



**ESTUDO DA POTABILIDADE DA ÁGUA ARMAZENADA EM
RESERVATÓRIOS APÓS CONTATO COM RESINAS DE
INJEÇÃO DE BASE POLIURETANO**

SÃO PAULO

2010



JOSÉ MARIO ANDRELLO
CARLOS HENRIQUE JUNQUEIRA DA CUNHA SOARES

**ESTUDO DA POTABILIDADE DA ÁGUA ARMAZENADA EM
RESERVATÓRIOS DE CONCRETO ARMADO APÓS CONTATO COM
RESINAS DE INJEÇÃO DE BASE POLIURETANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Patologia das Obras Cíveis, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Cíveis.

Orientador: Prof. Msc. Luís César S. De Luca.

SÃO PAULO

2010

AGRADECIMENTOS

À Deus pela oportunidade que tivemos de estudar, adquirir conhecimentos e conviver com professores e colegas nesse curso. Pudemos assim obter crescimento pessoal e profissional.

Ao Instituto IDD pela valiosa colaboração que presta à Engenharia Brasileira, levando conhecimento e formando Profissionais da Engenharia Civil comprometidos com a verdadeira vocação de prestar bons serviços.

Ao Engenheiro Civil Professor Luis Cesar S. De Luca pela valiosa colaboração na orientação desse trabalho.

Às nossas famílias, esposas e filhos que nos apoiaram e nos incentivaram durante o período desse curso.

À MC Bauchemie que nos apoiou nos trabalhos de pesquisa com fornecimento das resinas para desenvolvimento dos estudos

Ao Engenheiro Civil José Roberto Saleme Jr. Coordenador do Curso e incentivador do nosso trabalho.

À TEMA Laboratório Ambiental que nos apoiou nos ensaios laboratoriais de potabilidade da água.

FOLHA DE APROVAÇÃO

ESTUDO DA POTABILIDADE DA ÁGUA ARMAZENADA EM RESERVATÓRIOS APÓS CONTATO COM RESINAS DE INJEÇÃO DE BASE E POLIURETANO

Por

JOSÉ MARIO ANDRELLO

CARLOS HENRIQUE JUNQUEIRA DA CUNHA SOARES

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIA NAS
OBRAS CIVIS, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS
PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

São Paulo (SP) 14 de dezembro de 2010.

M.Sc. Luís César Siqueira De Luca
Professor Orientador

Dr. Enio José Pazini Figueiredo

M.Sc. Thomas Garcia Carmona

RESUMO

Este trabalho avalia as características da potabilidade da água para consumo humano armazenada em reservatórios de concreto armado, após o contato dela com resina de poliuretano utilizada e para tratamento e selamento de fissuras existentes no concreto pelas quais vazam água; para isso são abordados preliminar e rapidamente alguns temas que podem interferir na potabilidade das águas armazenadas, tais como:

As características necessárias dos projetos estruturais de um reservatório; métodos construtivos adequados para que os reservatórios sejam estanques, impermeáveis e mantenham a potabilidade da água neles armazenada; qualidade do concreto empregado na construção de um reservatório; manifestações patológicas em estruturas hidráulicas de concreto para reserva de água, em específico serão abordadas as trincas e fissuras; será estudado como se executam as injeções de poliuretano nas estruturas de concreto de reservatórios.

Objetivamente foi analisado em laboratório o efeito do contato da resina de poliuretano com a água para verificar a potabilidade da água após contato.

Após obter o resultado da análise da potabilidade da água em laboratório, pode-se chegar ao resultado de que a resina de poliuretano é apropriada tecnicamente, economicamente viável e eficiente para a eliminação de vazamentos e perdas de água em reservatório de concreto armado.

Este trabalho está baseado nos parâmetros da potabilidade da água para consumo humano, determinado pela PORTARIA 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde, e nas análises feitas com a resina MC Injekt 2300 NV de fabricação da MC Bauchemie Brasil.

