

Caderno Técnico

IMPERMEABILIZAÇÃO E PROTEÇÃO QUÍMICA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO PARA ETES



CONTATO

Endereço
Estrada Municipal do Aterrado, 555
Bairro Aterrado - CEP: 12610-518
Caixa Postal 123 - Lorena/SP
Penetron Brasil

Atendimento digital
(12) 3159-0090

Online
atendimento@penetron.com.br
www.penetron.com.br

Introdução

Com o novo Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil, desde 2020 os investimentos no setor têm sido exponenciais. O objetivo é atender 99% da população com água potável e 90% com coleta e tratamento de esgotos até final de 2033, em todo país, com possibilidade de ampliação até 2040. Estas metas representam um avanço fundamental para a saúde pública e o bem-estar social no Brasil.

Segundo estudos do Instituto Trata Brasil, a cada R\$ 1,00 investido em saneamento básico, economiza-se R\$ 4,00 em gastos com saúde pública. O saneamento adequado reduz drasticamente a incidência de doenças de veiculação hídrica, melhora os indicadores de mortalidade infantil, aumenta a produtividade da população economicamente ativa e contribui para a dignidade humana ao garantir condições básicas de higiene e salubridade.

Destaca-se que o Marco Legal do Saneamento gera um impacto social e econômico de grande importância positiva para o país, principalmente se comparado com a falta de saneamento básico anterior a ele: o atendimento era somente de cerca de 84% com abastecimento de água e 46% com coleta e tratamento de esgoto. Além disso, vale considerar o volume de obras de construção e manutenção gerado para atingirmos os percentuais estabelecidos para ter uma melhor dimensão do impacto das medidas.

Estruturas com essas características, especialmente as ETEs, são um desafio para a engenharia. Há uma complexidade vinculada à alta agressividade física, química e biológica a que estão expostas as estruturas de concreto armado. O desafio da engenharia nesse cenário é projetar, executar e, em casos de obras existentes, recuperar estas estruturas de forma adequada, duradoura e com baixa manutenção.

O caderno técnico que você tem em mãos destaca que as causas de deterioração presentes envolvem fatores como fluxo do efluente e as ações de erosão e abrasão, fissuras, umidade, ataque por sulfatos, hidrólise, etc. No entanto, tais fatores podem variar de acordo com cada funcionalidade da estrutura. Por isso, é importante que a equipe técnica da Penetron Brasil acompanhe os desafios de cada estrutura individualmente, de modo que possa auxiliar na seleção mais eficiente de soluções específicas.

Por fim, destacamos que este caderno técnico tem o objetivo de contribuir para o cumprimento das metas estabelecidas pelo Marco Legal do Saneamento por meio de soluções eficazes para a impermeabilização, proteção e durabilidade das estruturas de concreto das ETEs. Com isso, de forma direta e indireta, buscamos contribuir também para o desenvolvimento social, econômico e da saúde pública no Brasil, ajudando a melhorar a qualidade de vida de milhões de pessoas no país.

Boa leitura!

Equipe Penetron

ÍNDICE

		Pag.
01	Estrutura e funcionamento de uma ETE	03
1.1	Características gerais das áreas expostas a agentes agressivos	04
02	Recomendações e parâmetros gerais para estruturas de concreto de ETEs	05
03	Sistemas de Proteção e Impermeabilização para Estruturas de Concreto de ETEs	06
3.1	Concreto autocicatrizante	07
3.1.1	Desempenho do Penetron Admix para impermeabilização e proteção química	08
3.2	Tratamentos complementares	11
3.2.1	Detalhes executivos	11
3.2.2	Tubulações: PENEBAR SW-55 + PENEBAR PRIMER + PENETRON GROUT	11
3.2.3	Juntas de concretagem: PENEBAR SW-55 + PENEBAR PRIMER	12
3.2.4	Juntas de Concretagem de concreto pré-moldado: PENEBAR NS	13
3.2.5	Pontos de travamento da fôrma: PENETRON e PENECRETE MORTAR	13
3.2.6	Proteção química e biológica da zona gasosa: PENETRON BIOMIC e/ou PENETRON ARC	14
3.2.7	Proteção química para água desmineralizada osmose reversa	17
04	Referências bibliográficas	18

ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DE UMA ETE

Conhecer a estrutura e funcionamento de uma ETE é fundamental para compreendermos com eficiência os requisitos técnicos, recomendações, parâmetros de projetos e execuções de ETEs, além de soluções e roteiro executivo para impermeabilização e proteção química e biológica das estruturas. Com isso, será possível entender cada uma das etapas e quais ataques cada uma delas está exposta, sendo que cada uma tem suas particularidades, mas de forma geral, os processos de tratamento são físicos, químicos e biológicos.



