

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DEFESA E SEGURANÇA CIVIL
MESTRADO PROFISSIONAL EM DEFESA E SEGURANÇA CIVIL

IVAN EDUARDO SANTOS RAPHAEL

ANÁLISE DA GESTÃO MUNICIPAL NA MANUTENÇÃO PREVENTIVA E
CORRETIVA DOS TÚNEIS DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

NITERÓI - RJ
2022

IVAN EDUARDO SANTOS RAPHAEL

**ANÁLISE DA GESTÃO MUNICIPAL NA MANUTENÇÃO PREVENTIVA E
CORRETIVA DOS TÚNEIS DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Defesa e Segurança Civil. Área de concentração: Planejamento e Gestão de Eventos Críticos. Linha de Pesquisa: Instrumento de Gestão para Redução de Riscos e Desastres.

Orientador: Reiner Olíbano Rosas.

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

R217a Raphael, Ivan Eduardo Santos
ANÁLISE DA GESTÃO MUNICIPAL NA MANUTENÇÃO PREVENTIVA E
CORRETIVA DOS TÚNEIS DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO / Ivan
Eduardo Santos Raphael ; REINER OLIBANO ROSAS, orientador.
Niterói, 2022.
72 f. : il.

Dissertação (mestrado profissional)-Universidade Federal
Fluminense, Niterói, 2022.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PMI.2022.mp.09950351723>

1. MITIGAÇÃO DE ACIDENTE. 2. TÚNEL. 3. MANUTENÇÃO. 4.
PREVENÇÃO. 5. Produção intelectual. I. ROSAS, REINER
OLIBANO, orientador. II. Universidade Federal Fluminense.
Escola de Engenharia. III. Título.

CDD -

IVAN EDUARDO SANTOS RAPHAEL

ANÁLISE DA GESTÃO MUNICIPAL NA MANUTENÇÃO PREVENTIVA E
CORRETIVA DOS TÚNEIS DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Defesa e Segurança Civil. Área de concentração: Planejamento e Gestão de Eventos Críticos. Linha de Pesquisa: Instrumento de Gestão para Redução de Riscos e Desastres.

APROVADO EM: 19/01/2022.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Reiner Olíbano Rosas
Universidade Federal Fluminense-UFF

Prof. Dr. Elson Antônio do Nascimento
Universidade Federal Fluminense-UFF

Prof. Dr. Wanderson Luiz Silva
Universidade Federal Fluminense-UFF

Prof. Dr. Marcelo Lemes
Instituto Federal do Espírito Santos- IFES

Niterói -RJ
2022

EPÍGRAFE

“A sabedoria de um homem não está em não errar, chorar, se angustiar e se fragilizar, mas em usar seu sofrimento como alicerce de sua maturidade”.

Augusto Cury

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho, em especial ao meu orientador Professor Doutor Reiner Olíbano Rosas, que conduziu o trabalho com paciência, sempre disponível a compartilhar todo o seu vasto conhecimento.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

Às pessoas com quem convivi ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi mostrar a importância da manutenção preventiva e corretiva de forma regular nos túneis localizados no município do Rio de Janeiro, para assim mitigar e até mesmo evitar os riscos de desabamentos. Como justificativa, a partir dos resultados obtidos, o estudo poderá servir de subsídio para a adoção de uma rotina permanente de prevenção de riscos de desabamentos. Para o desenvolvimento do presente estudo foi realizada uma ampla revisão bibliográfica. A pesquisa feita teve um aspecto de exploratória-descritiva, tendo um caráter qualitativo. Concluiu-se que, quando há uma forte necessidade de implementação de sistemas de manutenção em obras de qualquer nível ou tipo de uso, no caso de obras públicas, sobretudo em túneis, a questão da manutenção se mostra de suma importância. Primeiramente, porque tem-se uma ampla circulação de usuários, que induz a uma deterioração natural do equipamento e, considerando que são estruturas fechadas, submetidas a intensas ações agressivas tais como infiltrações, subpressões, dentre outras ações, este sistema de prevenção passa a ser ainda mais essencial.

Palavras-Chave: Manutenção Preventiva e Corretiva; Mitigação; Rio de Janeiro; Túneis.

ABSTRACT

The aim of this study was to show the importance of regular preventive and corrective maintenance in tunnels located in the city of Rio de Janeiro, in order to mitigate and even avoid the risk of landslides. As a justification, based on the results obtained, the study may serve as a subsidy for the adoption of a permanent routine for preventing the risks of landslides. For the development of the present study, an extensive bibliographic review was carried out. The research carried out had an exploratory-descriptive aspect, having a qualitative character. It was concluded that, when there is a strong need to implement maintenance systems in works of any level or type of use, in the case of public works, especially in tunnels, the issue of maintenance is of paramount importance. First, because there is a wide circulation of users, which induces a natural deterioration of the equipment and, considering that they are closed structures, subjected to intense aggressive actions such as infiltration, underpressure, among other actions, this prevention system becomes even more essential.

Keywords: Mitigation; Preventive and Corrective Maintenance; Rio de Janeiro; Tunnels.

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

BRT - *Bus Rapid Transit*

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro

IoT - *Internet of Things*

ISO - *International Organization for Standardization*

PUC RIO - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

TPM - *Total Productive Maintenance*

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

VAB - Valor Adicionado Bruto

VLT - Veículo Leve sobre Trilhos

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1 – Mapa do uso do solo no Município do Rio de Janeiro	3
Figura 2 – Túnel Aqueduto de Eupalinos	7
Figura 3 – Cloaca Massima	8
Figura 4 – Eurotúnel.....	9
Figura 5 – Eurotúnel abaixo do nível do mar	10
Figura 6 – Ações corretivas de impermeabilização	12
Figura 7 – Membranas projetadas para impermeabilização	13
Figura 8 – Membranas projetadas para impermeabilização.....	13
Figura 9 – Problemas de infiltração	43
Figura 10 – Drenagem em túneis.....	44
Figura 11– Mapa com localização geográfica dos túneis do município do Rio de Janeiro	45
Figura 12 – Passagens subterrâneas de Botafogo.....	46
Figura 13 – Megulhão Billy Blanco com pista bloqueada até a água ser bombeada.	50
Figura 14 – Registro de fechamento dos túneis.....	43
Figura 15– Deslizamento de terra interditou o Túnel Rebouças, em outubro de 2007.	44
Figura 16–Túnel da Grotta Funda interditado, em janeiro de 2013	45
Figura 17–Ônibus atingido por vigas ainda no local do acidente, em maio de 2019.	46
Tabela 1 –Situação orçamentária para manutenção preventiva e corretiva dos túneis do município do Rio de Janeiro, 2009-2019	49
Figura 18 –Comparação da média de gastos com manutenção de túneis no Rio de Janeiro.....	50
Figura 19 – Comparação de gastos com manutenção de túneis no Rio de Janeiro..	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Justificativa	4
1.2. Objetivos.....	4
2. METODOLOGIA.....	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1. A História dos Túneis - Da Antiguidade à Atual Cidade do Rio de Janeiro	7
3.2. Principais Patologias em Túneis	11
3.3. O Município do Rio de Janeiro Interligado Por Túneis	15
3.4. O Processo de Manutenção de Túneis	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1. Histórico de Desabamento dos Túneis do Município do Rio de Janeiro	44
4.1.1. Deslizamento de Terra no Túnel Rebouças	44
4.1.2. Queda do Revestimento do Túnel da Grota Funda	45
4.1.3. Deslizamento Túnel Acústico	46
4.2. Orçamento Destinado para Manutenção Preventiva e Corretiva dos Túneis do Município do Rio de Janeiro	47
4.3. A Gestão Municipal na Manutenção Preventiva e Corretiva dos Túneis do Município do Rio de Janeiro	50
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXO I - RELAÇÃO DOS TÚNEIS DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO.....	60

1. INTRODUÇÃO

A manutenção preventiva é toda ação capaz de impedir uma porvindoura degradação de um sistema, obra ou empreendimento. Já a manutenção preditiva, trata-se de uma filosofia de manutenção em que os equipamentos são monitorados em determinados intervalos de tempo, admitindo uma avaliação da necessidade de algum tipo de intervenção. E, por fim, a manutenção corretiva propende a correção de uma falha imprevista, demandando respostas imediatas, o que pode vir a lesar o planejamento (KARDEC; NASCIF, 2009).

Assim, pode-se dizer que a indústria da Construção Civil se trata de um segmento de suma importância para a economia do Brasil. Conforme dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), para o ano de 2018, esse segmento abrangeu 6,3% do Valor Adicionado Bruto (VAB) do país, somando quase 300 bilhões de reais de resultado (CBIC, 2019).

Todavia, em contraponto a esse valor investido na realização de novos empreendimentos, conforme dados da *AEC Web*, de 2019, estima-se que 65% desta soma seja aplicada no ramo da manutenção. Portanto, 14,3 bilhões de reais são propostos para a manutenção de empreendimentos (AEC WEB, 2019).

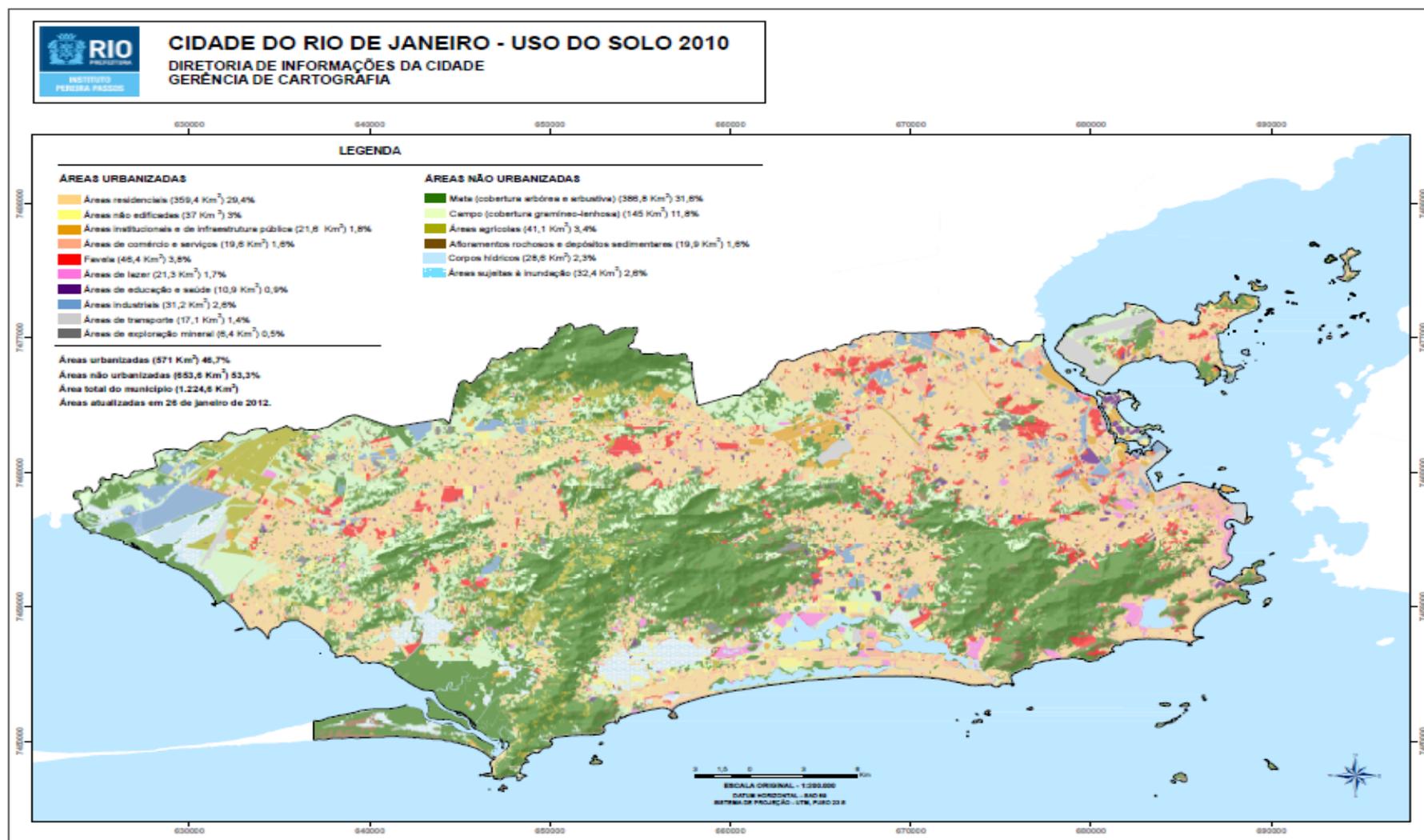
Neste contexto, observa-se que a cidade do Rio de Janeiro possui basicamente dois domínios topográficos relevantes: o relevo montanhoso da Pedra Branca, da Tijuca e Gericinó, e as zonas de baixadas de Santa Cruz, Jacarepaguá e Fluminense. Este cenário natural mostrou-se um obstáculo a ser vencido durante o processo de expansão urbana da cidade do Rio de Janeiro, como mostra a Figura 1 (DURAZZO, 2006).

Sendo assim, tem-se a necessidade de construção de túneis, que ligariam diversos pontos do município, incorporando áreas periféricas que estavam isoladas. Hoje, a cidade do Rio de Janeiro possui trinta e um túneis para a sua conexão, sendo o mais antigo construído em 1887, o túnel da rua Alice (ROCHA; KENZO, 2006).

Não obstante, ocorre que todas essas grandes construções necessitam de manutenção preventiva e corretiva constante por parte do órgão municipal, a fim de se manterem seguras para seus usuários. O deslizamento de terra que atingiu as galerias do Túnel Acústico (Rafael Mascarenhas) em 2019, causando o desabamento de uma estrutura de concreto do teto do túnel, chamou atenção para falta e

precariedade da gestão municipal na conservação dos túneis.

Figura 1 - Mapa do uso do solo no Município do Rio Janeiro



Fonte: SOS GIS BR (2012)

1.1. Justificativa

Observa-se que, no Brasil, ainda não há um pleno conhecimento técnico-científico sistemático e mais amplo acerca da avaliação das condições de estabilidade estrutural de túneis, notadamente os mais antigos. De maneira comum, tal avaliação, quando se faz imprescindível, é realizada conforme as características de cada caso que se exhibe e, igualmente, de acordo com as experiências e conhecimentos dos engenheiros especializados em projetos e execução de tais estruturas.

Frente a isto, no momento em que se for fazer manutenções apropriadas e recorrentes que fazem parte de um procedimento de gerenciamento mais extenso, admite-se a garantia de maior vida útil e de suficientes comportamentos estruturais e funcionais, reconhecendo, por meio de vistorias recorrentes, os danos existentes, diagnosticando-os e recomendando as ações para patologias.

Sendo assim, a partir dos resultados obtidos, o estudo poderá servir de subsídio para a adoção de uma rotina permanente de abertura de processos licitatórios que tenham por objeto a manutenção preventiva e corretiva de todos os túneis do município do Rio de Janeiro, com a consequente manutenção regular para prevenir o risco de deslizamentos.

1.2. Objetivos

O presente estudo teve por objetivo mostrar a importância da manutenção preventiva e corretiva de forma regular nos túneis localizados no município do Rio de Janeiro, para assim mitigar e até mesmo evitar os riscos de desabamentos. Como objetivos específicos, buscou-se analisar o real estado de conservação dos túneis na área geográfica da cidade do Rio de Janeiro, relacionando com o orçamento disponibilizado para a Secretaria de Infraestrutura e Habitação do município e com a abertura de processo licitatório pelo município para a manutenção preventiva e corretiva dos túneis nos últimos dez anos.

A pesquisa para o tema proposto foi desenvolvida identificando previamente todos os túneis construídos no município do Rio de Janeiro, o ano de construção, o histórico de obras para manutenção preventiva e corretiva, bem como o histórico de desabamentos de cada túnel.

