

XII-006 – ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS NO REATOR ANAERÓBIO DA ETE VIEIRA, SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE MONTES CLAROS (ESTUDO DE CASO)

Maria Ilmara Rodrigues de Souza⁽¹⁾

Engenheira Civil pelas Faculdades Integradas Pitágoras. Técnica Química de Produção de Água da COPASA-MG.

Antônio Carlos Câmara Júnior⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade FUMEC. Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG. Especialista em Gestão de Empresas pela FGV. Professor das Disciplinas de Hidráulica e Sistemas de Abastecimento de Água do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Montes Claros e da Disciplina Mecânica dos Fluidos do Curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas Pitágoras. Engenheiro de Produção e Operação da COPASA-MG.

Luiz Eduardo Murta Gomes⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade UFMG. Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG. Especialista em Engenharia Sanitária pela UFMG. Professor da Disciplina Sistemas de Abastecimento de Água do Curso de Engenharia Civil da Faculdades Integradas Pitágoras. Engenheiro de Produção e Operação da COPASA-MG.

Endereço⁽¹⁾: Rua Inocência Teixeira da Silva, 291 – Vila Regina – Montes Claros - MG - CEP: 39400-205 - Brasil - Tel: (38) 99983 0301 - e-mail: ilmara.souza@copasa.com.br

Endereço⁽²⁾: Rua Doutor Henrique Chaves, 1080, casa D – Augusta Mota – Montes Claros - MG - CEP: 39403-440 - Brasil - Tel: (38) 99922 3960 - e-mail: antonio.camara@copasa.com.br

Endereço⁽³⁾: Rua Santa Rita de Cássia, 952, Apto. 202 – São José – Montes Claros - MG - CEP: 39400-344 - Brasil - Tel: (38) 3221 6469 - e-mail: luizmurta@bol.com.br

RESUMO

A infraestrutura principal das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) é o concreto armado. O amplo uso dessas estruturas pelas companhias de saneamento requer uma vida útil de longo prazo para este material. Os reatores anaeróbios em concreto armado são utilizados nas ETE, um ambiente de agressividade classe IV, de acordo com a norma brasileira 6118. A utilização de Ensaios Não-Destrutivos (END) na investigação das condições das estruturas em concreto tem sido uma importante ferramenta de avaliação, apresentando resultados imediatos e pareceres com grau de confiabilidade sobre a vida útil das estruturas. Os recentes trabalhos desenvolvidos pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais através dos END, tem oferecido pareceres rápidos e precisos das condições das estruturas das ETE e contribuído para laudos precisos e tomada acertiva de ações de recuperação das unidades. Nesta perspectiva, a pesquisa apresenta a realização dos END e seus resultados no reator anaeróbio I da ETE Vieira na cidade de Montes Claros, Minas Gerais. As etapas da pesquisa compreenderam a realização da inspeção visual para a verificação da tipologia das anomalias do reator, END para a localização das armaduras e determinação do cobrimento por indução magnética, determinação da espessura carbonatada do concreto, determinação do potencial de corrosão das armaduras, determinação da resistividade elétrica superficial do concreto e relata considerações acerca da vida útil do reator anaeróbio. Os resultados apontam falhas na execução da estrutura e relata as medidas preventivas e corretivas a serem tomadas. Explicita ainda a eficiência dessa ferramenta auxiliar da engenharia diagnóstica acerca das condições estruturais da unidade, da sua vida útil.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto Armado, Ensaios Não-Destrutivos, Vida Útil.

INTRODUÇÃO

O tema proposto para essa pesquisa é o uso da tecnologia de ensaios não destrutivos (END) na verificação do quadro patológico da unidade concebida em concreto armado, reator UASB I (Up Flow Anaerobic Sludge Bed), da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Vieira. Esta unidade operada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) está localizada no município de Montes Claros, estado de Minas Gerais.



A ETE Vieira, para o tratamento biológico do esgotamento sanitário da cidade, conta com uma infraestrutura composta de tratamento preliminar com calha Parshall, gradeamento e desarenador, oito reatores anaeróbios tipo UASB, quatro filtros percoladores, quatro decantadores secundários, um canal de lançamento com aeração. O volume médio tratado é de 450l/s.

