# Estudo de caso – EEE Imperial do diagnóstico a recuperação.

**Lucas Geroldo Torres** (1)
Engenheiro civil pela Universidade São Judas Tadeu (USJT). Tecnólogo em Controle de Obras pela Faculdade de Tecnologia (FATEC) – Victor Civita.

**Gabriella de Andrade Coni (2)**
Engenheira Civil pela Universidade Católica do Salvador (UCSAL). Pós-graduada em Engenharia Geotécnica: Fundações e Obras de Terra pela Universidade Paulista (UNIP-INBEC).

**Adriana Goncalves Costa (3)**
Engenheira Civil pela Universidade Santa Cecília. Pós-graduada em Patologia nas Obras Civis pelo instituto IDD Educação Avançada e em Concreto Armado e Protendido pela Universidade Paulista (UNIP).

**Denise Katsue Koga (4)**
Tecnóloga em Construção de Edifícios pela Faculdade de Tecnologia FATEC São Paulo. Pós-graduada em Gestão Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública (PPG-USP) e em Patologia nas Obras Civis pelo instituto IDD Educação Avançada.

**Guilherme Akio Sakuma (5)**
Tecnólogo em Construção de Edifícios pela Faculdade de Tecnologia (FATEC) São Paulo.

**Endereço(1):** Rua José Rafaeli, 284 – Socorro – São Paulo - SP - CEP: 04763-280 - Brasil - Tel: (11) 5683-3208 - e-mail: lgtorres@sabesp.com.br.

## RESUMO

Este artigo apresenta as etapas e processos envolvidos na recuperação de uma estação elevatória de esgoto da Sabesp sujeita a deterioração imposta por ataque de ácido sulfúrico biogênico. O artigo abarca desde o procedimento de inspeção e diagnóstico até os detalhes executivos de recuperação e proteção superficial. Os procedimentos visaram não apenas restabelecer a capacidade portante da estrutura, mas também melhorar o desempenho para as condições agressivas existentes de forma a prolongar sua vida útil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Recuperação estrutural, concreto, ácido sulfúrico biogênico.

## INTRODUÇÃO

A Estação Elevatória de Esgoto Imperial (EEE Imperial) é uma estrutura da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), enterrada e constituída de uma câmara de recepção denominada de poço úmido – também chamado de poço de sucção - de geometria circular e uma câmara retangular de operação denominada de poço seco (Figura 1). O poço seco – também conhecido como casa de válvulas - não possui contato com o efluente, sendo o local de alojamento dos equipamentos e válvulas.

O poço úmido é destinado ao acúmulo do esgoto para posterior recalque por meio de dois conjuntos verticais de bombas submersíveis, com ponto de trabalho em 173m³/h que operam com revezamento automático. Trata-se de uma estrutura, em formato circular, com aproximadamente 3,80 metros de diâmetro e 5,65 metros de altura, constituída de laje de fundo, parede, vigas e laje de cobertura, todos em concreto armado.

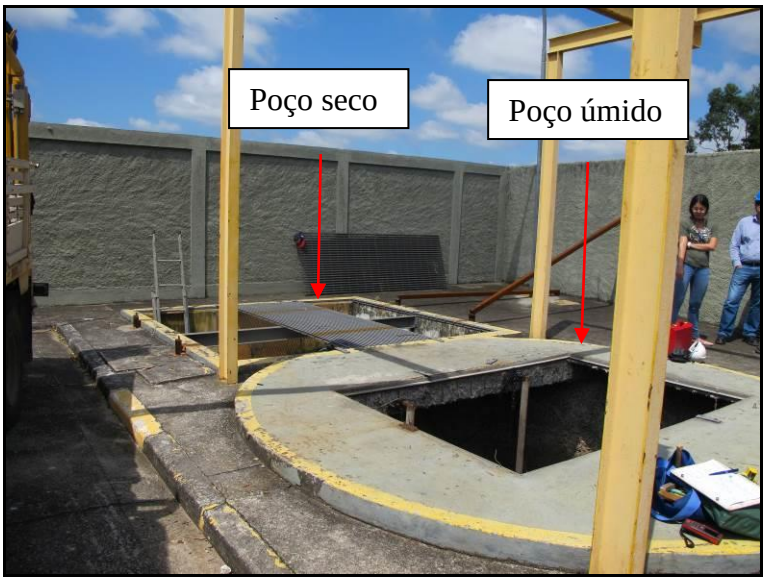



Figura 1 - Vista externa da EEE Imperial: à direita, poço úmido circular; à esquerda, poço seco retangular.

