



UNIVERSIDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE TEÓFILO OTONI

CURSO: ENGENHARIA CIVIL

ANA LUIZZA ALVES SOUZA

**RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE REATORES ANAERÓBIOS DE UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM FERROCIMENTO: ESTUDO DE
CASO**

TEÓFILO OTONI

2019

Ana Luizza Alves Souza

**RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE REATORES ANAERÓBIOS DE UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM FERROCIMENTO: ESTUDO DE
CASO**

Artigo científico apresentado à Faculdade
Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni,
como requisito parcial para conclusão do curso
de Engenharia Civil.

Aprovado em __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Professor Orientador: Altamiro Júnior Mendes Silva
Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni

Professor Avaliador: Márcia Valéria Gonçalves de Sá
Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni

Professor Avaliador: Henrique Starick
Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni

RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE REATORES ANAERÓBIOS DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM FERROCIMENTO: ESTUDO DE CASO

Ana Luizza Alves Souza ¹

Altamiro Júnior Mendes Silva ²

RESUMO

O emprego do ferrocimento na construção civil busca a associação de uma tecnologia de baixo custo com adequada execução estrutural, apresentando-se como um potencial sistema construtivo para atendimento à crescente demanda de saneamento básico com o aumento populacional. Esse trabalho objetiva, por meio de pesquisa bibliográfica, bem como realização de pesquisa em campo, apresentar a análise da recuperação estrutural de reatores anaeróbios em ferrocimento de uma Estação de Tratamento de Esgoto. O estudo aborda a aplicação do ferrocimento como alternativa no âmbito da construção civil, buscando a avaliação estrutural das unidades. Nesse processo, a reduzida espessura das paredes que compõe os reatores e a construção de estruturas cilíndricas em cascas são características marcantes deste sistema estrutural. Dessa forma, a utilização desta técnica apresenta-se como alternativa no setor de saneamento, viabilizando a execução de projetos menos onerosos, com simplicidade construtiva, resistência e adequada eficiência de tratamento.

Palavras-chave: Ferrocimento. Recuperação Estrutural. Estação de Tratamento de Esgoto.

ABSTRACT

The use of ferrocement in civil construction seeks the association of a low-cost technology with adequate structural execution, presenting itself as a potential constructive system to meet the growing demand for basic sanitation with the increase Population. This objective study, through bibliographic research, as well as conducting field research, presents the analysis of the structural recovery of anaerobic reactors in ferrocement of a sewage treatment plant. The study discusses the application of ferrocement as an alternative in the field of civil construction, seeking the structural evaluation of the units. In this process, the reduced thickness of the walls that compose the reactors and the construction of cylindrical structures in shells are striking characteristics of this structural system. Thus, the use of this technique is presented as an alternative in the sanitation sector, enabling the execution of less costly projects, with constructive simplicity, resistance and adequate treatment efficiency.

Keywords: Ferrocement. Structural Recover. Sewage Treatment Station.

¹ Graduando no curso de Engenharia Civil pela Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni. E-mail: analuizza_souza@hotmail.com.

² Docente na Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni. E-mail: altamirojms@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Os serviços de saneamento básico exercem grande impacto na qualidade de vida social e no meio ambiente, apresentando crescente demanda. Neste sentido, a utilização de alternativas construtivas de baixo custo possibilita ampliação das unidades componentes das estações de tratamento de água e de esgoto, atendendo maior parcela da população. Dessa forma, a utilização do ferrocimento apresenta-se como possível solução para esta necessidade.

O ferrocimento é uma tecnologia de construção composta basicamente de uma armadura bem distribuída envolta por uma argamassa de cimento, área e água. Apresenta sistema construtivo facilmente assimilável, e sua fabricação de maneira artesanal sem o auxílio de formas.

Do ponto de vista estrutural, a aplicação desta técnica em reatores, baseia-se na Teoria das Resistências das Cascas na qual o desenvolvimento da estrutura em fina espessura, com formato cilíndrico, resiste às pressões através da distribuição dos esforços. Dessa forma, o desenvolvimento desta técnica resulta em estruturas leves, com menor tempo de construção, que se executada de forma adequada, com devida proporção dos materiais e qualidade destes, apresentam boa resistência e menor custo quando comparado ao uso de técnicas de construção de materiais similares.

O presente estudo tem como objetivo apresentar a análise dos reatores anaeróbios construídos em ferrocimento, orientando-se no sentido de estudo de caso de uma obra de recuperação estrutural destas unidades, realizada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA MG), na Estação de Tratamento de Esgotos da cidade de Malacacheta, estado de Minas Gerais. Neste contexto, este trabalho busca a realização do comportamento estrutural dos reatores, considerando que houve a necessidade de recuperação da estrutura destas unidades construídas em ferrocimento, avaliando a relação com o emprego desta técnica.

