

ETEs CONSTRuíDAS EM FERROCIMENTO PROTEGIDAS CONTRA CORROSÃO

Eduardo Carreiro Machado*

Geraldo Furtado Neto**

RESUMO

Percebe-se ao longo dos anos que há um aumento das novas tecnologias usadas na construção civil. Neste trabalho será apresentada a técnica ferrocimento, ainda pouco aplicada na construção de ETEs por falta de experiência. Paralelo a isto, aparecem os sistemas de impermeabilização empregados nestas construções que visam manter sua estabilidade, estanqueidade e proteção. O objetivo deste estudo é analisar qual destas impermeabilizações apresentam melhores adequações para serem usadas nas construções de estações de tratamento de esgoto. Foi utilizado nesta análise materiais bibliográficos, e como resultado foi observado que existem materiais impermeabilizantes de excelente desempenho a base de poliureia, ainda pouco conhecidos e também muito caros e outros mais tradicionais como sistemas orgânicos e não orgânicos que oferecem bons resultados, sendo necessário portanto adequar cada projeto a sua necessidade.

Palavras-chave: Ferrocimento. Corrosão. Proteção.

ABSTRACT

It is noticed that over the years the increase of technologies used in civil construction, in this work in particular the ferrocement technique, a technique already widely used, but not very applied, due to lack of experience. Parallel to this, appear the waterproofing systems used in these constructions that aim to maintain their stability, watertightness and protection. The aim of this study is to analyze which of these waterproofings would be more suitable to be used in the construction of sewage treatment plants. Bibliographic materials were used in this analysis, and as a result it was observed that there are waterproofing materials with excellent performance based on polyurea, still little known and also very expensive, and other more traditional ones such as organic and non-organic systems that offer good results, therefore being necessary adapt each project to your needs.

Keywords: Ferrocement. Corrosion. Protection.

*Rede de Ensino Doctum - Unidade Cataguases- aluno.eduardo.carreiro@doctum.edu.br Graduando em Engenharia Civil

** Rede de Ensino Doctum - Unidade Cataguases- prof.geraldo.neto@doctum.edu.br Orientador do trabalho

1 - Introdução

O concreto armado atualmente, é o material mais usado em obras de saneamentos, porém também são cada vez mais agressivos os sistemas de tratamento de água e esgoto, e isso pode prejudicar a operação e a durabilidade dessas estruturas. Nesse sentido, o método construtivo ferrocimento aparece como uma excelente opção devido a seu baixo custo de implantação quando comparado a outras tecnologias (PINTO; TAKAGI, 2007).

Ambientes que necessitam de impermeabilização, como estações de tratamento de água e esgoto, entre outros, suscetíveis à presença de agentes químicos agressivos, representam um campo de aplicação a ser explorado (QUINI; FERRAZ, 2015).

Para a efetiva utilização desta técnica na construção de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), alguns entraves devem ser eliminados para obtenção de estruturas seguras e duráveis.

A NBR 9575 (2010), “estabelece as exigências e recomendações relativas à seleção e projeto de impermeabilização, para que sejam atendidos os requisitos mínimos de proteção da construção contra a passagem de fluidos, bem como os requisitos de salubridade, segurança e conforto do usuário, de forma a ser garantida a estanqueidade dos elementos construtivos que a requeiram”.

Vasconcelos (2015), fala que devido a necessidade de obter-se um produto resistente, executado em menor tempo, com resistência ao contato com produtos químicos agressivos, entre outros, aparece no mercado impermeabilizantes a base de elastômeros de poliureia e poliuretano como opções que possam suprir estas premissas. Salienta ainda que são poucos os artigos técnicos científicos que abordam estes tipos de impermeabilização.

A conservação e a durabilidade do concreto são fundamentais para assegurar que suas estruturas tenham uma resistência maior ao longo dos anos. (SILVA; PINHEIRO, 2005).

Corrosões das estruturas em aço e concreto armados causados pela ação bioquímica de substâncias presentes nos esgotos domésticos como o gás sulfídrico, corroboram para diminuir a vida útil das Estações de Tratamento de Esgoto e seus acessórios. Os desgastes podem ser tão severos que em alguns casos podem causar o colapso de algumas estruturas construídas, com perdas significativas ambientais, financeiras, legais, de saúde pública, entre outros.

Assim, ETEs construídas em ferrocimento, são ainda mais vulneráveis aos agentes corrosivos por ser um método construtivo de paredes delgadas, em que focos de corrosão provocam danos estruturais que podem facilmente provocar o colapso das estruturas.

Nesse sentido, torna-se necessário a busca por soluções adequadas para proteger as estruturas de ferrocimento usados na construção das ETEs, com intuito de reduzir gastos com manutenções das estruturas danificadas e garantir segurança e adequada vida útil às obras. O trabalho apresenta o termo ferrocimento, e fala sobre essa técnica usada mundialmente.

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar meios funcionais que visem contribuir na prevenção de corrosões nas estruturas de concreto das Estações de tratamento de Esgotos (ETEs).

Para tanto, foram realizadas pesquisas bibliográficas a partir de materiais já tornados públicos, no intuito de obter informações relevantes ao tema pesquisado, afim de obter esclarecimentos melhores na busca por dados pertinentes ao enunciado.

De forma específica, buscou-se compreender as patologias causadas pelo esgoto doméstico em estruturas de concreto, bem como analisar problemas causadores da corrosão, além de propor intervenções por meio de impermeabilizações nas estruturas de ferrocimento.

Assim, este trabalho apresenta em sua introdução a justificativa e a importância do tema, bem como os objetivos da pesquisa.

Posteriormente, uma revisão bibliográfica sobre ferrocimento, materiais e sistemas impermeabilizantes, normas pertinentes, técnicas de aplicação entre outros, e serão apresentados os resultados obtidos dos sistemas de impermeabilização aplicados nas construções de ferrocimento das Estações de Tratamento de Esgoto-ETEs.

2 - Referencial teórico

O referencial teórico da presente pesquisa foi estruturado em quatro tópicos, a saber: Ferrocimento; Intervenções que visam melhorias nas estruturas de ferrocimento; Problemas causados por corrosão e Sistemas de impermeabilização usadas em obras de saneamento.