A EEE Imperial é considerada uma estrutura de grande importância estratégica para o sistema coletor de águas servidas de São José dos Campos e, diante disso, surgiu a preocupação sobre o comprometimento da superfície do concreto e da presença de quantidades significativas de armaduras expostas em avançado estado de corrosão. Por esta razão, foi solicitada à equipe da Gestão de Inspeção de Estruturas Hidráulicas, pertencente à Divisão de Controle Tecnológico da Manutenção (OGCT), a avaliação do quadro da estrutura, a fim de analisar as causas que deram origem às anomalias observadas, assim como fornecer os procedimentos mais adequados a serem executados para recuperação da Estação Elevatória. Este artigo apresenta o resultado da inspeção, diagnóstico e os procedimentos realizados para recuperação do poço úmido da EEE.

## INSPEÇÃO

A inspeção foi fundamental para o registro do quadro patológico então existente. No poço úmido (Figura 2 e 3), o concreto de todos os elementos (parede, laje de cobertura e vigas) localizados acima do nível do efluente apresentavam exposição dos agregados graúdos e perda da consistência, ao ponto de permitir sua fácil remoção com o uso de espátula (Figura 4).



Figura 2 - Vista interna do poço úmido, paredes com exposição dos agregados e armaduras oxidadas.



Figura 3 - Aspecto da laje de cobertura e vigas de sustentação.

Notou-se depósitos esbranquiçados e marrom-avermelhados na superfície da estrutura. As armaduras longitudinais e transversais da parede apresentavam um estado avançado de corrosão, com perda de secção, trechos rompidos ou completamente dissolvidos (Figura 5).



Figura 4 - Remoção da camada superficial do concreto por raspagem com espátula.



Figura 5 - Remoção de camada de concreto ao toque e ruptura da armadura longitudinal.

O concreto da área predominantemente submersa, situada abaixo do nível do efluente, compreendendo a laje de fundo e as partes inferiores da parede, apresentava um aspecto distinto das áreas de gases (Figura 6). Nesta região, o concreto não apresentava perda de consistência e nem foi verificada a exposição ou indícios de oxidação das armaduras, tais como manchas marrom-avermelhada na superfície.



Figura 6 - Aspecto do concreto da região permanentemente submersa.

## DIAGNÓSTICO

O quadro patológico da estrutura apresentava aspecto típico de ataque por ácido biogênico. Podemos elencar principalmente o conjunto de fatores como perda de coesão da pasta cimentícia, dissolução das armaduras e presença de manchas esbranquiçadas na superfície do concreto – normalmente ocasionada pela formação de gipsita.

As estruturas de tratamento de esgoto podem estar sujeitas à exposição de soluções ácidas, mais especificadamente ácido sulfídrico biogênico ($H_2SO_4$), por ser um ambiente favorável à proliferação de microrganismos do tipo redutoras e oxidantes de enxofre (O'connell, Mcnally, Richardson, 2010).

O processo se inicia na área submersa, sob a camada de lodo do efluente, onde os microorganismos redutores de sulfatos (ex. *Desulfovibrio desulfuricans*), em meio anaeróbico, produzem ácido sulfídrico (solução aquosa), que se desprende do efluente na forma gasosa como sulfeto de hidrogênio ($H_2S$).

Na sequência, parte do $H_2S$ (forma gasosa) pode se condensar na superfície do concreto e, por meio da ação de bactérias oxidantes de enxofre presente no ambiente (ex. *Thiobacillus*), em meio aeróbico converte-se em ácido sulfúrico biogênico ($H_2SO_4$) (Wu *et al.*, 2020; Wells, Melchers e Bond, 2009). Ou seja, a produção de ácido sulfúrico biogênico se daria na área de gases da estrutura, afetando principalmente a laje de cobertura, vigas e trecho da parede localizado acima do nível do efluente.