Ante ao exposto, a realização deste estudo se justifica, baseado na ideia de que a aplicação de uma técnica construtiva com baixo consumo material e que se mostre com eficiência estrutural apresenta-se como alternativa vantajosa, tendo em vista a viabilização de execução de projetos. Dessa forma, este trabalho é um meio de expor essa tecnologia visando a apresentação de alternativa construtiva aplicada à execução de obras de saneamento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Breve contexto histórico

O ferrocimento apresenta-se como uma técnica de construção simples e seu uso mostra-se, ao longo do contexto histórico, bastante versátil. Na busca por um material em substituição à madeira para construção de embarcações, na década de 1850, Joseph-Louis Lambot patenteou o *fer-ciment* na França (HANAI, 1992).

Entretanto, o emprego dessa técnica restringiu-se durante quase cem anos a construções navais e artefatos domésticos, considerando as condições de produção na obra no que tange a organização do trabalho, não havendo estímulo para sua utilização. Neste contexto, em 1922, a primeira cúpula geodésica do mundo, foi construída utilizando o ferrocimento, sendo uma das poucas exceções no campo da construção civil na época (HANAI, 1992).

Posteriormente, durante os anos 40, em meio à situação que se encontrava a Europa, com a ocorrência da Segunda Guerra Mundial, o engenheiro italiano Pier Luigi Nervi desenvolveu técnicas, aprimorando os resultados de Lambot, de forma que o ferrocimento pôde ser aplicado em grandes estruturas. A partir de então, a tecnologia passou a ser utilizada em diversos países (HOMEM, 1991).

Os países desenvolvidos empregavam seu uso na construção de edificações, já os países em desenvolvimento utilizavam a técnica em silos, pequenos reservatórios, construção de barcos e pequenos artefatos (PANIAGO, 1998).

A partir de 1960, o ferrocimento foi introduzido no Brasil, na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, com o desenvolvimento de estudos para aplicação desta técnica em coberturas, piscinas, reservatórios enterrados, e realização de ensaios em perfis pré-moldados.

A técnica foi aplicada em unidades da própria instituição, incentivando a consolidação no Brasil. O arquiteto João Filgueiras Lima desenvolveu obras com aplicação do ferrocimento em várias cidades brasileiras, destacando-se pelas concepções de estabilidade das estruturas. Em 1982, Alexandre D. V. Diógenes coordena o “Projeto Ferrocimento”, na Universidade Federal do Ceará, para avaliação da utilização desta tecnologia, com a adaptação dos materiais no nordeste brasileiro (HANAI, 1992).

Em Minas Gerais, a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA MG) vem introduzindo a aplicação deste sistema construtivo em Estações de Tratamento de Água desde

1993, e a partir de 1998 deu início à utilização do ferrocimento na construção de unidades de Estação de Tratamento de Esgoto. (BONIFÁCIO, 2012).

2.2 O ferrocimento

A argamassa empregada no ferrocimento é constituída de cimento portland, agregado miúdo e água. Podem ser adicionados materiais aditivos a fim de melhorar suas propriedades. (PANIAGO, 1998).

Esta técnica oferece vantagens como economia, dispensa o uso de formas, a disponibilidade dos materiais constituintes, a facilidade de transporte, a mão de obra não necessita ser especializada, pois é uma técnica facilmente assimilada e a possibilidades de dar formas variadas à estrutura (HEHL, 1988).

O cimento apresenta-se em grande teor na composição da argamassa, podem-se utilizar todos os tipos de cimento Portland, sendo indicado o Portland IV no emprego em unidades de Estação de Tratamento de Esgoto. A areia deve ser pura e apresentar granulometria de média para grossa. Com relação à água, deve-se adotar o critério de se utilizar água potável, sendo que a qualidade desta influencia na integridade da estrutura. (BONIFÁCIO, 2012).

Neste contexto, a relação água/cimento influencia diretamente na resistência da argamassa, uma vez que influencia diretamente na porosidade da massa (HANAI, 1992).