Em um segundo momento, foram apurados nos últimos dez anos, na cidade do Rio de Janeiro, o orçamento destinado pela prefeitura para a manutenção preventiva e corretiva dos túneis, e a abertura de processo licitatório e seus respectivos contratos, visando assim a manutenção preventiva e corretiva dos túneis. Por fim, todas as informações obtidas foram reunidas para relacionar o estado da gestão municipal na manutenção preventiva e corretiva dos túneis do município do Rio de Janeiro ao risco de desabamento.

O presente estudo se encontra estruturado da seguinte maneira: inicialmente, tem-se a parte de Introdução, apresentando a justificativa do estudo, objetivos e metodologia. Em seguida, tem-se a revisão bibliográfica, apresentando os principais conceitos referentes ao tema. Posteriormente, são apresentados os resultados do estudo, acompanhados de discussão dos autores. E por fim, tem-se a parte de conclusões do estudo.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente estudo foi realizada uma vasta revisão bibliográfica. Tal método foi aplicado por meio de obtenção e análise de artigos científicos, dissertações, teses e publicações. Todo o material foi obtido por meio de *sites* de busca eletrônica e bibliotecas virtuais, tais como *Google Acadêmico* e *Scientific Electronic Library Online* (SciELO). Como critérios de seleção, optou-se por selecionar apenas obras publicadas entre os anos de 2001-2021.

Posteriormente a etapa de levantamento bibliográfico, foi então feita uma triagem e seleção do material que aborda em característico a temática estudada. Os descritores utilizados na busca eletrônica foram os seguintes: Manutenção Preventiva e Corretiva; Rio de Janeiro; Túneis. Inicialmente, foram obtidos 147 resultados na busca eletrônica, sendo ao fim aproveitados 20 trabalhos.

A pesquisa feita teve um aspecto de exploratória-descritiva, tendo um caráter qualitativo. De acordo com Gil (2007), a análise qualitativa de dados, trata-se de um fenômeno recentemente retomado, que se caracteriza por ser um processo indutivo que tem como foco a fidelidade ao universo de vida cotidiano dos sujeitos, estando baseada nos mesmos pressupostos da chamada pesquisa qualitativa.

A abordagem aproveitada na presente pesquisa foi a qualitativa, a qual teve-se a coleta de informações pertinentes para em seguida serem expostas e avaliadas, além da observação de documentos, tendo-se a preocupação de colher uma maior quantidade de elementos, visando assim um entendimento maior e mais profundo da problemática estudada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

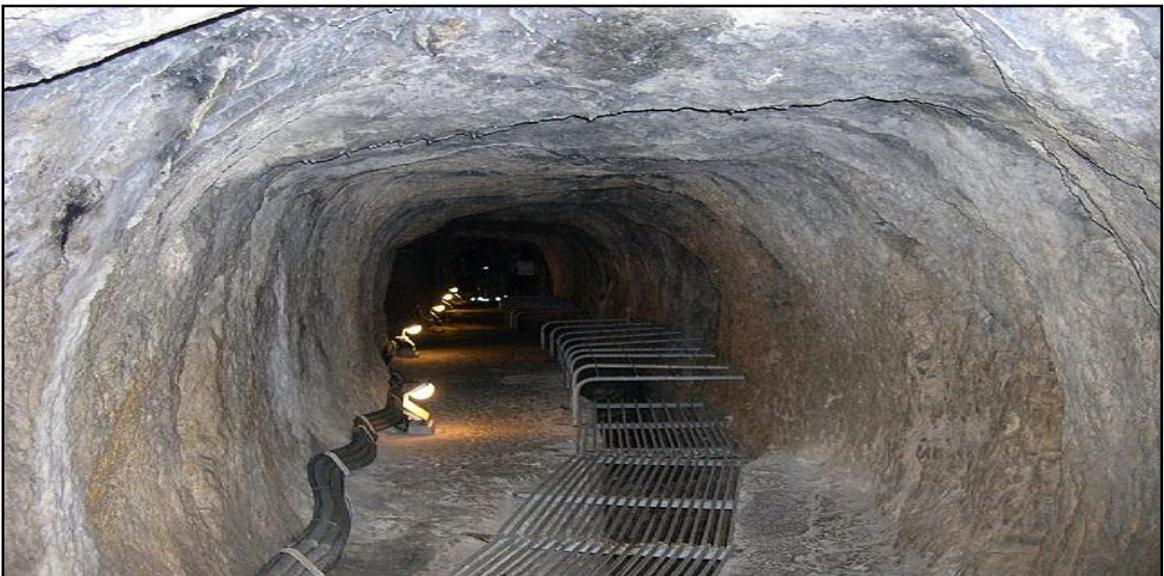
3.1. A História dos Túneis - Da Antiguidade à Atual Cidade do Rio de Janeiro

A primeira ideia de túnel surgida na história data do século VI a.C, quando o sistema de abastecimento de água da cidade de *Samos* foi construído pelos gregos: o Aqueduto de *Eupalinos*, um túnel com cerca de 1000 metros de comprimento (GERALDI, 2011).

Outro exemplo histórico desse modelo de construção, é a *Cloaca Massima*, um monumental esgoto urbano construído pelo último rei de Roma, *Tarquinius, o Soberbo* (535-496 a.C.). A *Cloaca Massima*, provavelmente, é o mais famoso túnel desse período de Roma Antiga; as suas dimensões eram surpreendentes para o período (algumas seções chegavam a apresentar aproximadamente 3,2m de largura por 4,2m de altura) (GOMES, 2009).

Os vestígios atestam que os romanos construíram a mais extensa rede de túneis da Antiguidade, como pode ser visto na Figura 2 e 3. Não é difícil perceber que a circulação de veículos e navios não era o objetivo principal desses túneis, mas sim, o transporte de água. Além disso, naquele momento, não se tratava apenas de abastecer com água a cidade, mas, também de escoar os efluentes residuais para fora dela (GERALDI, 2011).

Figura 2 - Túnel Aqueduto de Eupalinos



Fonte: AH Aventuras na História (2015)

Figura 3 - Cloaca Massima



Fonte: Archdaily (2014)

Tempos mais tarde, o forte estímulo à construção de túneis, ao contrário dos tempos antigos, deveu-se principalmente à proliferação dos canais de navegação, tendo ocorrido durante a maior parte do século XVII, especialmente na França e na Inglaterra. Um segundo impulso muito importante ocorreu no século XIX, devido ao grande desenvolvimento das ferrovias nos países europeus e norte-americanos, com utilização de túneis em alguns trechos (FOÁ; ASSIS, 2002).

Portanto, essa mudança, verificada nos projetos de tunelamento, obviamente implicou em mudanças na filosofia seguida. Neste momento, a segurança tornou-se um dos maiores desafios para a engenharia de túneis. Deste modo, durante esse período, a instalação de suporte e os métodos de escavação foram os alvos prioritários para o rápido desenvolvimento na construção de túneis.

Os túneis mais antigos surgiram ainda durante o período colonial brasileiro. Foram construídos com o intuito de escoar produtos das fazendas de agricultura e criação de gado. Com o aumento do volume da produção de mercadorias e a necessidade de transportá-las com rapidez para os mercados consumidores, empresários ingleses apoiaram George Stephenson (1781-1848), que foi o primeiro que obteve resultados concretos na construção de locomotivas, dando início à era das ferrovias (FREITAS, 2011).

Até o final do século XIX, a principal mão de obra para construção dos túneis era escrava, sendo posteriormente substituída em parte pela dos imigrantes assalariados. Nesse período, as obras eram dirigidas pela Companhia Estrada de

Ferro D. Pedro II, que teve origem no Decreto nº 16, Art. 641, de 26 de junho de 1852, que outorga a concessão a uma ou mais empresas da construção de uma ferrovia, que saía da cidade da Corte e terminava nos estados de Minas Gerais e São Paulo (GERALDI, 2011).

A construção das ferrovias estava relacionada ao processo de modernização do Império: a partir da segunda metade do século XIX, a economia teve desenvolvimento acelerado e os investimentos necessários em infraestrutura e urbanização foram feitos no Brasil (FREITAS, 2011).

Na atualidade, foi construído o Eurotúnel, um túnel ferroviário de 50,46 quilômetros que conecta Folkestone, na Inglaterra, com Coquelles, na França, abaixo do Canal da Mancha, no estreito de Dover. É a única ligação fixa entre a ilha da Grã-Bretanha e o continente europeu, como mostra a Figura 4 (DOMINGUES, 2016).

Figura 4 - Eurotúnel



Fonte: Archdaily (2014)

Em seu ponto mais baixo, está a 75 metros de profundidade abaixo do leito do mar e 115 metros abaixo do nível do mar, como mostra a Figura 5. Com 37,9 quilômetros, o túnel tem a seção subaquática mais longa de qualquer túnel do Mundo e é o terceiro túnel ferroviário mais longo do Mundo (DOMINGUES, 2016).

Figura 5 - Eurotúnel abaixo do nível do mar



Fonte: Archdaily (2014)

Nos dias de hoje, ideias mais modernas e atualizadas geraram uma demanda geral por estruturas subterrâneas. Facilitar o deslocamento da população urbana e reduzir os impactos ao meio ambiente foram dois fatores que nortearam o conceito contemporâneo de infraestrutura subterrânea. Pode-se até dizer que se tratava de uma abordagem ambientalista – aplicada à construção de túneis – e o objetivo principal era otimizar procedimentos (DOMINGUES, 2016).

Com isto, trazendo esse cenário de surgimento dos túneis para o Brasil, mais especificamente para a cidade do Rio de Janeiro, observa-se que eles estão espalhados por toda a área urbana e contam a história da ocupação dessa região. Segundo Gomes (2009, p. 33), “por ser dotada de imponentes montanhas, houve a necessidade de ‘driblar’ essas formações – através de túneis – para que a cidade pudesse se expandir”.

Hoje, observa-se que a visão científica abandonou o lema "lutar com a natureza". Ao contrário, a busca pela harmonização, a proteção de nascentes e encostas, o reflorestamento e o conceito de desenvolvimento sustentável, são prioridades atualmente.

No entanto, não se pode negar que a expansão que a cidade do Rio de Janeiro viveu só foi possível nas áreas conquistadas, com a demolição de morros, melhoria da qualidade dos aterros e frequente tratamento prévio de esgotos. Esse esforço levou à construção de um ícone urbano *sui generis*, que combina a espontaneidade natural com as características de uma metrópole. Dada a natureza acelerada da construção de túneis de hoje, é inevitável que todas as partes interessadas tenham que colocar um foco maior na segurança e na qualidade.

3.2. Principais Patologias em Túneis

À medida que os orçamentos e as restrições de tempo se firmam, os gerentes de projeto são forçados a programar todos, desde barreiras rodoviárias, impermeabilizantes de túneis e concretos no mesmo pequeno espaço ao mesmo tempo. Para aqueles que estão impermeabilizando o túnel com produtos de membrana, esta situação pode causar alguns problemas de segurança e qualidade que devem ser levados em consideração.

- Condições Empoeiradas

Com caminhões retirando pedras e resíduos do túnel em todas as horas do dia, a membrana de impermeabilização, para conter estruturantes (membranas asfálticas, acrílicas, poliuretânicas, poliuréticas etc.), pode se tornar uma tarefa difícil, como mostra a Figura 6, por causa das partículas transportadas pelo ar, como pó de sílica e particulados de diesel. Na verdade, os trabalhadores podem ter que usar aparelhos de respiração durante a instalação da membrana, quando antes não era necessário.

Figura 6 - Ações corretivas de impermeabilização



Fonte: Freitas (2011)

Dependendo do comprimento do túnel e da localização, o problema da qualidade do ar pode ser melhor ou pior. Isso significa que a equipe de gerenciamento do projeto precisará garantir que o equipamento esteja disponível para proteger os trabalhadores em todos os casos. Este equipamento de segurança sempre reduzirá a mobilidade do trabalhador e aumentará a fadiga, o que por si só apresenta desafios adicionais.

- Entrega de Membrana

Na mesma linha do ponto anterior, os caminhões de escavação removendo rochas e entulhos do túnel também podem causar problemas logísticos para os impermeabilizantes. Já existem muitos equipamentos, ferramentas e veículos em qualquer situação de túnel sem perspectiva de entrega de membrana, como mostra a Figura 7. Como tal, um senso de coordenação deve ser criado para garantir que os produtos sejam entregues no prazo

Figura 7 - Membranas projetadas para impermeabilização



Fonte: Freitas (2011)

- Danos na Membrana

Como os revestimentos dos túneis são soldados para formar a membrana impermeável, é difícil proteger por algum tempo antes que a infraestrutura ao redor seja concluída. Isso significa que, muitas vezes, está à mercê de caminhões ocupados e outros veículos ao redor do túnel. A Figura 8 mostra uma membrana com impermeabilização

Figura 8 - Membranas projetadas para impermeabilização



Fonte: Freitas (2011)

Se uma peça do equipamento em movimento atingir a membrana, poderá causar sérios danos à cobertura e precisará ser consertada. O custo e o tempo gasto para concluir esse reparo são um problema; no entanto, mais preocupante, é a situação em que o dano não é identificado e pode causar vazamento a longo prazo.

- Infiltração

A infiltração, como mostra a Figura 9, trata-se de um problema que afeta equipamentos como sistema de ventilação, sinalização e máquinas de chave, por exemplo. A infiltração transcorre do aparecimento de fissuras e trincas, todavia, o sistema impermeabilizante para solucionar infiltração em túneis trata-se de um projeto que somente irá impedir a passagem de umidade e demais gases e químicos por meio delas.

Figura 9 - Problemas de infiltração



Fonte: Freitas (2011)

- Drenagem

O gotejamento dentro de túneis trata-se do principal indicativo de mau funcionamento do sistema de drenos de água. O sistema de drenagem em túneis,

como mostra a Figura 10, demanda maior atenção consecutiva para impedir que a água infiltrada pelo maciço alcance as pistas de rolamento. Entupimentos geram pressão interna no sistema de drenagem que procedem em surgimento de pontos de infiltração pelas laterais dos drenos e percolação de água para demais aberturas.

Figura 10 - Drenagem em túneis



Fonte: Freitas (2011)

3.3. O Município do Rio de Janeiro Interligado Por Túneis

A construção de um túnel pode ser uma solução para um problema específico, pois, em função de sua complexidade, normalmente é adotado como última alternativa. Trata-se de uma alternativa que encontra inúmeros obstáculos a serem ultrapassados no seu processo de construção, seja um oceano, uma rocha, uma montanha, e até mesmo uma rota de transporte complexa. Mesmo diante desse cenário complexo para a construção de um túnel, o município do Rio de Janeiro tem 31 túneis, isto devido à sua topografia peculiar; eles estão espalhados por toda a cidade, como mostra a Figura 6 (DURAZZO, 2006).