2.1 - Ferrocimento

De acordo com IFS (2001), “ferrocimento é um tipo de concreto armado comumente construído com argamassa de cimento Portland reforçado com telas de fios de diâmetros relativamente pequenos.” Sendo que a espessura da argamassa usada precisa estar em conformidade com a abertura e a distribuição das malhas armadas a serem envolvidas, como mostram as figuras 1 e 2 abaixo.

Figura 1: Reservatório em ferrocimento.



Fonte: BONIFÁCIO (2017).

A Norma Técnica “Ferrocimento para Obras de Saneamento”, elaborada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA, T.186/1 (2016, p. 16), fala que “a aparente simplicidade executiva do ferrocimento não deve implicar em menosprezo das boas técnicas executivas (...)”. Tampouco a pequena espessura construída, que é a característica da estrutura de ferrocimento, torna a qualidade construtiva menos importante.

O aramado da estrutura do ferrocimento compreende a armadura de reforço, (sendo a principal), ela determina a forma desejada, a resistência e a distribuição de esforços nas estruturas de concreto, e a armadura difusa, que é aplicada na armadura de reforço, é composta por telas de arames finos e pouco espaçados, com a finalidade de ser a forma para a argamassa e conferir ao ferrocimento a flexibilidade, a micro

fissuração, afim de atender os parâmetros internacionais de ferrocimento. (T.186/1 (2016)).

Assim, a argamassa é aplicada diretamente sobre o aramado, dispensando desta maneira o uso de formas, porém utiliza métodos e critérios específicos para evitar falhas e vazios nas estruturas.

Figura 2: Reservatório em ferrocimento fechado.



Fonte: BONIFÁCIO (2017).

Em consonância com a Norma Técnica T.186/1 (2016), quando construído dentro dos padrões de qualidade desta Norma, o ferrocimento, normalmente não necessita de revestimentos para garantir sua estanqueidade. Entretanto, torna-se necessário analisar o tipo de estruturas e de fluidos com que serão trabalhados. À vista disso, estruturas sujeitas à ataques químicos do tipo dos gases gerados pelo esgoto doméstico, precisam de atenção maior por meio de película protetoras ou outro meio adequado.

A Norma T.186/1 (2016, p. 9), estabelece que “Nas estruturas de ferrocimento pode-se utilizar os cimentos Portland existentes no mercado, desde que seu tipo seja definido em função da finalidade da obra”. Conforme esta norma, para a escolha do cimento, deve-se considerar:

- que, para meios de fraça e média agressividade ao ferrocimento, devem ser usados cimentos Portland de alto forno-CP III (NBR 5737), pozolânico-CP IV (NBR 5736) ou resistentes à sulfato RS (NBR 5737);
- que, para obras em meios de agressividade muito forte ao ferrocimento em estruturas para tratamento de esgoto, deve ser usado o cimento Portland resistente à sulfato- RS (NBR 5737).

Desse modo, a Norma Técnica NBR 5737 (1992), fixa as condições exigíveis no recebimento dos cimentos Portland resistente a sulfatos.

De acordo com Lapa (2008), a era de ouro da engenharia civil no Brasil, deu-se na década de 70, marcada por grande desenvolvimento econômico. Porém, a velocidade de expansão, acabou incentivando o uso de técnicas construtivas pouco aprimoradas, e contratação de mão de obra sem qualificação.

Assim, ainda que o concreto armado apresente resultados excelentes, quanto ao desempenho e qualidade, ele precisa de cuidados em sua preparação, com o propósito de otimizar sua durabilidade, o que envolve estudo de traço, dosagem, manuseio e cura, além da manutenção periódica e o uso de proteção contra agentes agressivos (LAPA, 2008).

Devido às condições de rugosidades, porosidade, umidade e composição química do concreto, e somando-se ainda às condições ambientais, ele é considerado um material bioreceptivo à ataques microbiológicos, o que pode causar a biodeteriorização do mesmo, e interferir em sua estética, durabilidade e integridade (LAPA, 2008).

Para Lapa (2008), no que diz respeito ao ataque biológico em concreto no interior dos esgotos, em condições anaeróbicas as bactérias produzem ácido sulfídrico de pouca agressividade. Mas o gás sulfídrico desprendido do esgoto reage quimicamente com auxílio de bactérias aeróbicas, produzindo ácido sulfúrico, muito agressivo ao concreto.

2.2 - Intervenções que visam melhorias nas estruturas de ferrocimento

Em conformidade com o Código de Ferrocimento, elaborado pela Sociedade Internacional de Ferrocimento (IFS), em janeiro de 2001, dispõe sobre a durabilidade e manutenção das estruturas. O código atenta para a melhoria na qualidade da argamassa e melhores medidas de proteção nas estruturas de ambientes agressivos.

Bonifácio, D'avila e Quintão (2015), ressaltam que os produtos protetores geralmente possuem durabilidade menor quando comparados ao da estrutura de ferrocimento, sendo necessário portanto, projetar e construir estas estruturas com vida útil equivalente à construção de outros materiais similares, devem ser consideradas também as medidas de proteção do projeto antes do início de deterioração.

Quando a biodeterioração do concreto é constatada, torna-se necessário identificar os micro organismos responsáveis pelos danos, de maneira a planejar um reparo eficiente, para evitar novos ataques (SILVA; PINHEIRO, 2005).

De acordo com Bonifácio, D'avila e Quintão (2015), no item do Código IFS (2001), em que fala da qualidade da execução e cura da obra, o texto chama a atenção para a experiência da firma construtora, pois é característica do ferrocimento ser pequena a espessura de sua estrutura, o que enfatiza a necessidade de qualidade da execução da obra.

Ainda de acordo com os engenheiros (2015), o Código IFS (2001), fala da necessidade de criar programas de treinamentos para esta tecnologia, pois muitos construtores não tem experiência na construção em ferrocimento. Atenta também para a qualidade imposta, que inclui controle da cura de recobrimento e cita uma regra simples, que é especificar o recobrimento de dois mm ou 1/10 da espessura do ferrocimento ou o dobro do diâmetro do arame das telas, usar o que seja menor (BONIFÁCIO, D'AVILA E QUINTÃO, 2015).