Tratamento do esgoto

1 - Usualmente, o sistema é composto por tubulações de concreto pré-moldadas para coleta do esgoto bruto que transportam o material para a estação elevatória.

2 - A estação elevatória de esgoto (EEE) faz o bombeamento do esgoto coletado para o tratamento preliminar.

3 - No tratamento preliminar do esgoto, tem-se o gradeamento, desarenador, caixa de gordura e calha parshall, que fazem a remoção dos sólidos grosseiros, da areia, gordura e controle de vazão.

4 - Na sequência é iniciado o tratamento primário, onde o esgoto passa pelos decantadores primários, floculadores e aeradores, para remoção dos sólidos em suspensão/sedimentáveis.

5 - Posteriormente, o esgoto passa pelo tratamento secundário, usualmente com reatores anaeróbicos. Há, portanto, processos de degradação biológica do esgoto para destinar o efluente final à coleta pluvial.

6 - Quando há o objetivo sustentável de reutilizar o esgoto tratado, como água de reuso, o efluente ainda passa por um tratamento terciário de desinfecção, ou seja, por remoção de nutrientes e microrganismos através de ultrafiltração e osmose reversa para purificação da água final.

7 - Outro tratamento final sustentável vinculado à ETE é a produção de energia gerada pelo gás metano, produzido através do confinamento do lodo em biodigestores.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ÁREAS EXPOSTAS A AGENTES AGRESSIVOS

ZONA SUBMERSA

Além da necessidade de estanqueidade, na zona submersa de todas estas estruturas é necessário ter um sistema eficiente de controle de contaminação dos solos por meio da proteção química contra ácidos como o sulfúrico.

Nesta região, as condições não são tão agressiva. O pH fica entre 6,5 e 8,0, e agentes químicos agressivos, como sulfato, têm concentrações de até 500 p.p.m., ou seja, exposição moderada. Mas essas características causam fissuras, perda de coesão, redução da resistência e de módulo de elasticidade. Além disso, outros agentes químicos adicionados durante o tratamento do efluente para redução dos parâmetros de DBO contribuem para a deterioração do concreto.

ZONA DE VARIAÇÃO DE NÍVEL

Os ciclos de molhagem e secagem, dada a variação do nível de efluente, também são extremamente agressivos para estruturas de concreto armado. A erosão e abrasão, responsáveis pela lixiviação da pasta de cimento, também são mecanismos de deterioração presente, principalmente nas estruturas com alta velocidade de fluxo do efluente, como nas tubulações de esgoto bruto e no tratamento primário, e também nas estruturas com raspagem de fundo dos tanques.

ZONA GASOSA (BIODETERIORAÇÃO)

Nas estruturas fechadas, como esgoto bruto, elevatórias, reatores e, em condição ainda mais concentrada, nos biodigestores, o problema principal está localizado na zona gasosa. Essas estruturas necessitam, além da estanqueidade e proteção química, de proteção biológica para evitar desagregação do concreto e redução da capacidade portante, bem como, a corrosão da armadura e, por consequência, redução da vida útil.

A proteção biológica é indispensável porque o ambiente de confinamento possui condições apropriadas para proliferação de bactérias oxidantes de sulfatos e compostos de enxofre presentes no esgoto, tais como temperatura, umidade e turbulência. Nesse ecossistema são gerados o ácido sulfúrico biogênico na zona gasosa com $\text{pH} < 3$. Em tais condições, os minerais da pasta do cimento podem ser dissolvidos ou consumidos como nutrientes pelas bactérias geradas, ocasionando a biodeterioração.

ÁGUA DESMINERALIZADA (OSMOSE REVERSA)

Por fim, quando há o refinamento do esgoto tratado para água pura, gerada no processo de osmose reversa. A água pura contém pouco ou nenhum íon de cálcio, sendo assim, quando entra em contato com a pasta de cimento, que possui alto teor de cálcio, tendem a se equilibrar. Nesse processo, a água consome o cálcio do cimento (hidrólise), lixiviando e reduzindo a resistência mecânica do concreto remanescente e, por isso, a estrutura necessita de proteção química específica.