A avaliação de materiais cimentícios através de END ofereceu a vantagem de não comprometer o desempenho operacional da estrutura, pois os ensaios executados e a coleta de amostras foram realizados sem a paralisação da unidade.

O problema estudado deu-se pelo fator determinante de que a estrutura em questão foi concluída em 2010, ou seja, utilizada há pouco mais de quatro anos e, no entanto, apresentou patologias visíveis em diversos pontos das faces externas das paredes. Também foram visíveis as patologias nas canaletas de saída do efluente tratado.

Nesse contexto, essa pesquisa visa diagnosticar a situação do reator UASB I através do uso dos ensaios não destrutivos (END) a fim de avaliar as suas condições de durabilidade. Esta pesquisa incluiu também ensaios semi destrutivos em menor escala. Houve a coleta de amostras na estrutura para ensaios em laboratório que não foram incluídas nesta pesquisa.

A metodologia utilizada foi a pesquisa de campo de caráter experimental e documental e também, a pesquisa bibliográfica sobre o tema proposto.

A relevância dessa pesquisa é que o assunto engloba o uso de tecnologias ainda pouco utilizadas ou mesmo desconhecidas na engenharia civil, mas adotadas pela engenharia diagnóstica no estudo das estruturas em concreto armado e, ainda menos utilizadas pelas empresas de saneamento no Brasil.

Os ensaios ainda destacam-se por serem ferramentas diagnósticas não destrutivas que oferecem pareceres precisos com alto grau de confiabilidade.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA-MG).

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia foi desenvolvida através da pesquisa de campo de caráter experimental e documental com o acompanhamento dos testes realizados pela CONCREMAT Inspeções & Laboratório no reator UASB I da ETE Vieira.

O foco do estudo foi definido devido às condições operacionais existentes e aos resultados das inspeções visuais periódicas antes realizadas pela equipe de operação e manutenção no reator em questão. Esta estrutura apresentou evidências de patologias visíveis o que resultou na predileção da unidade para esta pesquisa.

Também foi adotada a pesquisa bibliográfica. Destaca-se que a literatura sobre o assunto ainda é muito limitada para o campo específico dos END. Na tentativa de enriquecer o material e conteúdo a ser pesquisado, previamente houve a participação, em maio do corrente ano, no 1º Congresso de Patologia das Construções, realizado em Foz do Iguaçu, que contribuiu para a definição do foco desta pesquisa.

Coube à CONCREMAT Inspeções & Laboratório executar a inspeção visual do reator UASB I que contemplou a face exterior da estrutura, obedecendo a um roteiro básico de inspeção, disponibilizando os equipamentos e realizar os END no período de 22.10.2014 a 24.10.2014. O relatório final foi disponibilizado em 24.11.2014.

PRIMEIRA ETAPA: ENSAIOS DE CAMPO

Inicialmente, foi feita a inspeção visual com o mapeamento do quadro patológico para o conhecimento e identificação da presença de anomalias de qualquer natureza presentes na face externa do reator UASB I, na sua laje e na canaleta efluente de esgoto. Foram realizadas medições com o fissurômetro, trena e paquímetro e

o cadastro em planilha juntamente com o registro fotográfico, de maneira que possibilitou caracterizar a intensidade e extensão das patologias visíveis.

Em seguida houve a execução dos ensaios de localização das armaduras e determinação do cobrimento por indução magnética, determinação da espessura carbonatada de concreto com indicativo do potencial de corrosão das armaduras, determinação da resistividade elétrica superficial do concreto.

Reunidos todos os dados, houve a emissão do parecer técnico da contratada à COPASA sobre o estado real da estrutura do reator com vistas à sua recuperação e medidas preventivas. Este laudo também incluiu o parecer sobre a vida útil da estrutura.

Concomitante aos trabalhos da contratada houve o acompanhamento em campo para o desenvolvimento da pesquisa com a visita diária em observação aos ensaios realizados e paralelamente foi feito o levantamento por relatórios fotográficos.

