



A INFLUÊNCIA DAS PRECIPITAÇÕES PLUVIAIS E DO NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO NOS TÚNEIS URBANOS DA CIDADE DO RECIFE

BURGOS, Ramon Duque Ferraz (1); LINS, Eduardo José Melo (2); BEZERRA, Raíza Silva (3); MONTEIRO, Eliana Cristina Barreto (4)

Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, rramonduque@gmail.com; Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, eduardojmlins@hotmail.com; Universidade Católica de Pernambuco, rbraizabezerra@gmail.com; Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco e Universidade Católica de Pernambuco, eliana@poli.br

RESUMO

Túnel é definido como uma passagem subterrânea que pode, ou não, ter sido moldado pela ação humana. Quando inserido em um sistema de transporte, o túnel atrai parte do tráfego e integra o percurso diário da população. As condições de utilização das estruturas garantem a segurança dos motoristas e pedestres, evitando desconfortos e acidentes. Na cidade do Recife, existem cinco túneis semienterrados, e todos apresentam sinais de deterioração. Grande parte dessas manifestações patológicas presentes nas estruturas são causadas pela influência da água da chuva e do lençol freático sobre a mesma, pois se comportam como agentes de degradação física, química e biológica. O presente artigo científico tem como objetivo caracterizar as manifestações patológicas mais recorrentes nas estruturas dos túneis da cidade do Recife e analisar como as águas influenciam na evolução dos citados processos de degradação. Para ter uma melhor visão dessa influência, as inspeções foram realizadas no período compreendido entre os meses de maio e junho de 2017, período tradicional de precipitações intensas no Recife. Após as inspeções ficou evidente que as estruturas inadequadamente protegidas ou originalmente projetadas para condições menos agressivas, quando em contato prolongado com as águas de precipitações e ou do lençol freático apresentam sinais de degradações mais intensas. Os túneis recentemente construídos, que têm o histórico de algamentos e percolação constante de águas, se igualam aos mais antigos no desenvolvimento de manifestações patológicas. Falhas de projeto e execução, ausência de manutenção e impermeabilização precária são os outros fatores contribuintes para a situação atual de degradação acelerada das estruturas, pois o convívio da água com obras subterrâneas é tecnicamente possível, desde que estejam previstas no projeto, sejam adequadamente executadas e preventivamente mantidas.

Palavras-chave: Túneis, Concreto, Durabilidade, Água, Manifestações Patológicas.

ABSTRACT

Tunnel is defined as an underpass that may or may not have been shaped by human action. When inserted in a transport system, the tunnel attracts part of the traffic and integrates the daily route of the population. The conditions of use of the structures guarantee the safety of the drivers and pedestrians, avoiding discomforts and accidents. In the city of Recife, there are five tunnels half-buried, and all show signs of deterioration. Most of these pathological manifestations present in the structures are caused by the influence of rainwater and the water table on them, since they behave as agents of physical, chemical and biological degradation. The present scientific article aims to characterize the most recurrent pathological manifestations in the tunnels structures of the city of Recife and to analyze how the water influences the evolution of the aforementioned degradation processes. In order to have a better view of this influence, the inspections were carried out in the period between May and June 2017, a traditional period of intense rainfall in Recife. After the inspections it was evident that structures inadequately protected or originally designed for less aggressive conditions, when in prolonged contact with the precipitation waters and or the water table show signs of more intense degradations. The newly constructed tunnels, which have a history of gouges and constant percolation of water, are similar to the older ones in the development of pathological manifestations. Failures of design and execution, lack of maintenance and poor waterproofing are the other contributing factors to the current situation of accelerated degradation of the structures, since the water conviviality with underground works is

technically possible, provided they are foreseen in the project, are properly executed and Preventively maintained.

Keywords: *Tunnels, Concrete, Durability, Water, Pathological Manifestations.*

1 INTRODUÇÃO

A cidade pernambucana do Recife é conhecida por seus rios, canais e pontes, que a deram o título de “Veneza Brasileira”. Porém o grande número de mananciais e áreas alagadas assombram os recifenses em épocas chuvosas, quando alagamentos acontecem por todas as partes da cidade. Em 2016, a Empresa Municipal de Limpeza Urbana (EMLURB) mapeou 161 pontos de alagamento, onde apenas 27 foram resolvidos. Um Plano Diretor de Drenagem, finalizado em 2015, definiu e incorporou ações mitigadoras para evitar alagamentos e, conseqüentemente, o caos que se instaura na cidade.