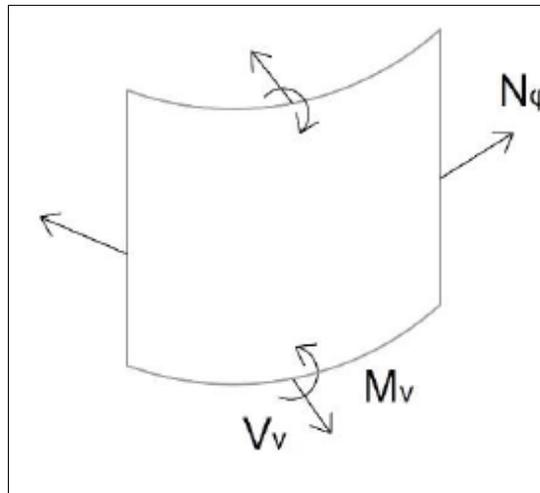
Além disso, a proporção e características dos materiais empregados também exercem influência na resistência da argamassa, daí a importância da execução a fim de se obter uma argamassa compacta, pouco permeável e com boa trabalhabilidade (PANIAGO, 1998).

É importante salientar que as propriedades da argamassa do ferrocimento são semelhantes às do concreto, no que tange a estabilidade dimensional, física e química, de forma que podem aspectos como coeficiente de dilatação térmica, fluência, retração e coeficiente de permeabilidade podem ser obtidos de acordo com os critérios estabelecidos para o concreto (PANIAGO, 1998).

O formato empregado nas construções em ferrocimento é muito importante, a espessura reduzida alinhada à forma cilíndrica ou com dupla curvatura baseia-se na Teoria da Resistência das Cascas, na qual a forma resiste às pressões por distribuição dos esforços ao longo da estrutura. Na natureza, um exemplo prático desta teoria é a casca do ovo, que possui fina espessura com resistência. (BONIFÁCIO, 2012).

Neste caso, as paredes das estruturas estão sujeitas ao desenvolvimento de momento fletor, esforços transversais e axiais de tração, conforme figura 1.

Figura 1 - Principais esforços na parede cilíndrica



Fonte: MENESES (2013)

A evaporação da água utilizada no processo da argamassa propicia a formação de vazios, o que direciona ao aumento da permeabilidade, característica que pode ser diminuída através da incorporação de aditivos (UEMOTO, 1988).

O uso de aditivos objetiva a melhoria de propriedades da argamassa, dentre estas propriedades, aumenta a plasticidade da argamassa sem alterar o teor de água na mistura (PANIAGO, 1998).

Com relação à armadura, são empregadas a armadura de reforço, utilizando barras de aço de 4,2 a 6,3 mm ou telas de aço soldados conferindo maior agilidade, e a armadura difusa, constituída de tela hexagonal trançada, malha ½' arame nº 24, disposta em meio à armadura de reforço (BONIFÁCIO, 2012).

No que tange a função das armaduras, a difusa resiste aos esforços de tração e proporciona a configuração de fissuras pouco espaçadas, a armadura de reforço supre a necessidade de aço para que sejam preenchidos os requisitos de segurança, além de facilitar a montagem das telas (PANIAGO, 1998).

Segundo Bonifácio (2012), o ferrocimento apresenta como principais valores característicos: V_f (volume específico) – representa o valor total de armadura dividido pelo valor do compósito: 1,8%; S_r (superfície específica) – área superficial do aço dividido pelo valor do compósito: $0,8 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ ou $\geq 1,6 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ para estruturas destinadas ao armazenamento de água; G – conteúdo de armadura em peso = $160 \text{ KG}/\text{m}^3$.

Hanai (1992) descreve as características físicas e mecânicas do material, apresentando resistência aos vinte e oito dias à compressão simples variando de 30 a 60 Mpa e à tração simples entre 3 e 5 Mpa.

2.3 Emprego do ferrocimento em unidades de tratamento de esgoto

Observa-se que no caso da utilização em ambientes de tratamento de esgoto, o ferrocimento apresenta vulnerabilidade devido à exposição ao gás sulfídrico e a outros agentes agressivos, assim como outros materiais cimentícios como o concreto armado. Neste caso, as patologias são causadas devido ao biogás resultante da digestão anaeróbia, formando ácido sulfúrico, que reage com a pasta de cimento (BONIFÁCIO *et al*, 2015).

Conforme Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 11173/1990, em ambientes fortemente agressivos, a fim de se obter uma durabilidade adequada da estrutura, faz-se necessário o emprego de medidas especiais para proteção desta.

É importante obter uma argamassa com alta compacidade, realizando a técnica de forma adequada, com o recobrimento mínimo necessário, que varia de 2 mm a 6 mm, aliada ao uso de proteção para as áreas afetadas pelo ataque química, para aplicação em unidades de tratamento de esgoto (BONIFÁCIO *et al*, 2015).