SEGUNDA ETAPA: ESTUDO DO PARECER TÉCNICO

De posse do parecer técnico final emitido em 24.11.2014 foi realizada a pesquisa documental.

A literatura sobre as técnicas construtivas afirma que toda estrutura em concreto armado apresenta involuntariamente falhas construtivas. Através dos estudos e análise dos erros acontecidos e dos riscos aceitáveis, que influenciam na deterioração precoce das estruturas podemos mitigar ou mesmo garantir-lhe uma vida útil maior.

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil. [...] Por vida útil de projeto, entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor. (ABNT NBR 6118, 2014, p.15)

A engenharia diagnóstica surgiu em 2008 a partir da necessidade de criar uma doutrina prática capaz de ordenar e classificar as diversas formas de prestação dos serviços técnicos relacionados às causas e aos efeitos das patologias construtivas nas edificações, cita Gomide et al.(2011).

Sabe-se que um dos critérios diretos para a determinação da necessidade ou não de revisão de qualquer processo de produção é a quantidade de produtos que são rejeitados, ou aceitos sob condições, ou ainda com baixo desempenho.

Tais considerações, aplicadas à Engenharia de Estruturas e associadas à análise de todos os fatos expostos, implicaram, dentro dos meios técnicos, na necessidade de se promover a indispensável alteração de métodos, a começar pela sistematização dos conhecimentos nesta área. Apontando, então, para o desenvolvimento de um novo campo, cujo objetivo é abordar, de maneira científica, o comportamento e os problemas estruturais. (SOUZA e RIPPER, 1998, p.13).

Quando uma estrutura em concreto armado é submetida a um ambiente agressivo aliado à umidade em presença de gases, o surgimento de patologias é facilitado pela reação do material com os agentes agressivos, isso resulta na alteração do seu estado inicial e pode reduzir a sua vida útil.

Segundo Fusco (2012) a quase totalidade dos mecanismos de agressão ao concreto depende da presença de mecanismos de transporte dos elementos externos de agressão através dos poros e fissuras do concreto, e da existência de dois fatores essenciais: disponibilidade de água no interior da massa de concreto e disponibilidade de oxigênio do ar.

Afirma ainda que, as agressões usuais perigosas para a integridade do concreto estão associadas a fenômenos expansivos no interior da massa de concreto já endurecido, ou à dissolução dos produtos de hidratação do

cimento resultando em abrasão, cavitação, solubilização dos elementos do concreto por águas ácidas, sulfatadas ou por álcalis, além da ação dos gases e íons cloreto que agredem as armaduras.

Cavalcanti (2009) afirma que o reator anaeróbio UASB (up flow anaerobic sludge bed) foi desenvolvido por Gatzert Lettinga, na Holanda no final de década e 60 e 70. Afirma ainda que, no final da década de 90, no Brasil, através do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB diferentes sistemas anaeróbios de tratamento de esgoto foram investigados resultando em importantes contribuições para o dimensionamento e operação desses sistemas e desde então afirma que há dezenas de reatores UASB operando ou em construção em quase todos os estados brasileiros.

Conforme as informações colhidas junto à COPASA, o reator UASB I foi construído dentro dos critérios previstos em norma para ambientes agressivos. Este foi edificado com o concreto de 40 MPa, com adição de microfibras na razão de 1Kg/m³ com a finalidade de evitar fissuras. O cimento utilizado foi o CP-V com aditivo retardador de pega superplastificante. As faces internas receberam um tratamento com Xypex (composto impermeabilizante à base de cimento portland, areia silicosa e diversas propriedades químicas ativas) e também, até 1,5m de altura, as paredes receberam proteção com poliuretano (Polibrid), assim como as lajes e tampões de visita. A face externa das paredes recebeu uma demão de cimento estrutural branco misturado a cimento comum e Branco (resina sintética impermeabilizante).

Segundo a ABNT NBR 6118 a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independente de ações mecânicas, variações volumétricas de origem térmica e retração hidráulica. No caso da ETE Vieira a Classe de Agressividade Ambiental (CAA) é a mais crítica, Classe IV, agressividade muito forte, tipo industrial com risco elevado de deterioração da estrutura.