Silva e Pinheiro (2005), falam que para diminuir o risco de biodeterioração do concreto, podem ser realizadas atitudes preventivas, como manter a superfície mais lisa possível, realizar isolamento da água, drenar o solo, entre outros.

Desse modo, uma análise da superfície do concreto deve ser feita antes da aplicação de qualquer tratamento do material. Entretanto, as substâncias destinadas à proteção de materiais de construção contra a biodeterioração geralmente são protegidas por patentes, e sem conhecer a sua verdadeira composição, torna difícil sua escolha (SILVA; PINHEIRO, 2005).

As obras de construção usando a técnica ferrocimento, precisam de inspeções e manutenções contínuas, com a devida atenção para casos de corrosão e deformação excessivas. A presença de água ou umidade causam deterioração nas estruturas, devido à existência de poros, o que de acordo com o Código (2001), é imprescindível durante a construção, controlar a formação e distribuição de poros (BONIFÁCIO, D'AVILA E QUINTÃO, 2015).

Portanto, com um bom projeto e uma boa execução serão conduzidos a estruturas de alta qualidade, além de providenciar medidas necessárias a serem realizadas nas regiões sujeitas a maior agressividade, como aplicação de proteção superficial e vistorias constantes. Considera-se ainda o uso de uma camada de tela de aço inoxidável ou reforço com fibra plástica ou, projetar componentes estruturais de fácil reposição nos locais mais expostos a exposição agressiva (BONIFÁCIO; D'AVILA; QUINTÃO, 2015).

Assim, em consonância com os engenheiros (2015), e com os critérios de durabilidade listados em ordem, o Código do Ferrocimento da IFS salienta:

- A qualidade da argamassa, aplicada com boa compactação e cura, resultando em baixa permeabilidade. O uso de aditivos é indicado para melhorar a desempenho da argamassa;
- O detalhamento do projeto estrutural adequado de forma a evitar a concentração de esforços e assegurar a integridade das superfícies críticas, cantos e bordas;
- Aplicação de pintura protetora da superfície sob condições ambientais fortemente agressivas, caso necessário;
- A durabilidade será fator do uso de materiais da qualidade especificada, execução bem orientada e uma política de manutenção estrutural;
- Programa de treinamento de mão de obra para construção e projeto de estruturas de ferrocimento.

2.3 - Problemas causados por corrosão

“A corrosão pode ser definida como a deterioração de um material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos” (LAPA, 2008, p. 44). Desse modo, o estudo e tratamento da corrosão são importantes no aço e também no concreto, onde as ações do tipo químico causam maiores prejuízos (Lapa, 2008).

Para os engenheiros Bonifácio, D'avila e Quintão (2015):

O Código do Ferrocimento (IFS, 2001) se posiciona com relação à vida útil e segurança. Uma estrutura em ferrocimento deverá ser projetada e construída tão boa e resistente como as construções de materiais similares, de modo a satisfazer o requerido da vida útil com o mínimo de manutenção prevista. Quanto à estrutura com segurança, deve ser garantida por supervisão adequada, em todo tipo de aplicação, de forma a não causar lesões corporais ou perdas econômicas. As construções em ambientes agressivos devem

passar periodicamente por inspeção para detectar pontos de corrosão ou alguma delaminação. Para estruturas principais, o Código prevê uma vida útil de 50 anos, quando se trata de estruturas terrestres em ambiente normal (...). (BONIFÁCIO; D'AVILA; QUINTÃO, 2015, p. 4).

Os engenheiros falam ainda que o concreto é um material alcalino com pH entre 12 E 13,5, mas devido a produção do sulfeto de hidrogênio no esgoto, podem ocorrer fortes reações químicas reduzindo este pH para menos de 6,0. Esse fato acontece acima da linha d'água, na região gasosa dos reatores. A brusca redução do pH cria o ambiente perfeito para o crescimento e proliferação de bactérias que causam danos severos ao concreto. (BONIFÁCIO; D'AVILA; QUINTÃO, 2015).

Os gases ácidos (sulfeto de hidrogênio e carbônico), reduzem gradualmente o pH do concreto ao reagirem com a umidade presente na superfície do concreto. O primeiro reage produzindo ácido sulfúrico e o segundo ácido carbônico. A redução do pH para valores de 9 ou 9,5 já é suficiente para o crescimento de bactérias concretívoras. E com a redução de pH entre 6 e 7, propicia ambiente favorável ao desenvolvimento do Thiobacillus concretivorus, que metaboliza H₂S em ácido sulfúrico biogênico, resultando em degradação, perda de dureza e coesão, sulfatação com expansão e desagregação do concreto (BONIFÁCIO; D'AVILA; QUINTÃO, 2015).

Figura 3: Ataque de gás sulfúrico biogênico



Fonte: PINTO; TAKAGI (2007).

Figura 4: Corrosão no teto da estrutura.



Fonte: BONIFÁCIO (2017).

Para evitar a propagação do gás sulfídrico, torna-se necessário o uso de uma tampa no teto das estruturas de esgoto por conta das agressões causadas por ácido sulfúrico biogênico. Com a formação de gás sulfídrico (H_2S), proveniente da ação redutora de bactérias anaeróbicas, sobre compostos orgânicos ou inorgânicos de enxofre, presentes no esgoto que apresentam um odor desagradável de ovo podre (PINTO; TAKAGI, 2007).

Nesse contexto, são grandes os estragos encontrados nas estruturas quando não realizadas os procedimentos devidos, para manutenção e conservação dos mesmos, como mostrados nas figuras 3 e 4.

2.4 - Sistemas de impermeabilização usados em obras de saneamento

Em 2003, foi lançada uma nova norma Técnica, trata-se da NBR 9575, divulgada pela ABNT. Esta técnica atualiza conceitos de projetos e a classificação das soluções de impermeabilização que atendem às exigências quanto ao desempenho em relação à estanqueidade e à durabilidade (PINTO; TAKAGI, 2007).

