DESTRUTIVOS (MND).....	33
2.3.1. Escavação Sequencial (<i>New Austrian Tunneling Method</i>).....	33
2.3.1.1. Processo construtivo.....	34
2.3.2. <i>Tunnel liner</i>	37
2.3.3. Escavação a fogo ou <i>drilling and blasting</i>	41
2.4. MÉTODOS NÃO MECANIZADOS – DESTRUTIVOS.....	43
2.4.1. Vala a Céu Aberto (VCA).....	43
2.4.1.1. Métodos de construção.....	44
2.5. MÉTODOS MECANIZADOS.....	48
2.5.1. <i>Pipe jacking</i> (PJ).....	49
2.5.1.1. Técnica de construção <i>Pipe Jacking</i>	51
2.5.2 Máquinas Tuneladoras (TBM - Tunnel Boring Machine).....	52
2.6.1. Escolha dos Tipos de <i>TBMs</i>	55
2.6.1.1. Principais tipos de máquinas <i>TBM</i>	55
2.6.2 Visão geral das máquinas <i>TBMs</i>	61
2.7. COMPARAÇÕES DE DESEMPENHO ENTRE MÉTODOS CONSTRUTIVOS.....	63
2.7.1. Custo entre métodos mecanizados x convencionais.....	66

3. TÚNEIS NO BRASIL	67
3.1. Localização do Brasil	67
3.2. TERRITÓRIO DO BRASIL	68
3.3. RELEVO DO BRASIL	69
3.3.1. Clima e meio ambiente do Brasil	70
3.4. POPULAÇÃO DO BRASIL	72
3.4.1. Composição étnica do Brasil	73
3.4.2. Maiores Metrôpoles do Brasil.....	74
3.5. GOVERNO E POLÍTICA.....	75
3.6. DIVISÃO ADMINISTRATIVA DO BRASIL	76
3.7. INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES NO BRASIL	78
3.8. TÚNEIS FERROVIÁRIOS	80
3.8.1. Extensão de Túneis ferroviários.....	81
3.8.2. Expansão de túneis ferroviários	82
3.9. TÚNEIS RODOVIÁRIOS	83
3.9.1. Extensão túneis rodoviários de 1979 a 2019	83
3.9.2. Expansão da rede de túneis rodoviários	89
3.10. TÚNEIS METROVIÁRIOS.....	90
3.10.1. Expansão da rede de túneis metroviários.....	91
3.11. TÚNEL IMERSO – EM PROJETO	92
3.11.1. Projeto de travessia.....	94
3.12. EXEMPLO DE TÚNEL EM CONSTRUÇÃO NO BRASIL	96
3.12.1. Proposta da Linha Leste Metro Fortaleza	97
3.12.2. Tuneladora da Linha Leste Metro Fortaleza	99
3.13. INOVAÇÃO DE TUNELADORA BRASILEIRA.....	99
3.13.1. BRABO (<i>Brazilian borer</i> ou perfuradora brasileira)	100
3.13.2. Modelo proposto da tuneladora BraBo.....	100
3.14. NÚMEROS TOTAIS DE TÚNEIS NO BRASIL ENTRE 1979 E 2019.....	102
4. TÚNEIS NA CHINA.....	104
4.1. Localização da China	104
4.2. TERRITÓRIO DA CHINA.....	105
4.3. RELEVO DA CHINA	106
4.3.1. Clima e meio ambiente da China	107
4.4. POPULAÇÃO DA CHINA	109

4.4.1. Composição étnica da China.....	110
4.4.2. Maiores metrópoles da China	111
4.5. GOVERNO E POLÍTICA.....	111
4.6. DIVISÃO ADMINISTRATIVA DA CHINA	112
4.7. INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE NA CHINA	114
4.8. TÚNEIS FERROVIÁRIOS	116
4.8.1. Extensão de túneis ferroviários.....	118
4.8.2. Expansão de túneis ferroviários	125
4.9. TÚNEIS RODOVIÁRIOS.....	125
4.9.1. Extensão túneis rodoviários de 1979 a 2019	127
4.9.2. Expansão da rede de túneis rodoviários	132
4.10. TÚNEIS METROVIÁRIOS.....	132
4.10.1. Extensão da rede de metroviários.....	133
4.10.2. Expansão da rede de túneis metroviários.....	134
4.11. TÚNEL IMERSO	135
4.11.1. Método construtivo.....	135
4.11.2. Extensão da rede de túneis imersos na China	140
4.11.3. Expansão da rede de túneis imersos na China	140
4.12. TÚNEIS EM CONSTRUÇÃO NA CHINA	142
4.13. NÚMEROS TOTAIS DE TÚNEIS NA CHINA ENTRE 1979 E 2019	143
5. COMPARAÇÃO DA EVOLUÇÃO DOS TÚNEIS ENTRE BRASIL E CHINA	146
5.1. Comparação entre Brasil e China.....	146
5.1. Território brasileiro e chinês.....	146
5.2. População Brasil e China.....	147
5.3. Economia e PIB brasileiro e chinês	149
5.4. Túneis ferroviários	151
5.5. Túneis rodoviários.....	152
5.6. Túneis metroviários.....	153
5.7. Túneis subaquáticos	154
6. CONCLUSÃO	156
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158

1. INTRODUÇÃO

1.1. Breve histórico acerca do tema

De acordo com Balasubramanian (2017), o túnel é uma passagem subterrânea construída artificialmente cujo objetivo é contornar obstáculos com segurança sem interferir ou perturbar na vida e no tráfego da superfície.

Estas estruturas podem ser construídas a céu aberto (valas) ou de forma subterrânea e estão presentes na história da humanidade. Como defendido por Moreira (2006), acredita-se que as motivações religiosas estavam associadas às primeiras construções datadas do Neolítico.

Com o decorrer do tempo essas obras foram-se adaptando a outros propósitos mais usuais, tais como transporte (ferroviários, metroviários, rodoviários, passagem de pedestre), energia (transposição de cursos d'água, desvio de rios e adução para geração de energia), saneamento (transposição de cursos d'água para abastecimento, irrigação e coletoras de esgoto), armazenamento (estocagem de lixo nuclear), mineração e lazer.

A indústria tuneleira brasileira começou a se desenvolver na segunda metade do século XIX, mesmo antes do advento de dinamite, para a escavação de túneis em rocha. Nessa fase, apenas três séculos após o início da colonização portuguesa e apenas algumas décadas após a independência, todo o trabalho era planejado e conduzido por engenheiros estrangeiros. (ROCHA, 2012, *apud* MASCARENHAS, 2014, v.3, p.2).

Segundo Doglia (2011), por volta de 1937 a China vivia uma hostilidade com o Japão no episódio que ficou conhecido como guerra Sino-japonesa¹. Os aldeões chineses cavavam covas e construíram porões com objetivo de evitar perseguição dos soldados japoneses. Devidas às intensas investidas nipônicas, os chineses tiveram que desenvolver outras técnicas de construção de túneis para sua sobrevivência. Uma das técnicas mais inovadoras criada naquela época eram os túneis que conectavam uma aldeia a outra para a fuga dos camponeses chineses. Tais túneis também eram construídos com métodos rudimentares se comparado com as técnicas atuais.

¹Historicamente a relação sino-japonesa passou por diversas fases de extrema aproximação e distanciamento. A guerra sino-japonesa foi o resultado de uma política - imperialista japonesa para expandir sua influência política e militarmente, a fim de garantir o acesso às reservas de matérias-primas, alimentos e trabalho. (SOUZA, 2019).

Com o advento de modernas técnicas de construção de túneis na década de 1960, principalmente a NATM (*New Austrian Tunneling Method*) e a TBM (*Tunnel Boring Machine*), e com o crescimento da demanda por infraestrutura subterrânea, observou-se um forte aumento no número de obras de túneis no mundo inteiro nos últimos 40 anos.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como finalidade coletar dados e fazer levantamento das obras e projetos de túneis dos últimos 40 anos no Brasil, e realizar um estudo comparativo com o mesmo tipo de obras na China durante o mesmo período.

1.2.2. Objetivos específicos

Para que seja atendido o Objetivo Geral desta pesquisa, foram estabelecidos seis objetivos específicos, visando responder o preconizado nesta pesquisa:

- i Realizar uma revisão bibliográfica sobre o assunto;
- ii Identificar características do ambiente sócio-político do Brasil e da China;
- iii Identificar e Coletar dados sobre obras de túneis no Brasil e na China;
- iv Compilar e classificar as obras de túneis encontradas;
- v Realizar estudo comparativo de evolução dessas obras no Brasil e na China;
- vi Efetuar análise crítica dos resultados.

1.3. JUSTIFICATIVA

Este estudo tem por finalidade realizar um levantamento detalhado com máximas informações possíveis acerca de túneis construídos entre 1979 a 2019 no Brasil e, em sequência, compará-lo à realidade chinesa.

A presente Tese de Conclusão de Curso selecionou a comparação entre Brasil e China, pois ambos os países estão entre as principais economias em desenvolvimento, além de encontrarem-se na lista dos cinco maiores do mundo em termos populacionais, possuírem dimensões territoriais e apresentarem elevados índices de desigualdades socioeconômicas. O Brasil possui uma das piores distribuições de renda nacional do planeta, já a China caracteriza-se por grandes disparidades entre as áreas rurais e urbanas. (VILLELA, 2004).

Na década de 70, a China iniciou um desenvolvimento econômico, realizada após a morte de Mao Tsé-Tung. A economia chinesa crescia rapidamente, pois seu mercado interno era voltado à exportação. Nessa mesma época, o Brasil vivia o chamado “milagre econômico”, promovido durante a ditadura militar. Ambos os países apresentavam crescimento econômico superior a 10 % do PIB e, conseqüentemente uma melhor qualidade de vida das suas populações.

Devido à alta projeção de investimento da infraestrutura chinesa, verificou-se que no mesmo período o Brasil não investiu tanto quanto a China. A China atualmente é o país com maior índice de investimento em infraestrutura do mundo.

A comparação entre ambos os países é importante para trazer à tona a defasagem do setor de infraestrutura subterrânea no Brasil, sendo que os dois países são comparáveis em termos de dimensões, economias complexas e de demandas por infraestrutura.

1.4. METODOLOGIA APLICADA

Para a construção desse trabalho, foram utilizadas fontes de livros, manuais técnicos de empresas, teses de graduações, mestrados, doutorados, e pesquisas realizadas pela *internet*, sobre túneis executados desde a década de 1970 no Brasil e na China.

A atividade foi elaborada sob a supervisão do orientador Marcos Aurélio Marques Noronha, Professor adjunto da Universidade Federal de Santa Catarina com larga experiência na área de Engenharia de Túneis. O professor Noronha atua principalmente nos temas acerca de: sondas de perfuração, máquinas tuneladoras, obras subterrâneas, infraestrutura subterrânea de transportes e métodos construtivos inovadores, tal como *BraBo* (*Brazilian Borer* ou Perfuradora Brasileira).

1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos, dos quais o capítulo 1 traz introdução, objetivo geral, objetivos específicos, justificativa, metodologia aplicada e organização do trabalho.

O segundo capítulo apresenta um breve histórico sobre investigações e descrições das condições geológicas e geotécnicas de obras de túneis, aspectos, classificações, formas e métodos construtivos de túneis. Também, neste mesmo capítulo estão apresentados métodos não mecanizados, tais como Escavação sequencial, *tunnel liner*, Escavação a fogo, Vala a céu

aberto. E, por fim, são apresentados métodos mecanizados tais como *pipe jacking* e tuneladoras, além de comparações de desempenho entre esses métodos.

O terceiro capítulo traz um histórico sobre o Brasil, descrevendo a localização, a etimologia da palavra Brasil, o território, a população, o governo e política, divisão administrativa, a economia e PIB, a infraestrutura, túneis ferroviários, rodoviários, metroviários, imerso, túneis em construção, inovação tuneladora, e números totais de túneis.

O quarto capítulo expõe um histórico sobre a China, descrevendo a localização, a etimologia da palavra China, o território, a população, o governo e política, divisão administrativa, a economia e PIB, a infraestrutura, túneis ferroviários, rodoviários, metroviários, imerso, túneis em construção, e números totais de túneis.

O quinto capítulo apresenta uma comparação de evolução das obras de túneis entre o Brasil e a China.

O sexto capítulo apresenta a conclusão acerca do Trabalho de Conclusão de Curso.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica acerca de escavações tuneleiras, classificações geomecânicas e métodos construtivos. Os principais assuntos citados farão referência a aplicação dos conceitos, principalmente no que diz respeito às escavações pelos métodos *NATM (New Austrian Tunneling Method)*, *Tunnel liner*, *Drill and Blast*, *Cut and Cover*, *Pipe jacking* e *TBM (Tunnel Boring Machine)*. Esses métodos são apresentados de forma resumida no presente capítulo.

2.1. Investigações e descrição das condições geológicas e geotécnicas

Como em qualquer outra construção de obras geotécnicas, nas obras de túneis o planejamento em conjunto dos estudos geológicos, geotécnicos e hidrológicos, é preponderante para o sucesso do projeto final.

As investigações geológicas devem ser realizadas, planejadas e supervisionadas com antecedência por experientes Engenheiros Geólogos com estreita cooperação com os engenheiros de projeto e o proprietário. A elaboração do modelo geotécnico é de responsabilidade do Engenheiro Geólogo. (ITA, 2009).

A origem de todos os dados geológico-geotécnicos deve ser documentada de forma clara, abrangente e objetiva. Segundo ITA (2009) no documento do modelo geotécnico devem estar contidos: testes de campo ou laboratoriais, referências da literatura técnica, valores empíricos, e estimativas dos resultados dos parâmetros geomecânicos.

As investigações no terreno para um projeto de túneis devem conter os meios e métodos adequados para o planejamento, projeto e construção do túnel, instalações auxiliares, além de prever perigos (descontinuidades, ocorrência de gás e água) e apresentar medidas para reduzir e gerenciar riscos referentes à escavação. O planejamento também deve conter cronograma e estimativa de custos. Na engenharia de túneis, mais do que em outras obras geotécnicas, as tecnologias construtivas dependem e variam fortemente em função das características dos solos e das rochas.

O objetivo principal dos estudos hidrogeológicos em obras subterrâneas é avaliar os fluxos que se direcionam ao túnel e as pressões hidráulicas que serão geradas no entorno do revestimento. (SOUZA, 2012).

Assim, também deve ser considerado o efeito da hidrogeologia em obras de túneis, devido às alterações do fluxo freático em torno do túnel e o eventual influxo de água no mesmo. Os seguintes efeitos devem ser descritos nos estudos hidrogeológicos: influxos de água subterrânea na escavação durante a construção da obra, alteração da vida útil da obra devido a pressão, agressividade química, tipo de circulação (poros, descontinuidade), direção do fluxo da água, etc. (ITA, 2009).

Ainda, segundo Souza (2012), durante a construção de um túnel é essencial realizar investigações complementares do subsolo e da caracterização do terreno durante a construção. Dentre as investigações complementares destacam-se tanto a avaliação das condições do terreno quanto das águas subterrâneas no entorno do túnel. Permite-se assim avaliar a resposta do maciço escavado, das estruturas existentes, das instalações auxiliares de escavação e também as condições do lençol freático.

Nesta etapa de investigações, também podem ser obtidas informações para incluir no projeto estruturas temporárias importantes, evitando anomalias e imprevistos durante a construção. Além disto, o registro das condições de solo e da hidrogeologia fornecem embasamento para qualquer ajuste de custos devido às diferentes condições locais. Por fim, estas investigações são importantes para melhor ajustar os sistemas de suporte e apoio inicial a serem instalados, e os locais e momentos das suas instalações.

2.2. Aspectos Sobre Túneis

Na Engenharia Civil, as obras de arte especiais são aquelas que pertencem ao conjunto de itens da infraestrutura ferroviária, rodoviária, metroviária correspondentes às pontes, aos viadutos e aos túneis. Estas obras são realizadas de modo a realizar a transposição de uma via perante cruzamentos, interseções, obstáculos e desníveis do solo (declives íngremes). (BRASIL FERROVIÁRIO, 2013).

Os túneis destacam-se como as mais impressionantes e complexas obras de arte especiais da Engenharia Civil. Segundo Chapman, Metje e Stark (2010), os túneis são diferentes de quaisquer outras estruturas de engenharia civil devido às suas características singulares. Ainda de acordo com CPT (cap. 14, 2014), “os túneis são grandes obras de engenharia que atravessam materiais naturais com grande diversidade geológica, geotécnica e hidrológica e que têm a particularidade de obrigar a lidar com um grau de desconhecimento muito significativo das ações que a obra terá que suportar”.

Os túneis aproximam pessoas, encurtam distâncias, transpassam obstáculos, facilitam os transportes públicos nos grandes centros urbanos, melhoram a qualidade de vida, distribuem água potável e recolhem as águas sujas, potenciam o aproveitamento da energia hídrica, transportam a água para irrigação e para o consumo humano, permitem a ocupação do espaço subterrâneo para as mais diversas utilizações e a exploração dos recursos naturais. (CPT, 2014).

Conforme Brito *et al.* (2016), os túneis consistem em obras destinadas ao transporte e tráfego (ferroviários, rodoviários, metropolitanos, passagem de pedestres, etc.), para utilidades públicas (centrais de energia elétrica, aquedutos, esgotos, cabos elétricos, etc.).

2.2.1. Classificações de túneis

Os túneis podem ser classificados de diversas formas como, por exemplo, de acordo com a sua finalidade, condição geológica ou forma de seção transversal. Quanto à utilidade, Melâneo (2014 *apud* Trichês, 2019) diz que os túneis podem ser classificados em:

- Túneis de Infraestrutura de Transportes: são aqueles utilizados para transporte direto entre dois lugares separados por grandes obstáculos, como montanhas, colinas, corpos d'água ou até mesmo áreas densamente povoadas nas cidades metropolitanas. As figuras 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4 ilustram estes casos.

Figura 2.1. Túnel ferroviário



Fonte: (Pikist)

Figura 2.2. Túnel rodoviário (São Bernardino)



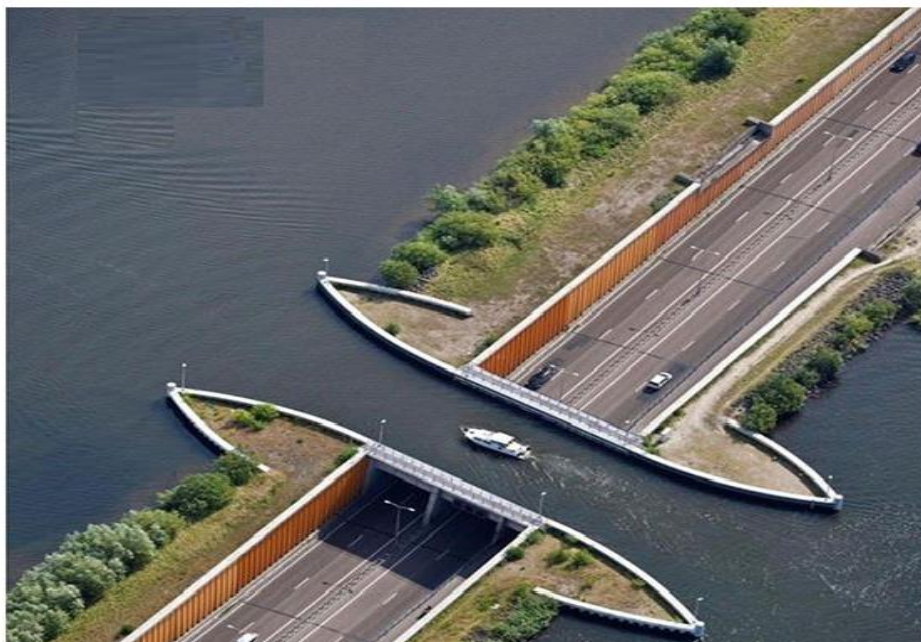
Fonte: (Dw Brasil)

Figura 2.3. Túnel metroviário



Fonte: (O dia)

Figura 2.4. Túnel subaquático (Veluwemeer; Harderwijk- Holanda)



Fonte: (Construção civil)

- Túneis Hidráulicos ou de Adução: esses túneis são para fins específicos de transposição de cursos d'água para abastecimento, irrigação, coletores de esgoto, etc. as figuras 2.5 e 2.6 ilustram dois túneis deste tipo.

Figura 2.5. Sistema de transposição cursos d'água para abastecimento



Fonte: (Compesa)

Figura 2.6. Coletor de esgoto



Fonte: (Gazeta da Mooca)

- Galerias de Armazenamento: são aquelas estruturas subterrâneas utilizadas para estocagem de resíduos radioativos, químicos, água dentre outros (Fig. 2.7).

Figura 2.7. Reservatório túnel da Sabesp



Fonte: (Sabesp)

- Passagem Inferior: tipo de túnel de tráfego específico para passagem de pedestres e ciclista sob o eixo da via superior (Fig. 2.8).

Figura 2.8. Túnel de passagem- “Toca da onça”



Fonte: (Mural)

2.2.2. Forma de seção de túnel

Melâneo (2014), afirma que os túneis podem ser classificados, de acordo com a sua seção transversal, sendo os formatos mais comuns: Circular, Ferradura, Oval e Retangular, como apresentado na Figura 2.9.

O Túnel com seção do tipo ferradura geralmente é empregado no transporte ferroviário devido às dimensões do trem. (SOUZA, 2012).





A seção típica de um túnel depende de fatores como as condições do solo, as condições da água subterrânea, o comprimento, diâmetro e profundidade do túnel, a logística de suporte da escavação, o uso final e a gestão de risco apropriada. (BALASUBRAMANIAN, 2014). O Quadro 2.1 apresenta uma relação entre os quatro principais tipo de seção (retangular, circular, ferradura e elíptica) e os métodos construtivos e os maciços mais indicados para cada uma delas.

A forma e o tamanho da seção transversal também dependem tanto das condições do solo quanto das respectivas medidas de apoio necessárias na fase de construção (suporte de

túnel) e na fase de serviço (suporte permanente). Zonas de rocha fraca ou solos seções ovaladas cuja forma pode ser composta por ferradura incluindo arco invertido. (ITA, 2019).

Para os túneis destinados ao transporte rodoviário, o formato da seção transversal é normalmente retangular, circular ou elíptico, dependendo principalmente do método construtivo e do volume de tráfego (número de pistas e tipo de veículos). Túneis construídos pelo método *Cut-and-Cover* (falso túnel) tendem a possuir seção tipo retangular, enquanto aqueles que adotam a técnica do NATM ou de perfuração e detonação, no caso de túneis em rocha, costumam apresentar formato circular ou elíptico. Já os escavados por máquinas tuneladoras (TBM) terão o formato da frente da máquina, que geralmente é circular. (SOUZA, 2012, p.168).

Quadro 2.1. Seção Típica de túneis

Seção	Método construtivo	Maciço	Forma
Retângulo	Túnel submerso	Rocha dura	
Circular	Tuneladora	Solo ou Rocha dura	
Ferradura	Perfuração e Detonação	Rocha dura	
Elíptica	Método de Escavação Sequencial	Qualquer tipo de solo	

Fonte: (Autor)

Ainda, conforme *Federal Highway Administration* (2015), dentre os métodos mais comuns de construção de túneis pelo mundo destacam-se: Escavação a céu aberto ou Vala a Céu Aberto (*Cut and Cover*), Desmonte à Fogo (*Drill and Blast*), Túneis Imersos, Tuneladoras (*Shields, TBMs*), Escavação Sequencial ou Convencional.

O Quadro 2.2 apresenta os principais métodos construtivos de túneis, de acordo com FHWA, e as respectivas seções transversais mais indicadas para cada um deles.

Quadro 2.2. Método construtivo x seção típica de túnel

Método Construtivo	Circular	Ferradura	Oval	Retangular
<i>Vala à Céu Aberto (Cut and Cover)</i>				X
<i>Escudos (Shields)</i>	X			X
<i>Tubos Imersos</i>				X
<i>Desmonte à Fogo (Drill and Blast)</i>		X	X	
<i>Escavação Sequencial</i>		X	X	

Fonte: (Adaptado Autor)

2.2.3. Métodos construtivos

Segundo Sandvik Tamrock Corp. (1999), na escavação moderna de túneis podem se utilizar diversos métodos construtivos. Para Travagin (2012), métodos de construção dependem de definições de projeto obtidos a partir da geologia, traçado, extensão e geometria. A fim de se escolher a técnica de construção mais adequada, aspectos como características do solo, o impacto da construção do túnel nos arredores, questões econômicas, de saúde e segurança dos envolvidos, precisam ser levados em consideração. (CHAPMAN, METJE e STARK, 2010).

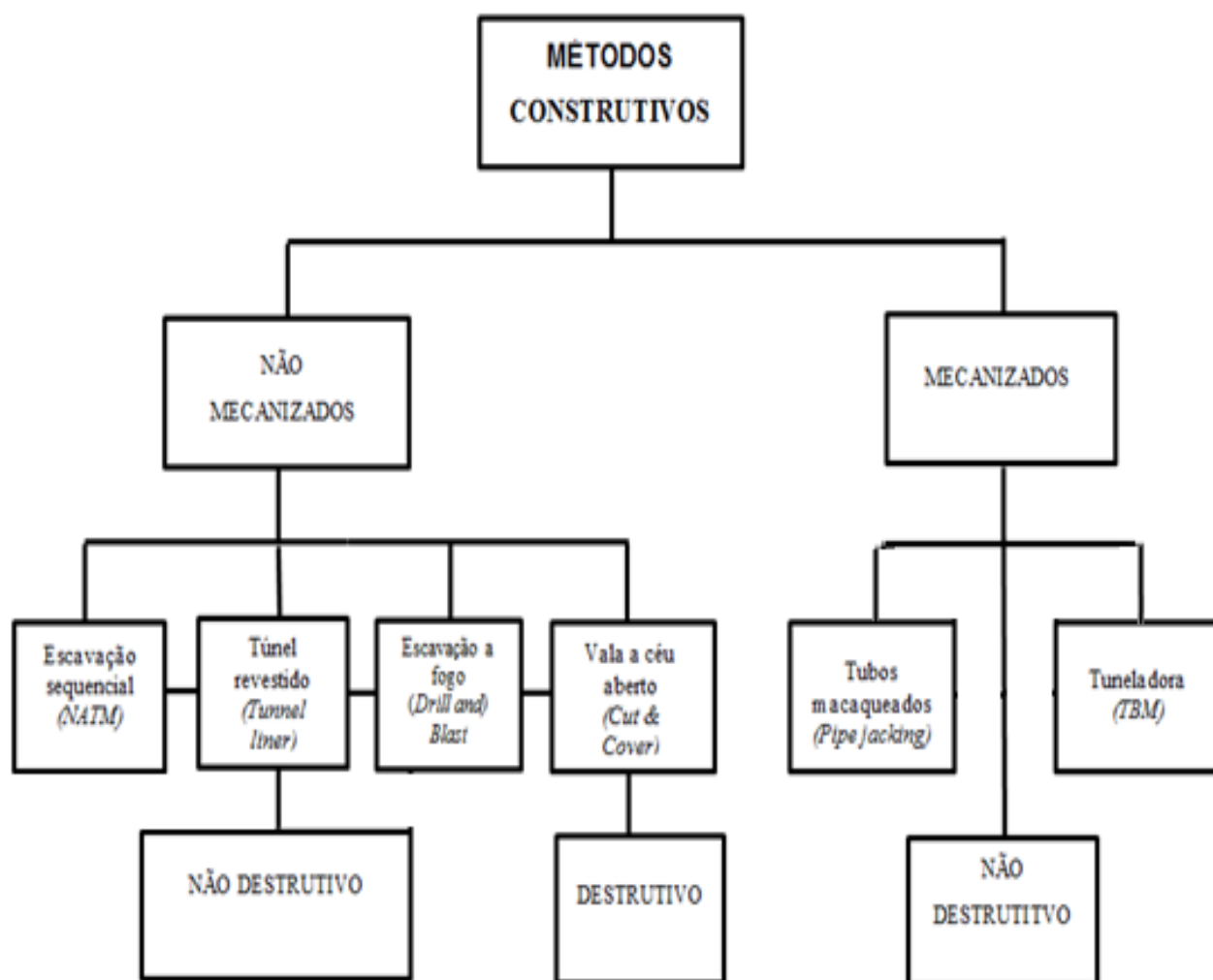
Os métodos executivos de obras de túneis dividem-se entre mecanizados e convencionais (não mecanizados). De acordo com ITA (2000), o primeiro deles realiza a escavação por meio do uso de tuneladoras com dentes, escarificadores ou discos cortantes. Já o segundo, executa a escavação por processos manuais ou semimecanizados. A Figura 2.10 apresenta uma classificação geral dos principais métodos mecanizados e não mecanizados.

O método mais simples e mais antigo de escavação de túneis consiste na utilização de ferramentas simples (pá, picareta) e força humana. Neste método a escavação pode ser realizada por etapas. Primeiramente, retira-se o solo de forma manual (EM- escavação manual), e em seguida colocava-se elementos de suporte para sustentar a abertura, a fim de conter e evitar o colapso da escavação.

Conforme mencionou Pierri (2018), em se tratando de um método que utiliza conhecimento empírico por tentativa e erro, na escavação do solo pelo processo EM é sujeito a diversos problemas de construção, os quais de fato têm sido registrados em diversas obras realizadas no país

Como mencionado anteriormente e defendido por Lima (2012), a escolha do método vai depender do tipo de obra, dimensões, modelo arquitetônico proposto, localização, interferências e impactos com o entorno, aspectos geotécnicos do terreno e considerações econômico-financeiras.

Figura 2.9. Métodos construtivos



Fonte: (Travagin 2012, adaptado Autor)

2.3. MÉTODOS NÃO MECANIZADOS - NÃO DESTRUTIVOS (MND)

Métodos não mecanizados de execução de túneis são aqueles que não utilizam equipamentos do tipo tuneladora (*TBM*s ou *Shields*) mas ainda realizam a escavação com interferência nula ou mínima na superfície (Método Não Destrutivo - MND). Neste método construtivo subterrâneo convencional, utilizam-se equipamentos convencionais de escavação (escavadeiras, retroescavadeiras, fresas, martelos hidráulicos e mão-de-obra humana) e explosivos, realizando o desmonte controlado e progressivo do maciço (rocha ou solo) com a sucessiva aplicação dos elementos de suporte.

2.3.1. Escavação Sequencial (*New Austrian Tunneling Method*)

Dentre os Métodos Não Mecanizados, destacam-se o Novo Método Austríaco de Escavação de Túneis, cuja abreviação é *NATM* (*New Austrian Tunneling Method*). Segundo Redaelli e Cerello (1998), o *NATM*, que é bastante difundido no Brasil, é um método convencional eficiente e seguro de construir túneis, tendo evoluído de antigas técnicas mineiras utilizadas em túneis na Áustria.

Segundo destaca N. Barton (1995 *apud* Oliveira, 2012), o *NATM* foi reformulado justamente para se diferenciar do método anterior que também era de origem austríaca, sendo este reformulado entre 1957 e 1965 na Áustria por Franz Pacher, Leopold Muller e Ladislaus Von Rabcewicz, após algumas experiências e inovações aplicada nos túneis sob os Alpes Austríacos.

A principal diferença deste novo método de construção de túneis, em oposição aos anteriores, vem das vantagens econômicas disponíveis ao aproveitar a capacidade de suporte do próprio terreno que é incorporada em torno da escavação pelo efeito de arqueamento das tensões no terreno.

Dependendo do tipo do maciço a ser escavado, os equipamentos utilizados em construção de túneis pelo *NATM* são diferentes. Para rocha branda ou solo é usado desmonte mecânico com equipamentos ou ferramentas simples, por não haver muita resistência do material do maciço. Nestes casos, o desmonte mecânico requer a utilização de máquinas como escavadeira, retroescavadeiras, roçadoras e martelos hidráulicos.

Por outro lado, para maciços mais resistentes (rochas), a escavação por desmonte mecânico torna-se inviável, sendo exigidas técnicas de maior capacidade como o desmonte

com explosivos. Apesar de sua eficiência relativamente alta na taxa de remoção do maciço, uma das desvantagens do desmonte por explosivo corresponde aos riscos causados tanto à obra (vibrações, fraturas) quanto aos operários sujeitos à eventual exposição a gases e poeiras tóxicas.

2.3.1.1. Processo construtivo

De maneira geral o *NATM* pode ser aplicado na escavação em solo ou em rocha, permitindo a construção de túneis a um custo viável e com baixo impacto ambiental, porque se baseia em um conceito simples que é a mobilização das tensões de resistências internas do próprio maciço para a sustentação da escavação. No primeiro momento logo após a abertura da escavação, a estabilidade da abertura deve-se à redistribuição das tensões que deve ser devidamente inspecionada através das respectivas deformações durante o avanço da escavação. Com isso, a construção do túnel avança em etapas sequenciais de escavações, medições e estabilizações das paredes com suportes em tempos definidos no projeto (tempo de auto-sustentação do maciço).

Dependendo das características do material escavado e da seção transversal do túnel, em muitos casos a escavação é feita de forma parcializada, deixando por exemplo uma porção de material na região central da seção (núcleo). Nestes casos, além de servir como elemento de estabilização de frente de escavação, o núcleo funciona como plataforma de trabalho para aplicação de armação de tela de aço e da aplicação da camada de concreto.

Em se tratando de túneis feitos em solo, o revestimento é constituído de concreto projetado e cambotas metálicas. Já os túneis em rocha utilizam concreto projetado, tirantes e chumbadores, e na maioria dos casos dispensam as cambotas.

No *NATM*, o túnel é construído por etapas sequenciais, onde se procura estabelecer um balanço no tempo entre o avanço dos novos trechos e a aplicação da estabilização das paredes dos trechos anteriores. O *NATM* é também denominado como sendo um método observacional, ou seja, a escavação é acompanhada por geólogos e engenheiros de túneis, cuja ação permite prever, alterar e corrigir as soluções adotadas a qualquer momento.

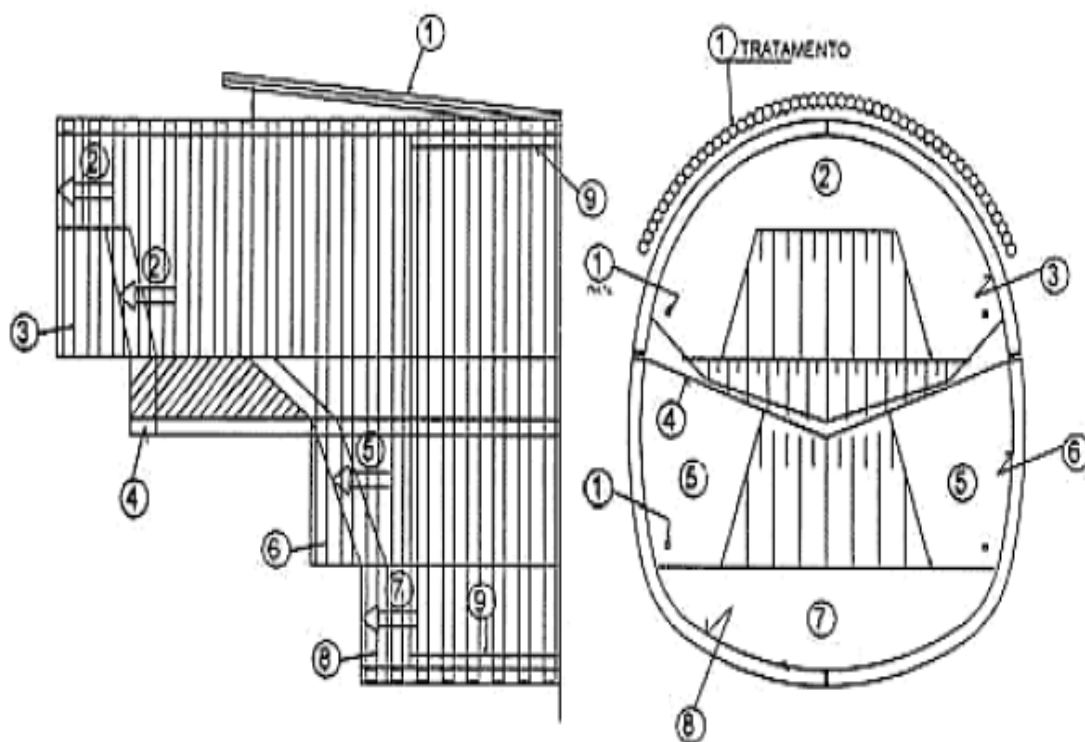
De acordo com Possari (2016), basicamente no método construtivo *NATM* a execução segue as seguintes etapas:

1. Execução de possíveis tratamentos e drenos horizontais profundos;
2. Escavação de um avanço de meia seção;

3. Instalação da cambota² e projeção de concreto na parede da escavação;
4. Execução de arco invertido (*invert*) provisório;
5. Escavação do rebaixo em nichos laterais;
6. Instalação da cambota e projeção de concreto na parede da escavação do rebaixo;
7. Escavação do arco invertido (*invert*) definitivo;
8. Fechamento da cambota e projeção do arco invertido definitivo;
9. Execução do revestimento final do túnel.

As Figuras 2.10, 2.11 e 2.12 ilustram alguns dos principais aspectos do método *NATM*.

Figura 2.10. Sequencia executiva típica do método *NATM*

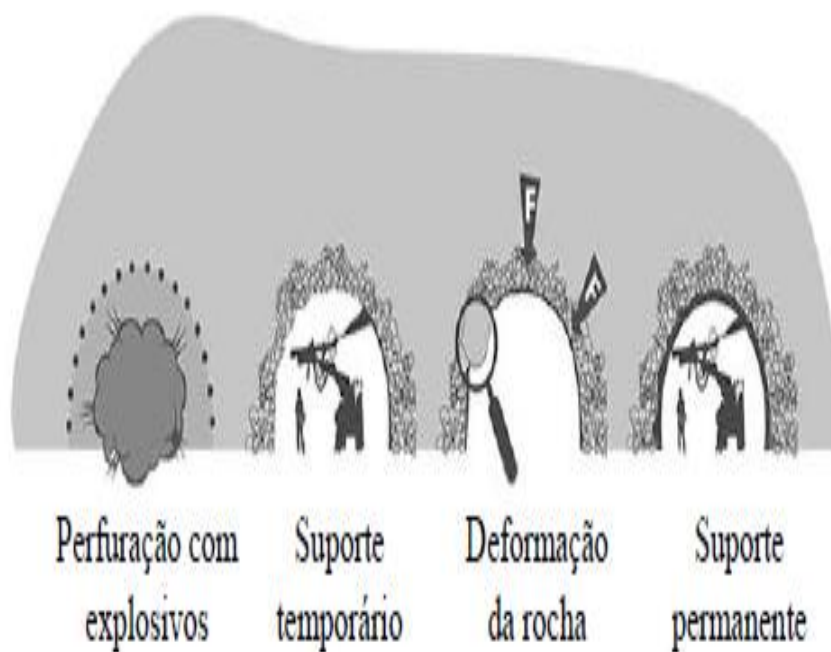


Fonte: (Possari 2016)

²Cambota: cambotas são perfis metálicos geralmente em forma de arco, laminados ou treliçados, aparafusados e soldados. Possuem diversas funções como a de suportar as cargas iniciais do terreno, servir de gabarito para o revestimento de concreto, guia para o correto alinhamento do túnel, guia para a execução do tratamento do solo e apoio para a colocação de telas de aço ao redor do túnel.

Figura 2.11. Processo construtivo *NATM - Túnel Bellevue*

Fonte: (Tunnel business magazine)

Figura 2.12. Desmonte mecânico *Drill & Blast*

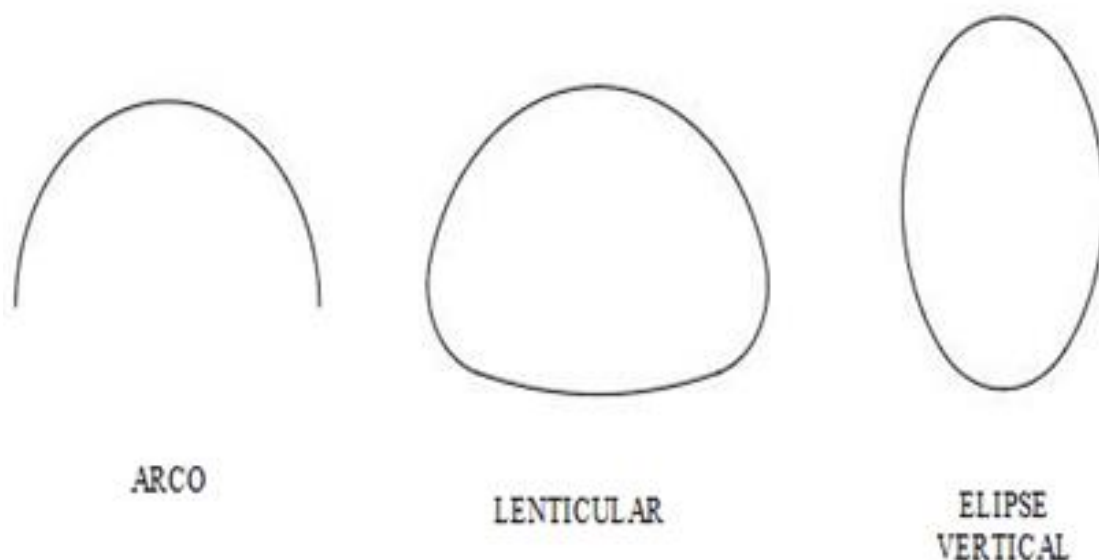
Fonte (Silva, 2018)

2.3.2. Tunnel liner

Segundo Rios (2019), para túneis de pequeno porte (cerca de 100 m de extensão) o método de escavação manual mais utilizado no Brasil é o “*tunnel liner*” - Túnel revestido, que corresponde a um Método Não Destrutivo que pode ser inserido em diversos tipos de solos. De acordo com Hernandez (2017), o *Tunnel Liner* trata-se de um sistema de escavação modular do solo com montagem simultânea do revestimento metálico na frente da escavação. Este revestimento é composto pelo aparafusamento de anéis formados por chapas de aço corrugado, sendo estas de fácil manuseio, o que permite a construção de túneis com seções transversais de pequena e média dimensões (entre 1.20 e 5.00m). Segundo Paiva (2011 apud Pierri, p. 10, 2019), essas chapas corrugadas possuem orifícios que possibilitam a inclusão de uma calda de injeção a fim de preencher vazios existentes entre o anel do revestimento e o maciço escavado.

Os túneis revestidos são executados em diversas formas, circular, elipse, lenticular, arco e são muito usados para passagens de veículos e de pedestres, como mostrado na Figura 2.14. Este método é indicado para travessias sob rodovias movimentadas ou em áreas urbanas, pois se trata de um método não destrutivo, ou seja, não acarretam em interrupção no tráfego.

Figura 2.13. Formas possíveis para *tunnel liner*, além de a forma circular.