Essas estruturas convencionais utilizadas no tratamento dos esgotos apresentam desempenho a partir do contato entre uma densa população de bactérias como o material orgânico dos esgotos e por mecanismos diferentes a massa de lodo é retida no reator. Esse contato úmido do esgoto e ao mesmo tempo carregado com diversos tipos de materiais orgânicos faz com que a estrutura fique propícia a ações diversas de deterioração.

O concreto (portanto sem o aço) adora umidade. Quanto mais umidade tiver o ambiente, melhor é o concreto, e ele vai ganhando resistência com o aumento do tempo e com o aumento da umidade. [...] Se o concreto adora a umidade, o mesmo não vale para o concreto armado pois a umidade pode oxidar a armadura. (BOTELHO e MARCHETTI, 2013, p.501-502).

Os reatores UASB são estruturas que "trabalham" em constante contato com a umidade e subprodutos agressivos da decomposição dos esgotos, como gases metano, sulfídricos, dentre outros.

INSPEÇÃO VISUAL: O MAPEAMENTO DO QUADRO PATOLÓGICO NAS FACES EXTERNAS DAS PAREDES, LAJE E CANALETA EFLUENTE DE ESGOTO

A Inspeção objetiva realizar através do exame visual dos elementos e do registro minucioso a tipologia das anomalias constatadas.

Houve o exame visual da face externa, laje e canalleta efluente da estrutura, obedecendo a um roteiro básico de inspeção com medições das fissuras através do fissurômetro, paquímetro e da trena.

A análise das anomalias cadastradas nas inspeções exigirá uma visão de conjunto para possibilitar o estabelecimento de suas causas de forma global, levando em consideração os efeitos interativos e dependentes entre anomalias e as consequências para o desempenho da estrutura. Em síntese, os trabalhos de campo promoverão um retrato fiel da estrutura. (CONCREMAT, 2014, s.p.)

A maior parte das anomalias constatadas foram fissuras transversais. A Tabela 1 do anexo traz a classificação das anomalias e suas respectivas definições. No caso das fissuras são classificadas em aleatórias, transversais, longitudinais, inclinadas e não-direcionadas.

Resistência, deformabilidade, formação de fissuras são aspectos que, pelo menos numa primeira abordagem em estruturas prediais, pouco têm a ver com o tipo de cimento. Velocidade de crescimento da resistência, resistência à ambientes agressivos, custo e durabilidade, esses critérios, sim, podem ser influenciados pelo tipo de cimento. (BOTELHO e MARCHETTI, 2013, p.54)

No parecer final, em anexo, foram listadas e identificadas 443 anomalias. De acordo com Yazigi (2009) dentre os problemas patológicos mais sérios que se manifestam nas estruturas de concreto armado, destacam-se as fissuras, que são pequenas rupturas que surgem no concreto como consequência de esforços superiores à sua resistência e isto foi confirmado no laudo da CONCREMAT.

A figura 1 mostra a vista lateral e da laje do reator UASB I. A inspeção visual foi feita em toda a extensão da unidade, inclusive nas canaletas distribuidoras da laje.

Figura 1 - Vista frontal e da cobertura do reator anaeróbio I



Fonte: o autor.

Segundo o laudo da inspeção visual as fissuras são descontinuidades geradas por solicitações superiores à resistência à tração do concreto. Foi observado defeito no sistema de impermeabilização da laje e no interior das canaletas o que provocou a corrosão no interior das canaletas distribuidoras do efluente tratado do reator.