Desse modo, Pinto e Takagi (2007), falam que entidades públicas e privadas trabalham para que as estruturas em obras saneamento venham a ter melhores desempenhos funcionais de estanqueidade em consonância com a durabilidade, o que torna necessário alterações consideráveis nos padrões de projeto, execução e manutenção das obras de saneamento, com intuito de esclarecer cada vez mais as

restrições, os benefícios e as limitações das soluções de impermeabilização e proteção nestas obras.

Para Bonifácio, D'Avila e Quintão (2015), os sistemas usados no tratamento de água e esgoto são cada vez mais agressivos às estruturas de concreto e ferrocimento, fazendo-se necessário uma melhor impermeabilização e proteção nas obras de saneamento, para maior durabilidade, principalmente em estações de tratamento de esgotos cobertas, onde a ação de bactérias podem causar problemas de corrosão no teto das estruturas, devido a formação do ácido sulfúrico biogênico.

Os engenheiros (2015), destacam ainda características do esgoto, que de acordo com os pesquisadores Pinto e Takagi (2007), são agressivas às estruturas de concreto:

- DBO5 e COT – parâmetro de determinação da quantidade de matéria orgânica no esgoto. A matéria orgânica alimenta os microrganismos que, então, produzem o gás sulfídrico (H₂S) que se oxida formando o ácido sulfúrico (H₂SO₄), que ataca a superfície do concreto e da armadura;
- Nitrogênio Total – indispensável ao crescimento de microrganismos e algas, mas produz sal de amônio (NH₃) que reage com a alcalinidade protetora do concreto;
- Cloretos – em sua forma iônica promovem a corrosão da capa apassivante da armadura do concreto;
- Alcalinidade – ainda que a pasta de cimento do concreto tenha natureza química alcalina, a presença de solução alcalina concentrada age na deterioração do concreto;
- Ácido Sulfúrico Biogênico – atenção especial ao potencial de deterioração em estruturas de concreto em estações de esgoto. A formação de gás sulfúrico biogênico pela ação das bactérias, como *Thiobacillus thiooxidans* e *Thiobacillus concretivorans*. Estas bactérias aeróbias necessitam da presença de oxigênio, oxidam os compostos de enxofre, o gás sulfídrico (H₂S), formado na digestão do esgoto e o transforma em ácido sulfúrico biogênico. Causam intensa corrosão no teto das estruturas de armazenamento de esgoto. Seus processos metabólicos ocasionam valores de pH em torno de 2, podendo chegar a valores ainda menores de 0,7. Pode ocorrer grande deterioração nestas estruturas, com perda de até 7 (sete) cm do revestimento do concreto em menos de 5 (cinco) anos. (BONIFÁCIO; D'AVILA; QUINTÃO, 2015, p. 5 e 6).

Foram desenvolvidos nas últimas décadas sistemas para proteger as estruturas de água e esgoto, que podem ser distinguidos basicamente em dois sistemas de proteção, sendo eles, os orgânicos (fechados à difusão) constituídos por resinas de epóxi, poliuretana, furânica, fenólica ou de poliéster, e os inorgânicos (abertos à difusão) que são os revestimentos principalmente à base de cimento ou outros sistemas minerais (PINTO; TAKAGI, 2007).

3 - Metodologia

Neste trabalho realizado através de levantamento bibliográfico, buscou-se dados obtidos em estudos acadêmicos publicados.

De acordo com Marconi e Lakatos (2003), a pesquisa bibliográfica é um apanhado geral sobre os principais trabalhos já realizados. Elas representam portanto, grande importância ao atribuir dados atuais relevantes ao tema.

Nesse sentido, sua finalidade é obter conhecimentos mais claros que ajudem a entender melhor o assunto abordado.

As pesquisas exploratórias de acordo com Gil (2002), têm o objetivo de proporcionar maior proximidade com o problema, com intuito de torná-lo mais compreensível ao leitor. Logo, este trabalho busca avaliar as impermeabilizações usadas atualmente em obras de saneamento, com a finalidade de selecionar técnicas mais adequadas para se aplicar na proteção de ETEs construídas em ferrocimento.

Desse modo, para demonstrar maior entendimento desta tecnologia empregada na construção civil, utilizou-se também na pesquisa, fotos de construções em que foram usadas a técnica ferrocimento, bem como fotos dos efeitos causados por corrosão.

Foi falado como as estruturas de ferrocimento são construídas, os tipos de impermeabilizantes mais usados, e como os problemas em relação aos danos mais comuns podem afetar essas estruturas.

Assim, o presente estudo apresenta alguns métodos de impermeabilização usados na técnica construtiva ferrocimento, com intento de expandir este método que já é usado na construção civil, porém ainda pouco difundido em construções de Estações de Tratamento de Esgoto.

4 - Resultados e discussões

O quadro 1 abaixo, apresenta características encontradas nos sistemas minerais e orgânicos.

Para Pinto e Takagi (2007), uma das características que distingue os sistemas de proteção é a difusão de vapor d'água. Portanto, há que se tomar cuidado com a utilização de revestimentos orgânicos nas estruturas de saneamento, por conta do fenômeno conhecido como osmose, em que a umidade pode exercer uma pressão de vapor onde a umidade retida pode sair e assim apresentar patologias de bolhas e deslocamentos, o que apresenta grandes riscos, no caso de encapsular o concreto com películas impermeáveis.

Quadro 1: Características típicas encontradas nos sistemas minerais e orgânicos.

PROPRIEDADES	MINERAL	ORGÂNICA
Resistência Química (pH)	0 ~ 14	2 ~ 13
Resistência a Temperatura (°C)	570 °C	80 °C
Substrato para aplicação	Úmido	Seco
Densidade	2,2 g/cm ²	1,5 g/cm ²
Resistência a compressão (28 dias)	60,0 MPa	80 MPa
Resistência a tração(28 dias)	10,0 MPa	40 MPa
Difusão de vapor	SIM	NÃO
Resistência ao Raio UV	SIM	NÃO
Meio Ambiente	Inofensivo	Podem conter elementos voláteis

Fonte: PINTO; TAKAGI (2007).

