



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

METODOLOGIA REPLICÁVEL DE RESTAURO E PROTEÇÃO DE FACHADAS

TOMBADAS: O CASO DA ESTAÇÃO DA LUZ



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS
TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estação King's Cross - Londres - Reino Unido.....	6
Figura 2 - Subsistemas da Estação Luz	8
Figura 3 - Fluxograma metodológico da engenharia diagnóstica	14
Figura 4 - Mosaico fotográfico de patologias	16
Figura 5 - Quadro-Teste para definição de produtos e processos	19
Figura 6 - Limpeza dos muros com detergente neutro	23
Figura 7 - Procedimento de remoção de pichações com removedor pastoso e limpeza com jateamento de água com pressão controlada	24
Figura 8 - Aplicação de hidrofugante antipichação e testes de penetração de spray ...	25
Figura 9 - Cantarias, aplicação de removedor pastoso e jateamento com garnet	28
Figura 10 - Intervenções nos torreões.....	29
Figura 11 - Resultado da metodologia aplicada nos muros históricos.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese das manifestações patológicas identificadas na Engenharia Diagnóstica.	18
Tabela 2 - Mapa de validação de procedimentos executivos	21

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA E OPERACIONAL DA ESTAÇÃO DA LUZ.....	5
1.2. SISTEMA CONSTRUTIVO INTEGRADO DO BEM TOMBADO.....	7
1.3. DESAFIOS DA ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO EM FACHADAS HISTÓRICAS..	9



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

1.4.	LACUNA TECNOLÓGICA E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	10
1.5.	OBJETIVOS	11
2.	ENGENHARIA DIAGNÓSTICA E FUNDAMENTAÇÃO DA METODOLOGIA.....	12
2.1.	ESTRATÉGIA DE ENGENHARIA DIAGNÓSTICA	13
2.2.	CARACTERIZAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	15
2.3.	ENSAIOS DE SELETIVIDADE E DEFINIÇÃO DOS PARAMETROS EXECUTIVOS ..	18
2.4.	CRITÉRIOS TÉCNICOS, EMBASAMENTO NORMATIVO E APROVAÇÕES INSTITUCIONAIS.....	20
3.	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS	22
3.1.	TRATAMENTO DOS MUROS HISTÓRICOS DE TIJOLOS APARENTES.....	22
3.2.	INTERVENÇÕES INTEGRADAS NA ENVOLTÓRIA HISTÓRICA.....	26
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1.	DESEMPENHO DA METODOLOGIA APLICADA AOS MUROS HISTÓRICOS	30
4.2.	DESEMPENHO DAS INTERVENÇÕES NA ENVOLTÓRIA HISTÓRICA	32
4.3.	POTENCIAL DE REPLICABILIDADE DA METODOLOGIA	34
5.	CONCLUSÕES	35
5.1.	VALIDAÇÃO DA REPLICABILIDADE TÉCNICA	35
5.2.	ANÁLISE QUALITATIVA SOB A PERSPECTIVA DA ENGENHARIA DE CUSTOS ..	37
5.3.	O LEGADO DA QUÍMICA APLICADA ÀS CONSTRUÇÕES HISTÓRICAS	38
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

1. INTRODUÇÃO

A conservação de patrimônios ferroviários históricos em grandes centros urbanos é um dos principais desafios da engenharia de manutenção. Além do envelhecimento natural, essas edificações enfrentam poluição atmosférica, umidade, vibrações operacionais e vandalismo crônico, acelerando sua degradação física. Torna-se indispensável adotar metodologias que conciliem a preservação patrimonial com soluções tecnológicas capazes de ampliar a durabilidade dos materiais, reduzir os ciclos de manutenção e permitir a replicabilidade em diferentes ativos da malha ferroviária.

Destaca-se a proteção de superfícies minerais porosas, como tijolos aparentes e cantarias, altamente suscetíveis ao acúmulo de contaminantes e à penetração de pichações. Os métodos convencionais de proteção, baseados em vernizes formadores de película, comprometem a respirabilidade do substrato, gerando tensões internas, destacamentos superficiais e manutenções corretivas recorrentes.

Evidencia-se, assim, uma lacuna de protocolos executivos padronizados voltados à proteção preventiva de fachadas históricas em ambientes metroferroviários de alta complexidade operacional. Há a necessidade de abordagens integradas que unam engenharia diagnóstica, descontaminação controlada e proteção superficial compatível, preservando as características originais e a permeabilidade ao vapor dos materiais.

Nesse contexto, este trabalho apresenta a aplicação, validação em campo e replicabilidade de uma metodologia estruturada nas obras da Estação da Luz. O método



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

baseia-se na integração entre diagnóstico, limpeza química seletiva, hidrojateamento de baixa pressão e tecnologia molecular hidrofugante e antipichação. Define-se como metodologia replicável o protocolo passível de reprodução em outros ativos com características construtivas e condições de exposição semelhantes.

A intervenção foi acompanhada diretamente pela equipe de fiscalização técnica da obra, abrangendo muros de tijolos aparentes, cantarias e torreões. Embora o escopo envolvesse diferentes componentes arquitetônicos, este artigo concentra-se na proteção preventiva dos muros periféricos em alvenaria aparente, elemento mais vulnerável à ação simultânea da umidade, poluição e vandalismo urbano.

Sob a perspectiva da fiscalização, este estudo analisa os fatores que garantiram o desempenho do método, sua viabilidade em condições reais de operação metroferroviária e as diretrizes para sua padronização como boa prática de conservação preventiva na gestão de ativos de infraestrutura ferroviária em condições reais de operação.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA E OPERACIONAL DA ESTAÇÃO DA LUZ

Inaugurada em 1865 e reconstruída entre 1895 e 1901 com projeto do arquiteto britânico Charles Driver e inspirada na Estação King's Cross em Londres, a Estação da Luz, como infraestrutura centenária, transcende sua função de ativo de transporte ao



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ser classificada como um marco da engenharia ferroviária nacional. Sua conservação exige uma abordagem que reconheça sua relevância como patrimônio industrial, cujas diretrizes de preservação e integridade são balizadas como exemplo pela Carta de Nijni Tagil [1], que define as responsabilidades na salvaguarda de monumentos de infraestrutura ativa.



Figura 1 – Estação King's Cross, em Londres, à esquerda, e Estação Luz, em São Paulo, à direita. Fonte: Ensinar História, 2025 (imagem retirada da internet – acesso em 03/07/2026).

O conjunto arquitetônico caracteriza-se pelo uso de sistemas construtivos como as estruturas metálicas inglesas, alvenarias em tijolos aparentes e ornamentos de cantaria. Por sua relevância cultural, o bem é tombado nas três esferas de preservação, pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), pelo Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico (CONDEPHAAT) e pelo Conselho Municipal de Preservação do Patrimônio Histórico, Cultural e Ambiental da Cidade de São Paulo (CONPRESP), o que impõe critérios rigorosos de intervenção para preservar a autenticidade dos materiais originais.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Sob a perspectiva da gestão de ativos de infraestrutura, a Estação da Luz apresenta uma condição singular, como um polo central de transporte sobre trilhos de São Paulo. Diferentemente de um patrimônio histórico destinado exclusivamente à preservação ou visitação, trata-se de um ativo operacional cuja conservação deve coexistir com elevados níveis de disponibilidade, confiabilidade, segurança e eficiência da operação ferroviária.