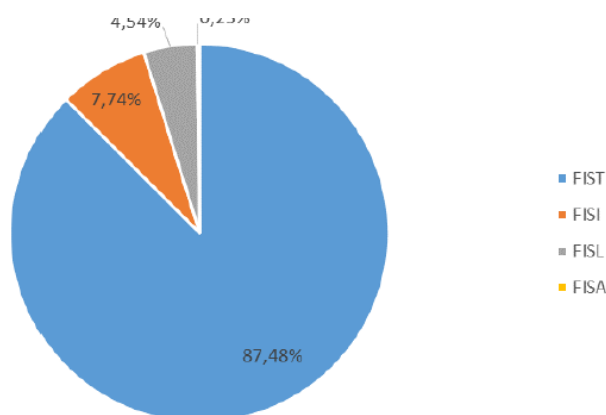
Constatou-se na inspeção que as estruturas em estudo apresentam:

Na cobertura: Defeito no sistema de impermeabilização. Nos distribuidores DST1s: Defeito no sistema de proteção e armadura corroída. Nas canaletas: Fissuras, defeito em reparo existente, desagregação do concreto e segregação do concreto. Na caixa: Fissuras e armadura corroída. Nas paredes: Armadura corroída, fissuras, defeito no sistema de proteção e defeito em reparo existente. (CONCREMAT, 2014, p.17)

Também foram constatadas eflorescências de hidróxido de cálcio nas fissuras e evidências de segregação do concreto no interior das canaletas e defeitos no sistema de impermeabilização das mesmas.

O gráfico 1 traz a distribuição, em porcentagem, das fissuras detectadas e as classifica de acordo com a Tabela 1 e tabela de cadastro de anomalias, anexa ao relatório final.

Gráfico 1 - Distribuição das anomalias



Fonte: CONCREMAT,2014.

De acordo com a Figura 2, as fissuras transversais (FIST) predominaram sobre 7,74% de fissuras inclinadas (FISI), 4,54% de fissuras longitudinais (FISL) e 0,25% de fissuras não-direcionadas (FISA).

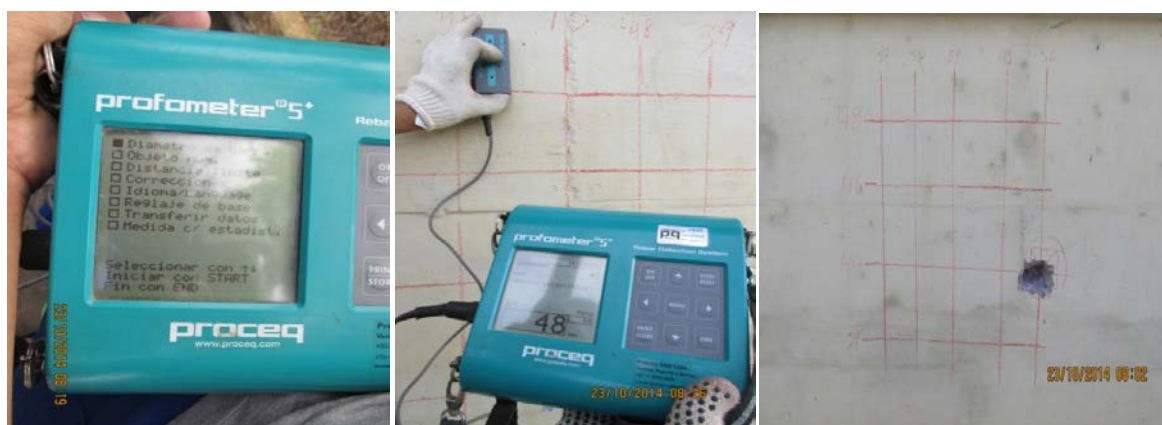
DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DAS ARMADURAS E DO COBRIMENTO POR INDUÇÃO MAGNÉTICA

O ensaio de localização das armaduras do reator anaeróbio I foi feito com o equipamento não destrutivo. O seu princípio de funcionamento é por indução magnética que fornece uma leitura digital no visor do equipamento sobre a sua localização, a distância entre barras em milímetros e também o seu cobrimento em milímetros.

A medida de cobrimento das armaduras é uma informação de grande importância quando se pretende avaliar questões de durabilidade. Utiliza-se um equipamento específico, que opera por indução magnética, cuja finalidade é a localização das barras de aço e determinação de sua espessura de cobrimento.(CONCREMAT,2014, s.p.)

Durante os testes são escolhidos os pontos de leituras críticas e traçado o local exato de localização da armadura que norteará os testes subsequentes, conforme nos mostra a Figura 3.