Palavras chave: Resinas, Poliuretano, Flexibilidade, Injeção, Potabilidade.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Detalhe de Colocação dos Bicos de Injeção	35
Figura 2. Preparo da Amostra 1.	43
Figura 3. Colocação da Resina em contato com a água	43
Figura 4. Resina curada em contato com a água após 48 hs	44
Figura 5. Mistura da Resina de Poliuretano para Preparo da Amostra 2.	45
Figura 6. Resina da Amostra 2 curada após 48 hs	46
Figura 7. Amostra 2 após 48 hs de imersão em água	46
Figura 8. Cromatógrafo a Gás e Detector de Ionização GC-FID	47
Figura 9. Capela	48
Figura 10. Cromatógrafo a Gás e Detector de Massa GC-MS	49
Figura 11. Micro Ondas – Digestor	50
Figura 12. Espectômetro de Absorção Atômica	51
Figura 13. Materiais em suspensão na Amostra 1.	54
Figura 14. Comparação visual Amostra 1 x Amostra de Referência	55
Figura 15. Comparação visual Amostra 2 x Amostra de Referência	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Gastos com manutenção em alguns países (MEDEIROS; HELENE, 2009)	20
Tabela 2.	Viscosidade de líquidos e produtos para injeção (mPa.s)	28
Tabela 3.	Opções de produtos para selamento de trincas e fissuras.	29
Tabela 4.	Classificação DIN EN 1504-5 para materiais de injeção (F)	33
Tabela 5.	Classificação DIN EM 1504-5 para materiais de injeção (W)	34
Tabela 6.	Percentual de resina de poliuretano em contato com água em reservatórios	41
Tabela 7.	tempo x potencia para digestão da amostra no micro-ondas.	50
Tabela 8.	Resumo dos resultados obtidos de não potabilidade – Amostra 1	54
Tabelas do Boletim de Análise 032.278 Amostra 1 – Amostra de Água Tratada após contato com a resina não curada.....		Anexo 7.7
Tabelas do Boletim de Análise 029.028 Amostra 2 - Amostra de Água Tratada após contato com a resina curada		Anexo 7.8

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iii
FOLHA DE APROVAÇÃO	iv
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	vi
SUMÁRIO.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	10
1.2. OBJETIVOS.....	11
1.2.1. Objetivo Geral	11
1.2.2. Objetivos Específicos	11
1.3. HIPÓTESE.....	11
1.4. JUSTIFICATIVAS	12
1.4.1. Tecnológicas.....	12
1.4.2. Econômicas	12
1.4.3. Sociais	13
1.4.4. Ecológicas	13
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	14
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. EXECUÇÃO DE RESERVATÓRIOS DE CONCRETO	17
2.1.1. Histórico	17
2.1.2. Execução de projetos de reservatórios	19
2.1.3. Qualidade do concreto executado em reservatórios.....	20
2.2. SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE RESERVATÓRIOS	21
2.3. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESERVATÓRIOS DE CONCRETO ARMADO.....	24
2.4. SISTEMAS DE SELAMENTO DE FISSURAS E TRINCAS EM ESTRUTURAS HIDRÁULICAS - RESERVATÓRIOS.....	26

2.4.1. Procedimentos para a aplicação de injeção de poliuretano	31
2.5. PARÂMETROS DE POTABILIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	37
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	39
3.1. PROCEDIMENTOS DE EXTRAÇÃO DE INORGÂNICOS DA RESINA	42
3.1.1. Preparo das amostras para análise.....	42
3.1.2. Procedimentos para extração de amostra da água exposta à resina de poliuretano, para análise de voláteis – COV.....	46
3.1.3. Procedimentos para análise de semi-voláteis (SVOCs)	48
3.1.4. Análises dos Metais por Espectometria de Absorção Atômica	50
3.2. MENÇÃO À TABELAS.....	51
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	53
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	59
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
7. ANEXOS	65

1. INTRODUÇÃO

O foco principal deste trabalho é conhecer a potabilidade das águas armazenadas em reservatórios de concreto armado após a execução de serviços de Injeção de Resinas de Poliuretano para Tratamento e Selamento de Fissuras e Trincas com objetivo de se eliminar vazamentos e perda de água tratada, com os mesmos em carga.

Serão estudadas neste trabalho as características da potabilidade das águas para consumo humano, segundo a PORTARIA N.º 518 DE 25/03/2004 do Ministério da Saúde.

A potabilidade da água é o item mais importante que as empresas e os órgãos públicos que tratam águas observam, não só durante o tratamento, como também na sua reserva e distribuição.

A água potável é condição indispensável de saúde pública e de combate à doenças, seja ela utilizada para higienização, limpeza geral, para beber, produzir alimentos ou se alimentar.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Um reservatório de concreto armado deve ter como características principais a estanqueidade, a impermeabilidade e preservação da qualidade da água nele armazenada; porém via de regra apresentam fissuras e trincas. Essas manifestações patológicas têm origem em várias causas como as fissuras de retração hidráulica, fissuras de carregamento dinâmico, fissuras provocadas por deformações da estruturas e de acomodação das fundações, sendo que em todos os casos a ação da água que vaza por elas provocam efeitos nocivos à estrutura, causando sua deterioração precoce e diminuição da vida útil do reservatório e exigindo manutenções em curto espaço de tempo.

Com base no acima exposto, o problema de pesquisa consiste em:

As resinas de poliuretano utilizadas em sistemas de injeção nas estruturas de concreto armado dos reservatórios para selamento de fissuras e trincas com a finalidade de eliminar os vazamentos alteram a potabilidade das águas armazenadas?