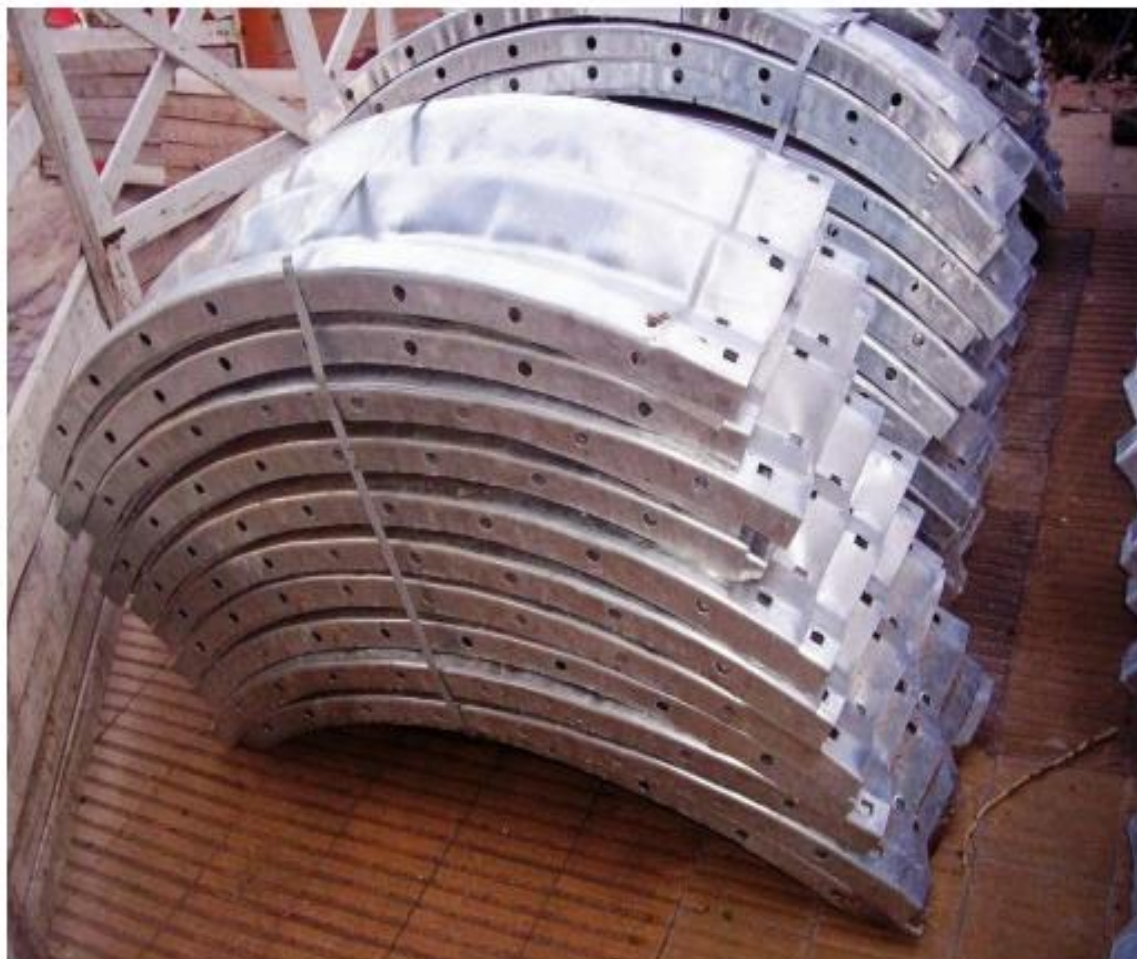


Fonte: (Armco Stacco, ed.01/2013, adaptado Autor)

Segundo Armco Staco (*ed.01/2013*), além de passagens de pedestres e veículos, as principais aplicações desse método encontram-se em obras de drenagens e pluviais; passagem de cabos de telefonia e energia, combustíveis e demais instalações; canalização de córregos e reforço estrutural para túneis.

Em se tratando de um processo manual de simples escavação e montagem de chapas corrugadas aparafusadas, a produtividade em uma obra de *tunnel liner* é relativamente baixa, mas adequada à extensão das obras a que se destina, que são normalmente inferiores a 100 m de extensão. (ARMCO STACO, 2013). As Figura 2.14 e 2.15 ilustram, respectivamente, as chapas metálicas e a aplicação das mesmas em uma obra de drenagem.

Figura 2.14. Chapas metálicas corrugadas



Fonte: (Silveira, 2014 *apud* Pierri, p. 11,2019).

Figura 2.15. Chapas metálicas corrugadas eco túneis

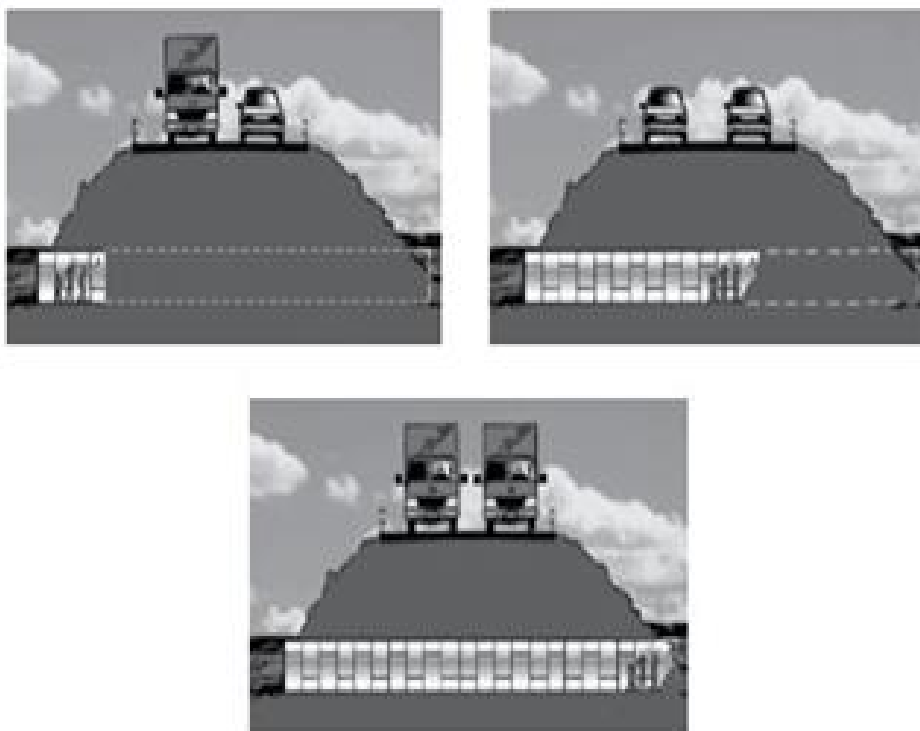


Fonte: (Eco túneis)

Como citado anteriormente, as sondagens em campo e os ensaios de laboratório são importantes para o dimensionamento seguro da solução com o *tunnel liner*. Conforme Pierri (2019, v. 6 p.11.), as espessuras das chapas são dimensionadas para resistir tanto aos esforços causados pelas cargas do solo quanto às ações externas (veículos, estruturas, etc.). Este dimensionamento é realizado através de tabelas de chapas fornecidos pelos fabricantes ou por meio de cálculos geotécnicos por métodos numéricos. (PIERRI, 2019).

Com o conhecimento do solo a ser escavado e com o projeto executivo, de acordo com Naresi e Pierri e Staco (2017, 2019, 2013), após a limpeza do terreno na região dos emboques, pode-se partir para a escavação e a respectiva montagem das chapas corrugas aparafusada e aplicação da calda injeção de solo-cimento. As Figuras 2.16 e 2.17 apresentam os principais esquemáticos da construção de um *tunnel liner* sob uma rodovia.

Figura 2.16. Método construtivo túnel liner



Fonte: (Armco Staco, *ed.01/2013*)

Figura 2.17. Montagem da estrutura de chapa corrugada



Fonte: (Lan- Congresso na Universidade Do Porto)

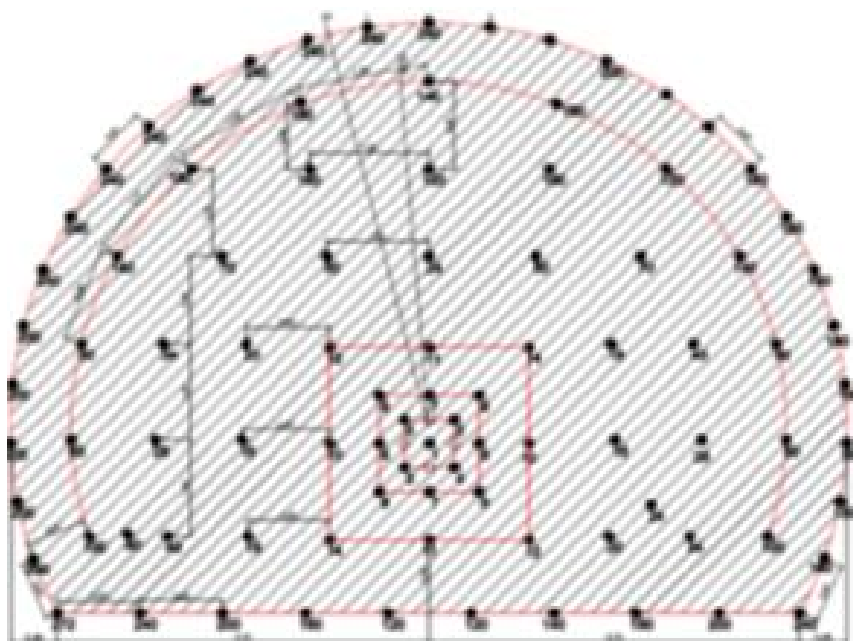
2.3.3. Escavação a fogo ou *drilling and blasting*

O método de escavação a fogo para túneis é baseado no uso de explosivos, necessários para realizar o desmonte de maciços rochosos muito resistentes (granitos, gnaiss, basalto ou quartzo), para os quais a utilização de equipamentos convencionais de escavação é inviável (CHAPMAN, METJE e STARK, 2010 e TRAVAGIN, 2012).

Antes de se iniciar a detonação definem-se o número, posição, diâmetro, comprimento, e ângulo dos furos, além da quantidade e o tipo de explosivos que serão carregados na parede frontal do túnel (face de trabalho). Quanto mais resistente a rocha, mais explosivo serão necessários. Segundo Lima (2016), os furos devem estar marcados e perfurados dentro da face de trabalho. A Figura 2.18 ilustra um projeto de plano de fogo.

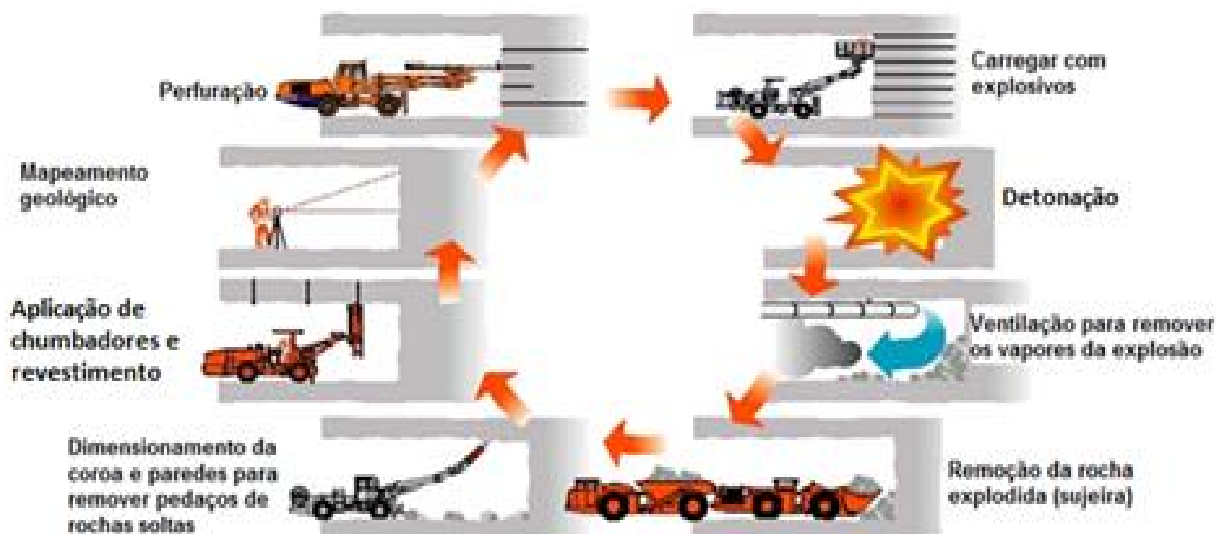
Segundo Lima (2016), a escavação a fogo é um processo composto por várias etapas sequenciais, formando um ciclo de escavação bem definido pelo plano de fogo com: perfuração da rocha, carregamento dos explosivos (incluindo adição do detonador), detonação, ventilação, limpeza (deterioração) e aplicação de suporte. Há pouquíssimas variações na escavação com explosivos. A Figura 2.19 exemplifica estas etapas sequenciais.

Figura 2.18. Plano de fogo



Fonte: (Lima, 2016).

Figura 2.19. O ciclo típico de escavação por detonação



Fonte: (Railssystem 2015, adaptado pelo Autor)

Com um equipamento automatizado denominado jumbo hidráulico (ou “*boomer*”), a perfuração do maciço rochoso é feita na frente de avanço de acordo com o plano de fogo. Segundo Silva (2018), esta mesma máquina que é constituída por braços mecânicos, também realiza o furo e inserção dos tirantes para o suporte definitivo.

Após a execução dos furos de acordo com o plano de fogo, introduzem-se explosivos que são conectados entre si, de acordo com a sequência definida. Todo o arranjo é então conectado a um detonador. Normalmente a detonação dos furos é feita em uma sequência iniciando do centro para fora, em círculos um após o outro, detonados em curtos intervalos de tempo (em 50 ou 100 milissegundos) especificado pelo plano de fogo.

Normalmente, a explosão faz com que muitos blocos de rochas sejam arremessados através do túnel, dispersando nuvens de poeira que se misturam com os gases de combustão da explosão. Devido a esta situação de ambiente insalubre, os operários só podem retomar o trabalho dentro do túnel em segurança, após o ar nocivo ser removido do túnel. Para isso são colocados dutos de ventilação no teto que irão fazer a exaustão dos gases nocivos e ao mesmo tempo bombear ar puro no local da explosão, dispersando os gases nocivos e permitindo a retomada do trabalho dentro de algum tempo.

Após a fase de exaustão, passa-se à fase denominada “bate-choco”, onde são removidos pedaços soltos de rocha que não foram completamente soltos da rocha durante o

procedimento de detonação. Para tanto, um técnico especialista trabalhará com martelo, lanças e escavadeiras ou carregadeiras.

Durante toda a extensão progressiva da escavação, geólogos e engenheiros devem constantemente realizar mapeamentos topográficos, geológicos e geotécnicos para validar a construção do túnel até o procedimento final.

Guimarães (2018) cita como exemplos os casos onde há proximidade com gasodutos, ferrovias, estradas, pontes, viadutos, barragens, centrais energéticas, refinarias, hospitais, minas e instalações industriais, militares e de armazenamento de produtos de risco.

2.4. MÉTODOS NÃO MECANIZADOS – DESTRUTIVOS

Nos métodos construtivos não mecanizados (sem *TBMs* ou *Shields*) denominados como destrutivos ocorrem intervenções na superfície ao longo de toda a extensão do túnel, necessitando o desvio e a interdição do local aonde está sendo executada a obra. O principal método nesta categoria é a escavação de Vala a Céu aberto, descrito a seguir.

2.4.1. Vala a Céu Aberto (VCA)

A escavação de Vala a Céu Aberto (VCA, ou *cut and cover*) consiste de um método destrutivo utilizado na execução de construção de instalação de obras subterrâneas.

“O *cut-and-cover* é muito utilizado não só na execução de túneis, mas também para redes de serviço em regiões metropolitanas (água, esgoto, cabeamentos). Em termos gerais, esta técnica consiste em executar uma escavação a céu aberto, instalar uma estrutura no fundo da escavação e posteriormente aterrar para o nível pretendido (OLIVEIRA, 2012, *apud*, GUIMARÃES, 2018, p.40)”.

De acordo com Chapman, Metje e Stark, 2010, o método VCA oferece uma alternativa para outras formas de construção de túneis subterrâneos. A construção é realizada pela abertura de uma trincheira (vala) reforçada ou ancorada que posteriormente será coberta após a execução da estrutura do túnel. (CHAPMAN, METJE e STARK, 2010).

O método VCA é um processo não mecanizado cujo custo direto pode ser bem mais barato que outros métodos, sendo mais indicado para túneis rasos (até 20 m). No entanto, é importante observar que esta técnica envolve uma grande interferência na superfície, ou seja, causando impactos ambientais ou em centros urbanos, afetando o normal funcionamento

destas zonas e gerando custos indiretos que podem superar muitas vezes a economia obtida com os custos diretos. (NÔRO, 2014).

2.4.1.1. Métodos de construção

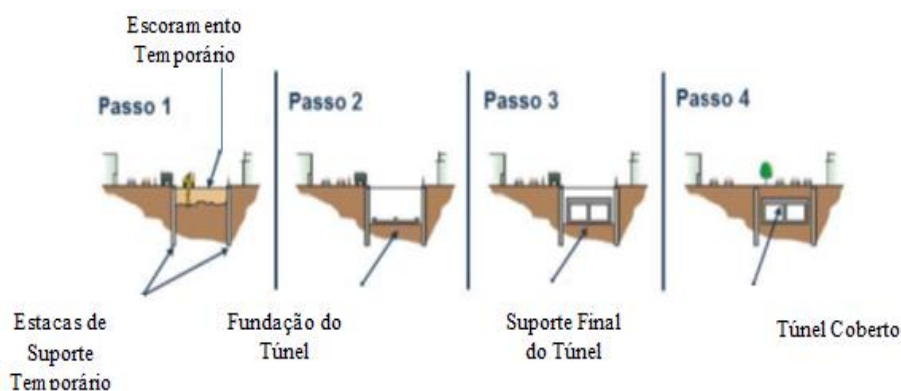
O método VCA, segundo Lima (2012) consiste na escavação de grandes valas, utilizando-se de estroncas feitas com perfis metálicos para contenção e travamentos das paredes laterais, que também podem ser atirantadas. Há diversas metodologias de construção com esse método, sendo que uma das principais diferenças se deve ao tipo de escoramento total ou parcial do túnel (SILVA; ARAUJO, 2017).

De acordo com Chapman, Metje e Stark, (2010), basicamente há dois tipos de construção de túnel com o método VCA,: (a) De Baixo para Cima – “*Bottom-up*” e (b) De Cima para Baixo – “*Top-down*”.

a) Construção de baixo para cima (“*Bottom-up*”)

A escavação é feita a partir da superfície do solo e com a aplicação de estruturas de suporte e apoio das paredes laterais escavadas. O revestimento do túnel é então construído dentro desta escavação, podendo ser de concreto *in situ*, concreto pré-moldado, arcos pré-moldados e arcos de aço corrugado. Após a finalização do revestimento que compõe a seção do túnel, a escavação é então preenchida e a superfície restaurada. Este método tem a vantagem de permitir um bom acesso à área de construção, mas significa que a reintegração de superfície ocorre por último, o que em áreas urbanas congestionadas pode ser inaceitável. (CHAPMAN, METJE e STARK).

Figura 2.20 Sequência da construção de baixo para cima a céu aberto



Fonte: (FHWA, 2009, *apud* Nôro, 2014).

A Figura 2.20 ilustra os 4 principais passos do método “de baixo para cima”, onde: Passo 1a - Instalação de suporte provisório de escavação, por exemplo, estacas moldadas; Passo 1b - Rebaixamento do nível freático se for necessário; Passo 1c - Escavação e instalação de suporte às paredes provisórias, por exemplo, escoras; Passo 2 - Construção da fundação do túnel e caso necessário execução de melhoramento do maciço de fundação; Passo 3 - Finalização da construção do corpo do túnel e instalação caso necessário de elementos impermeabilizantes; Passo 4 - Enchimento do trecho e restabelecimento da superfície. (NÔRO, 2014).

b) Construção de cima para baixo ou método invertido (“Top-down”)

Assim como no método anterior, no método de construção de cima para baixo, a construção inicia a partir do nível da superfície do solo, com apoio paredes de suporte e as vigas de cobertura (vigas construídas no topo das paredes laterais). Essas paredes podem ser construídas usando paredes diafragma, paredes empilhadas contíguas ou secantes ou outro método (essas técnicas são descritas posteriormente nesta seção). No método de cima para baixo, a escavação avança apenas até o nível do topo do suporte do túnel. O topo da estrutura do túnel é então construído próximo à superfície do solo em uma escavação rasa e logo após, a superfície do solo pode ser restaurada. A construção restante ocorre, então, pela escavação subterrânea, agora escorada sob a estrutura do teto executado previamente. Uma vez que, parte da reintegração de superfície pode acontecer relativamente no início do processo da construção, a perturbação potencial em áreas urbanas pode ser minimizada. No entanto, as condições de trabalho são mais restritas (CHAPMAN, METJE e STARK, 2010).

Figura 2.21. Sequencia da construção de cima para baixo a céu aberto



Fonte: (FHWA, 2009, *apud* Nôro 2014)

A Figura 2.21 ilustra os 4 principais passos do método “de cima para baixo”, onde: : Passo 1a - Instalação de suporte de escavação/final, estacas moldadas secantes; Passo 1b - Rebaixamento do nível freático se for necessário; Passo 2 – Escavação do topo do trecho, construção da laje do topo do túnel e caso necessário instalação de elementos impermeabilizantes no exterior da laje; Passo 3a – Enchimento do trecho escavado e restabelecimento da superfície; Passo 3b – Escavação do interior do túnel e execução do ancoramento das paredes do túnel; Passo 3c – Execução da fundação do túnel e execução de melhoria do maciço de fundação caso necessário; Passo 4 – Execução de acabamentos no interior do túnel. (NÔRO, 2014).

É importante ressaltar que os equipamentos mais utilizados para abrir essas grandes valas são: escavadeiras (Fig. 2.22), retroescavadeiras (Fig. 2.23) e valetadeiras (Figs. 2.24 e 2.25).

Figura 2.22: Escavadeira de esteira



Fonte: (Safra)

Figura 2.23. Retroescavadeira



Fonte: (Case Construction)

Figura 2.24. Valetadeira sobre esteiras com lança de escavação (grande dimensão).



Fonte: (Vermeer)

Figura 2.25. Valetadeira sobre esteiras com lança de escavação (pequena dimensão).



Fonte: (Riegos programados)

2.5. MÉTODOS MECANIZADOS

Nos métodos mecanizados de construção de túneis a escavação é efetuada por equipamento mecanizado, denominadas tuneladoras, com mecanismos adaptados às diferentes situações do maciço de escavação (rocha, solo, presença de água, etc). Além de serem considerados como Métodos Não Destrutivos, pois não há a necessidade de abrir valas, os métodos mecanizados realizam todos os processos do ciclo da construção com escavação da frente, remoção de material, instalação de suportes e do revestimento, tudo de forma automatizada com equipamentos tripulados ou não tripulados (DEZOTTI, 2018).

Para Travagin (2012), tais tuneladoras podem ser de grandes diâmetros (14 m) ou de pequenos diâmetros (até 6 m) e são classificados de acordo com o tipo de solo a ser escavado. A seguir, serão apresentadas duas das principais técnicas de escavação mecanizada de túneis: *Pipe Jacking*, para túneis de pequeno diâmetro; e *TBMs*, para túneis de grande diâmetro.

2.5.1. *Pipe jacking* (PJ)

A técnica *pipe jacking* um método de instalação que utiliza segmentos de tubos pré-fabricados por meio de cravação, estáticos ou dinâmicos. Toda a operação é realizada através de um poço de partida até que a escavação atinja o poço de recepção na extremidade oposta. A escavação é realizada por uma microtuneladora na frente de escavação, a qual é impulsionada pelos segmentos de tubos posicionados após a mesma, sendo todo o conjunto empurrado por sistema hidráulico instalado no poço de partida. (DEZOTTI, 2018).

De acordo com Silva (2018), esse método é ideal para túneis de pequenos diâmetros também denominados de microtúneis. De acordo com Chapman, Metje e Stark, (2010) e Drösemeier (2004), nos EUA e no Reino Unido microtúneis possuem diâmetro médio de até 900 mm, e no Japão de até 1.000 mm.

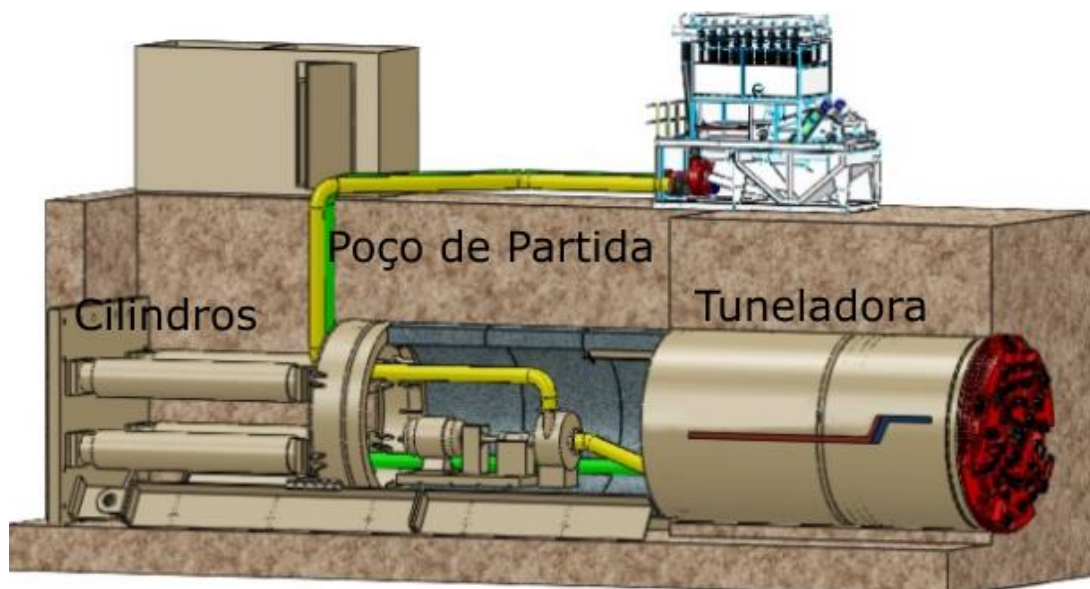
Para Dezotti (2018), a realização desta técnica pode ser realizada em conjunto com outros métodos, tais como máquinas tuneladoras (*TBM*s). Este processo é denominado de Microtunneling Boring Machines (*MTBM*s).

A técnica *pipe jacking* foi usada pela primeira vez no final do século 19, sendo posteriormente aprimorada por empresas da Europa e do Japão entre as décadas de 1950 e 1960, melhorando o grau, a precisão e a estabilização da frente. (MISHRA, 2018). As Figuras 2.26, 2.27 e 2.28 ilustram a aplicação do método em questão.

Figura 2.26. Montagem da tuneladora no fundo do poço de entrada.



Fonte: (Trenchless Pedia)

Figura 2.27. Principais elementos do sistema *pipe jacking*

Fonte: (Imex International)

Figura 2.28. Cilindros de avanço do sistema *pipe jacking*

Fonte: (Angelica Boring)

2.5.1.1. Técnica de construção *Pipe Jacking*

Como já mencionando, a técnica ‘*pipe jacking*’ caracteriza-se pela instalação ou cravação subterrânea de tubos. Nessa técnica, o revestimento formado pelos segmentos pré-moldados é todo empurrado, e a estabilização da frente da escavação e a remoção do material escavado pode se dar por equipamentos distintos. Esses equipamentos podem ser tripulados ou não tripulados. Os métodos tripulados são aqueles onde há a necessidade, na execução do túnel, da participação de operários junto à frente de escavação, em decorrência, principalmente, de ter-se que realizar a escavação e a aplicação do revestimento no interior do túnel (montagem de anéis segmentados e projeção de concreto). No caso do método *pipe jacking*, o emprego da equipe se faz necessário quando se opta em operar o aparelho a partir do túnel em execução (DRÖSEMEYER, 2004).

No entanto, segundo Coutinho (1995), o método não tripulado é operado por humanos trabalhando na superfície, sem a necessidade de acesso ao interior do túnel.

Para que a escavação seja realizada com sucesso, o método *pipe jacking* exige que sejam seguidas algumas etapas, como:

- A) Escavação de poços, montagem dos cilindros e da tuneladora;
- B) Escavação e avanço da tuneladora pela extensão dos cilindros;
- C) Retração dos cilindros e colocação de um segmento de tubo;
- D) Nova etapa de avanço cravando o último segmento adicionado;
- E) Continuação do processo repetindo as etapas anteriores;
- F) Finalização do processo e retirada do equipamento.

As Figuras 2.29 e 2.30. Ilustras as etapas supracitadas.

Figura 2.29. Fonte: etapas construtivas



Fonte: (Pierri, 2018).

Figura 2.30. *Pipe jacking*

Fonte: (Pierri, 2018)

2.5.2 Máquinas Tunneladoras (TBM - Tunnel Boring Machine)

De acordo com Nôro (2014), o surgimento das modernas máquinas tunneladoras (TBMs) deve-se à necessidade de escavar túneis através de maciços complexos com altas taxas de avanço e sob elevadas restrições de segurança, tanto para os trabalhadores no interior do túnel quanto para a superfície principalmente nas zonas urbanas.

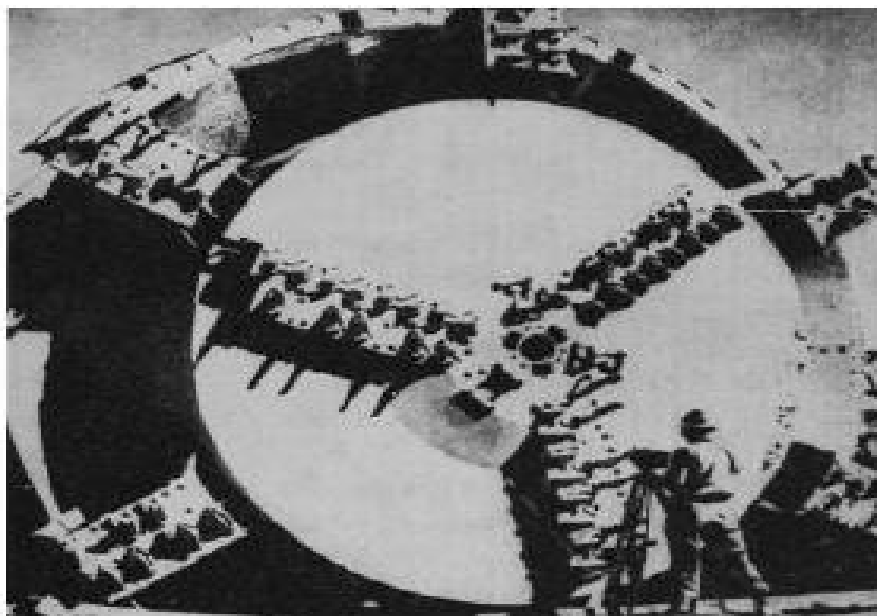
Com a evolução e a maior disponibilidade dos equipamentos mecanizados para a escavação de túneis desde a década de 80, as TBMs vêm cada vez tomando o espaço do tradicional método *Drill & Blast* que, como mencionado anteriormente, usa explosivos para a escavação em rocha. A eliminação dos riscos e do incômodo ambiental causados pelo uso de explosivos e a velocidade de avanço adquirida com a adoção do método mecanizado são os principais fatores que contribuem para este crescimento do *TBM*. (LIMA, VICTOR 2016).

Como mencionado anteriormente, há vários tipos de tunneladora cuja escolha depende do material a ser escavado. Conforme Noronha (2010), as primeiras tunneladoras surgiram há quase 200 anos, e são atribuídas a Brunel e Maus, que desenvolveram equipamentos tipo “*shield*” respectivamente em 1818 e 1846, na Inglaterra e na Bélgica. No início, segundo Silva (2018), as máquinas tunneladoras utilizavam princípios de operação distintos das máquinas atuais. As primeiras máquinas tinham como objetivo maior quebrar (enfraquecer) o material na frente da escavação para posterior remoção, num trabalho tipo semimecanizado. Apenas na década de 50, equipamentos tunneladores similares aos atuais foram construídos.

Pode-se considerar como o primeiro equipamento tunnelador moderno a máquina criada em 1952 pelo inventor James S. Robbins com objetivo de escavar quatro túneis em Oahe Dam, nos Estados Unidos. Esse equipamento era prático e economicamente conveniente, pois escavava continuamente terrenos rochosos em condições abaixo do nível d’água. Tal máquina era equipada com uma cabeça de corte com duas unidades que giravam

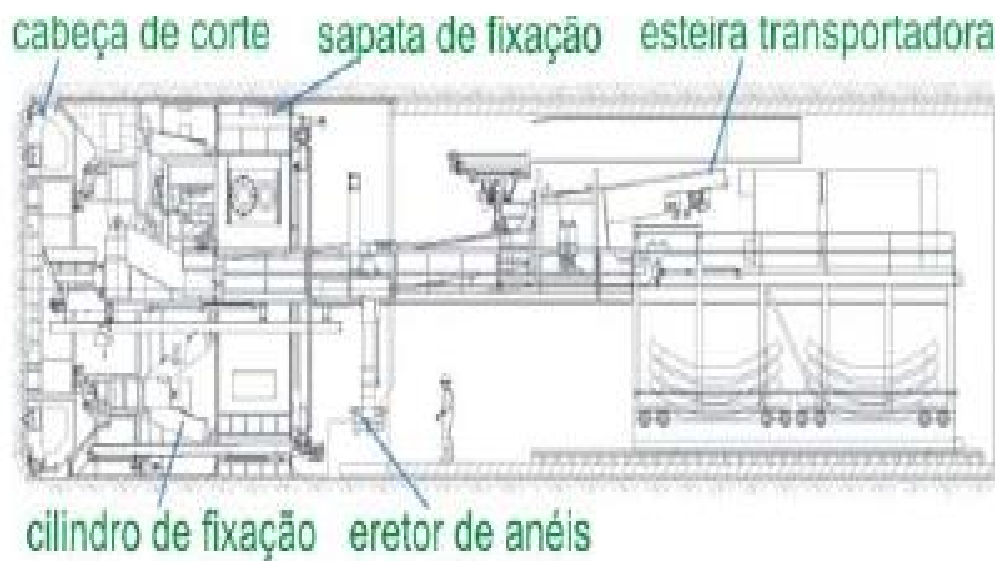
no sentido oposto, além de ponteiros de aço-carbono montadas na seção radial e discos de corte nas linhas paralelas, como a Figura 2.31 a 2.32.

Figura 2.31. Primeira *TBM* moderna



Fonte: (Noronha, 2010)

Figura 2.32. Primeira *TBM* moderna construída pela empresa Robbins em 1952

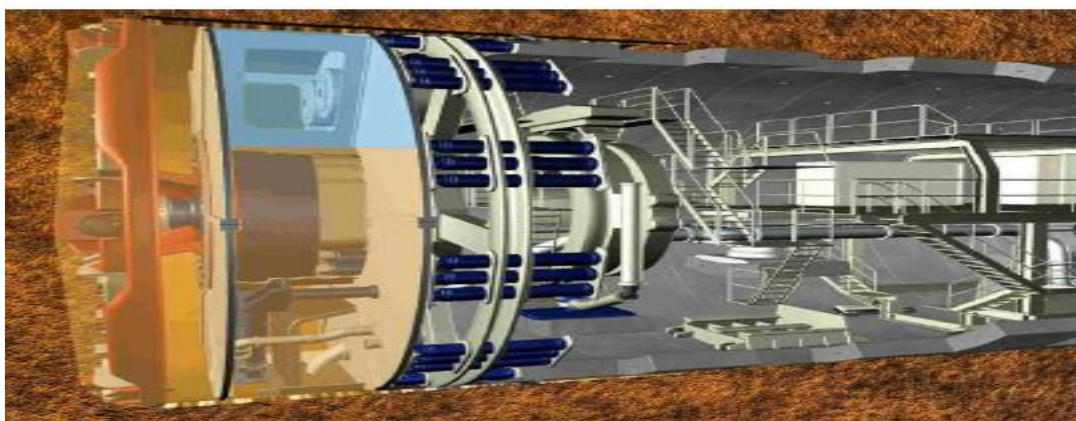


Fonte: (Noronha, 2010).

Esses equipamentos, que no Brasil são conhecidos popularmente por “Tatuzão”, possuem seção transversal circular e alto nível de complexidade, permitindo escavar de forma contínua e regular túneis em uma variedade de materiais desde rochas duras a terrenos arenosos sem a necessidade de explosivos ou ação de impactos.

Contudo, um conceito mais amplo seria forma de cilindro metálico (*shield*), com uma cabeça circular de corte na frente que possui discos de corte, e ponteiros escarificadoras. A movimentação de avanço do equipamento deve-se a um conjunto de cilindros hidráulicos nas laterais, que impulsionam o equipamento e a frente de corte, para que as ferramentas efetuem o desmonte do maciço. Os detritos provenientes da escavação são transportados para a parte de trás por intermédio de roscas sem-fim e esteiras rolantes. (OLIVEIRA, 2012). A Figura 2.33 ilustra a parte frontal de uma tuneladora típica.

Figura 2.33. Corte longitudinal de uma tuneladora



Fonte: (Oliveira, 2012).

As tuneladoras modernas realizam as atividades de escavação, remoção de resíduos e aplicação de revestimento com grande uso de mecanização e pouca mão de obra especializada. Em geral, o uso de uma TBM implica num custo inicial maior e num maior preparo na montagem da máquina e dos seus operadores. Além disto, os tempos de projeto, aquisição, fabricação, transporte e importação representam prazos relevantes a serem considerados pelo cronograma de uma obra. (SILVA, 2018).

Na prática, as TBMs ainda são fabricadas “sob medida” para cada obra utilizada, já que não existe uma máquina universal para todos os tipos de condições de terreno, embora a combinação de diferentes ferramentas de corte sobre a cabeça de corte possa aumentar a aplicação de máquinas para uma maior gama de condições de solo (GUIMARÃES, 2018).

2.6.1. Escolha dos Tipos de *TBM*s

Segundo Guimarães (2018), existem diversos tipos de tuneladoras com diferentes mecanismos para realizar as tarefas de escavação, suporte parcial durante o avanço, aplicação de elementos de suporte e do revestimento final. Uma das principais diferenças entre essas tuneladoras diz respeito ao maciço a ser escavado, dividindo primariamente em materiais de grande resistência mecânica (rochas sãs) ou de baixa resistência (rocha alterada, solos). De fato, o fator primário para a escolha de uma *TBM* refere-se ao tipo do maciço a ser escavado, cuja qualidade e resistência são decisivos para a escavação e escolha do revestimento. (Silva, 2018). Em nível secundário, a escolha do tipo adequado de *TBM* também depende de outros fatores, como dimensões (diâmetro máximo das *TBM*s é de cerca de 15 m), tempo de execução exigido, recursos financeiros, e condições da região a ser escavada (zona urbana, áreas ambientalmente sensíveis, etc.).

Partindo-se da definição dos requisitos básicos supracitados, discutem-se e detalham-se as opções que determinarão o modelo da cabeça de corte da *TBM* com suas respectivas fresas ou discos, o tipo de blindagem ou couraça, a forma como será realizada a escavação, como será o suporte junto ao maciço, que tipo de revestimento final será utilizado, a forma de retirada e transporte do material escavado e o que se espera em termos de eficiência, confiança, segurança e condição no ambiente trabalho (LIMA, 2012).

2.6.1.1. Principais tipos de máquinas *TBM*

A seguir, serão apresentadas as duas categorias fundamentais de máquinas tuneladoras de acordo com o proposto pela *International Tunnelling and Underground Space Association* (ITA, 2000, *apud* AGUIAR, 2017). Para cada uma dessas categorias são apresentados os dois principais tipos de equipamentos correspondentes. Assim, tem-se a primeira categoria com as tuneladoras (a) e (b) para maciços rochosos e a segunda categoria com as tuneladoras (c) e (d) para maciços terrosos, podendo ser descritas de forma resumida como:

(a) e (b) – Trata-se de tuneladoras para escavação de túneis em maciços rochosos de média a alta resistência onde às condições de estabilidade não são críticas. Neste processo utiliza-se modo aberto da couraça. Conforme afirma Hernández (2016), a frente da escavação se encontra submetida à pressão atmosférica e o terreno na frente pode sustentar-se sem a

utilização de suporte, apenas com a couraça. Neste caso, considera-se também que a entrada de fluxo de água é de pouca importância e só ocorre no caso (b).

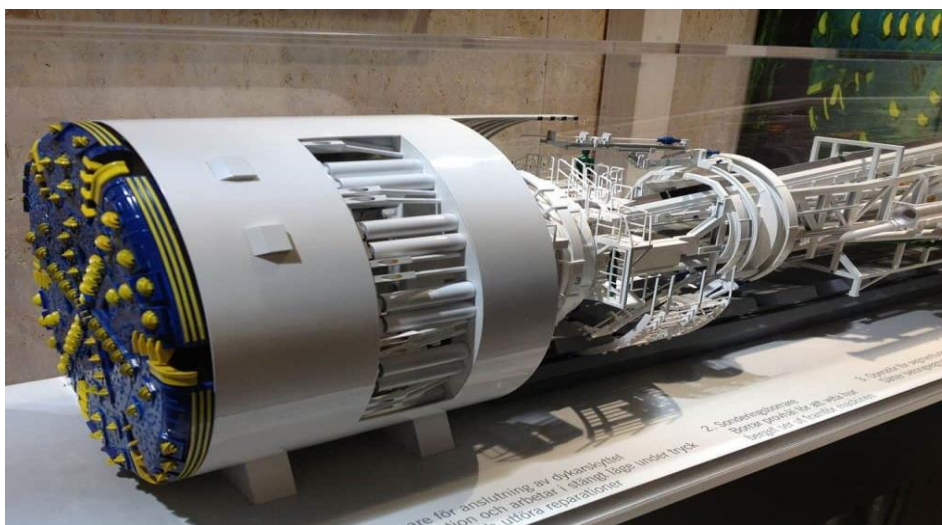
(c) e (d) – Trata-se de tuneladoras cuja escavação de túneis é realizada em maciços terrosos ou de rochas brandas, onde um dos principais problemas é a estabilidade da frente de escavação. Neste processo utiliza-se modo fechado da couraça, bem como outros mecanismos para estabilização do solo na frente da escavação e também para a estanqueidade do fluxo subterrâneo de água (ASSIS, 2002, *apud* HERNÁNDEZ, 2016).

A seguir os 4 principais tipos de tuneladoras serão brevemente descritos:

a) Tuneladoras de frente aberta (*Open Face Shield TBM – ‘gripper’*)

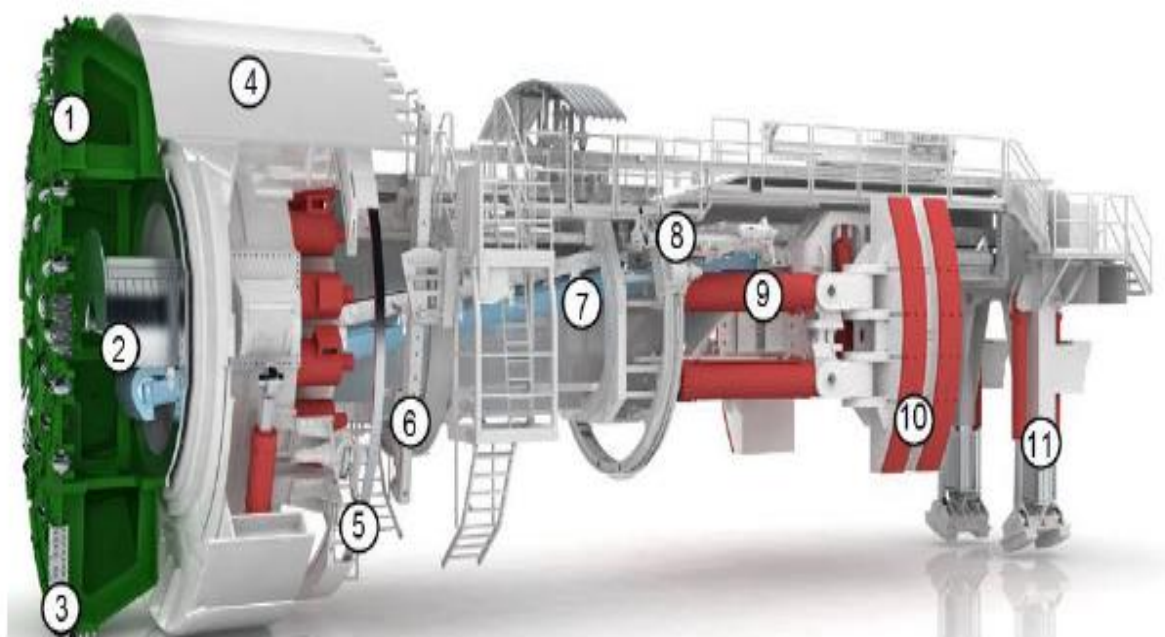
Este tipo de tuneladora não possui escudo, ou seja, proteção para frente de trabalho na frente imediata da escavação ainda sem suporte. As tuneladoras de frente aberta são utilizadas em maciço rochosos de média e alta capacidade autoportante, os quais não devem apresentar discontinuidades (rocha sã e íntegra). A frente de escavação não necessita de suporte, sendo que esta função é parcialmente devida à ação das sapatas de fixação contra a face lateral escavada, o que permite tanto a imobilização quanto a movimentação do avanço da TBM. O sistema de regulação de pressão na frente de escavação é realizado pelo auxílio de macacos hidráulicos apoiados nestas sapatas e que empurram a cabeça de corte da máquina. As Figuras 2.34 e 2.35 ilustram este tipo de equipamento.