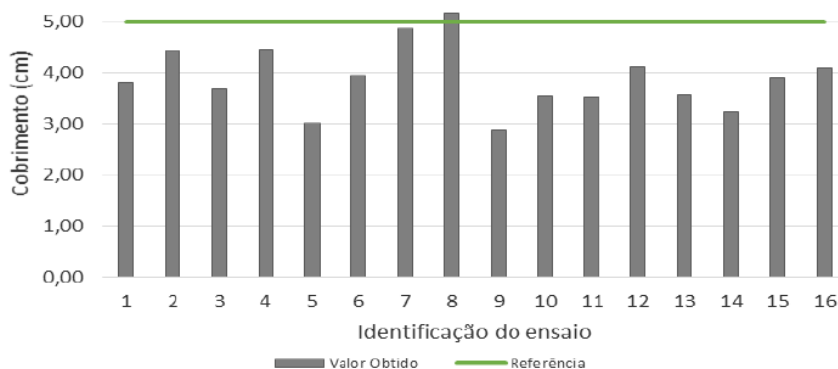
Figura 3 - Execução dos testes de cobrimento



Fonte: o autor

Os valores obtidos nos END de cobrimento estão expressos no gráfico abaixo:

Gráfico 2 - Resultados dos testes de cobrimento



Fonte: CONCREMAT,2014.

De acordo com a ABNT NBR 6118, Tabela 7.2, o cobrimento nominal mínimo com o CAA IV é de 50 mm para viga e pilar.

A DETERMINAÇÃO DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA SUPERFICIAL DO CONCRETO

O END para a determinação da resistividade elétrica do concreto foi feito com uma sonda Wenner de quatro pontos e avalia a velocidade de corrosão das armaduras embutidas.

Lübeck (2008) cita que de acordo com a NBR 7117 (1981) as medidas da resistividade elétrica obtidas pelo método dos quatro eletrodos apontam a resistividade da camada de profundidade aproximadamente igual a distância entre eletrodos. O autor cita que considerando a distância média entre eletrodos de 3cm teríamos a resistividade elétrica medida a uma profundidade aproximadamente igual ao cobrimento de armaduras comumente usado nas estruturas de concreto armado convencionais.

Resistividade é uma propriedade do material que quantifica o grau em que um objeto impede a passagem de uma corrente elétrica. Enquanto o material sólido em concreto tem uma resistividade relativamente elevada, os poros são parcialmente ou totalmente saturados com uma solução alcalina concentrada que tem uma resistividade relativamente baixa. Assim, a corrente elétrica flui principalmente através da solução dos poros, dando uma medida indireta da qualidade da microestrutura. (SNYDER, 2014,s.p)

Os cinquenta e cinco pontos analisados apresentaram velocidade de corrosão predominantemente baixa (98% dos pontos), seguida de baixa a moderada (2% dos pontos). Vale lembrar que a avaliação ocorreu apenas na face externa da unidade.

DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA CARBONATADA DO CONCRETO

Esta etapa envolveu o ensaio semi-destrutivo da camada de cobrimento da ferragem e a sua exposição em pontos críticos de leitura do ensaio anterior de localização das armaduras. Ao redor da ferragem exposta foi executada uma aspersão de solução de fenolftaleína. A fenolftaleína é um composto químico orgânico do grupo dos indicadores, estes não fazer qualquer reação com o material apenas os caracterizam de acordo com o pH do meio.

O ensaio é realizado através da abertura de uma pequena “janela” de inspeção no concreto, até atingir as armaduras. A medida se realiza por meio de titulação, aspergindo uma solução alcoólica de fenolftaleína a 1% em etanol sobre a superfície de concreto recém cortada.[...] Este fenômeno, conhecido como carbonatação,

causa uma redução do pH e consequente perda da proteção inicial contra a corrosão, fornecida pelo concreto à armadura. (CONCREMAT,2014, s.p.)