Assim, destacam abaixo, quatro sistemas atuais de impermeabilização e proteção de estruturas minerais:

- **Sistemas de cristalização:** Tipo de sistema que tornam o concreto menos permeável, suas propriedades permitem a aplicação em áreas de água e efluentes, contudo, não possui resistência à abrasão.
- **Revestimentos a base de cimento polímero:** Consistem em produtos bicomponentes, sendo um pó a base de cimento e um líquido a base de polímeros. Não recomendado para aplicação de estruturas de efluentes, por sua baixa resistência química e falta de resistência à abrasão.
- **Revestimento de alta resistência química à base de cimento:** utilizado preferencialmente cimento isento de C3A. Por sua grande resistência química (pH 3 a 14), são recomendados para aplicação em estruturas de armazenamento de água potável e efluentes.
- **Revestimentos minerais de alta resistência química isentos de cimento:** tem como base um silicato polimérico. Sua aderência, durabilidade e estabilidade dimensional, o tornam perfeito para proteção de superfícies de concreto e aço em estações de efluentes, entre outros. Estes revestimentos são abertos à difusão de vapores de água e com exceção ao ácido hidrofúrico, são resistentes à todos os ácidos orgânicos e inorgânicos com pH próximo ao Zero, também são resistentes à temperatura de até 570°, e pode ser aplicado onde altos carregamentos mecânicos e agentes agressivos encontram-se simultaneamente.

Desta maneira, com a comparação feita, destacam-se os revestimentos de alta resistência química à base de cimento, e os revestimentos minerais de alta resistência química isentos de cimento. Estes dois tipos de impermeabilizações minerais (inorgânicas), sobressaem aos outros (BONIFÁCIO, D'AVILA E QUINTÃO, 2015).

4.1 - Impermeabilizantes em membranas de poliuretano e membranas epóxi

Em ambientes como estações de tratamento de esgoto, estações de tratamento de água, entre outros, predispostos à presença de agentes químicos agressivos, requerem um tipo de impermeabilização que suporte a agressividade desses agentes (QUINI; FERRAZ, 2015).

Assim, antes da escolha da técnica e materiais, um estudo prévio das condições do ambiente deve ser considerado, afim de usar o procedimento adequado. "(...) Dentre as diversas substâncias potencialmente causadoras de agressão química, as mais comuns são: solventes, ácidos, bases, sais, gases e outros compostos químicos (...)". (QUINI; FERRAZ, 2015).

Em especial nas ETEs, os autores Quini e Ferraz (2015), falam que a liberação de gases contendo enxofre, nitrogenados, fenóis aldeídos, álcoois e ácidos orgânicos, podem vir a causar corrosões nas armaduras e prejudicar a estrutura dos tanques.

Portanto, os tanques fechados que recebem esgotos devem ser impermeabilizados internamente nas bases, nas laterais e também no teto, pois sua impermeabilização deve resistir aos líquidos e também aos gases gerados no processo, que podem vir a prejudicar o concreto (QUINI; FERRAZ, 2015).

Desse modo, de acordo com Quini e Ferraz (2015), ambientes que precisam de maior proteção e/ou estanqueidade, faz-se necessário o uso de impermeabilizantes adequados, assim os autores (2015), evidenciam a moldagem in loco de duas membranas de impermeabilização listadas abaixo, por conta de sua abrangência e facilidade de aplicação:

4.2 - Impermeabilizantes de poliuretano

Os impermeabilizantes de poliuretano podem ser formulados para aplicações em diversos segmentos, em geral são produtos bicomponentes, formados pela reação conjunta de hidroxilas (poliois) e isocianatos, os dois são líquidos e com pouca viscosidade (QUINI; FERRAZ, 2015).

- Aplicação é simples, mas precisa ser homogênea e com proporções adequadas;

- Dentre as principais propriedades do poliuretano, destacam-se elevada elasticidade, aderência ao substrato, boa resistência química, cura rápida, termofixo;
- Para alcançar suas propriedades típicas, este tipo de impermeabilizante deve ser aplicado sobre a superfície regularizada, seca e limpa, para que não prejudique a formação das membranas e danifiquem os resultados;
- Em relação a quantidade de camadas aplicadas, para obter-se uma boa impermeabilização, geralmente são aplicadas de duas a três demãos, entretanto, irá depender das condições do local e do acabamento da superfície a ser trabalhada;
- Para aumentar a resistência a tração, torna-se necessário o uso de uma tela ou manta de poliéster não tecido como estruturante.

Desta maneira, o quadro 2 abaixo apresenta as propriedades típicas das membranas de poliuretano para impermeabilização:

Quadro 2: Propriedades típicas de membranas de poliuretano para impermeabilização.

Requisitos	Unidade	Parâmetros	Método de ensaio
Resistência à tração	MPa	2 - 5	ABNT NBR 7462
Alongamento na ruptura	%	50 - 300	ABNT NBR 7462
Deformação permanente	%	<30	ABNT NBR 10025
Resistência ao rasgo	kN/m	2 - 20	ASTM 624-C
Flexibilidade à baixa temperatura (- 5°C)	-	Atende	ABNT NBR 9952
Dureza Shore A	-	60 – 90	ABNT NBR 7456
Escorrimento (120°C)	-	Atende	ABNT NBR 9952
Tração e alongamento após intemperismo - 500 h - Perda máxima	%	<25	ASTM G154
Flexibilidade (5°C) após envelhecimento acelerado (4 semanas a 80°C)	-	Atende	ABNT NBR 9952
Determinação de resistência de aderência à tração - mínima	MPa	0,3 – 1,0	ABNT NBR 13528
Índice de VOC (Compostos orgânicos voláteis)	g/L	5 – 10	SCAQMD 1168/Method 304-91

Fonte: QUINI; FERRAZ (2015).

4.3 - Impermeabilizantes epóxi

De acordo com Quini e Ferraz (2015), as membranas epoxídicas são diferenciadas devido às suas características únicas como alta resistência química e resistência à abrasão, sendo esse um diferencial para ambientes industriais submetidos à agentes químicos agressivos como ácidos, álcalis e solventes orgânicos.