Figura 2.34. Couraça de frente aberta



Fonte: (Civil digital)

Figura 2.35. Esquema tridimensional de uma open *TBM*



Fonte: (Herrenknecht, 2014, *apud* Nôro, 2014).

Nôro, 2014:

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1) Cabeça de corte; | 7) Transportador de correia da TBM; |
| 2) Anel de escombros; | 8) Unidade de perfuração de sondagem; |
| 3) 'Baldes' da cabeça de corte; | 9) Macacos hidráulicos de propulsão; |
| 4) Escudo de teto; | 10) Garras do sistema de propulsão; |
| 5) Eretor de cambotas metálicas; | 11) Suporte estático da TBM. |
| 6) Unidade de colocação de pregagens; | |

b) Tuneladora de frente aberta com ar comprimido (*Compressed Air TBM*)

Este tipo de tuneladora possui um escudo curto na frente que possibilita a pressurização do ar para contrabalancear a pressão da água evitando o influxo da mesma no interior da *TBM*. Estes equipamentos são adequados para a escavação em materiais de média resistência (rochas brandas) e que não precisam de estabilização da frente, porém encontram-se em condição hidráulica abaixo do lençol freático (AGUIAR, 2017). A Figura 2.36 ilustra este tipo de equipamento.

Figura 2.36. Tuneladora de frente aberta com ar comprimido

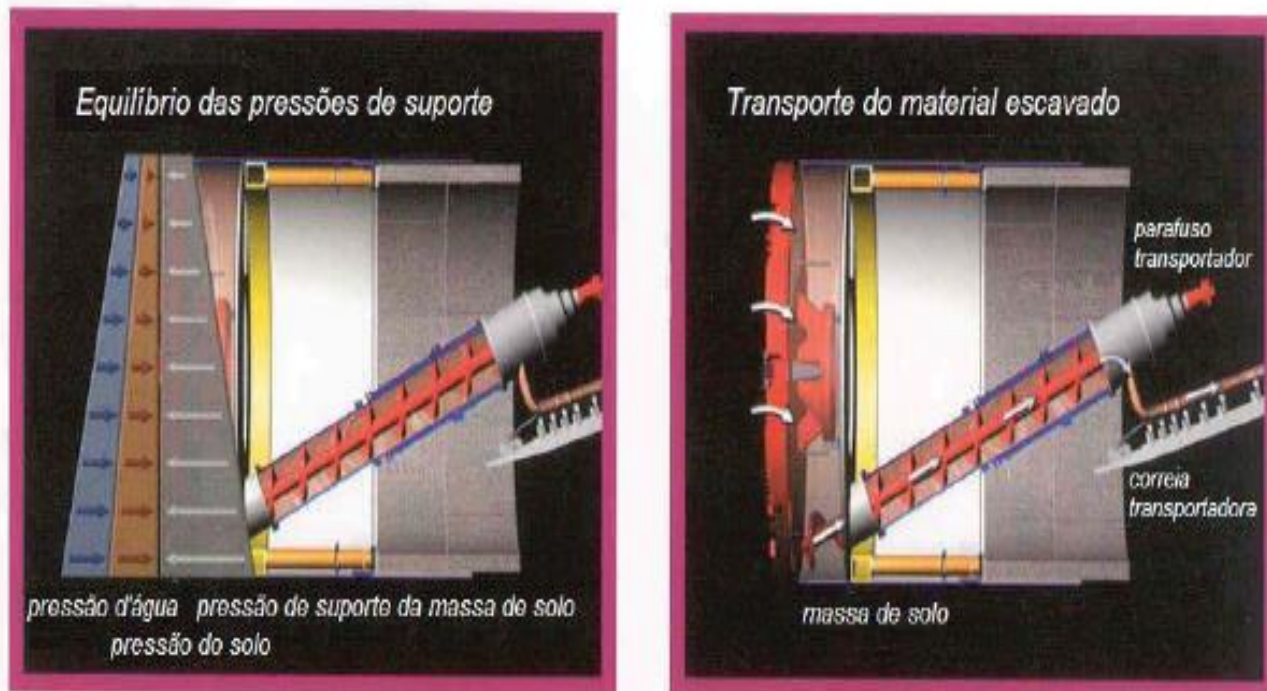


Fonte: (Tunnel Business Magazine)

c) Tuneladora pressão equilíbrio do solo (*EPB-TBM- Earth Pressure Balance*).

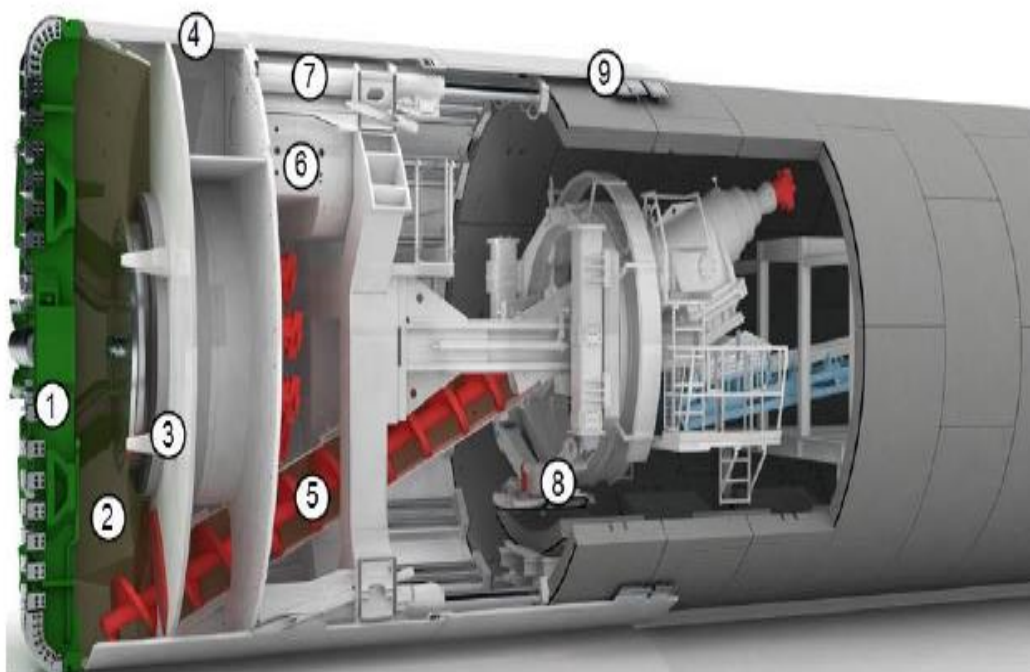
Segundo Alvarez (2001), este tipo de tuneladora foi desenvolvido no Japão em 1963 para escavação em solo abaixo do nível freático. A escavação com uma tuneladora *Earth Pressure Balance (EPB)* é efetuada com rotação da sua cabeça, que é dotada de ferramentas de corte e aberturas por onde entra o terreno escavado. O terreno escavado, devidamente misturado com agentes de condicionamento (espumas e polímeros), entra na câmara de escavação num estado pastoso preenchendo-a. (POSSARI, v.11, p.12 2016). O sucesso da operação de uma *EPB* está ligado ao correto balanceamento entre o fluxo de saída de material pastoso da câmara de trabalho e a velocidade de avanço do “*Shield*”, de forma a evitar o fluxo de água para dentro da mesma. (DRÖSEMAYER, 2004). As Figuras 2.37 e 2.38 ilustram o esquema básico de uma tuneladora do tipo *EPB*.

Figura 2.37: Equilíbrio das pressões na frente do “Shields” e transporte do material escavado.



Fonte: (Herrenknecht, 2001 *apud* Drösemeyer, 2004)

Figura 2.38. Esquema tridimensional de uma tuneladora EPB



Fonte: (Herrenknecht, 2014, *apud* Nôro, 2014)

Nôro, 2014:

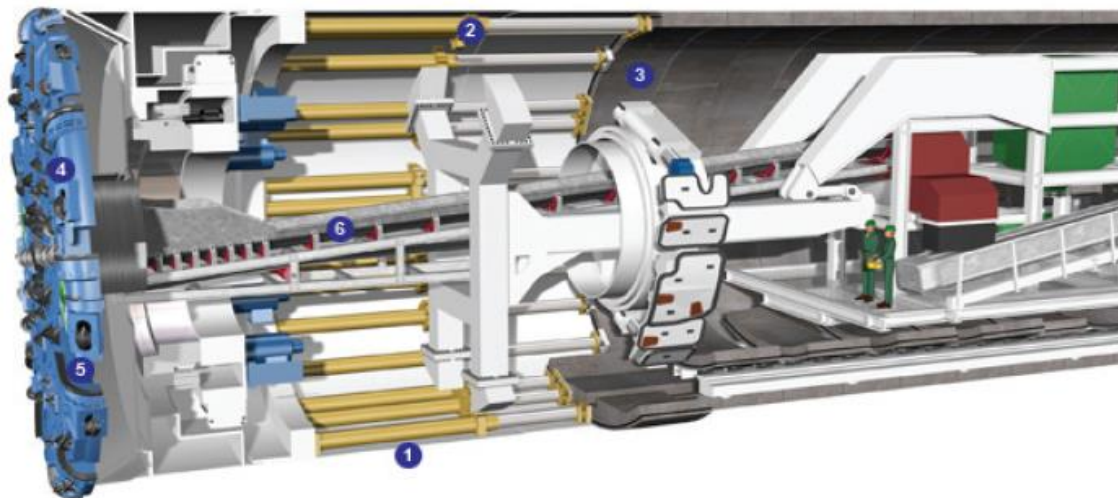
- | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| 1) Cabeça de corte; | 6) Câmara hiperbárica; |
| 2) Câmara de estanque (plenum); | 7) Macacos hidráulicos de propulsão |
| 3) Braços misturadores; | 8) Eretor de segmentos; |
| 4) Escudo; | 9) Sistema de isolamento do escudo. |
| 5) ‘‘ rosca Sem-fim’’; | |

d) Tuneladora de lama (*Slurry Shield TBM, Slurry Face Machines SFM ou ainda Hydro Shield TBMs*).

As Tuneladoras de Lama surgiram por volta de 1970 para solucionar a execução de túneis em solos com baixa capacidade e alta pressão de água na frente da escavação. Todavia só no início da década de 80 que essas máquinas adquiriram os aspectos conhecidos atualmente. A Figura 2.39 ilustra o esquema deste tipo de equipamento.

Em suma, observa-se que este tipo de equipamento é mais elaborado que as *EPBs* devido ao seu sistema de pressurização mais complexo na face de escavação. Este sistema consiste em injetar e pressurizar lama bentonítica na câmara de escavação, fornecendo assim o suporte necessário tanto para a estabilização da face de escavação como para evitar a entrada descontrolada de material (ou água) dentro da tuneladora. O sistema de abastecimento e remoção, respectivamente de bentonita e da mistura bentonita+solo é deveras complexo visto ser necessário garantir em permanência a pressurização da câmara de escavação e requer a construção de uma grande rede de tubos. Também se faz necessário uma central para a preparação da bentonita e outra para o tratamento e separação da mistura retirada da frente de escavação, já se que procura ao máximo reciclar a bentonita durante a construção, por questões tanto econômicas quanto ambientais. (NÔRO, 2014).

Figura 2.39. Visão geral da máquina de *face slurry*



Fonte: (Darmadi)

Nôro:

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| 1) Cabeça de corte; | 5) Câmara de ar; |
| 2) Câmara de escavação; | 6) Separador; |
| 3) Anteparo de pressão; | 7) Aduela; |
| 4) Entrada de bentonita; | 8) Instalador de aduela. |

2.6.2 Visão geral das máquinas *TBM*s

As máquinas *TBM*s mencionados anteriormente se diferenciam basicamente pelas ferramentas de escavação, pela pressão exercida a frente da escavação e pela forma de retirada do material escavado.

Segundo Noronha (2010), a fabricação das *TBM*s ainda é um processo semi-artesanal. Cada máquina é fabricada para um único projeto sendo descartada logo em seguida. Há no mercado atual vários tipos de máquinas disponíveis, dos quais a diferença mais notória entre elas diz respeito à utilização em rocha ou em solo. Atualmente no mundo existem cerca de seis fabricantes de máquinas tuneladoras: a norte-americana Robbins, a alemã Herrenknecht, a canadense Lovat e as japonesas Mitsubishi, Kawasaki e Wirth. Como apresentado na figura 2.40.

Figura 2.40. Principais fabricantes de *TBM*s no mundo







Fonte: (Noronha, 2010)


2.7. COMPARAÇÕES DE DESEMPENHO ENTRE MÉTODOS CONSTRUTIVOS

O quadro 2.3 apresenta os principais métodos de construção de túneis destacados nessa dissertação e algumas de suas vantagens e desvantagens.

Quadro 2.3. Desempenho entre tuneladoras

Método de Construção	Vantagens	Desvantagens	Imagem
NATM	<ul style="list-style-type: none"> - Permite adaptar e modificar a escavação em qualquer ponto da obra; - Indicado para traçados curtos e com seção transversal não-circular; - Não interfere diretamente na superfície. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pouco indicado para trechos longos; - Avanço lento de 2 a 3 metros/dia; - Efeitos secundários (ruídos ou vibrações); - Maior risco de segurança de trabalho; - Baixa mecanização. 	
TUNNEL LINER	<ul style="list-style-type: none"> - Túneis curtos sob rodovias; - Custos diretos relativamente baixos; - Flexibilidade no formato da seção e no traçado do túnel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Segurança relativamente baixa; - Dificuldade do preenchimento do vão entre o maciço escavado e a chapa metálica; - Riscos de recalque na superfície. 	

Método de Construção	Vantagens	Desvantagens	Imagem
<i>DRILL AND BLAST</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Pode ser usado em todos os tipos de rochas; - Custo inicial menor do que o método mecânico TBM; - Flexibilidade de formato da seção e do traçado do túnel. 	<ul style="list-style-type: none"> - “<i>Overbreaking</i>” (escavação exagerada); - Ruídos e vibrações; - Poeira e gases tóxicos; - Taxa de escavação inferior a TBM (geralmente 3 a 5 m por dia); - Riscos à segurança. 	
<i>PIPE JACKING</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Baixa perturbação na superfície; - Boa condição à saúde e à segurança dos operários; - Redução dos impactos sócio-econômico-ambientais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Incapacidade de utilizar tubos flexíveis; - Apresenta limitações em superar obstruções; - Necessita construção de uma parede de reação; - Túneis circulares e de pequena seção transversal. 	

Método de Construção	Vantagens	Desvantagens	Imagem
TBM s	<ul style="list-style-type: none"> - Avanço rápido de até 30 metros/dia; - não interferem na superfície; - maior produtividade nas escavações; - Segurança no trabalho (Sem riscos causados pelas detonações, como gases ou quedas de materiais); - Perfil de escavação exato. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo elevado para pequenas extensões; - Seção de túnel quase que constante circular (não há facilidade de variações); - Mão de obra especializada; - Limitação em trecho curvo; - Efeitos secundários (ruídos ou vibrações); - Custoso transporte de máquina. - Baixa reutilização 	

Fonte: (Autor)

2.7.1. Custo entre métodos mecanizados x convencionais

Para fins de comparação de eficiência, a Figura 2.41 apresenta os diversos custos envolvidos na construção com tuneladoras e com os métodos tradicionais não mecanizados. Apesar dos custos iniciais altos, Segundo Noronha (2010), a consideração dos custos indiretos, sociais e ambientais torna o método mecanizado mais econômico se comparado com os outros métodos tradicionais.

Figura 2.41. Mecanização - custos diretos e indiretos



Fonte: (Noronha, 2010)

3. TÚNEIS NO BRASIL

3.1. Localização do Brasil

Único país da América Latina de língua portuguesa é a República Federativa do Brasil, cuja capital é Brasília. O território brasileiro está localizado, quase em sua totalidade, no Hemisfério Sul, com apenas 7% da sua área no Hemisfério Norte. A Figura 3.1 apresenta a localização do Brasil no mundo.

Figura 3.1. Localização do Brasil no Mundo



Fonte: (Natural Earth data)

O país está estabelecido no ocidente, a oeste do meridiano de Greenwich é cortado ao norte pelo paralelo do Equador. Encontra-se na zona intertropical, zona temperada sul e no Trópico de Capricórnio. O Brasil é um país latino-americano que faz fronteira com outros países deste continente, como Argentina, Bolívia, Colômbia, Guiana, Guiana Francesa, Paraguai, Peru, Suriname, Uruguai e Venezuela exceto Chile e Equador.

Figura 3.2. Localização do Brasil e sua vizinhança



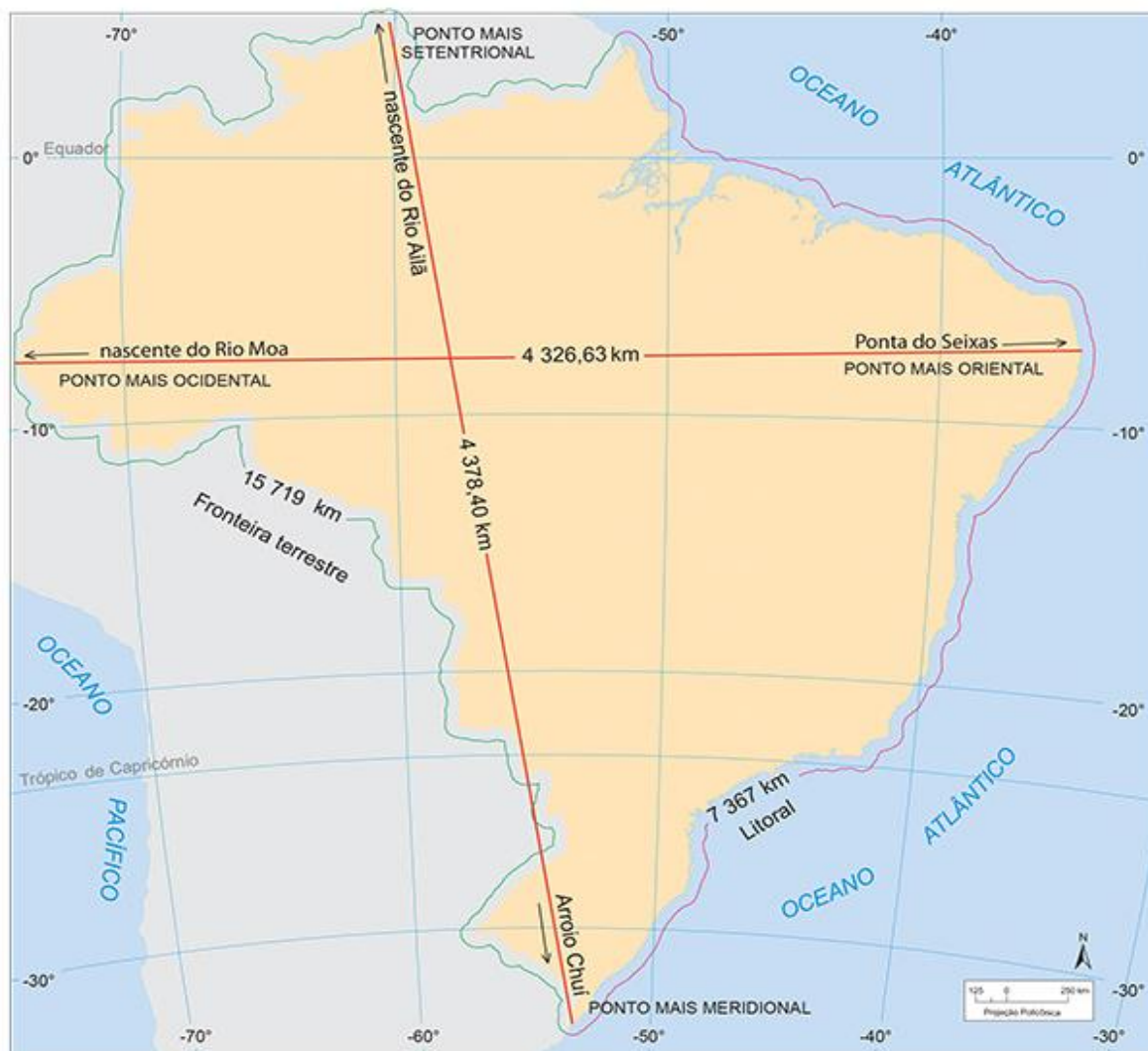
Fonte: (<https://maps-for-free.com/>, adaptado Autor)

3.2. TERRITÓRIO DO BRASIL

O Brasil tem 16.145 km de costa terrestre e 7.367 km de costa litorânea, envolvendo uma área total de 8.514.900 km². Se comparado com os dez países que fazem fronteira com o Brasil, este tem o tamanho continental, pois se trata do quinto maior país do mundo em extensão territorial e o sexto maior em população com cerca de 211 milhões de habitantes distribuídos em 26 Estados mais o Distrito Federal (IBGE, 2012).

A extensão do território brasileiro é marcada pela grande distância de seus pontos extremos. No sentido norte-sul, o Brasil possui uma distância de 4.378,40 km entre o Monte Caburaí – ponto localizado no estado de Roraima e posicionado no extremo norte do país – e o Arroio Chuí, estando este, posicionado no extremo sul, no Rio Grande do Sul. Já no sentido Leste-Oeste, a distância é bastante parecida, com 4.326,63 km separando a Nascente do Rio Moa (Acre), no extremo oeste, da Ponta do Seixas (Paraíba), no extremo leste. (Fig. 3.3). O ponto mais alto de elevação é o Pico da Neblina, com 2.995 m de altura.

Figura 3.3. Mapa dos pontos extremos do Brasil



Fonte: (IBGE, 2016)

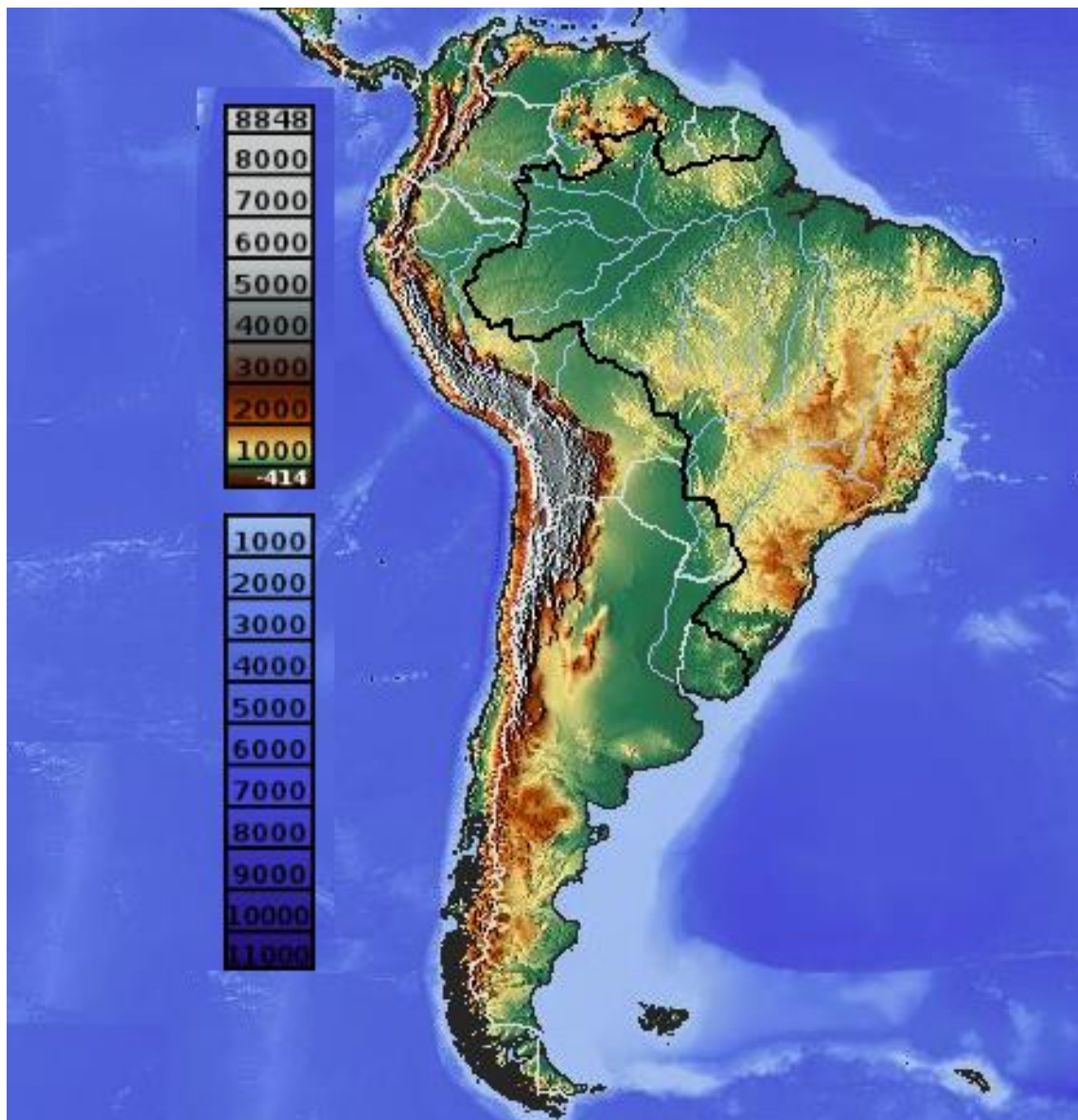
3.3. RELEVO DO BRASIL

No que se refere ao território brasileiro, as estruturas e as formações litológicas são predominantemente antigas, mas os relevos têm a formação mais recente, resultante, principalmente, de atividades tectônicas meso-cenozoicas. Esses relevos são classificados em planaltos, planícies, depressões e montanhas, decorrentes das formações da litosfera no Brasil. (ROSS, 2016).

De fato, o Brasil é um país de altitudes modestas, pois, cerca de 40% do seu território encontra-se abaixo de 200 m de altitude, 45% entre 200 e 600 m, e 12%, entre 600 e 900 m.

Outrossim, o território não apresenta grandes formações montanhosas, pois não existe nenhum dobramento moderno em seu território. (ROSS, 2016). Figura 3.4.

Figura 3.4. Relevo do Brasil

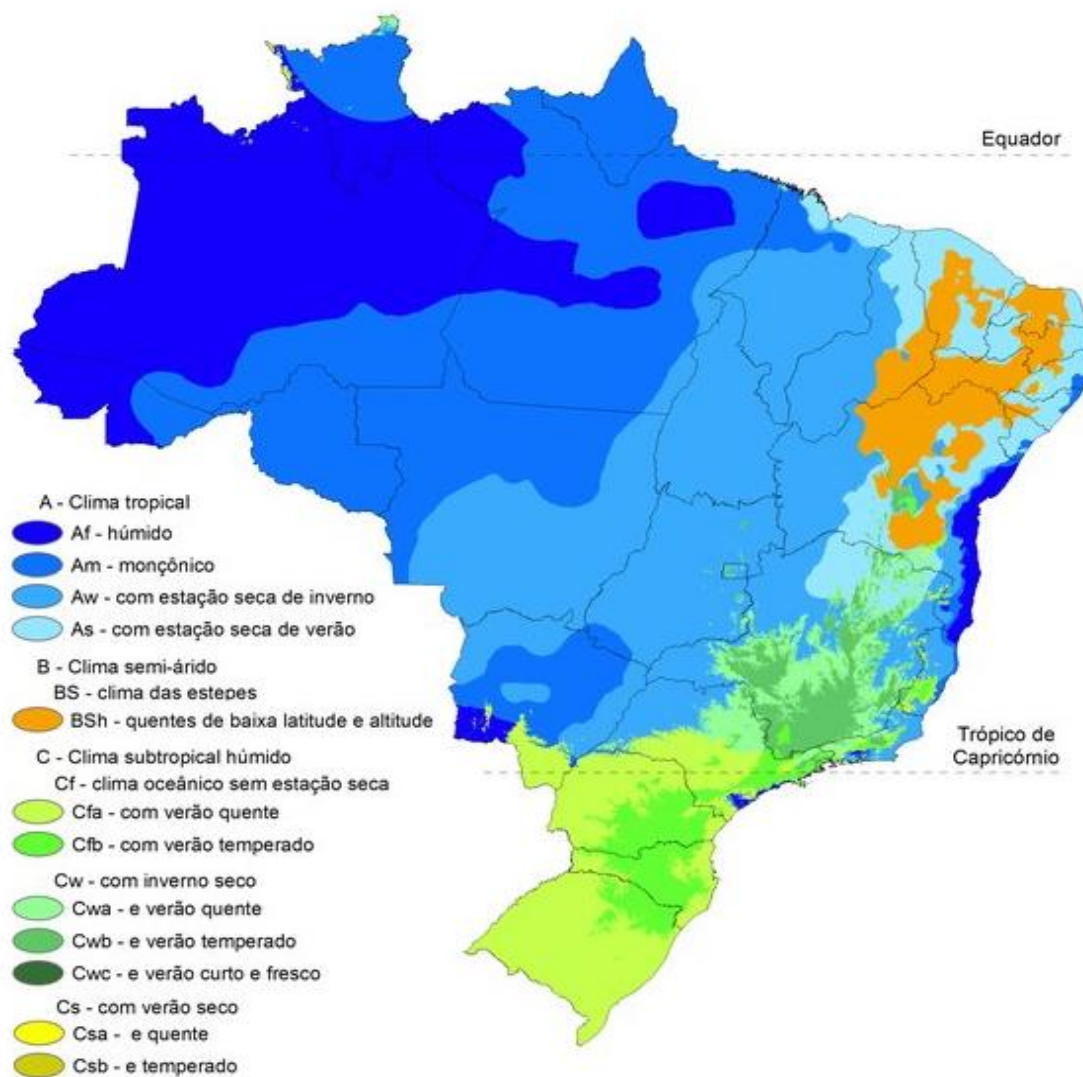


Fonte: (<https://maps-for-free.com/>, 2020, adaptado Autor)

3.3.1. Clima e meio ambiente do Brasil

O clima do Brasil é diversificado devido aos biomas, extensão territorial, o relevo e a dinâmica das massas de ar. Para facilitar a compreensão dos biomas e o clima, apresentamos a seguir algumas figuras com suas legendas: Figura 3.5.

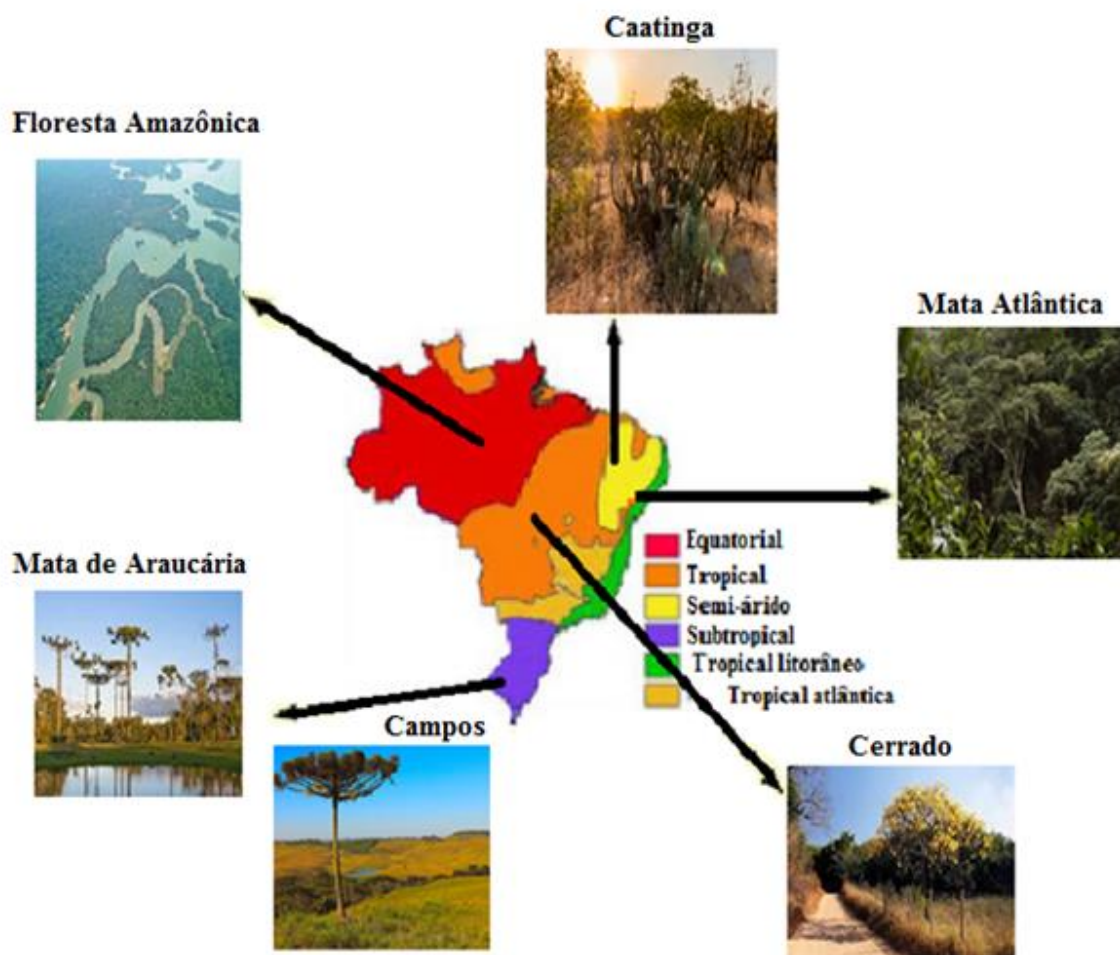
Figura 3.5. Mapa climático do Brasil de acordo com a classificação climática de Köppen



Fonte: (Alvares, 2013)

O Brasil apresenta um dos mais complexos e diversos sistemas ecológicos do planeta. De acordo com o IBGE a diversidade ambiental brasileira é evidenciada pelos biomas: Caatinga, Campos, Cerrado, Floresta Amazônica, Mata Atlântica, Mata de Araucária, Mata de Cocais, Pantanal, Zonas Litorâneas (Fig. 3.6).

Figuras 3.6. Os diferentes biomas do Brasil

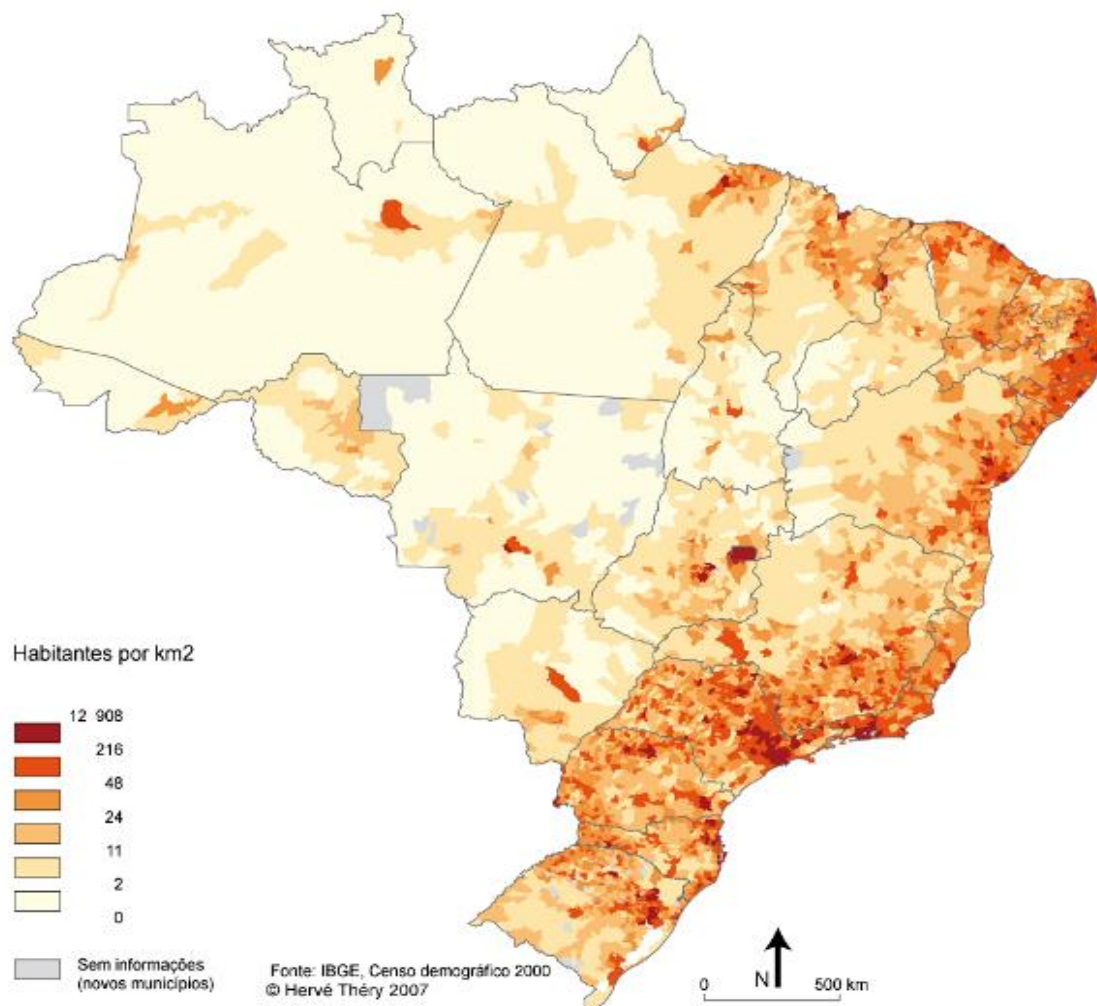


Fonte (Autor)

3.4. POPULAÇÃO DO BRASIL

O Brasil tem a sexta maior população do mundo, somando um total de 213.1 milhões de habitantes. A população está fortemente concentrada nas regiões Sudeste, Nordeste e Sul, enquanto as duas regiões mais extensas, Centro-Oeste e Norte, que formam 64.12% do território brasileiro, contam com a menor número de habitantes. A maior parte da população brasileira está concentrada no litoral, exatamente como quando se iniciou a colonização brasileira. Como apresentado na figura 3.7 no mapa de densidade populacional.

Figura 3.7. Mapa de densidade populacional do Brasil



Fonte: (IBGE, 2007)

3.4.1. Composição étnica do Brasil

A população brasileira é heterogênea, isto porque é formada por imigrantes e pelas misturas entre o branco (Europeu), negro (Africano) e indígena (nativos). Segundo Sant'Ana (2017), por volta de 1550 com a tomada de posse das terras brasileiras pelos portugueses, houvera a necessidade da utilização de mão de obra escrava para o cultivo da cana de açúcar.

A priori, utilizou-se a mão de obra escrava indígena que do ponto de vista dos portugueses, não se adaptou com trabalho forçado que lhe fora proposto, e por isso recorreram

à utilização da mão de obra escrava, proveniente dos países africanos, em especial, Angola, Moçambique, São Tomé e Príncipe, Guiné Bissau. Com a miscigenação desses grupos étnicos deu origem à população brasileira da qual fazemos parte.

Segundo o IBGE (2010), 47.1 % da população se autodeclararam como brancos, 43.42% como pardos (multirracial), 7.52% como negros, 1.1 % como amarelos e 0.43% como indígenas enquanto que 0.02% não declaram sua raça.

3.4.2. Maiores Metrôpoles do Brasil

Em relação às cidades mais habitadas no Brasil, Reynard (2015) cita aproximadamente 17 cidades com mais de um milhão de habitantes. Fig. 3.8.

Figura 3.8. As maiores metrôpoles brasileira



Fonte: (Trinaliv, Ocha)

Quadro 3.1. As 10 maiores metrôpoles do Brasil

Posição	Região Metropolitana	Unidade Federativa	População
1	Região Metropolitana de São Paulo	São Paulo	21.656301
2	Região Metropolitana do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	12.777959
3	Região Metropolitana Belo Horizonte	Minas Gerais	5.178131

Posição	Região Metropolitana	Unidade Federativa	População
4	Região Metropolitana de Recife	Pernambuco	4.056323
5	Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal	Distrito Federal	4.012896
6	Região Metropolitana de Porto Alegre	Rio Grande do Sul	3.931739
7	Região Metropolitana de Salvador	Bahia	3.779939
8	Região Metropolitana de Fortaleza	Ceará	3.642097
9	Região Metropolitana de Curitiba	Paraná	3.468575
10	Região Metropolitana de Goiânia	Goiás	2.456340

Fonte: (Autor)

3.5. GOVERNO E POLÍTICA

A República Federativa do Brasil possui um sistema de governo presidencialista, o qual é constituído por três poderes distintos: Executivo, Legislativo e Judiciário. O Executivo envolve a União³, os estados, o Distrito Federal e os municípios e todos possuem certa autonomia administrativa, embora que submetidos a um sistema de controle para garantir o cumprimento das leis e da Constituição. A União, os estados, o Distrito Federal e os municípios são as esferas “do governo”. (CONSTITUIÇÃO REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, 1988).

O legislativo composto de vereadores (município) e deputados estaduais (Estados) e distritais (Distrito Federa) e deputados federais e senadores; enquanto o Judiciário como mantenedor da Lei composto de juízes e procuradores.

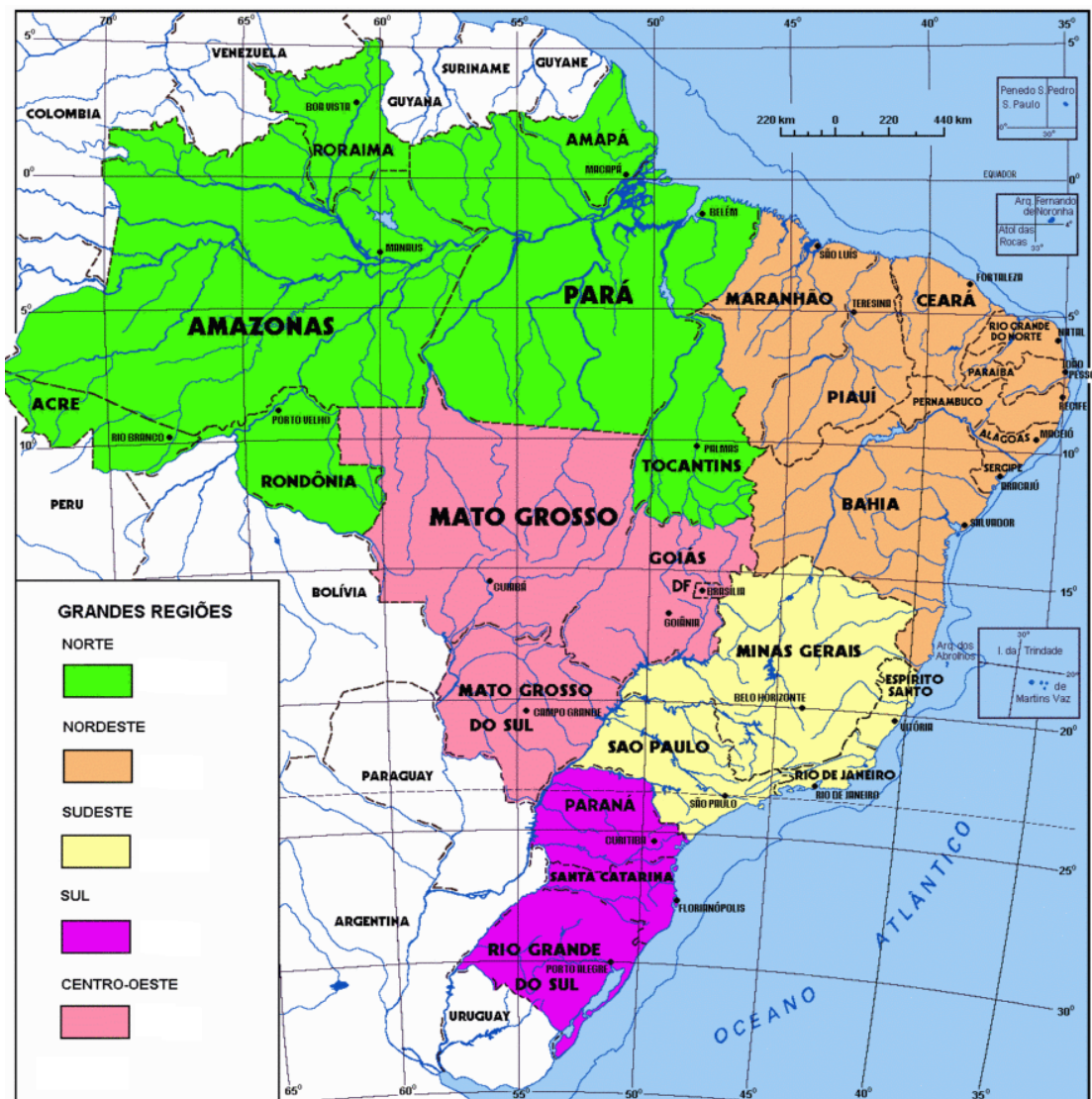
O presidente é chefe do Estado e eleito pelo povo, em um sistema pluripartidário, ou seja, que admite a formação de inúmeros partidos políticos. (CONSTITUIÇÃO REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, 1988).