Segundo Sidney e Charchar (2003), nos reatores, a eficiência em termos de redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) têm sido em média 80%.

2.4 Aspectos sociais

Com o crescimento populacional, a necessidade de intervenção em locais onde predominam população de baixa renda, com ruas estreitas ou em acentuados aclives, demanda a busca pela implantação de dispositivos de saneamento à baixo custo, que possam amenizar os problemas de infraestrutura. (BEZERRA, 1984).

A facilidade de assimilação e execução do trabalho faz com que a técnica de construção do ferrocimento propicie a utilização de mão de obra não especializada, atingindo maior parcela da população. Além disso, nos programas de saneamento urbano, onde há presença de locais de difícil acesso para equipamentos, a tecnologia torna-se bastante viável (HEHL, 1988).

O emprego desta técnica, quando executada “in loco”, torna possível a participação da comunidade na execução, na qual podem ser realizados mutirões para construção de unidades que atendam a um grupo envolvido (HEHL, 1988).

2.5 Aspectos econômicos

Uma das principais vantagens do emprego do ferrocimento refere-se à economia. A disponibilidade dos materiais e a facilidade do transporte e armazenagem, aliados à dispensa do uso de formas, conferem à técnica a característica de baixo custo, quando comparados a materiais similares (HEHL, 1988).

Sidney e Charchar (2003), para verificação da viabilidade financeira da utilização do ferrocimento em unidades de saneamento, realizaram um comparativo dos custos de implantação de uma Estação de Tratamento de Água ETA de 12 l/s em três processos construtivos: ferrocimento, concreto armado e pré-fabricada em polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV). Através deste estudo, constatou-se que o custo total da construção da ETA em ferrocimento representava 35% do valor total orçado para construção em concreto armado e 42% em relação à implantação em PRFV.

2.6 O reator anaeróbio de fluxo ascendente

Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente apresentam fácil operação em comparação a outros tratamentos (LANGRAF, 2018).

Estas unidades caracterizam pela presença de uma manta de lodo, que é responsável pelo tratamento do efluente, onde ocorre a decomposição anaeróbia da matéria orgânica, e um separador trifásico destinado à separação do lodo e gases gerados durante o processo (SILVA, 2018).

Trata-se de sistemas compactos com alta taxa de digestão, e o funcionamento depende do bom contato do efluente com a manta de lodo (VIANA e LOBATO, 2017).

3 METODOLOGIA

No intuito de alcançar os objetivos propostos, quanto aos meios, realizou-se pesquisa bibliográfica, através de consultas a revistas e publicações de órgãos públicos ligados ao tema.

Os dados de construção dos reatores anaeróbios, objeto deste estudo, foram coletados junto à empresa Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA MG).

Foram realizadas avaliações das unidades “in loco”, por meio de inspeção visual das estruturas e registro fotográfico ao longo do processo da execução da obra de recuperação estrutural destas.

Considerando a similaridade das propriedades do ferrocimento com o concreto e a falta de normas específicas para o ferrocimento, foram adotados dados para verificação estrutural, baseados na NBR 6118/2014.

Foi desenvolvida a modelagem matemática para verificação do comportamento estrutural das unidades sendo que para desenvolvimento da análise, foi utilizado programa SAP2000 versão v15.

Para a análise do comportamento estrutural, foi utilizado o cálculo por esforço de membrana, estando as estruturas sujeitas à compressão longitudinal e ao esforço de tração horizontal em anéis, desprezados os esforços por flexão (BONIFÁCIO, 2012).

Dessa forma, foram consideradas a ação do peso próprio da estrutura, a pressão gerada pelo líquido efluente nos reatores anaeróbios e a sobrecarga na cúpula. Neste contexto, não foi considerada a pressão do solo uma vez que a modelagem foi voltada para verificação da estrutura com relação às patologias apresentadas, sendo que a parte enterrada se encontrava em perfeitas condições de funcionamento.

Para a realização do levantamento bibliográfico, utilizou-se os seguintes descritores: ferrocimento, argamassa armada, tratamento de esgoto, reator anaeróbio.

Quanto aos fins, considera-se pesquisa descritiva de abordagem qualitativa.