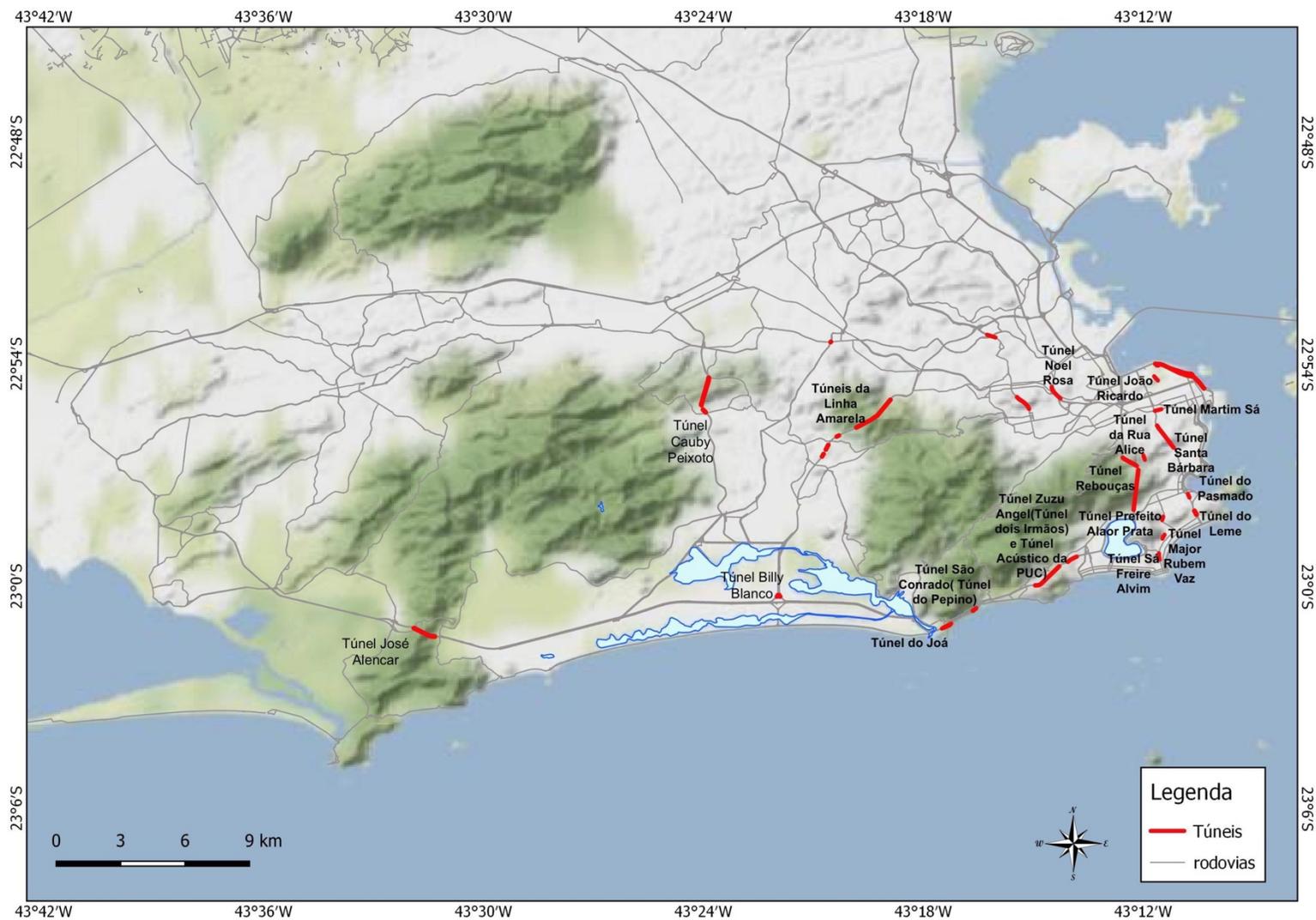
O cenário natural paradisíaco do município mostrou-se um obstáculo a ser vencido durante o processo de expansão urbana da cidade do Rio de Janeiro. Nessa “quase luta contra a natureza”, no processo de dispersão e ocupação humana da

cidade, surgiu a necessidade de construção dos túneis, que ligariam diversos pontos do município, melhorando o fluxo do trânsito e fazendo a incorporação de áreas periféricas que estavam isoladas (CELESTINO, 2006).

O túnel mais antigo foi inaugurado em 1887: o Túnel da Rua Alice, também chamado de Túnel Rio Comprido-Laranjeiras. Os mais modernos foram inaugurados em 2016. Um deles, passando pelo Complexo do Joá (Túneis de São Conrado, Joá, Engenheiro Luís Jacques de Moraes e Paulo César Figueiredo), Porto Maravilha e TransOlimpica, e, por último, o Túnel da Marítima, que liga a região da Estação Ferroviária da Central do Brasil ao Cais do Porto, perfurado no Morro da Providência, recém ativado no ano de 2017 (MOREIRA, 2006).

Sendo assim, reitera-se que a principal função de um túnel é tornar viável a passagem de fluxo, permitindo o rápido deslocamento e facilitando a evolução do trânsito, de uma forma geral. A seguir, serão apresentados os trinta e um túneis em ordem cronológica de construção (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2021).

Figura 11 - Mapa com localização geográfica dos túneis do município do Rio de Janeiro



Fonte: Crespo e Rovere (2002)

- TÚNEL DA RUA ALICE - 1887

O Túnel da Rua Alice, também chamado de Túnel Rio Comprido-Laranjeiras, o mais antigo da cidade do Rio de Janeiro, ligando os bairros do Rio Comprido (Rua Barão de Petrópolis) a Laranjeiras (Rua Alice), teve sua inauguração em 1887. Naquela época, era o meio mais rápido para transitar entre a zona Norte e a zona Sul, sem passar pelo centro da cidade. Isso mudou a partir da inauguração dos Túneis Santa Bárbara e Rebouças, que tornam ainda mais rápido o fluxo do trânsito. Em 1952, houve a conclusão de dois processos de manutenção do túnel da Rua Alice, que foram a ampliação de sua galeria e uma reforma para assim minimizar e sanar os desgastes impostos pelo sol, chuva, infiltrações, e o grande fluxo de carros (CARVALHO, 2006).

- TÚNEL ALAOR PRATA - 1892

Quando de sua inauguração em 1892, o túnel era chamado de Real Grandeza. Nos dias atuais, passou a ser mais conhecido popularmente como Túnel Velho. O seu atual nome (Alaor Prata) presta homenagem ao prefeito da cidade, que exerceu sua gestão de 1922 a 1926. A obra de construção do túnel durou em torno de oito meses, e o processo de perfuração foi efetivado pelo engenheiro José Cupertino Cintra (DOMINGUES, 2016).

O Túnel Alaor Prata faz ligação com as ruas Siqueira Campos e Real Grandeza, tendo suas respectivas localizações em Copacabana e Botafogo. O túnel fica nas proximidades do cemitério de São João Batista. Entre os anos de 1924 e 1925, o túnel foi reformado, ainda na administração do homenageado prefeito Alaor Prata, tendo posteriormente um processo de duplicação em desnível, que ocorreu entre 1967 e 1970 (MELO, 2016).

- TÚNEL JOÃO RICARDO - 1921

O Túnel João Ricardo fica localizado no bairro da Gamboa, fazendo ligação da Rua Bento Ribeiro à Rua Rivadávea Correia. Sua abertura tinha como foco principal solucionar problemas entre a zona Portuária e a Estrada de Ferro Central do Brasil.

Na época, durante o seu processo de construção, ocorreram alguns acidentes de trabalho, como um operário soterrado, mortes por vários motivos e ferimentos graves (MOTA, 2009).

Atualmente, com duas faixas de tráfego de 293 metros de extensão, ninguém poderia dizer que anos atrás o local era um famoso cortiço, chamado de "Cabeça de Porco". Sua demolição ocorreu em 26 de janeiro de 1893, para dar passagem ao Túnel João Ricardo (ROCHA, 2014).

- TÚNEL ENGENHEIRO MARQUES PORTO - 1949

Na realidade são dois túneis, ambos sob o morro da Babilônia, entre os bairros Botafogo e Copacabana, entretanto, suas galerias foram executadas em períodos distintos. O túnel Engenheiro Coelho Cintra, conhecido como Túnel do Leme e como Túnel Novo, teve suas obras iniciadas em 1904. A inauguração ocorre em março de 1906. E, por fim, o Túnel Engenheiro Marques Porto, cuja construção foi iniciada em 1946 e inaugurada em 1949 (MELO, 2016).

- TÚNEL DO PASMADO - 1953

Oficialmente é chamado de Túnel Engenheiro André dos Santos Dias Filho, que foi um dos executores da obra naquela época. O Túnel do Pasmado fica localizado entre as Avenidas das Nações Unidas e Lauro Sodré, tendo 224 metros de extensão (MOTA, 2009).

As obras do Túnel do Pasmado foram iniciadas em 1947, com foco naquela época no encurtamento da distância entre Centro e zona Sul, buscando a fluidez do trânsito. Infelizmente, ao longo dos tempos, o entusiasmo na busca de melhoria no tráfego por meio de túneis se perdeu pela falta de manutenção dos túneis em condições adequadas pela prefeitura do município (DURAZZO, 2006).

- TÚNEL SÁ FREIRE - 1960

O nome deste túnel é uma homenagem a José Joaquim de Sá Freire Alvim, que foi o último prefeito do Distrito Federal no Rio de Janeiro. O túnel teve seu projeto

aprovado em 1953, que teria como propósito fazer a ligação da Rua Barata Ribeiro à Rua Raul Pompéia, passando pelo morro do Cantagalo (MOTA, 2009).

Foi inaugurado em 31 janeiro de 1960. O túnel conta com uma galeria de 326 metros de comprimento por dezoito de largura. Esse túnel é outro que sofre com o descaso da prefeitura do Rio de Janeiro, onde a iluminação apresenta problemas, vários trechos do teto estão sem revestimentos, e – para completar – a escuridão do túnel atrai usuários de drogas e assaltantes (CARVALHO, 2006).

- TÚNEL MAJOR RUBENS VAZ - 1963

O Túnel Major Rubens Vaz teve sua inauguração em 1962, mas, de fato, foi entregue ao tráfego de carros somente em 21 de abril de 1963. Contando com uma galeria de 224 metros de comprimento, oferece quatro faixas para o tráfego dos veículos (MOTA, 2009).

Com o pleno fluxo de carros no túnel, o bairro de Copacabana ganhou mais uma via contínua, facilitando o acesso pelo Corte do Cantagalo aos bairros nas proximidades. Todavia, vale salientar que a construção do Túnel Major Rubens Vaz ocorreu em apenas dez meses, vislumbrando, por todos os envolvidos na obra, melhorias no trânsito, com menos engarrafamento e deslocamentos mais eficazes (CELESTINO, 2006).

- TÚNEL SANTA BÁRBARA - 1964

O Túnel Santa Bárbara, quando de sua inauguração em 1964, ganhou um grande destaque, por ser o primeiro túnel, no Brasil, a contar com sistema de ventilação e exaustão, aparelhagem de radar, contagem de veículos, sinalização luminosa, bem como circuito fechado de televisão, para monitoramento de enguiços e acidentes. E, com isso, passou a ser considerado o mais moderno da América Latina (CARVALHO, 2006).

Com todas essas tecnologias empregadas no túnel, criou-se um marco de referência na evolução tecnológica e técnica, e, conseqüentemente, se definiram padrões a serem empregados na construção de novos túneis. Mas, rapidamente, o grande fluxo de veículos tornaria a qualidade do ar dentro do túnel intolerável (MOTA,

2009).

- TÚNEL REBOUÇAS - 1967

O Túnel Rebouças foi o segundo grande túnel construído na cidade do Rio de Janeiro, tendo sido inaugurado em 3 de outubro de 1967. Tem 2800 metros de comprimento, em duas galerias paralelas, que são monitoradas por câmeras e um moderno sistema de controle de poluição, que mantêm o ar em condições aceitáveis (DURAZZO, 2006).

O túnel conta com sistema de manutenção e limpeza, realizado de forma periódica, entretanto, toda atenção prestada ao túnel não foi suficiente para evitar um deslizamento de terra ocorrido em outubro de 2007, devido às fortes chuvas na cidade. Com isso, a entrada do túnel, no sentido Laranjeiras-Lagoa, foi fechada, causando um enorme congestionamento no trânsito do município do Rio de Janeiro (MOTA, 2009).

- TÚNEL ACÚSTICO RAFAEL MASCARENHAS - 1971

O túnel Acústico é atualmente chamado de “Túnel Acústico Rafael Mascarenhas”, em homenagem ao filho da atriz Cissa Guimarães, atropelado quando andava de *skate* dentro de uma das galerias do túnel no momento em que se encontrava fechado para manutenção e limpeza (DOMINGUES, 2016).

Também é chamado de “Acústico” porque não houve escavação: o túnel foi coberto com uma redoma de concreto, para evitar a poluição sonora das escavações. Hoje, o Túnel Acústico Rafael Mascarenhas tem 550 metros de extensão, que fazem integração com a Autoestrada Lagoa-Barra. Uma de suas entradas localiza-se sob a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RIO) (ROCHA, 2014).

- TÚNEL ZUZU ANGEL - 1971

O Túnel Dois Irmãos recebeu seu atual nome em homenagem à estilista mineira Zuzu Angel, que foi encontrada morta na saída do túnel, o que na época foi classificado como um acidente automobilístico. O túnel foi inaugurado em junho de 1971, contando com 1590 metros de extensão, ligando o bairro da Gávea a São

Conrado, na zona Sul do Rio de Janeiro (DOMINGUES, 2016).

O túnel comporta um tráfego de 130 mil veículos por dia, em suas duas galerias, sendo todo o seu fluxo monitorado por um sistema de câmeras e um sistema de controle de poluição. Atualmente, o túnel passa por manutenções de forma periódica (CELESTINO, 2006).

- TÚNEL DE SÃO CONRADO - 1971

O túnel também é conhecido como Túnel do Pepino, contando com mais de 200 metros de extensão. Está localizado no maciço da Pedra da Gávea. O túnel faz ligação da Praia de São Conrado ao Elevado das Bandeirantes. É sabido que, em 2016, durante os preparativos para o evento das Olimpíadas no Rio de Janeiro, o túnel passou por uma grande reforma para modernização e revitalização, tendo sido projetado para comportar duas faixas de rolamento (PIERRI, 2018).

- TÚNEL DO JOÁ - 1971

Seu processo de construção foi projetado e construído com seção transversal em dois andares. Esse aparato foi escolhido por imposições geológicas. O processo de construção iniciou-se em junho de 1967, tendo sua abertura oficial ocorrida em 14 de março de 1971. Atualmente, o túnel sofre com falta de manutenção. Em 27 de dezembro de 2020, uma placa caiu da lateral do túnel, deixando um faixa da via ocupada por cerca de 40 minutos (MENEGUZ, 2021).

A manutenção do túnel foi realizada tendo em vista os Jogos Olímpicos de 2016, mas, não foi feita antes a manutenção preventiva e corretiva, com isso, gerando depreciação do túnel. Essas situações recorrentes indicam a necessidade de um planejamento constante da manutenção dos túneis pela prefeitura do município do Rio de Janeiro (NORONHA *et al.*, 2013).

- TÚNEL MARTIM DE SÁ - 1977

O Túnel Martim de Sá, mais conhecido popularmente como Túnel Frei Caneca, liga os bairros do Catumbi (Rua Frei Caneca) e de Fátima (Rua do Riachuelo e

Avenida Valadares). As obras do túnel foram inauguradas em 16 de março de 1977, tendo sua escavação de 394 metros de extensão sido feita 100% em solo (CELESTINO, 2006).

No processo de licitação para a construção do túnel, foi estipulado que a obra deveria durar 360 dias. No entanto, foram necessários mais de sete anos para a conclusão da obra, iniciada em dezembro de 1969 e concluída em março de 1977. Vale salientar que – para construção do túnel – foram desapropriadas mais de vinte e cinco edificações, que consecutivamente foram demolidas (MOTA, 2009).

- TÚNEL NOEL ROSA - 1978

O Túnel Noel Rosa fica localizado nos bairros de Vila Isabel e Riachuelo. Começou a ser projetado em meados de 1972, sendo inaugurado em 1978. Foi o primeiro túnel a servir unicamente a zona Norte. O túnel conta com uma passagem de 1.187 metros de extensão, com duas galerias sobrepostas de nove metros de largura. Na época, o túnel foi construído com o intuito de fazer uma nova ligação entre as áreas de influência da Tijuca e Meier (CARVALHO, 2006).