02

RECOMENDAÇÕES E PARÂMETROS GERAIS PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO DE ETES

Quando se trata de estruturas de ETes, é indispensável que sejam seguidas as recomendações e os parâmetros gerais de projetos e execuções que compõem as boas práticas da engenharia para o setor. Abaixo, estão as principais diretrizes de desempenho de estruturas de concreto para esgoto conforme normas brasileiras, cadernos técnicos de órgãos de saneamento, recomendações técnicas de associações do setor e experiências práticas de obra.

O objetivo das recomendações e parâmetros é alcançar a máxima durabilidade, com o mínimo de manutenção (que tem alto custo e causa transtornos), mesmo com construção de by-passes, considerando-se a agressividade ambiental IV (alta) e as exigências de estanqueidade e proteção química e biológica.

SEGUEM AS RECOMENDAÇÕES E PARÂMETROS GERAIS DE PROJETOS E EXECUÇÕES:

- Limitação da abertura de fissura, com valor máximo de $w_k = 0,2 \text{ mm}$
- Limitação de velocidade de escoamento (por tipo de estrutura)
- Cimento RS
- Classe de concreto C40
- Fator A/C máximo 0,45
- Cobrimento 5,0 cm
- Consumo mínimo de cimento: 360 kg/m^3
- Limite de expansão por sulfato = 0,1%
- Teor máximo de íons cloreto no concreto (% sobre massa de cimento) = 0,15
- Módulo de elasticidade secante do concreto (E_{cs}) = 25.000 MPa
- Aço: CA-50; CA-60
- Espessuras usuais 20 cm

- Uso de concreto dosado com aditivo autocicatrizante
- Proteção contra o gás sulfídrico nas estruturas confinadas
- Execução de mísula
- Uso de fita hidroexpansiva na junta de concretagem e execução de corte verde
- As aberturas para tubulações ou block-outs devem prever tratamento no concreto e na tubulação com fita hidroexpansiva
- Execução de vigas invertidas no teto para redução da concentração dos gases agressivos nesta região
- Uso de espaçadores de concreto
- Travamento de fôrma com agulha
- Vibração e cura adequada do concreto, para evitar falhas de concretagem e fissuras de retração
- Remoção das fôrmas após o concreto atingir no mínimo 15 MPa
- Isolamento térmico na laje de cobertura, para evitar fissuras por movimentação térmica
- Uso de controladores de compostos odorantes e não confinamento da estrutura
- Acesso para inspeção e manutenção das estruturas
- Recuperação/recomposição com grout de baixa retração

No Capítulo seguinte, veremos os detalhes dos sistemas de proteção e impermeabilização para estruturas de concreto.

03

SISTEMAS DE PROTEÇÃO E IMPERMEABILIZAÇÃO PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO DE ETES

Em todas as etapas de tratamento de uma ETE, a impermeabilidade e a proteção química das estruturas devem ser mantidas. Desta forma, o sistema autocicatrizante para concreto atende às características demandadas no item I.

3.1 CONCRETO AUTOCICATRIZANTE

Para impermeabilização e proteção química de todo concreto das estruturas de ETE, é aplicado o aditivo autocicatrizante **PENETRON ADMIX COM RAS-TREADOR** durante a produção do concreto.