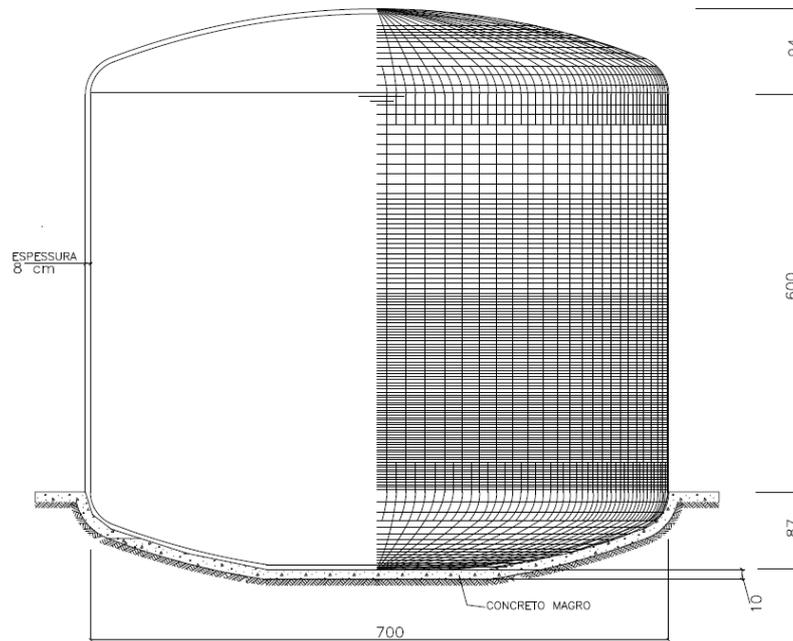
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Característica da Estrutura

O objeto de estudo em questão refere-se a três reatores anaeróbios de fluxo ascendente, semienterrados, construídos em ferrocimento. A espessura das paredes dos reatores é de 8 cm, e possuem forma circular.

Cada unidade do reator foi construída com câmara única, possuindo diâmetro de 7,00 metros. O volume útil aproximado de cada unidade é de 230 m³ e a estrutura possui 7,80 metros de altura no eixo central, conforme figura 2.

Figura 2 – Reator Anaeróbio em Ferrocimento



Fonte: Projeto COPASA - Adaptado

As estruturas estão localizadas em área rural, estando, portanto, em ambiente de classe de agressividade I (fraca), entretanto a parte interna dos reatores encontra-se exposta aos gases provenientes do tratamento de esgoto, sendo considerado ambiente com agressividade química, portanto classe de agressividade IV (forte), segundo NBR 6118/2014.

O tempo de detenção hidráulico dos reatores é de 10h.

Materiais adotados:

- Tela Aço CA-60 4,2mm;
- Tela hexagonal ½" 24 bwg;
- Argamassa traço 1:2:0,5.

4.2 Avaliação do comportamento estrutural

Para fins de análise do comportamento estrutural, considerou-se para as cargas permanentes apenas o peso próprio da estrutura, adotando 25 kN/m³, considerando a inserção da armadura.

O efluente gera uma carga uniformemente distribuída nas paredes do reator e no fundo, de acordo com a equação ilustrada a seguir:

$$q = \gamma \times h \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

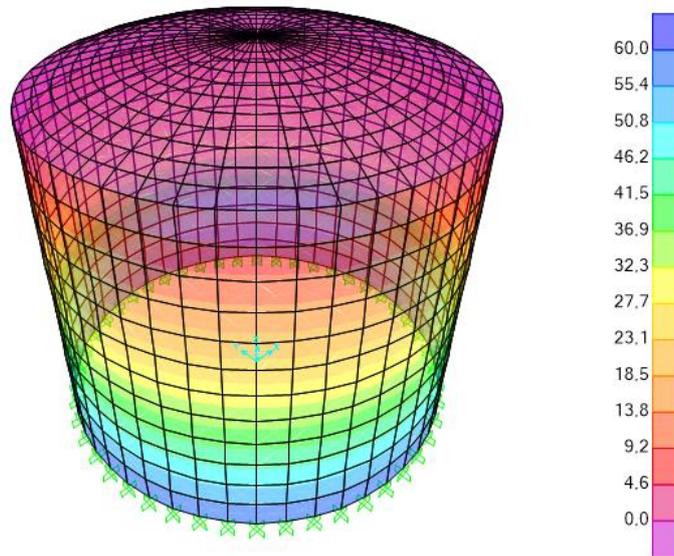
- γ é o peso específico do efluente (adotado 10 kN/m^3);

- H é a altura do efluente considerada a partir da base.

Neste caso, a pressão do efluente gera esforços anelares de tração como principais esforços atuantes na estrutura.