³ União: é a pessoa jurídica de Direito Público representante do Governo Federal no âmbito interno e da República Federativa do Brasil no âmbito externo. (CONSTITUIÇÃO REPUBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, 1988 Art. 18).

3.6. DIVISÃO ADMINISTRATIVA DO BRASIL

Segundo IBGE, o Brasil está dividido em cinco Grandes Regiões: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul. (Fig. 3.9).

Figura 3.9. As cinco grandes regiões



Fonte: (IBGE, adaptado Autor)

Atualmente no, Brasil existem 26 Estados e mais o Distrito Federal (representados na figura 3.10), onde este último abriga a sede do Governo Federal (capital Brasília), com seus poderes: Judiciário, Legislativo e Executivo. Os municípios (5.570 no total, IBGE, 2010) constituem as unidades de menor hierarquia dentro da organização político-administrativa do Brasil.

Figura 3.10. Subdivisão e Estados brasileiros



Fonte: (Menegaz, Felipe)

O quadro a seguir apresenta os nomes de todos os 26 estados brasileiros mais o Distrito Federal e suas respectivas capitais

Quadro 3.2. Estados brasileiros e suas capitais

	Estados	Abreviação	Capital
1	Acre	AC	Rio Branco
2	Alagoas	AL	Maceió
3	Amapá	AP	Macapá
4	Amazonas	AM	Manaus
5	Bahia	BA	Salvador
6	Ceará	CE	Fortaleza
7	Distrito Federal	DF	*Brasília
8	Espírito Santo	ES	Vitória
9	Goiás	GO	Goiânia
10	Maranhão	MA	São Luís
11	Mato Grosso	MT	Cuiabá

	Estados	Abreviação	Capital
12	Mato Grosso do Sul	MS	Campo Grande
13	Minas Gerais	MG	Belo Horizonte
14	Pará	PA	Belém
15	Paraíba	PB	João Pessoa
16	Paraná	PR	Curitiba
17	Pernambuco	PE	Recife
18	Piauí	PI	Teresina
19	Rio de Janeiro	RJ	Rio de Janeiro
20	Rio Grande do Norte	RN	Natal
21	Rio Grande do Sul	RS	Porto Alegre
22	Rondônia	RO	Porto Velho
23	Roraima	RR	Boa Vista
24	Santa Catarina	SC	Florianópolis
25	São Paulo	SP	São Paulo
26	Sergipe	SE	Aracaju
27	Tocantins	TO	Palmas

Fonte: (Autor)

3.7. INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES NO BRASIL

Apesar de o transporte rodoviário ser majoritário no Brasil, isso não significa que ele apresente a melhor qualidade. Segundo dados do DNIT (2006), o Brasil possui 1.603,031 milhões de Km em rodovias, todavia, apenas 196.280 km são pavimentados o que representa cerca de 12% do total. (COLAVITE e KONISHI, 2015).

Os primeiros investimentos na infraestrutura rodoviária deram-se na década de 1920, nos governos militares de Washington Luís, sendo prosseguidos nos governos de Vargas e Gaspar Dutra, os quais teve forte investimento no modal rodoviário. (OKUMURA, 2018).

O sucateamento dos transportes ferroviários ocorreu a partir da industrialização e após investimentos dos transportes rodoviários, através principalmente das políticas, de Washington, Vargas e Gaspar, que visavam à introdução da indústria automobilística no Brasil.(OKUMURA, 2018).

Existem cerca de quatro mil aeroportos e aeródromos no Brasil, dos quais 721 com pistas pavimentadas, incluindo as áreas de desembarque. O país tem o segundo maior número de aeroportos em todo o mundo, atrás apenas dos Estados Unidos. O Aeroporto Internacional de Guarulhos, localizado na Região Metropolitana de São Paulo, é o maior e mais movimentado aeroporto do país. Grande parte dessa movimentação deve-se ao tráfego comercial e popular do país e ao fato de que o aeroporto liga São Paulo a praticamente todas

as grandes cidades de todo o mundo. O Brasil tem 34 aeroportos internacionais e 2464 aeroportos regionais. (COELHO, 2010).

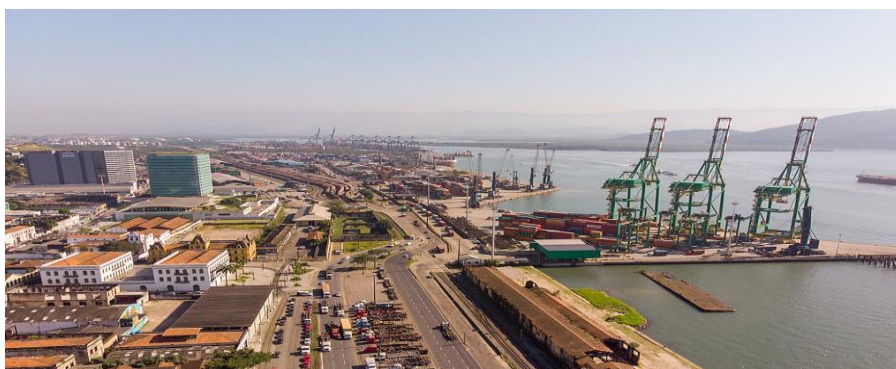
Há 34 grandes portos no Brasil (Fig. 3.11), sendo que o maior deles é o Porto de Santos (conforme representado na figura 3.12), o mais movimentado do país e da América Latina, considerado o 39º maior do mundo por movimentação de contêineres pela publicação britânica *Container Management*. (PEDUZZI, 2020).

Figura 3.11. Os 34 principais portos no Brasil 2008 a 2010



Fonte: (Brito, 2011)

Figura 3.12. Porto de Santos – Mais movimentado da América Latina



Fonte: (Governo do Estado de São Paulo)

3.8. TÚNEIS FERROVIÁRIOS

No Brasil, as obras subterrâneas em túneis foram iniciadas desde o início da segunda metade do século XIX. Naquela, época existiam grandes dificuldades tecnológicas na execução dessas obras, que foram superadas de forma satisfatória para o período. (ROCCO, 2013).

As primeiras ferrovias do Brasil surgiram no ciclo do café, que se estenderam até meados de 1930. O Brasil vivia uma era agrícola e agroexportadora. (MEDEIROS, 2017).

O primeiro túnel ferroviário do Brasil foi inaugurado no ano de 1860, situado no Cabo de Santo Agostinho, no Grande Recife, possuindo 151.78 metros de extensão. (Fig. 3.12). Esta obra denominada Túnel do Pavão, faz parte da Linha Sul, que liga a capital pernambucana a Maceió (AL). A Linha Sul foi a primeira ferrovia de Pernambuco e a segunda do País, sendo construída por ingleses e que entrou em operação em fevereiro de 1858. (ALVES; CLEIDE 2016). Fig. 3.13.

Figura 3.13. Primeiro túnel ferroviário do Brasil



Fonte: (Alves, 2016).

Naquele tempo, o projeto de estruturação do país empreendido por D. Pedro II tinha como base o aumento da produção agrícola para exportação, o que, dentre outros aspectos, dependia de investimentos na melhoria das condições de transporte. Neste caso, a instalação de linhas férreas surgiu como uma das principais alternativas, associada à melhoria das condições de navegabilidade dos rios e à articulação entre seus diferentes trechos. A primeira

ferrovia construída foi em 1852, a Estrada de ferro de Petrópolis, pelo então Barão Irineu Evangelista de Souza, em uma concessão do governo imperial entre o Porto de Mauá (interior da baía de Guanabara) e a Raiz da Serra (Petrópolis). Em 1854 foi inaugurado à primeira estrada de ferro do Brasil com 14.5 km de extensão, e bitola 1.63m e que foi percorrida a uma velocidade média de 38 km/h. (FINGER, 2013, MEDEIROS, 2017).

Após a experiência de construção dos primeiros túneis ferroviários em 1860, logo em seguida surgiu uma obra de engenharia ferroviária mais importante naquele período com uma longa série de 15 túneis (com extensão entre 25 a 2.238 m, perfazendo 5.220 m) que ficou conhecida como Seção 2 da Estrada de Ferro Dom Pedro II, no Japeri - Barra do Pirai, linha na Serra do Mar no Estado do Rio de Janeiro. (ROCHA, 2012).

Esses túneis foram escavados manualmente com ponteiras, marretas e pólvora negra, pois naquela ocasião não existiam máquinas perfuratrizes e tampouco dinamite.

A Figura 3.14 apresenta uma fotografia obtida durante a visita do imperador D. Pedro II das realizações da série de 15 túneis da Estrada de Ferro Dom Pedro II. Desde aqueles dias, muitas mudanças ocorreram no mercado local de túneis.

Figura 3.14. Visita do imperador D. Pedro II ao vazamento do túnel grande



FONTE: (Silva Telles, 2006, *apud* Rocha, 2012).

3.8.1. Extensão de Túneis ferroviários

Considerado o maior túnel do país e o segundo maior da América do Sul, o túnel ferroviário, conhecido “tonelão” é localizado entre os municípios brasileiros Bom Jardim de

Minas e de Santa Rita de Jacutinga, no estado de Minas Gerais, e possui 8.645 metros de extensão. (FERROVIAS, 2013 Fig. 3.15).

Figura 3.15. Maior túnel ferroviário - túnel da Mantiqueira - túnel ferrovia do aço



Fonte: (CJC Engenharia e Projetos)

Aqui nesse tópico serão apresentados os túneis coletados pelo Autor deste trabalho. Foram catalogados 4 túneis ferroviários cuja construção mais recente e datadas de 1990. Quadro 3.3 apresenta comprimento, ano de inauguração destes e o Estado onde se localiza tais Obras.

Quadro 3.3. Túnel ferroviário

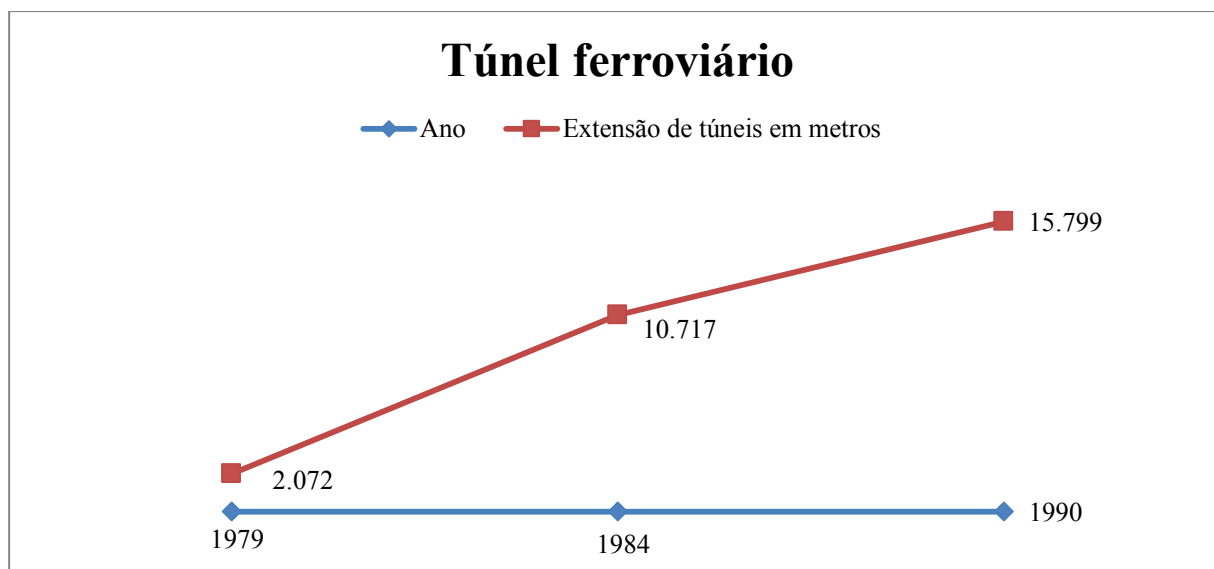
1	Túnel	Comprimento(m)	Inauguração	Estado
2	Tunelão (Túnel da Mantiqueira-Ferrovia do aço)	8.645	1984	RJ
3	Contorno de Sabará	2.910	1990	MG
4	Tunel Marembá	2.172	1990	MG
5	EF-491	2.072	1979	RS

Fonte: (Wikipédia, aluno adaptado)

3.8.2. Expansão de túneis ferroviários

O gráfico 3.1 apresenta a evolução de túneis em metros construídos com o passar dos anos.

Gráfico 3.1. Evolução da expansão de túnel ferroviário Brasil



Fonte: (Autor)

3.9. TÚNEIS RODOVIÁRIOS

Em 1956 o governo de Kubitschek foi marcado pelo favorecimento da expansão rodoviária em detrimento das ferrovias. Com, o impulsionamento e investimento no modal rodoviário em 1957 em 2 décadas as ferrovias passaram por um processo de decadência, reduzindo a expansão da malha em todo o país (FINGER, 2013).

Entre os túneis rodoviários mais antigos do Brasil, destacam-se os construídos no século XIX, na cidade do Rio de Janeiro. O Túnel da Rua Alice, tem 200 m de extensão e foi concluído em 1887, e o Túnel Alaor 180 me de extensão foram concluídos em 1891, ambos destinados ao tráfego de bondes elétricos. Em São Paulo, o primeiro túnel rodoviário construído foi o Daher Elias Cutait (antigo Nove de Julho), concluído em 1938. (ROCCO, 2013).

3.9.1. Extensão túneis rodoviários de 1979 a 2019

O maior túnel rodoviário do Brasil é o túnel Prefeito Marcello Alencar, também conhecido como Túnel da Via Expressa, cuja extensão é cerca de 3.370 metros situado entre os bairros do Centro, da Gamboa e da Saúde, na zona central da cidade do Rio de Janeiro. É composto de duas galerias, com três faixas de rolamentos. (ESTANIU, 2017). Fig. 3.16.

Figura 3.16. Maior túnel rodoviário - Túnel Prefeito Marcello Alencar



Fonte: (Fantr)

O Quadro 3.4 apresenta a lista dos túneis rodoviários construídos no Brasil no período entre 1979 e 2019.

Quadro 3.4. Túneis rodoviários de 1979 a 2019

1	Túnel	Comprimento	Inauguração	Estado	Localização
2	Túnel Prefeito Marcello Alencar	3.370	2016	RJ	Porto Maravilha
3	Túnel Irineu Meirelles (TD1)	3.146	2002	SP	Imigrantes
4	Túnel Plínio Marcos (TD3)	3.009	2002	SP	Imigrantes
5	Eng. Raimundo de Paula Soares	2.187	1997	RJ	Linha Amarela
6	J.G Rodriguez (TD2)	2.083	2002	SP	Ecovia dos Imigrantes - direção Praia Grande
7	Ayrton Senna da Silva	1.950	1995	SP	Avenida Antônio Joaquim de Moura Andrade
8	Jânio Quadros	1.900	1994	SP	Avenida Juscelino Kubitschek
9	Morro Alto	1.840	2010	RS	BR-101
10	Túnel TI-0/TE-0	1.710	2001	SP	Rodoanel
11	Túnel Rio450	1.480	2015	RJ	Via Binário do Porto
12	Senador Nelson Carneiro	1.400	2016	RJ	TransOlimpica
13	Túnel Charitas-Cafubá	1.350	2017	RJ	Avenida Prefeito Sylvio Picanço
14	Sebastião Camargo	1.170	1995	SP	Avenida das Magnólias
15	Túnel José Alencar	1.100	2012	RJ	TransOeste
16	Maria Maluf	1.020	1994	SP	Avenida Presidente Tancredo Neves
17	Morro Agudo	1.014.5	2012	SC	BR-101
18	Do morro do Boi	1.001	1997	SC	BR-101
19	Túnel Dos quilombos	940	1998	SP	Cônego D. Rangoni
20	Eixo Oeste do Expresso	830	2016	DF	Estrada Parque Taguatinga
21	Rio Piracicaba	825	2017	MG	BR-381
22	Tribunal de Justiça	824	1994	SP	Avenida Presidente Juscelino Kubitschek
23	Balão do Aeroporto	800	2014	DF	DF-047
24	Entroncamento	800	2006	PA	Complexo Viário do Entroncamento
25	Túnel 3	760	2017	SP	Régis Bittencourt
26	Max Feffer	756	2004	SP	Avenida Cidade Jardim – Avenida 9 de Julho
27	Antonieta de Barros	730	2002	SC	Via Expressa Sul

	Túnel	Comprimento	Inauguração	Estado	Localização
28	Edson Queiroz Filho	700	2012	CE	Centro de Convenções do Ceará
29	Túnel T3	680	1998	SP	Carvalho Pinto
30	Túnel TI-1/TE-1	680	2001	SP	Rodoanel
31	Mergulhão Billy Blanco	670	2012	RJ	Barra da Tijuca
32	Pintor Antônio Bandeira	665	2012	CE	Centro de Convenções do Ceará
33	Túnel 1	646	2002	SP	Bairro Gramado
34	Raul Veia	620	1981	RJ	Avenida Roberto Silveira
35	Fernando Vieira de Melo	583	2004	SP	Avenida Eusébio Matoso
36	Papa João II	582	1988	SP	Avenida 23 de maio - Avenida Prestes Maia
37	Túnel Antônio Dias	531	2019	MG	BR-381
38	Morro do Formigão	530	2015	SC	BR-101
39	Túnel T1	510	1998	SP	Carvalho Pinto
40	Túnel TI-3/TE-3	470	2001	SP	Rodoanel
41	Túnel 2	469	2002	SP	Parque Barueri
42	Túnel TI-2/TE-2	465	2001	SP	Rodoanel
43	Sérgio Nogueira	465	2012	CE	Centro de Convenções do Ceará
44	Parangaba	460	2017	CE	Avenida Osório de Paiva
45	Governador Beni Veras	460	2019	CE	Avenida Alberto Sá
46	Túnel Joá Penteadado	450	2009	SP	Av. Ruy de Almeida Barbosa
47	Túnel da Reversão	445	2006	RS	Rota do Sol
48	Prefeito Souza Lima	440	1981	MG	Avenida Cristiano Machado
49	Presidente Tancredo Neves	435	1984	MG	Avenida Cristiano Machado
50	Prefeito Souza Lima	435	1981	MG	Centro Belo Horizonte
51	Comp. Viário Tirreno Da San Biagio	426	2018	SP	Mogi das Cruzes
52	Agamenon Magalhães	420	2014	PR	Linha Verde Norte
53	Dr. Eurycledes de Jesus Zerbini	420	1993	SP	Avenida Lineu de Paula Machado – Avenida Valdemar Ferreira
54	Mergulhão Clara Nunes	400	2012	RJ	Campinho

	Túnel	Comprimento	Inauguração	Estado	Localização
55	Divaldo Pereira Franco	400	2016	BA	Av. Maria Quitéria
56	Carlos Alberto Kruschewsky	400	2018	BA	Avenida João Durval Carneiro
57	Túnel T2	390	1998	SP	Carvalho Pinto
58	Professor Wagner Barreira	370	2017	CE	Av. Padre Antônio Tomás
59	Cascavel	370	2002	PE	Serra das Russas
60	Túnel Joá Penteado	370	1992	SP	Av. Ruy de Almeida Barbosa
61	Olga Barroso	365	2012	CE	Centro de Convenções do Ceará
62	Roberto Cichon	360	2014	PR	Linha Verde Norte
63	Túnel da Vila Zilda	355	1983	SP	Guarujá
64	Túnel 1	350	2017	SP	Régis Bittencourt
65	Celso Mello de Azevedo	350	2012	MG	Avenida Bernardes Vasconcelos
66	Passagem Tom Jobim	329	1995	SP	Avenida Prestes Maia
67	Túnel Augusto Lucena	315	1997	PE	Avenida Desembargador José Neves
68	Visconde De Tremembé	300	1996	SP	Rua 9 de Julho
69	Túnel Felipe Camarão	300	2012	PE	Avenida Centenário Alberto Santos Dumont
70	Abrahão Caran	300	2013	MG	Avenida Antônio Abrahão Caram
71	Jaime Câmara	296	2013	GO	Parque Mutirama - Parque Botafogo
72	Túnel da Abolição	287	2015	PE	Rua Real da Torre
73	Via Mangue	280	2007	PE	Avenida Desembargador José Neves
74	Viário Jor. Tirreno Da San Biagio	270	2016	SP	Mogi das Cruzes
75	Roberto Silveira	260	1981	RJ	Av. Lemos Cunha - Estrada Leopoldo Fróes
76	Passagem Yojiro Takaoka	250	2010	SP	Alameda Araguaia
77	Mata fria	250	1999	SP	Rodovia Fernão Dias
78	Engenheiro Santana Júnior	230	2016	CE	Avenida Engenheiro Santana Júnior
79	Túnel 2	230	2017	SP	Régis Bittencourt
80	Sena Madureira	205	1996	SP	Centro de São Paulo
81	Roberto Drummond	200	2010	MG	Avenida Cristiano Machado
82	Senhora do Carmo	200	2010	MG	Avenida Nossa Senhora do Carmo

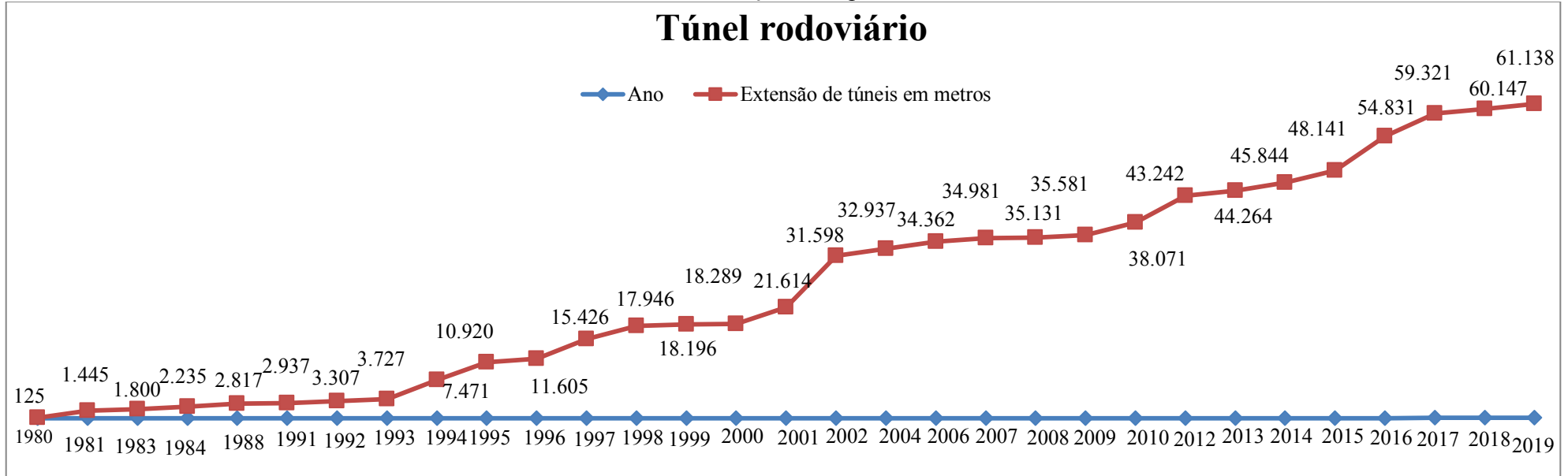
	Túnel	Comprimento	Inauguração	Estado	Localização
83	Passagem Dirce Camargo	196	2013	SP	Avenida Cidade Jardim
84	Cauby Peixoto	190	2016	RJ	TransOlimpica
85	Josué de Castro	181	2007	PE	Rua Manoel de Brito
86	Escola de Engenheiro Mackenzie	180	1996	SP	Estrada das Lágrimas
87	Jornalista Odon Pereira	180	2006	SP	Avenida José Pinheiro Borges
88	Geólogo Enzo Totis	165	1997	RJ	Linha Amarela
89	Latif Sebba	158	2007	GO	Avenida 85 - Rua 85
90	Cidade Administrativa	156	2012	MG	Cidade Administrativa de Minas Gerais
91	Engenheiro Enaldo Cravo Peixoto	153	1997	RJ	Linha Amarela
92	Paulo Autran	150	2008	SP	Av. Washington Luís
93	Ângela Fernandes	150	2013	RJ	Avenida Marquês do Paraná
94	Vicente Filho	145	2017	RJ	Avenida Feliciano Sodré
95	Suíça Carioca	130	1997	RJ	Rio de Janeiro
96	Túnel dos Metalúrgicos	125	1980	RJ	Rodovia Dos Metalúrgicos
97	José Francisco da Silva	120	1991	MG	Avenida Anselmo Alves dos Santos
98	Chico Science	93	2000	PE	Praça da Bandeira
99	Túnel da Saúde	80	2013	RJ	Via Binário do Porto

Fonte: (Wikipédia 2019; Lotsberg, 2011, adaptado Autor).

3.9.2. Expansão da rede de túneis rodoviários

O gráfico 3.2 apresenta a expansão de túneis em metros, construídos entre o período entre 1979 e 2019.

Gráfico 3.2. Evolução da expansão de túnel rodoviário do Brasil



Fonte: (Autor)

3.10. TÚNEIS METROVIÁRIOS

Os túneis metroviários possuem uma finalidade específica para transporte de passageiros em grandes centros urbanos através da interligação de estações subterrâneas destinadas para atender a este fim. Como se trata de um meio de transporte de passageiros em massa, os ambientes devem atender características baseadas em normas, para atender às necessidades como segurança, vibração, conforto térmico, níveis de ruído, entre outros. (METROFERROVIÁRIA, 2017).

As linhas subterrâneas de metrô são as mais adequadas para as áreas densamente ocupadas, proporcionando menor impacto à superfície terrestre e menor volume de desapropriações, reduzindo interrupções do tráfego e preservando o patrimônio histórico das edificações preservadas na superfície (METRÔ, 2019).

A Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) é uma empresa de economia mista operadora de transporte ferroviário vinculado à Secretaria dos Transportes Metropolitanos do Estado de São Paulo, sendo criada pela lei nº 7.861 de 28 de maio de 1992 a partir de ferrovias já existentes na Região Metropolitana de São Paulo. O trem metropolitano também é chamado de metrô no Brasil.

No Brasil, a construção da primeira estação de metrô iniciou em 1968, na cidade de São Paulo. O metrô de SP opera desde a década de 70, mais precisamente, 14 de setembro de 1974, possuindo atualmente 101.4 km de extensão distribuída em seis linhas e 89 estações. Todo o sistema está integrado à Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM). Na sequência, veio o metrô do Rio de Janeiro em 1979. Hoje, o metrô do Rio tem 56.5 km de extensão distribuída em duas linhas e 41 estações. Depois de 21 anos foram construídos metrôs em Porto Alegre, Rio grande do Sul, com 34.5 Km de extensão; e em Recife com 39.5 Km de extensão e 17 estações. As próximas linhas de metrô construídas foram em Belo Horizonte em 1987, com 16 estações distribuídas em 28.1 km; e em Brasília, no ano de 2001, com 42 km de extensão e 13 estações. A linha mais recente construída na cidade de Fortaleza, em 2004, com 56.8 km de extensão e 39 estações. No momento, também ainda está em construção o metrô de Salvador com 33 km de extensão e com duas linhas. (METROFERROVIÁRIO, 2017, CNTLL, 2020).

O maior túnel metroviário no Brasil encontra-se na Linha 1 Metrô do Rio de Janeiro com extensão de cerca de 20.200 m. Fig. 3.17.

Figura 3.17. Linha 1- metrô do Rio de Janeiro



Fonte: (Viatrolebus)

O Quadro 3.5 apresenta a lista dos túneis metroviários construídos no Brasil entre 1979 e 2019.

Quadro 3.5. Túnel metroviário

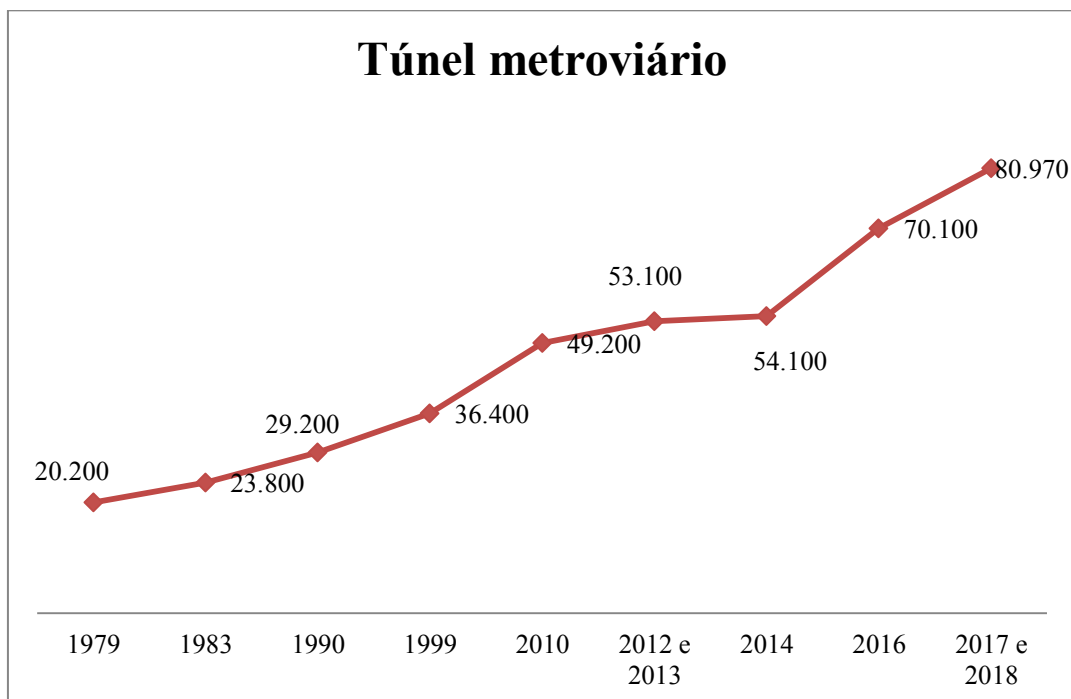
	Túnel	Comprimento(m)	Inauguração	Estado
1	Linha 1 - Metrô do Rio de Janeiro (19 Estações)	20.200	1979	RJ
2	Linha 4 - Metrô do Rio de Janeiro (6 Estações)	16.000	2016	RJ
3	Linha 4- Metrô de São Paulo	12.800	2010	SP
4	Linha 5- Metrô de São Paulo	10.870	2017 e 2018	SP
5	Túnel da Asa Sul	7.200	1999	DF
6	Linha 2- Verde, Metrô de São Paulo (2 túneis)	5.400	1990	SP
7	Linha sul - Metrofor	3.900	2012 e 2013	CE
8	Linha 3 - Vermelha, Metrô de São Paulo (2 túneis)	3.600	1983	SP
9	Linha 1- Estação de Metrô Campo da Pólvora	1.000	2014	BA

Fonte: (Wikipedia, adaptado Aluno)

3.10.1. Expansão da rede de túneis metroviários

O gráfico 3.3 apresenta a expansão de túneis em metros, construídos no Brasil no período entre 1979 e 2019.

Gráfico 3.3. Evolução da expansão de túnel metroviário do Brasil



Fonte: (Autor)

3.11. TÚNEL IMERSO – EM PROJETO

Túneis imersos, submersos ou subaquáticos, são uma opção de travessia para canais, rios ou mares. Essas obras são constituídas de elementos pré-fabricados em diques secos, que posteriormente são rebocados até o seu local de assentamento, imergidos e ligados. O túnel imerso possui algumas vantagens em relação a outros tipos de travessia, como a aplicabilidade em solos inertes, variabilidade da forma da seção e pouca interferência no cenário local. (CASTILHO, *et al*, 15º CONIC E SEMESP).

No Brasil não há túnel Imerso. No entanto, atualmente há um projeto de um túnel imerso que conectará as cidades de Santos e Guarujá (Fig. 3.18), na Região Metropolitana da Baixada Santista, no litoral sul do estado de São Paulo.

Devido às características da região, que atrai muitos veículos de passageiros para a cidade de Santos devido à sua vocação comercial e, principalmente, à presença do maior porto da América Latina; e a grande concentração de moradias no Guarujá, a demanda por travessia de passageiros entre estes dois municípios é elevada. (DELOSPITAL, 2016).

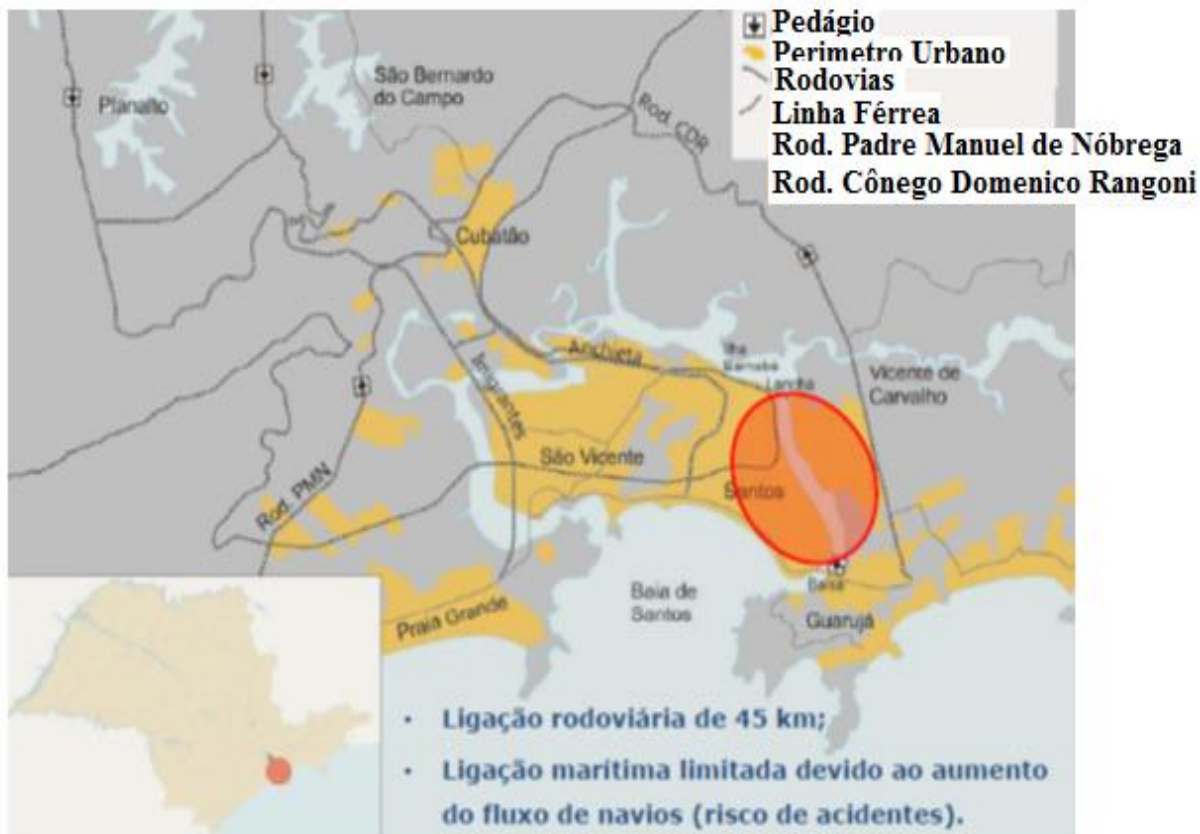
Figura 3.18. Localização da travessia entre Santos e Guarujá



Fonte: (Prime-Etel, 2013 *apud* Delospital, 2016).

O projeto do túnel que conectam Santos a Guarujá está em estudo há quase 100 anos. Segundo Delospital, (2016, v.12, p. 21), a ideia foi levantada pela primeira vez em 1927 com o projeto de um túnel de 900 metros de extensão e 20 metros de profundidade. Em 1948, o então governador Prestes Maia, que já previa a necessidade de conectar as duas maiores cidades da Baixada Santista, apresentou uma proposta de interligação através de ponte levadiça. Já em 1970, no governo de Abreu Sodré, discutiu-se a implantação de uma ponte helicoidal com o objetivo de manter o gabarito para a passagem de navios para o Porto de Santos. As opções de ponte e túnel se revezaram nas promessas dos políticos paulistas desde então até que, em agosto de 2011, o governador Geraldo Alckmin decidiu definitivamente pelo túnel do tipo inundado. A Figura 3.19 apresenta a localização do futuro túnel e seus arredores.

Figura 3.19. Localização do projeto de túnel e seus arredores



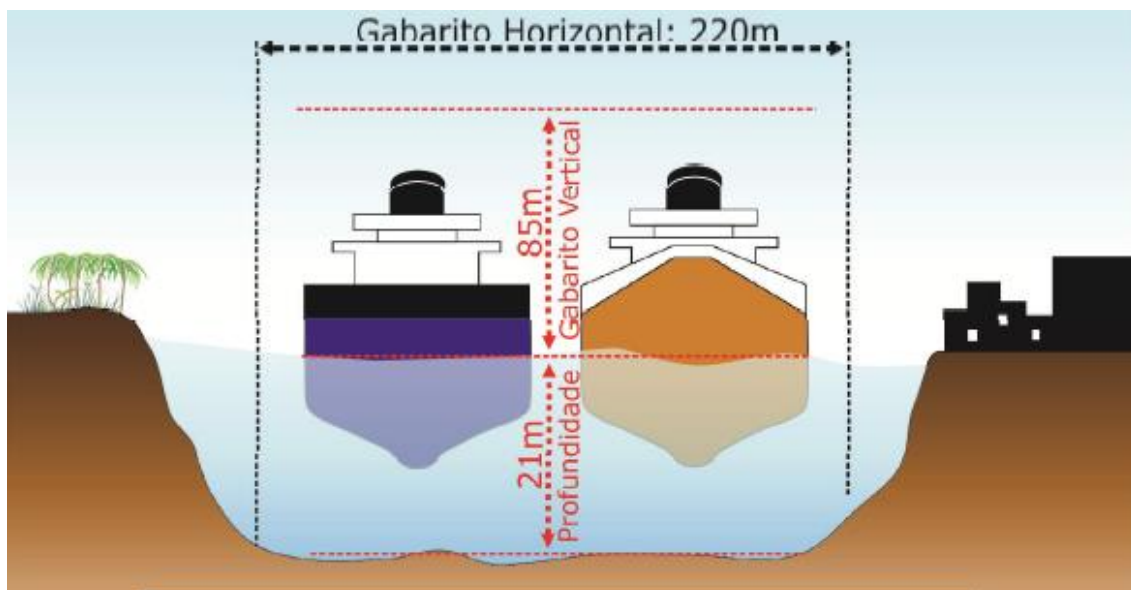
Fonte: (Seminário de túneis imersos comitê brasileiro de túneis, 2013).

3.11.1. Projeto de travessia

As restrições consideradas nesta etapa tratam de restrições de autoridade Aeroportuárias e portuária. As restrições aeroportuárias definem as alturas máximas (cone aéreo) de qualquer tipo de obstáculo no entorno da base aérea de Santos, localizada na margem esquerda do canal de Santos. As restrições portuárias definem a profundidade em 21 metros, o gabarito horizontal mínimo de 220 metros (Fig. 2.20) e do gabarito vertical mínimo de 85 metros para permitir o trânsito de navios. (DELOSPITAL, 2016).

A profundidade serve para atender o calado necessário, o gabarito horizontal permite a passagem de duas embarcações simultaneamente e o gabarito vertical atende a altura máxima de alguns navios carregados atingem.

Figura 3.20. Restrições portuárias: gabarito de navegação



Fonte: (Seminário de túneis imersos comitê brasileiro de túneis, 2013).

Por outro lado, como ilustrado na Figura 3.21, a restrição portuária limita a altura máxima das obras na região do entorno da travessia a 75 m, tornando a alternativa de solução em túnel a melhor opção.

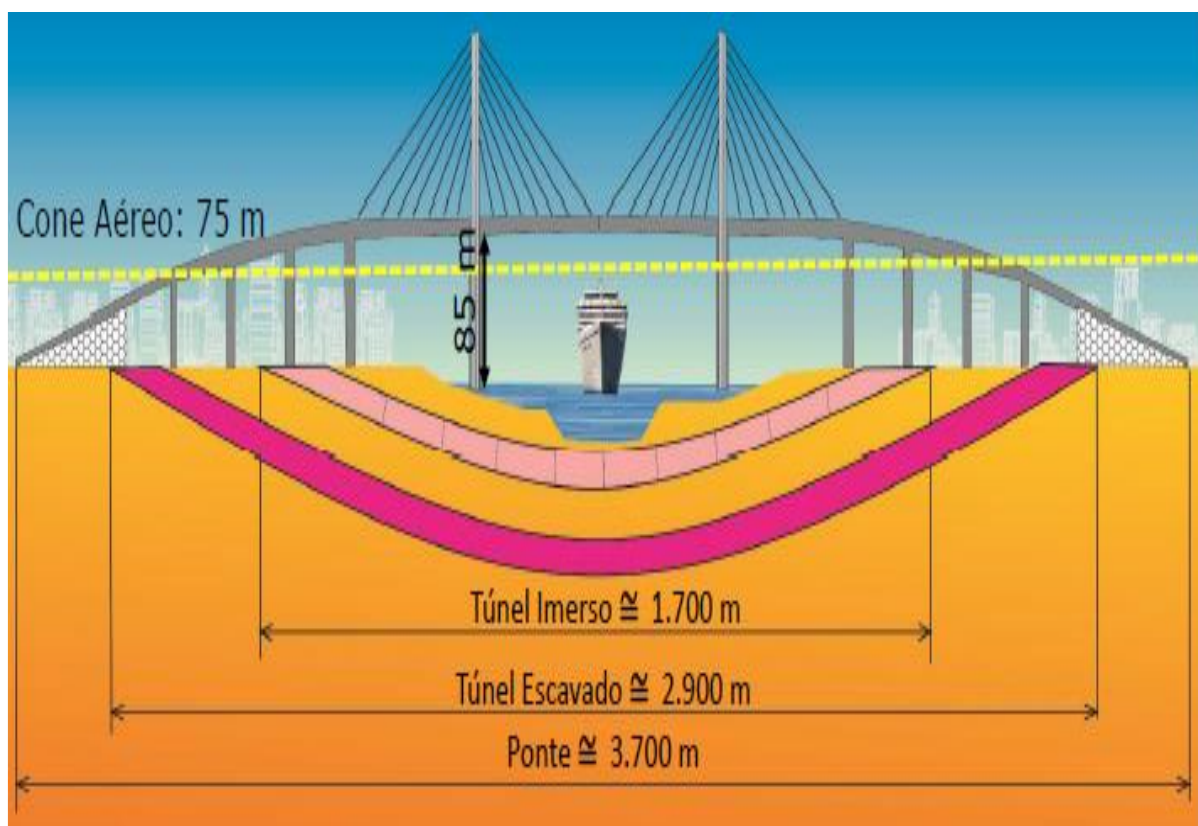
Figura 3.21. Restrições aeroportuárias



Fonte: (Seminário de túneis imersos comitê brasileiro de túneis, 2013).

A Figura 3.22 ilustra uma comparação entre as opções de travessia ao longo desse canal com ponte (3.700 m), túnel imerso (1.700 m) e túnel escavado (2.900 m), sendo esta última 1.200 m mais extensa que o túnel imerso, além de envolver construção sob condições muito arriscadas (detonações em maciço sob leito marinho).