A cidade do Recife possui o oitavo pior trânsito do mundo, e nesses períodos de chuva, os alagamentos intensificam os congestionamentos. As influências desses alagamentos e das águas pluviais nas estruturas subterrâneas é bastante deletéria, nos túneis não é diferente. A atuação das águas nos túneis da cidade do Recife vai além da degradação da estrutura, acidentes são causados e problemas de curto-circuitos prejudicam o sistema de iluminação, intensificando o risco.

Na cidade do Recife existem cinco túneis urbanos que integram o sistema viário, são eles o Túnel Prefeito Augusto Lucena, Túnel Chico Science, Túnel Josué de Castro, Túnel Felipe Camarão e o Túnel da Abolição. Eles são considerados túneis de pequena extensão, sendo a marginal direita do túnel Prefeito Augusto Lucena o mais extenso (315 m/1.033 pés) e o de menor extensão o Chico Science (93 m/ 305 pés). Ao todo, o Recife possui uma extensão de 1.456 m de túneis urbanos.

Até o ano de 2011 existiam três túneis na cidade do Recife. O primeiro construído foi o Túnel Prefeito Augusto Lucena, no ano de 1997, e sua função principal seria desafogar o trânsito das vias arteriais nos arredores do bairro de Boa Viagem e facilitar o acesso ao bairro de Setúbal. O segundo túnel implantado foi o Chico Science, em 2000. Ele foi concebido com a função de descongestionar um trecho crítico no encontro da Av. Abdias de Carvalho com a Av. Beira Rio e Rua da Benfica. No ano de 2007, foi concluída a construção do túnel Josué de Castro, ou túnel do Pina, que à época ficou conhecido por ser a primeira obra que integraria importante via expressa de ligação da zona sul ao centro, denominada Via Mangue. Tais túneis citados acima foram objeto de estudo por DA FONTE (2011), os quais realizaram inspeções visuais e buscaram caracterizar os problemas estruturais e de manutenção que viessem a causar prejuízo aos usuários.

Porém a cidade do Recife sofreu considerável impacto urbanístico com a escolha para ser cidade sede da Copa do Mundo de 2014 promovida pela Federação Internacional de Futebol (FIFA), bem como com a implantação do polo petroquímico no porto de SUAPE. Frutos deste contexto, dois novos túneis foram projetados para facilitar o escoamento do trânsito: o Túnel Felipe Camarão com 300 m (984 pés) de comprimento, cuja obra foi subsidiada pelo Governo do Estado de Pernambuco, foi concebido para reduzir os congestionamentos no cruzamento das Avenidas Mascarenhas de Moraes e

Maria Irene; o Túnel da Abolição com 287 m (941 pés) de comprimento, localizado no cruzamento da Rua Real da Torre com a Rua da Benfica, foi concebido como parte da implantação do corredor leste-oeste, o qual facilita a conexão da área central da cidade do Recife com os municípios a oeste da Região Metropolitana do Recife.

Apesar de recém-construídos, ambos os túneis começaram a apresentar problemas recorrentes, principalmente no período de chuvas intensas, e constantemente estampam as capas dos jornais devido a alagamentos e acidentes automobilísticos que inviabilizam temporariamente a utilização dos mesmos. Sinais de deterioração são aparentes e algumas manifestações patológicas já se mostram presentes, preocupando as pessoas que trafegam diariamente sob a estrutura.

Além do problema causado pelas chuvas intensas, um agravante é a influência do nível do lençol freático nas obras subterrâneas do Recife, visto que a cidade está situada a 2,00m acima do nível médio dos mares. Como grande parte da cidade do Recife é composta por aterros, executados sob áreas de alagamentos, o curso natural que as águas corriam quando a maré subia hoje é impedido pelos aterros, escoando essa água para outras áreas e conseqüentemente aumentando a pressão de empuxo em obras subterrâneas. O crescimento ao longo do tempo das áreas de aterro na cidade do Recife pode ser compreendido através da observação das ilustrações da Figura 1.