As fachadas sofrem os efeitos combinados da poluição urbana e do vandalismo, limitando o uso de técnicas convencionais. Assim, a Estação da Luz consolidou-se como o laboratório ideal em escala real para validar a metodologia. A participação da equipe de fiscalização técnica ao longo de todas as fases da intervenção — desde a validação das áreas-teste, acompanhamento dos procedimentos executivos, controle tecnológico dos serviços e verificação dos resultados obtidos — proporcionou uma visão abrangente sobre a aplicabilidade da metodologia em condições reais de obra. Essa condição permitiu que a experiência prática fosse analisada sob a ótica da engenharia de manutenção e da gestão de ativos, constituindo a base para as discussões apresentadas neste trabalho.

1.2. SISTEMA CONSTRUTIVO INTEGRADO DO BEM TOMBADO

O desempenho técnico de uma envoltória complexa decorre da interação contínua entre seus subsistemas. Na Estação da Luz, as manifestações patológicas raramente são isoladas, configurando um Sistema Construtivo Integrado onde a



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

cobertura denominada como gare, os torreões, as cantarias e os muros históricos funcionam de forma interdependente. Na imagem abaixo, são apresentados os subsistemas construtivos que compõe a Estação da Luz.

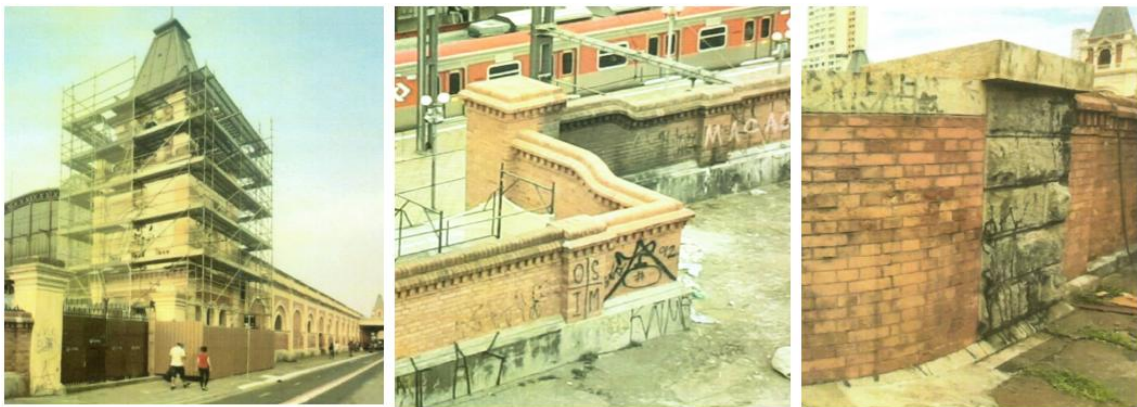


Figura 2 - Subsistemas da Estação Luz - Torreões a esquerda, muros ao centro e cantarias de pedras a direita. Fonte: Arquivo Sarasá (2022).

O fluxo das manifestações patológicas inicia-se nas falhas de estanqueidade ou na insuficiência hidráulica de calhas e condutores na cobertura da Gare, o que faz a água percolar continuamente pelos paramentos verticais e deflagrar os mecanismos de degradação nas partes inferiores da fachada. Esse cenário atinge diretamente os torreões que, por sua alta exposição vertical, acumulam umidade e material particulado, intensificando os processos de sulfatação e a formação de crostas negras. Na sequência desse escoamento, as águas superiores carregadas de poluentes lavam os elementos de cantaria localizados na base dessas estruturas, provocando uma severa degradação superficial e estético-visual nas pedras porosas. Por fim, esse volume hídrico alcança os muros de tijolos aparentes — objeto principal deste estudo —, onde os blocos cerâmicos



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

maciços sofrem tanto com a umidade descendente quanto com a ascensão capilar do solo. Durante o processo de secagem, a evaporação dessa água cristaliza os sais solúveis na superfície, gerando eflorescências que desagregam progressivamente as juntas de argamassa históricas, enquanto a elevada porosidade residual da alvenaria facilita a penetração profunda de tintas de pichação, inviabilizando qualquer tentativa de limpeza por métodos abrasivos.

Diante do explicitado acima, com o fluxo das manifestações patológicas, a análise integrada expõe que: a falha de drenagem satura os torreões, que mancham as cantarias e contaminam os muros de tijolos, potencializando a eflorescência e a ancoragem de pichações. Tratar apenas os sintomas locais gera recorrência dos danos. A metodologia aplicada tratou a envoltória sob essa visão sistêmica, validando a eficácia e o potencial de replicabilidade do protocolo de restauro.

1.3. DESAFIOS DA ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO EM FACHADAS HISTÓRICAS

A manutenção em fachadas tombadas impõe limitações operacionais que exigem uma transição do paradigma corretivo para o preventivo. Esta prática deve pautar-se pelo respeito à significância cultural e à autenticidade dos materiais, conforme estabelecido na Carta de Burra [2], que orienta que a intervenção deve ser a mínima possível para garantir a perenidade do bem. Sob a ótica de gestão, o processo deixa de ser meramente corretivo e assume papel estratégico no ciclo de vida da infraestrutura.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Os materiais históricos (tijolo maciço, argamassa de cal e pedras naturais) possuem alta porosidade e absorção hídrica, acelerando a fixação de fuligem urbana. O vandalismo por pichações agrava o cenário, pois os pigmentos penetram profundamente na matriz mineral. O uso de métodos convencionais como lixamento mecânico, decapantes agressivos ou hidrojateamento de alta pressão causam danos permanentes, removendo a pátina protetora do tijolo e aumentando sua rugosidade, o que acelera novas degradações.

Os protetores convencionais formadores de película (vernizes comuns) também falham. Eles plastificam a superfície, impedindo as trocas higroscópicas e retendo a umidade interna. Esse aprisionamento gera pressões que causam o descascamento do verniz e o esfarelamento do tijolo por criptoflorescência. Essas limitações exigem que a engenharia migre de intervenções paliativas para modelos preventivos e replicáveis como será mostrado neste trabalho.

1.4. LACUNA TECNOLÓGICA E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Grande parte das ações em paramentos históricos limita-se à recuperação pontual de danos ou ao uso de barreiras poliméricas superficiais. Esse modelo perpetua um ciclo dispendioso de manutenção corretiva que trata os efeitos e não as causas, gerando indisponibilidade da via férrea em casos extremos e altos custos ao longo do ciclo de vida do ativo.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Existe uma lacuna metodológica no setor nacional. Há bibliografias sobre técnicas isoladas de restauro, mas faltam protocolos executivos estruturados que integrem a engenharia diagnóstica, parâmetros controlados de campo, proteção molecular respirável e monitoramento sob a severidade ferroviária. Sem essa sistematização, os serviços dependem da empiria das equipes, reduzindo a uniformidade dos resultados.