- PASSAGEM SUBTERRÂNEA DE BOTAFOGO - 1990

No bairro de Botafogo, na zona Sul do Rio de Janeiro, foi construída em 1990 uma passagem subterrânea para ligar um extremo a outro da Avenida Lauro Sodré, como mostra a Figura 7. É o único meio para atravessar a grande avenida, onde estão instaladas grades para impedir a travessia de pedestres em nível. O *Shopping Rio Sul* foi responsável pela construção da estrutura, e, em 2011, firmou parceria com a prefeitura para recuperação e manutenção do local por um período de vinte e quatro meses (NORONHA *et al.*, 2013).

Figura 12 - Passagens subterrâneas de Botafogo



Fonte: Diário do Rio (2017)

- **TÚNEL ENGENHEIRO RAIMUNDO DE PAULA SOARES - 1997**

O Túnel da Covanca, como é conhecido de forma popular, é um dos túneis que fica localizado na Linha Amarela – uma via expressa que liga a Baixada de Jacarepaguá à Ilha do Fundão, também chamada Avenida Carlos Lacerda. Foi inaugurado em 1977, tendo duas galerias com a extensão de 2197 metros, sendo um dos maiores túneis urbanos do Mundo (DURAZZO, 2006).

Tem também um dos sistemas mais modernos de controle de poluição. Instalase no túnel um Amostrador de Grande Volume, equipamento que determina a concentração de partículas totais em suspensão na atmosfera. Esse material particulado fica aderido a um filtro inserido no coletor do equipamento, sendo periodicamente analisado (MELO, 2016).

- **TÚNEL ENGENHEIRO ENALDO CRAVO PEIXOTO - 1997**

O referido túnel foi inaugurado no ano de 1977, sendo constituído por duas

galerias com a extensão de 153 metros na Linha Amarela, que faz ligação da Ilha do Fundão a Jacarepaguá. Sua construção foi nos moldes de tecnologia sueca, pela qual se usa uma tuneladora conhecida no Brasil como “tatuzão”, que são máquinas utilizadas na escavação de túneis com secção transversal circular, capazes de escavar sete metros por dia (CARVALHO, 2006).

- TÚNEL GEÓLOGO ENZO TOTIS - 1997

Era conhecido, até o ano de 1995, como Túnel da Pedreira, tendo sido rebatizado posteriormente em homenagem ao ex-aluno e professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O túnel Geólogo Enzo Totis foi inaugurado em 1977, tendo duas galerias, com a extensão de 161 metros. Está localizado no bairro de Jacarepaguá (MELO, 2016).

- TÚNEL JOSÉ ALENCAR - 2012

O Túnel da Grotta Funda, como é conhecido popularmente, faz ligação dos bairros do Recreio dos Bandeirantes e de Vargem Grande à baixada de Guaratiba. Sua extensão é de 1.100 metros, tendo três pistas de rolamento divididas. O túnel possui rigorosos controles de prevenção contra incêndios (NORONHA *et al.*, 2013).

Um fato relevante a ser citado, é que foi um dos primeiros túneis do Brasil a atenderem a Norma de Proteção Contra Incêndios em Túneis da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) - NBR:15661, de 2012. O Túnel José Alencar tem duas galerias, e sua perfuração durou oito meses, sendo consumidas 380 toneladas de dinamite (MELO, 2016).

- MERGULHÃO CLARA NUNES - 2012

O Mergulhão Clara Nunes fica localizado em Campinho, bairro da zona Norte do município do Rio de Janeiro. Foi construído em apenas quatorze meses, tendo 400 metros de extensão, chegando a 40 metros de largura, na parte maior. É uma passagem subterrânea que faz divisa com o bairro de Madureira (NORONHA *et al.*, 2013).

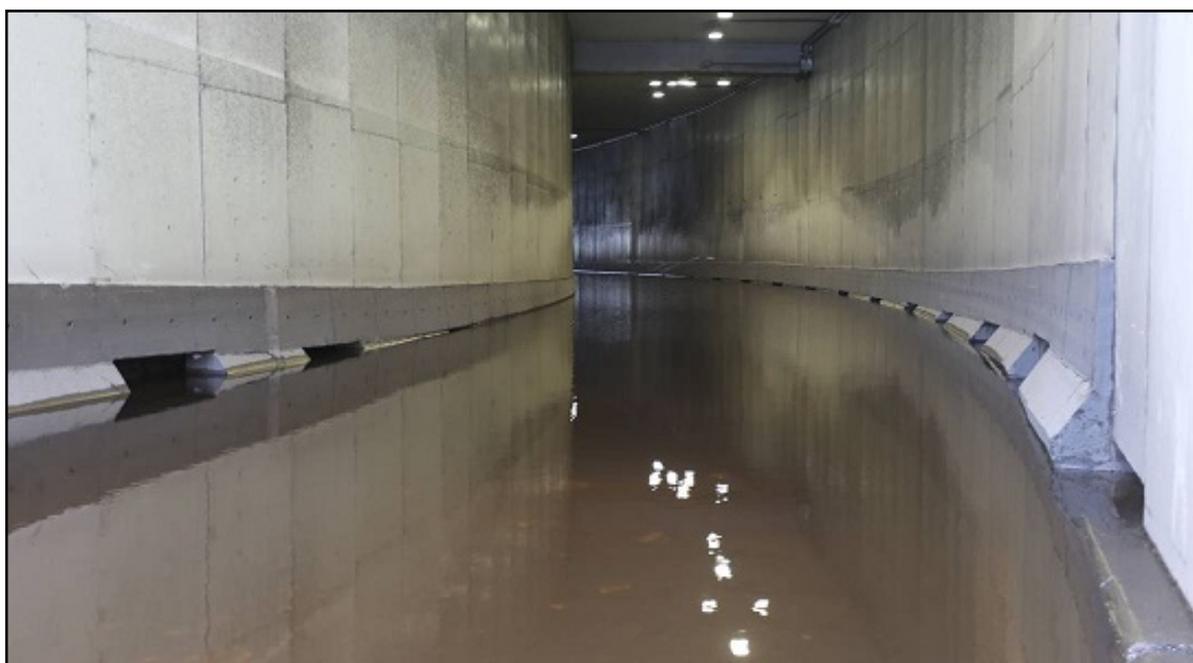
Vale destacar que, antes da construção do mergulhão, o local era um cruzamento com quatro vias. No processo de construção do mergulhão, foi necessário desviar o trânsito da região, causando um grande transtorno ao tráfego. Atualmente, o mergulhão é mais um que sofre impacto da falta de manutenção corretiva e preventiva por parte das autoridades competentes (MELO, 2016).

- **MERGULHÃO BILLY BLANCO - 2012**

O Mergulhão Billy Blanco fica localizado na Barra da Tijuca, e foi criado com o intuito de desafogar o trânsito na Barra. Entretanto, o mergulhão sofre com a falta de manutenção, o que vem causando inúmeros transtornos ao tráfego. Muitas placas de proteção, conhecidas como *Drywalls*, são encontradas danificadas, por batidas de automóveis (ROCHA, 2014).

O túnel tem acumulado inúmeros problemas desde sua inauguração, fazendo com que os motoristas evitem trafegar pelo túnel em dias de chuva. Conforme a Figura 8, o mergulhão em dias de fortes chuvas fica fechado, devido ao volume acumulado de água em seu interior, impedindo o tráfego de carros (MELO, 2016).

Figura 13 - Mergulhão Billy Blanco com pista bloqueada até a água ser bombeada



Fonte: O Globo (2019)

- TÚNEL DA SAÚDE - 2013

O Túnel da Saúde fica localizado no bairro da Gamboa, região central do município do Rio de Janeiro. O processo de construção teve início em 21 de setembro de 2011 e foi inaugurado em 02 de novembro de 2013, para o tráfego de veículos. Tem 80 metros de extensão, com três galerias (DOMINGUES, 2016).

Entretanto, duas dessas galerias são utilizadas para o trânsito de veículos automotores e uma galeria é destinada apenas para composição do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT). O túnel é chamado oficialmente de Nina Rabha, em homenagem à arquiteta defensora da revitalização da zona portuária do Rio de Janeiro, que atuou como administradora regional da primeira região administrativa (MELO, 2016).

- TÚNEL RIO450 - 2015

O primeiro da cidade construído abaixo do nível do mar, foi inaugurado em 1º de março de 2015, contando com a extensão de 1480 metros, tendo uma galeria e três pistas de rolamento. O Túnel Rio450 faz integração com a Via Binário do Porto, e com isso, permite o acesso aos bairros do Centro e da Saúde (DOMINGUES, 2016).

- TÚNEL ENGENHEIRO PAULO CÉZAR MARCELLINO FIGUEIREDO - 2016

O túnel faz parte do complexo de túneis do Elevado do Joá, tendo 405 metros de extensão. Esse foi mais um túnel construído nos preparativos da cidade para os Jogos Olímpicos de 2016, como forma de facilitar o fluxo dos veículos. O referido túnel recebeu esse nome em homenagem ao engenheiro civil que exerceu suas atividades no serviço público em diversos cargos na Secretaria Municipal de Obras, chegando a Diretor de Administração e Finanças da Rio-Águas (MENEGUZ, 2021).

- TÚNEL ENGENHEIRO LUIZ JACQUES DE MORAES - 2016

O Túnel Engenheiro Luiz Jacques de Moraes é outro túnel que faz parte do projeto do Elevado do Joá. O túnel recebeu esse nome em homenagem ao engenheiro que dedicou anos de vida à engenharia dos túneis, com *expertise* na área de

escavações subterrâneas, antes de falecer em 2015 (DOMINGUES, 2016).

- TÚNEL PREFEITO MARCELLO ALENCAR - 2016

O túnel fica localizado na zona central da cidade, contando com duas galerias: uma com 3.382 metros, e a segunda com 3.370 metros de extensão. Sendo o maior túnel subterrâneo do país, faz a ligação da Ponte Rio-Niterói com a Avenida Brasil e o Aterro do Flamengo. O túnel foi inaugurado em junho de 2016, sendo um dos projetos incorporados ao Porto Maravilha, como parte das obras de revitalização da zona portuária do Rio (MENEGUZ, 2021).

- TÚNEL SENADOR NELSON CARNEIRO - 2016

O Túnel Senador Nelson Carneiro conta com duas galerias – uma de 240 metros e outra de 1400 metros de extensão. É o quinto maior túnel da cidade do Rio de Janeiro. Atualmente, tem cinco saídas de emergência e oito sistemas de jato de ventiladores, permitindo direcionar o fluxo de centro para dentro ou fora das galerias. O túnel recebeu esse nome em homenagem ao senador nascido em Salvador, em 1910 (PIERRI, 2018).

- TÚNEL CAUBY PEIXOTO - 2016

O Túnel Cauby Peixoto, cujo nome homenageia o cantor niteroiense, tem 190 metros de extensão. Fazendo integração com o Ônibus de Trânsito Rápido (*Bus Rapid Transit* - BRT) Transolímpica, conta com duas galerias de 200 metros cada uma. O sistema faz ligação com os bairros de Jacarepaguá e Sulacap (DOMINGUES, 2016).

- TÚNEL FERROVIÁRIO DA GAMBOA - 2017

O túnel também é conhecido como Túnel da Marítima. Sendo um túnel ferroviário, com 315 metros de extensão, faz ligação da região da Estação Ferroviária Central do Brasil ao Cais do Porto. Esse túnel ficou desativado durante anos. Com o lançamento do projeto Porto Maravilha, foi reativado em outubro de 2017, para

deslocamento do VLT Carioca, que faz operação entre a Praça XV e o Terminal Rodoviário do Rio de Janeiro (MENEGUZ, 2021).

3.4. O Processo de Manutenção de Túneis

Segundo Vidal; Azevedo e Castro (2013, p. 44), “manutenção é a ação de manter, sustentar, consertar ou conservar alguma coisa ou algo aumentando conseqüentemente sua vida útil”. A manutenção tem o intuito de reparar ou repor algo que está depreciado, ou que não funciona corretamente, consertando para que volte a desenvolver a função requerida de sua fase inicial.

Como visto anteriormente, o município do Rio de Janeiro tem trinta e um túneis, que facilitam o deslocamento do trânsito de veículos através de obstáculos geográficos. Entretanto, a fluidez do trânsito fica prejudicada em determinados momentos, pelo fato de um túnel não ter recebido as manutenções preventivas e corretivas adequadas.

Sabe-se que o município do Rio de Janeiro concentra altos índices de acidentes, muitos deles por descuido das autoridades competentes, no que tange ao processo de verificação do estado de conservação das construções das obras do Rio de Janeiro, mais especificamente nos túneis da cidade. Atualmente, vários túneis localizados no município do Rio de Janeiro não passam por um processo constante e contínuo de manutenções, para que possam ser verificados possíveis danos causados pelo tempo ou pessoas.

As tarefas de manutenção são geralmente de dois tipos, tais como: planejadas e não planejadas. A manutenção planejada pode ser preventiva ou corretiva (incluindo manutenção diferida), enquanto a manutenção não planejada é principalmente corretiva, o que inclui qualquer manutenção de emergência. Novamente, a manutenção preventiva pode ser agendada e a outra pode se basear nas condições do equipamento, conhecida como manutenção baseada em condições (BRANCO FILHO, 2008).

Assim, de acordo com os ensinamentos de Kardec e Nascif (2009, p. 78), a forma da manutenção pode ser das seguintes maneiras: “manutenção pré-planejada; manutenção planejada; manutenção de parada; manutenção de avarias; manutenção de emergência”.

Manutenção pré-planejada: essa inclui tarefas de manutenção antecipada, como limpeza, lubrificação, ajuste e registro das medições das chaves. Isso geralmente é realizado pela equipe que não é de manutenção, e a deterioração observada do equipamento que não pode ser corrigida é relatada à equipe de manutenção regular. Isso também é chamado de manutenção de primeira linha (MACÊDO, 2009).

Manutenção planejada: essa também é conhecida como manutenção programada, e seu cronograma e escopo são conhecidos antecipadamente. Possui por objetivo estabelecer e conservar as boas condições do processo e dos equipamentos, precisando, do mesmo modo, ser eficiente e competente no custo (NASCIF; DORIGO, 2013).

Manutenção de parada: essa trata-se de um tipo de manutenção planejada, mas, é executada quando a produção ou a fábrica é desligada. São paradas ou grandes paradas de equipamentos que possuem por finalidade fazer com que os mesmos cheguem a um estado de novo, com revisões e reparos em todos os itens de maneira a garantir, com elevada probabilidade, um bom desempenho do equipamento por um extenso período de tempo (MACÊDO, 2009).

Manutenção de avarias: esta é realizada quando o equipamento falha na função desejada. Este tipo de manutenção pode ainda envolver reparos, substituições ou ajustes, conforme seja necessário. Esta envolve o reparo ou a substituição de equipamentos e componentes após terem falhado (NASCIF; DORIGO, 2013).

Manutenção de emergência: essa manutenção é realizada somente quando a inspeção ou a manutenção de avaria identificam sua necessidade. Trata-se de uma intervenção pontual e inesperada por muitas vezes, que exige uma rápida solução e aplicação (MACÊDO, 2009).

Deste modo, todas as máquinas, equipamentos e estruturas da planta são submetidas a uma inspeção regular programada para detectar problemas de desempenho ou segurança, e garantir que todos os itens recebam a manutenção necessária. Em seguida, tem-se a verificação, que é um processo, não uma medição, e possui dois objetivos principais, a saber: verificar se o trabalho de manutenção está sendo realizado; e confirmar se os padrões de manutenção não foram comprometidos (NASCIF; DORIGO, 2013).

Portanto, a verificação geralmente é feita ou complementada por (além da

verificação interna) terceiros (para ser completamente imparcial ou justa). Um dos principais parâmetros para verificar se a manutenção está dentro do padrão, é determinar a disponibilidade do sistema, uma vez que a manutenção depende dos resultados, e o teste é centrado na eficácia (BANDEIRA, 2009).