A área rósea caracteriza um valor de pH (potencial hidrogeniônico) com valor acima de 8,2 na escala que vai de 0 a 14. O valor de pH igual a 7 (sete) indica pH neutro. A área não colorida em rósea indica pH inferior a 8,2 e portanto com tendências de pouca basicidade ou ácidas. Nesse ponto também mede-se o com paquímetro, o cobrimento da ferragem.

Figura 5 - Resultados testes de cobrimento



Fonte: o autor

Através dos resultados emitidos pôde-se observar que nenhum ponto avaliado apresentou a carbonatação que comprometeu a integridade da armadura. Elas encontram-se protegidas contra a corrosão por carbonatação nesses pontos e devidamente passivadas.

De modo geral, os aglomerantes usuais utilizados em construção têm comportamento satisfatório em meio alcalino, não resistindo, porém, ao ataque de meios ácidos. [...] De modo geral, os aglomerantes resistentes à ação dos ácidos são produtos orgânicos, usualmente resinas e plásticos, e entre eles se podem apontar as resinas furan, as resinas fenólicas, resinas epóxi, etc.(BAUER, 2011, p.30)

No entanto, de acordo com os END de cobrimento da armadura foi detectada em todos os pontos avaliados uma medida inferior ao exigido pela norma 6118, o que pode ser um fator de risco à proteção das armaduras.

DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE CORROSÃO DAS ARMADURAS

O END utilizado para a determinação do potencial de corrosão das armaduras consistiu na medição do potencial elétrico em miliVolts (mV) a partir de um eletrodo de referência de cobre/sulfato de cobre. A superfície de contato do eletrodo de sulfato de cobre com o concreto foi limpa com uma leve raspagem da camada de proteção da superfície da parede e em seguida houve a sua umidificação com água de torneira.

Para que as armaduras de aço dentro do concreto sofram corrosão, é preciso que junto a elas haja umidade e oxigênio, pois o meio em que estão mergulhadas é alcalino. [...] A penetração do oxigênio proveniente do ambiente ocorre por difusão através da camada de cobrimento, chegando até o metal, e provocando a corrosão se a película passivadora tiver sido rompida.(FUSCO, 2012, p.52)

O relatório final cita como referência a norma ASTM-C-876-87 que estabelece que quanto maior o valor do gradiente (negativo) maior a probabilidade de corrosão. "O risco de corrosão é avaliado através do gradiente de potencial obtido, quanto maior for o gradiente, maior o risco de corrosão". (CONCREMAT, 2014, p.24).

Os valores da tabela ASTM são: mais positivo que -200mV (menor que 10% de probabilidade de corrosão), entre -200 e -350mV (probabilidade incerta) e mais negativo que -350mV (probabilidade maior que 90% de corrosão).

Foram verificados 39 pontos de leitura sendo que 26 deles apresentaram resultados de baixa probabilidade e 13 apresentaram probabilidade incerta. Nenhum apresentou leitura superior a -350mV.

PARECER TÉCNICO

O parecer final do relatório da CONCREMAT enfatizou a presença de anomalias no interior das canaletas como ponto de atenção já que esta parte da estrutura não foi completamente sondada nos testes devido à estrutura encontrar-se em carga.

Nas considerações finais, foi destacado o quantitativo de fissuras e enfatizado a necessidade de atenção especial aos pontos de corrosão das armaduras, aos defeitos na impermeabilização e falhas executivas que geraram a segregação e retração do concreto em alguns pontos avaliados.

Em relação à estabilidade, não foram visualizadas anomalias que comprometam a estrutura a curto prazo. Contudo, a evolução das anomalias que atualmente afetam a durabilidade e a funcionalidade das estruturas e possam vir a comprometer a estabilidade do Reator Anaeróbio, caso não sejam tratadas. (CONCREMAT, 2014, p.34)

A CONCREMAT não detectou anomalias relativas à estabilidade que comprometam a estrutura em curto prazo, mas indicou o tratamento às anomalias existentes com vistas à garantia de interrupção das patologias mensuradas.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O uso da tecnologia de ensaios não destrutivos (END) na verificação do quadro patológico do reator UASB da ETE Vieira de Montes Claros proporcionou o conhecimento almejado sobre a situação global da face externa da estrutura. Atendeu também a condição de ser executado sem comprometer o desempenho operacional da unidade conforme solicitado pela COPASA.