A intervenção na Estação da Luz justificou-se pela oportunidade de testar um processo decisório replicável em campo. Sob a ótica da fiscalização técnica, o acompanhamento sistemático avaliou a compatibilidade do método com as regras patrimoniais e as restrições da ferrovia. A pesquisa justifica-se, portanto, pela análise crítica de um protocolo capaz de subsidiar a padronização de boas práticas de manutenção preventiva para as operadoras do setor.

1.5. OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo consiste em analisar, sob a ótica da fiscalização técnica e da engenharia voltada à manutenção, a aplicação da metodologia estruturada de restauro e proteção preventiva adotada nas obras da Estação da Luz, avaliando sua compatibilidade patrimonial e eficácia prática. Para tanto, o trabalho estabelece como metas específicas caracterizar o comportamento integrado da envoltória histórica e os fluxos de suas manifestações patológicas, evidenciando as limitações físicas das técnicas convencionais de limpeza e proteção. A partir disso, busca-se descrever as etapas do



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

protocolo executivo acompanhado em campo — desde os ensaios em quadrados-teste até a descontaminação calibrada — avaliando o desempenho da tecnologia molecular quanto à preservação da respirabilidade e à resistência contra pichações. Por fim, o estudo visa mensurar a viabilidade desse método frente às severas restrições operacionais de uma ferrovia ativa, fornecendo diretrizes técnicas que permitam replicar e padronizar o modelo em outros ativos da malha metroferroviária para racionalizar os custos de manutenção de longo prazo.

2. ENGENHARIA DIAGNÓSTICA E FUNDAMENTAÇÃO DA METODOLOGIA

A aplicação de metodologias de conservação em bens tombados exige que as decisões executivas sejam fundamentadas em critérios técnicos capazes de compatibilizar a preservação do patrimônio histórico, o desempenho dos materiais e as restrições impostas pela operação da infraestrutura ferroviária. Nesse contexto, a Engenharia Diagnóstica desempenha papel essencial ao fornecer subsídios para a compreensão das manifestações patológicas, identificação dos mecanismos de degradação e avaliação da adequação das técnicas de intervenção.

Nas obras de restauro da Estação da Luz, a aplicação da metodologia foi precedida por uma etapa estruturada de investigação técnica, composta por inspeções em campo, levantamento fotográfico, caracterização dos materiais constituintes da fachada, mapeamento das manifestações patológicas e execução de ensaios de seletividade em áreas representativas, como nos muros. Essa etapa foi acompanhada pela fiscalização



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

técnica da obra e teve como finalidade avaliar a compatibilidade dos procedimentos executivos com as características dos materiais históricos, bem como verificar sua conformidade com as diretrizes estabelecidas pelos órgãos de preservação patrimonial.

Diferentemente de intervenções convencionais, nas quais procedimentos de limpeza e proteção são frequentemente definidos de forma padronizada, a metodologia aplicada na Estação da Luz exigiu a validação prévia de cada etapa executiva. A elevada diversidade de materiais, os diferentes níveis de degradação observados ao longo das fachadas e a necessidade de preservar integralmente a matriz mineral original tornaram indispensável a realização de avaliações específicas antes da execução dos serviços em larga escala, como será visto a seguir.

2.1. ESTRATÉGIA DE ENGENHARIA DIAGNÓSTICA

A definição dos procedimentos executivos exigiu uma etapa estruturada de Engenharia Diagnóstica, capaz de fornecer dados sobre o estado de conservação dos materiais, os mecanismos de degradação ativos e a compatibilidade das soluções frente às características originais da edificação. No caso da Estação da Luz, essa investigação preliminar foi condicionada pelo elevado valor patrimonial do conjunto, pela diversidade de materiais, pela exposição severa aos agentes urbanos e pelas restrições operacionais da malha ferroviária ativa. Sob a perspectiva da fiscalização técnica, o acompanhamento dessa etapa constituiu o principal instrumento para analisar e verificar a adequação do método antes de sua aplicação em larga escala, mitigando



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

riscos de danos irreversíveis e garantindo o cumprimento das diretrizes de preservação patrimonial.

A estratégia compreendeu uma sequência lógica de atividades voltadas ao reconhecimento do suporte, mapeamento de anomalias e calibração de campo, conforme detalhado no fluxograma metodológico abaixo:

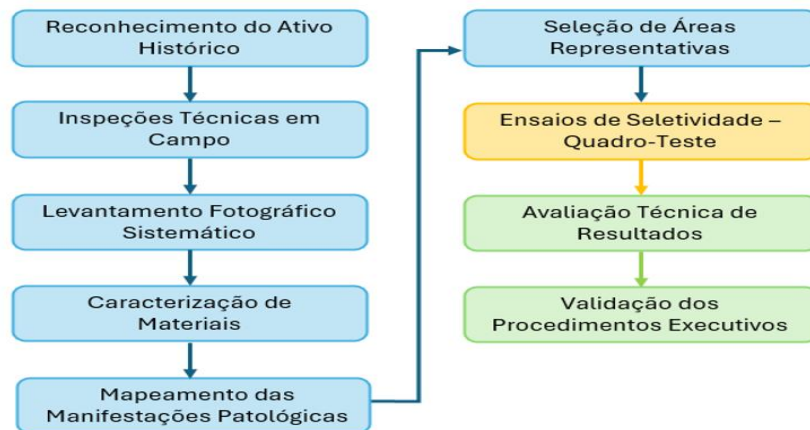


Figura 3 - Fluxograma metodológico da engenharia diagnóstica para validação de campo. Fonte: Baseado no Relatório Técnico – Sarasá.

O fluxograma divide-se em fases interdependentes que partem da macroanálise documental até a microcalibração de campo. O fluxo inicia-se pelo reconhecimento do ativo histórico, focado no levantamento cadastral e no mapeamento das restrições legais impostas pelas três esferas de tombamento do bem. Com essas condicionantes mapeadas, realizam-se as inspeções técnicas em campo associadas ao levantamento fotográfico sistemático em toda a extensão vertical dos muros periféricos, cantarias, juntas e torreões. Essas etapas têm a função de registrar o estado físico inicial da



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

envoltória, gerando uma base de comparação geométrica para o monitoramento dos serviços.

A fase seguinte estabelece a caracterização dos materiais, identificando as propriedades intrínsecas, a mineralogia e a porosidade residual dos blocos cerâmicos maciços e das pedras areníticas. Esse entendimento da anatomia do suporte dá subsídio ao mapeamento das manifestações patológicas, que atua como um inventário técnico para plotar nas pranchas arquitetônicas a localização e a severidade dos danos superficiais e subsuperficiais.