Com base no tempo e no conteúdo do trabalho envolvido na tarefa de manutenção, segundo Otani e Machado (2008, p. 47), diferentes filosofias de manutenção podem ser colocadas nas seguintes categorias: “tempo conhecido/conteúdo conhecido; tempo conhecido/conteúdo desconhecido; tempo desconhecido/conteúdo conhecido; tempo desconhecido/conteúdo desconhecido”. Peres e Lima (2008, p. 61) explica de forma detalhada essas categorias:

1. Tempo conhecido/conteúdo conhecido: manutenção pré-planejada, paradas programadas, inspeções de rotina e mudanças de horários se enquadram nessa categoria;
2. Tempo conhecido/conteúdo desconhecido: abrange pesquisas legais, inspeções de terceiros e manutenção baseada em condições;
3. Tempo desconhecido/conteúdo conhecido: envolve trabalhos de manutenção antecipada, trabalho de contingência aguardando desligamento e execução para destruição;
4. Tempo desconhecido/conteúdo desconhecido: envolve manutenção de avarias, reparos imediatos decorrentes da inspeção e verificação de falhas.

Assim, do ponto de vista da gestão do trabalho, as atividades da categoria 1 são muito bem-vindas e da categoria 4 são menos bem-vindas. É sempre vantajoso mudar o trabalho para uma categoria mais gerenciável. Usando um regime de manutenção eficaz, a intenção deve ser manter a categoria 4 o mais vazia possível (OTANI; MACHADO, 2008).

Deste modo, a gestão do trabalho é simples, pois, o conteúdo técnico dos materiais é conhecido. Nisto, a manutenção de avarias (categoria 4) é simples e pode ser aplicada rapidamente com recursos e informações limitadas, mas, o trabalho resultante de avarias inesperadas é difícil de gerenciar, e pode envolver altos custos. A manutenção de avarias não é segura, e, às vezes, pode envolver perigo para a vida (PERES; LIMA, 2008).

Antes da Segunda Guerra Mundial, o conceito e o escopo da manutenção mudaram, mais do que qualquer outra disciplina de gerenciamento. Essas mudanças podem ser basicamente atribuídas ao advento de projetos mais complexos de sistemas que requerem novas técnicas de manutenção (SOUZA, 2008).

Há um expressivo aumento no número, tamanho e variedade de ativos físicos

(plantas, equipamentos e edifícios), que foram mantidos. Há também uma consciência crescente da qualidade do produto que afeta as atividades de manutenção e até que ponto a falha do equipamento pode afetar a segurança e o meio ambiente, juntamente com a exigência de alcançar alta disponibilidade da planta a custos reduzidos (OLIVEIRA, 2006).

Assim, com o aumento da complexidade e sofisticação, juntamente com as mudanças industriais, teve-se muitas mudanças. Essas mudanças estão agora testando atitudes e habilidades em todos os setores da indústria até o limite. Nisto, gerentes e engenheiros começaram a adotar maneiras completamente novas de pensar em estratégias modernas e sofisticadas para a manutenção, para que possam então avaliá-las com sensibilidade e aplicar aquelas que possam ser úteis para eles e suas empresas (BRANCO FILHO, 2008).

De fato, as mudanças que ocorreram durante esse período estão bem documentadas. Durante o período de 1930 a 1950 (primeira geração), a indústria não foi tão mecanizada, de modo que o tempo de inatividade não importou muito. A manutenção foi realizada apenas quando o equipamento realmente falhou. O trabalho foi mais “consertar” do que manutenção. Além disso, a maioria dos equipamentos era simples e geralmente super projetados, o que os tornavam confiáveis e fáceis de reparar (KARDEC; NASCIF, 2009).

Deste modo, isso significava que a prevenção de falhas no equipamento não era considerada prioritária pela gerência. Portanto, não havia necessidade de manutenção sistemática de qualquer tipo além de limpeza, manutenção e lubrificações ocasionais. Obviamente, o requisito de habilidade também era menor (MACÊDO, 2009).

Mas, as coisas mudaram durante e após a Segunda Guerra Mundial. A pressão da guerra acelerou a mecanização, e, na década de 1950, as máquinas se tornaram mais complexas e numerosas. À medida que o setor se tornou cada vez mais dependente deles, a preocupação com o tempo de atividade dessas máquinas se tornou a prioridade do setor, e a gerência considerou vantajosa e de interesse para evitar falhas no equipamento (KARDEC; NASCIF, 2009).

Teve-se então o ponto de partida para o conceito de manutenção preventiva, com a constatação de que realizar manutenção e reformas regulares poderia manter o equipamento em operação por mais tempo entre falhas. Isso ficou conhecido como

manutenção periódica, ou manutenção baseada em calendário, ou manutenção preventiva (JIDAYI, 2015).

O objetivo era fazer com que a maioria dos equipamentos pudesse operar a maior parte do tempo até a próxima interrupção programada da manutenção. Essa abordagem forneceu mais controle sobre o cronograma de manutenção; no entanto, o sistema ainda estava suscetível a falhas entre os ciclos de manutenção (MACÊDO, 2009).

Todavia, mesmo na década de 1960, essa preocupação se limitava principalmente às revisões de equipamentos realizados em intervalos fixos. Porém, à medida que o custo da manutenção aumentou, sentiu-se a necessidade de sistemas de planejamento e controle de manutenção. De fato, a quantidade de capital amarrada em ativos fixos aumentou, e a necessidade de maximizar a vida útil desses ativos foi sentida com mais intensidade (JIDAYI, 2015).

Assim, de acordo com Branco Filho (2008, p. 74), como o tempo de inatividade reduziu a produção, isto acabou “afetando a capacidade produtiva de ativos físicos, aumentando então os custos operacionais e interferindo no atendimento ao cliente”.

Na década de 1970, isso foi agravado pela mudança mundial em direção a sistemas *Just In Time*, em que os estoques reduzidos de *work in progress* significava que avarias muito pequenas poderiam parar toda a planta. Assim, em vez de esperar que uma máquina falhasse antes de trabalhar nela ou executar manutenção em uma máquina, independentemente de sua condição, a ideia de realizar manutenção no equipamento somente quando indicar falhas iminentes tomou posse, e a ideia de usar a manutenção preditiva para realizar manutenção nas máquinas somente quando elas exibissem sinais de falha mecânica passou a ser conhecida como manutenção baseada em condições. Esse processo de manutenção se tornou mais proativo do que reativo nas tarefas de manutenção (OTANI; MACHADO, 2008).

No entanto, como a extensa automação, confiabilidade, disponibilidade e segurança dos processos de produção tornaram-se problemas sérios, pois, as falhas podem afetar a capacidade de manter padrões de qualidade satisfatórios e ter graves consequências ambientais, exigiu-se a integridade dos ativos físicos – que vai além do custo e se torna uma questão de sobrevivência para a organização. Assim, à medida que a dependência de ativos físicos aumenta, para garantir o máximo retorno do investimento, eles devem ser mantidos em condições de trabalho eficientes pelo

maior tempo possível (MACÊDO, 2009).

Além disso, o custo de manutenção também está aumentando, em termos absolutos e como proporção do total de gastos. Em algumas indústrias, é o elemento mais alto ou o segundo mais alto dos custos operacionais. Conseqüentemente, passou-se de quase lugar nenhum para o topo da prioridade de controle de custos. Também, está se tornando aparente que há cada vez menos conexão entre a idade operacional dos ativos e a probabilidade de falha deles (KARDEC; NASCIF, 2009).

Adveio-se a ter um crescimento nos conceitos e técnicas de manutenção. A mudança de ênfase inclui ferramentas de suporte à decisão, como estudos de riscos, modos de falha e análise de efeitos e sistemas especialistas; novas técnicas de manutenção, como monitoramento de condições; projetos de equipamentos com ênfase na confiabilidade e manutenção; e uma grande mudança no pensamento organizacional em direção à participação, trabalho em equipe e flexibilidade (PERES; LIMA, 2008).

Frente a isto, nota-se que um grande desafio para o pessoal de manutenção surgiu; não se trata apenas de aprender o que são essas técnicas, mas, decidir quais valem a pena e quais não estão nas próprias organizações. Se fizer as escolhas certas, é possível melhorar o desempenho dos ativos e, ao mesmo tempo, reduzir e até conter o custo de manutenção. Todavia, se fizer as escolhas erradas, novos problemas serão criados, enquanto os problemas existentes só pioram (JIDAYI, 2015).

Como todo ativo físico é colocado em serviço porque alguém quer que ele faça alguma coisa, espera-se que ele cumpra uma função ou funções específicas. Quando um ativo é mantido, obviamente, o estado que se deseja preservar é aquele em que ele continua fazendo o que seus usuários desejam. A ênfase adveio a ser colocada no negócio principal por várias grandes empresas do Mundo e sob esse pensamento; as empresas estão transferindo funções anteriormente internas para empresas especializadas externas (OTANI; MACHADO, 2008).

Portanto, entende-se que o uso de especialistas e os motivos para a escolha de equipes internas no local ou equipes de técnicos contratados trazidos de fora para a conclusão de um trabalho estão se tornando rotineiramente comuns, em que estes entendem os principais tipos de manutenção. Como já visto antes, os tipos de manutenção são as formas de como as intervenções são executados no processo de

construção de um túnel. Pode-se dividir a atividade de manutenção em vários tipos, como manutenção corretiva; manutenção preventiva; e manutenção preditiva.

Com isso, entende-se que seja imprescindível que haja uma análise de cada caso com o intuito de saber qual a mais preferível para se empregar, pois, todo tipo de manutenção tem custos e resultados diferentes, onde pode-se verificar que a medida que ocorre uma evolução no tipo de manutenção, ocorre uma diminuição nos custos e aumento nos resultados.

Conforme a NBR:5462, de 1994, a manutenção corretiva é a manutenção logo depois do acontecimento de uma pane que se destina a colocar uma construção em que ela possa ter condição de realizar uma função solicitada. Sobre a manutenção corretiva, Viana (2002, p. 35) ressalta que “é o feito necessário de imediato, evitando graves implicações aos maquinários da produção, a segurança do funcionário ou ao meio ambiente”.

Siqueira (2005, p. 50), por sua vez, alega que a manutenção corretiva se dirige “a corrigir falhas que já tenham acontecido”. Complementando, Kardec e Nascif (2013, p. 80) conta que “não é sempre que a manutenção corretiva é emergencial, uma vez que, quando realizada uma parada para consertar um desempenho abaixo ao esperado, está sendo feita uma manutenção corretiva”.

A manutenção corretiva se alude as atividades de manutenção realizadas para corrigir e reformar sistemas e equipamentos defeituosos. A finalidade da manutenção corretiva é a de restaurar sistemas que apresentam falhas e defeitos. A manutenção corretiva é principiada quando um problema suplementar é detectado em meio a uma ordem de serviço separada. Por exemplo, em meio a um conserto emergencial, como parte de uma vistoria de rotina ou no procedimento de concretização de manutenção preventiva, um técnico reconhece outro problema que necessita ser consertado antes que demais problemas aconteçam (SILVA, 2010).

Ao encontrar um problema suplementar, a manutenção corretiva é planejada e programada para um tempo porvindouro. Em meio a realização dos trabalhos de manutenção corretiva, o ativo é reparado, restaurado ou substituído. De tal modo, pode-se pensar na manutenção corretiva como algo que é detectado no momento certo. Por exemplo, caso se note que as pastilhas dos freios estão quase gastas, porém, ainda não afetaram os rotores, detectou-se a tempo (PEREIRA, 2010).

No campo da manutenção, a manutenção corretiva é ativada quando um

técnico enxerga algo que pode vir a quebrar ou afetar o comportamento geral de uma peça de equipamento. Com isto, ainda pode ser reparado ou restaurado sem incidir em tempo de ociosidade (KARDEC; NASCIF, 2009).

De acordo com Silva (2010, p. 40), caso a manutenção corretiva não esteja programada, “o problema pode advir a ser uma ordem de serviço de manutenção de emergência futuramente e proceder em linhas de produção descontínuas, interrupção no serviço ou clientes descontentes”.

A manutenção corretiva pode abranger uma ampla multiplicidade de equipamentos, sistemas e circunstâncias. Por exemplo, caso se esteja realizando uma manutenção preventiva em uma linha de equipamento de produção e observa-se um desgaste expressivo em uma peça ou componente crítico, pode-se principiar uma ordem de manutenção corretiva para reparar ou restaurar esta peça no mês seguinte (COSTA, 2013).

Também, caso se esteja respondendo a uma solicitação de emergência para reformar um sistema de aquecimento no meio do inverno, por exemplo, pode-se observar que o sistema necessitará de filtros limpos ou trocados para aperfeiçoar a eficiência e impedir mais perdas de calor. Assim, pode-se restaurar o calor em meio a chamada de emergência, entretanto, pode-se igualmente agendar a ordem de manutenção corretiva para deliberar o problema do filtro posteriormente (BERNARDES, 2011).

Como a manutenção corretiva é feita “no momento certo”, o principal benefício trata-se da diminuição das ordens de manutenção de emergência, assim como a ampliação da segurança dos trabalhadores. As ordens de serviço de manutenção corretiva podem ser agendadas, o que auxilia as equipes de manutenção a deliberar problemas antes que aconteçam atrasos na produção ou cessações de trabalho (CARVALHO, 2007).

A manutenção corretiva, juntamente com uma boa manutenção preventiva, auxilia a organização a distender a vida útil de seus ativos, diminuir acidentes no local de trabalho e melhorar o planejamento de recursos. As ordens de serviço de manutenção corretiva comumente são mais baratas de implementar do que as ordens de serviço de manutenção de emergência, que podem necessitar ser concluídas em meio ao cumprimento de horas extras (PEREIRA, 2010).

De acordo com a preconização da ABNT, tem-se que a manutenção preventiva

pode ser definida como sendo uma manutenção realizada em tempos certos ou conforme critérios prescritos, destinada a diminuir as chances de falhas ou a degradação (ABNT, 1994).

Carvalho (2007, p. 27) define a manutenção preventiva como sendo uma “prática de tarefas que seja capaz de ampliar a vida das construções, equipamentos e máquinas, prevenindo quebras e procurando observar o equipamento com diversos métodos e análises”. A manutenção preventiva é utilizada com o objetivo de substituir componentes antes que ocorram quebras e desastres.

A manutenção preventiva trata-se da manutenção feita de forma regular em uma peça de equipamento para atenuar a possibilidade de falha. É feita enquanto o equipamento ainda se encontra em atividade, para não quebrar de forma imprevista. Em termos de complexidade desta estratégia de manutenção, ela se coloca entre a manutenção reativa (ou a falha) e a manutenção preditiva (COSTA, 2013).

A manutenção preventiva pode ser agendada em um gatilho fundamentado em horário ou utilização. Um exemplo característico de um gatilho de manutenção preventiva com base no tempo, trata-se de uma inspeção regular em um equipamento crítico que impactaria severamente na produção no caso de uma avaria (KARDEC; NASCIF, 2009).

Segundo Pereira (2010, p. 67), os gatilhos fundamentados na utilização são ativados posteriormente em uma certa quantidade de quilômetros, horas ou ciclos de produção. “Um exemplo deste gatilho pode ser um veículo a motor, que pode ser programado para manutenção a cada 10.000 km”.

Planejar a manutenção preventiva sem o auxílio de um *software* pode ser um desafio. Como este tipo de manutenção é ativado posteriormente em um certo período ou utilização, torna-se complexo rastrear estes dados de forma manual, notadamente se estiver lidando com vários equipamentos críticos (KARDEC; NASCIF, 2009).

O planejamento trata-se da grande vantagem de um programa de manutenção preventiva sobre estratégias menos complicadas. A manutenção reativa não planejada apresenta diversos custos indiretos que podem ser impedidos em meio ao procedimento de planejamento. O custo da manutenção não planejada abrange perda de produção, custos mais elevados de peças e remessa, além de tempo perdido em resposta a emergências e diagnóstico de falhas enquanto o equipamento está parado (CARVALHO, 2007).