- As propriedades principais são elevadas resistências mecânica e aderência ao substrato, resistência química excelente, cura rápida, termofixo entre outros, devido a sua grande resistência química, este apresenta excelente durabilidade para uso na construção civil, porém, sua exposição à temperaturas acima da transição vítrea do material podem comprometer seu desempenho e sua durabilidade;
- Pode atingir uma resistência química muito alta, dependendo do tipo de resina e do endurecedor a serem usados, indicada preferencialmente para áreas submetidas ao contato com substâncias químicas agressivas;
- Do mesmo modo que a membrana de poliuretano, a membrana epoxídica também precisa ser feita em superfície curada e seca, para que sua aderência seja perfeita, além de verificar a qualidade da argamassa a ser utilizada, esta não deve conter aditivos para não prejudicar a penetração e aderência do produto;
- Ela destaca-se por ser impermeabilizante empregado em obras industriais que tenham contato com agentes químicos muito agressivos;
- Para sua aplicação a mistura precisa estar homogênea e uniforme, e de acordo com o local e acabamento, geralmente duas camadas são suficientes;
- Neste tipo de impermeabilizante, o uso de estruturantes não melhora o desempenho desta resina por conta de sua elevada resistência, porém, pode vir a ser usada apenas para assegurar o consumo mínimo especificado.

Assim sendo, o quadro 3 abaixo, apresenta as propriedades típicas da membrana epóxi:

Quadro 3: Propriedades típicas de membrana epóxi.

Requisitos	Unidade	Parâmetros	Método de ensaio
Resistência à tração	MPa	10 - 40	ABNT NBR 7462
Alongamento na ruptura	%	5 – 120	ABNT NBR 7462
Resistência ao rasgo	kN/m	30 - 35	ASTM 624-C
Dureza Shore D	-	45 - 80	ABNT NBR 7456
Determinação de resistência de aderência à tração	MPa	1,4 – 1,5	ABNT NBR 13528
Índice de VOC	g/L	0,1 – 0,5	SCAQMD 1168/Method 304-91
Aderência a tração	MPa	1,0 – 2,0	NBR 13.528/10
Penetração de água sob pressão positiva e negativa (48h a 0,1MPa e 24h a 0,7MPa)	---	Estanque	NBR 10.787/94

Fonte: QUINI; FERRAZ (2015).

Quini e Ferraz (2015), falam que “as membranas uretânicas apresentam resistência química moderada para ácidos e bases em baixas concentrações e resistência limitada para solventes, sendo indicada para áreas de estações de tratamento de água e esgoto doméstico (...)”. Entretanto as membranas epoxídicas apresentam desempenho melhor do que as membranas uretânicas, já que chegam a resistir a ácidos, bases concentrados e solventes em geral.

Desse modo, destacam os sistemas uretânico ou epoxídico, por apresentarem benefícios melhores e facilidade de aplicação em Estações de Tratamento de Esgoto, contudo torna-se indispensável uma vistoria antes do serviço a ser realizado, pois cada projeto possui especificações singulares (QUINI; FERRAZ, 2015).

Figura 5: Tanques de ETEs impermeabilizadas com membrana de poliuretano.



Fonte: QUINI; FERRAZ (2015).

4.4 - Sistemas impermeabilização a base de poliureia

De acordo com a NBR 9575 (2010), sistema de impermeabilização é o “conjunto de produtos e serviços (insumos) dispostos em camadas ordenadas, destinado a conferir estanqueidade a uma construção”. (ABNT NBR 9575:2010)

Em vista disso, o sucesso de uma impermeabilização depende do material impermeabilizante utilizado, juntamente com a interação do substrato, da estrutura, da camada de proteção mecânica, das decisões construtivas entre outros. (VASCONCELOS, 2015).

Para Vasconcelos (2015), os sistemas impermeabilizantes “tem apresentado considerável evolução tecnológica tanto no aspecto de novos materiais como em novas técnicas de aplicação”. De acordo com autor, os sistemas a base de asfalto tem recebido adições poliméricas, com o propósito de melhorar o desempenho em obras de construção civil.

“Nesse cenário, surgiram, recentemente no Brasil, os impermeabilizantes a base de elastômeros de poliureia e poliuretano entre os vários outros comercializados no mercado.” (VASCONCELOS, 2015, p.22).

Com a necessidade de um produto diferenciado que apresente alto alongamento, alta dureza e resistência à tração, resistência à produtos químicos agressivos e redução de prazo de execução, entre outros, aparecem no mercado sistemas poliméricos. Estes produtos surgem para atender uma demanda que os sistemas tradicionais a base de cimento não conseguem cumprir (VASCONCELOS, 2015).

Para Vasconcelos (2015), a produtividade da família das poliureias é grande quando comparado as aplicações tradicionais, geralmente são aplicadas a quente em superfícies limpas, na proporção de 1 por 1 entre os componentes (isocianato) e (mistura de resinas) em altas pressões realizados com equipamentos sofisticados e que deve ser realizado com o uso de equipamento de proteção individual.

Figura 6: Máquina Aplicadora de Poliureia e pistola de aplicação.



Fonte: VASCONCELOS, 2015.

O material possui cura rápida, e após o lixamento e hidrolavagem, é recomendado a aplicação de primer a base de resina epóxi (VASCONCELOS, 2015).

Contudo, os produtos poliméricos cada vez mais usados na construção civil como revestimentos impermeabilizantes, destinados a aplicações mais nobres, apresentam também custos mais altos, faz-se necessário portanto, um estudo maior sobre seu desempenho (VASCONCELOS, 2015).

Dessa forma, Vasconcelos (2015), em sua pesquisa, ensaiou vários testes de performance de corpos de prova de membranas impermeabilizantes identificadas no quadro 4, a seguir:

Quadro 4: Sistemas impermeabilizantes da pesquisa.