Devido à sua composição alcalina que inclui compostos com elevada quantidade de cálcio o concreto tende a não resistir ao ácido. A exposição contínua ao ácido provoca a dissolução dos compostos hidratados da pasta cimentícia. A dissolução dos compostos hidratados, especialmente o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), reduz o pH do concreto, ocasionando a despassivação das armaduras e iniciando o processo de corrosão. O ácido sulfúrico biogênico penetra nos poros do concreto promovendo a dissolução da matriz cimentícia, produzindo principalmente gipsita e possivelmente etringita (Wu *et al.*, 2020). Este tipo de fenômeno patológico acontece em camadas sucessivas, a partir da superfície exposta ao efluente, avançando gradativamente em profundidade.

Ressalta-se que a parte atacada do concreto se restringe tipicamente à área de gases, sobre a linha do efluente, aspecto observado na estrutura da Estação da Elevatória Imperial. Outro fator importante, recorrente em estações elevatórias, é a tendência de a superfície mais atacada ser oposta a entrada do efluente, fato também observada na parede da estrutura inspecionada. Isso ocorre, uma vez que, a tubulação de entrada provoca turbulência na chegada do efluente no poço úmido, resultando em maior liberação de sulfeto de hidrogênio para à atmosfera, o qual tende a se dispersar e condensar na superfície oposta.

O fato de a estrutura operar por um período com uma tampa não gradeada, na tentativa de se reduzir a difusão de odores, agravou a situação, pois não se tinha condições de ventilação dentro a rede e o $H_2S$ (g) ficava retido na região da elevatória localizada acima do nível do efluente. O sistema de ventilação adequado é muito importante nesse tipo de estrutura, pois apesar de não diminuir a liberação do sulfeto de hidrogênio, limita sua concentração, retardando a reação e, consequentemente, a degradação da estrutura.

Considerando a redução de aproximadamente 7cm na espessura da parede acima do nível do efluente, em razão da dissolução das armaduras principais e da pasta cimentícia, constatou-se que a estrutura estava em risco de colapso. Assim, tornou-se imperativo realizar obras de recuperação para restaurar sua capacidade de suporte.

Para tanto, três (03) testemunhos cilíndricos de concreto com diâmetro nominal de 75 mm foram extraídos da parede da elevatória acima do nível do efluente para se verificar a resistência à compressão axial do concreto. O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 5739:2018, desprezando a camada superficial que não apresentava coesão, uma vez que esta não tinha condições de ser ensaiada e seria descartada no processo de recuperação da estrutura. Os resultados da compressão direta, corrigidos pelos coeficientes k1 a k4 conforme tipificado na ABNT NBR 7680-1, constam na Tabela 1.

| CP N.º | $k_1$ | $k_2$ | $k_3$ | $k_4$ | Fator de correção | $f_{ci,ext}$ [a] (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 01 | -0,01 | +0,09 | +0,05 | 0,00 | 1,13 | 52,5 |
| 02 | -0,01 | +0,09 | +0,05 | 0,00 | 1,13 | 50,6 |
| 03 | -0,01 | +0,09 | +0,05 | 0,00 | 1,13 | 51,6 |

Tabela 1 - Resultado de ensaios de compressão axial.

Os resultados indicaram que a parte sólida manteve sua integridade mecânica. A resistência obtida excedia o mínimo requerido para concreto utilizado em aplicações estruturais, conforme estabelecido pela NBR 6118. Assim sendo, esse trecho foi preservado e utilizado como ponto de ancoragem para as novas armaduras a serem instaladas.