A manutenção não planejada comumente custa três a nove vezes mais que a manutenção planejada. Quando a manutenção é planejada, cada um destes custos pode ser diminuído. Assim, o equipamento pode ser desligado para coincidir com o tempo de ociosidade da produção (COSTA, 2013).

Antes do desligamento, todas as peças, suprimentos e pessoal imprescindíveis podem ser agrupados para tornar mínimo o tempo imprescindível para que haja uma restauração. Estas ações atenuam o custo total da manutenção. Com isto, a segurança igualmente é aperfeiçoada porque o equipamento quebra com menos assiduidade do que em estratégias menos complicadas (KARDEC; NASCIF, 2009).

Um programa de manutenção preventiva não demanda monitoramento fundamentado em condições. Isto suprime a necessidade (e o custo) de conduzir e interpretar os dados de monitoração de condições e agir sobre os resultados desta interpretação. Igualmente, suprime a necessidade de ter e utilizar equipamentos de monitoração de condições (CARVALHO, 2007).

No entanto, desigualmente da manutenção reativa, a manutenção preventiva demanda planejamento de manutenção. Isto demanda um investimento em tempo e recursos que não são imprescindíveis com estratégias de manutenção menos complexas (BERNARDES, 2011).

Além do mais, a manutenção pode acontecer com maior assiduidade com um programa de manutenção preventiva. A menos que, e até que as frequências de manutenção sejam melhoradas para manutenção mínima, acontecerá manutenção preventiva em excesso (KARDEC; NASCIF, 2009).

E também, a assiduidade da manutenção preventiva possivelmente poderá vir a ser elevada. Esta assiduidade pode ser diminuída sem que se sacrifique a confiabilidade quando o monitoramento e a análise da condição são aproveitados. A redução na frequência de manutenção é contrapesada pelos custos suplementares conexos à concretização da monitoração da condição (COSTA, 2013).

A manutenção preditiva é baseada em técnicas de monitoramento das condições dos equipamentos, visando detectar sinais de falhas e, por fim, criar um histórico do equipamento. Através desta análise, é possível acompanhar os estágios de desgastes do local, aumentando o grau de previsibilidade do momento de ocorrências indesejáveis, antecipando ações antes das falhas. Este tipo de manutenção, além de analisar e diagnosticar possíveis falhas e quebras, também

permite a eliminação das trocas desnecessárias, como acontece no caso da manutenção preventiva (KARDEC; NASCIF, 2009).

A manutenção preditiva trata-se de uma metodologia que aproveita ferramentas e métodos de monitoração de condições para rastrear o desempenho do equipamento em meio a operação normal para detectar admissíveis defeitos e corrigi-los antes que procedam em falha (CARVALHO, 2007).

Idealmente, de acordo com Leão (2012, p. 80), a manutenção preditiva “admite que a assiduidade de manutenção seja a mais baixa admissível para impedir manutenção reativa não planejada, sem incidir em custos conexos à concretização da manutenção preventiva”.

A manutenção preditiva utiliza equipamentos de monitoração de condições para avaliar o desempenho de um ativo em tempo real. Um elemento chave deste procedimento é a *Internet das Coisas (Internet of Things - IoT)*. A IoT admite que distintos ativos e sistemas se conectem, trabalhem juntos e compartilhem, analisem e executem dados (BERNARDES, 2011).

A IoT conta com sensores de manutenção preditiva para obter informações, compreendê-las e identificar todas as áreas que necessitam de atenção. Alguns exemplos de utilização de manutenção preditiva e sensores de manutenção preditiva abrangem análise de vibração, análise de óleo, imagens térmicas e observação de equipamentos (KARDEC; NASCIF, 2009).

Para Silva (2010, p. 41), a opção pela metodologia ideal para realizar o monitoramento de condições “trata-se de uma consideração essencial que é melhor feita em consulta com os fabricantes de equipamentos e especialistas em monitoração de condições”

Quando a manutenção preditiva se encontra em atividade efetivamente como uma estratégia de manutenção, a manutenção é concretizada somente nas máquinas quando é imprescindível. Portanto, pouco antes da ocorrência da falha. Conforme Costa (2013, p. 34), isto proporciona economias de custo, tais como: “minimização do tempo de manutenção do equipamento; minimização das horas de produção perdidas para manutenção; minimização do custo de peças de reposição e suprimentos”.

Colacionada à manutenção preventiva, a manutenção preditiva assegura que um equipamento que determine manutenção seja desligado somente antes da falha impendente. Isto diminui o tempo total e o custo gasto na manutenção de

equipamentos. Entretanto, colacionado com a manutenção preventiva, o custo do equipamento de monitoramento de condições imprescindível para a manutenção preditiva comumente é elevado (LEÃO, 2012).

Além do mais, o nível de aptidão e a experiência imprescindíveis para interpretar com exatidão os dados da monitoração de condições igualmente são elevados. Combinados, isto pode constituir que a monitoração da condição possui um elevado custo inicial. Determinadas organizações contratam indivíduos para monitoração de condições para tornar mínimo os custos iniciais de um programa de monitoração de condições (BERNARDES, 2011).

No entanto, nem todos os ativos possuem falhas que podem ser conservadas de forma mais econômica aproveitando a manutenção preventiva ou uma estratégia de manutenção de execução a falha. A escolha precisa ser feita ao determinar se a manutenção preditiva é melhor para um ativo característico (KARDEC; NASCIF, 2009).

Frente a isto, percebe-se que metodologias como manutenção centrada na confiabilidade provisionam um método ordenado para definir se a manutenção preditiva se trata de uma boa opção como estratégia de manutenção de ativos para o ativo em particular de interesse.

Kardec e Nascif (2013, p. 45) dizem que “o planejamento e a administração dos recursos são as definições para a organização da manutenção, devendo estar adequada a quantidade de serviço a ele solicitada”. Atualmente, a manutenção deve ser organizada com o intuito de se fixar a gerência e a resolução dos problemas no setor da produção, a fim de que a empresa venha a ser competidora no mercado e continue a ir atrás da melhora de seus resultados.

Segundo Souza (2008, p. 36), “há tempos que a ideologia do planejamento e controle da manutenção é definitiva em países desenvolvidos. No caso do Brasil, foi a partir da década de 1990 que se deu o início da utilização dessa ideologia”. Na década de 1980, a obtenção do máximo retorno financeiro para determinado evento era almejada pela grande maioria das indústrias dos países. Os consumidores começaram a aceitar a qualidade dos serviços e produtos como um quesito muito importante por causa da influência da indústria oriental.

Com isso, essas empresas foram obrigadas a se moldarem para que pudessem permanecer competitivas no mercado. Hoje em dia, pode-se ver uma notável

mudança na estrutura das empresas mediante modificações na relação de funcionários de cada perfil funcional e setor trabalhado. Em razão do desenvolvimento tecnológico, surge a imprescindibilidade das empresas e de seus trabalhadores se adaptarem.

Costa (2013, p. 42) define o planejamento como sendo “a determinação dos interesses e propósitos do empreendimento, bem como da administração dos recursos e razões para alcançá-los; que se resume na programação de serviços”. Já de acordo com Branco Filho (2004, p. 60), “o fato de preparar antecipadamente uma lista de tarefas ou ocorrências, é o ato de se programar”.

Obter uma programação e um planejamento quando se trata da manutenção, quer dizer sobre a especificação, atendimento e a criação de vários planos de manutenção com precedência que garante a credibilidade e disponibilidade, que visa garantir a data calculada da ação de determinadas tarefas do setor da manutenção, gerenciando estes trabalhos para sua atividade ordenada tendo em consideração a disponibilidade de todo o processo, a preferência das tarefas e suas possíveis aptidões (NASCIF; DORIGO, 2013).

Diversos autores, como Costa (2013), Souza (2008) e Leão (2012), conceituam qualidade de manutenção como os conceitos da Gestão pela Qualidade Total, as Normas *International Organization for Standardization* (ISO) Série 9000 e sua relação com a manutenção. Prado (2010, p. 47) apresenta um programa de monitoramento da qualidade da manutenção, mas, nenhum deles explica o que é qualidade na manutenção. “A qualidade na manutenção precisa ser revista constantemente”.

Vários fatores podem ser agregados a ela. ter uma equipe que otimize a manutenção é fundamental para manter a qualidade. Ter experiência no ramo de atuação e estar bem atualizado. O uso da tecnologia auxilia muito na qualidade de manutenção. Nas ordens de serviço que constam o dia, horário e o serviço realizado, é possível fazer um controle da próxima manutenção. Os indicadores podem dar um rumo adequado para a qualidade na manutenção ou ajudar a reprogramar a rota. Utilizar medidas que buscam minimizar e evitar acidentes e doenças ocupacionais (LEÃO, 2012).

Investir em treinamentos e cursos é importante, pois, ter uma equipe bem-conceituada tecnicamente é essencial para garantia dessa qualidade. Gianese e Corrêa (2010, p. 29) afirmam que “a qualidade dos produtos produzidos, os tempos

envolvidos na produção e a confiabilidade destes tempos, entre outros, depende, em certo grau, do desempenho do setor de manutenção”.

Assim, em linhas gerais, pode-se afirmar que a qualidade da manutenção depende da qualidade do produto da função manutenção, que é a maior disponibilidade confiável ao menor custo, mas, deixa questões em aberto, como a relação ideal entre qualidade do serviço de manutenção, disponibilidade e confiabilidade.

O processo de manutenção é formado por várias ações que ajudam no bom e correto funcionamento de alguma coisa, como, por exemplo, a manutenção dos túneis, e, com isso, evitam-se possíveis danos que possam ser causados à população. Na região do Porto Maravilha, tem-se uma rotina de fechamento dos túneis Marcello Alencar e Rio450 para manutenção periódica, como pode ser visto através da Figura 9.

Figura 14 - Registro de fechamento dos túneis




**ROTINA DE FECHAMENTO DOS TÚNEIS DO
PORTO MARAVILHA**

sempre das 23h às 5h do dia seguinte

TÚNEL MARCELLO ALENCAR

Galeria sentido Zona Norte: segundas e terças-feiras
Galeria sentido Zona Sul: quintas e sextas-feiras

TÚNEL RIO450

Toda a extensão: quartas-feiras



Os túneis Marcello Alencar e Rio450 passam por manutenção periódica que exige rotina de fechamento durante as madrugadas. A partir de segunda-feira, 4 de novembro de 2019, haverá mudança nos dias e horários de interdição, conforme [portaria número 1.594, de 1º de novembro de 2019](#).

No **Túnel Marcello Alencar**, a galeria mar, pista sentido Zona Norte, fecha todas as segundas e terças-feiras. A galeria continente, pista sentido Zona Sul, fecha todas as quintas e sextas-feiras. As interdições são sempre das 23h às 5h do dia seguinte.

O **Túnel Rio450** fecha em toda a sua extensão às quartas-feiras, também das 23h às 5h do dia seguinte.

Fonte: Porto Maravilha (2019)

Deste modo, Santos (2017, p. 30) endossa a definição supracitada afirmando que “a prática de atividades de manutenção pode ser considerada como a renovação de níveis de desempenho perdidos, visando as condições de uso e tendo imediatamente como efeito o prolongamento da vida útil da estrutura”.

Sendo assim, observa-se que, com a falta de manutenção, alguns túneis se tornam intransitáveis, e seu objetivo de permitir o fluxo do trânsito se perde. É de extrema importância haver um alinhamento das atividades de manutenção preventiva e corretiva dos túneis.

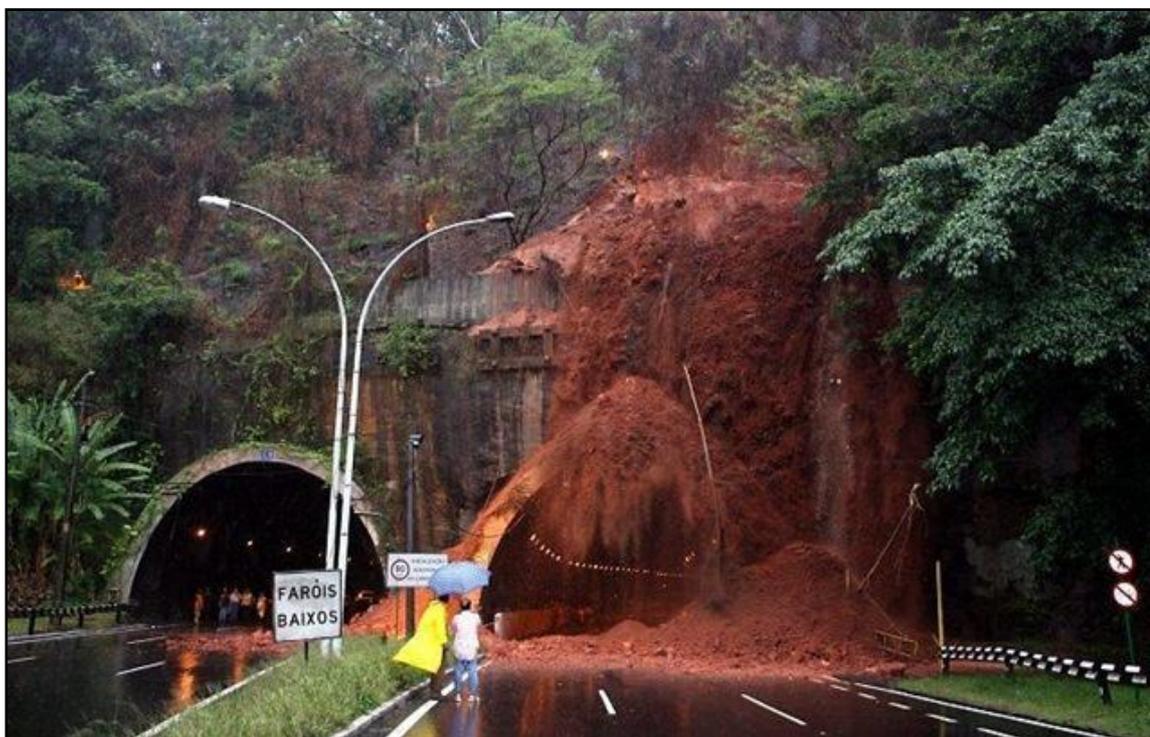
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Histórico de Desabamento dos Túneis do Município do Rio de Janeiro

4.1.1. Deslizamento de Terra no Túnel Rebouças

No ano de 2007, as pistas dos dois sentidos do Túnel Rebouças, na zona Sul do Rio de Janeiro, foram interditadas após um deslizamento de terra, como mostra a Figura 10. A queda de barreira aconteceu na pista sentido Lagoa, entre duas galerias. Cerca de três toneladas de terra de uma encosta junto ao Morro Cerro-Corá, no Cosme Velho, caíram entre a saída de uma galeria e a entrada de outra galeria do túnel. Vinte anos antes, em 1987, um deslizamento de quatorze toneladas de terra e pedras também bloqueou o acesso ao túnel na entrada da Lagoa. O motivo foi uma infiltração provocada por chuvas.

Figura 15 - Deslizamento de terra interdita o Túnel Rebouças, em outubro de 2007



Fonte: Folha de S. Paulo (2007)

Neste caso, observa-se que o problema foi causado pelo deslizamento de terra. O laudo da perícia responsabilizou um vazamento em uma tubulação da Companhia

Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE) pelo problema. Foi descoberto um tubo enorme, de seis polegadas, ou 150 milímetros, de alta pressão, que levava água até a caixa-d'água na parte superior da comunidade. Essa foi a causa principal do deslizamento.

Sendo assim, Bandeira (2009) ressalta a importância de um sistema de manutenção eficaz, envolvendo três entidades separadas de trabalho, a saber: manutenção, inspeção e verificação, que podem ser realizadas por diferentes grupos na mesma empresa ou diferentes empresas especificamente subcontratadas para esse fim. Assim, pode-se dizer que a CEDAE e a concessionária que administra o túnel deveriam atuar de forma conjunta na manutenção.