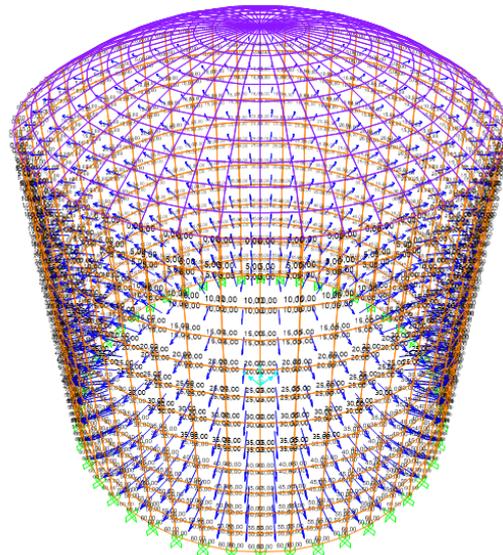
Dessa forma, com os dados obtidos através dos cálculos da equação 1, obtêm-se a carga hidráulica máxima de 60 kN/m^2 . O comportamento estrutural decorrente desta carga hidráulica é apresentado conforme figuras 3 e 4.

Figura 3 - Comportamento estrutural devido à carga hidráulica



Fonte: Autor

Figura 4 - Ação devido à carga hidráulica

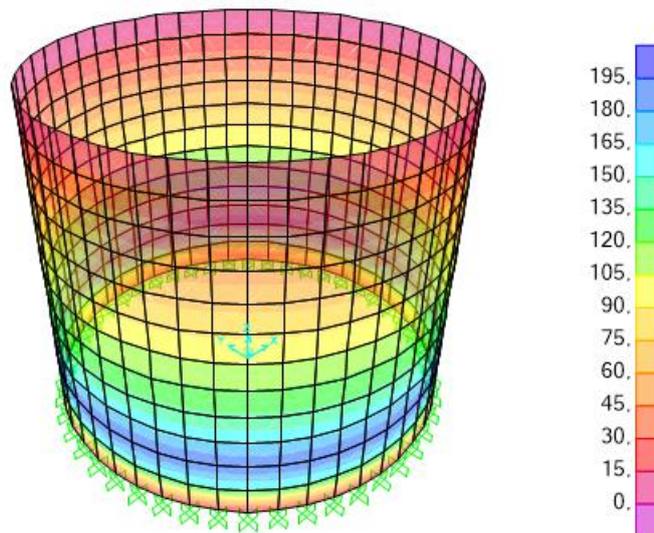


Fonte: Autor

A cobertura dos reatores na maior parte do tempo suportará uma ação variável praticamente nula. Para verificação do comportamento estrutural foi adotada sobrecarga de 1 kN/m² tendo em vista o acesso de pessoas para fins de manutenção das unidades.

Dessa forma, analisando a estrutura das paredes dos reatores, obtêm-se o esforço normal horizontal, conforme mostra a figura 5.

Figura 5 - Esforço normal horizontal nas paredes



Fonte: Autor

4.3 Verificação da armadura utilizada

Para cálculo da armadura necessária, verificou-se que o máximo esforço normal axial (N) se encontra na parte inferior do reator, equivalendo a 195 kN. Neste contexto, o esforço normal de cálculo (Nd) corresponde a 195 kN, multiplicado pelo coeficiente de ponderação do concreto de valor 1,4, conforme NBR 6118/2014, resultando em 273 kN ou 27300 kgf.

O aço adotado foi o aço CA-60 que possui resistência de cálculo ao escoamento (Fyd) representado por 60 kgf/mm² multiplicado pelo coeficiente de ponderação do aço de valor 1,15, conforme NBR 6118/2014, resultando em 52,174 kgf/mm² ou 5217,4 kgf/cm².

Dessa forma, a área de aço necessária é dada pela divisão do esforço normal de cálculo (Nd) pela resistência de cálculo ao escoamento (Fyd) correspondendo a 5,23 cm²/m.

Na construção dos reatores, foram empregadas três camadas de tela eletrosoldada com bitola dos fios de 4,2 mm com aproximadamente 1,9 cm²/m cada, e três camadas de tela hexagonal em malha de ½ polegada, arame nº 24 BWG. Considerando que foi utilizada a mesma área de aço em toda a extensão dos reatores, distribuída uniformemente, a armadura utilizada resiste adequadamente às tensões aplicadas à membrana.

4.4 Análise da recuperação estrutural

Foram verificadas as seguintes anomalias nas estruturas externas dos reatores: presença de trincas na laje superior, desagregação da argamassa estrutural e em algumas partes a perda total da argamassa ocasionando a exposição da armadura, conforme apresentado nas figuras 6 e 7.

Figura 6 - Reator a ser recuperado



Fonte: COPASA MG

Figura 7 - Detalhe da laje superior



Fonte: COPASA MG

As patologias apresentadas comprometiam a estabilidade estrutural dos reatores, e conseqüentemente o funcionamento adequado dos reatores, levando à necessidade urgente de intervenção para recuperação e proteção das estruturas.