O relatório técnico final comprovou que apesar do histórico recente de uso do reator UASB I, este necessita de planos de manutenção corretiva para a recuperação dos pontos com resultados mais críticos apontados no relatório final e também da continuidade da manutenção preventiva para a garantia da sua proteção.

A visão global das condições de durabilidade e estabilidade da estrutura na face externa foi satisfatoriamente mostrada através dos resultados dos ensaios não destrutivos (END) que atenderam às expectativas da pesquisa. No entanto, resta a incógnita da situação interna do reator que torna necessária a complementação dessa visão.

O conhecimento do princípio de funcionamento dos equipamentos proporcionou a expansão do conhecimento técnico acerca do comportamento do concreto armado em ambientes agressivos ao passo que contribuiu para despertar o interesse em utilizar os END como ferramenta diagnóstica na COPASA.

Por fim a pesquisa proporcionou o conhecimento acerca das técnicas utilizadas pela CONCREMAT e ampliou a capacidade de avaliação crítica do estudo diagnóstico das estruturas em concreto armado. Além disso, explicitou maneiras diferentes de interpretar os dados levantados através dos END.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - procedimento: artigo em publicação periódica científica impressa – Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2014, 238p.
2. BAUER, L.A. Falcão. Materiais de Construção. 5. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2011, 488p.
3. BERTUCCI, Janete Lara de Oliveira. Metodologia básica para elaboração de trabalhos de conclusão de cursos (TCC): Ênfase na elaboração de TCC de pós-graduação Lato-Sensu. 1.ed.2.reimpr. São Paulo: Atlas, 2009,113p.
4. BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. Concreto armado, eu te amo. v. 2. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Blucher, 2010, 333p.
5. CAVALCANTI, Paula F.F. Aplicação de reatores UASB e lagoas de polimento no tratamento de esgoto doméstico. 1. ed. João Pessoa: Gráfica Santa Marta, 2009, 172p.
6. CONCREMAT Inspeções e Laboratórios. Relatório Técnico: Avaliação das condições de durabilidade das estruturas em concreto do reator anaeróbio I - Companhia de Saneamento de Minas Gerais - Montes Claros - MG. São Paulo, 2014, 48p.
7. FUSCO, Péricles Brasiliense. Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados. 2. ed. São Paulo: Pini, 2012.
8. GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1988, 175p.
9. GOMIDE, Tito Lívio Ferreira; FAGUNDES NETO, Jerônimo Cabral Pereira; GULLO, Marco Antônio. Inspeção Predial Total: diretrizes e laudos no enfoque da qualidade total e da engenharia diagnóstica. 1. ed. São Paulo, 2011, 145p.
10. LUBECK, André. Resistividade elétrica de concretos de cimento Portland branco e elevados teores de escória de alto forno. 2008. 142f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgec/wp-content/upload/diss_andre_luveck.pdf> Acesso em: 27 Nov 2014
11. MEDEIROS, João Bosco. Redação científica: a prática de fichamentos, resumos, resenhas. 11. ed. 3. reimpr. São Paulo: Atlas, 2010, 321p.
12. OLIVEIRA NETTO, Alvim Antônio de. Metodologia da pesquisa científica - Guia prático para apresentação de trabalhos acadêmicos. 3.ed.Florianópolis: Visual Books, 2008, 192p.
13. RIPPER, Thomaz; SOUZA, Vicente Custódio Moreira. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.1. ed. São Paulo: Pini, 2009, 250p.
14. SNYDER, Kenneth A. Standardization News: Surface resistivity. Gaithersburg: ASTM, 2013, s.p. Disponível em: <<http://astm.org/standardization-news/update/surface-resistivity-testing-of-concrete-ma13.html>> Acesso em: 24 Nov. 2014.
15. SPERLING, Marcos von. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v.2.6. imp.Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996, 211p.
16. YAZIGI, Walid. A técnica de edificar. 10. ed. rev. e atual. São Paulo: Pini: Sinduscon, 2009, 769p.