4.1.2. Queda do Revestimento do Túnel da Grotta Funda

Em 2013, no BRT Transoeste, houve uma queda do revestimento do Túnel da Grotta Funda. Com a queda do revestimento, a fiação que fornece iluminação foi atingida. Com isto, o túnel foi interditado para vistoria, como mostra a Figura 11.

Figura 16 - Túnel da Grotta Funda interditado, em janeiro de 2013



Fonte: O Globo (2013)

O túnel foi inaugurado no ano de 2013, mas, neste mesmo ano, o tráfego já exibiu um buraco. Em meio a construção, a prefeitura divulgou que o túnel foi

construído com as metodologias mais modernas e atuais, acompanhando padrões europeus para impedir acidentes.

Neste caso acima, entende-se que o mais recomendado seria a manutenção corretiva, que se alude as atividades de manutenção realizadas para corrigir e reformar sistemas e equipamentos defeituosos. Pois, segundo Silva (2010), a finalidade da manutenção corretiva é a de restaurar sistemas que apresentam falhas e defeitos, como o revestimento, neste caso. Portanto, a manutenção corretiva é principiada quando um problema suplementar é detectado em meio a uma ordem de serviço separada.

4.1.3. Deslizamento Túnel Acústico

Em 2019, o Túnel Acústico, na zona Sul do Rio de Janeiro, foi fechado após uma estrutura de concreto desabar sobre um ônibus, como mostra a Figura 12. O desabamento fechou a via nos dois sentidos, interrompendo a principal ligação entre a zona Sul e os bairros da Barra da Tijuca e São Conrado.

Figura 17 - Ônibus atingido por vigas ainda no local do acidente, em maio de 2019



Fonte: G1 Notícias (2019)

Neste acidente, observa-se que o grande responsável por todo a acidente foi a chuva, que durou por cerca de três dias seguidos na cidade, se concentrando na zona Sul. Com isto, as autoridades passaram a buscar rotas alternativas para orientar os

motoristas e tentar desafogar o trânsito. Além desse incidente, um acidente com morte no Túnel Rebouças piorou a situação.

Branco Filho (2008) lembra que as tarefas de manutenção são geralmente de dois tipos, tais como: planejadas e não planejadas. A manutenção planejada pode ser preventiva ou corretiva (incluindo manutenção diferida), enquanto a manutenção não planejada é principalmente corretiva, o que inclui qualquer manutenção de emergência.

Pois, sabia-se que a chuva castigava o Rio de Janeiro há três dias. No primeiro dia, um deslizamento de terra provocou a interdição da Avenida Niemeyer, importante ligação entre as zonas Sul e Oeste da cidade. O trecho é o mesmo que havia sido atingido pelo forte temporal em abril daquele ano.

No segundo dia, uma casa foi atingida, mas, não houve vítimas. No terceiro dia, a avenida e a ciclovia foram interditadas em ambos os sentidos sem previsão de reabertura, e os motoristas desviaram pela Autoestrada Lagoa-Barra. Além do mais, o sistema Alerta Rio atentou para chuva moderada ao longo de todo o dia, e a Marinha emitiu alerta para as ressacas que poderiam atingir a orla, chegando até a 2,5m.

Portanto, com o exposto, analisa-se aqui que faltou uma manutenção preventiva que pudesse evitar os transtornos no túnel, e uma manutenção corretiva, que viesse a impedir o acidente com o ônibus, como consequência do incidente ocorrido no túnel.

4.2. Orçamento Destinado para Manutenção Preventiva e Corretiva dos Túneis do Município do Rio de Janeiro

Na última década, houve uma diminuição considerável no orçamento da prefeitura do Rio de Janeiro na gestão dos túneis municipais. Com isto, a manutenção precária dos túneis que cruzam os morros da cidade – incluindo o Túnel Acústico Rafael Mascarenhas, na Gávea – pode ser igualmente explicada em números (O GLOBO, 2019).

Pode-se dizer que o colapso da estrutura se trata de um reflexo da redução no orçamento para manutenção dos túneis, passarelas, viadutos e pontes. No ano de 2019, foram investidos somente R\$ 439 mil em manutenção. A dotação proposta a recuperação e construção se encontra zerada, pois, o orçamento, que era de R\$ 11,5

milhões, foi contingenciado (DIÁRIO DO RIO, 2019).

Conforme um levantamento realizado pelo gabinete da vereadora Teresa Bergher, no sistema FINCON (de execução orçamentária) e nos prestamentos de contas da prefeitura, analisa-se que a prefeitura acaba colocando a vida da população em risco deixando de lado ações importantes para a cidade (O GLOBO, 2019).

De acordo com este citado levantamento, na manutenção (serviços para conservar o conforto e a segurança) de túneis, passarelas, viadutos e pontes, o orçamento foi reduzido drasticamente. No ano de 2013, foram aplicados R\$ 8,7 milhões. Já em 2019, foram liquidados (autorização para pagar) R\$ 1,18 milhão para quitar estas contas (DIÁRIO DO RIO, 2019).

Portanto, se mostra preocupante a situação orçamentária para manutenção preventiva e corretiva dos túneis do município do Rio de Janeiro. O ano de 2019 já se trata do ano de menor investimento em manutenção estrutural dos túneis, como mostra a Tabela 1. Do orçamento de R\$ 505 mil previsto para o ano de 2019, a Prefeitura liquidou R\$ 439 mil (DIÁRIO DO RIO, 2019).

Tabela 1 - Situação orçamentária para manutenção preventiva e corretiva dos túneis do município do Rio de Janeiro, 2009-2019

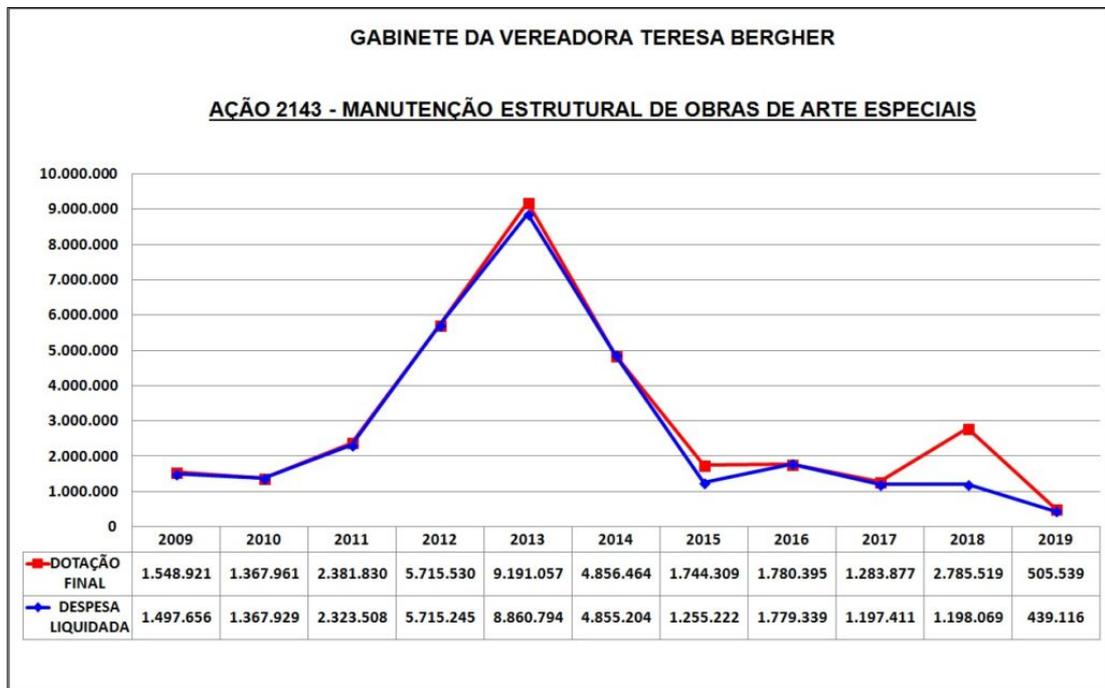
GABINETE DA VEREADORA TERESA BERGHER					
Ação 2143 - MANUTENÇÃO ESTRUTURAL DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS					
Tipo: Atividade					
Objetivo Específico: Manter as condições de conforto e segurança das obras-de-arte especiais (viadutos, pontes, passarelas e túneis) da cidade do Rio de Janeiro.					
<small>Em R\$ constantes</small>					
ANO	DOTAÇÃO INICIAL	DOTAÇÃO FINAL	VARIAÇÃO ENTRE AS DOTAÇÕES	DESPESA LIQUIDADADA	VAR. ANUAL DA LIQUIDAÇÃO
2009	2.630.551	1.548.921	-1.081.630	1.497.656	-
2010	2.063.605	1.367.961	-695.644	1.367.929	-129.727
2011	2.021.182	2.381.830	360.649	2.323.508	955.580
2012	15.552.086	5.715.530	-9.836.556	5.715.245	3.391.736
2013	8.307.674	9.191.057	883.383	8.860.794	3.145.549
2014	4.856.464	4.856.464	0	4.855.204	-4.005.590
2015	6.463.570	1.744.309	-4.719.260	1.255.222	-3.599.982
2016	1.780.395	1.780.395	0	1.779.339	524.116
2017	1.711.836	1.283.877	-427.959	1.197.411	-581.927
2018	1.229.872	2.785.519	1.555.647	1.198.069	658
2019	653.837	505.539	-148.298	439.116	-758.953

FONTE: PRESTAÇÕES DE CONTAS 2009 a 2018 e FINCON .
Atualização pelo IPCA-E de junho/2019.

Fonte: Diário do Rio (2019)

A título de comparação, a Prefeitura do Rio, no período de 2009-2016, investiu em média R\$ 3,4 milhões, enquanto que, no período de 2017-2020, sustentou uma média em R\$ 1,2 milhão – representando um corte de 65% nesse tipo de atividade. Portanto, R\$ 2,2 milhões a menos em despesas com manutenção. A baixa execução de 2019 diminuiu ainda mais a média de gastos da gestão atual, como mostra a Figura 13 (DIÁRIO DO RIO, 2019).

Figura 18 - Comparação da média de gastos com manutenção de túneis no Rio de Janeiro



Fonte: Diário do Rio (2019)

Assim, para a construção e recuperação das obras, observa-se no gráfico acima que o período de 2017-2020 saiu de uma execução zerada no ano de 2018 para investir, até o momento, R\$ 3,6 milhões. Todavia, os números ficam bem abaixo do período anterior (DIÁRIO DO RIO, 2019).

4.3. A Gestão Municipal na Manutenção Preventiva e Corretiva dos Túneis do Município do Rio de Janeiro

A Coordenadoria de Vias Urbanas é responsável por controlar e operar os serviços de conservação e manutenção da pavimentação asfáltica e em concreto, e do sistema de drenagem em vias expressas e vias especiais do município, tais como a Avenida Brasil, Linha Vermelha, Autoestrada Lagoa Barra, Estrada Grajaú-Jacarepaguá, os corredores TransCarioca e TransOeste, além dos túneis municipais. Deste modo, o planejamento dos trabalhos ocorre através de três gerências principais, a saber: Gerência de Vias Especiais; Gerência da TransOeste; Gerência da TransCarioca (PREFEITURA DO RIO, 2020).

Gerência de Vias Especiais: atende aos corredores expressos e especiais da

cidade, como avenidas Brasil e Niemeyer, Linha Vermelha, Estrada Grajaú-Jacarepaguá e túneis da cidade. Dentre os serviços realizados, se encontram a recuperação da pavimentação asfáltica, manutenção e reparos do sistema de drenagem, recuperação de muretas e defensas metálicas (PREFEITURA DO RIO, 2020).

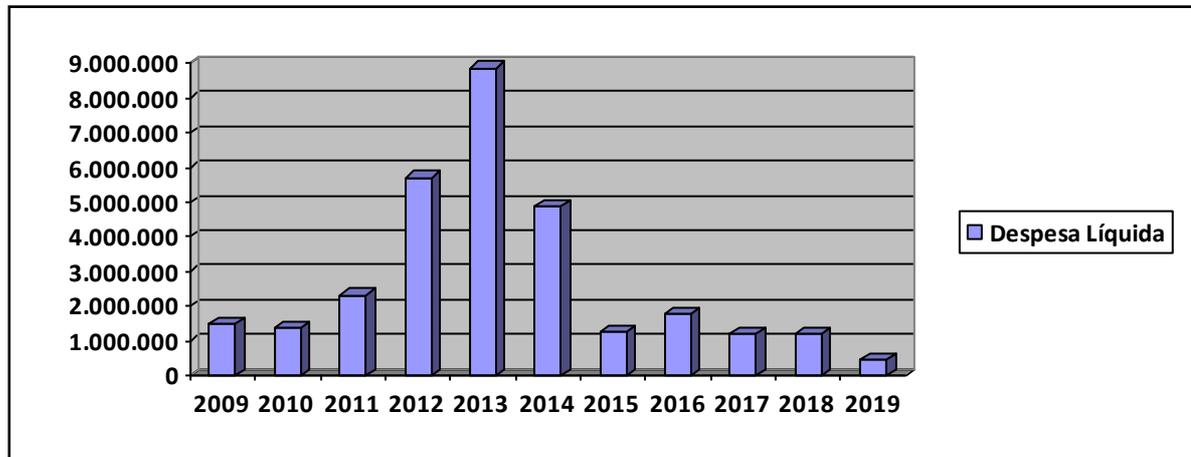
Gerência da TransOeste: atende aos 30 km de extensão aproximadamente com serviços de recuperação de trechos da pavimentação asfáltica e em concreto, limpeza mecânica e manual do sistema de drenagem. Executa também a monitoração através de câmeras no túnel vice-presidente José Alencar, na Grota Funda, para realização de serviços de manutenção e conservação. Dentre eles, tem-se pintura e substituição de placas cimentícias, manutenção da iluminação e das quarenta e oito câmeras do túnel (PREFEITURA DO RIO, 2020).

Gerência da TransCarioca: atende aos 40 km aproximadamente da via com serviços de recuperação de trechos da pavimentação asfáltica e em concreto, limpeza mecânica e manual do sistema de drenagem e reposição e restauração de grades de segurança para pedestres que ficam no transcorrer da via (PREFEITURA DO RIO, 2020).

A Concessionária Porto Novo devolve a gestão dos túneis Marcello Alencar e Rio450 para a prefeitura. Os dois túneis são tidos como eixos essenciais de mobilidade urbana como alternativa para se chegar ao Centro da cidade através do Aterro do Flamengo (Marcello Alencar) e para a integração dos bairros do Centro e da Saúde (Rio450) (PREFEITURA DO RIO, 2020).

Sendo assim, na questão do orçamento, observa-se que as despesas com manutenção de túneis caíram de maneira drástica, de 1.198, 069, em 2018, para 439.116, em 2019. A Figura 15 apresenta um gráfico com a comparação de gastos em números no transcorrer do tempo.

Figura 10 - Comparação de gastos com manutenção de túneis no Rio de Janeiro (2009-2019)



Fonte: Próprio autor (2021)

Com o gráfico acima, observa-se que o maior gasto se deu no ano de 2013. Deste modo, analisando o real estado de conservação dos túneis na área geográfica da cidade do Rio de Janeiro, relacionando com o orçamento disponibilizado para a Secretaria de Infraestrutura e Habitação do município e com a abertura de processo licitatório pelo município para a manutenção preventiva e corretiva dos túneis nos últimos dez anos. Portanto, desde o ano de 2014, os gastos vêm caindo drasticamente. Isto mostra que a prefeitura do Rio coloca a vida das pessoas em risco, quando deixa de lado ações fundamentais para a cidade.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Concluiu-se que, quando há uma forte necessidade de implementação de sistemas de manutenção em obras de qualquer nível ou tipo de uso, no caso de obras públicas, sobretudo em túneis, a questão da manutenção se mostra de suma importância. Primeiramente, porque tem-se uma ampla circulação de usuários, que induz a uma deterioração natural do equipamento e, considerando que são estruturas fechadas, submetidas a intensas ações agressivas tais como infiltrações, subpressões, dentre outras ações, este sistema de prevenção passa a ser ainda mais essencial.

Portanto, sistemas como túneis precisam de um plano de manutenção com uma gestão bem qualificada para impedir danos maiores e com proporções quase sempre desastrosas, podendo paralisar uma cidade inteira, como visto nos casos apresentados do Túnel Acústico e Rebouças.

Assim, frente a situação atual dos túneis municipais do Rio de Janeiro, cujas manifestações patológicas já vem dificultando e até mesmo impedindo em algumas condições o fluxo de automóveis com sérias conseqüências na rotina dos usuários destes equipamentos, torna-se imprescindível que haja a implementação de um sistema de manutenção, de maneira a admitir a programação de todas as ações de prevenção e correção imprescindíveis ao bom funcionamento dos mesmos.

De tal modo, este sistema pode vir a admitir a tomada de decisões céleres e eficientes em informações técnicas fundamentadas em inspeções feitas por profissionais especializados e devidamente habilitados. As inspeções cotidianas poderão ser feitas simplesmente de maneira visual, sem a necessidade de instrumentos, entretanto, em algumas circunstâncias, tornam-se imprescindíveis análises mais aprofundadas que podem sugerir a concretização de ensaios de laboratório e em medições de equipamentos mais complexos, dependendo da seriedade detectada.

Por fim, foi possível concluir que a melhor forma de impedir um estado patológico é a prevenção e programa de conservação. Com isto, é possível dizer que a manutenção preventiva é provocada não somente por um projeto correto ou por uma implantação conforme os parâmetros de qualidade, entretanto, igualmente por um programa de manutenção estrutural.

Ademais, como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se estudos que possam trazer e discutir soluções viáveis para pontes aquáticas que apresentam problemas referentes a substituição de estruturas danificadas por novas pontes, para assim atuar de forma veloz e competente na implantação de tais estruturas. Além do mais, uma vez que o número de túneis na cidade aumenta consideravelmente no decorrer das décadas, um maior investimento deve também ser dedicado a essas vias.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5462:1994. **Define os termos relacionados com a confiabilidade e manutenibilidade.** Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=4086>>. Acessado em 20 de agosto de 2021.

AEC WEB. **Bons ventos para a construção civil e o mercado imobiliário.** 2019. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/a/bons-ventos-para-a-construcao-civil-e-o-mercado-imobiliario_18965>. Acessado em 20 de agosto de 2021.

AH AVENTURAS NA HISTÓRIA. **Túnel localizado na ilha de Samos, na Grécia.** 2015. Disponível em: <<https://aventurasnahistoria.uol.com.br/noticias/historia-hoje/arqueologa-descobre-influencia-de-pitagoras-em-aquedutos-antigos-na-grecia.phtml>>. Acessado em 20 de agosto de 2021.

ARCHDAILY. **Cloaca Massima.** 2014. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/926381/o-que-a-roma-antiga-tem-para-ensinar-as-metropoles-brasileiras/5da0d8cb3312fd498d000112-o-que-a-roma-antiga-tem-para-ensinar-as-metropoles-brasileiras-imagem>>. Acessado em 20 de agosto de 2021.

BANDEIRA, A. A. **Indicadores de Desempenho: Instrumento à Produtividade Organizacional.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

BERNARDES, M. **Desenvolvimento de um Modelo de Planejamento da Produção para Empresas de Construção de Micro e Pequeno Porte.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Tese de doutorado, 2011.

BRANCO FILHO, G. **A Organização o Planejamento e o Controle da Manutenção.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna LTDA., 2008.

CARVALHO, G. **Máquinas elétricas.** São Paulo: Érica, 2007.

CARVALHO, N. **Túneis do Brasil – Túneis Rodoviários.** Comitê Brasileiro de Túneis. DBA Editora. Rio de Janeiro. Brasil. 2006.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **CBIC discute futuro da construção e reitera importância da inovação e da tecnologia durante Construsummit 2018.** 2019. Disponível em: <<https://cbic.org.br/cbic-discute-futuro-da-construcao-e-reitera-importancia-da-inovacao-e-da-tecnologia-durante-construsummit-2018/>>. Acessado em 20 de agosto de 2021.

CELESTINO, T. B. **Túneis do Brasil – Apresentação.** Comitê Brasileiro de Túneis. DBA Editora. Rio de Janeiro. Brasil. 2006.

COSTA, M de A. **Gestão estratégica da Manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional.** Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais, 2013.
CRESPO, S; LA ROVERE, A. L. N. (Coord.) **Projeto Geo Cidades: relatório**

ambiental urbano integrado. Informe GEO: Rio de Janeiro: Consórcio Parceria 21, 2002.

DIÁRIO DO RIO. **A situação de abandono das passagens subterrâneas de Botafogo.** 2017. Disponível em: <<https://diariodorio.com/situacao-de-abandono-das-passagens-subterraneas-de-botafogo/>>. Acessado em 20 de agosto de 2021.

DIÁRIO DO RIO. **Em 10 anos, 2019 é o menor investimento em manutenção de viadutos e túneis.** 2019. Disponível em: <<https://diariodorio.com/em-10-anos-2019-e-o-menor-investimento-em-manutencao-de-viadutos-pontes-passarelas-e-tuneis/>>. Acessado em 20 de agosto de 2021.

DOMINGUES, V. R. **Técnicas Construtivas de Túneis de Travessia.** Dissertação de Mestrado – Curso de Engenharia Civil – Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

DURAZZO, F. **Túneis do Brasil – Obras Subterrâneas para Saneamento da Grande São Paulo.** Comitê Brasileiro de Túneis. DBA Editora. Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

FOÁ, S. B; ASSIS, A. **Concreto Projetado Para Túneis – Apostila Complementar Ao Curso De Obras Subterrâneas.** Brasília: Universidade de Brasília, 2002.

FOLHA DE S. PAULO. **Deslizamento de terra interdita o Túnel Rebouças.** 2007. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u339697.shtml>>. Acessado em 20 de agosto de 2021.

FREITAS, S. B. N. **Caracterização Geomecânica e Classificações RMR (Bieniawski) e SMR (Romana) de Maciços Rochosos em Taludes do Funchal.** Dissertação de Mestrado – Curso de Engenharia Civil – Universidade da Madeira. Funchal, 2011.

G1 NOTÍCIAS. **Túnel Acústico, na Zona Sul do Rio, é fechado após estrutura de concreto desabar sobre ônibus.** 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2019/05/17/tunel-acustico-e-fechado-nos-dois-sentidos.ghtml>>. Acessado em 20 de agosto de 2021.

GERALDI, J. L. P. **O ABC das Escavações de Rocha.** Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2007.

GOMES, B. M. C. **Análise de Risco e Segurança na Construção de Túneis.** 2009. Dissertação de Mestrado – Curso de Engenharia Civil, ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2009.

GOMES, B. M. C. **Análise de Risco e Segurança na Construção de Túneis.** Dissertação de Mestrado – Curso de Engenharia Civil, ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2009.

JIDAYI, Y. M. **Reliability improvement of railway infrastructure.** Stellenbosch:

Engineering Management, Faculty of Engineering. Stellenbosch University, 2015.
KARDEC, A; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.

LEÃO, M. S. **A Human Factors Perspective Towards Functional Hazard Assessment in Aircraft Systems Safety**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial. São José dos Campos. São Paulo, 2012.

MACÊDO, F. B. **Estudo dos desgastes de trilhos ferroviários. Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Juiz de Fora**. Juiz de Fora, 2009.

MELO, J. R. C. **A Contribuição de Saturnino de Brito para o Urbanismo e Saneamento de João Pessoa-PB**. Centros Morte e Vida dos Centros Urbanos. Bahia. Brasil. 2016.

MENEGUZ, B. K. **Estudo da aplicação da técnica jet-grouting em obras de escavação de túneis pelo método NATM**. Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Santa Catarina, 2021.

MOREIRA, C. M. da C. **Túneis, Uma Herança Ancestral Rumo ao Futuro**. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra. Portugal. 2006.

MOTA, I. M. **Análise dos Critérios de Projeto e Comportamento de Túneis de Pressão**. Instituto de Tecnologia. Universidade de Brasília. Brasília, Brasil, 2009.

NAGAI, F. H; BATISTA, G. B; DAGNONI, V. **Estudo de caso da aplicação do planejamento e controle da manutenção em uma planta de envase Arla 32**. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação – Curso de Engenharia Elétrica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

NASCIF, J; DORIGO, L. C. **Manutenção Orientada Para Resultados**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.

NORONHA, M; FARIA, P; PIERRI, L; SANTOS, R; PACHECO L. **Conception and Design of a Rock TBM**. BraBo Tecnologia Inc., Florianópolis. Brazil, 2013.

O GLOBO. **Moradores e frequentadores da Barra traçam estratégias para circular por locais que sempre alagam em dia de temporal**. 2019. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/bairros/moradores-frequentadores-da-barra-tracam-estrategias-para-circular-por-locais-que-sempre-alagam-em-dia-de-temporal-23607249>>. Acessado em 20 de agosto de 2021.

O GLOBO. **Orçamento da Prefeitura para investimentos em túneis, viadutos e pontes está zerado**. 2019. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/orcamento-da-prefeitura-para-investimentos-em-tuneis-viadutos-pontes-esta-zerado-23675932>>. Acessado em 20 de agosto de 2021.

O GLOBO. **Trecho de Túnel da Grota Funda terá que passar por reforços**

estruturais. 2013. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/trecho-de-tunel-da-grota-funda-tera-que-passar-por-reforc-os-estruturais-7262727>>. Acessado em 20 de agosto de 2021.

OLIVEIRA, C. R. I. **Um estudo sobre a medição de desempenho organizacional nas concessionárias de veículos automotores localizadas na região metropolitana do Recife**. Dissertação de Mestrado em Ciências Contábeis – Programa Multiinstitucional e Inter-Regional de Pós-Graduação em Ciências Contábeis. Recife. 2006.

OTANI, M; MACHADO, W. V. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial; vol. 4, n. 2, 2008.

PEREIRA, M. J. **Técnicas Avançadas de Manutenção**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Ciência Moderna, 2010.

PERES, C. R. C; LIMA G. B. A. **Proposta de modelo para controle de custos de manutenção com enfoque na aplicação de indicadores balanceados**. São Paulo: Gestão da Produção São Carlos, 2008.

PIERRI, L. **Desenvolvimento conceitual de uma técnica para escavação de microtúneis em solo**. Universidade federal de Santa Catarina, 2018.

PORTO MARAVILHA. **Rotina de fechamento dos túneis Marcello Alencar e Rio450 muda para manutenção periódica**. 2019. Disponível em: <<https://portomaravilha.com.br/noticiasdetalhe/5045-rotina-de-fechamento-dos-tuneis-marcello-alencar-e-rio450-muda-para-manutencao-periodica>>. Acessado em 01 de dezembro de 2021.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. Relação dos túneis da cidade do Rio de Janeiro. 2021. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/148014/DLFE-4266.pdf/tuneis.pdf>>. Acessado em 20 de agosto de 2021.

PREFEITURA DO RIO. **Cem dias: Infraestrutura investe em grandes obras e serviços como a instalação de mais de 15 mil luminárias de Led na cidade**. 2020. Disponível em: <<https://prefeitura.rio/cidade/cem-dias-infraestrutura-investe-em-grandes-obras-e-servicos-como-a-instalacao-de-mais-de-15-mil-luminarias-de-led-na-cidade/>>. Acessado em 20 de agosto de 2021.

ROCHA, H. C; KENZO, H. **Túneis do Brasil – Túneis Metroferroviários**. Comitê Brasileiro de Túneis. DBA Editora. Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

ROCHA, M. de O. **Estudo da Estabilidade da Frente de Escavação em Túneis Rasos em Solo**. Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais. Brasil. 2014.

SANTOS, R. **Um conceito de tuneladora com jato de água e fio diamantado como princípio de corte de rochas brandas**. Universidade federal de Santa Catarina, 2017.

SILVA, E. **Percepção do Risco e Cultura de Segurança. O Caso Aeroportuário**.

Coimbra, FEUC, 2010.

SIQUEIRA, I. P de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SOS GIS BR. **Mapeamento da Cobertura Vegetal e Uso da Terra no Município do Rio de Janeiro**. 2012. Disponível em: <https://sosgisbr.com/2012/09/11/mapeamento-da-cobertura-vegetal-e-uso-da-terra-no-municipio-do-rio-de-janeiro/>. Acessado em 22 de janeiro de 2022.

SOUZA, J. B. **Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP): Uma abordagem Analítica**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campus Ponta Grossa, 2008.

VIANA, R. G. H. **PCM, planejamento e controle de manutenção**. São Paulo, Qualitymark, 2002.

VIDAL, F. W. H; AZEVEDO, H; CASTRO, N. F. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**: CETEM/MCTI, 2013.

ANEXO I - RELAÇÃO DOS TÚNEIS DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

	Nome	Localização	Extensão (metros)	Inauguração
1	Túnel da Rua Alice	Morro dos Prazeres	220	1887
2	Túnel Alaor Prata	Morro da Saudade	182	1892
3	Túnel João Ricardo	Morro da Providência	293	1921
4	Túnel Engenheiro Marques Porto	Avenida Lauro Sodré - Avenida Princesa Isabel	250	1943
5	Túnel do Pasmado	Avenida das Nações Unidas-Avenida Lauro Sodré	220	1952
6	Túnel Sá Freire Alvim	Morro do Cantagalo	326	1960
7	Túnel Major Rubens Vaz	Rua Tonelero - Rua Pompeu Loureiro	220	1963
8	Túnel Santa Bárbara	Morro da Nova Cintra	1357	1964
9	Túnel Rebouças	Lagoa/Cosme Velho	2040	1967
		Cosme Velho/Rio Comprido	760	1967
10	Túnel Acústico Rafael Mascarenhas	Avenida Padre Leonel França - Túnel Dois Irmãos	455	1971
11	Túnel Zuzu Angel	Autoestrada Lagoa-Barra	1522	1971
12	Túnel de São Conrado	Elevado das Bandeiras - Avenida Ministro Ivan Lins	260	1971
13	Túnel do Joá	Elevado das Bandeiras - Ponte da Joatinga	426	1971
14	Túnel Martim de Sá	Morro de Santa Teresa	350	1977
15	Túnel Noel Rosa	Serra do Engenho Novo	1187	1978
16	Túnel Engenheiro Raimundo de Paula Soares	Linha Amarela	2197	1997
17	Túnel Engenheiro Enaldo Cravo Peixoto	Linha Amarela	158	1997
18	Túnel Geólogo Enzo Totis	Linha Amarela	266	1997
19	Túnel José Alencar	TransOeste	1100	2012
20	Mergulhão Clara Nunes	Campinho	400	2012
21	Mergulhão Billy Blanco	Barra da Tijuca	670	2012
22	Túnel da Saúde	Via Binário do Porto	80	2013
23	Túnel Rio450	Via Binário do Porto	1480	2015

	Nome	Localização	Extensão (metros)	Inauguração
24	Túnel Engenheiro Paulo César Marcellino Figueira	Elevado do Joá	405	2016
25	Túnel Engenheiro Luiz Jacques de Moraes		205	2016
26	Túnel Prefeito Marcello Alencar	Porto Maravilha	3370	2016
			3382	
27	Túnel Senador Nelson Carneiro	TransOlimpica	1400	2016
28	Túnel Cauby Peixoto	TransOlimpica	190	2016
29	Túnel Ferroviário da Gamboa	Gamboa	315	2017
30	Passagem subterrânea de Botafogo	Botafogo	-----	1953
31	Passagem inferior da Suíça Carioca	Entre túnel da Covanca e ETR Pau Ferro	130	1997

Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro/ Secretaria de Infraestrutura e Obras do RJ/Data