Concreto da ETE Baguaçu com uso de Penetron Admix



Concretagem da ETE Prazeres com uso de Penetron Admix



3.1.1 DESEMPENHO DO PENETRON ADMIX PARA IMPERMEABILIZAÇÃO E PROTEÇÃO QUÍMICA

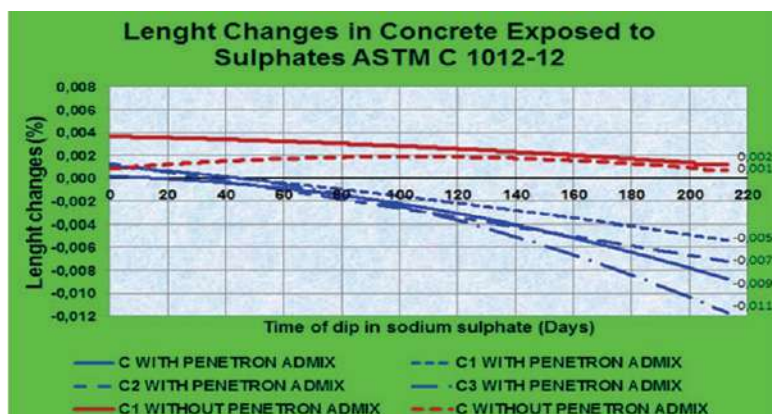
RESISTÊNCIA A ALTA PRESSÃO POSITIVA E NEGATIVA

No ensaio de penetração de água sob pressão da NBR 10.787 é observada a permeabilidade 0 ao final da aplicação da pressão de água com 70 m.c.a. com uso do aditivo.



PROTEÇÃO CONTRA SULFATOS

No ensaio com ataque por sulfatos, conforme ASTM C1012, os concretos com aditivo autocicatrizante não apresentaram expansão e os concretos de referência apresentaram expansão, resultando na desintegração da massa de concreto.

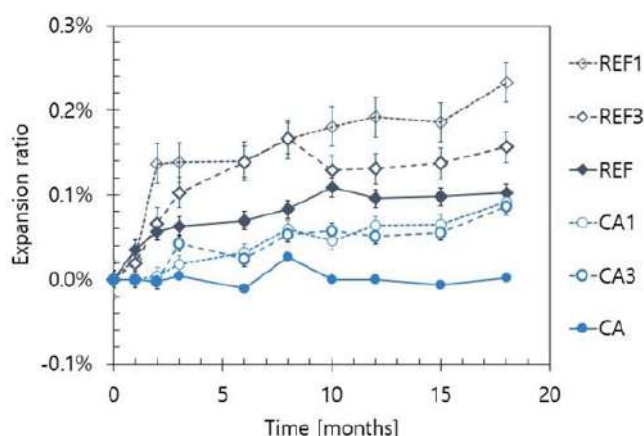


Neste outro ensaio com ataque por sulfato, as amostras fissuradas (I – 0,1 mm e 3 – 0,3 mm) e não fissuradas (CA e REF) e com aditivo (CA) e sem aditivo (REF) ficaram imersas em solução de sulfato de sódio após 18 meses e é medida sua expansão.

Considerando limites de expansão de 0,1% satisfatórios, são verificados ótimos resultados com uso do aditivo ($\leq 0,9\%$), mesmo em condições de fissuração, bem como o benefício de seu uso em relação às amostras de referência.

Isso ilustra que a redução da permeabilidade através da densificação da matriz e o mecanismo de autocicatrização das fissuras são efetivos para mitigar o ingresso de sulfatos.

O desempenho do material também é verificado na ausência de perda de massa, na reduzida incrustação superficial e nos mínimos danos microestruturais, mesmo após exposição prolongada em ambiente agressivo.

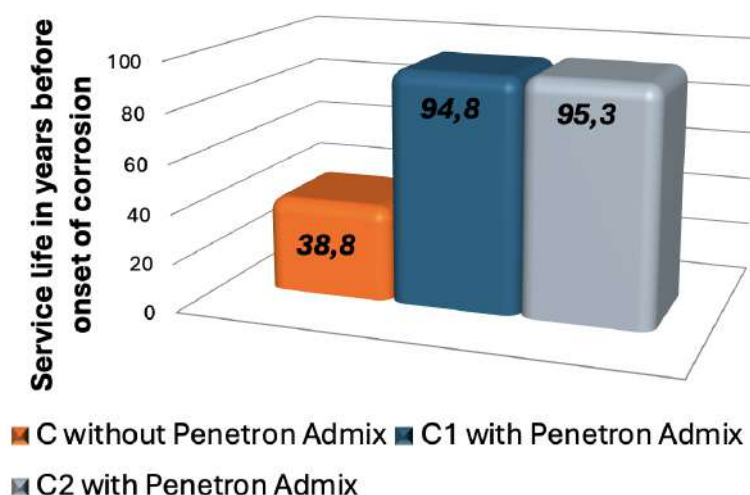


OUTRAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- Selamento dos poros e fissuras passivas de até 0,5 mm
- Resistência química a fluídos de pH 3 a 11
- Não altera a potabilidade da água e é atóxico (sem VOC)
- Rastreador químico, para possibilitar a identificação do aditivo no momento da concretagem e após o concreto endurecido
- Como é um sistema incorporado ao concreto, não pode ser rasgado, furado ou danificado
- Possui certificação ambiental de baixa emissão de carbono (selo EPD)