Tendo em vista o comportamento estrutural analisado do sistema construtivo e a presença das patologias predominante na região acima da lâmina d'água, no caso, na parte superior do reator sujeita à exposição de gases, ácidos e sulfatos, considerou-se que como principal causa o ataque químico e bioquímico à estrutura cimentícia.

Após programação da paralisação das unidades, para início dos trabalhos de recuperação das estruturas foi realizado o esvaziamento total das unidades, com retirada de todo o lodo existente. Posteriormente, foi executada a limpeza da superfície interna e higienização dos reatores. Realizou-se então a montagem do cimbramento de madeira, para evitar o risco de ruptura da laje superior, a fim de garantir segurança para execução das obras.

Foi executada a demolição da parte dos reatores onde o ferrocimento encontrava-se degradado, alcançando toda a laje superior do reator e parte superior da parede do reator afetada, sendo realizada de forma a preservar parte das armaduras da parede, a fim de promover a ancoragem da nova estrutura a ser construída, objetivando assegurar a continuidade dos esforços na estrutura completa.

Tendo sido realizada os serviços de demolição de toda parte comprometida e remoção dos entulhos gerados, procedeu-se então a reconstrução da estrutura demolida, utilizando os materiais empregados na construção do ferrocimento.

Para a armadura principal ou de reforço foram utilizadas telas de aço CA-60 soldadas com fios de diâmetro de 4,2 mm, dispostas de forma a permitir a distribuição dos esforços de forma mais homogênea. Na confecção da armadura difusa, a fim de evitar o surgimento de fissuras, utilizou-se a tela hexagonal galvanizada de malha de ½ polegadas, arame nº 24 BWG, conforme figura 8, sendo estas amarradas em três camadas.

Figura 8 - Tela Hexagonal Galvanizada



Fonte: Autor

A armadura de reforço e a difusa foram dispostas em camadas, a fim de se alcançar a área de aço necessária, devidamente distribuída, conforme figura 9, sendo utilizado para amarração das telas o arame recozido PG 18.

Figura 9 – Montagem das armaduras difusa e de reforço



Fonte: Autor

Na execução da argamassa o traço utilizado foi o de 1:2, aplicando o cimento Portland IV resistente a sulfatos. A areia foi bem lavada, de forma a se obter uma granulometria de média para grossa. Além disso, foi empregado aditivo plastificante permitindo a redução do fator água/cimento.

Para aplicação da argamassa, optou-se pela forma mecanizada com o auxílio de uma caixa associada a um vibrador de imersão, de maneira a evitar vazios. Para a cura desta, os reatores permaneceram úmidos durante os primeiros dias para promoção das reações de endurecimento.

Foi realizada a limpeza das superfícies para retirada de qualquer sujeira e/ou partículas soltas. Após este procedimento, as unidades estavam prontas para a impermeabilização, conforme figura 10.

Figura 10 – Reatores após a cura do ferrocimento



Fonte: Autor

Realizou-se a aplicação do sistema impermeabilizante de base mineral no ferrocimento em toda a face interna do reator, sujeitas ao fissuramento, na parte das estruturas que ficarão imersa. Seguiu-se então com a execução de uma camada de nivelamento, composta de resina epóxi e cimento, para nivelar a superfície para recebimento da camada de proteção contra os gases.

Na proteção da estrutura de ferrocimento exposta aos gases provenientes da biodigestão, foi utilizado revestimento em PRFV, na parte superior do reator, através do processo de laminação manual, de forma bem aderida ao substrato, de maneira a impedir o ataque da armadura pelos componentes corrosivos do biogás.

Procedeu-se a instalação dos tubos de distribuição, tampas de inspeção, sistema de coleta, transporte e queima do biogás, conforme figura 11, objetivando a diminuição da atmosfera agressiva na parte superior dos reatores, promovendo melhor destinação dos gases gerados.

Figura 11 – Detalhe dos reatores recuperados



Fonte: Autor

Para melhor uniformização das áreas tratadas, a fim de se obter melhor aspecto visual e proteção das superfícies externas dos reatores, foi executada a pintura de todas as unidades em sua parte externa com tinta acrílica na cor de concreto.

Após a recuperação foram realizados testes nas unidades, com carregamento hidráulico destas, a fim de verificar a existência de vazamentos e a necessidade de intervenção. Notou-se que, principalmente na parte das juntas com a antiga estrutura, surgiram manchas de umidades localizadas, conforme figura 12, que foram monitoradas.