Figura 3.22. Opções construtivas

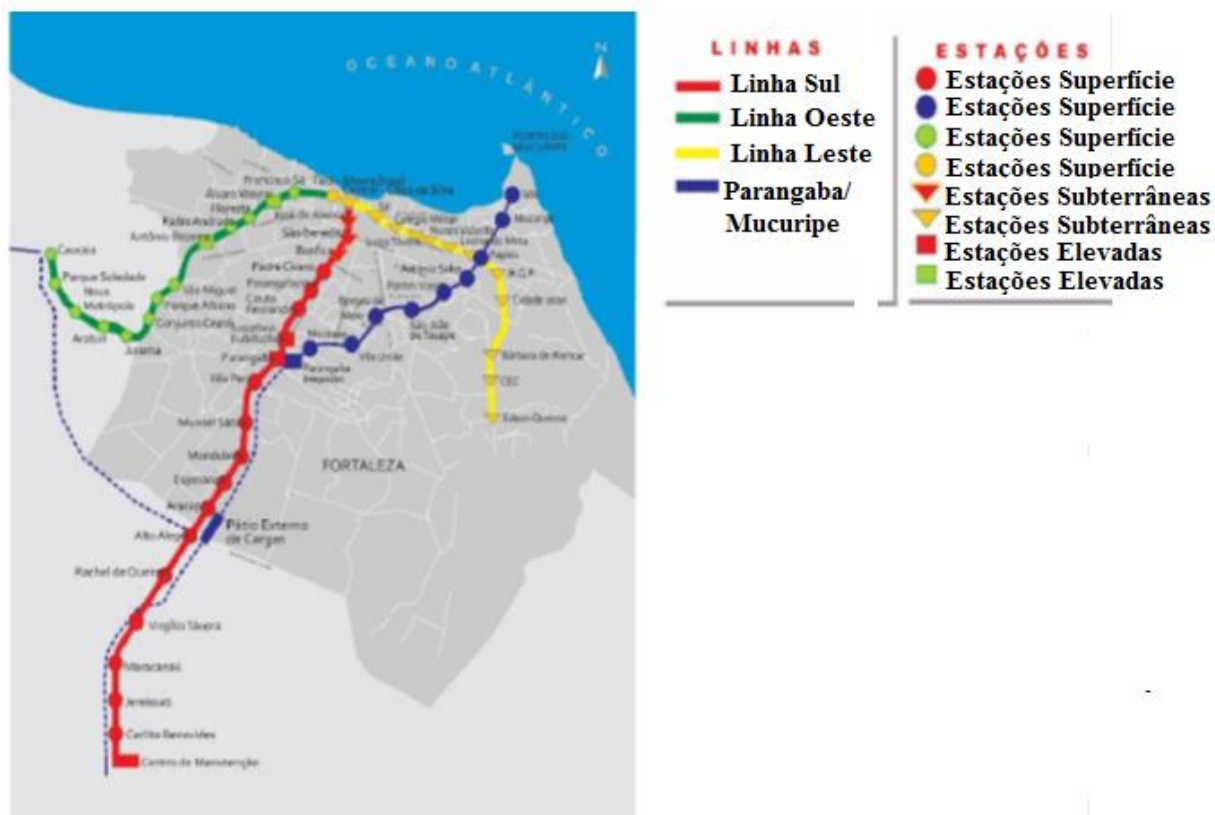


Fonte: (Seminário de túneis imersos comitê brasileiro de túneis, 2013).

3.12. EXEMPLO DE TÚNEL EM CONSTRUÇÃO NO BRASIL

Como é difícil catalogar todos os túneis em construção pelo Brasil, muitos deles iniciados, mas com obras embargadas, neste capítulo será apresentado apenas um caso representativo, o túnel da futura Linha Leste do Metrô de Fortaleza, por se tratar de ser o primeiro Túnel metroviário fora do eixo Rio-São Paulo a utilizar o método construtivo TBM (Fig. 3.23).

Figura 3.23. Apresentação do mapa da rede



Fonte: (Metrofor, 2018)

3.12.1. Proposta da Linha Leste Metro Fortaleza

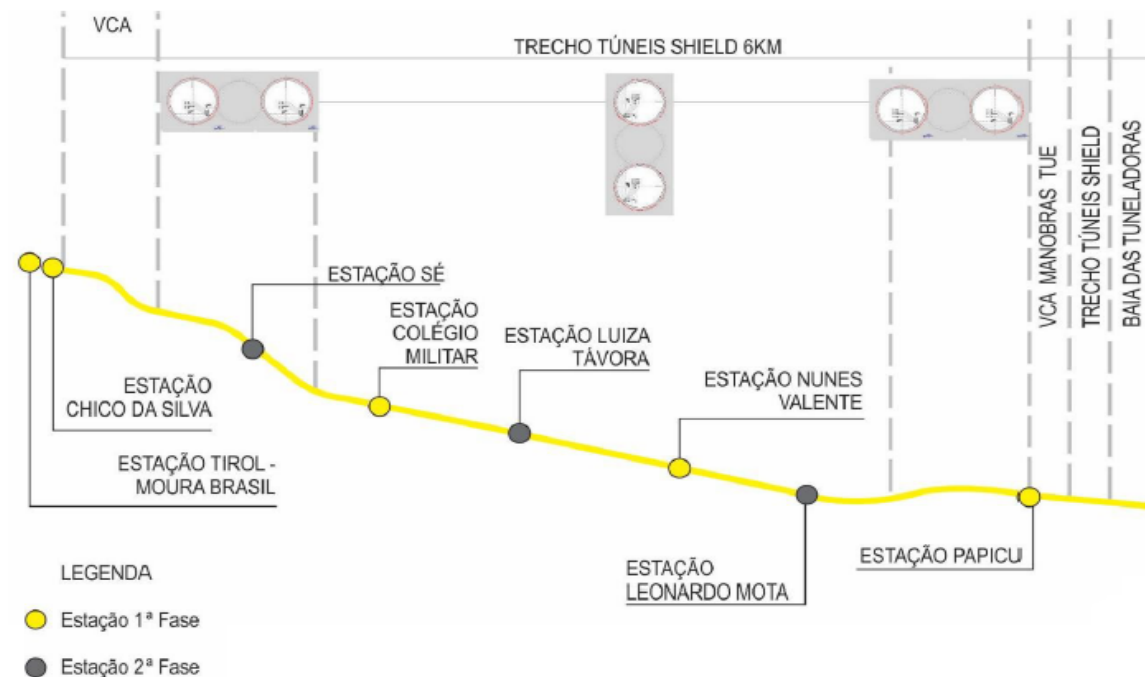
Este projeto deve ser executado com Tuneladoras compradas pelo governo cearense, as primeiras a operar fora do eixo Rio-São Paulo e as únicas em atividade no Brasil. As obras da linha Leste estavam previstas para ser entregues no final de 2022, a primeira linha totalmente subterrânea de metrô da capital Fortaleza, contará quando entregue a primeira fase com 7.300 metros túneis de metrô, distribuídos em 5 estações, das quais 4 são subterrâneas e 1 estação de superfície (Fig. 3.24). Duas estações são em túneis paralelos (Chico da Silva e Papicu), e duas em túneis sobrepostos (Colégio Militar e Nunes Valente). (METRÔ CPTM, 2020). Fig.3.25, ilustra a posição relativa do túnel.

Figura 3.24. Linhas e estações



Fonte: (Metrofor, 2018)

Figura 3.25. Posição Relativa do Túnel



Fonte: (Metrofor, 2018)

3.12.2. Tuneladora da Linha Leste Metro Fortaleza

Único tatzão em funcionamento no Brasil esta máquina, até a presente dissertação, já construiu 700 metros de túneis a uma profundidade de 34 metros (Fig. 3.26).

Figura 3.26. TBM Metrofor



Fonte: (Metrô CPTM, 2020).

3.13. INOVAÇÃO DE TUNELADORA BRASILEIRA

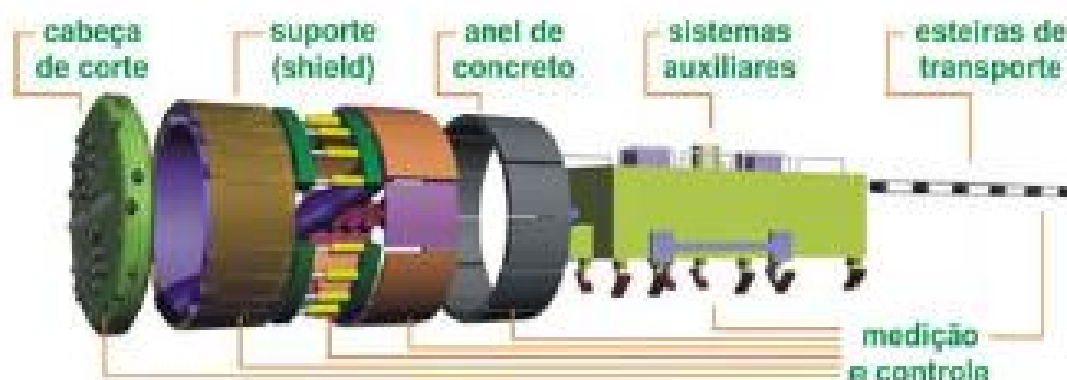
Em virtude do crescimento populacional, do aumento de fluxo de cargas e, conseqüentemente, da crescente demanda de uma infraestrutura mais robusta que possa atender às necessidades do país, o número tão baixo de túneis no Brasil vem se apresentando como um dos maiores obstáculos a serem vencidos. A necessidade de novas tecnologias tuneladoras mais eficientes e acessíveis é de importância fundamental para atender às demandas necessárias ao desenvolvimento sócio-econômico do Brasil.

Como mencionado por Noronha (2010), apesar do sucesso das tuneladoras atuais (TBMs), elas ainda são semelhantes à primeira que surgiu há 50 anos. Com isso, pesquisadores da UFSC vêm desenvolvendo novos estudos para tornar essas máquinas mais eficientes, seguras e acessíveis. Neste item será brevemente destacada a tecnologia Brabo, desenvolvida pelo professor Noronha em conjunto com sua equipe.

3.13.1. BRABO (*Brazilian borer* ou *perfuradora brasileira*)

A tuneladora BraBo (*Brazilian Borer*) é uma nova proposta de um método alternativo com alto desempenho em comparação aos métodos convencionais e mecanizados, objetivando ser até três vezes mais rápida e econômica que as máquinas atuais. Assim, a taxa de avanço de escavação da tuneladora BraBo é planejada para alcançar até 90 m/dia, enquanto as tecnologias atuais oferecem avanços típicos de 30 m/dia. A Figura 3.27 representa a estrutura básica de uma tuneladora convencional (NORONHA e FARIA, 2010).

Figura 3.27. Estrutura básica de tuneladora existentes



Fonte: (Noronha e Faria, 2010).

3.13.2. Modelo proposto da tuneladora BraBo

Segundo Noronha (2010) a proposta da tuneladora BraBo baseia-se em três inovações. A primeira inovação utiliza um sistema de corte por meio de um jato d'água. A segunda inovação apresenta o desmonte da rocha em etapas distintas de fragmentação da rocha por cargas estrategicamente aplicadas. A terceira inovação aperfeiçoa a execução do sistema de revestimento e suporte do túnel, o que deverá acarretar maior racionalização de recursos bem como ganho na taxa de avanço da frente de escavação. A perspectiva do resultado do desenvolvimento proposto é projetar e construir uma máquina que apresente taxas de avanço de escavações de até 60 m/dia (NORONHA e *al.*, 2010) (MOSER, 2013). Figura 3.28 e 3.29.

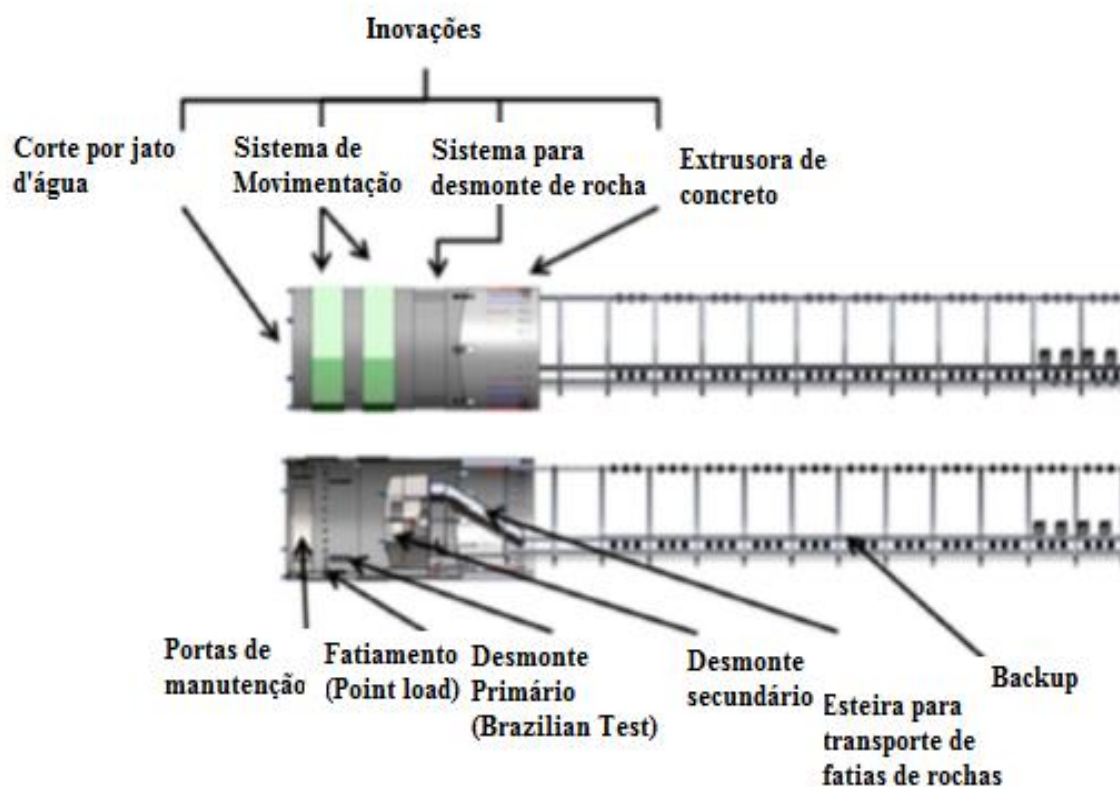
As Figuras 3.28 e 3.29 representam a estrutura básica da tuneladora BraBo, que pode ser adaptada à construção de túneis ou micro-túneis em solo ou rocha. (Noronha, e Faria, 2010).

Figura 3.28. As três inovações da tuneladora



Fonte: (Noronha, e Faria, 2010).

Figura 3.29. Apresenta corte lateral da Brabo e seus sistemas de funcionamento



Fonte: (Noronha e al., 2013 apud, Moser, 2013)

3.14. NÚMEROS TOTAIS DE TÚNEIS NO BRASIL ENTRE 1979 E 2019

No levantamento feito por este trabalho, buscaram-se registrar da melhor forma possível as obras de túneis executadas entre 1979 e 2019. O Quadro 3.6 apresenta a quantidade total de túneis construídos no Brasil durante este período.

Quadro 3.6. Números totais no Brasil catalogado pelo autor

Ano Item	1979		2019		1979 - 2019
	Números	Comprimento (km)	Números	Comprimento (km)	Comprimento construído nos últimos 40 anos
Túnel Ferroviário	1	2,072	4	15,799	13,727
Túnel Rodoviário			99	32,705	32,705
Linhas de Metrô	1	20,200	9	80,970	60,770
		22,272	112	129,474	107,202

Fonte: (Autor)

Por fim, o Quadro 3.7 apresenta os 10 maiores túneis construídos no Brasil em todos os tempos.

Quadro 3.7. Os 10 maiores túneis do Brasil

Nome do túnel	Comprimento(km)	Inauguração	Estado	Modal	Método construtivo adotado	Topografia
Linha 1 metrô do Rio de Janeiro	20,200	1979	RJ	Metroviário	TBM	Urbano
Linha 4 metrô do Rio de Janeiro	16,000	2016	RJ	Metroviário	TBM	Urbano
Linha 4 metrô de São Paulo	12,800	2010	SP	Metroviário	Método convencional/TBM	Urbano
Linha 5 metrô de São Paulo	10,870	2017 e 2018	SP	Metroviário	Método convencional	Urbano
Tunelão	8,645	1984	MG	Ferrovário	Método convencional	-
Túnel Asa Sul	7,200	1999	DF	Metroviário	Método convencional	Urbano
Linha 2 metrô SP	5,400	1990	SP	Metroviário	Método convencional	Urbano
Linha sul metrô de Fortaleza	3,900	2012 e 2013	CE	Metroviário	Método convencional	Urbano
Linha 3 metrô SP	3,600	1983	SP	Metroviário	Método convencional	Urbano
Rodovia dos imigrantes (TD1)	3,146	2002	SP	Rodoviário	Método convencional	Rodovia
	91,761					

Fonte: (Guimarães, 2018, Souza, 2012, Wikipédia adaptado Autor)

4. TÚNEIS NA CHINA

4.1. Localização da China

O maior país do Leste asiático cuja língua oficial é o mandarim, a República Popular da China, tem como capital a cidade de Pequim. O território estende-se em uma grande área no sudeste da Ásia e possui uma longa costa com o Oceano Pacífico. Figura 4.1 apresenta China no mundo

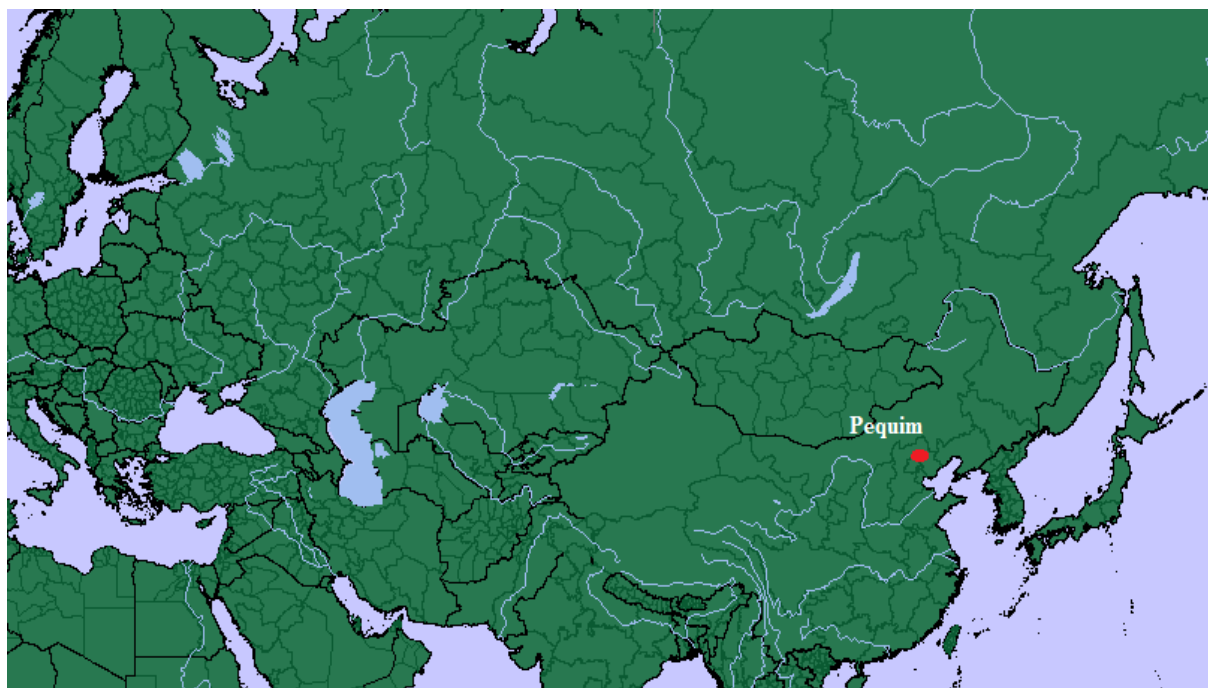
Figura 4.1. China no Mundo



Fonte: (Natural Earth data)

O país está estabelecido no extremo oriente e situa-se no hemisfério norte (incluindo mares e ilhas). A China faz fronteira com mais de dez países, tais como: Afeganistão, Butão, Cazaquistão, Coreia do Norte, Índia, Laos, Mianmar, Mongólia, Nepal, Paquistão, Quirguistão, Rússia, Tajiquistão e Vietnã. (FRAVEL, 2007 *apud* NEVES *et al*, 2016). Fig. 4.2.

Figura 4.2. Localização da China e sua vizinhança



Fonte: (<https://maps-for-free.com/>, adaptado autor)

4.2. TERRITÓRIO DA CHINA

A China tem uma fronteira terrestre com cerca de 22.8 mil quilômetros, a maior fronteira terrestre do mundo, e uma linha costeira de cerca de 18 mil quilômetros, envolvendo uma área total de 9.596.900 km². Se comparado com os 14 Estados que faz a fronteira, este tem o segundo maior tamanho, da Ásia, e é o quarto maior em extensão territorial do mundo.

Existem mais de 11.000 ilhas na China, sendo 6.536 com mais de 500 m² de área e 455 ilhas com moradores. Devido às restrições causadas pelas inúmeras baías e estreitos, o desenvolvimento econômico em áreas locais não é muito equilibrado e o custo de transporte é elevado. Além disso, a China tem muitos rios interiores, incluindo 28 rios principais. O recente desenvolvimento econômico da China trouxe a necessidade de construir túneis que cruzam montanhas, zonas urbanas, rios, lagos e mares. Devido ao fato de a China ter uma grande população e uma área de terra per capita relativamente pequena, os túneis têm vantagens de encurtar distâncias, sendo elementos de importância estratégica para o país. (HONG, 2017).

A extensão do território chinês é marcada pela grande distanciação de seus extremos de localização. O ponto mais alto medido a partir do nível do mar é o cume do Monte Everest, região autônoma do Tibete, na fronteira sino-nepalesa. Embora as medições de sua altura

variem, a elevação de seu pico é de cerca 8.849 m acima do nível do mar. Já o ponto mais baixo está a 154 m abaixo do nível do mar no lago Ayding, dentro da depressão de Turpan. (CHINESEEMBASSY, AL. CHINA, 2008). Fig. 4.3.

Figura 4.3. Mapa dos pontos extremos da China



Fonte: (Uwe Dederling)

Já nas áreas oceânicas, as fronteiras litorâneas chinesas estendem-se pelo Oceano Pacífico. A China também reivindica o Mar da China Meridional.

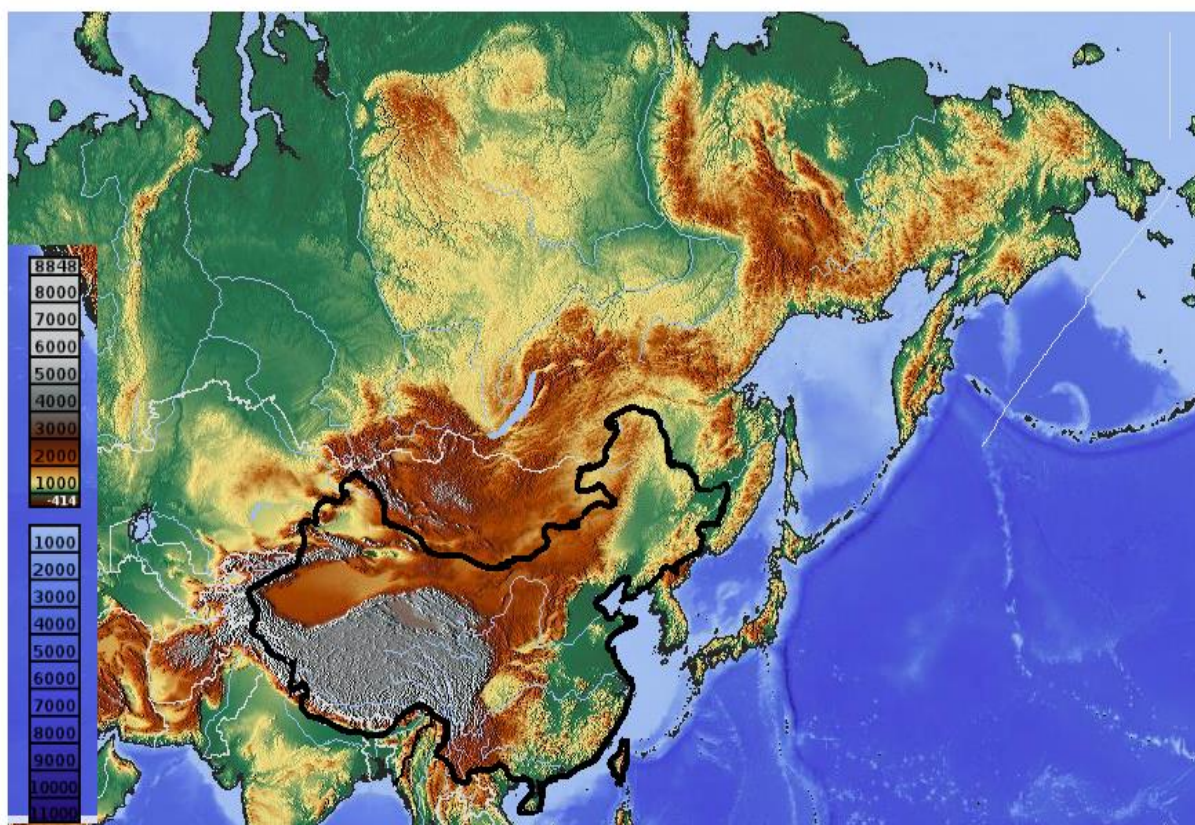
4.3. RELEVO DA CHINA

No que se refere ao território chinês, a geografia chinesa é bastante complexa, pois tem inserido em seu território uma imensa variedade de elementos paisagísticos (relevo, vegetação, colinas, cordilheira entre outros). Desses se destacam as áreas de montanhas com 33% do território, os planaltos com 26%, as bacias com 19%, as planícies com 12%, e as colinas com 10%. As montanhas mais altas são localizadas no oeste, e relevos de menor altitude a leste. (HUAUFU, *et al*, 2001). É possível verificar essas discrepâncias na Fig. 4.4.

A costa leste do Mar Amarelo e do Mar da China Oriental concentra planícies Aluviais, enquanto a costa do Mar da China do sul possui configuração montanhosa. Já no

sul, o relevo é de características constituídas por serras e cordilheiras com altitudes pouco elevadas. No Himalaia se encontra o ponto mais alto, o Monte Everest, que corresponde à montanha mais elevada do mundo com 8.848,86 m de altitude. O sudoeste da china é composto por paisagens de altos planaltos, paisagens áridas e desertas como Takla-Makan e o deserto de Gobi, que cresce cada vez mais. (FREITAS, 2020).

Figura 4.4. Relevo da China



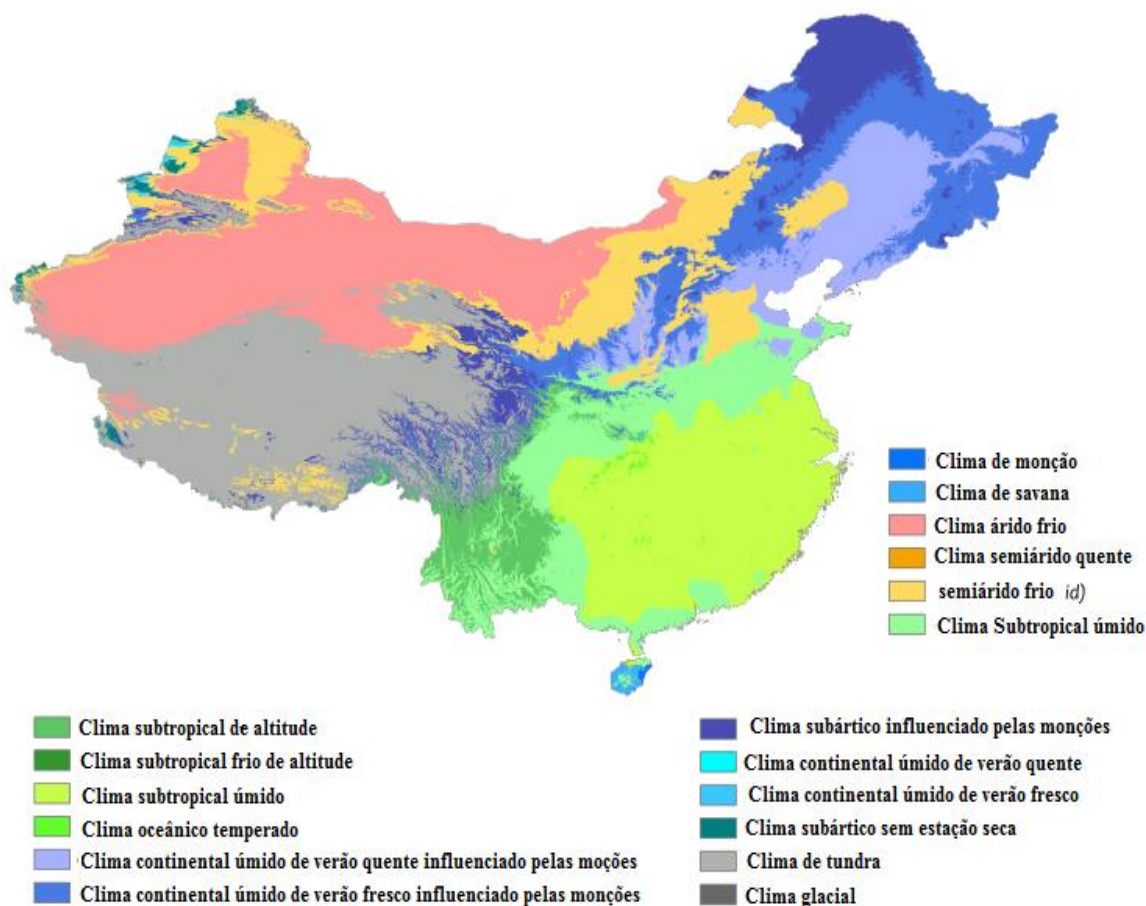
Fonte: (<https://maps-for-free.com/>, adaptado Autor)

4.3.1. Clima e meio ambiente da China

O clima da China devido a vários fatores, como localização geográfica, elevação topográfica, extensão do seu território e atividade humana, é complexo. A China pode ser dividida em três zonas climáticas: a monção oriental úmida (o que leva a grandes diferenças de temperatura no inverno e verão), o noroeste árido e semiárido, e a zona alpina Qinghai-Tibet. (HUAFU, *et al*, 2001).

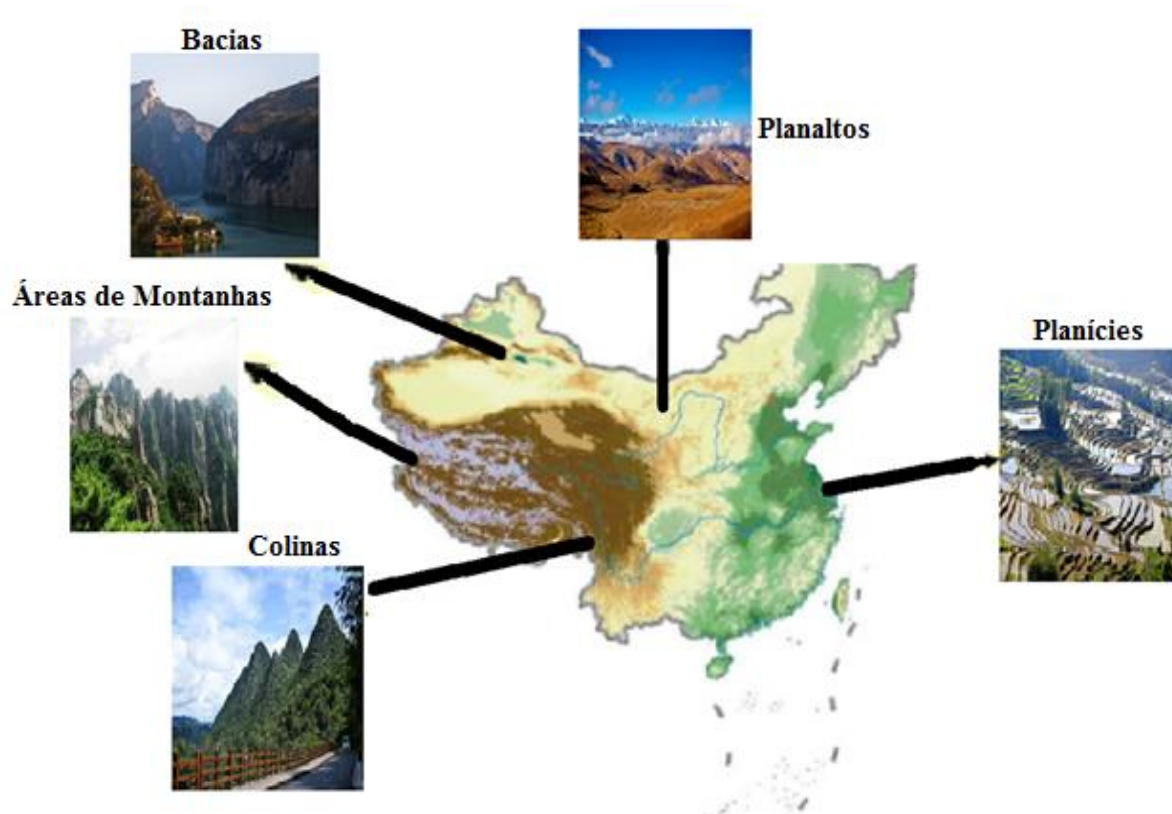
No inverno as diferenças de temperatura variam muito entre o norte e o sul. No verão faz calor na maior parte da china e há chuvas em abundancia. A precipitação varia em todo o país, resultando em abundância chuva no sul e leste, mas pouca no norte e no oeste. Como apresentado na (Fig. 4.5). (HUAFU, *et al*, 2001). Fig. 4.5.

Figura 4.5. Clima da China



Fonte: (Peterson, adaptado Autor).

Figura 4.6. As diferentes paisagens da China



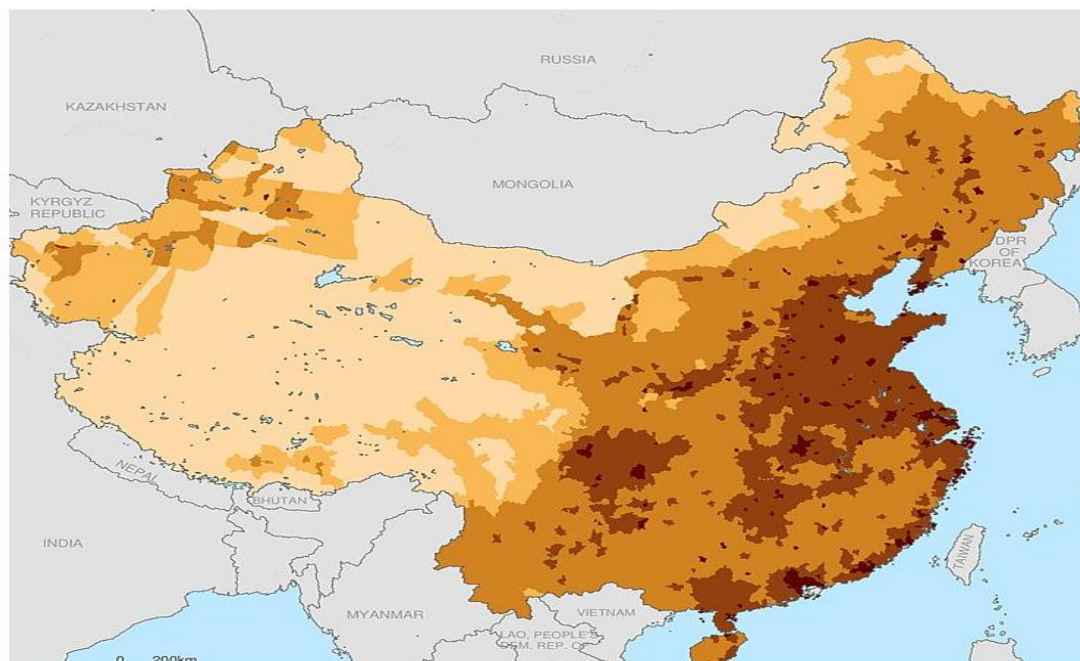
Fonte: (Autor)

4.4. POPULAÇÃO DA CHINA

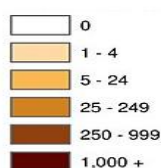
A República Popular da China, o maior país da Ásia Oriental, é o mais populoso do mundo. Atualmente, existem cerca de 1,4 bilhões de habitantes na China, o que corresponde a aproximadamente 22% da população mundial e aproximadamente 1/16 do total da superfície emersa mundial. Cerca de 94% de toda a população habitam 43% das regiões orientais do país, e apenas 6% vive em 57 por cento das regiões ocidentais. (HUAFU, *et al*, 2001). Fig. 4.7.

O grande tamanho populacional é um problema proeminente na China, criando enorme pressão sobre os recursos e o meio ambiente, bem grandes desafios sociais e econômicos. Desde a década de 1970, a China adotou uma política de planejamento familiar, diminuindo sua atual taxa de crescimento populacional para menos de 1%, reduzindo muito a pressão populacional. (HUAFU, *et al*, 2001).

Figura 4.7. Mapa de densidade populacional da China



Habitantes por km²



Fonte: (Earth data)

4.4.1. Composição étnica da China

A China é composta por 56 grupos étnicos diferentes. A etnia Han, a mais numerosa, corresponde a 91,02% do total da população, sendo que as outras 55 etnias minoritárias são apenas 8,98% da população chinesa, com cerca de 108 milhões habitantes, a etnia Zhuang, tem 15.55 milhões de habitantes e a etnia menos numerosa é etnia Luoba com 2000 habitantes. (SALDANHA; *apud* NEVES *et al*, 2016).

Dentre os povos minoritários, o grupo Zhuang tem a maior população, numerando em mais de 16 milhões, enquanto alguns outros grupos têm uma população de apenas alguns milhares (HUAFU, *et al*, 2001).

4.4.2. Maiores metrópoles da China

Em relação as cidades mais habitadas na China, segundo Reynard, Gabriel (2015) são cerca de 144 cidades com mais de um milhão de habitantes. Fig. 4.1 e no quadro 4.1.

Figura 4.8. Algumas das maiores metrópoles chinesa



Fonte: (Trinaliv ,Ocha)

Quadro 4.1. As 10 maiores metrópoles da China

Posição	Cidade	Unidade Administrativa	População (milhões)
1	Shanghai	Shanghai	26.917322
2	*Beijing	Beijing	20.381745
3	Chongqing	Capital Provincial	15.773658
4	Tianjin	Tianjin	13.552359
5	Guangzhou	Guangdong	13.238590
6	Shenzhen	Guangdong	12.313714
7	Chengdu	Sichuan	9.104865
8	Nanjing	Jiangsu	8.789855
9	Wuhan	Hubei	8.346205
10	Xi' an	Shaanxi	7.603271

Fonte: (Huafu, *et al*, 2001e Wikipedia, 2020).

4.5. GOVERNO E POLÍTICA

O governo chinês é descrito como República comunista e socialista, com fortes restrições em muitas áreas, principalmente em relação à internet, imprensa, liberdade de reunião, direitos reprodutivos e liberdade de religião. Seu sistema é denominado pelos líderes como “socialismo com características chinesas”. (CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA POPULAR DA CHINA, 1982).

O país é governado pelo Partido Comunista da China (PCC), cujo poder está consagrado na constituição. O sistema eleitoral chinês é hierárquico, segundo o qual os Congressos Populares locais são eleitos diretamente, e todos os níveis mais elevados do Congresso até a Assembleia Popular Nacional (APN) são eleitos indiretamente pelo Congresso Popular de nível imediatamente inferior. (CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA POPULAR DA CHINA, 1982).

4.6. DIVISÃO ADMINISTRATIVA DA CHINA

A China tem um total de 22 províncias no continente, constituindo 54% do território chinês, mais a ilha de Taiwan, considerada pela República Popular da China o seu província de número 23. Além de 5 regiões autônomas (Tibete, Xin- Jiang, Guanxi, Ningxia e Mongolia Interior) e 4 municípios diretamente sob o Governo Central (Pequim, Xangai, Chongqing, Tiajin) mais as 2 regiões Administrativas Especiais (Hong Kong, Macau). As províncias são as seguintes: Anhui, Fujian, Gansu, Guangdong, Guizhou, Hainan, Hebei, Heilongjiang, Henan, Hubei, Hunan, Jiangsu, Jiangxi, Jilin, Liaoning, Qinghai, Shaanxi, Shandong, Shanxi, Sichuan, Yunnan, Zhejiang. (NEVES *et al*, 2016). Fig.4.9 e quadro 4.2.

Figura 4.9. As grandes regiões administrativas e as províncias da China



Fonte: (Wikipédia, 2020, adaptado Autor)

Quadro 4.2. Regiões administrativas da China.

n°	Nome completo	Abreviação	Centro administrativo
*1	Beijing (Pequim)	JING	Beijing
2	Tianjin	JIN	Tianjin
3	Província de Hebei	JI	Shijiazhuang
4	Província de Shanxi	JIN	Taiyuan
5	Inner Mongolia Autonomous	INNER MONGOLIA	Hohhot
6	Província de Liaoning	LIAO	Shenyang
7	Província de Jilin	JI	Changehun
8	Província de Heilongjiang	HEI	Harbin
9	Shanghai	HU ou SHEN	Shanghai
10	Província de Jiangshu	SU	Najing
11	Província de Zhejiang	ZHE	Hangzhou
12	Província Anhui	WAN	Hefei
13	Província de Fujian	MIN	Fuzhou
n°	Nome completo	Abreviação	Centro administrativo
14	Província de Jiangxi	GAN	Nanchang

15	Província de Shandong	LU	Ji' nan
16	Província de Henan	YU	Zhengzhou
17	Província de Hubei	E	Wuahan
18	Província de Hunan	XIANG	Changsha
19	Província de Guangdong	YUE	Guangzhou
20	Região autônoma de Guangxi Zhuang	GUI	Nanning
21	Província de Hainan	QIONG	Haikou
22	Chongqing	YU	Chongqing
23	Província de Sichuan	CHUAN OU SHU	Chengdu
24	Província de Guizhou	QUIAN ou GUI	Guiyang
25	Província de Yunnan	YUN ou DIAN	Kunming
26	Região autônoma de Tibet	ZANG	Lhasa
27	Província de Shaanxi	SHAN ou QIN	Xi' na
28	Província de Gansu	GAN ou LONG	Lanzhou
29	Província de Qinghai	QING	Xining
30	Região autônoma de Ningxia Hui	NING	Yinchuan
31	Região autônoma de Xinjiang Uygur	XIN	Urumqi
32	Região de administração especial Hong Kong	GANG	Hong Kong
33	Região de administração especial Macao	AO	Macao
34	Província de Taiwan	TAI	Taibei

Fonte: (Wikipédia adaptado Autor)

4.7. INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE NA CHINA

O transporte na parte continental da República Popular da China melhorou gradativamente desde a década de 1990, como parte de um esforço do governo para vincular toda a nação através de uma série de vias expressas. O comprimento total da rede de autoestradas era 149.600 km no final de 2019, a segunda maior rede do mundo, perdendo apenas para os Estados Unidos. (QIAO e XIA 2020).

A China possui a maior rede ferroviária de todos os modais de alta velocidade do mundo, com mais de 139.000 km de linhas em serviço em 2019. Destes, 35.000 km servem trens com alta velocidade. (QIAO e XIA 2020).

Os sistemas de metrô chinês também estão em rápido desenvolvimento nas grandes cidades chinesas, sob a forma de redes de sistemas de trens subterrâneos ou veículos leves sobre trilhos (VLTs). Até 2020, a China pretende estar operando cerca de 16.000 km de linhas ferroviárias de alta velocidade. (MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES DA CHINA, 2007 *apud* REIS, 2013).

Na China, o transporte de longa distância continua a ser dominado por ferrovias. As ferrovias são monopolizadas pelo Estado e divididas em vários gabinetes ferroviários, em

diferentes regiões. (MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES DA CHINA, 2007 *apud* REIS, 2013).