MATERIAL PRINCIPAL DO SISTEMA		SISTEMA PESQUISADO	CÓDIGO DA PESQUISA	CAMADAS DO SISTEMA IMPERMEABILIZANTE	TÉCNICA DE APLICAÇÃO	ESPESSURA DESEJADA PARA O ESTUDO
NUMERO	DESCRIÇÃO					
1	POLIURÉIA HÍBRIDA APLICADA A QUENTE COM ALTO ALONGAMENTO	1	1A	PRIMER + POLIURÉIA 1	EQUIPAMENTO PLURAL	2 mm
		2	1B	POLIURÉIA 1 APLICADA SOBRE CONCRETO SEM PRIMER	EQUIPAMENTO PLURAL	2 mm
		3	1C	PRIMER + CAMADA BASE EM POLIURETANO + POLIURÉIA 1	EQUIPAMENTO PLURAL E DESEMPENADEIRA	3 mm
2	POLIURÉIA PURA APLICADA A QUENTE COM ALTO ALONGAMENTO	4	2A	PRIMER + POLIURÉIA 2	EQUIPAMENTO PLURAL	2 mm
		5	2B	POLIURÉIA 2 APLICADA SOBRE CONCRETO SEM PRIMER	EQUIPAMENTO PLURAL	2 mm
		6	2C	PRIMER + CAMADA BASE EM POLIURETANO + POLIURÉIA 2	EQUIPAMENTO PLURAL E DESEMPENADEIRA	3 mm
3	POLIURÉIA HÍBRIDA APLICADA A QUENTE COM BAIXO ALONGAMENTO	7	3A	PRIMER + POLIURÉIA 3	EQUIPAMENTO PLURAL	2 mm
		8	3B	POLIURÉIA 3 APLICADA SOBRE CONCRETO SEM PRIMER	EQUIPAMENTO PLURAL	2 mm
		9	3C	PRIMER + CAMADA BASE EM POLIURETANO + POLIURÉIA 3	EQUIPAMENTO PLURAL E DESEMPENADEIRA	3 mm
4	POLIURETANO	10	4A	MULTICAMADAS DE MEMBRANAS DE POLIURETANO	ROLO + DESEMPENADEIRA METÁLICA	2 mm
5	POLIURÉIA HÍBRIDA APLICADA A FRIO	11	5A	PRIMER + POLIURÉIA FAMÍLIA 5	ROLO	2 mm
6	POLIURETANO ORIGEM VEGETAL	12	6A	POLIURETANO A FRIO DE ORIGEM VEGETAL	ROLO	1,5 mm
7	ACRÍLICO	13	7A	MEMBRANA ACRÍLICA	ROLO	1 mm
8	ASFALTO	14	8A	MANTA ASFÁLTICA TIPO III B	MAÇARICO	4 mm

Fonte: VASCONCELOS (2015).

Os resultados obtidos nos ensaios foram atribuídas notas de 0 a 10, de acordo com o desempenho de cada material em teste específico, e pesos diferenciados pelo tipo de ensaio de 1 a 4.

As diversas notas foram somadas e obteve-se um ranking de colocações dos materiais em ordem decrescente de desempenho dado abaixo pelo quadro 5:

Quadro 5: Ranking” final dos sistemas de acordo com o ensaio de caracterização.

SISTEMA	ALONGAMENTO EM %		RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)		RESISTÊNCIA AO RASGO (N/mm)		DUREZA (SHORE A)		ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO - IRA (%)		NOTAL FINAL
	NOTA OBTIDA NESSE ENSAIO	PESO DO ENSAIO	NOTA OBTIDA NESSE ENSAIO	PESO DO ENSAIO	NOTA OBTIDA NESSE ENSAIO	PESO DO ENSAIO	NOTA OBTIDA NESSE ENSAIO	PESO DO ENSAIO	NOTA OBTIDA NESSE ENSAIO	PESO DO ENSAIO	
2A	9	4	6	1	8	1	8	2	9	2	84
2C	8		9		9		6		8		78
1A	6		7		5		3		10		62
3A	3		10		10		10		5		62
1C	7		5		6		1		7		55
3C	2		8		7		9		6		53
5A	5		3		4		7		4		49
7A	10		0		0		2		1		46
4A	4		1		3		4		2		32
6A	1		4		2		5		3		26
8A	0	2	1	0	0	3					

Fonte: VASCONCELOS (2015).

Observa-se portanto, que as sete melhores notas foram obtidas pelas membranas de poliureia seguindo-se pela membrana acrílica, membrana de poliuretano, membrana de poliuretano vegetal e por último a membrana asfáltica.

Em outubro de 2016, a Associação Brasileira de Normas Técnicas- ABNT, lançou a norma NBR 16545:2016, que trata dos requisitos mínimos e aplicação de poliureia.

A NBR 16545 (2016), foi desenvolvida pela Comissão de Estudo de Poliuretano, que pertence ao Comitê Brasileiro de Química, cuja superintendência está no âmbito da Associação Brasileira da Indústria Química- ABIQUIM.

A poliureia está no mercado há cerca de dez anos, e sua aplicação tem crescido no país por conta de seus inúmeros benefícios, como insensibilidade à umidade e temperatura, elevada resistência mecânica e química (NBR 16545:2016). Assim o produto pode ser usado:

- construção civil na impermeabilização de pisos industriais;
- revestimentos de cisternas;
- revestimento de galeria de água e adutoras, piscinas, telhados verdes, canaletas de água;
- indústria naval para proteção contra corrosão;
- indústria de mineração na proteção contra corrosão e abrasão;

- indústria de petroquímica para proteção contra corrosão;
- indústria automobilística, no revestimento de caçambas de caminhão.

Para os coordenadores da Comissão de Estudos de Poliuretano, a NBR 16545 (2016), servirá de base para criação de normas de aplicação específica para os revestimentos e exige uma resistência mínima de impermeabilização e proteção mecânica, atualmente a poliureia apresenta-se como a tecnologia de revestimento mais avançada, além de estar de acordo com os parâmetros internacionais de performance e qualidade.

4.5 - Comparação das técnicas pesquisadas

A partir dos dados levantados, pode ser observado que as construções em que são usadas a técnica ferrocimento podem vir a ter uma vida útil duradoura e funcional, desde que sejam construídas com as técnicas adequadas, usando sistemas de proteção contra intempéries, além de serem vistoriadas com frequência.