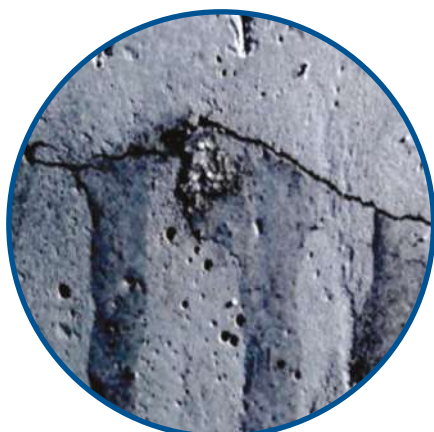
Este desempenho resulta em um aumento da durabilidade da estrutura, mesmo em condições agressivas, como em ETEs. A vida útil da estrutura pode aumentar em até 60 anos.

Projected service-life according to Fick Law

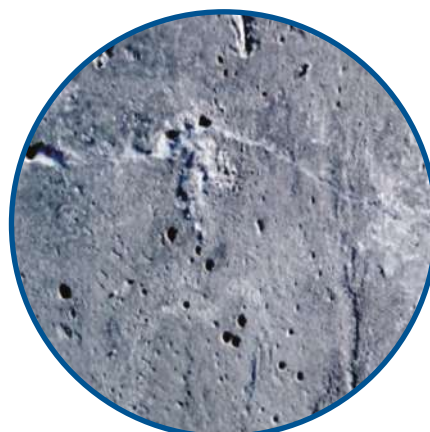


Em contato com água, a reação química inicia sua ativação, reagindo com os subprodutos da hidratação do cimento, resultando na formação de cristais insolúveis em todas as fissuras, poros e capilares na matriz do concreto, reduzindo a permeabilidade do concreto e selando fissuras passivas de até 0,5 mm de abertura à medida que elas se desenvolvem ao longo da vida útil do concreto.

Autocicatrização de fissura em concreto com Penetron Admix



ANTES



DEPOIS

3.2 TRATAMENTOS COMPLEMENTARES

Em complemento à impermeabilidade e proteção química do concreto, devem ser detalhados os pontos críticos de passagem do efluente:

- Juntas de concretagem previstas e não previstas;
- Pontos de travamento e atirantamento de fôrma;
- Tubulações;
- Falhas de concretagem;
- Fissuras com materiais compatíveis ao sistema autocicatrizante, como fitas hidroexpansivas e não expansiva e argamassas e grouts autocicatrizantes.



ETE Jacaré AEGEA - SP



ETC Veolia - SC

No capítulo a seguir, temos os detalhes executivos de cada um deles.

3.2.1

DETALHES EXECUTIVOS

3.2.2

TUBULAÇÕES: PENEBAR SW-55 + PENEBAR PRIMER + PENETRON GROUT

A PENEBAR SW-55 é fita hidroexpansiva para selamento de tubulação, fixada pré-concretagem, com primer acrílico.



Quando a água encontra a fita, ela inicia o processo de expansão e sela as rachaduras e espaços vazios encontrados no concreto, mesmo sob alta pressão hidrostática, imersão contínua e ciclo molhado/seco.



Em caso de fixação das tubulações pós-concretagem, é aplicada também a fita hidroexpansiva na face do concreto da janela e realizado o preenchimento da abertura com PENETRON GROUT, devido ao fato de que a solução é autocicatrizante e expansiva.



3.2.3 JUNTAS DE CONCRETAGEM: PENEBAR SW-55 + PENEBAR PRIMER

Para o selamento do perímetro de união de concretos com idades diferentes, utilizou-se a fita hidroexpansiva PENEBAR SW-55 fixada com primer acrílico para selamento, conforme NBR 14931.



3.2.4 JUNTAS DE CONCRETAGEM DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO: PENEBAR NS

Para o selamento das juntas de assentamento e união de elementos pré-moldados de concreto, deve-se aplicar a fita não expansiva PENEBAR NS. A fita deve ser aderida diretamente ao substrato da peça inferior, garantindo a continuidade do selamento antes do acoplamento e fixação da peça subsequente.