Consolidado o mapa de danos, a estratégia investigativa direciona-se para a seleção de áreas representativas para a realização dos ensaios de seletividade em quadrados-teste. Essa etapa foi desenhada para calibrar empiricamente as dosagens de reagentes químicos de pH neutro e monitorar as pressões hidromecânicas limite toleradas pelo tijolo e pelas juntas de cal. Finalmente, o encerramento do fluxo dá-se pela avaliação técnica dos resultados e pela consequente validação dos procedimentos executivos, fase responsável por converter os testes experimentais em diretrizes técnicas homologadas perante a fiscalização e as autarquias de proteção. A base de dados para a modelagem das manifestações patológicas e o consequente fluxograma de intervenção foram extraídos do levantamento técnico sistemático realizado pela Sarasá, conforme consta no Caderno de Manutenção da Estação da Luz [3].

2.2. CARACTERIZAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

As inspeções de campo e o mapeamento cadastral revelaram que os mecanismos de degradação na envoltória da Estação da Luz atuam de forma combinada, potencializados pela elevada porosidade e absorção hídrica dos tijolos cerâmicos maciços, das argamassas históricas de cal e das pedras areníticas de cantaria. A exposição contínua aos agentes climáticos, à severidade do ambiente ferroviário e ao vandalismo urbano gerou frentes patológicas específicas. Essas manifestações foram documentadas e agrupadas conforme sua causa raiz e impacto físico no suporte mineral, conforme imagem abaixo:



Figura 4 - Mosaico fotográfico de patologias. Crostas negras nos torreões a esquerda, impregnação de tinta spray e perda de seções nos tijolos ao meio, e a direita depósito de tintas e crostas nas cantarias. Fonte: Arquivo Sarasá (2022).

A primeira frente corresponde às crostas negras e sulfatação, decorrentes do acúmulo de material particulado, fuligem e poluição atmosférica. Nas cantarias e torreões de alta exposição vertical, esses depósitos reagem com a umidade e formam uma película escura e impermeável. Essa camada bloqueia as trocas higroscópicas do



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

paramento, gerando tensões internas que aceleram a desagregação superficial da pedra.

A segunda linha de danos abrange os processos de eflorescência e criptoflorescência salina, alimentados pela percolação de águas pluviais vindas de falhas do sistema de drenagem superior e por ascensão capilar da base dos muros. A água dissolve os sais solúveis presentes nos componentes da alvenaria e, durante o ciclo de secagem e evaporação hídrica, esses sais cristalizam-se. Quando a cristalização ocorre na superfície (eflorescência), observa-se um depósito esbranquiçado que causa prejuízo estético-visual; quando ocorre no interior dos poros (criptoflorescência), a pressão de expansão dos cristais rompe as paredes capilares, provocando o esfarelamento e a perda de seção dos blocos cerâmicos e a pulverulência das juntas de argamassa de cal.

Por fim, o vandalismo por pichações constitui uma contaminação severa nos muros periféricos desprotegidos. As tintas do tipo spray, compostas por matrizes poliméricas e solventes, penetram profundamente na rede de poros capilares do tijolo cerâmico maciço. Essa ancoragem profunda impede o uso de técnicas de remoção mecânica por abrasão pesada ou decapantes químicos agressivos, que desgastariam a pátina protetora natural da cerâmica histórica e aumentariam sua rugosidade residual, facilitando novos depósitos de sujeira. As características técnicas dessas anomalias estão sintetizadas na tabela abaixo que visa esclarecer tais manifestações.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Tabela 1 - Síntese das manifestações patológicas identificadas na Engenharia Diagnóstica. Fonte: Arquivo Sarasá 2022.

Manifestação Patológica	Mecanismo de Degradação	Substrato Mais Afetado	Consequência Física no Ativo
Crostas negras	Sulfatação por deposição de material particulado e umidade	Cantarias, torreões e molduras de janelas	Formação de película impermeável e destacamento superficial
Eflorescências	Dissolução e posterior cristalização superficial de sais solúveis	Muros de alvenaria em tijolos aparentes	Depósitos salinos alvos e degradação estético-visual
Perda de seção	Criptoflorescência interna e desgaste por intemperismo natural	Juntas de argamassa de cal e faces dos tijolos	Pulverulência crônica, perda de coesão e fragilização estrutural
Pichações	Absorção capilar de polímeros e pigmentos de tintas spray	Muros perimetrais e bases em alvenaria aparente	Impregnação profunda na matriz mineral e bloqueio de vapor

2.3. ENSAIOS DE SELETIVIDADE E DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS EXECUTIVOS

A partir da delimitação das áreas representativas, a contratada executou ensaios de seletividade por meio da abertura de quadrados-teste diretamente nos paramentos



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

da fachada, procedimento acompanhado pela fiscalização técnica para calibrar as variáveis de descontaminação e limpeza. O objetivo foi estabelecer os limites operacionais físico-químicos que garantissem a remoção integral dos agentes degradantes — como pichações e fuligem — sem comprometer a integridade mecânica ou a leitura cromática do suporte mineral histórico, como mostrado na imagem abaixo:



Figura 5 - Quadro-Teste para definição de produtos e processos. Fonte: Arquivo Sarasá (2022).

Os ensaios químicos avaliaram o comportamento de detergentes biodegradáveis de pH neutro. A fiscalização monitorou a dosagem e o tempo de contato dos reagentes necessários para solubilizar as camadas de tintas poliméricas e crostas negras, impedindo que a reação química gerasse subprodutos nocivos ou causasse a migração indesejada de pigmentos para o interior da rede capilar dos tijolos e cantarias porosas.

Simultaneamente, calibraram-se os parâmetros hidromecânicos do equipamento de enxágue. O monitoramento rigoroso dos manômetros fixou os limites de baixa pressão hidrodinâmica e com a temperatura ambiente da água, além de determinar a distância e o ângulo de incidência dos bicos aspersores. Essa



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

parametrização garantiu a remoção dos resíduos amolecidos sem provocar a erosão física da pátina natural da cerâmica ou a desagregação das frágeis juntas históricas de argamassa à base de cal. Os resultados obtidos nos quadrados-teste converteram a amostragem experimental em um protocolo executivo padronizado, homologado pela fiscalização para aplicação segura em larga escala para a Estação da Luz.

2.4. CRITÉRIOS TÉCNICOS, EMBASAMENTO NORMATIVO E APROVAÇÕES INSTITUCIONAIS

A técnica exercida na envoltória da Estação da Luz pautou-se estritamente pelos pilares fundamentais da restauração científica: a mínima intervenção, a compatibilidade físico-química dos insumos e a reversibilidade dos tratamentos. A aplicação prática desses conceitos não ocorreu de forma subjetiva, mas com o controle rígido de variáveis (pH, pressão e granulometria) atuando como ferramenta de garantia da reversibilidade. Esta postura técnica é mandatória para assegurar que os procedimentos executados não comprometam a pátina original, em estrita conformidade com as diretrizes da Carta de Veneza [4] e sob a égide fiscalizatória exigida pela Portaria IPHAN nº 375/2018 [5].