No que concerne aos revestimentos inorgânicos, aparecem como a escolha mais adequada, dois tipos de impermeabilização minerais, sendo estes revestimento de alta resistência química à base de cimento, e revestimentos minerais de alta resistência química isentos de cimento.

Quanto aos revestimentos orgânicos, tanto as membranas uretânicas, quanto as epoxídicas moldadas in loco, podem ser empregadas, desde que sejam considerados o ambiente de exposição e a concordância de cada sistema com a necessidade específica da obra.

Em relação ao revestimento de alta espessura com o sistema de poliureia e híbridos de poliureia/poliuretano, mesmo sendo uma tecnologia atualmente mais avançada, seus custos são altos e ainda são poucos os materiais encontrados a respeito.

Um critério de escolha de suma importância que pode excluir a grande maioria dos impermeabilizantes minerais é a característica de flexibilidade. As ETEs em sua quase totalidade são construídas ao ar livre, sem proteção contra intempéries.

Construções expostas ao sol apresentam elevados níveis de dilatações em suas estruturas, fator impeditivo ao uso de impermeabilizantes rígidos.

Alguns impermeabilizantes minerais apresentam certa flexibilidade, porém insuficientes para níveis elevados de dilatações de estruturas expostas ao sol.

À vista dos dados, o quadro 6, abaixo apresenta uma comparação das principais características desejadas para impermeabilização de ETEs:

Quadro 6: Comparação das principais características para impermeabilização de ETEs.

Características desejadas	Minerais de alta resistência química	Membranas orgânicas de epóxi/poliuretano/poliureia
Resistência química	Alta	Alta
Resistência à altas temperaturas	Alta	Média
Resistência à compressão	Alta	Alta
Resistência à tração	Baixa	Alta
Resistência à abrasão	Alta	Média/alta
Flexibilidade	Baixa	Alta

Fonte: Dados produzidos pelo autor.

Analisando o quadro 6, verifica-se que os impermeabilizantes minerais possuem ótimas características, mas falham na resistência a tração e baixa flexibilidade, limitando os seus usos frente à finalidade buscada neste trabalho. Ao contrário, as membranas orgânicas atendem perfeitamente a todos os quesitos necessários para trabalhos de impermeabilização de ETEs.

5 - Considerações Finais

Com o trabalho realizado, pretendeu-se entender melhor como são feitas construções de Estações de Tratamento de Esgoto usando a técnica ferrocimento, afim de adquirir conhecimentos necessários para a realização de obras impermeabilizadas e devidamente protegidas da corrosão provocada pelo esgoto e desta forma auferir longevidade destes empreendimentos a custos e tempos reduzidos. Enfatizou-se que a construção de ETEs em ferrocimento sem a devida impermeabilização são totalmente contraindicadas.

A alta agressividade da corrosão bioquímica do esgoto doméstico, pode colocar em risco as estruturas de concreto, tornando indispensável a utilização de sistemas de impermeabilização e proteção eficientes para a adequada proteção destas delgadas estruturas.

Desse modo, foram apresentados alguns dos sistemas de impermeabilização mais usados com sucesso, em projetos de saneamento em ambientes altamente agressivos.

Contudo, ainda que o método construtivo em ferrocimento e os métodos de impermeabilização, aparentemente demostrem ser técnicas simples, torna-se

imprescindível que sejam usadas as boas técnicas construtivas para alcançar o resultados convenientes.

Referências

BONIFÁCIO. S, N.; D'AVILA. C, A, C; QUINTÃO. C, M. *Vida útil, patologias e terapias de ETE em ferrocimento- Estudo de caso de sucesso em uma companhia de saneamento*. In: CONGRESSO da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA de ENGENHARIA SANITÁRIA e AMBIENTAL, ABES, 28º, Rio de Janeiro, 2015. Anais. Rio de Janeiro: ABES, 2015. Disponível em: <<http://abes.locaweb.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento29/TrabalhosCompletoPDF/II-518.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2020.

BONIFÁCIO. S, N. Eng. Civil e Sanitarista. *Curso preparatório para execução em obras de ferrocimento*. Leopoldina. Setembro de 2017.

GIL, C, A. *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002.

Impermeabilizantes rígidos ou flexíveis: saiba especificar. Disponível em: [Impermeabilizantes rígidos ou flexíveis: saiba especificar | AECweb](#). Acesso em: 14 jun. 2021.

INTERNATIONAL FERROCEMENT SOCIETY; Intenational Ferrocement Information Center; Asian Institute o Tecnology; Reported by IFS Committee 10. *Ferrocement Model Code: Building Code Recommendations for Ferrocement (IFS 10-01)*. Pathumthau, Thailand: The Society, 2001. 98 p.

LAPA, J. S. *Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto*. 2008. Monografia (Engenharia Civil) Universidade Federal de Minas Gerais- Belo Horizonte, Minas Gerais, 2008.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. *Fundamentos da Metodologia Científica*. 5. ed. - São Paulo: Atlas 2003.

Norma Técnica T. 186/1- *Ferrocimento para Obras de Saneamento*. COPASA, 2016.

NBR 6118. *Projeto de estruturas de concreto — Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT 2014.

NBR 9575. *Impermeabilização- Seleção e projeto*. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

NBR 5737. *Cimentos Portland resistentes a sulfatos*. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

NBR 16545. *Revestimentos de alta espessura com sistemas de poliureia e hibrido de poliureia/poliuretano- Requisitos de desempenho*. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

PINTO. J.; TAKAGI, E.M. *Sistemas de impermeabilização e proteção para obras de saneamento: obras de saneamento*. In: Revista Concreto. P.73-79, 2007. Disponível em: <<http://www.casadaqua.com/wp-content/uploads/2014/02/Artigo-Revista-Concreto-e-Construcoes.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2020.

SILVA, M. R; PINHEIRO, S.M.M. *Biodeterioração do Concreto*. Editora Ibracon. 2005.

VASCONCELOS. P, H, C, O. *Correlação entre as propriedades mecânicas de materiais impermeabilizantes a base de elastômeros de poliuréia e poliuretano com o desempenho do sistema aplicado em lajes estruturais*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Tecnologia- Universidade de Brasília. 2015.