Em 2019, existiam 238 aeroportos de aviação civil, dos quais 237 aeroportos para voos regulares e 106 aeroportos de aviação geral. (QIAO e XIA 2020).

Segundo Madrigali (2019), devido ao seu litoral imenso na China há 34 grandes portos e mais de 2.000 portos minoritários. Entre os 17 principais portos do mundo, 8 são da China, além disso, o porto de Shanghai (Fig. 4.10), na Baía de Hangzhou, é o maior do mundo desde 2010, tendo batido o recorde de maior movimentação de contêiner do mundo em 2017, com um valor de 4.02 milhões de TEUs.

Figura 4.10. Porto de Shanghai – o mais movimentado do mundo



Fonte: (Produce report, 2017)

Figura 4.11. Principais portos da China

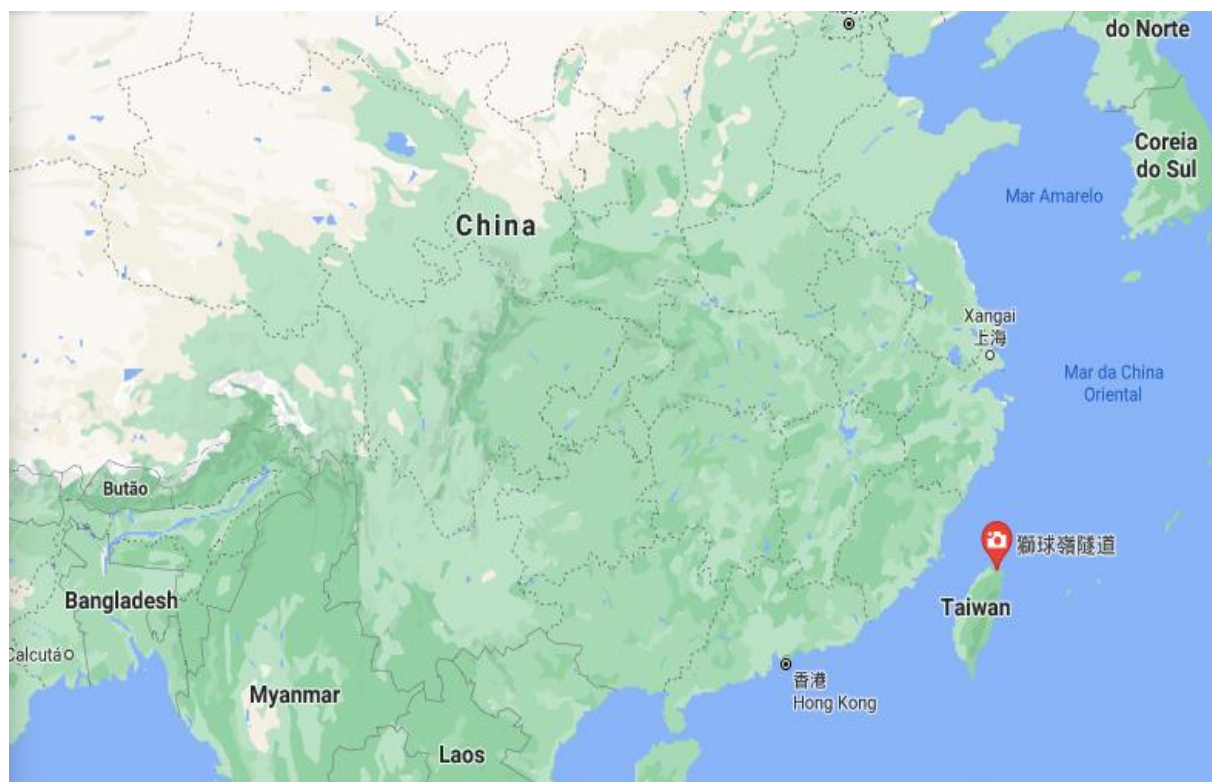


Fonte: (Madrigali, 2019)

4.8. TÚNEIS FERROVIÁRIOS

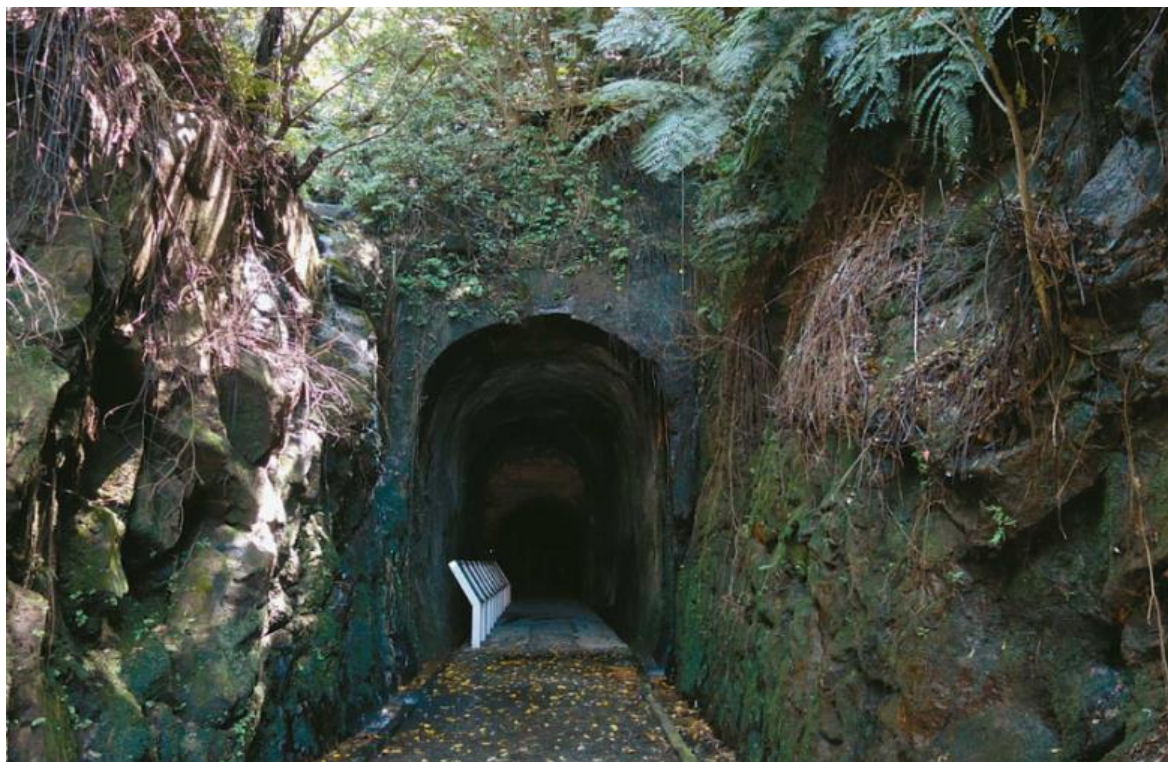
O Túnel Shiqiuling ou túnel Liu Ming-Chuan foi o primeiro túnel ferroviário (Fig. 4.12. Mapa de localização) da China construído em 1890 nas montanhas da China, no entanto, foi utilizado por apenas 7 anos, após a sua construção durante a guerra Sino-Francesa, travada de 1884 a 1885 no norte de Taiwan. Como a topografia de Shiqiuling é montanhosa e complexa, os engenheiros construíram o túnel de 235 m em sete partes que foram reforçadas com paredes de tijolos e unidas. Uma característica única do túnel é que seu teto arqueado é cerca de 4.26 m mais alto de uma extremidade para outra, porque o trabalho foi feito em seções diferentes ao mesmo tempo. (LIN, e HETHERINGTON, 2019). Fig. 4.13.

Figura 4.12. Mapa de localização túnel Shiqiuling



Fonte: (Google maps)

Figura 4.13. Túnel Shiqiuling



Fonte: (Reddit)

Devido à guerra Sino-Japonesa na década de 40, os túneis eram utilizados como defesa contra o exército japonês, sendo construídos de forma manual (EM) sob a direção do partido comunista chinês. Neste período, uma vasta expansão foi empreendida até o ponto em que os túneis eventualmente conectaram muitos vilarejos vizinhos, em um complexo que incluía armadilhas para tropas japonesas, esconderijos de armas, bunkers ocultos e postos de comando. As entradas e saídas dos túneis geralmente ficavam em uma casa ou em um poço, facilitando a entrada e saída dos guerrilheiros sem serem detectados. (HERMAN, 2014).

As décadas de 1950 e 1960 foram uma época de construção de grandes túneis ferroviários, com cerca de 50.000 km de linhas ferroviárias sendo construídas nas províncias do interior da China. Todavia, a partir de meados da década de 1970, a política trouxe grandes mudanças para o país, desde a abertura da China ao mundo, o que trouxe maior ênfase ao desenvolvimento da indústria tuneleira e da infraestrutura das cidades costeiras. Em 1984, um total de 4.676 túneis com um comprimento total de 2.126 km foi construído. O Túnel Da Yao Shan com 14.3 km de comprimento, um túnel ferroviário de via dupla na Linha Hengyeng-Guangzhou, é o túnel ferroviário mais longo já construído na China. A construção do metrô de Pequim e a construção de túneis em Xangai são descritas. (GAO QUQING, 1988).

Os túneis ferroviários na China são divididos em túneis extralongos (mais de 10.000 m de comprimento), túneis longos (3.000 m a 10.000 m), túneis médios e longos (500 m a 3.000 metros), e túneis curtos (até 500 m).

Atualmente, as ferrovias são o meio de transporte mais importante na China e as redes ferroviárias são o esqueleto da rede de transporte do país. Em 2019, a China tinha 139.000 km, em extensão de ferrovias em operação, ocupando a segunda posição mundial (TIAN, e GONG, 2019).

4.8.1. Extensão de túneis ferroviários

O maior túnel ferroviário da China é o *New Guanjiao Tunnel* (Novo Túnel Guanjiao), pertence à segunda linha da ferrovia Qinghai-Tibet (Fig. 4.14).

Figura 4.14. Mapa de localização *New Guanjiao Tunnel*

Fonte: (Autor, adaptado)

Trata-se de um túnel ferroviário com dois tubos e via dupla. O túnel possui 32.000 m de extensão e foi perfurado em condições geológicas difíceis a uma altitude elevada, excedendo 3.300 m. (YAN; JINXIU). Fig. 4.15.

Figura 4.15. Maior túnel ferroviário da China – *New Guanjiao tunnel*

Fonte: (Tibet tour, 2020)

Neste trabalho serão apresentados apenas os sistemas ferroviários ativos na China, não considerando assim os trechos extintos ou em desuso. Apesar da dificuldade de obtenção de dados, a pesquisa deste trabalho conseguiu obter um apanhado relativamente extenso e completo de dados através da apresentação ocorrida em 2019, na cidade de Florianópolis, ministrada pela Profa. Jinxiu Yan, vice-presidente da sociedade chinesa de túneis e vice-gerente geral da *China Railway Academy Co.* O Quadro 4.14 apresenta a lista dinâmica dos principais túneis ferroviários atualmente existentes na China.

Quadro 4.3. Principais túneis ferroviários da China.

	Túnel	Província	Comprimento (m)	Inauguração
1	Túnel Songshanhu	Guangdong	38.813	2016
2	Túnel Shenzhen Hong Kong	Guangdong, Hong Kong	35.655	2018
3	Túnel New Guanjiao	Qinghai	32.645	2014
4	Túnel West Qinling	Gansu	28.237	2016
5	Túnel Taihang	Shanxi	27.848	2007
6	Túnel South Lüliangshan	Shanxi	23.470	2014
7	Túnel Yuntunfu	Sichuan	22.923	2019
8	Túnel Xiaoshan	Henan	22.771	2019
9	Túnel Middle Tianshan	Xinjiang	22.467	2014
10	Túnel Qingyunshan	Fujian	22.175	2012
11	Túnel Yanshan	Hebei	21.154	2014
12	Túnel Lüliangshan	Shanxi	20.785	2010
13	Túnel Dangjinshan	Gansu	20.125	2019
14	Túnel Wushaoling	Gansu	20.060	2006
15	Túnel Muzhailing	Gansu	19.068	2014
16	Túnel Qinling	Shaanxi	18.460	2002
17	Túnel Zhongtiaoshan	Shanxi	18.410	2019
18	Túnel Shilin	Yunnan	18.208	2015
19	Túnel South Taihangshan	Shanxi-Henan	18.125	2014
20	Túnel Xi'anling	Henan	18.063	2019
21	Túnel Yinpanshan	Yunnan-Sichuan	17.934	2019
22	Túnel Xuefengshan	Fujian	17.842	2012
23	Túnel Gaoganshan	Fujian	17.612	2012
24	Túnel Jiufengshan	Fujian	17.596	2020
26	Túnel Yongshouliang	Shaanxi	17.161	2012
27	Túnel Liupanshan	Gansu	16.719	2015
28	Túnel Hadapu	Gansu	16.600	2014
29	Túnel Taiyueshan	Shanxi	16.194	2014
30	Túnel Tianhuashan	Shaanxi	15.989	2017
31	Túnel Dabanshan	Qinghai	15.918	2014

	Túnel	Província	Comprimento (m)	Inauguração
32	Túnel Xiangshan	Fujian	15.917	2011
33	Túnel Erqingshan	Shanxi	15.851	2014
34	Túnel Heishan	Gansu	15.764	2017
35	Túnel Guanshan	Gansu	15.634	2015
36	Túnel Daiyunshan	Fujian	15.623	2012
37	Túnel Jiyi	Shaanxi	15.417	2019
38	Túnel Jiulingshan	Jiangxi	15.365	2019
39	Túnel Liulangshan	Shanxi	15.175	2014
40	Túnel Laoanshan	Shaanxi	15.161	2017
41	Túnel Chicheng	Hebei	15.047	2014
42	Túnel Shangzhang	Gansu	14.992	2017
43	Túnel Zhujiashan	Gansu	14.949	2017
44	Túnel Maotianshan	Shaanxi	14.915	2010
45	Túnel Daqingling	Shaanxi	14.846	2017
46	Túnel Bibanpo	Yunnan	14.756	2015
47	Túnel Bijiashan	Gansu	14.751	2017
48	Túnel Yanshan	Guizhou	14.695	2014
49	Túnel Wuyishan	Fujian-Jiangxi	14.659	2012
50	Túnel North Wuyishan	Fujian-Jiangxi	14.646	2015
51	Túnel Sandu	Guizhou	14.598	2014
52	Túnel Hongshiyuan	Yunnan	14.580	2015
53	Túnel Fajiushan	Shanxi	14.573	2014
54	Túnel Dazhongshan	Henan	14.533	2019
55	Túnel Tianchiping	Gansu	14.528	2014
56	Túnel Taiping	Guangdong	14.490	2018
57	Túnel Fengshun	Guangdong	14.407	2019
58	Túnel Dayaoshan	Guangdong	14.295	1987
59	Túnel Deli	Shaanxi	14.167	2017
60	Túnel Aobaoliang	Neimenggu	14.123	2017
61	Túnel Jinguashan	Fujian	14.097	2013
62	Túnel Liulang	Yunnan	14.096	2015
63	Túnel Yanmengguan	Shanxi	14.085	2013
64	Túnel Tianpingshan	Guangxi	14.012	2014
65	Túnel Tianping	Guizhou	13.978	2017
66	Túnel Maijishan	Gansu	13.932	2017
67	Túnel Tongmashan	Guizhou	13.929	2014
68	Túnel Wan'an	Jiangxi	13.928	2019
69	Túnel Yesanguan	Hubei	13.838	2010
70	Túnel Pupeng	Yunnan	13.795	2017
71	Túnel Meihuashan	Fujian	13.778	2014
72	Túnel Baofengshan	Guangxi	13.708	2014

	Túnel	Província	Comprimento (m)	Inauguração
73	Túnel Funing	Fujian	13.625	2016
74	Túnel Humaling	Gansu	13.611	2017
75	Túnel North Tianshan	Xinjiang	13.610	2009
76	Túnel Wanshoushan	Chongqing	13.468	2013
77	Túnel Daliangshan	Shanxi-Hebei	13.440	2019
78	Túnel Xiaoan	Sichuan-	13.430	2017
79	Túnel Jiaozishan	Yunnan	13.404	2018
80	Túnel Tuonan	Yunnan	13.371	2018
81	Túnel Changhongling	Yunnan	13.299	2013
82	Túnel Dabieshan	Hubei	13.256	2008
83	Túnel Liaoxi	Liaoning	13.205	2018
84	Túnel Xiuning	Yunnan	13.187	2013
85	Túnel Gangwu	Guizhou	13.187	2016
86	Túnel Dongjiang	Guangdong	13.123	2016
87	Túnel Furenshan	Shaanxi	13.101	2017
88	Túnel Xiapu	Fujian	13.099	2009
89	Túnel Youxi	Fujian	12.974	2013
90	Túnel Zhengpantai	Hebei	12.974	2019
91	Túnel Shumuling	Hunan	12.860	2014
92	Túnel Xinlian	Yunnan	12.843	2016
93	Túnel Shilou	Shanxi	12.807	2014
94	Túnel Xingfu	Yunnan	12.787	2016
95	Túnel Changliangshan	Shanxi	12.784	2000
96	Túnel Dananshan	Guangdong	12.697	2013
97	Túnel Changqingpo	Yunnan	12.676	2015
98	Túnel Liang'an	Guangxi	12.668	2014
99	Túnel Gaojiashan	Gansu	12.643	2014
100	Túnel Changshoushan	Gansu	12.625	2014
101	Túnel Hengqin	Guangdong	12.585	2018
102	Túnel Huama	Gansu	12.574	2014
103	Túnel Qingliangshan	Shaanxi	12.553	2017
104	Túnel Beilingshan	Guangdong	12.438	2014
105	Túnel Hejialiang	Shaanxi	12.405	2017
106	Túnel Wubao	Shaanxi	12.310	2011
107	Túnel East Qinling	Shaanxi	12.268	2004
108	Túnel Wumengshan	Guizhou	12.260	2012
109	Túnel Sanlian	Yunnan	19.700	2012
110	Túnel Wuzhishan	Guangdong	12.208	2014
111	Túnel South Daiyunshan	Fujian	12.169	2017
112	Túnel Fengxiangyuan	Gansu	12.129	2014
113	Túnel Suide	Shaanxi	12.125	2011

	Túnel	Província	Comprimento (m)	Inauguração
114	Túnel Zeya	Zhejiang	12.030	2014
115	Túnel Jinjiaya	Sichuan	12.029	2017
116	Túnel Tianmushan	Zhejiang-Anhui	12.013	2018
117	Túnel Zongfa	Sichuan	11.973	2019
118	Túnel Poluyuan	Guangxi	12.005	2015
119	Túnel Wolongshan	Shanxi	11.921	2017
120	Túnel Ruyi	Shaanxi	11.920	2019
121	Túnel Dadushan	Guizhou	11.882	2014
122	Túnel Sanqingshan	Jiangxi	11.850	2015
123	Túnel Chegan	Shanxi	11.818	2014
124	Túnel Baicaoan	Hebei	11.794	2014
125	Túnel Wudaoliang	Hebei	11.720	2014
126	Túnel Xuefengshan	Hunan	11.7670	2015
127	Túnel Yangshan	Shaanxi	18.800	2019
128	Túnel Huangjialiang	Sichuan	18.700	2017
129	Túnel Baozhen	Hubei	18.700	2010
130	Túnel Gelang	Yunnan	11.574	2015
131	Túnel Yingyaoshan	Shanxi	11.572	2017
132	Túnel Baotaishan	Fujian	18.600	2013
133	Túnel Nanliang	Hebei-Shanxi	18.500	2009
134	Túnel Xinshao	Yunnan	11.496	2016
135	Túnel Xiangjiang	Hunan	11.450	2017
136	Túnel Hengshan	Shaanxi	18.400	2011
137	Túnel Mintai	Yunnan	11.343	2018
138	Túnel Jianping	Liaoning	11.340	2020
139	Túnel Huyinxishan	Hebei	11.331	2018
140	Túnel Shuozhou	Shanxi	11.299	2014
141	Túnel Yanbian	Sichuan	11.298	2019
142	Túnel Dongfeng	Yunnan	11.296	2015
143	Túnel Qinling Cuihuashan	Shaanxi	18.100	2013
144	Túnel Longchishan	Sichuan-Shaanxi	11.256	2014
145	Túnel Luoxiang	Guizhou	11.232	2014
146	Túnel Yuanliangshan	Chongqing	17.800	2006
147	Túnel Xingwangmao	Shaanxi	17.000	2011
148	Túnel Dongwuling	Hebei	17.800	2018
149	Túnel Gaoqing	Guangxi	10.953	2014
150	Túnel Daliang	Chongqing	17.600	2013
151	Túnel Qipanshi	Fujian	17.400	2013
152	Túnel Jinzhai	Anhui	17.300	2008
153	Túnel Qianshan	Fujian	17.300	2017
154	Túnel Duanjiaping	Shaanxi	10.728	2019

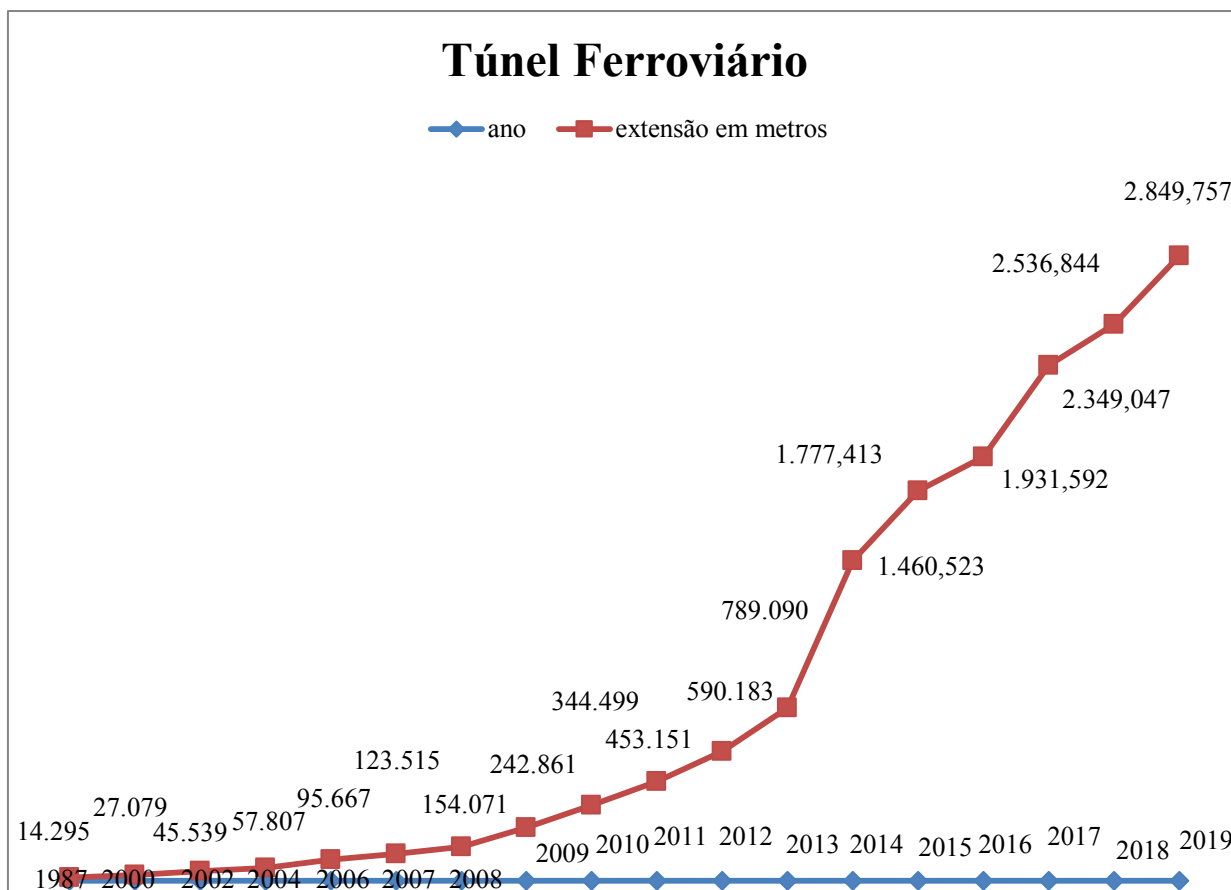
	Túnel	Província	Comprimento (m)	Inauguração
155	Túnel Lianyunshan	Hunan	10.704	2019
156	Túnel Jinci	Shanxi	17.200	2019
157	Túnel New Dabashan	Shaanxi-Sichuan	17.200	2009
158	Túnel Fuchuan	Gansu	17.100	2014
159	Túnel Huanggang	Guizhou	10.648	2014
160	Túnel Linxian	Shanxi	17.100	2014
161	Túnel Gutian	Fujian	10.627	2015
162	Túnel Dujiashan	Shaanxi	10.586	2017
163	Túnel Qiyueshan	Hubei	16.900	2010
164	Túnel Minqing	Fujian	10.518	2015
165	Túnel Xixian	Shanxi	16.900	2014
166	Túnel Wujiacha	Gansu	16.800	2017
167	Túnel Eling	Jiangxi	16.800	2013
168	Túnel Zongga	Xizang	10.410	2014
169	Túnel Pingbian	Yunnan	10.381	2014
170	Túnel Guchengling	Gansu	10.365	2017
171	Túnel Jiangjiashan	Shaanxi	10.358	2019
172	Túnel Xingguo	Jiangxi	10.345	2019
173	Túnel Xiushan	Yunnan	16.600	2013
174	Túnel Nanmengkou	Fujian	16.600	2017
175	Túnel Qingxing	Shaanxi	16.500	2010
176	Túnel Lishi	Shanxi	16.500	2011
177	Túnel Xianghe	Yunnan	16.400	2017
178	Túnel Fanjiashan	Shanxi	16.400	2014
179	Túnel Shiziyang	Guangdong	16.400	2011
180	Túnel Qingyang	Shandong	16.300	2018
181	Túnel Beitaizi	Hebei	16.300	2018
182	Túnel Yujiashan	Hubei	16.300	2019
183	Túnel Liuyanghe	Hunan	16.300	2009
184	Túnel Dayaoshan	Guangdong	10.081	2009
185	Túnel Mengcun	Yunnan	10.068	2016
186	Túnel Lafashan	Jilin	10.035	2015
187	Túnel Fuyinzi	Hebei	10.023	2014
188	Túnel Wei River	Gansu	10.016	2017

Fonte: (Wikipédia, adaptado Autor).

4.8.2. Expansão de túneis ferroviários

O gráfico 4.1 apresenta a evolução de túneis em metros construídos com o passar dos anos.

Gráfico 4.1. Evolução de alguns túneis ferroviário da China



Fonte: (Autor)

4.9. TÚNEIS RODOVIÁRIOS

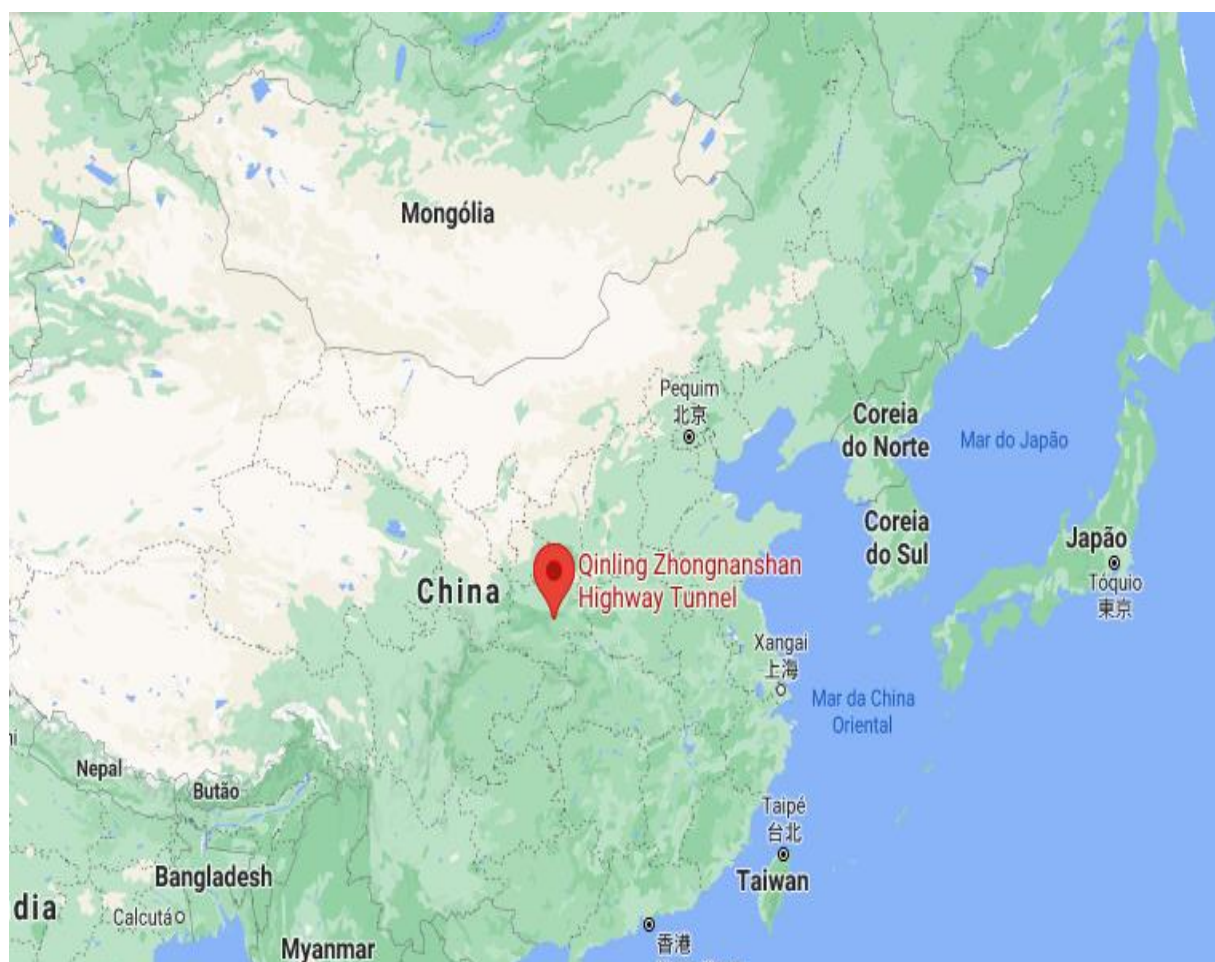
Antes da década de 1980, as atividades de transporte de carga e passageiros na China eram predominantemente realizadas por transporte ferroviário. Nas décadas de 1980 e 1990, houve uma tendência crescente de aumento de estradas como uma maneira de expandir o transporte nesse tipo de modal.

Em 1978, o transporte ferroviário foi responsável por 54,4% do movimento total de cargas na China, enquanto o rodoviário respondeu por apenas 2,8%. Em 1997, a participação do transporte rodoviário no movimento de carga aumentou para 13,8%, enquanto a participação da ferrovia diminuiu para 34,3%. Da mesma forma, a participação rodoviária no

transporte de passageiros entre 1978 e 1997 aumentou de 29,9% para 53,3% no mesmo período, com a participação da ferrovia reduzindo de 62,7% para 35,4%. A mudança da ferrovia para a rodovia pode ser atribuída ao rápido desenvolvimento da rede de vias expressas na China que vem aumentando ao longo dos anos, resultando em um aumento do uso de veículos motorizado em toda China.

O túnel rodoviário mais longo da China é o Túnel Zhongnanshan é um túnel construído nas montanhas Qinling da China. Fig. 4.16 a 4.17.

Figura 4.16. Mapa de localização túnel Zhongnanshan



Fonte: (Google Maps)

Figura 4.17. Túnel Zhongnanshan



Fonte: (Chinadaily)

4.9.1. Extensão túneis rodoviários de 1979 a 2019

Os túneis rodoviários na China são divididos em quatro classes de comprimento: Túnel super-longo ($L > 3.000\text{m}$), túnel longos ($1.000\text{m} \leq L \leq 3.000\text{m}$), túnel intermediário ($250\text{m} \leq L \leq 1.000\text{m}$) e túnel curto ($\leq 250\text{m}$). Até 2012, havia um total de 10.022 túneis rodoviários perfazendo 8.052,7 km de comprimento total, incluindo 441 túneis super-longos com um total de 1.984,8 km de comprimento e 1.944 túneis longos com um total de 3.304,4 km de comprimento. O Quadro 4.4 apresenta os principais túneis rodoviários chineses.

Quadro 4.4. Túneis rodoviários construídos 1979 a 2019 e com comprimento > 5.000 m.

	Túnel	Província	Comprimento (m)	Inauguração
1	Túnel Zhongnanshan	Shaanxi	18.020	2007
2	Túnel Jingpingshan	Sichuan	17.504	2011
3	Túnel Micangshan	Sichuan	13.833	2018
4	Túnel Xishan	Shanxi	13.654	2012
5	Túnel Erlangshan	Sichuan	13.433	2017
6	Túnel Hongtigan	Shanxi	13.122	2013
7	Túnel Majishan	Gansu	12.290	2009
8	Túnel Yunshan	Shanxi	11.408	2014
9	Túnel Baojiashan	Shaanxi	11.200	2009
10	Túnel Baotashan	Shanxi	10.480	2012
11	Túnel Nibashan	Sichuan	10.007	2012
12	Túnel Zhongtiaoshan	Shanxi	9.770	2014
13	Túnel Liupanshan	Ningxia	9.490	2012
14	Túnel Niuyanshan	Fujian	9.239	2015
15	Túnel Wankai	Chongqing	9.228	2021
16	Túnel West Qinling	Gansu	9.007	2013
17	Túnel Shanghai Yangtse River	Shanghai	8.950	2009
18	Túnel Foling	Shanxi	8.805	2016
19	Túnel Zhegushan	Sichuan	8.803	2019
20	Túnel Micangshan	Gansu	8.694	2014
21	Túnel Jinlong	Hubei	8.693	2010
22	Túnel Huangzhushan	Fujian	8.659	2015
23	Túnel Tianheshan	Shanxi-Hebei	8.495	2015

	Túnel	Província	Comprimento (m)	Inauguração
24	Túnel Dapingshan	Hubei	8.242	2014
25	Túnel Shimen	Shaanxi	8.262	2017
26	Túnel Huayingshan	Sichuan	8.156	2017
27	Túnel Qishan	Fujian	8.044	2015
29	Túnel Songshan	Guangdong	7.970	2021
30	Túnel Xueshanliang	Sichuan	7.966	2017
31	Túnel Balangshan	Sichuan	7.950	2016
32	Túnel Ziyang	Shaanxi	7.938	2010
33	Túnel Kuocangshan	Zhejiang	7.930	2008
34	Túnel Wunüfeng	Jilin	7.930	2019
35	Túnel Maluanshan	Guangdong	7.892	2018
36	Túnel Jiaozhou Bay	Shandong	7.800	2011
37	Túnel Shanghai Ludinglu-Chang'anlu	Shanghai	7.789	2018
38	Túnel Qiushan	Shaanxi	7.670	2020
39	Túnel Fangdoushan	Chongqing	7.605	2007
40	Túnel Cangling	Zhejiang	7.605	2009
41	Túnel Mingtangshan	Anhui	7.548	2015
42	Túnel Shimenya	Hubei	7.524	2014
43	Túnel Nanjing Dinghuaimen Yangtze River	Jiangsu	7.363	2016
44	Túnel Motianling	Chongqing	7.353	2010
45	Túnel Fangdoushan	Chongqing	7.310	2013
46	Túnel Aizigou	Sichuan	7.246	2014
47	Túnel Lizhuang	Sichuan	7.147	2008
48	Túnel Baiyun	Chongqing	7.120	2008
49	Túnel Taining	Fujian	7.039	2013

	Túnel	Província	Comprimento (m)	Inauguração
50	Túnel Wuhan East Lake	Hubei	7.039	2015
51	Túnel Xuefengshan	Hunan	6.956	2007
52	Túnel Egan	Hubei, Jiangxi	6.948	2012
53	Túnel Fenshuiling	Hebei	6.891	2013
54	Túnel Tongsheng	Hubei	6.887	2016
55	Túnel Anyuan	Gansu	6.868	2013
56	Túnel Jinggangshan	Jiangxi	6.810	2013
57	Túnel Yanqian	Fujian	6.795	2015
58	Túnel Maojingba	Hebei, Mongolia	6.776	2013
59	Túnel Sizhouling	Zhejiang	6.765	2013
60	Túnel Muzuo Tunnel	Sichuan	6.744	2022
61	Túnel Baizhishan	Chongqing	6.710	2013
62	Túnel Yunwushan	Hubei	6.708	2008
63	Túnel Dulongjiang	Yunnan	6.680	2014
64	Túnel Hongyansi	Hubei	6.678	2015
65	Túnel Yangjiao	Chongqing	6.676	2009
66	Túnel Lùjialiang	Chongqing	6.664	2009
67	Túnel Hong Kong-Zhuhai-Macau Bridge Undersea	Guangdong	6.648	2018
68	Túnel Dazhuang	Hubei	6.570	2016
69	Túnel Mingyueshan	Chongqing, Sichuan	6.557	2008
70	Túnel Donggongshan	Fujian	6.556	2012
71	Túnel Xinglingjing	Shanxi	6.555	2011
72	Túnel Tianlongshan	Fujian	6.551	2015
73	Túnel Xiakou	Hubei	6.487	2014
74	Túnel Jinmen	Guangdong	6.492	2018

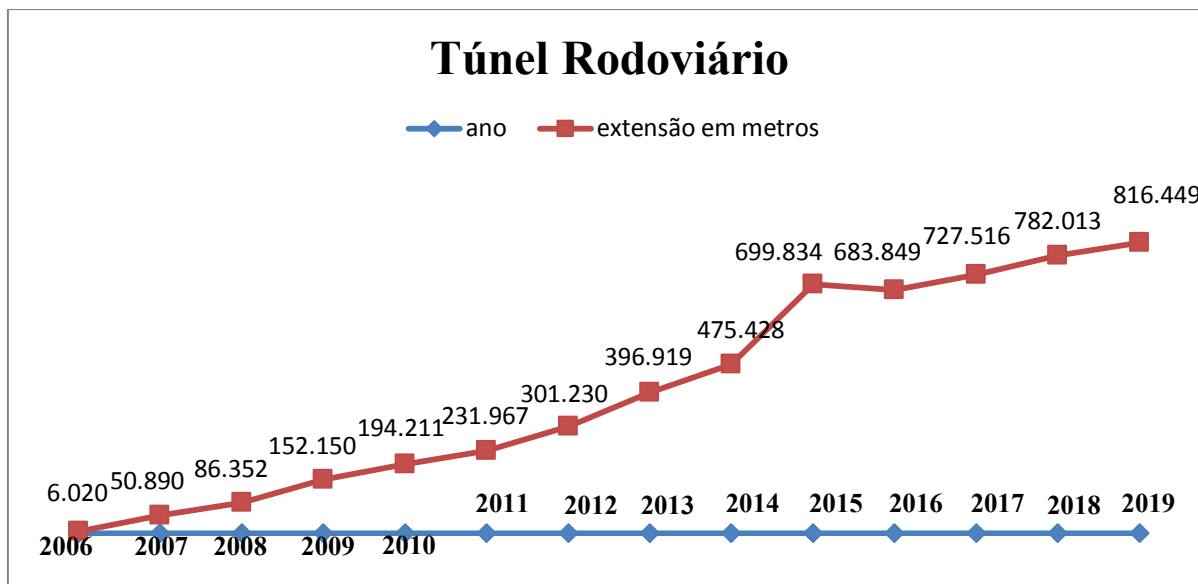
	Túnel	Província	Comprimento (m)	Inauguração
75	Túnel Zangshan	Shanxi	6.440	2016
76	Túnel Jiuyishan	Hunan-Guangdong	6.400	2014
77	Túnel Gaoling	Gansu	6.333	2013
78	Túnel Putaoshan	Chongqing	6.308	2009
79	Túnel Shuangfeng	Zhejiang	6.187	2010
80	Túnel Guantian	Fujian	6.151	2015
81	Túnel Qinling II	Shaanxi	6.145	2007
82	Túnel Qinling I	Shaanxi	6.144	2007
83	Túnel Dabashan	Shaanxi, Sichuan	6.123	2012
84	Túnel Zhongxing	Chongqing	6.105	2009
85	Túnel Daliangshan	Shanxi	6.058	2014
86	Túnel Tiantangxia	Gansu	6.051	2015
87	Túnel Xiang'an Undersea	Fujian	6.050	2010
88	Túnel Fengshuiguan	Fujian-Jiangxi	6.043	2013
89	Túnel Tiefengshan II	Chongqing	6.020	2006
90	Túnel Yanglushan	Chongqing	6.015	2013
91	Túnel Qingyunshan	Guangdong	6.010	2018
92	Túnel Shigushan	Fujian	6.005	2012
93	Túnel Jiaohuan	Shanghai	5.935	2019
94	Túnel Qipanliang	Hebei	5.898	2019
95	Túnel Fenghuangling	Shanxi	5.897	2011
96	Túnel Yuliao	Zhejiang	5.870	2019
97	Túnel Daiyunshan	Fujian	5.850	2017
98	Túnel Lianghekou	Sichuan	5.840	2010
99	Túnel Jiangjunshi	Beijing	5.833	2018

Fonte: (Wikipédia, adaptado Autor)

4.9.2. Expansão da rede de túneis rodoviários

O gráfico 4.2 apresenta a expansão de túneis em metros, construídos no período entre 1979 e 2019.

Gráfico 4.2. Apresenta a evolução de alguns túneis rodoviários da China



Fonte: (Autor)

4.10. TÚNEIS METROVIÁRIOS

No século 20, várias cidades chinesas tinham bondes elétricos que foram desmantelados nas décadas de 1950 e 1970. Por exemplo, a cidade de Nanjing teve uma ferrovia urbana de 1907 a 1958.

O primeiro sistema de metrô (Fig. 4.16) da China foi inaugurado em 1969 em Pequim, enquanto em Hong Kong (na época sob domínio britânico) a primeira linha de metrô foi inaugurada apenas em 1979. A próxima execução de metrô veio ocorrer apenas em 1984, na cidade de Tianjin.

Embora tenha começado a construção do metrô tardiamente, se comparado com a Europa e EUA, nas décadas seguintes o trânsito ferroviário urbano da China passou por mudanças grandes. Entre 2010 e 2019 o comprimento das linhas de metrô aumentou cerca de 4 vezes em relação ao ano de 2010. Em 2010, o comprimento das linhas de metro era de 1.471.00 km, já em 2019, o comprimento das linhas de metrô passou a ser de 6.172.2 km. (WONG, 2020).

A soma desses dados indica que a China atualmente possui a maior malha metroviária do mundo. A China ocupa o primeiro lugar no ranking mundial em extensão em quilômetros. Atendida a demanda interna, o Metrô chinês embarcou na "estrada para o mar" e conquistou sucessivamente grandes encomendas da Austrália, Estados Unidos, Brasil e outros países. (YANQU, CHEN 2017).

Figura 4.18. Inauguração do primeiro metrô da China



Fonte: (Kuaibao, K. Sina).

4.10.1. Extensão da rede de metroviários

O Quadro 4.5 apresenta a lista dos túneis metroviários construídos na China entre 1979 e 2019.

Quadro 4.5. Túneis metroviários da China.