Sob o aspecto legal e de conformidade com o patrimônio, a atuação da fiscalização alinhou-se aos ritos da Portaria IPHAN nº 375/2018, que regulamenta as intervenções em bens tombados. Como o complexo ferroviário possui tombamento nas três instâncias de preservação, cada quadrado-teste executado pela contratada foi submetido a uma validação presencial, indo de acordo com as prerrogativas do Instituto



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), do Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico (CONDEPHAAT) e do Conselho Municipal de Preservação do Patrimônio Histórico, Cultural e Ambiental da Cidade de São Paulo (CONPRESP). A emissão da liberação formal para os serviços em larga escala só ocorreu após a comprovação técnica de que os parâmetros testados mitigavam riscos ao ativo, convertendo relatórios experimentais em diretrizes executivas homologadas, a tabela abaixo consolida a matriz de parâmetros validados que balizaram o controle de qualidade para intervenção em larga escala.

Tabela 2 – Mapa de validação de procedimentos executivos. Fonte: Arquivo Sarasá 2022.

Aspecto Avaliado	Critério Técnico Observado	Parâmetro / Decisão Executiva Validada
Crostas negras	Grau de aderência e sensibilidade mineral do paramento	Aplicação localizada de detergente químico biodegradável de pH neutro com tempo de contato controlado.
Pichações	Profundidade de impregnação de polímeros e pigmentos	Associação de composto removedor pastoso e hidrojateamento controlado com água.
Juntas históricas	Estado de coesão mecânica da argamassa de cal original	Restrição da pressão hidrodinâmica do enxágue (baixa pressão operacional) para evitar erosão física.
Cantarias porosas	Sensibilidade superficial e integridade microestrutural da pedra	Emprego exclusivo de escovas de cerdas macias e bicos aspersores com ângulo de incidência aberto.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Aspecto Avaliado	Critério Técnico Observado	Parâmetro / Decisão Executiva Validada
Proteção superficial	Manutenção da taxa de respirabilidade e repelência hídrica	Aplicação de tecnologia molecular de base hidrofugante, sem formação de película impermeável ou alteração de brilho.

3. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS

Concluídas as etapas de Engenharia Diagnóstica e homologação dos parâmetros nos quadrados-teste, iniciou-se a execução gradual das frentes de trabalho pela contratada, sob rigoroso controle tecnológico da fiscalização. As intervenções foram planejadas de forma a equalizar as especificidades físico-químicas de cada material histórico e as severas restrições operacionais impostas pela infraestrutura ferroviária ativa da Estação da Luz. O foco analítico deste capítulo concentra-se nos muros periféricos de alvenaria aparente — elemento de maior vulnerabilidade às agressões urbanas —, detalhando complementarmente as ações integradas de conservação executadas nas cantarias e torreões.

3.1. TRATAMENTO DOS MUROS HISTÓRICOS DE TIJOLOS APARENTES

A intervenção nos muros de tijolos cerâmicos maciços aparentes seguiu uma sequência de três partes: descontaminação e limpeza química seletiva; hidrojateamento hidromecânico controlado; e aplicação de proteção molecular profunda. Esse



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

sequenciamento buscou neutralizar os agentes degradantes incrustados e estabilizar o suporte sem provocar perda de matriz mineral ou das juntas de assentamento originais.

3.1.1. PROCESSO EXECUTIVO DE DESCONTAMINAÇÃO E LIMPEZA QUÍMICA

A etapa inicial removeu os contaminantes superficiais e poeiras sem agredir a face cerâmica. O procedimento consistiu no pré-umedecimento das superfícies com água sob pressão convencional, seguido da aplicação de solução de detergente neutro biodegradável diluído em água na proporção volumétrica de 1:10. A Fiscalização validou a aplicação de detergente neutro, controlando o tempo de contato, além disso, a fiscalização validou a limpeza por escovação manual com cerdas de nylon macias, promovendo a solubilização de fuligens e material particulado aderido, conforme mostrado na imagem abaixo.



Figura 6 - Limpeza dos muros com detergente neutro. Fonte: Arquivo Sarasá (2022).

Na sequência, efetuou-se o enxágue em baixa pressão. Discos abrasivos e soluções ácidas foram terminantemente vetados para resguardar a pátina protetora do tijolo e a integridade do rejuntamento histórico à base de cal.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS
TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

3.1.2. HIDROJATEAMENTO COM PARÂMETROS HIDROMECÂNICOS CONTROLADOS

O refinamento da limpeza deu-se por hidrojateamento hidromecânico regulado, direcionado à remoção de resíduos incrustados nos poros subsuperficiais. A equipe de fiscalização inspecionou continuamente a calibração dos manômetros, assegurando o cumprimento dos limites de baixa pressão hidrodinâmica e temperatura da água previamente validados nos ensaios de seletividade. O controle estendeu-se à distância e ao ângulo de incidência dos bicos aspersores em leque, limpando os poros sem causar escarificação mecânica da cerâmica ou erosão das juntas de cal fragilizadas, em casos específicos de pichações foi utilizado removedor pastoso conforme mapa de validação dos procedimentos executivos.



Figura 7 - Procedimento de remoção de pichações com removedor pastoso e limpeza com jateamento de água com pressão controlada. Fonte: Arquivo Sarasá (2022).

3.1.3. APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA MOLECULAR DE PROTEÇÃO

Após a secagem completa e estabilização higroscópica do suporte, aplicou-se o sistema de proteção molecular à base de silanos por saturação. O produto atua por impregnação capilar profunda, modificando a tensão ambiental dos poros minerais sem



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

formar película oclusiva ou alterar o coeficiente de brilho original, o que garante a manutenção da permeabilidade ao vapor ao vapor d'água (respirabilidade da alvenaria). Diante das diferentes solicitações de exposição, adotou-se uma estratégia distinta para cada face dos muros: nas internas, aplicou-se o sistema puramente hidrofugante para mitigar a percolação hídrica capilar; nas externas, severamente expostas ao vandalismo, empregou-se o composto molecular antipichação. Essa barreira oleofóbica impede a ancoragem de tintas spray poliméricas, permitindo remoções futuras simplificadas sem agressão mecânica ao tijolo, conforme imagem abaixo.



***Figura 8 - Aplicação de hidrofugante antipichação e testes de penetração de spray.
Fonte: Arquivo Sarasá (2022).***

A associação entre limpeza controlada, hidrojateamento com parâmetros hidromecânicos definidos e tecnologia molecular de proteção constituiu um sistema integrado de conservação, proporcionando maior durabilidade às superfícies restauradas, redução das intervenções corretivas e preservação das características arquitetônicas originais. A aplicação dessa sequência executiva na Estação da Luz



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

evidenciou seu potencial de replicabilidade em outras edificações históricas de características construtivas semelhantes.