Figura 1 - Evolução dos aterros na Cidade do Recife



Fonte: http://www.diariodepernambuco.com.br/app/noticia/vida-urbana/2016/06/06/interna_vidaurbana,648723/recife-uma-cidade-construida-sobre-aterros.shtml

No Brasil não existe uma norma técnica ou manual para inspeção de túneis, além do que a cultura da manutenção preventiva do patrimônio público não é adotada da forma devida, fazendo com que as intervenções de manutenção sejam executadas quando o grau de deterioração da estrutura já esteja elevado, sendo necessário em tais situações serviços mais onerosos para a recuperação da estrutura.

2 RELAÇÃO CONCRETO VERSUS ÁGUA

Um dos fatores mais importantes na caracterização da qualidade do concreto é relação água versus cimento. Tal relação irá estabelecer a resistência à compressão, permeabilidade e trabalhabilidade do concreto. Sua dosagem correta irá influenciar a vida útil do concreto e sua capacidade de resistir aos agentes agressivos do meio externo, pois a relação água-cimento delimita a porosidade do concreto, e os poros são as portas de entrada para agentes

agressivos ao concreto.

Após o endurecimento, a água se torna um dos agentes que mais influenciam para a degradação do concreto. O meio mais freqüente de ingresso de agentes agressivos no concreto é a sua rede de poros, podendo ter como vetor a água, sendo a forma mais freqüente de ingresso de água para o interior do concreto o mecanismo de absorção capilar (HELENE, 1993).

Concretos em contato constante com a água exigem atenção especial, pois, segundo VERÇOZA (1991) a umidade não é apenas uma causa de patologias, ela age também como um meio necessário para que grande parte das patologias em construções ocorra. Ela é fator essencial para o aparecimento de eflorescências, ferrugens, mofo, bolores, perda de pinturas, de rebocos e até a causa de acidentes estruturais. A chuva é o agente mais comum para gerar umidade, tendo como fatores importantes a direção e a velocidade do vento, a intensidade da precipitação, a umidade do ar e fatores da própria estrutura (impermeabilização, porosidade de elementos de revestimentos, sistemas precários de escoamento de água, dentre outros). Este tipo de umidade pode ocorrer ou não com as chuvas. O simples fato de ocorrer precipitação, não implica em patologias de umidades com esta causa. (SOUZA, 2008).

Porém as construções subterrâneas da cidade do Recife convivem com outro fator que influencia na deterioração do concreto, as águas do lençol freático. As águas advindas do lençol freático são significativamente mais agressivas para as obras subterrâneas do que as águas pluviais. A possibilidade de existir uma contaminação por sulfato ou cloretos, além de uma pressão de empuxo, intensifica a degradação nas estruturas e requerem mais perícia dos projetistas e executores.

A percolação de água no concreto pode ativar mecanismos como a lixiviação. Tal fenômeno gera manifestações patológicas, como a eflorescência e criptoflorescência, que são manchas brancas de carbonato de cálcio encrostados na superfície do concreto. Elas são geradas pela reação do gás carbônico com o hidróxido de cálcio, lixiviado da pasta de cimento pela água. Além dos danos estéticos no concreto, a lixiviação reduz o pH do concreto e deixa a armadura de aço sujeita à despassivação pela ação de cloretos ou carbonatação.

A água também funciona como agente transportador de substâncias agressivas ao concreto armado. Podemos tomar como exemplo uma estrutura próxima ao mar que recebe névoa salina e fica com uma camada de íons de cloreto em sua superfície. Quando chove, a água precipitada pode transportar esses íons pelos poros do concreto até o aço, despassivando-os e causando a corrosão do aço.

Além de servir como agente transportador, a água também pode ativar manifestações patológicas como as fissuras advindas da reação álcalil-agregado e da etringita tardia, pois o gel desenvolvido nessas reações expande a ponto de fissurar o concreto.