Figura 12 – Presença de manchas de umidade



Fonte: Autor

Estas manchas tenderam a desaparecer nos primeiros quinze dias. Nos casos de vazamentos contínuos, foram realizados os reforços e reparos necessários, propiciando o adequado funcionamento e operação dos reatores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constatou-se que o ferrocimento empregado em unidades de tratamento de esgoto atende os requisitos de desempenho estrutural solicitados. Entretanto, deve-se observar que, sendo um ambiente fechado com geração de gases agressivos como o ácido sulfúrico, necessita de uma proteção maior nesta área.

A ausência de precauções em nível de qualidade e proporção dos materiais adequados combinado com má execução pode gerar uma situação com condições favoráveis para a deterioração dos materiais. Na consideração do emprego do ferrocimento em reatores anaeróbios deve-se observar que a distribuição da armadura ao longo da estrutura é maior, aliada a fina camada de recobrimento, portanto, caso haja algum vazão propiciando a corrosão desta, a área de atuação da deterioração será maior.

Dessa forma, a vida útil do emprego deste sistema construtivo está relacionada com a produção, qualidade de materiais empregados, traço, moldagem e cura, sendo que todas estas fases devem ser supervisionadas a fim de obter uma estrutura eficiente e resistente, aliada ao uso de proteção no caso de unidades de tratamento de esgoto.

No caso de estudo em questão, conclui-se que a necessidade de recuperação estrutural das unidades se deu a fato do ataque químico dos gases resultantes da biodigestão anaeróbia, de forma que, com a aplicação da camada de proteção em fibra de vidro, possibilitará o aumento da vida útil destas unidades, sendo uma alternativa a seguir no emprego do ferrocimento no tratamento de esgotos.

Portanto, o ferrocimento apresenta-se como solução alternativa de baixo custo para a execução de reservatórios e construções rurais, bem como obras de saneamento, no sentido de atendimento ao grande contingente populacional, garantindo a viabilização de projetos, do ponto de vista técnico, econômico e social.

Neste sentido, recomenda-se como possível objeto de estudo a análise de alternativas do sistema de proteção para emprego do ferrocimento em ambientes agressivos, decorrentes do processo de tratamentos de esgotos, buscando obter opções que se mostrem eficientes para maior durabilidade da estrutura.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11173. **Projeto e execução de argamassa armada**. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

BEZERRA, Robério Ribeiro. **Argamassa armada – Aplicação em urbanização de favelas e saneamento básico**. Estudo Técnico. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, 1984.

BONIFACIO, Sávio Nunes, *et al.* **Vida útil, patologias e terapias de ETE em ferrocimento - Estudo de caso de sucesso em uma companhia de saneamento**. Cadernos ABESS, 2015.

BONIFÁCIO, Sávio Nunes. **A revolucionária aplicação do ferrocimento em reservatórios, estações de tratamento de água e tratamento de esgoto no estado de Minas Gerais - Brasil**. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Minas Gerais, 2012.

HANAI, João B. **Construções de argamassa armada**. Editora Pini Ltda, São Paulo, p. 19-98, 1992.

HEHL, W.C. **Reservatórios e biodigestor de argamassa armada**. In: Tecnologia de edificações. São Paulo:Pini, 1988.

HOMEM, Antônio Clovis Fonseca. **Ferrocimento (técnicas de construção)**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

LANDGRAF, Ana Carolina Monteiro *et al.* **Análise do comportamento hidrodinâmico de um reator UASB**. Acta Tecnológica, v. 12, n. 1, p. 11-20, 2018.

PANIAGO, Dálím Gomes. **Análise estrutural de reservatórios enterrados de argamassa armada com telas de aço soldadas**.1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SIDNEY, Eugênio; CHARCHAR, Renato. **Estudo comparativo de custos para construção de Estações de Tratamento de Água com a utilização da tecnologia do ferrocimento e outras**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Minas Gerais, 2003.

SILVA, João Victor Tenório da, *et al.* **Avaliação do desempenho de filtro biológico como pós-tratamento de reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo visando o reuso de esgoto sanitário**. 2018.

UEMOTO, K.L. **Aditivos impermeabilizantes para argamassas e concreto**. In: Tecnologia de edificações. São Paulo:Pini, 1988.

VIANA, Lorena Contreiras; LOBATO, Ana Katerine de Carvalho Lima. **Estudo de tecnologias de tratamento biológico anaeróbio como alternativa para tratamento de condensado de unidade produtiva de sulfato de amônio**. Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, v. 15, 2017.