## RECUPERAÇÃO

A recuperação definida, após inspeção e diagnóstico, consistiu na remoção da camada deteriorada, instalação das novas armaduras principais, recomposição da camada de concreto removida e aplicação de um revestimento de proteção da superfície para ampliar a vida útil do ativo. Devido à perda acentuada de espessura do concreto, optou-se pela demolição e reconstrução total da laje de cobertura. Essa decisão, além de facilitar o acesso da equipe de trabalho para realização dos serviços de recuperação das paredes, proporcionou melhores condições de trabalho devido à maior circulação de ar no ambiente. A obra de recuperação foi executada pela Divisão de Manutenção Especiais em Sistemas Lineares (OGGL), através de mão de obra própria Sabesp, limitando-se a região do concreto localizado acima do nível do efluente (área de gases).

Antes do início da recuperação propriamente dita, foi necessário a execução um sistema de by-pass para que o efluente de chegada à estrutura mantivesse seu fluxo até a estação de tratamento de esgoto, assim como a montagem de andaimes para acessar todas as cotas da parede interna. Desta forma, não ocorreu nenhum tipo de interrupção do sistema de tratamento de esgoto durante a obra.

A recuperação foi iniciada pelo hidrojateamento de alta pressão (Figura 7a) nas paredes para limpeza e remoção de todo o material contaminado e sem coesão até atingir a superfície íntegra do concreto. Em áreas mais críticas, foi necessário recorrer à escarificação mecânica para alcançar o substrato desejado (Figura 7b), garantindo uma base sólida para as etapas seguintes.



Figura 7 – (a) Hidrojateamento das paredes (b) escarificação mecânica.

As armaduras seccionadas e corroídas foram cuidadosamente removidas, dando lugar à instalação de novas telas. Após a escarificação mecânica e a retirada das armaduras antigas, procedeu-se a um segundo hidrojateamento para assegurar a completa remoção das partículas soltas.

Em substituição às armaduras danificadas, optou-se pela utilização de telas eletrosoldadas Q503, devido à facilidade de instalação. Estas telas possuem aço com bitola de 8mm e espaçamento de 10x10cm, garantindo assim a cobertura da área de aço estipulada no projeto original. O posicionamento das armaduras se deu pela utilização de grampos fixados com chumbador químico.



Figura 8 - (a) Fixação dos grampos com chumbador químico (b) Amarração das telas eletrosoldadas (c) armadura plenamente fixada.

Com as novas armaduras devidamente posicionadas e fixadas, o substrato foi umedecido para alcançar um estado de substrato saturado seco (SSS), preparando-o para a aplicação da argamassa de reparo. O material escolhido possui uma resistência à compressão típica superior a 45 MPa após 28 dias, valor superior ao estipulado no projeto original, e foi aplicado por projeção via úmida. Optou-se por utilizar a metodologia de projeção para acelerar a execução, visto que dispensa a utilização de formas.

Por se tratar de uma argamassa estrutural com pega relativamente rápida, toda a logística de projeção foi cuidadosamente testada. Qualquer atraso em alguma das etapas poderia resultar no entupimento do mangote do equipamento e, consequentemente, na paralisação da projeção. Optou-se por utilizar dois misturadores manuais simultâneos para preparar o material e alimentar a máquina de projeção (Figura 9a e 9b)

Como resultado, com apenas duas camadas de projeção, obteve-se uma camada final com espessura de 7 cm (Figura 9c), proporcionando um cobrimento das armaduras em torno de 4 cm, atendendo às recomendações da ABNT NBR 6118 para o ambiente em questão.



Figura 9 – (a) Logística de mistura do material (b) Projeção da argamassa de reparo (c) Espessura de cobrimento alcançado.

Sobre a área recuperada, foi aplicado por projeção (Figura 10) um revestimento impermeabilizante, mono componente, para proteção contra o ataque por ácido sulfúrico biogênico. Este revestimento está em conformidade com a norma alemã DIN 19573:2013 06 - Argamassa para execução, recuperação e proteção de estruturas de tratamento de efluentes domésticos e drenagem urbana, e apresenta alta resistência a efluentes domésticos com substâncias agressivas, variando de pH 2,0 a 14.



Figura 10 - (a) Projeção de revestimento impermeabilizante (b) Vista da parede após impermeabilização.