LEMOS (2005) comenta que a maior parte da bibliografia existente relata principalmente danos e degradação nas estruturas subterrâneas causadas pela infiltração de água. Estes danos são classificados em três diferentes categorias: efeitos externos (no entorno do túnel, mas não afetando sua estrutura); efeitos

estruturais (afetando a capacidade estrutural do túnel); e os efeitos funcionais (afetando a funcionalidade do túnel).

Alguns autores afirmam que a água é o pior inimigo do concreto, porém as manifestações patológicas decorrentes de processos que envolvem a presença da água ocorrem por vezes devido à falta ou deficiência do projeto e ou execução de sistema de impermeabilização, ou ainda ao emprego de concreto inadequado para áreas com presença constante de água.

2.1 Impermeabilização do Concreto

A NBR 9575/2010, define impermeabilização como sendo o “conjunto de operações e técnicas construtivas, e serviços, composto por uma ou mais camadas, que tem por finalidade proteger as construções contra a ação deletéria de fluidos, de vapores e da umidade”. Falhas nos sistemas de impermeabilização podem desenvolver um grande número de manifestações patológicas no concreto.

ANTONELLI (2002) concluiu em sua pesquisa que a falta de projeto específico de impermeabilização é responsável por 42% dos problemas na impermeabilização, sendo significativa sua influência na execução e fiscalização dos serviços de impermeabilização. O sistema de impermeabilização a ser usado deve ser escolhido conforme circunstâncias em que serão usados. Os principais fatores que devem ser levados em consideração são: pressão hidrostática, frequência de umidade, exposição ao sol, exposição a cargas, movimentação da base e extensão da aplicação.

No Brasil, os métodos usuais para minimizar ou prevenir a infiltração de água em estruturas subterrâneas, tais como tratamento do maciço adjacente com injeções associado à construção de uma estrutura em concreto de baixa permeabilidade, impermeabilizações com mantas betuminosas ou até mesmo injeção posterior das estruturas, não têm produzido resultados eficientes em termos de custo versus benefício, tanto do ponto de vista de estanqueidade como de durabilidade.

Segundo EGGER (2004), a idéia do uso de uma camada impermeável entre as duas camadas de revestimento de concreto em um túnel foi implantada, sem grande sucesso, através da tentativa de aplicação de uma membrana projetada constituída por mastique asfáltico, isolantes e fibra de vidro, no início dos anos 60. Dez anos depois, sistemas impermeabilizantes com membranas flexíveis, constituídas de geotêxteis não tecidos de polipropileno e polímeros de material selante, foram desenvolvidos na Suíça e na Áustria e foram utilizados na Europa com a adoção do New Austrian Tunnelling Method (NATM). Em 1983, com a introdução do NATM no Metropolitano de Washington (EUA), uma membrana impermeabilizante flexível foi aplicada com sucesso nas estruturas subterrâneas, com conseqüente redução dos custos de manutenção e de custo operacional.

Das inspeções realizadas *‘in loco’* nos túneis urbanos do Recife, é possível afirmar que não há sistemas de impermeabilização para as contenções laterais e lajes.

3 INSPEÇÃO NOS TÚNEIS URBANOS DO RECIFE

Para a elaboração do artigo, foram realizadas inspeções no período de chuvas intensas na cidade do Recife, mais precisamente o período compreendido entre os meses de maio e junho de 2017. De acordo com o boletim de acúmulo de precipitação da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), o mês de maio apresentou um acúmulo de chuva alto com 282,2 mm e o mês de junho 284,9 mm. Um volume de chuva alto representa o aumento do contato das estruturas com a água, eleva o nível dos lençóis freáticos e favorece a aparição das manifestações patológicas mais recorrentes em estruturas de concreto subterrâneas.

As inspeções foram realizadas de forma visual, com auxílio de um fissurômetro, câmera fotográfica e uma trena. Para a busca de informações relevantes a respeito da temática da influência das águas nas condições de conservação e manutenção dos túneis, foram utilizadas ferramentas de pesquisa, dentre elas o Google, através do qual foram localizadas notícias de jornais e documentos técnicos do uso e construção de túneis.

3.1 Túnel Josué de Castro (Pina)

O túnel do Pina foi construído no ano de 2007 sob importante avenida da capital pernambucana, denominada Avenida Herculano Bandeira, e integra o complexo viário da Via Mangue, uma via expressa de ligação da zona sul com a área central da cidade do Recife. O túnel é do tipo semienterrado de geometria retangular e foi construído com uso de placas de concreto armado para contenção lateral do tipo “parede diafragma”.

Durante as inspeções foram verificadas diversas manifestações patológicas em diversos elementos da estrutura. Nas paredes de contenção, a presença de fissuras tipo mapa se faz distribuída em toda a extensão de ambos os lados. Na parte subterrânea (corpo do túnel), foram identificados vários locais com criptoflorescência, derivados de alguns pontos de infiltração nas paredes diafragma. Pontos de infiltração de água também foram verificados de forma generalizada no fundo da laje superior e nas vigas transversais, cuja vazão e frequência promoveram a formação de estalactites derivadas da lixiviação da pasta do concreto, conforme pode ser observado na Figura 3. Também foi verificada a corrosão de armaduras das vigas transversais (Figuras 2 e 4) derivada da ação deletéria da umidade.

Figura 2 e 3 - Face vertical e fundo da viga com deslocamento do concreto, exposição de armadura corroída e manchas de eflorescência com estalactites.



Fonte: Dos autores

Do conjunto de manifestações patológicas que afetam a estrutura do túnel Josué de Castro, é possível concluir que decorridos aproximadamente 10 anos de serviço, o mesmo já se apresenta bastante degradado na fase de vida útil de serviço. É provável que a principal causa dessa degradação seja a ausência de um sistema de drenagem e impermeabilização da laje superior, visto que há diversos pontos de concentração de água sobre a mesma. O túnel é conhecido pelos alagamentos constantes nas cotas mais baixas da parte subterrânea, conforme demonstrado na Figura 4.

Figuras 4 e 5 – Túnel do Pina durante alagamento e manchas de umidade na face da parede diafragma



Fonte: Diário de Pernambuco e dos autores (2017)

3.2 Túnel da Abolição

O túnel da Abolição fica localizado na Rua Real da Torre e passa sob a Rua da Benfica, possui 287 m de extensão e é o mais recentemente construído, tendo obras sido concluídas no ano de 2015. O citado túnel se diferencia dos demais por ter as contenções constituídas por estacas secantes com 600 mm de diâmetro. Essa tecnologia foi escolhida pelo baixo nível de vibrações emitidas, pois nos arredores do local existem construções históricas, como o Museu da Abolição, que dá nome ao túnel.

Na parte superior e central do túnel foi implantada uma praça para integrar e humanizar os arredores do Museu da Abolição. A praça é constituída por sete canteiros elevados com grama, os quais acumulam água e manchas de percolação conforme consta na Figura 6. Também foi verificado o acúmulo de água nas calçadas do entorno da citada praça, nos patamares da escada de acesso ao subterrâneo e nas áreas centrais da praça. Nas calçadas da praça estão dispostos 7 ralos para o escoamento das águas pluviais, porém 5 estavam entupidos e com presença de vegetação em seu interior (Figura 8). Na área central da praça não há sistema de drenagem, fazendo com que a água seja direcionada para uma calha improvisada que deságua como em forma de cascata sobre a parte interna do túnel, dificultando em momentos de maior vazão a visão dos motoristas.

Nas estruturas de contenção do túnel, verificamos a presença de fissuras tipo mapa nas vigas de coroamento e de percolação de água em toda extensão das paredes de contenção em estacas secantes (Figura 7). Em boa parte dos pontos

de percolação foi encontrado material argiloso de consistência pastosa de cor alaranjada, bem como pontos com eflorescência e criptoflorescência. O material argiloso tinha consistência similar à argila e provavelmente é advindo do aterro lateral, conferindo risco à estrutura haja vista que pode causar recalque no aterro da pista lateral externa ao túnel. Devido à presença de umidade nas paredes de contenção, verificaram-se pontos como o apresentado na figura 9, com arbustos de médio porte, lodo e pontos isolados onde pequenos moluscos estavam presos à mesma.

Figura 6 e 7 - Praça sobre o túnel com pontos de alagamento e percolação de argila na face das paredes de contenção em estacas secantes



Fonte: Dos autores (2017)

Nas vigas e lajes superiores do vão central do túnel há pontos de infiltração de água pelas microfissuras, que se distribuem paralelas ao encontro viga-laje, além de outros pontos isolados onde há percolação de água em menor quantidade, porém com manchas de eflorescência bastante acentuadas, como as identificadas na Figura 10.

Figuras 8, 9 e 10 - Ralo entupido com vegetação, eflorescência na face inferior da laje superior/viga e vegetação no conjunto parede-viga de coroamento



Fonte: Dos autores (2017)

As estruturas que compõe o túnel não apresentaram sinais de deslocamento do concreto devido a corrosão de armaduras. O ponto onde foi verificada presença de corrosão das armaduras foi causado por falha de execução. Como não foram realizados ensaios para verificar o estado de passivação das armaduras de aço, não há como afirmar a despassivação das mesmas, apesar de que a presença de eflorescência na superfície das estruturas é um indicativo de lixiviação do concreto, manifestação patológica esta que facilita a

despassivação por carbonatação. Do conjunto de dados observados quando da inspeção visual é possível afirmar que a estrutura se encontra na sua vida útil de projeto, por ainda ter a proteção da camada passiva.

3.3 Túnel Chico Science

O túnel Chico Science apresenta seção retangular na forma semienterrada, revestido em placas de concreto. A parte superior da laje de cobertura é o próprio tabuleiro da Ponte Prof. Lima de Castilho, sob a qual ele está localizado.

Da observação dos emboques do túnel é possível perceber a ação deletéria da água no túnel, tendo em vista que várias manchas de percolação de água e bolor são aparentes. Nas paredes de contenção lateral fissuras do tipo mapa, verticais e horizontais, se distribuem por toda a extensão e em ambos os lados do túnel, com o conseqüente deslocamento do revestimento argamassado. Através de uma quantidade expressiva de fissuras, o fluxo considerável de água com a presença de lodo e bolor em torno das mesmas, consoante evidenciado na Figura 13. As citadas infiltrações nas paredes de contenção também geraram o surgimento de criptoflorescência.

A infiltração de água pelas juntas de dilatação da estrutura do túnel e pela própria laje superior favoreceu o surgimento de bolores. Da observação da Figura 12 é possível notar que a água advinda da parte superior da estrutura é um risco aos pedestres por estar em contato com os eletrodutos do sistema de iluminação do túnel. Ainda quanto à parte interna do túnel, foi possível identificar um ponto de corrosão avançado na armadura da cinta de amarração inferior de um dos lados do mesmo, donde um trecho com aproximadamente 60 cm da armadura estava aparente e com seção reduzida.

A área externa do túnel apresenta aproximadamente 75% de sua estrutura coberta por bolor, sendo as áreas superiores as mais afetadas. Fissuras em forma de mapa foram verificadas por toda a superfície externa do túnel. Quatro pontos críticos de acúmulo de água foram identificados, quais sejam as faces superiores das duas lajes superiores e os canteiros externos localizados adjacentes à ponte.

Nas lajes superiores foi verificada que uma das duas calhas de drenagem, se encontra entupida por galhos e folhas, impedindo a drenagem das águas precipitadas e gerando uma lamina d'água com aproximadamente 2 cm em toda a superfície. Nas citadas lajes existe um sistema de impermeabilização composto de manta asfáltica com proteção mecânica de aproximadamente 1 cm de espessura, porém a proteção mecânica está degradada e a manta asfáltica ressecada e com fissuração em todos os pontos aparentes.

Os canteiros externos ao túnel e laterais à ponte apresentam manta de impermeabilização degradada e drenos entupidos, porém um dos canteiros está em estado mais avançado de degradação devido ao acúmulo de água que desencadeou a flutuação do enchimento composto por blocos EPS, conforme pode ser verificado na Figura 11.

Figuras 11, 12 e 13 - Laje superior e canteiro alagados, infiltrações advindas da laje superior e fissura vertical com fluxo de água



Fonte: Dos autores

Após avaliação da natureza das manifestações patológicas encontradas no Túnel Chico Science, é possível compreender que a influência da água sobre as estruturas que o compõe tem intensificado a degradação deste, contudo, considerando que o túnel possui aproximadamente 17 anos de uso e que o mesmo não apresenta danos expressivos que possam comprometer o seu desempenho, é razoável afirmar que este está na fase da vida útil de projeto.

3.4 Túnel Felipe Camarão

O túnel Felipe Camarão é o único dos túneis urbanos em estudo que está sob a gestão do Departamento de Estradas de Rodagem de Pernambuco (DER-PE). O citado túnel foi inaugurado no ano de 2012 e está situado sob a Estrada da Batalha.

As contenções laterais são compostas por cortinas atirandas de concreto travadas por vigas de coroamento. O mesmo é composto por quatro faixas, sendo as duas no sentido oeste-leste e as outras duas no sentido oposto, as quais são separadas por um canteiro central.

A estrutura do túnel apresenta grande número de fissuras verticais do tipo mapa nas paredes de contenção, as quais aparecem uniformes e em distâncias similares, evidenciando que são fissuras de alívio de tensões. Várias destas fissuras apresentam sinais de percolação de água.

Nas paredes de contenção há presença de lodo, bolor, criptoflorescência, vegetação e percolação de material do aterro lateral às contenções. A figura 14 ilustra um exemplo dessas manifestações encontradas. Algumas vigas apresentam bolor, manchas de percolação de água e eflorescência (Figura 16).

No trecho central do Túnel Felipe Camarão foi identificado que o sistema de drenagem está comprometido, tendo em vista os constantes alagamentos. Os alagamentos acabam por influenciar nas condições do pavimento asfáltico, pois ambas as faixas de rolamento estão bastante degradados.

Figuras 14, 15 e 16 - Fissuras tipo mapa e outras manifestações patológicas, calçada central destruída por alagamentos e viga com bolor.



Fonte: Dos autores

O túnel convive com constantes alagamentos com considerável represamento das águas pluviais, a exemplo do registrado na Figura 17, donde um carro aparece com mais da metade de sua superfície submersa.

Na face interna da laje superior foi observada a disposição de peças metálicas tipo telha em toda a sua superfície, a qual inviabilizou a inspeção visual da estrutura. Estas peças direcionam as águas que percolam na laje para calhas laterais, que por sua vez desaguam em caixas coletoras do sistema de drenagem. Apesar de não ter sido possível visualizar a face interna da laje superior, verificou-se indícios de manifestações patológicas nas calhas e em seus arredores, bem como o vazamento de água sobre os eletrodutos do sistema de iluminação (Figura 18).

Figuras 17 e 18 - Alagamento no túnel Felipe Camarão e calha lateral apresentando manchas de corrosão e vazamento de água.



Fonte: Diário de Pernambuco e Dos autores

No Túnel Felipe Camarão a influência da água é evidenciada na degradação no pavimento asfáltico, tendo em vista o acúmulo sistemático das águas precipitadas, as quais permanecem acumuladas até quando não chove por influência do lençol freático e do deficiente sistema de drenagem.

3.5 Túnel Augusto Lucena

O Túnel Prefeito Augusto Lucena foi inaugurado no ano de 1997 e está localizado no bairro de Boa Viagem, sendo constituído por duas estruturas paralelas, em sentidos contrários de tráfego, divididas por um canal de regularização de maré, o Canal do Rio Jordão. Estas estruturas são denominadas de Estrutura Marginal Sul-Norte (Direita) e Estrutura Marginal Norte-Sul (Esquerda). Ambas são constituídas por aduelas em concreto armado e pavimento em concreto e suas extensões correspondem a 279,5m e 314,5m respectivamente.

Nas duas estruturas foram identificadas manchas de percolação de água nas vigas e bolores nas faces externas da estrutura. As juntas de movimentação da estrutura estão bastante degradadas e todas apresentam sinais de percolação de água ao seu redor (Figura 19). A marginal direita apresenta 5 fissuras de canto a canto no decorrer da sua laje e dessas fissuras 3 apresentam sinais de percolação de água no seu entorno (Figura 20).