	Túnel	Província	Comprimento (m)	Inauguração
1	Linha 3	Guangdong	57.930	2005
2	Linha 10	Beijing	57.100	2013
3	Linha 6	Beijing	53.400	2018
4	Linha 2	Wuhan	44.347	2019
5	Linha 5	Sichuan	42.300	2019
6	Linha 3	Jiangsu	41.500	2015
7	Linha 4	Jiangsu	41.500	2017
8	Linha 12	Jiangsu	40.400	2015
9	Linha 7	Beijing	40.300	2019
10	Linha 4	Sichuan	39.300	2017
11	Linha 7	Sichuan	38.600	2017
12	Linha 3	Sichuan	38.100	2018
13	Linha 1	Sichuan	37.470	2018

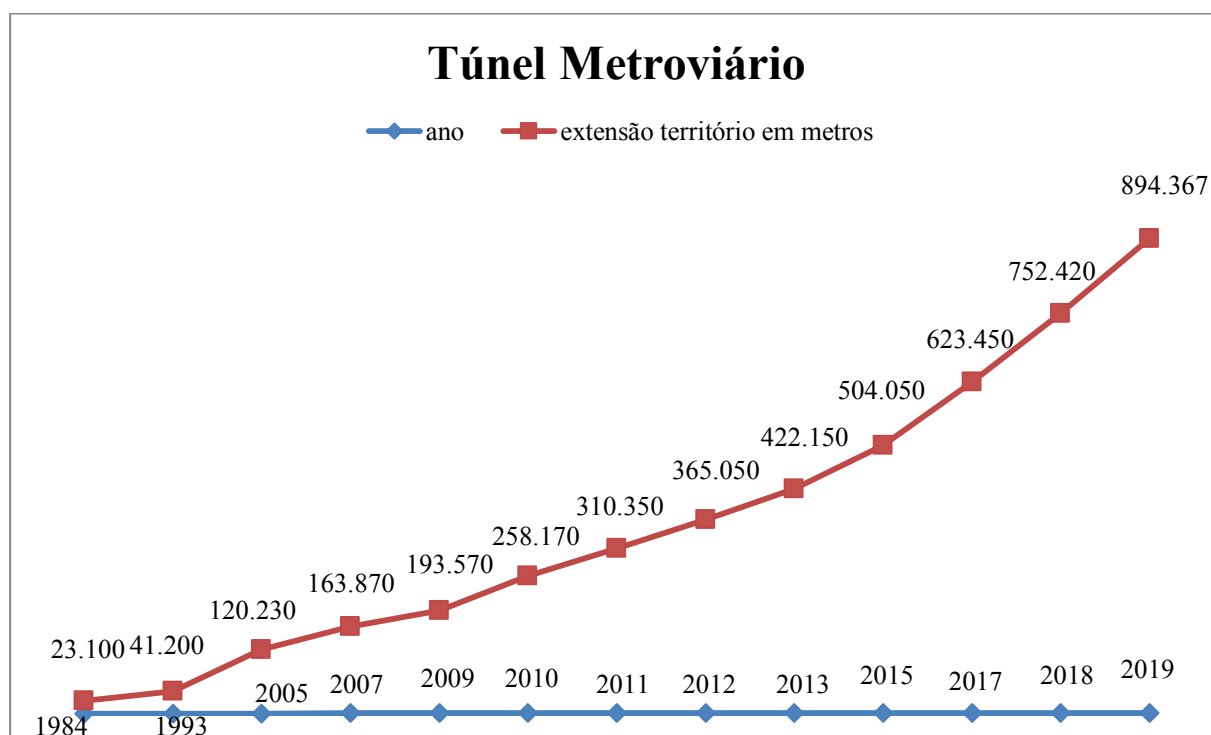
	Túnel	Província	Comprimento (m)	Inauguração
14	Linha 2	China	35.780	2011
15	Linha 7	Jiangsu	34.400	2010
16	Linha 2	Jiangsu	30.200	2010
17	Linha 8, metrô de Xangai	Jiangsu	29.700	2009
18	Linha 2	Sichuan	29.000	2012
19	Linha 1	Jiangsu	25.700	2012
20	Linha 9	Jiangsu	23.300	2007
21	Linha 2	Beijing	23.100	1984
22	Linha 4	Jiangsu	21.100	2005
23	Linha 6, metrô de Xangai	Jiangsu	20.340	2007
24	Linha 1	Jiangsu	18.100	1993
25	Linha 1	China	16.400	2011
26	Linha 10	Sichuan	15.000	2019

Fonte: (Wikipédia, adptado Autor)

4.10.2. Expansão da rede de túneis metroviários

O gráfico 4.3 apresenta a expansão de túneis em metros, construídos na China no período entre 1979 e 2019.

Gráfico 4.3. Expansão de alguns túneis metroviário da China



Fonte: (Autor)

4.11. TÚNEL IMERSO

O primeiro túnel imerso do mundo foi “*Michigan Central Railway Tunnel*”, construído em 1910, sob o rio Detroit. Nas últimas décadas, com desenvolvimento da economia e da urbanização da China, a taxa de construção de túneis subaquáticos está aumentando. Existem mais de 100 túneis imersos executados em todo o planeta. (GEOCOMPANY, 2005). Segundo (CHEN, *et al*, 2013), em 2013 a china contava com cerca de 7 túneis subaquático.

Como a China tem muitos rios, baías e ilhas, tornou-se altamente necessário construir túneis imersos a fim de auxiliar na economia. (HONG, 2017).

O projeto de construção de um túnel imerso no fundo de um lago, rio ou mar é complexo e minucioso, por se tratar de uma obra de grande porte e com um custo financeiro elevado e causando um grande impacto ambiental. (LI, XIAOJUN 2018).

Compreendem os aspectos geotécnicos de uma obra de túneis imersos a geotecnia voltada para a execução de estruturas subaquáticas, as técnicas de investigação do subsolo e, também, as atividades relacionadas à metodologia construtiva. A técnica dos túneis imersos apresenta algumas vantagens sobre pontes convencionais, tais como a menor extensão para travessias subaquáticas e as menores interferências, tanto paisagísticas como para o tráfego hidroviário. (GEOCOMPANY, 2005).

4.11.1. Método construtivo

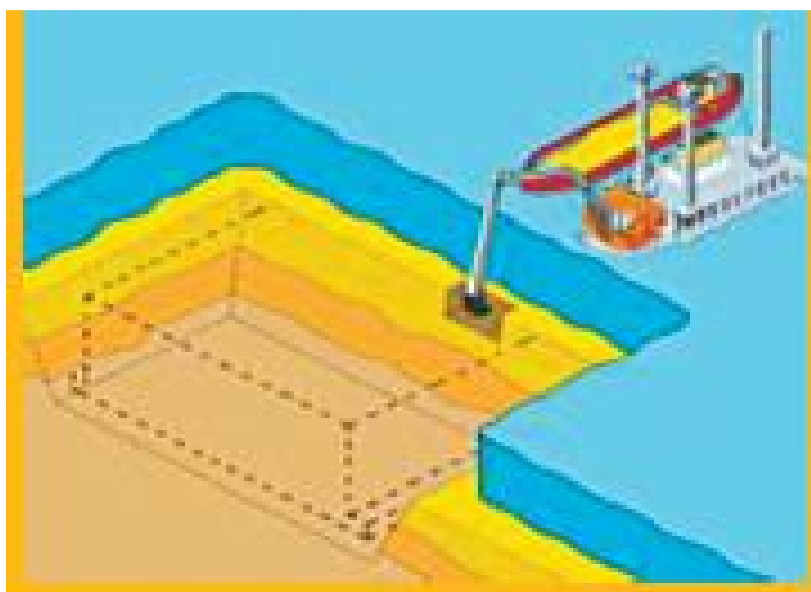
Um túnel imerso é o conjunto de vários elementos pré-fabricados, que são levados individualmente por flutuação até o local onde são submersos e posteriormente conectados um ao outro. Geralmente os elementos pré-fabricados são instalados em uma trincheira ou vala que foi dragada anteriormente ao fundo do leito do canal, enquanto a construção da estrutura é realizada em região seca ou em docas. (SAVEUR e GRANTZ, 1993 *apud*, GEOCOMPANY, 2005).

O processo construtivo dos túneis subaquáticos difere completamente dos métodos utilizados para túneis escavados. Conforme Tribune (1999, *apud* Geocompany, 2005), após a conclusão, um túnel imerso não tem nenhuma diferença operacional em relação aos túneis escavados.

Em relação aos túneis escavados, o túnel imerso apresenta as seguintes vantagens: não necessita de formato circular; pode ser colocado imediatamente sob o curso d'água; pode ser executado em condições de solo que impedem a realização de túneis escavados (ou tornam esta solução seja extremamente cara); possibilita a execução de atividades em paralelo. (GEOCOMPANY, 2005).

As Figuras 4.19 a 4.25 ilustram as principais etapas do método construtivo dos túneis imersos.

Figura 4.19. Abertura da trincheira



Fonte: (Tribune, 1999. *apud* Geocompany).

Figura 4.20. Construção dos elementos em doca seca



Fonte: (Aeas, 2019)

Figura 4.21. Flutuação dos elementos



Fonte: (Aeas, 2019)

Figura 4.22. Transporte dos elementos



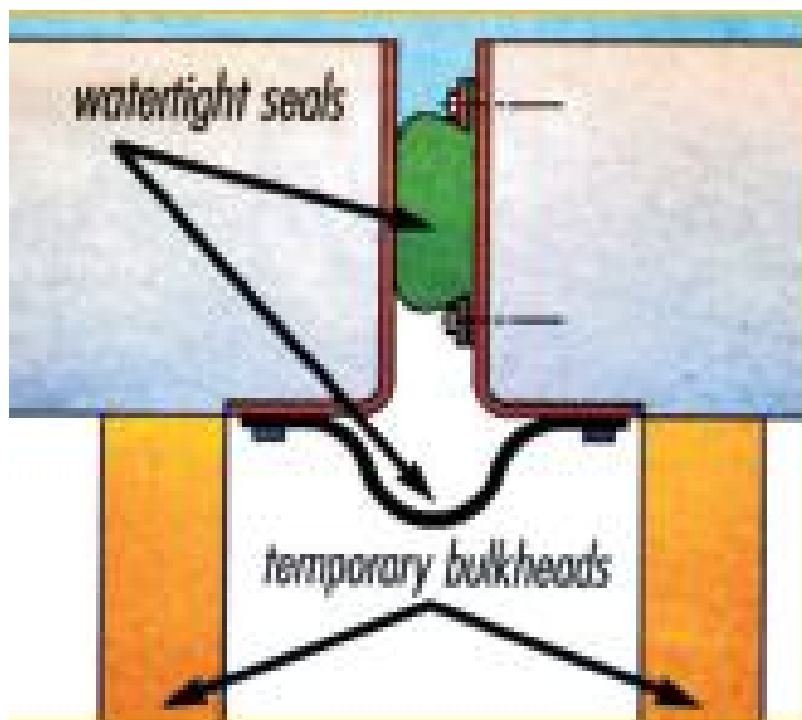
Fonte: (Aeas, 2019)

Figura 4.23. Submersão dos elementos



Fonte: (Aeas, 2019)

Figura 4.24. Detalhe de sedação dos elementos



Fonte: (Tribune, 1999. *apud* Geocompany)

Figura 4.25. Preenchimento lateral e sobre o túnel



Fonte: (Tribune, 1999. *apud* Geocompany)

4.11.2. Extensão da rede de túneis imersos na China

O Quadro 4.6 apresenta a lista dos túneis imersos construídos na China entre 1979 e 2019.

Quadro 4.6. Túneis imersos da China.

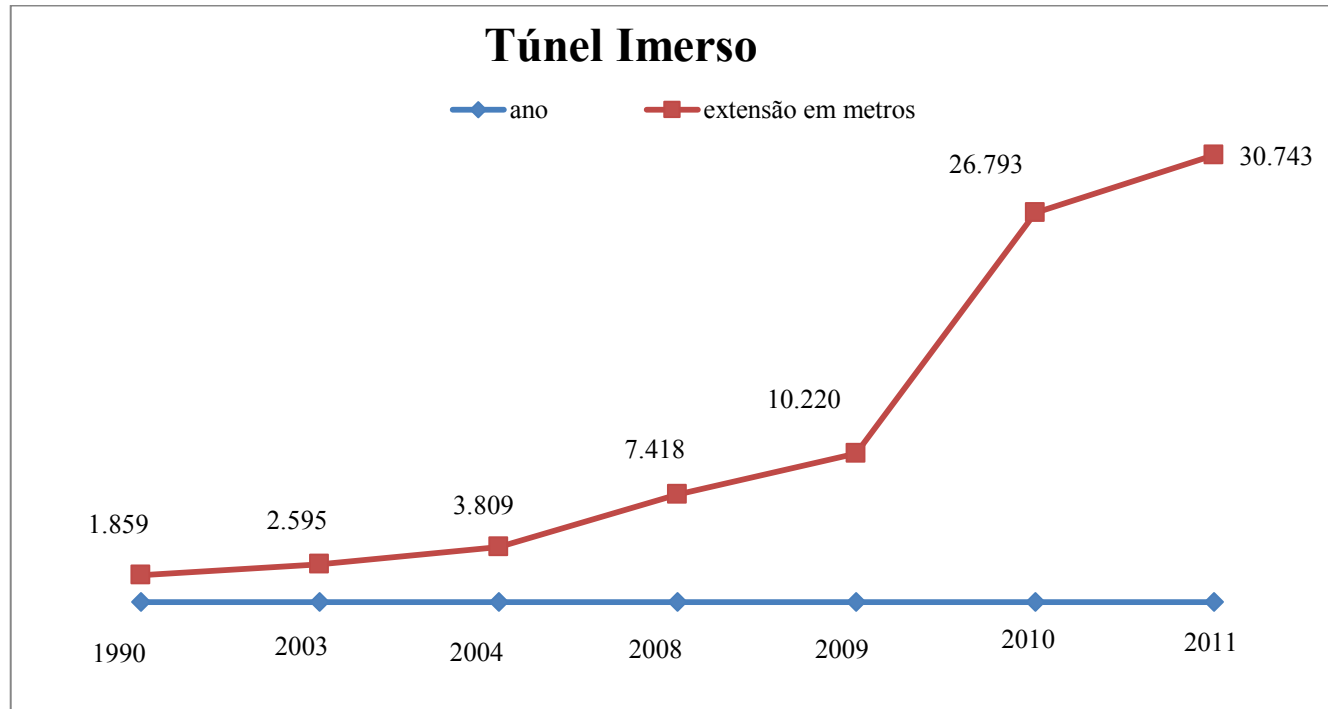
	Túnel	Comprimento (m)	Profundidade (m)	Inauguração	Província
1	Túnel Hong Kong–Zhuhai–Macau	6.750	30.180	2010	Hong Kong /Macau
2	Túnel Xiang - na	5.950	-	2010	Fujian
3	Túnel Qing-Huang (Jiaozhou Bay)	3.950	42	2011	Shandong
4	Túnel Nanjing Yingtian Avenue Yangtze River	3.873	-	2010	Jiangsu
5	Túnel Wuhan Changjiang	3.609	-	2008	Hubei
6	Túnel Shangzhong	2.802		2009	Shanghai
7	Túnel Eastern Harbour Crossing	1.859	27.000	1990	Hong Kong
8	Túnel Fuxing Donglu (East Fuxing)	1.214	-	2004	Shanghai
9	Túnel Waihuan (Taihelu)	736	-	2003	Shanghai

Fonte: (Wikipédia)

4.11.3. Expansão da rede de túneis imersos na China

O gráfico 4.4 apresenta a evolução de túneis em metros construídos na China no período entre 1979 e 2019.

Gráfico 4.4. Evolução da expansão dos túneis imersos da China



Fonte: (Autor)

4.12. TÚNEIS EM CONSTRUÇÃO NA CHINA

Como é extremamente difícil catalogar todos os túneis em construção na China, neste capítulo será apresentado apenas um caso representativo, o Túnel Shenzhen – Zhongshan Bridge, uma mega-obra tipo ponte-túnel que lidera a na inovação e modernidade. Esta obra será o primeiro túnel do mundo com um total de oito faixas de rodagem.

Para a obra em questão, duas ilhas artificiais serão construídas, com 15 mil m² cada, onde ficarão acomodadas torres de escritórios, um centro de convenções, restaurantes e zonas de lazer. A estrutura conta ainda com uma central de operações, uma ligação ao aeroporto de Shenzhen e uma zona de manutenção e de gestão de casos de emergência. (BARBOSA, 2020).

A mega-obra (Fig. 4.26) consiste em um sistema tipo ponte-túnel com uma extensão total de 51 km, conectando duas cidades no Delta do Rio das Pérolas na China: no lado oriental, a metrópole de Shenzhen (sede de algumas das maiores firmas tecnológica do mundo); e a pequena cidade de Zhogshan, no lado continental. A infra-estrutura foi concebida para que os veículos possam trafegar a uma velocidade máxima de 100 km/h e planejada para 100 anos. (BARBOSA, 2020).

A parte em túnel imerso (Fig. 4.27) da obra tem extensão de 6.845 metros e é interligada por 32 elementos pré-fabricados, cada um possui cerca de 214 m de extensão e até 55 m de largura.

Figura 4.26. Mapa Guangzhou - Dongguan



Fonte: (Revista Macau)

A construção dessa mega-obra iniciou-se em 2017 e está prevista para ser finalizada em 2024. O custo previsto da obra é de US\$ 4.83 bilhões.

Figura 4.27. Futuro túnel imerso



Fonte: (Revista Macau)

4.13. NÚMEROS TOTAIS DE TÚNEIS NA CHINA ENTRE 1979 E 2019

O número e extensão de túneis na China excede em muito o de outros países. Isso se deve ao fato das reformas e abertura do mercado chinês para o mundo na década de 70. Graças à expansão econômica chinesa, aumento da renda, redução da pobreza e o grande investimento em infraestrutura, nos últimos anos, a China adicionou inúmeros quilômetros de diversos tipos de túneis. Em 2018, o comprimento total das rodovias chinesas era de 4.846.500 km, incluindo cerca de 16.331 km de túneis rodoviários. (LIANG, 2020 *et* YAN, JENNY).

Até o ano de 2017, a China tinha 36.103 km de túneis em operação. No levantamento feito por este trabalho, buscou-se registrar da melhor forma possível as obras de túneis executadas na China entre 1979 e 2019. O Quadro 3.6 apresenta a quantidade e a extensão total de túneis construídos na China durante este período.

Quadro 4.7. Número e extensão dos túneis construídos na China nos últimos 40 anos

Ano	1979		2017		1979 - 2017
Item	Números	Comprimento(km)	Números	Comprimento(km)	Comprimento construído nos últimos 40 anos
Túnel Ferroviário	4386	2.009	15117	16.331	14.322
Túnel Rodoviário	374	52.00	16500	15.940	15.888
Linhas de Metrô	1	23.00	169	5.766	4.488 (subterrâneo)
		2.084		3.8037	34.698

Fonte: (Yan, Jenny, 2019 adaptado Autor

Por fim, o Quadro 4.8 apresenta os 10 maiores túneis construídos na China.

Quadro 4.8. Os 10 Maiores túneis da China método construtivo, topografia do terreno.

Nome do túnel	Comprimento(km)	Inauguração	Província	Modal	Método construtivo adotado	Topografia
Songshan Lake	38.813	2016	Guangdong	Ferrovário	Método convencional	Urbano
Shenzhen Hong Kong	35.655	2018	Hong Kong	Ferrovário	TBM/método convencional	Urbano
New Guanjiao	32.645	2014	Qinghai	Ferrovário	Método convencional	Montanha
West Qinling	28.236	2016	Gansu	Ferrovário	TBM/ método convencional	Montanha-
Taihang	27.848	2007	Hebei/ Shanxi	Ferrovário	TBM/Método convencional	Montanha
South Luliangshan	23.470	2014	Shaanxi	Ferrovário	-	Montanha
Xiaoshan	22.771	2019	Shaanxi	Ferrovário	-	-
Middle Tianshan	22.467	2014	Xinjiang	Ferrovário	-	-
Qingyunshan	22.175	2013	Fujian	Ferrovário	-	-
Yanshan	21.154	2014	Hebei	Ferrovário	-	-
	275.234					

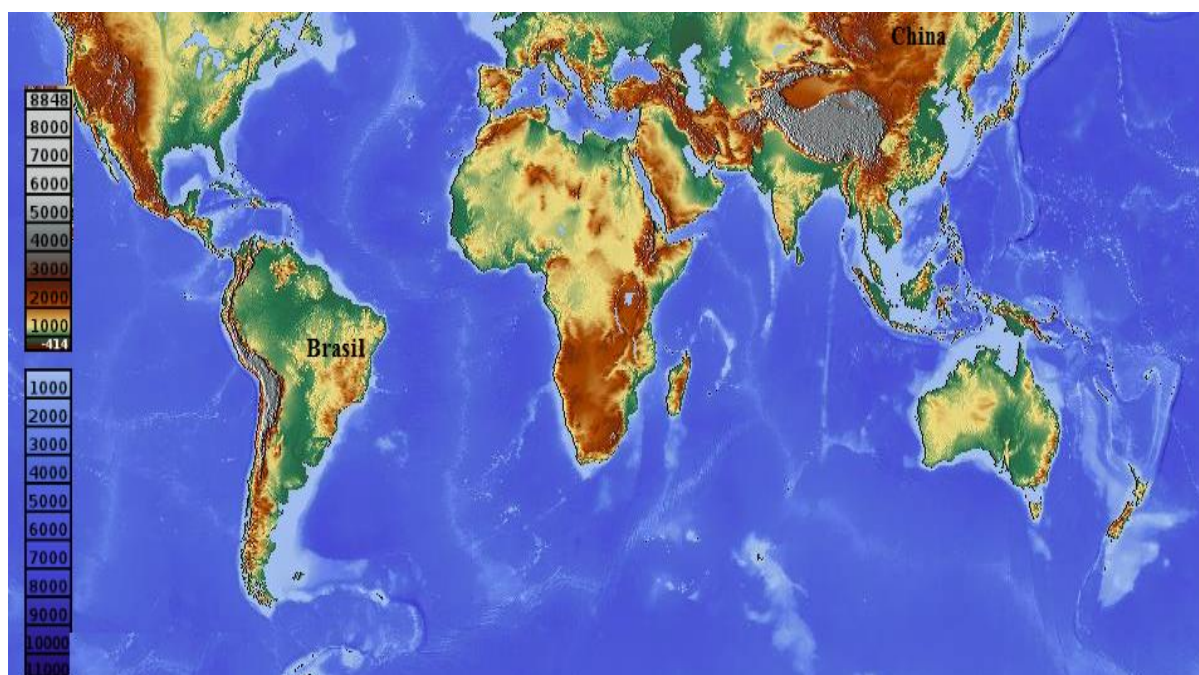
Fonte: (Autor)

5. COMPARAÇÃO DA EVOLUÇÃO DOS TÚNEIS ENTRE BRASIL E CHINA

5.1. Comparação entre Brasil e China

Países de dimensões continentais, tanto Brasil quanto a China são potências econômicas e exerce grande influência no mundo. A Figura 5.1 ilustra a extensão e localização de ambos países no mapa-múndi.

Figura 5.1. Mapa-múndi destacando Brasil e China

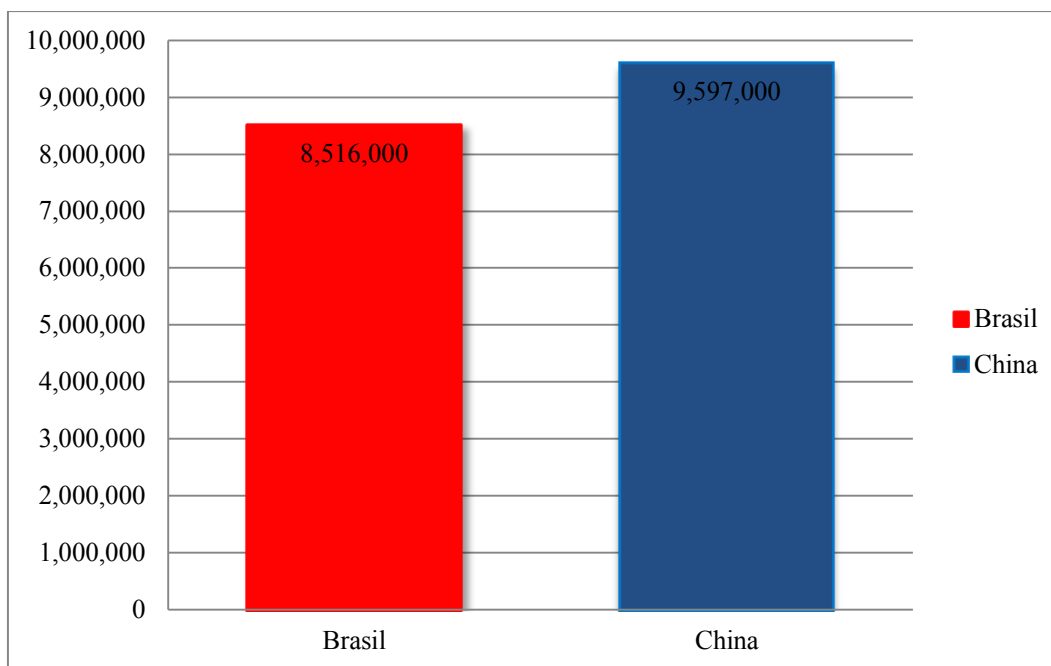


Fonte: (<https://maps-for-free.com/>, adaptado Autor).

5.1. Território brasileiro e chinês

Brasil e China estão entre os cinco maiores territórios do mundo. O Gráfico 5.1 mostra uma comparação das áreas do Território brasileiro com 8.516.000 km², e do território chinês com 9.597.000 km².

Gráfico 5.1. Extensão território Brasil e China



Fonte: (Autor)

5.2. População Brasil e China

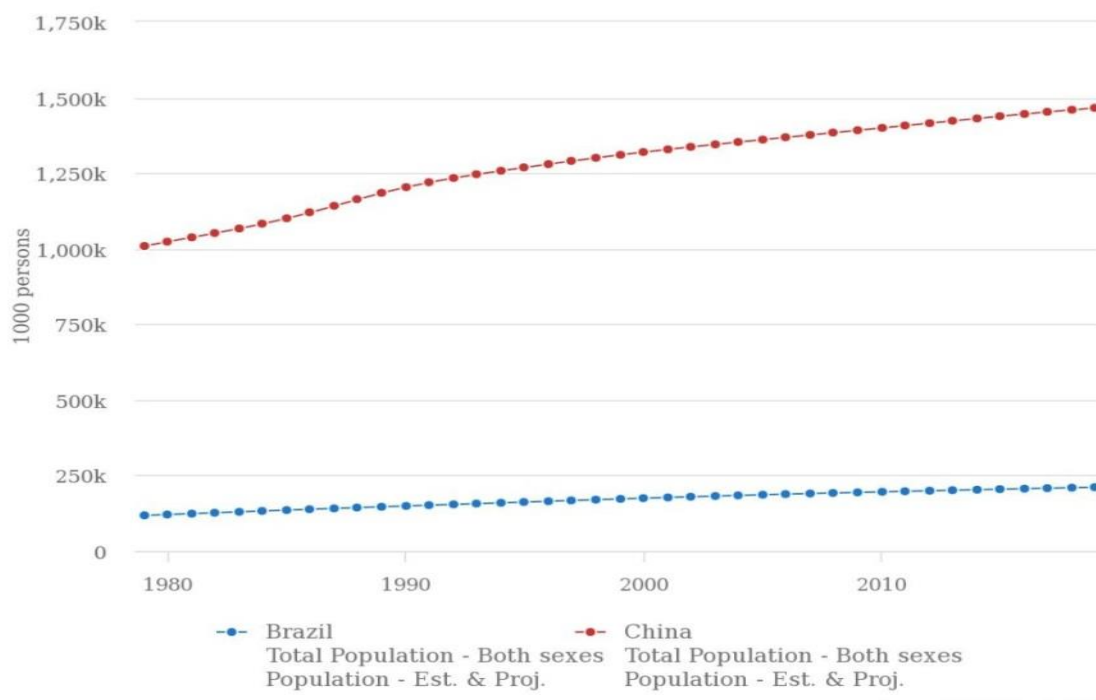
Com exceção de países desenvolvidos que possuem um alto IDH, a população de países pobres e emergentes tais como o Brasil e China, vem tendo um aumento significativo em sua população no decorrer dos anos.

A população brasileira no ano de 2019, contava com 210.147.125 milhões de habitantes. No mesmo ano, a população chinesa, mesmo com a política de filho único, atingira a marca de 1.398.000.000 bilhão de habitantes. O gráfico 5.2 apresenta o crescimento populacional de ambos os países, do ano de 2000 a 2019.

Quanto maior o crescimento da população, maior a necessidade de desenvolvimento de obras de infraestruturas, com a expansão de todos os modais de transporte, a fim de se acomodar de forma adequada a população e evitar os grandes congestionamentos que são comuns nas grandes metrópoles de países em desenvolvimento.

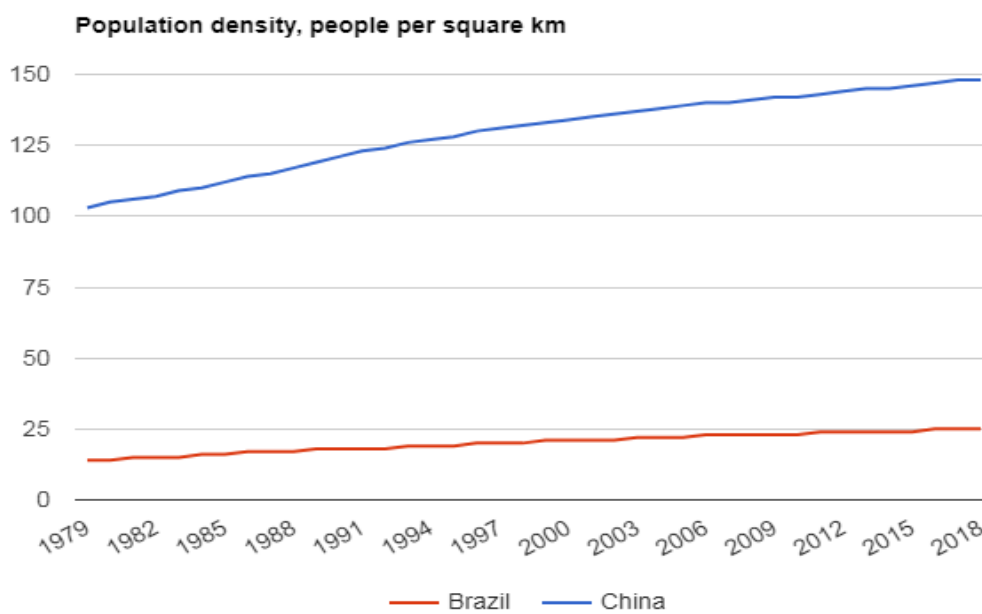
O Gráfico 5.2 a 5.4 apresenta, respectivamente, o crescimento, a densidade populacional e a porcentagem da população urbana, brasileira e chinesa entre 1979 a 2019.

Gráfico 5.2. Evolução do crescimento da população chinesa e brasileira de 1979 a 2019



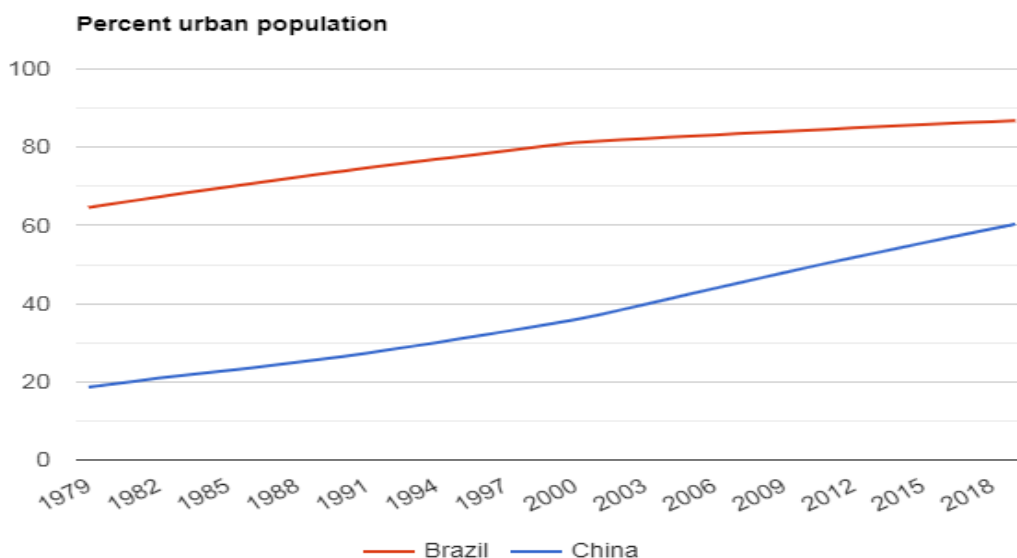
Fonte: (<http://www.fao.org/faostat/en/#compare> adaptado Autor)

Gráfico 5.3. Densidade populacional por km China e Brasil



Fonte: (<https://www.theglobaleconomy.com/compare-countries/>, adaptado Autor)

Gráfico 5.4. Porcentagem da população urbana China e Brasil

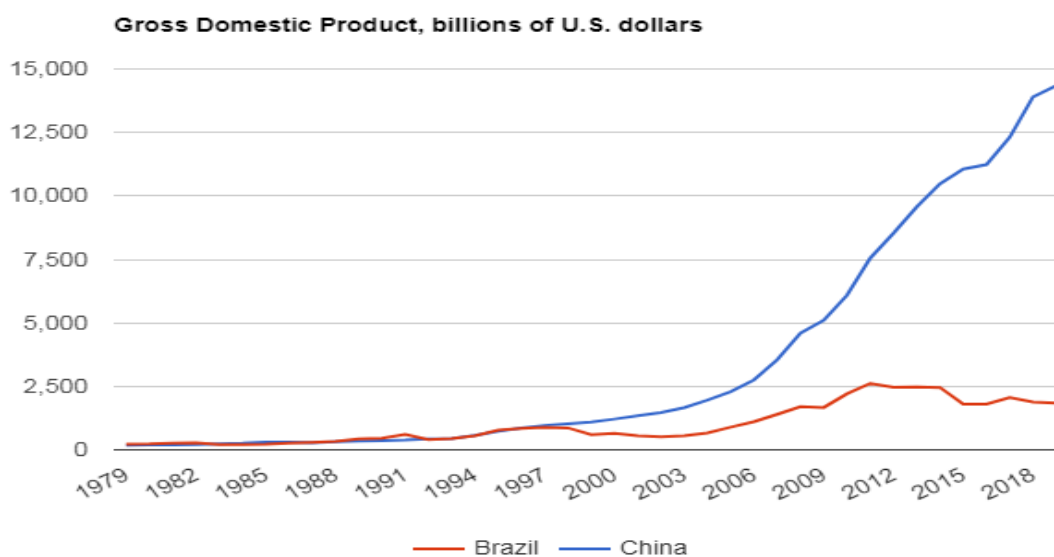


Fonte: (<https://www.theglobaleconomy.com/compare-countries/>, adaptado Autor)

5.3. Economia e PIB brasileiro e chinês

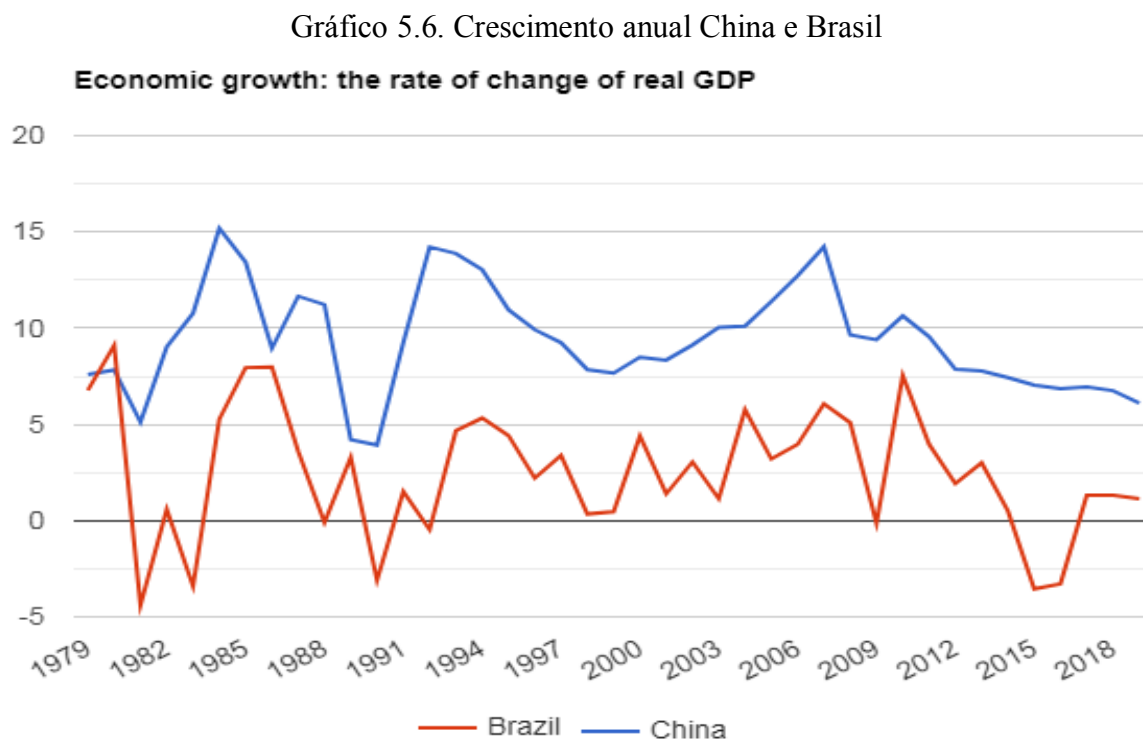
A China é o maior parceiro econômico do Brasil. O PIB da China no ano de 2019 foi quase dez vezes maior que o brasileiro. O PIB nominal brasileiro resultou em um valor de US\$ 1.45 trilhões, já o PIB nominal chinês arrecadou um valor de US\$ 14.34 trilhões, no mesmo período. (IBGE, 2019). Gráfico 5.5.

Gráfico 5.5. Evolução do crescimento do PIB Brasil e China



Fonte: (<https://www.theglobaleconomy.com/compare-countries/>, adaptado Autor)

A taxa de crescimento anual (em %) do PIB da China do Brasil, entre 1979 a 2019, estão apresentadas no Gráfico 5.6.

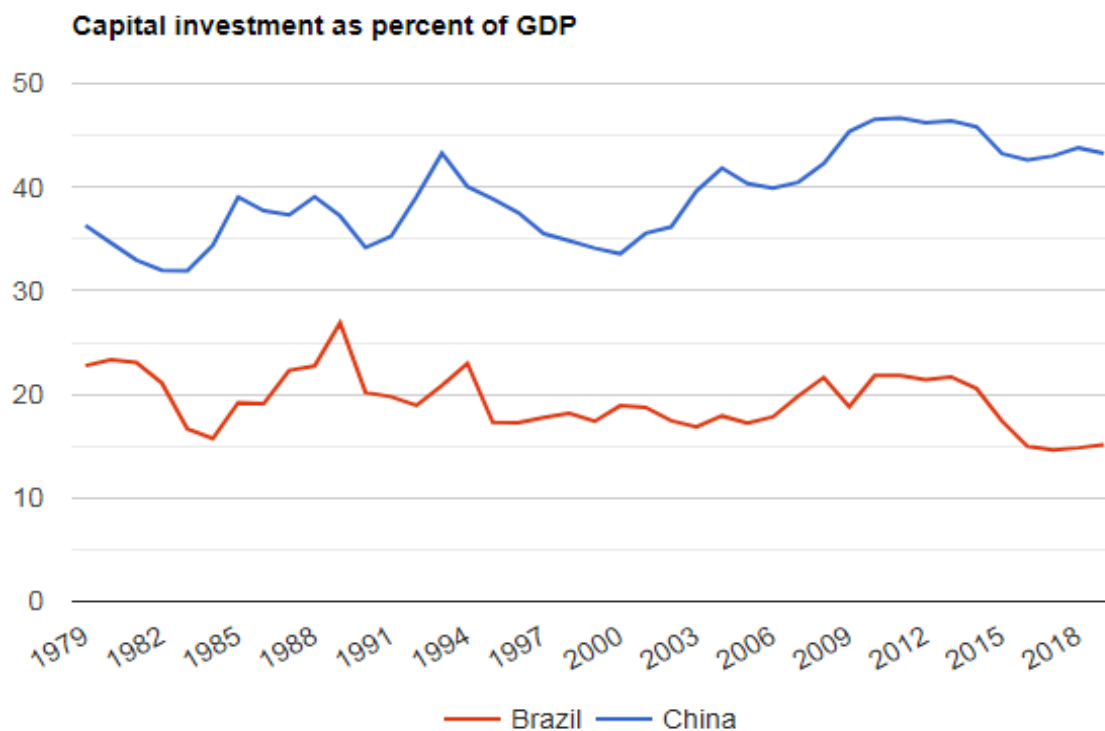


Fonte: (<https://www.theglobaleconomy.com/compare-countries/>, adaptado Autor)

As economias, tanto brasileira quanto chinesa, em décadas passadas eram similares em décadas passadas, como aponta o Gráfico 5.5. Todavia, o desenvolvimento da infraestrutura chinesa, dentre as quais as obras subterrâneas desempenham um importante papel, justifica o forte aumento do PIB observado naquele país. De fato, a correlação entre infraestrutura e desenvolvimento é um efeito conhecido há séculos, pois quanto melhor a infraestrutura de um país, melhor o escoamento dos seus produtos internos para o mercado externo, conseqüentemente ocasionando aumento do PIB.

O Gráfico 5.7, apresenta os investimentos internos bruto, da China e Brasil entre 1979 e 2019. A formação bruta de capital (anteriormente investimento interno bruto) consiste em despesas com adições aos ativos fixos da economia, mais variações líquidas do nível de existências. Os ativos fixos incluem melhorias de terreno (cercas, valas, drenos e assim por diante); aquisição de instalações, maquinários e equipamentos; e a construção de estradas, ferrovias e similares. (THE WORLD BANK, 2020).

Gráfico 5.7. Investimentos interno PIB China e Brasil



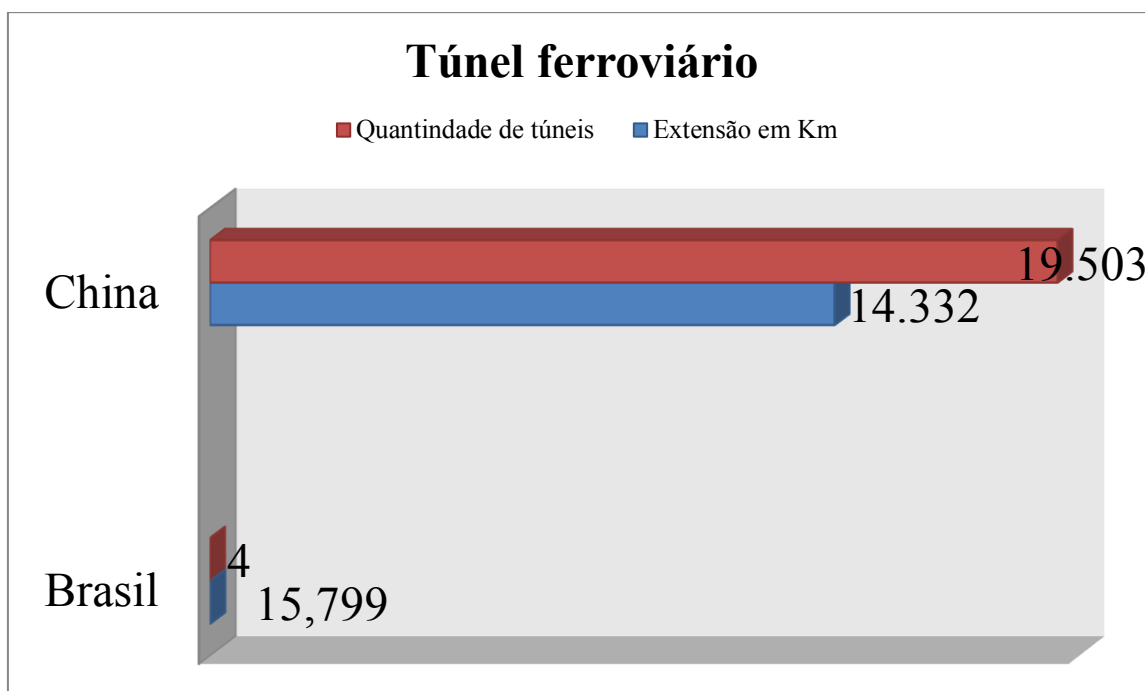
Fonte: (<https://www.theglobaleconomy.com/compare-countries/>, adaptado Autor)

5.4. Túneis ferroviários

No levantamento efetuado por este trabalho, verificou-se que no Brasil, entre os anos de 1979-2019, foram construídos aproximadamente 15,799 km de túneis ferroviários, enquanto na China foram construídos aproximadamente 14.332 km de túneis ferroviários no mesmo período.