3.2.5 PONTOS DE TRAVAMENTO DA FÔRMA: PENETRON E PENECRETE MORTAR

O sistema dry-pack para selamento de cada ponto de amarração da fôrma aplicado é composto pela argamassa autocicatrizante PENETRON e a argamassa estrutural autocicatrizante PENECRETE MORTAR. Esse sistema também pode ser utilizado em caso de juntas de concretagem sem a fita hidroexpansiva, para fissuras passivas $\geq 0,5$ mm e segregações.



ETE Fortaleza



EPAR Boa Vista – SANASA



A ETE Itatiba - Sabesp

3.2.6 PROTEÇÃO QUÍMICA E BIOLÓGICA DA ZONA GASOSA: PENETRON BIOMIC E/OU PENETRON ARC

Como discutido no item 1.1, a zona gasosa de determinadas estruturas confinadas sofre biodeterioração, principalmente as tubulações de coleta do esgoto bruto, estações elevatórias, tratamentos preliminares, reatores anaeróbicos e tanques de equalização. Mas os biodigestores do tratamento final do lodo também têm exposição a altas concentrações do ácido sulfúrico biogênico. Nesses casos, é necessário definir uma proteção complementar ao sistema autocicatrizante, tais como as soluções abaixo.

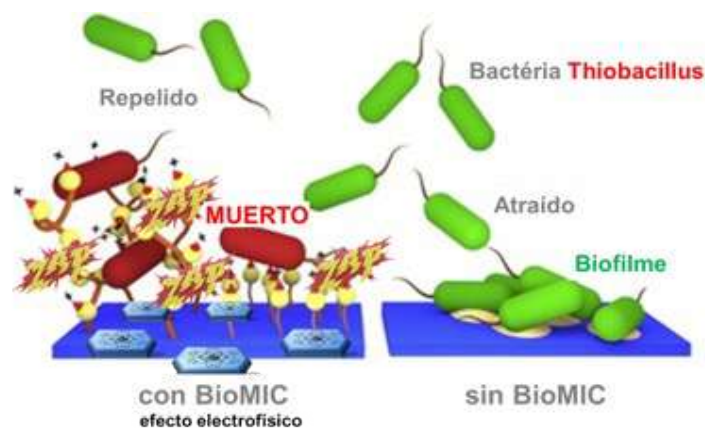


ETE Baruei da Sabesp com PENETRON BIOMIC

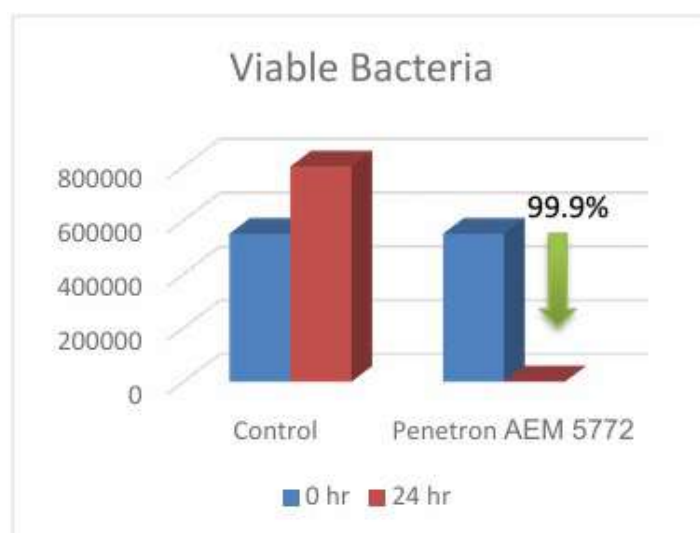


CONCRETO ANTIMICROBIANO

Uma solução que oferece proteção ao ataque químico e biológico destas estruturas é o aditivo antimicrobiano PENETRON BIOMIC, o qual deve ser adicionado ao traço do concreto no momento da dosagem. A destruição eletrofísica elimina as bactérias que geram o ácido sem se esgotar e mantém a eficácia permanentemente. A tecnologia da solução é registrada na EPA (Environmental Protection Agency - Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos). Não contém metais pesados ou substâncias cancerígenas.