Na marginal da esquerda foram identificados os mesmos tipos de manchas nas paredes de contenção e na laje, além de dois pontos onde há deslocamento do concreto e exposição de armadura corroída. A Figura 21 mostra o sistema de drenagem de água por canaletas confinadas com placas de concreto. A canaleta de drenagem interna do túnel apresenta várias placas quebradas e acúmulo de resíduos dentro das mesmas, os quais dificultam o fluxo da água. Nas canaletas externas ao túnel não foi verificada a existência de tampas.

Figuras 19, 20 e 21 - Eflorescência causada por percolação de água nas juntas, manchas de infiltração em fissuras e canaletas com placas quebradas e entupidas



Fonte: Dos autores

Dentre os cinco túneis inspecionados e analisados, o Túnel Augusto Lucena foi o que apresentou a menor quantidade de manifestações patológicas causadas pela influência das águas, mesmo sendo o túnel mais antigo e de maior extensão. As manifestações causadas pela ação das águas ocorreram em pontos específicos onde a percolação de água favoreceu o surgimento das mesmas.

4 CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos é possível afirmar que os túneis urbanos do Recife necessitam de atenção do poder público no tocante à recomposição das condições estruturais. Todos os túneis apresentaram manifestações patológicas por influência das águas, tais como eflorescência, criptoflorescência, bolores e fissuras. Um ponto a se observar é o estado agravado dos túneis mais recentemente construídos, no caso o Túnel da Abolição e o Felipe Camarão, que com poucos anos de uso já apresentam sinais relevantes de deterioração. A influência da água no Túnel da Abolição é clara pelos sinais de percolção nas paredes e lajes devido ao acúmulo das águas precipitadas na face superior da laje, que em estado mais avançado podem gerar problemas graves, como os de corrosão apresentados no Túnel Josué de Castro. Quanto ao Túnel Felipe Camarão, os alagamentos constantes fazem com que os veículos evitem passar pelo mesmo, indo tal fato de encontro a proposta inicial de facilidade de tráfego. Já o Túnel Chico Science, frente a proximidade com a margem do Rio Capibaribe, merece atenção quanto a possível contaminação da estrutura pelas águas do mencionado Rio, pois quando o nível da maré se eleva muito, há o contato das águas do rio com a estrutura externa do túnel. A cidade do Recife é uma cidade litorânea, com muitas áreas de aterro e com o nível do lençol freático alto. Todos esses fatores comprometem a estabilidade das estruturas e devem ser fator motivador da adoção de planos de inspeções periódicas e manutenções preventivas, minorando a deterioração precoce das estruturas.

REFERÊNCIAS

- DA FONTE, F. J. M. (2011) **Proposta para um Sistema de Inspeção e Manutenção dos Túneis da Cidade do Recife**, CINPAR2011, Fortaleza, Brasil, 2011.
- HELENE, P. R. (1993) **Vida útil de estruturas de concreto armado sob o ponto de vista da corrosão da armadura**. In: SEMINÁRIO DE DOSAGEM E CONTROLE DOS CONCRETOS ESTRUTURAIIS, julho a setembro 1993. Anais, Brasília, ENCOL, 1993.
- VERÇOZA, E. J. **Patologia das Edificações**. Porto Alegre, Editora Sagra, 1991. 172p.
- SOUZA, M. F. de. (2008) **Patologias Ocasionadas Pela Umidade nas Edificações**, Departamento de Engenharia de Materiais de Construção, UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2008. 64p.
- LEMOS, K. B. Q. (2005). **Manutenção e Reabilitação de Túneis**, Publicação G.DM-138/2005, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UnB, Brasília, DF, 186 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9575 – Impermeabilização – Seleção e projeto**. São Paulo – SP, 2010
- ANTONELLI, G.R.; CARASEK, H.; CASCUDO O. **Levantamento das manifestações patológicas de lajes impermeabilizadas em edifícios habitados de Goiânia-Go**. IX Encontro Nacional do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu. 2002.
- EGGER, K., Mergelsberg, W. & Sauer, G. (2004). **Achieving dry stations and tunnels with flexible waterproofing membranes**. 1º Congresso Brasileiro de Túneis e Estruturas Subterrâneas, CBT, São Paulo, pp. Não paginado. 1 CD-ROM.