3.2. INTERVENÇÕES INTEGRADAS NA ENVOLTÓRIA HISTÓRICA

Além do tratamento dos muros de tijolos aparentes, a metodologia foi aplicada aos demais elementos que compõem a envoltória histórica da Estação da Luz, abrangendo componentes arquitetônicos executados em cantaria e os torreões característicos da edificação. Em razão das diferentes características construtivas, dos mecanismos de degradação e das condições de acesso, essas intervenções demandaram procedimentos executivos específicos, mantendo, contudo, os mesmos princípios de mínima intervenção, compatibilidade entre materiais, preservação das características originais e controle tecnológico adotados ao longo de toda a metodologia.

A execução foi precedida por avaliações das condições de conservação de cada elemento, permitindo selecionar técnicas compatíveis com a natureza dos materiais e com as restrições inerentes ao patrimônio histórico. As atividades compreenderam a descontaminação das superfícies pétreas, a recuperação de elementos degradados e a adoção de soluções logísticas que viabilizaram a execução segura dos serviços em áreas elevadas e de difícil acesso, sem comprometer a operação ferroviária nem a integridade dos componentes arquitetônicos.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Os procedimentos executivos aplicados nessas intervenções são apresentados nos itens a seguir, evidenciando a adaptabilidade da metodologia a diferentes tipologias construtivas presentes na edificação histórica.

3.2.1. DESCONTAMINAÇÃO DOS ELEMENTOS DE CANTARIA

Os elementos ornamentais em pedra porosa apresentavam severo acúmulo de crostas negras por sulfatação e depósitos biológicos. Para a remoção dessas camadas aderidas, eliminou-se sumariamente o jateamento de areia convencional devido aos riscos de abrasão destrutiva ao suporte histórico e às restrições legais associadas à sílica livre. Em substituição, o protocolo executivo adotou o microjateamento controlado com garnet (granada), um método de jateamento abrasivo de alta performance e ecologicamente correto.

Por utilizar um mineral natural quimicamente inerte e totalmente isento de sílica livre, o garnet eliminou os riscos ocupacionais de silicose no canteiro de obras. Apesar de sua elevada dureza (cerca de 8,0 na escala Mohs), a aplicação foi realizada sob baixa pressão e com granulometria fina, o que permitiu uma decapagem precisa e a desagregação das crostas de poluição sem gerar passivos ambientais e sem provocar o desgaste da face lapidada ou a perda de detalhes ornamentais da pedra, conforme imagem abaixo.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 9 - Cantarias, aplicação de removedor pastoso e jateamento com garnet.
Fonte: Arquivo Sarasá (2022).

A fiscalização monitorou individualmente o tratamento de cada elemento de cantaria, assegurando a recuperação da leitura arquitetônica original das bases e molduras e garantindo que o substrato mineral ficasse perfeitamente limpo e desimpedido para receber a posterior proteção molecular por capilaridade.

3.2.2. RESTAURO DOS TORREÕES E LOGÍSTICA DOS ACESSOS ELEVADOS

A intervenção nos torreões elevou a complexidade logística da obra devido à altura das estruturas e à proximidade com a rede aérea da ferrovia ativa, o que exigiu a montagem de andaimes multidirecionais modulares em janelas operacionais restritas. Conforme as premissas estabelecidas na fase de diagnósticos, as frentes de trabalho englobaram a recuperação integral da envoltória desses elementos, iniciando-se pela consolidação e recomposição volumétrica dos ornamentos e molduras decorativas danificados pelo intemperismo crônico. Para essa recomposição, empregaram-se argamassas à base de cal e agregados de granulometria selecionada, garantindo estrita



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

compatibilidade mecânica e química com a matriz original e mitigando riscos de desprendimento de rebocos.

Na sequência, o sistema de pintura foi totalmente refeito por meio da aplicação de tinta silicatada à base de silicato de potássio. Essa tecnologia foi selecionada por sua propriedade de colagem química ao substrato mineral, o que assegura alta durabilidade, alcalinidade natural contra microrganismos e a manutenção da taxa de respirabilidade da alvenaria histórica.

Complementarmente, executou-se o restauro das esquadrias de madeira e ferro através de decapagem mecânica manual para remoção de oxidações e películas antigas falhas. Os elementos de madeira receberam tratamento inseticida e fungicida preventivo, enquanto as partes metálicas foram tratadas com conversor de ferrugem e primer anticorrosivo, finalizando com a revisão das vedações e pintura de acabamento. Essas ações coordenadas restabeleceram a estanqueidade do conjunto e resgataram a homogeneidade cromática das torres de fechamento do ativo histórico.



Figura 10 - Intervenções nos torreões: montagem de acessos, limpeza técnica, recomposição de ornamentos e acabamentos pictóricos. Fonte: Arquivo Sarasá (2022).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A experiência obtida evidenciou que a utilização de sistemas de acesso adequadamente planejados, associada ao controle técnico das intervenções, amplia a aplicabilidade da metodologia em edificações históricas de grande porte e em ambientes ferroviários em operação. Dessa forma, o método demonstra potencial de replicabilidade em outros bens tombados que exijam compatibilização entre conservação patrimonial, segurança operacional e continuidade dos serviços prestados à população.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação pós-execução das frentes de trabalho na Estação da Luz permitiu analisar o desempenho integrado das etapas de Engenharia Diagnóstica, descontaminação, limpeza controlada e proteção molecular, verificando sua eficácia na recuperação das superfícies e na preservação das características arquitetônicas do conjunto tombado. O desempenho da metodologia validada em campo reflete uma mudança de paradigma técnico. A compatibilidade química dos insumos (silanos e silicatos) com o suporte mineral, discutida por Di Mauro e Pellicciotta [6], evidencia a relevância da integração entre o conhecimento químico dos materiais e as práticas de conservação para a estabilização de envoltórias exposta a agentes urbanos agressivos.

4.1. DESEMPENHO DA METODOLOGIA APLICADA AOS MUROS HISTÓRICOS



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A aplicação sequencial da metodologia nos muros históricos de tijolos aparentes demonstrou elevado desempenho na remoção dos contaminantes acumulados, preservando a integridade física e a leitura cromática original do suporte. A associação inicial da solução de detergente biodegradável neutro (proporção volumétrica de 1:10) com a escovação manual eliminou com precisão a carga de poluentes e fuligens superficiais, reduzindo a aderência dos depósitos e permitindo que o hidrojateamento subsequente atuasse de forma menos agressiva. O refinamento da limpeza por hidrojateamento com parâmetros hidromecânicos controlados (regulagem de pressão, temperatura, distância e ângulo dos bicos aspersores) desobstruiu com sucesso os poros subsuperficiais dos blocos cerâmicos maciços. O monitoramento contínuo impediu a ocorrência de escarificação mecânica da cerâmica ou processos erosivos nas frágeis juntas históricas de assentamento à base de cal. Como resultado, observou-se a recuperação da coloração original dos tijolos, melhoria significativa da uniformidade visual das superfícies e preservação da textura característica da alvenaria.