Paralelamente à recuperação da parede, foi confeccionada uma nova laje de cobertura fora do canteiro de obras (Figura 11a e 11b), optou-se pela completa substituição desse elemento tendo em vista seu risco de colapso ainda durante o processo de recuperação.

A nova laje de cobertura foi dimensionada de forma a dispensar as vigas de apoio outrora existentes e seguiu as recomendações contidas na NBR 6118 com relação as características necessárias ao concreto (fck, cobrimento, relação a/c e etc), tendo em vista o alto grau de agressividade do ambiente em questão. A laje também passou pela aplicação do revestimento impermeabilizante (Figura 11c), a fim de evitar a reincidência ou minimizar a degradação em função do ataque ácido.



Figura 11 - (a) Montagem de formas (b) laje de cobertura concretada (c) elemento após impermeabilização

Após a conclusão dos serviços no interior do poço úmido, a nova laje foi posicionada mediante utilização de caminhão munck (Figura 12)



Figura 12 - (a) Içamento da peça (b) Adequação do posicionamento (c) Laje devidamente posicionada

## ANÁLISE E RESULTADOS OBTIDOS

Visando analisar a qualidade e as espessuras alcançadas com a etapa de recuperação, após a conclusão dos serviços, foram extraídos testemunhos da parede interna do poço úmido, observou-se que foi possível recompor os 30cm de espessura de parede prevista em projeto, totalizando 7cm de argamassa de reparo e aproximadamente 0,5 cm de revestimento impermeabilizante (Figura 13).



Figura 13 - Testemunho extraído após conclusão da recuperação.

A utilização de equipe própria para a execução da obra acelerou significativamente o serviço de recuperação, eliminando a necessidade de procedimentos burocráticos de contratação. Além disso, a opção pela demolição total da laje de cobertura e a confecção de uma nova fora do canteiro de obras também contribuiu para a agilidade dos trabalhos. Devido à baixa espessura da laje original, a complementação das barras no local seria um serviço mais delicado e oneroso, tornando a substituição completa uma solução mais prática, econômica e segura.

A adoção de telas para a recuperação da área de aço perdida na estrutura facilitou a instalação e contribuiu para a redução do cronograma da obra. Além das medidas corretivas, foram implementadas medidas de proteção, como a aplicação de revestimentos de proteção da superfície, minimizando a reincidência da manifestação patológica em função do ataque por ácido sulfúrico biogênico. O material adotado foi inédito no Brasil e passará por inspeções periódicas para monitorar seu comportamento.

Essas ações conjuntas resultaram em uma obra bem-sucedida, reconstituindo a capacidade portante e proporcionando melhorias significativas na durabilidade e funcionalidade da estrutura.

## CONCLUSÃO

O microclima formado no interior das estruturas que recebem ou conduzem efluentes, estão susceptíveis à formação de ácido sulfúrico biogênico - H2SO4, sendo este um dos principais responsáveis pela deterioração das estruturas de concreto. Esse tipo de degradação pode resultar em reduções drásticas na vida útil dessas estruturas, conforme constatado na EEE Imperial. A obra de recuperação foi capaz de recompor a camada deteriorada e reconstituir a área de aço especificada no projeto original. Tal medida, foi essencial para assegurar as condições de segurança, recompor a integridade estrutural e prolongar a vida útil do ativo, devido à implementação de revestimentos de proteção resistentes a ataques ácidos.

## REFERÊNCIA

O'CONNELL, M.; MCNALLY, Ciaran; RICHARDSON, Mark G. Biochemical attack on concrete in wastewater applications: A state of the art review. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, n. 7, p. 479-485, 2010

WU, Min et al. Microbiologically induced corrosion of concrete in sewer structures: A review of the mechanisms and phenomena. **Construction and Building Materials**, v. 239, p. 117813, 2020

WELLS, Tony; MELCHERS, Robert E.; BOND, Phil. Factors involved in the long term corrosion of concrete sewers. **Australasian corrosion association proceedings of corrosion and prevention, Coffs Harbour, Australia,** v. 11, 2009.