O Gráfico 5.8. Ilustra o comparativo de quantidades e extensões de túneis ferroviários construídos na China e no Brasil entre 1979 e 2019.

Gráfico 5.8. Comparativo de extensões de tuneis ferroviários China e Brasil.



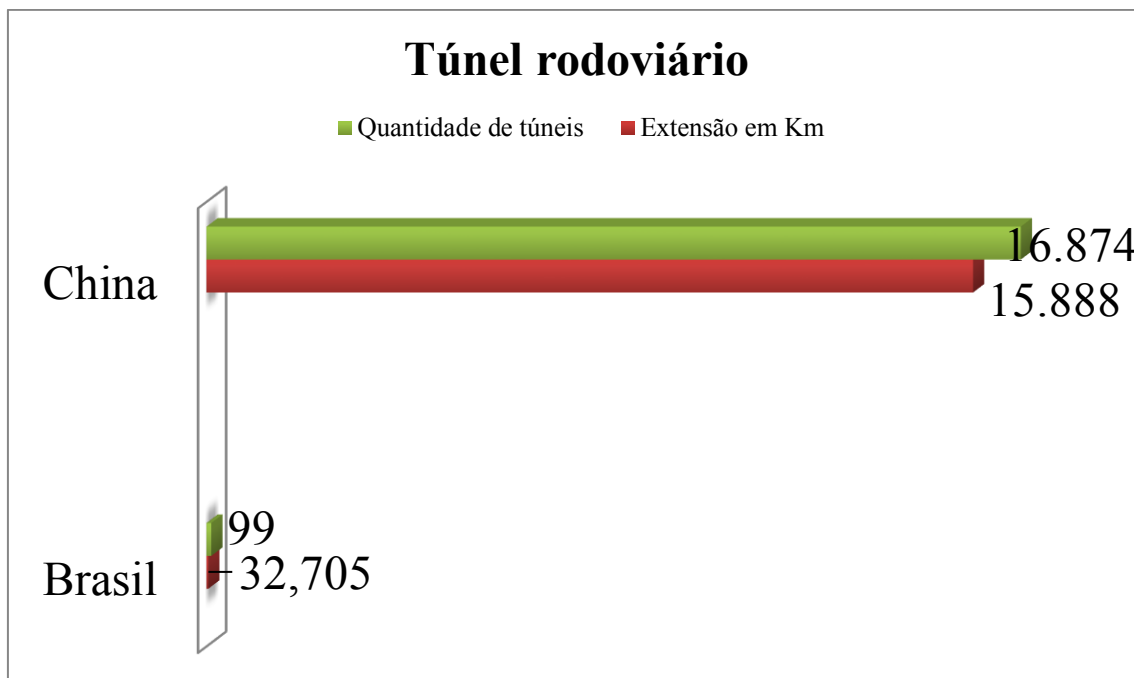
Fonte: (Autor)

5.5. Túneis rodoviários

No levantamento efetuado por este trabalho, verificou-se que no Brasil, entre os anos de 1979-2019, foram construídos aproximadamente 32,705 km de túneis rodoviários, enquanto na China foram construídos aproximadamente 15.888 km de túneis rodoviários no mesmo período.

O Gráfico 5.9 ilustra o comparativo de quantidades e extensões de túneis rodoviários construídos na China e no Brasil entre 1979 e 2019.

Gráfico 5.9. Comparativo de quantidade e extensão de túneis rodoviários entre China e Brasil.



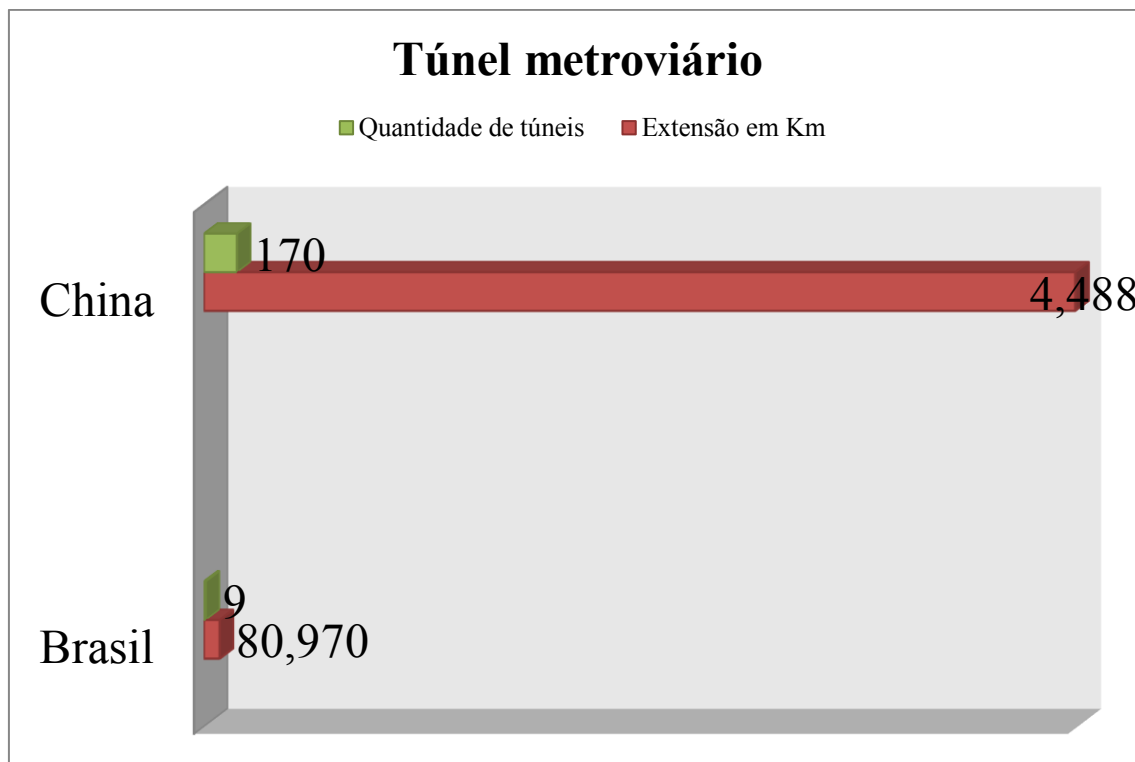
Fonte: (Autor)

5.6. Túneis metroviários

No levantamento efetuado por este trabalho, verificou-se que no Brasil entre os anos de 1979-2019 foram construídos aproximadamente 80,970 km de túneis metroviários, enquanto na China foram construídos aproximadamente 14.488km de túneis metroviários no mesmo período.

O Gráfico 5.10 ilustra o comparativo de quantidades e extensões de túneis metroviários construídos na China e no Brasil entre 1979 e 2019.

Gráfico 5.10. Comparativo metroviário de quantidade e extensão de túneis China e Brasil.



Fonte: (Autor)

5.7. Túneis subaquáticos

No Brasil não há túneis subaquáticos, mas apenas um projeto em andamento como apresentado nessa dissertação. Por outro lado, a China tem aproximadamente 30,0 km de extensão de túneis imersos.

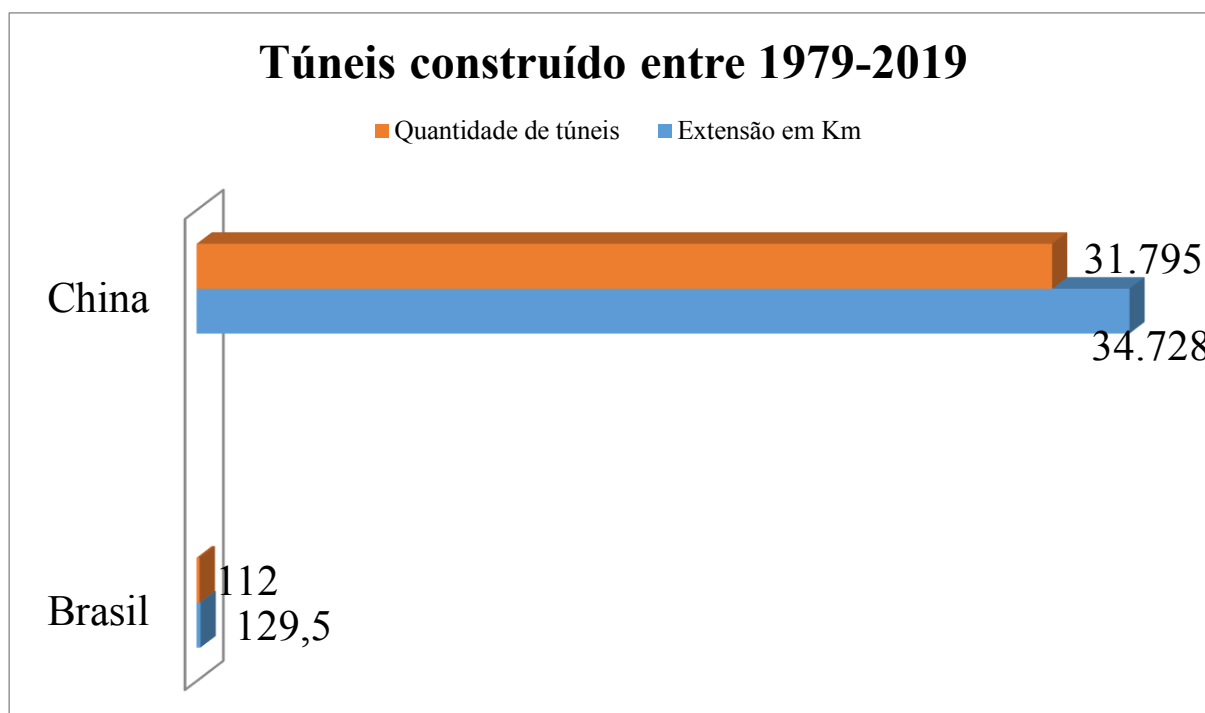
O Gráfico 5.11 ilustra o comparativo de quantidades e extensões de túneis imersos construídos na China e no Brasil entre 1979 e 2019.

Gráfico 5.11. Comparativo túnel imerso de quantidade e extensão de túneis China e Brasil.



Fonte: (Autor)

Gráfico 5.12 apresenta a quantidade de túneis construídos entre 1979 a 2019 na China e no Brasil.



Fonte: (Autor)

6. CONCLUSÃO

Verificou nesse trabalho que diversos métodos construtivos foram determinantes para desenvolvimento de obras subterrâneas ao longo dos anos. Também se verificou que, em especial, Brasil e China figuram entre os países com maior demanda por obras de túneis e que desempenham um importante papel no desenvolvimento socioeconômico. Até a década de 70, ambos os países tinham um mercado tuneleiro pequeno e pouco desenvolvido, se comparado ao mercado tuneleiro estadunidense, japonês ou europeu.

Com o advento de modernas técnicas como NATM e a TBM, no Brasil, a partir da década de 70 verificou-se um aumento de obras subterrâneas, principalmente em São Paulo e Rio de Janeiro.

Nesse período fatores políticos, tanto no Brasil quanto na China, influenciaram no crescimento econômico a uma taxa de dois dígitos anuais em ambos os países. Embora a China tenha investido mais em técnicas para construção de túneis ferroviários, rodoviários, metroviários e imersos, somente nas décadas de 90 e 2000 verificou-se um grande aumento dessas obras naquele país. Até o presente momento, apesar de ambos os países terem extensões territoriais similares e serem consideradas como as principais economias emergentes, apenas a China apresentou um crescimento vertiginoso em obras subterrâneas.

A China atualmente é o país que tem as maiores malhas de transporte em diversos modais do mundo. Os gráficos dessa dissertação comprovam essas evidências, também evidenciando a situação de relativa estagnação destas obras no Brasil. Em uma comparação entre Brasil e China, os gráficos dessa dissertação comprovaram a superioridade chinesa em implantação de obras subterrâneas.

No decorrer do período entre 1979 e 2019, pode-se verificar que a China realizou investimentos maciços em setores estratégicos, resultando nas maiores taxas de crescimento registradas no mundo neste período devido às suas políticas internas voltadas a melhoria de sua infraestrutura.

Como já é bem conhecido na ciência econômica, melhorias na infraestrutura colaboram para o aumento do PIB nominal, haja vista que os produtos comercializados chegam ao seu destino com maior velocidade, diminuindo assim o tempo, as perdas e gerando ganhos econômicos.

Apesar de a China estar amplamente em vantagem em termos econômicos, o Brasil ainda demonstra interesse em construções desse tipo a fim de melhorar sua infraestrutura. O metrô em Fortaleza utilizando *TBM*s pela primeira vez fora do eixo Rio-São Paulo corrobora com essa afirmação.

É notório o desenvolvimento de uma nova tecnologia de *TBM* no mercado brasileiro, no qual a Brabo vem desempenhando um importante papel, cujo propósito é ser, mais eficiente e acessível que as tecnologias convencionais como relatado ao longo da dissertação.

De acordo com esse estudo pode se afirmar que, quanto mais se investe na modernização da infraestrutura como um todo, o PIB nominal também aumenta, pois com uma melhor malha de transporte para o escoamento dos produtos, conseqüentemente há maiores possibilidades de exploração das demandas dos países em desenvolvimento.

Essa tese catalogou e realizou um levantamento com as informações acerca de túneis construídos entre 1979 a 2019 no Brasil e na China, comparando ambos casos. Para isso foram consultados trabalhos publicados em várias fontes, além de informações obtidas diretamente com a vice-presidente da Sociedade Chinesa de Túneis e atual presidente da Associação Internacional de Túneis.

Haja vista que o material divulgado a respeito de túneis tanto no Brasil e na China ainda é escasso. Para trabalhos futuros, o ideal é que sejam acrescentadas as listas de túneis ferroviários, rodoviários e metroviários. Acrescentar o túnel imerso que está em fase de projeto. Fazer mapa brasileiro apresentando túneis ferroviários, rodoviários, metroviários e imersos representando as respectivas implantações. Fazer estudo proporcional túneis por área/população do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABMES. Disponível em: <https://abmes.org.br/abmesinternacional/experience/4/china/links/detalhe/38>. Acesso em: 30/11/2020

AGUIAR, G.(2017). **Túneis escavados em solo por máquina tuneladora: conceituação, comportamento do maciço e modelagem numérica**. Universidade de São Paulo. Dissertação de mestrado em Geotecnia.

AL. CHINA (2008). **General situation of China**. Disponível em: <http://al.china-embassy.org/eng/zggk/t514662.htm>. Acesso em: 30/11/2020.

ANGELICA BORING. **“Pipe Jacking Service”**. Disponível em: http://www.angelicaboring.com/services/pipe_jacking/. Acesso em: 12/11/2020.

AEAS (2019). **Soluções modernas de Engenharia Portuária para túneis imersos**.

BALASUBRAMANIAN, A. (2014). **Tunnels-types and importance**. Disponível: https://www.researchgate.net/publication/314174382_Tunnels-types_and_importance. Acesso: 05/11/2020.

BARBOSA, P. (2020). **Mega-ponte: Shenzhen e Zhongshan lideram inovação**. Disponível em: <https://www.revistamacau.com/rm2020/2020/01/24/mega-ponte-shenzhen-e-zhongshan-lideram-inovacao/>. Acesso em: 03/11/2020.

BERNARDES, P. R. (2017). **Análise tensão x deformação de tunnel liner – estudo de caso**. Universidade Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS-MG). Dissertação graduação em Engenharia Civil.

BRITO, P. (2011). **Sistema portuário brasileiro**. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/portav3/pdf/palestras/InfraestruturaDePortosColombia122011.pdf>. Acesso em: 29/10/2020.

BRITO, P. PEREIRA, A. CARDOSO, R. (2016). **Método NATM de execução de túnel aplicado em solo granular – Estudo de caso sob a BR-101/ RN**. Disponível em: <https://plataforma.swge.com.br/PROCEEDINGS/PDF/CB-11-0033.pdf>. Acesso em: 29/10/2020.

CASE CONSTRUCTION. Disponível em: <https://www.casece.com/latam/pt-br/produtos/retroescavadeiras/retroescavadeiras/modelos/580N>. Acesso em: 31/12/2020.

CASTILHO, J. LOMBARDI, D. BARBOSA, M. **Túnel imerso: Estudo de implantação do portal de acesso e estrutura de aproximação**. Apresentação: 15º Congresso Nacional de

Iniciação Científica. Centro Universitário do Instituto Mauá de tecnologia. Área: Engenharias e Arquitetura.

CELESTINO, TARCÍSIO B, 2017. **Historia dos túneis no Brasil**. Disponível em: <http://docplayer.com.br/65769095-Historia-dos-tuneis-no-brasil.html>. Acessado em: 20/09/2020.

CHAPMAN, D.; METJE, N.; STÄRK, A. “**Introduction to tunnel construction**”. CRC Press, 2010. ISBN 0203895150

CHINADAILY. **Foto Tunel Zhongnanshan**. Disponível em: http://www.chinadaily.com.cn/business/2007-01/19/content_6176100_3.htm. Acesso em: 30/11/2020.

CHINASAGE (2012). **China não se chama China**. Disponível em: <https://www.chinasage.info/name-of-china.htm>. Acesso em: 30/10/2020.

CHINESEEMBASSY. **Geography**. Disponível em: <http://in.chineseembassy.org/eng/zggk/t763554.htm>. Acesso em: 30/11/2020.

CIVIL DIGITAL. “**Model of the tunnel boring machine (TBM) Asa used to dig and line hallandsas tunnel**”. Disponível em: <https://civildigital.com/tunnel-excavation-tunnel-boring-machine-tbm/model-of-the-tunnel-boring-machine-tbm-asa-used-to-dig-and-line-the-hallandsas-tunnel/>. Acesso em: 15/11/2020.

CJC ENGENHARIA E PROJETOS. **Ferrovia AÇO-MG**. Disponível em: <http://cjceng.com.br/br/projetos/ferrovias/todos-ferrovias/item/404-ferrovia-do-aco-brasil#!prettyPhoto>. Acesso em: 29/12/2020.

CLEIDE, A. (2016). **Primeiro túnel ferroviário do Brasil ameaçado por ocupação irregular**. Disponível em: <https://jc.ne10.uol.com.br/canal/cidades/geral/noticia/2016/09/04/primeiro-tunel-ferroviario-do-brasil-ameacado-por-ocupacao-irregular-251559.php>. Acesso em: 18/11/2020.

CNTTL, (2020). Disponível em: [https://cnttl.org.br/modal-metroviario#:~:text=Hist%C3%B3ria%20do%20Metr%C3%B4%20no%20Brasil&text=O%20metr%C3%B4%20de%20SP%20opera,de%20Trens%20Metropolitanos%20\(CPTM\).&text=Hoje%2C%20o%20metr%C3%B4%20tem%2042,duas%20linhas%20e%2038%20esta%C3%A7%C3%B5es](https://cnttl.org.br/modal-metroviario#:~:text=Hist%C3%B3ria%20do%20Metr%C3%B4%20no%20Brasil&text=O%20metr%C3%B4%20de%20SP%20opera,de%20Trens%20Metropolitanos%20(CPTM).&text=Hoje%2C%20o%20metr%C3%B4%20tem%2042,duas%20linhas%20e%2038%20esta%C3%A7%C3%B5es). Acesso em: 20/11/2020.

COELHO, L. R. (2010). **Pesquisa infraestrutura parte 3- aeroportos brasileiros**. Disponível em: <https://www.logisticadescomplicada.com/pesquisa-infraestrutura-aeroportos-brasileiros/#:~:text=Existem%20cerca%20de%204000%20aeroportos,atr%C3%A1s%20apenas%20dos%20Estados%20Unidos>. Acesso em: 29/10/2020.

COLAVITE, A. KONISHI, F(2015). **A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade**. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/802267.pdf>. Acesso em: 29/10/2020.

CONSTRUÇÃO CIVIL. **O túnel subaquático mais curto do Mundo**. Disponível em: <https://construcaocivil.info/o-tunel-subaquatico-mais-curto-do-mundo-veluwemeerharderwijk-holanda-repostdo-civilengineeringdiscoveries-netherlands-and-the-worldshortest-underwater-tunnelsveluwemeer-harde/>. Acesso: 29/10/2020.

CONTITUIÇÃO (1988). **Constituição da república federativa do brasil**. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf. Acesso em: 29/11/2020.

CONSTITUIÇÃO (1982). **Constituição da republica popular da china**. Disponível em: <https://bo.io.gov.mo/bo/i/1999/constituicao/index.asp>. Acesso em: 30/11/2020.

CPT (2014). **Túneis em Portugal**. Disponível em: <http://www.abms.com.br/wp-content/uploads/2014/04/Cap%C3%ADtulo0-TuneisEmPortugal.pdf>. Acesso: 13/10/2020.

CRISPIM, FLAVIO A (2013). **Geologia de túneis**. Disponível em: http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_1619508_geologia_d_tuneis_pdf_08_Geologia_d_tuneis.pdf. Acesso: 20/11/2020.

DERSA (2013). **Seminário de Túneis Imersos Comitê Brasileiro de Túneis**. Dersa e Governo do Estado São Paulo.

DEZOTTI, C.M. (2008). **Análise da utilização de métodos não destrutivos como alternativa para redução dos custos sociais gerados pela instalação, manutenção e substituição de infraestruturas urbanas subterrâneas**. Escola de Engenharia de São Paulo, Universidade de São Paulo. Dissertação de mestrado em Transportes.

DIÁRIO. (2018). **Reservatório-túnel da Sabes fica aberto até sexta para visitação pública**. Disponível em: <https://www.diariodolitoral.com.br/cotidiano/reservatorio-tunel-da-sabesp-fica-aberto-ate-sexta-para-visitacao/117556/>. Acesso: 31/10/2020.

DOGLIA, A. (2011) **Japanese mass violence and its victims in the fifteen years war (1931-1945)**. <https://www.sciencespo.fr/mass-violence-war-massacre-resistance/en/document/japanese-mass-violence-and-its-victims-fifteen-years-war-1931-45.html>

DRÖSEMAYER, A. (2004). **Contribuição ao estudo da execução de túneis em “Pipe Jacking”**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado em Ciências em Engenharia Civil.

DARMADI, FHWA **“Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnel”**. Disponível em: https://darmadi18.files.wordpress.com/2015/10/tunnel_calculation-lining-design.pdf. Acesso em: 31/11/2020.

DELOSPITAL, F. R. (2016). **Aplicação do auxílio multicritério a decisão ao projeto de travessia entre santos e Guarujá**. Universidade Estadual de Campinas. Dissertação de mestrado apresentado a Faculdade de Engenharia Civil.

DW MADE FOR MINDS. **1964: Inaugurado o primeiro túnel rodoviário nos Alpes.** Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/1964-inaugurado-o-primeiro-t%C3%BAnel-rodovi%C3%A1rio-nos-alpes/a-478595>. Acesso em: 10/07/2020.

EARTH DATA. “**Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC)**”. Disponível em: <https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/gpww3/maps/gallery/search?facets=theme:population&facets=region:asia>. Acesso em: 26/11/2020.

ESTANISLAU, J. M. A. (2017). **Revitalização de centro urbanos por obras subterrâneas: caso estudo túnel Marcello Alencar no Rio de Janeiro.** Universidade de Brasília. Monografia departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

FANTR. “**Cases da Fantr**”. Disponível em: <https://fantr.com/cases-detalle/39>. Acesso em: 26/11/2020.

FEI, XIAOTONG (2017).” **The formation and development of the Chinese nation with multi-ethnic groups**”. Disponível em: <https://ijae.springeropen.com/articles/10.1186/s41257-017-0001-z>. Acesso em: 29/12/2020

FERRÃO, C.W. (2018). **Estudo de túneis superficiais: Influência na convergência e no perfil de assentamento.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de mestrado em Estruturas.

Ferrovias (2013). **Órgão de divulgação da associação de engenheiros ferroviários ano XVII - nº 154 - maio/junho de 2013.** Disponível em: http://ferrovias.com.br/portal/wp-content/uploads/2013/08/JA154_para-o-site.pdf. Acesso em: 29/10/2020.

FERROVIÁRIO, BRASIL (2013). **Obras de Arte especiais (OAE).** Disponível em: <https://www.brasilferroviario.com.br/obras-de-arte/>. Acesso: 13/10/2020.

FHWA (2015). “**Tunnel Operations, Maintenance, Inspection, and Evaluation (TOMIE) Manual**”. Disponível em: <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/inspection/tunnel/tomie/hif15005.pdf> Acesso: 03/09/2020.

FIGURA 3.7. **Mapa de densidade populacional do Brasil** Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/3483>. Acesso em: 09/11/2020

FIGURA 3.8. **As maiores metrópoles brasileira.** Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Mapa_do_Brasil_\(OCHA\).svg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Mapa_do_Brasil_(OCHA).svg). Acesso em: 15/09/2020

FIGURA 3.10. **Subdivisão e Estados brasileiros.** Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Brazil_Labelled_Map.svg. Acesso em: 09/11/2020

FIGURA 3.12. **Porto de Santos- Mais movimentado da América Latina.** Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Semin%C3%A1rio_da_TV_Tribuna_em_Santos._\(42282761304\).jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Semin%C3%A1rio_da_TV_Tribuna_em_Santos._(42282761304).jpg). Acesso em: 03/09/2020

FIGURA 4.3. **Mapa dos pontos extremos da China**. Disponível em: <https://koneksi-aman.com/proxy/index.php?q=maq-1aOpeYmVp16vvcXWsaulvdBj1qjXiL6eoNd0v9edm4SomNi4u4-elJvEudmwqaLI2KTVld26t2Oo5Kw>. Acesso em: 09/11/2020.

FIGURA 4.8. Algumas das maiores metrópoles chinesa. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Mapa_da_China_\(OCHA\).svg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Mapa_da_China_(OCHA).svg). Acesso em: 11/09/2020.

FINGER, A. E (2013). **Um século de estrada de ferro**. Universidade de Brasília. Tese de Doutorado apresentado Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

FREITAS, E. **Aspectos importantes da China**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/china/aspectos-importantes-china.htm>. Acesso: 05/12/2020.

GAO QUQING. **“Tunnelling in China”**. Disponível em: http://www.researchgate.net/publication/297130421_Tunnelling_in_China. Acessado em: 22/11/2020

GEOCOMPANY. **Túneis imersos para travessias subaquáticas**. Disponível em: http://geocompany.com.br/public/img/materias/15_-_Tuneis1.pdf. Acesso em: 29/10/2020.

GOVERNO CEARÁ (2018). **Projeto Linha Leste**. Disponível em: <https://www.metrofor.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2018/10/apresentacao-linha-leste-audiencia-publica-final.pdf>. Acesso em: 30/08/2020.

GUIMARÃES, J. M. F. (2018). **Túneis de seção variável: contribuições à análise de tensões e deformações**. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de doutorado em Engenharia Civil.

HERMAN, A. (2014). **Notas do metrô: a longa historia da guerra em túneis**. Disponível em: <https://www.hudson.org/research/10570-notes-from-the-underground-the-long-history-of-tunnel-warfare>. Acesso em: 29/10/2020.

HEMPHILL, G. B. **“Practical tunnel construction”**. John Wiley & Sons, 2012. ISBN 1118330005

HERNÁNDEZ, Z. Y. (2016). **Comportamento da frente de escavação de túneis rasos**. Universidade de Brasília. Dissertação de mestrado submetida ao departamento de engenharia ambiental.

HONG, KAIRONG. **“Typical Underwater Tunnels in the Mainland of China and Related Tunneling Technologies”**. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917307865>. Acessado em 22/11/2020.

IBGE-CONCLA. **O Brasil é um dos maiores países do mundo em extensão.** Disponível em: <https://cnae.ibge.gov.br/en/component/content/article/94-7a12/7a12-vamos-conhecer-o-brasil/nosso-territorio/1461-o-brasil-no-mundo.html>. Acesso em: 30/12/2020.

IBGE (2012): Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio/dados-geograficos.html>. Acesso em 30/10/2020.

IBGE (2019): Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?edicao=27729&t=sobre>. Acesso em 30/11/2020.

IBGE EDUCA. **Divisão Política administrativa e Regional.** Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18310-divisao-politico-administrativa-e-regional.html#:~:text=O%20Brasil%20est%C3%A1%20dividido%20em,%20DOeste%2C%20Sudeste%20e%20Sul.&text=%C3%89%20a%20Unidade%20onde%20tem,%3A%20Judici%C3%A1rio%2C%20Legislativo%20e%20Executivo.&text=Em%20n%C3%BAmero%20de%2026%2C%20constituem,organiza%C3%A7%C3%A3o%20pol%C3%ADtica%20Administrativa%20do%20Pa%C3%ADs>. Acesso em: 28/09/2020

IBRACON, 2012 **Panorama do Mercado Brasileiro de túneis: Passado, Presente e futuro.** Disponível em: http://www.ibracon.org.br/eventos/54cbc/Infra/ibracon_2012rev1hugo.pdf. Acessado em: 20/10/2020.

IFANR (2017). “**迟到了上百年的中国地铁，现在要开进美国了**”. Disponível em: <https://www.ifanr.com/925384>. Acesso em: 15/10/2020.

ITA (2019). General report on conventional tunneling method. Disponível em: https://tunnel.ita-aites.org/media/k2/attachments/public/ITA_Report_N2_WG19_P.pdf. Acesso em: 30/10/2020.

KOCHEN, R. (2013). **Tuneladoras em rocha: uma nova fronteira para a Engenharia brasileira de túneis.** http://geocompany.com.br/public/img/materias/Tuneladoras_Rocha_Out2013.pdf. Acesso: 05/12/2020.

K. SINA.” **中国第一条地铁线，至今已有50年历史，每年都能运送上千万旅客**” Disponível em: https://k.sina.com.cn/article_6909317307_19bd3d0bb00100p3mb.html. Acesso em: 10/11/2020.

KUAIBAO. **“朱德元帅5张稀世罕见照，图5朱德邓小平为北京地铁开工破土”.** Disponível em: <https://kuaibao.qq.com/s/20190805A0CAYR00?refer=spider>. Acesso em: 10/11/2020.

LAN. **Fundações Pesadas e Geotecnia.** Disponível em: <https://sites.google.com/site/lanfundacoespesadasegeotecnia/home/120-congresso-na-universidade-do-porto>. Acesso em: 30/09/2020.

LIMA, J.J (2012). **Evolução das obras subterrâneas: Planejamento, uso, soluções construtivas e novas tecnologias**. Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Dissertação de Programa de Pós-graduação Lato Sensu.

LIMA, O.B.V. (2016). **Aplicação do método NATM na execução de túnel em rocha**. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de graduação.

LIN, HAN. HETHERINGTON, WILLIAM. (2019). **Keelung plans train tunnel renovation**. Disponível em: <http://www.taipeitimes.com/News/taiwan/archives/2019/09/28/2003723050>. Acesso em: 30/10/2020.

LINHA SUL METROFOR (2020). Disponível em: <https://www.metrofor.ce.gov.br/2011/12/29/linha-sul-inicio/>. Acesso em: 29/11/2020.

LINHA 5 METRO DE SÃO PAULO (2020). Disponível em: <http://radarbrasil.fiesp.com.br/linha-5-lilas-do-metro-relatorio-completo>. Acesso em: 29/11/2020

LOTS BERG. **“Welcome to the world’s longest tunnel page”**. Disponível em: <http://www.lotsberg.net/>. Acesso: 14/11/2020.

MADRIGALI, MARIANA (2019). **Portos chineses: os locais que levam a China para o mundo**. Disponível em: <https://www.chinalinktrading.com/blog/portos-chineses-china-mundo/>. Acesso em: 29/10/2020.

MAFFEI. C., GONÇALVES, H., TEIXEIRA, P., WELLINTON. **Valas Escoradas**. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/53756/mod_resource/content/1/Valas%20escoradas%20-%201a%20aula.pdf

MASCARENHAS, MAGALHÃES A. (2014). **Estudo de caso: escavação e tratamento para emboque de túnel em rocha utilizando o método NATM - região portuária, centro do rio de janeiro/RJ**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação graduação de Engenharia Civil.

MENDONÇA, R. M. P. F. (2017). **Estudo da viabilidade de túneis viários em obras de infraestrutura**. Universidade Federal da Paraíba. Dissertação graduação Engenharia Civil.

METRÔ. Disponível em: <http://www.metro.sp.gov.br/tecnologia/construcao/subterraneo.aspx>. Acesso em: 10/11/2020

METRÔ BAHIA ESTAÇÃO CAMPO DA POLVORA. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%A7%C3%A3o_Campo_da_P%C3%B3lvora. Acesso em: 29/11/2020

METRÔ CPTM. **“Tatuzão” já construiu 700 metros de túnel da futura Linha Leste do Metrô de Fortaleza**. Disponível em: <https://www.metrocptm.com.br/tatuzao-ja-construiu-700-metros-de-tunel-da-futura-linha-leste-do-metro-de-fortaleza/>. Acesso em: 30/10/2020

MOREIRA, C.(2006). **Túneis, uma herança ancestral rumo ao futuro.** <https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/1886/1/92-115.pdf>. Acesso: 16/11/2020.

MOSER, STEFANO (2013). **Inovação tecnológica na escavação mecanizada de túneis – tecnologia BraBo.** Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de graduação de Engenharia Civil.

MURAL. **Mal cuidados, túneis da Lapa causam transtorno aos pedestres.** Disponível em: <https://mural.blogfolha.uol.com.br/2013/07/30/tuneis-da-lapa-causam-transtorno-aos-pedestres/>. Acesso em: 31/10/2020.

NARESI (2016). **Congresso na Universidade do Porto.** Disponível em: <https://sites.google.com/site/lanfundacoespesadasegeotecnia/home/120-congresso-na-universidade-do-porto>. Acesso em: 16/11/2020

NEVES, A. SOUZA, G., SILVA, J. (2016). **Políticas de segurança pública nas regiões de fronteira da China, Rússia e Índia.** ENAFRON.

NORONHA, Marcos. FARIA P. (2010). **Inovação tecnológica no setor de máquinas tuneladoras e a implantação de uma indústria promissora no Sul do Brasil.** GEOSUL2010. 11p.

NÔRO MOURA, C. A (2014). **Análise de construção de túneis com tuneladora.** Faculdade de Ciências e Tecnologia. Dissertação de mestrado e geotecnia.

OKUMURA, S. H.(2018). **Além da indústria automobilística: políticas de incentivo as rodovias do governo Washington Luís ao primeiro choque do petróleo (1926-1973).** Universidade Estadual de Campinas. Doutorando em Desenvolvimento Econômico.

OLIVEIRA, H. (2010). **Brasil e China: uma nova aliança não escrita?** Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbpi/v53n2/05.pdf>. Acesso em:

OLIVEIRA COSTA, P. G. (2012). **Execução de túneis com recurso ao método Cut and Cover.** Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Dissertação de mestrado em Estruturas.

PAULO, ISABELA (2008). **Análise de produtividade de máquinas tuneladoras em rochas duras.** Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de graduação Engenharia Civil.

PEDUZZI, P. (2020). **Movimentação portuária cai 1,6% em 2019.** Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2020-02/movimentacao-portuaria-cai-16-em-2019#:~:text=O%20anu%C3%A1rio%20estat%C3%ADstico%20referente%20a,duas%20instala%C3%A7%C3%B5es%20portu%C3%A1rias%20de%20turismo>. Acesso em: 29/10/2020.

PIERRI, CRISTINA LIDIANI. (2018). **Desenvolvimento Conceitual de uma técnica para Escavação de Microtúneis em Solo.** Universidade Federal de Santa Catarina.

PIKIST PHOTO. **Túnel, Túnel ferroviário, Arcos, Estrada de ferro, Tráfego ferroviário, Ferrovia, Rastrear, Ferrovias, Passagem, Trem.** Disponível em: <https://www.pikist.com/free-photo-vuqxr/pt>. Acesso em: 06/10/2020

POSSARI, C. D. (2016). **Modelagem numérica 3d de escavação mecanizada de túneis com TBM.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil.

PRODUCE REPORT (2017). Disponível em: <https://www.producereport.com/article/severe-congestion-delays-shanghai-port>. Acesso em: 02/12/2020.

QIAO XUEFENG, XIA XIAOLUN. (2020). **交通运输部“晒”出2019年成绩单：高速公路新增7000公里.** Disponível em: <http://finance.people.com.cn/n1/2020/0512/c1004-31705742.html>. Acesso em: 05/12/2020

REIS, E. B. **Matriz de transporte – um estudo exploratório nos países do BRICS.** Disponível em: <http://conic-semesp.org.br/anais/files/2013/trabalho-1000016120.pdf>. Acesso em: 01/12/2020

REYNARD, GABRIEL (2015). **China possui 144 cidades com mais de 1 milhão de habitantes.** Disponível em: <https://blog.reynard.com.br/china-possui-144-cidades-com-mais-de-1-milh%C3%A3o-de-habitantes-incr%C3%ADvel-3e09f80ce8c8>. Acesso em: 30/11/2020

REDDIT. **“Shiqiuling Tunnel, Taiwan’s first railway tunnel, built in the Qing Dynasty. It was used for just 7 years and it was abandoned”.** Disponível em: https://www.reddit.com/r/rustyrails/comments/i8fcsh/shiqiuling_tunnel_taiwans_first_railway_tunnel/. Acesso em: 01/10/2020.

RIEGOS PROGRAMADOS S.L. Disponível em: <https://www.riegosprogramados.es/pt-pt/ditchwitch/valadoras/apeadas/rt-24/>. Acesso em: 31/10/2020.

RIOS, A. L (2018). **Estado da arte de inovações tecnológicas na escavação manual e mecanizada de túneis.** Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de graduação Engenharia Civil.

SAFRA. Disponível em: <http://revistasafra.com.br/29993-2/>. Acesso em: 31/10/2020.

SANDVIK TAMROCK CORP. (1999). **Rock Excavation Handbook.**

SGROTT, P. R. (2019). **Uma análise do cenário do transporte ferroviário de cargas.** Universidade Federal de Santa Catarina. Trabalho de Conclusão de Curso.

SILVA, ARAUJO. G (2017). **Influência em superfície do processo de escavação de obras subterrâneas em solo de Goiânia.** Universidade Federal de Goiás. Dissertação de graduação Engenharia Civil.

SILVA, TAVARES. G (2018). **Revestimento de concreto extrudado para túneis**. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de mestrado em Engenharia de transportes.

SOAVINSKI, R. J. (2005). **Corredor ecológico da região do Jalapão**. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/projetojalapao/images/stories/publicacoes/livro_vamos_conhecer_o_cerrado.pdf. Acesso em: 29/10/2020.

SOUZA, J. C.T (2012). **Proposta de diretrizes gerais para projeto de túneis rodoviários**. Universidade de Brasília. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil.

SOUZA, H. P.(2019). **A relação sino-japonesa no início do século XXI: oscilando entre dissenso e pragmatismo**. Universidade Estadual Paulista. Dissertação de doutorado em Ciências Sociais.

RAILSYSTEM, **“Drill and Blast Method”**. Disponível em: <http://www.railsystem.net/drilland-blast-method>. Acessado em: 22/11/2020.

RESEARCHGATE. **Tipo de Seção de Túnel**. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Cross-sections-for-small-tunnels-a-rectangular-b-oval-c-old-railway-cross-section_fig1_259338397. Acesso em: 10/08/2020.

ROSS, JURANDYR LUCIANO SANCHES (2016). **O relevo brasileiro no contexto da América do Sul**. Universidade de São Paulo. Disponível em: file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Desktop/ROSS%20JURANDYR%202016_Relevo%20da%20Am%C3%A9rica%20do%20Sul.pdf. Acesso em: 30/10/2020.

SAGLAMER, AHMET (2005). **“Cut and cover tunnels in metropolitan areas”**. Disponível em: https://tunnel.ita-aites.org/media/k2/attachments/public/T_C_Saglamer_2005.pdf. Acesso em 15/10/2020.

SAUTYA, MALAY (2019). **“Shapes of tunnels”**. Disponível em: <https://civilnoteppt.com/shapes-of-tunnels/>. Acesso em: 15/10/2020.

SILVA, GUILHERME TAVARES DA (2018). **Revestimento de concreto extrudado para túneis**. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de mestrado com Engenharia de transporte. <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/205625/PTRA0034-D.pdf?sequence=-1>.

SOLOTRAT. Disponível em: <http://www.solotrat.com.br/assets/pdf/tunel-natm.pdf>. Acesso em: 03/09/2020.

SOUZA, H. P. (2019). A relação sino-japonesa no início do século XXI: oscilando entre dissenso e pragmatismo. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Dissertação de pós-graduação em Ciências Sociais.

STACO, ARMCO (2013). “**Tunnel linner**”. Disponível em: http://www.armcostaco.com.br/armco/upload/download/folder_TL_novaID.pdf. Acesso em: 15/10/2020.

TAIPEI TIMES. **Keelung plans train tunnel renovation**. Disponível em: <https://www.taipeitimes.com/News/taiwan/archives/2019/09/28/2003723050>. Acesso em: 31/10/2020.

TBM. (2015). “**Pressurized Face Tunneling: a Historical Perspective**”. Disponível em: <https://tunnelingonline.com/pressurized-face-tunneling-historical-perspective/>. Acesso em: 19/09/2020.

THE WORLD BANK (2019). **Gdp China** Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=CN>. Acesso em: 20/11/2020.

THE WORLD BANK (2020). Disponível em: <https://www.theglobaleconomy.com/compare-countries/>. Acesso em: 20/11/2020.

TIBET TOUR (2020). Disponível em: <https://www.tibettour.org/tibet-train-tours/facts-and-features.html>. Acesso em: 15/11/2020.

TRAVAGIN, B. V.(2012). **Subsídios para escolha do método construtivo de túneis**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dissertação de mestrado Engenharia Civil.

TRICHÊS, F. E. L (2019). **Execução de túneis pelo método NATM: estudo de caso do túnel do morro agudo em Paulo Lopes – sc**. Universidade do Sul de Santa Catarina. Dissertação de graduação Engenharia Civil. Dissertação de graduação Engenharia Civil. p.21

TRIP.COM. “**Shiqiuling Tunnel**”. Disponível em: <https://www.trip.com/travel-guide/jilong/shiqiuling-tunnel-30142760/>. Acesso em: 31/10/2020.

USP. PEF 2502. **Obras subterrâneas Projeto e Método Construtivo**. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/53756/mod_resource/content/1/Valas%20escoradas%20-%201a%20aula.pdf. Acesso em: 22/08/2020.

VAZ, L. F. **Investigação e planejamento de túneis**. Disponível em: <https://docplayer.com.br/86831344-Investigacao-e-planejamento-de-tuneis.html>. Acesso em: 26/11/2020.

VERMEER. Disponível em: <https://www.vermeer.pt/produtos/escavacao-especializada/abertura-de-vala/Valadoras-sobre-Rastos-com-Lanca-de-Escavacao/64/>. Acesso em: 31/08/2020.

VIATROLEBUS. Disponível em: <https://viatrolebus.com.br/2014/10/como-e-andar-na-linha-1-do-metro-do-rio-de-janeiro/>. Acesso em: 29/08/2020.

VILLELA, E. (2004) **As relações comerciais entre Brasil e China e as possibilidades de crescimento e diversificação das exportações de produtos brasileiros ao mercado consumidor chinês**. Disponível em: <https://www.pucsp.br/geap/artigos/art4.PDF>. Acesso em: 29/08/2020.

WIKIPÉDIA. **China**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/China>. Acesso em: 29/11/2020.

WIKIPÉDIA (2020). **Immersed tube**. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Immersed_tube. Acesso em: 29/11/2020.

WIKIPÉDIA. (2020). **“List of long railway tunnels in China”**. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_long_railway_tunnels_in_China. Acesso em 03/12/2020.

WIKIPÉDIA (2020). **Lista de túneis no Brasil**. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_t%C3%BAneis_do_Brasil. Acesso em: 03/12/2020.

WONG (2020). Length of operating subway lines in China’s cities from 2010 to 2019 (in Kilometers). Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/258606/length-of-subway-lines-in-chinas-cities/>. Acesso em: 29/11/20.

ZANELATO, ELIESER ANTONIO (2003). **Escavação de túneis-Métodos construtivos**. Universidade Anhembi Morumbi. Dissertação de graduação Engenharia Civil.

32 XP. **“Afinal, a CPTM é uma rede de metrô”**. Disponível em: <https://32xsp.org.br/2018/12/05/afinal-a-cptm-e-uma-rede-de-metro/>. Acesso em: 05/12/2020.