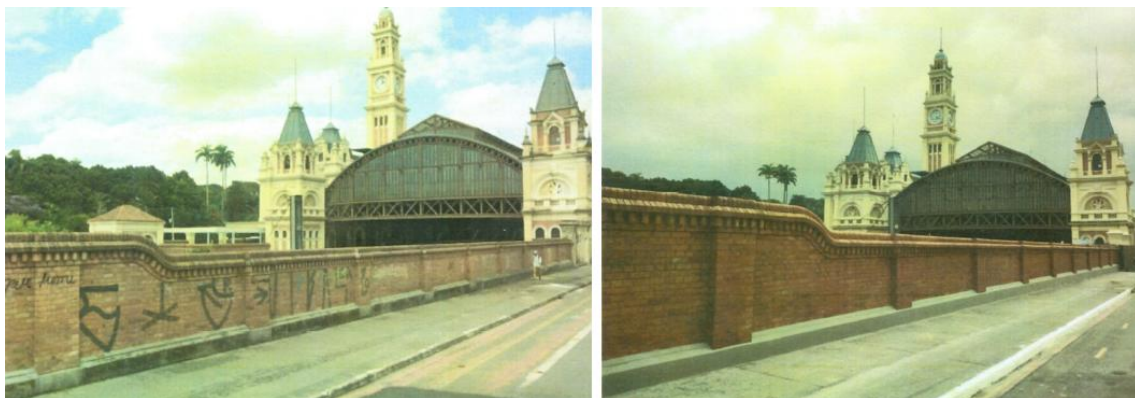


Figura 11 - Resultado da metodologia aplicada nos muros históricos, condição inicial a esquerda e situação final após limpeza química, hidrojateamento e proteção molecular a direita. Fonte: Arquivo Sarasá (2022).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A aplicação do sistema molecular de proteção por saturação à base de silanos complementou o processo de restauro ao mitigar a absorção de água por capilaridade sem formar película oclusiva, preservando a capacidade de troca de vapor característica do substrato. A diferenciação estratégica de tratamento por face mostrou-se compatível às condições de exposição dos muros: as faces internas receberam o composto puramente hidrofugante contra as intempéries, enquanto as faces externas receberam o sistema molecular antipichação. Essa barreira oleofóbica reduziu a penetração e aderência de polímeros de tintas spray, simplificando futuras ações de manutenção e limpeza sem agredir o substrato mineral histórico.

Sob o ponto de vista operacional, a metodologia apresentou elevada reprodutibilidade, permitindo que as etapas executivas fossem padronizadas e aplicadas de forma sistemática ao longo de toda a extensão dos muros perimetrais.

4.2. DESEMPENHO DAS INTERVENÇÕES NA ENVOLTÓRIA HISTÓRICA

O tratamento dos elementos singulares da envoltória — cantarias e torreões — validou a adaptabilidade e o rigor tecnológico do protocolo de restauro. Nos elementos ornamentais de pedra arenítica porosa, a substituição do jateamento de areia convencional pelo microjateamento controlado com garnet (granada) apresentou desempenho técnico satisfatório, compatível com os critérios de preservação estabelecidos. A dureza de 8,0 na escala Mohs combinada à granulometria fina sob baixa pressão cisalhou e removeu as crostas negras de sulfatação mais severas sem ferir as



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

superfícies lapidadas ou apagar os detalhes esculpidos originais. Além disso, o caráter inerte do mineral e a ausência de sílica livre neutralizaram qualquer passivo ocupacional ou ambiental nas plataformas de trabalho em ambiente urbano denso.

Nos torreões elevados, as argamassas de cal formuladas com agregados selecionados apresentaram perfeita compatibilidade mecânica com o suporte remanescente, preenchendo vazios estruturais e reconstituindo volumes decorativos sem fissuras por retração. O sistema de pintura silicatada desempenhou papel importante na proteção dessas estruturas altamente expostas a fortes ventos e intempéries. Através da reação de silatização (colagem química mineral ao substrato), a tinta integrou-se perfeitamente à alvenaria, conferindo alta resistência UV, alcalinidade natural inibidora de depósitos biológicos e manutenção da taxa de respirabilidade do conjunto.

O restauro criterioso das esquadrias de madeira e ferro complementou a intervenção, através de decapagem mecânica manual, tratamentos inseticidas, convertedores de ferrugem e revisão das vedações. Essas ações coordenadas estancaram as infiltrações localizadas e devolveram a unidade formal e a homogeneidade cromática às torres de fechamento do monumento, minimizando os riscos de danos futuros ao patrimônio.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

4.3. POTENCIAL DE REPLICABILIDADE DA METODOLOGIA

A experiência obtida durante a execução das intervenções na Estação da Luz demonstrou que a metodologia proposta apresenta elevado potencial de replicabilidade em edificações históricas de características construtivas semelhantes. Esse potencial decorre da estruturação do método em etapas sequenciais, interdependentes e complementares, que afastam o empirismo e balizam as tomadas de decisão de forma científica.

A metodologia caracteriza-se por não estabelecer procedimentos rígidos e invariáveis, mas por definir um processo técnico fundamentado na avaliação prévia das condições de conservação de cada edificação. Dessa forma, os parâmetros executivos (pressões operacionais, pH de insumos, tempos de contato e granulometria de minerais inertes) podem ser ajustados conforme as características específicas dos materiais constituintes, o grau de degradação observado, as condições ambientais e as restrições impostas pelas autarquias de preservação, mantendo-se os princípios de mínima intervenção, compatibilidade entre materiais e preservação da autenticidade do patrimônio.

Outro aspecto que reforça sua aplicabilidade é a integração bem-sucedida entre planejamento executivo, controle tecnológico e logística operacional. A experiência prática na Estação da Luz evidenciou que a metodologia pode ser implementada mesmo em edificações e infraestruturas de transporte em pleno funcionamento, desde que haja



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

um adequado planejamento das frentes de serviço, definição de sistemas seguros de acesso (como os andaimes multidirecionais utilizados nos torreões) e compatibilização entre as atividades de restauro e a operação ferroviária do empreendimento.

Sob a perspectiva da gestão patrimonial de ativos públicos, a utilização integrada de sistemas hidrofugantes, antipichação e tintas silicatadas contribui diretamente para ampliar a durabilidade das intervenções, reduzir a frequência de ações corretivas e simplificar futuras atividades de conservação. Esses benefícios promovem maior eficiência na aplicação dos recursos públicos destinados à manutenção, tornando a metodologia um modelo técnico e um vetor de sustentabilidade passível de adaptação para outras estações ferroviárias, obras de arte especiais centenárias e demais bens tombados expostos à intensa ação de agentes atmosféricos e ao vandalismo urbano.

5. CONCLUSÕES

A intervenção realizada na envoltória histórica da Estação da Luz demonstrou a aplicabilidade da integração entre preservação patrimonial, Engenharia Diagnóstica e manutenção preventiva em uma infraestrutura ferroviária centenária mantida em operação. As inspeções, os ensaios de seletividade e o controle dos parâmetros executivos permitiram adequar os procedimentos às características dos substratos históricos e às restrições operacionais do empreendimento.