Ensaio com amostras de concreto verificaram que o PENETRON BIOMIC reduz em até 99,9% a população de bactérias da família Thiobacillus por meio de um mecanismo eletrofísico. No ensaio, o pH das amostras foi reduzido para facilitar a proliferação bacteriana, incubadas por 24 h. Ao final do ensaio foi verificada a eficiência da nossa solução.



REVESTIMENTO GEOPOLIMÉRICO ANTIÁCIDO

Outra solução que apresenta resistência ao ataque biológico e ácido é o revestimento geopolimérico PENETRON ARC, que é aplicado sobre o concreto endurecido, em estado SSS (superfície saturada seca).



Elevatória de esgoto da Sabesp – Ponte do Piqueri com PENETRON ARC



Em ensaio de arrancamento pela NBR 13528, após sua submersão por 56 dias em ácido sulfúrico com 0,2M e pH 2, tem-se tensão média de 0,918 MPa

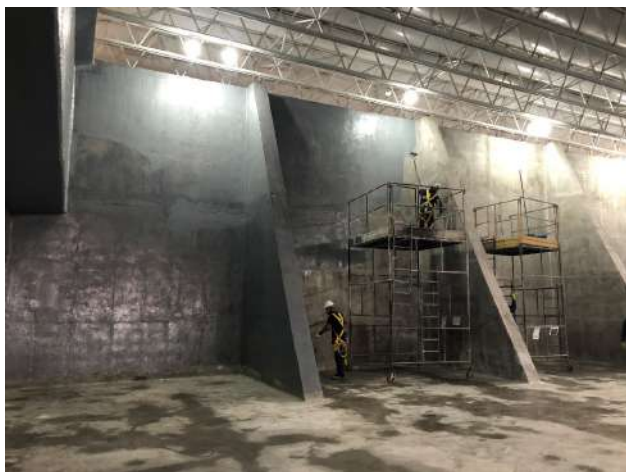
Este sistema de impermeabilização, proteção química e biológica deverá ser composto pela equipe técnica da Penetron Brasil, de modo a avaliar cada caso para obter uma estrutura estanque e durável.

3.2.7 PROTEÇÃO QUÍMICA PARA ÁGUA DESMINERALIZADA - OSMOSE REVERSA

Em tanques de tratamento do esgoto tratado para água de reuso industrial, onde passa pelo processo de osmose reversa e, portanto, sofre desmineralização, é necessária uma barreira de proteção química específica na superfície do concreto. O objetivo é evitar que ocorra a dissolução dos produtos de hidratação do cimento, que contém cálcio, pela água pura.

Para isso é aplicada membrana epóxi bicomponente **PENECOAT EP 330**. Este epóxi é ideal para aplicação em estruturas confinadas e de difícil obtenção de superfície seca para aplicação, pois permite aplicação em superfície úmida.

O **PENECOAT EP 330** tem resistência a um pH de 14 e baixíssima permeabilidade ao vapor: $0,02 \text{ gramas h}^{-1} \text{ m}^2$, pela ASTM E96.



Aplicação revestimento epóxi EP 330 nos tanques de osmose reversa do Aquapolo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR 12209 (2011) – Elaboração de projetos hidráulicos-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários
- ABNT NBR 9649 (1986) – Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário
- ABNT NBR 14931 (2023) - Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras - Requisitos
- ABNT NBR 12655 (2022) – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimentos
- ABNT NBR 6118 (2024) – Projeto de estruturas de concreto
- MOS – Manual de obras de saneamento (Sanepar)
- MPS – Manual de projetos de saneamento (Sanepar)
- Especificações técnicas, regulamentação de preços e critérios de medição (SABESP)
- Concreto – Microestrutura, propriedades e materiais - Mehta e Monteiro (2014)
- Instituto Trata Brasil - Estudos sobre saneamento básico no Brasil

Entre em contato com nossa equipe técnica para informações específicas para sua obra!



CONTATO

Endereço
Estrada Municipal do Aterrado, 555
Bairro Aterrado - CEP: 12610-518
Caixa Postal 123 - Lorena/SP
Penetron Brasil



Atendimento digital
(12) 3159-0090



Online
atendimento@penetron.com.br
www.penetron.com.br

Acesse aqui:

