

OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE INSPEÇÃO EM MONITORAMENTO PARA TÚNEIS EM ROCHA

Optimization of inspection procedures and monitoring for tunnel in rock

Patrício José Moreira Pires*

Dayanne Severiano Meneguete**

Naycou Giovani de Paula Salgado***

Artigo recebido e aprovado em maio de 2016

Resumo: Esta é uma pesquisa de embasamento teórico, sobre aspectos de inspeção e monitoramento de túneis. O objetivo central é apresentar um Check List de inspeção, para aplicação em túneis de rocha, com e sem revestimento. Para a elaboração desse documento, os principais elementos utilizados como parâmetros são fundamentados na mecânica das rochas. Além disso, associado a este Check List, tem-se a denominada matriz de risco, que faz relação entre a frequência e a severidade das patologias que os túneis apresentam. Essa matriz, funcionará como um guia para indicar que tipo de risco o túnel apresenta, e dessa forma, relacionar se tal túnel necessitará de uma manutenção imediata. O Check List foi aplicado em dois túneis que compõem a Estrada de Ferro Vitória Minas: o Túnel Contorno Nova Era e o Túnel Sabará, que serão os objetos deste estudo.

Palavras-chave: Túneis. Inspeção. Monitoramento. Check List.

Abstract: This is a theoretical background research on inspection and monitoring aspects of tunnels. The main objective is to present a Check List inspection for application in rock tunnels, coated and uncoated. In drawing up this document, the main data used as parameters are based on rock mechanics. In addition, associated with this check list has been called the risk matrix, which makes the relationship between the frequency and severity of conditions which present the tunnels. This array will act as a guide to indicate what kind of risk the tunnel presents, and thus relate to such tunnel will require immediate maintenance. The Check List was applied in two tunnels that make up the railroad Vitória Minas: the Tunnel Contorno Nova Era and the Tunnel Sabará, which will be the objects this study.

Keywords: Tunnels. Inspection. Monitoring. Check List.

* Doutor em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, (PUC-Rio); Professor Adjunto da Universidade Federal do Espírito Santo, (UFES).

E-mail: patrico.pires@gmail.com

** Mestranda em Geotecnica (UFES); Engenheira Civil (UFES), Coordenadora e Docente em Engenharia Civil (FASB). E-mail: daysmeneguete@gmail.com

*** Pós Graduando em Docência Superior (ECOLE), Engenheiro Civil (UFES), Perito em Engenharia (IBAPE-ES). E-mail: naycou@gmail.com

Introdução

Desde os primórdios, os túneis já fazem parte da engenharia que constitui a humanidade. Inicialmente utilizados como refúgios ou residências pelas pessoas, hoje são um dos principais elementos que compõem as grandes obras da engenharia, denominados como Obras de Artes Especiais.

Normalmente, a utilização dos túneis é feita para transposição de obstáculos, ou seja, em áreas densamente urbanizadas, elevações (serras, montanhas), pontos onde acontecem comumente sua aplicação. O objetivo da aplicação dos túneis é proporcionar menor impacto à superfície e reduzir o volume de desapropriações, com a consequente eliminação das interrupções de tráfego e promoção de preservação do patrimônio histórico, por exemplo. Destaca-se, no entanto, que devido à complexidade dos túneis, é necessária a manutenção constante e de forma bem estruturada, haja vista, que a deficiência nesse aspecto poderá desencadear diversas patologias que irão interferir na funcionalidade do túnel.

Dessa forma, a presente pesquisa permitiu a elaboração de um Check List de Inspeção, que irá relacionar as possíveis patologias da estrutura, a um nível de gravidade e frequência. Assim, será possível identificar as principais formas de detectar problemas na estrutura dos túneis e, consequentemente, determinar as ações mais viáveis para a solução dos respectivos problemas, ou seja, o tipo de manutenção que deverá ser realizada na estrutura do túnel.

No geral, o objetivo imediato da presente pesquisa foi a elaboração de um estudo teórico, contendo breve histórico sobre os aspectos, monitoramento e manutenção de túneis em rocha, associado ao estudo geológico-estrutural sobre a mecânica das rochas. E a finalidade de tais assuntos é atingir o objetivo principal/imediato, qual seja, identificar as principais formas de detectar problemas na estrutura dos túneis e, consequentemente, determinar as ações mais viáveis para a solução dos respectivos problemas, ou seja, o tipo de manutenção que deverá ser realizada na estrutura do túnel.

Diante disso, para atingir tais objetivos a metodologia adotada para a pesquisa pode ser dividida em duas: a primeira caracterizada por uma pesquisa bibliográfica para fundamentar todos os assuntos necessários à elaboração do Check List, e a segunda por uma pesquisa explicativa, para esclarecer o funcionamento da ferramenta e quais dados e resultados ela poderá fornecer.

Logo, para a concepção do trabalho foram dadas ênfases em alguns itens considerados de maior relevância para o estudo em questão, quais sejam, identificação dos principais processos de inspeção e monitoramento de túneis e principalmente sobre o comportamento das rochas. Os autores utilizados como base para o estudo bibliográfico primordiais foram Bieniawski e Chiossi, estudiosos sobre a mecânica das rochas, e Futai, que apresentou os parâmetros dos túneis utilizados como base para aplicação do Check List.

Por fim, após elaborar o Check List de inspeção para túneis revestidos e não revestidos, para identificar as patologias e tipos de manutenção, este docu-

mento foi testado efetivamente com sua aplicação em dois túneis não revestidos da Estrada de Ferro Vitória-Minas, que está atualmente sob concessão da Mineradora Vale S.A.

Revisão de Literatura

A Mecânica das Rochas é a ciência/matéria/ramo que estuda os comportamentos e propriedades dos maciços rochosos em suas inúmeras solicitações/formas/estados, como tensões ou as modificações das suas condições iniciais.

De acordo com Chiossi (2013), no estudo de estruturas rochosas são encontrados diversos problemas, como por exemplo, as descontinuidades das rochas – presença de zonas de baixa resistência no maciço – alteração/degradação rápida de alguns tipos litológicos e as tensões existentes nos maciços e seus relaxamentos. Outro aspecto que exerce grande influência no comportamento dos maciços rochosos, é o ângulo de mergulho das rochas.

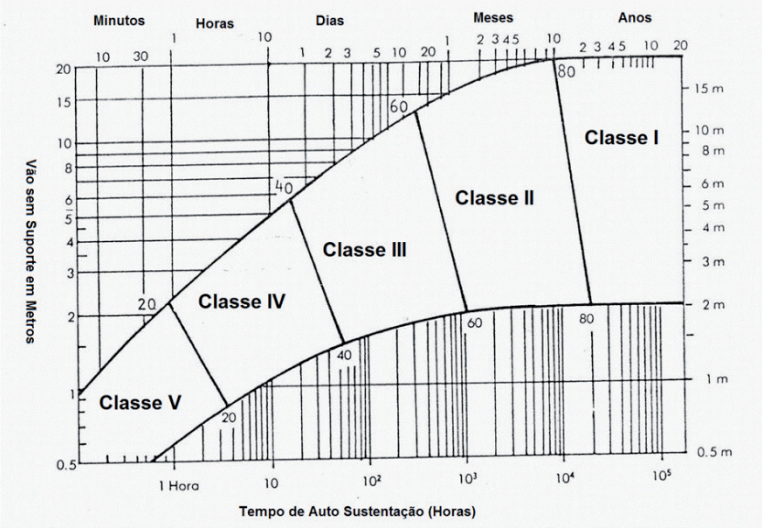
Sendo que tais situações são comuns em túneis ferroviários sem revestimento, pois a ausência desse revestimento facilita o deslocamento do maciço e, com isso, o desprendimento de alguns elementos rochosos (AZEVEDO; MARQUES, 2002).

Para se realizar o estudo de uma estrutura como o Túnel é importante definir inicialmente sua classificação geológica. Esse tipo de classificação é fundamental para a posterior definição das características do túnel estudado, dos possíveis problemas e das respectivas soluções para resolvê-los. A classificação geológica é a base para se definir as características básicas do maciço.

Nesse íterim, à realização das classificações geomecânicas dos maciços rochosos através das propriedades previamente identificadas, seja por observação direta, ensaios in situ ou em amostras recolhidas por sondagens, deve-se considerar que existem dois sistemas de classificação mais utilizadas: o “Sistema de RMR”, que consiste na classificação de Bieniawski, e o “Sistema Q”, que é a classificação segundo Barton (1974).

Bieniawski (1973) utilizou a atribuição de pesos aos parâmetros de classificação geomecânica, parâmetros esses que são: a resistência à compressão uniaxial, o RQD, o espaçamento das descontinuidades, a condição das descontinuidades, a influência da água e a orientação das descontinuidades, de forma a criar uma tabela de classificação de maciços rochosos, que é capaz de classificar o material quanto a sua resistência e a relação entre o vão Livre e o tempo de auto sustentação do túnel, como mostra a Figura 1.

Figura 1: Relação entre o Vão Livre e o Tempo de Autossustentação



Fonte: Bieniawski (1973)

Com a união de todos esses parâmetros, Chiossi, (2013), desenvolveu-se a Tabela 1, que classifica o maciço de acordo com a qualidade da rocha, o tempo de auto sustentação, *Stand-up-time*, a coesão e o ângulo de atrito do maciço.

Tabela 1: Classe dos Maciços Rochosos RMR (1989)

Peso Global	100-81	80-61	60-41	40-21	<21
Classe	I	II	III	IV	V
Descrição	Maciço Rochoso Muito Bom	Maciço Rochoso Bom	Maciço Rochoso Razoável	Maciço Rochoso Fraco	Maciço Rochoso Muito Fraco
Tempo médio para aguentar sem suporte	20 anos para 15 metros de vão	1 ano para 10 metros de vão	1 semana para 5 metros de vão	10 horas para 2,5 metros de vão	30 minutos para 1 metro de vão
Coesão da Massa Rochosa (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Ângulo de Atrito da Massa Rochosa (φ)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

Fonte: Chiossi (2013)

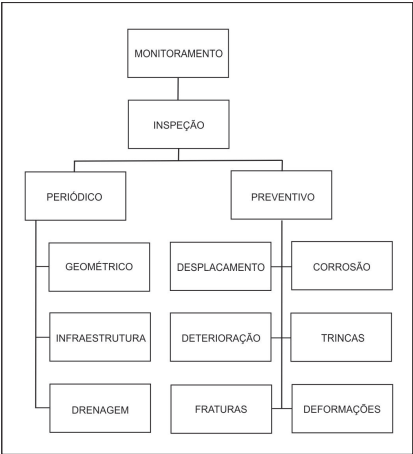
As características apresentadas na Tabela 1, são de fundamental importância para entender o comportamento do maciço, quais suas principais fragilidades e como este irá se comportar durante uma escavação para construção de um túnel, por exemplo.

Materiais e Métodos

Os túneis são estruturas inseridas sob maciços de solo e rocha, que sofrem movimentações e alterações devido à ação da natureza e sua própria acomodação. Deste modo, sua estrutura é delicada, sendo que a redistribuição das tensões pode comprometer seu equilíbrio.

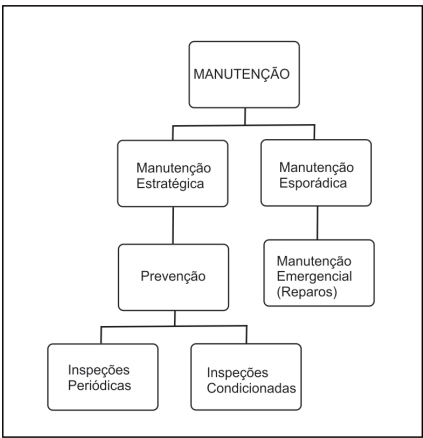
O monitoramento de um túnel, ou qualquer obra de engenharia, terá por objetivo prever sinistros que venham a colocar em risco os usuários, a operação e o estado físico da estrutura. Dessa forma, tem-se que o monitoramento deverá ser realizado por meio de estratégias de inspeções, para dessa forma, se identificar os principais aspectos a serem observados. Diante de tais aspectos, a presente pesquisa propôs um fluxograma sobre estratégias de monitoramento, representado na Figura 2, que foi utilizado como base para a confecção dos produtos finais deste trabalho que são: o Check List de Inspeção e a Matriz de Riscos, apresentadas no próximo capítulo.

Figura 2: Estratégias de Monitoramento



Fonte: Dados primários da pesquisa (2013)

Figura 3: Critérios para Manutenção da Estrutura



Fonte: Dados primários da pesquisa (2013)

O fluxograma, juntamente com os parâmetros propostos por Chiossi, servirão como base para a confecção do Check List de Inspeção. Estes funcionarão como uma planilha automatizada que será capaz de fazer a relação entre a patologia apresentada pelo túnel e o seu grau de severidade. O produto de tal análise será um direcionamento quanto a qual tipo de manutenção deverá ser aplicada a estrutura, Figura 3.

Como base neste fluxograma, pode-se verificar dois tipos gerais de manutenção, a manutenção estratégica, que se enquadram as manutenções do tipo preventiva, que de acordo com (Lessa e Oliveira, 2010), é a manutenção executada em intervalos de tempo predefinidos baseados nos levantamentos realizados através dos monitoramentos e inspeções, e a manutenção corretiva que pode ser entendida como uma manutenção que deve ser realizada em curto espaço de tempo, mas ainda tem um tempo de ser programada.

Além dessas manutenções, tem-se a manutenção esporádica, que é a manutenção do tipo emergencial, ou seja, devem ser executadas imediatamente, sem prazos para serem planejadas e/ou programadas. Logo, de posse de todos esses dados e parâmetros, e com o auxílio computacional da ferramenta Excel, foi possível confeccionar o Check List para inspeção, que será descrito, explicado e aplicado no próximo capítulo.

Para a aplicação do Check List, serão utilizados dois túneis ferroviários, sendo que estes túneis estão localizados na Estrada de Ferro Vitória Minas. As características geológicas dos dois túneis foram evidenciadas por Futai et al. (2011), que descreve o túnel 1, Túnel do Contorno Nova, cuja composição estrutural apresenta diversos maciços diferentes. Sua maior composição é de Gnaiss Anfíbolítico de classe I e II, pouco a medianamente fraturado, com cobertura rochosa variando de 50 a 100 metros, já o túnel 2, Túnel do Sabará, é constituído por um filito escuro cuja coloração é devida, ao alto teor de grafita e a metagrauvacas que é uma rocha metassedimentar formada por fragmentos de outras rochas.

Resultado e Discussão

Com base nestes parâmetros, foi possível elaborar o Check List de inspeção para túneis em rochas, objetivo desta pesquisa. É importante ressaltar que, este, leva em consideração se o túnel possui revestimento já que, as patologias que possam ocorrer em túneis com e sem revestimento, são diferentes, como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1: Parâmetros utilizados no Check List

Túneis Revestidos	Túneis Não Revestidos
Fratura	Fissura
Choco	Desplacamento
Deformações	
Flecha	
Infiltração	
Percolação D'Água	
Problemas de Drenagem	
Presença de Fungos e Outros Microrganismos	
Estalactites	Eflorescências
Integridade do Sistema de Ventilação	
Integridade da Instalação Elétrica	

Fonte: Dados primários da pesquisa (2013)

O principal foco do Check List proposto, é direcionar e otimizar as inspeções de túneis em campos. Para tanto, todos os elementos relacionados no documento, funcionam relacionados a uma espécie de peso, ou seja, quanto maior a gravidade, maior o peso, e da mesma forma a frequência.

O primeiro aspecto, que foi considerado como parâmetro para o Check List, é a classe do maciço que compõe o túnel, essa é obtida com base no

O Check List, Figura 4, apresenta elementos como características da obra e local da inspeção. Além disso, como se trata de uma ferramenta digital, será possível sempre ter um banco de dados, ou seja, históricos anteriores, e assim, ter um monitoramento mais preciso do túnel.

Check List de Inspeção

1. Identificação	
1.1	Trecho
1.2	Subtrecho
1.3	Quilômetro
1.4	Denominação
1.5	Data da Inspeção
1.6	Engenheiro Responsável pela Inspeção

2. Informações Gerais	
2.1	Projetista
2.2	Construtora
2.3	Data de Conclusão da Obra
2.4	Método Construtivo

3. Características da Obra	
3.1	Comprimento Total (metros)
3.2	Largura (metros)
3.3	Traçado em Planta
3.4	Altura (metros)
3.5	Profundidade (metros)

4. Superestrutura	
4.1	Classificação do Maciço
4.2	Revestimento
4.3	Fratura
4.4	Choco
4.5	Deformações
4.6	Flecha
4.7	Infiltração
4.8	Percolação D'água
4.9	Problemas de Drenagem
4.10	Presença de Fungos ou Outros Microorganismos
4.11	Estalacitides
4.12	Integridade do Sistema de Ventilação
4.13	Integridade da Instalação Elétrica

	Frequência		Gravidade	
	ALTO	BAIXO	ALTO	BAIXO
Maciço				
Blocos				
Anomalia Grave				
Alteração Geom.				
Sem Comprom.				
Anomalia Grave				
Falhas na Bomb.				
Sem Comprom.				
Anomalia Grave				
Semi Forçada				
Ventilação				

	Baixo	Médio	Alto
Maciço			
Blocos			
Anomalia Grave			
Alteração Geom.			
Sem Comprom.			
Anomalia Grave			
Falhas na Bomb.			
Sem Comprom.			
Anomalia Grave			
Semi Forçada			
Ventilação			

	Baixo	Médio	Alto
Maciço			
Blocos			
Anomalia Grave			
Alteração Geom.			
Sem Comprom.			
Anomalia Grave			
Falhas na Bomb.			
Sem Comprom.			
Anomalia Grave			
Semi Forçada			
Ventilação			

	Baixo	Médio	Alto
Maciço			
Blocos			
Anomalia Grave			
Alteração Geom.			
Sem Comprom.			
Anomalia Grave			
Falhas na Bomb.			
Sem Comprom.			
Anomalia Grave			
Semi Forçada			
Ventilação			

	Baixo	Médio	Alto
Maciço			
Blocos			
Anomalia Grave			
Alteração Geom.			
Sem Comprom.			
Anomalia Grave			
Falhas na Bomb.			
Sem Comprom.			
Anomalia Grave			
Semi Forçada			
Ventilação			

	Baixo	Médio	Alto
Maciço			
Blocos			
Anomalia Grave			
Alteração Geom.			
Sem Comprom.			
Anomalia Grave			
Falhas na Bomb.			
Sem Comprom.			
Anomalia Grave			
Semi Forçada			
Ventilação			

	Baixo	Médio	Alto
Maciço			
Blocos			
Anomalia Grave			
Alteração Geom.			
Sem Comprom.			
Anomalia Grave			
Falhas na Bomb.			
Sem Comprom.			
Anomalia Grave			
Semi Forçada			
Ventilação			

	Baixo	Médio	Alto
Maciço			
Blocos			
Anomalia Grave			
Alteração Geom.			
Sem Comprom.			
Anomalia Grave			

Fonte: Dados primários da pesquisa (2013)

As cores que a matriz de risco apresenta, irá representar a que tipo de manutenção será enquadrada cada patologia. Por exemplo, caso as patologias

presentes no túnel necessitarem de uma manutenção emergencial, isto será representado pela cor vermelha, a cor verde indica manutenção preventiva, ou seja, uma manutenção que pode ser planejada, a gravidade média é indicada pela cor amarela, ou seja, é recomendada uma manutenção corretiva da estrutura.

Como o Check List, foi confeccionado com o auxílio do Excel, esses pesos foram relacionados de forma que, para situações onde a gravidade da patologia é muito alta, a matriz sinalizará uma cor vermelha, independente da frequência.

Na aplicação do Check List ao túnel 1, Túnel Nova Era, foi identificado com um grande número de fraturas e chocos no túnel, (Figura 5), mesmo este sendo constituído de um maciço de classe I, isso é devido ao ângulo de mergulho da rocha, o que provoca a instabilidade da rocha, além disso, foi identificado grande fluxo de água no túnel, o que influencia diretamente o aumento dessas fraturas, e por consequência a presença de chocos.

Figura 5: Túnel 1 - Nova Era - Fraturas Espaçadas



Fonte: Futai; Suzuki et al. (2011)

Já o túnel 2, Túnel Sabará, mesmo sendo constituído de uma rocha menos resistente que o gnaiss encontrado no Túnel do Contorno Nova Era, apresentou uma quantidade de fraturas e chocos bem menores, além disso quase não foi verificado percolação de água dentro do túnel, (Figura 6).

Figura 6: Túnel 2 - Sabará – Foliações e Fraturas



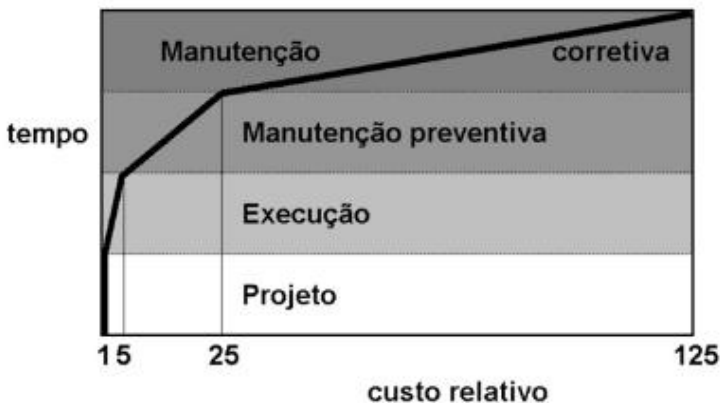
Fonte: Futai; Suzuki et al. (2011)

Com a aplicação do Check List nos túneis, foi possível identificar quais eram as patologias mais evidentes, e assim direcionar corretamente que tipo de manutenção cada estrutura iria necessitar. Isso proporciona uma grande economia tanto no aspecto de material como mão de obra e tempo, já que as manutenções estão sendo específicas.

Essa verificação é importante uma vez que a manutenção preventiva implica em menor custo para a empresa. Isso foi verificado por (Siltter, 1984, apud. (HELENE, 2005), conforme Figura 7. Logo, a aplicação da ferramenta permitirá um monitoramento das patologias dos

túneis e sua evolução, e dessa forma serão evitadas manutenções emergenciais, o também levará a uma redução de custo. Isso pode ser verificado com a partir da aplicação do Check List, no túnel 1, por exemplo, onde foram identificados problemas de fraturas, chocos e infiltrações com indicação amarela na matriz de risco (Figura 8), o que sugerem para estas patologias manutenção corretiva, e as demais manutenção preventiva.

Figura 7: Lei da Evolução de Custos, Lei de Sitter



Fonte: Sitter (1984, apud HELENE, 2005, p. 17)