Os resultados evidenciaram que a associação entre limpeza química seletiva, hidrojateamento controlado e sistemas de proteção compatíveis possibilitou a



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

recuperação da leitura arquitetônica das superfícies. Sob a perspectiva da fiscalização, a validação prévia dos procedimentos contribuiu para reduzir riscos de incompatibilidade e estabelecer um fluxo metodológico adaptável a outros ativos históricos.

5.1. VALIDAÇÃO DA REPLICABILIDADE TÉCNICA

A metodologia demonstrou potencial de replicabilidade ao estabelecer um fluxo estruturado de diagnóstico, ensaios, validação e controle executivo. A avaliação prévia em áreas representativas permitiu analisar a resposta dos materiais e ajustar os parâmetros antes da aplicação em maior escala.

A replicabilidade não pressupõe a reprodução dos mesmos produtos ou parâmetros, mas a aplicação de um processo de tomada de decisão fundamentado nas características construtivas, no estado de conservação, nos mecanismos de degradação e nas condições ambientais e operacionais de cada ativo.

Na Estação da Luz, a integração entre Engenharia Diagnóstica, ensaios de seletividade e acompanhamento técnico possibilitou a definição de procedimentos compatíveis com os componentes da envoltória histórica e com a continuidade da operação ferroviária. O protocolo apresenta, portanto, potencial de aplicação em outros ativos constituídos por materiais minerais porosos, desde que precedido pela caracterização específica do bem e pela adequação dos parâmetros às condições locais.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

5.2. ANÁLISE QUALITATIVA SOB A PERSPECTIVA DA ENGENHARIA DE CUSTOS

Sob a perspectiva da Engenharia de Custos, a metodologia aplicada apresenta potencial para contribuir para a otimização dos recursos destinados à conservação de ativos históricos. Embora a intervenção envolva investimentos iniciais associados ao diagnóstico especializado, à realização de ensaios, à mobilização de sistemas de acesso e à aplicação de tecnologias específicas, sua abordagem preventiva pode reduzir a necessidade de intervenções corretivas recorrentes e de maior complexidade.

A aplicação de sistemas de proteção compatíveis com os substratos históricos pode facilitar procedimentos futuros de limpeza e conservação, reduzindo a intensidade das intervenções necessárias sobre materiais sensíveis. A possibilidade de executar manutenções posteriores por procedimentos menos agressivos pode contribuir para a redução da recorrência de ações corretivas de maior complexidade e, consequentemente, para a racionalização das despesas operacionais — OpEx (Operational Expenditure) — associadas à conservação do ativo conforme preconiza a ISO 55001 [7].

Sob a ótica da confiabilidade e da manutenibilidade, conforme os conceitos estabelecidos pela ABNT NBR 5462 [8], a proteção preventiva também apresenta potencial para ampliar os intervalos entre intervenções. Esse efeito pode refletir positivamente no MTBF (Mean Time Between Failures), entendido, no contexto deste



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

estudo, como um indicador associado ao período médio entre ocorrências que demandem novas ações corretivas relevantes. Entretanto, a confirmação quantitativa desse desempenho dependerá do monitoramento das superfícies tratadas ao longo do tempo e da consolidação de dados históricos de manutenção.

Além dos custos diretamente relacionados à execução dos serviços, a ampliação dos intervalos entre intervenções pode reduzir impactos indiretos associados à mobilização de equipes especializadas, à implantação de sistemas de acesso, à compatibilização das atividades com a operação ferroviária e à realização recorrente de procedimentos sobre materiais históricos sensíveis.

Dessa forma, ainda que a quantificação da relação entre CapEx e OpEx e a mensuração do MTBF dependam do acompanhamento do desempenho da intervenção ao longo do tempo, a metodologia apresenta potencial para favorecer uma aplicação mais eficiente dos recursos destinados à conservação patrimonial. A integração entre Engenharia Diagnóstica, controle dos procedimentos executivos e proteção preventiva constitui, portanto, uma estratégia alinhada à gestão sustentável do ciclo de vida dos ativos históricos metroferroviários

5.3. O LEGADO DA QUÍMICA APLICADA ÀS CONSTRUÇÕES HISTÓRICAS

A experiência da Estação da Luz evidenciou a contribuição da tecnologia química para a conservação de materiais históricos. A utilização controlada de agentes de



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

limpeza e sistemas de proteção de base molecular possibilitou a adoção de soluções compatíveis com a natureza mineral e porosa dos substratos.

Os sistemas hidrofugante e antipichação incorporaram uma abordagem preventiva à conservação. Ao reduzir a absorção de água e dificultar a penetração de contaminantes, preservando a permeabilidade ao vapor, apresentam potencial para ampliar a durabilidade dos materiais e reduzir a agressividade de futuras ações de manutenção.

O principal legado da intervenção consiste na integração entre ciência dos materiais, Engenharia Diagnóstica, conservação patrimonial e gestão de ativos. Ao encerrar este ciclo de restauro, reafirma-se o compromisso com a perenidade do patrimônio ferroviário nacional, alinhando a prática da fiscalização de obras às recomendações do Conselho da Europa [9] sobre a proteção do patrimônio arquitetônico como um bem de interesse público e de alta complexidade logística. A aplicação criteriosa de tecnologias contemporâneas, associada à validação técnica dos procedimentos, contribui para a preservação dos bens históricos e para a continuidade de sua função no sistema metroferroviário.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. TICCIH (Comitê Internacional para a Conservação do Patrimônio Industrial). Carta de Nijni Tagil sobre o Patrimônio Industrial. Moscou: TICCIH, 2003.
2. ICOMOS AUSTRALIA. The Burra Charter: The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance, 1999. Burwood: Australia ICOMOS, 2000.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

3. ESTÚDIO SARASÁ. BF0788-7-LUZ-RT-RE-OB-01-R00 a BF0788-7-LUZ-RT-RE-OB-11-R00: Relatórios Mensais e RT-O-07-00-01-0199/7-A99-001: Caderno de manutenção e conservação da edificação – Estação Luz. São Paulo: Estúdio Sarasá / Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), 2022.
4. ICOMOS (Conselho Internacional de Monumentos e Sítios). Carta de Veneza: Carta internacional sobre a conservação e o restauro de monumentos e sítios. Veneza, 1964.
5. BRASIL. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). Portaria nº 375, de 19 de dezembro de 2018. Estabelece os critérios para a salvaguarda do patrimônio cultural. Brasília: IPHAN, 2018.
6. DI MAURO, Fabio; PELLICCIOTTA, Mirza (org.). As edificações no tempo: olhares sobre a conservação. São Paulo: Museu de Arte Sacra de São Paulo, 2019.
7. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 55001: Asset management — Management systems — Requirements. Geneva, 2014.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.
9. CONSELHO DA EUROPA. Recomendação R(90) 20: Proteção e conservação do patrimônio arquitetônico. Estrasburgo: Conselho da Europa, 1990.