1.2. OBJETIVOS

Nos tópicos a seguir apresentam-se os objetivos gerais e específicos da pesquisa a ser desenvolvida.

1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar a potabilidade da água quando em contato com resinas à base de poliuretano utilizadas em sistemas de injeção para tratamento e selamento de trincas e fissuras em reservatórios de concreto armado; injeções essas que tem o objetivo de conseguir estanqueidade e eliminar perdas de água desses reservatórios.

1.2.2. Objetivos Específicos

Analisar a potabilidade da água exposta à resina de poliuretano.

Comparar a influência do procedimento de mistura, catalização e aplicação da resina de poliuretano na potabilidade da água.

1.3. HIPÓTESE

Com a análise da potabilidade da água após a sua exposição ao contato com a resina de poliuretano utilizada para o selamento de trincas e fissuras em reservatórios de concreto armado, espera-se que seja mantida a potabilidade da água armazenada.

1.4. JUSTIFICATIVAS

Em consequência da existência de inúmeros reservatórios de armazenamento de água potável construídos em concreto armado e que apresentam vazamentos e perda de águas por trincas e fissuras, pretende-se analisar a potabilidade da água neles reservada após o contato dessa água com as resinas de poliuretano que são utilizadas nos sistemas de injeção para selamento dessas fissuras e trincas; com isso pretende-se conhecer se as tecnologias atuais de injeção de resinas de poliuretano são sanitariamente apropriadas para essa finalidade.

1.4.1. Tecnológicas

O emprego de técnicas de injeção com resinas de poliuretano para selamento de fissuras e trincas em estruturas de concreto armado sem esvaziá-los, ou seja, estando os reservatórios em carga e operação, tem por objetivo além da eliminação dos vazamentos, a preservação e conservação das estruturas e a durabilidade dos trabalhos de selamento executados.

Esse serviço é executado por meio de uso de bombas injetoras de baixa pressão com resinas de poliuretano de baixa viscosidade as quais são injetadas nas fissuras e trincas para selamento das mesmas; pretende-se verificar se na prática a eficiência e a rapidez dessa técnica que cessa os vazamentos imediatamente, mantém a potabilidade da água.

1.4.2. Econômicas

Para a água ser tratada e armazenada há um custo alto; custo esse que é pago pelo usuário. A perda de água tratada e armazenada via de regra não é custeada e mensurada adequadamente, ou por falta de recursos de aferição e

medição ou por não se dar a devida importância ao fato; na prática 30% das águas captadas de mananciais e tratadas são perdidas, não só em reservatórios, mas também em todo o sistema de abastecimento de água, ou seja, captação, tratamento, reserva e distribuição. Dessa maneira deve-se buscar continuamente diminuir e eliminar a perda de água tratada.

A utilização de sistemas de injeção de poliuretano para selamento de fissura e trincas em reservatórios de concreto armado é viável economicamente uma vez que é executado pelo lado externo com o reservatório em carga, e quando esse serviço é comparado com os procedimentos normais de reparos de concreto e impermeabilização internos aos reservatórios pode se ter uma exata dimensão da redução do tempo conseguido com a execução desse trabalho; portanto com os serviços de injeção de resinas há uma grande redução de tempo além de não ser pedida a água armazenada, não sendo necessários gastos com outros materiais e mão de obra para reparos e impermeabilização.

1.4.3. Sociais

Um trabalho consistente e contínuo buscando diminuir e eliminar a perda de água tratada e armazenada, poderá por consequência fazer com que esta água seja melhor distribuída, chegando à mais pessoas.

Consegue-se com o uso dessa técnica de selamento de fissuras e trincas para os reservatórios de concreto armado um resultado apropriado socialmente, uma vez que a água tratada e não perdida poderá ser levada à uma população que não tem acesso a esse bem precioso, melhorando sua condição de higiene e saúde.

1.4.4. Ecológicas

Com a elevação do índice demográfico mundial, tem aumentado o consumo de água, sendo que a maior parte dessa água potável é empregada para

produção de alimentos e saneamento básico; portanto sendo a água um bem vital se faz necessária a sua preservação e o seu uso racional. O uso de injeção de poliuretano deverá garantir um selamento definitivo e duradouro para as trincas e fissuras sem agredir ao meio ambiente e sem contaminar a água, objeto desse estudo, bem como sem contaminar o solo e sem a necessidade de gastar outros recursos naturais para reparos do reservatório e nem gera entulho e descarte de materiais deteriorados.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esse trabalho será baseado em análises e ensaios de laboratório onde será avaliada a potabilidade da água após essa ter entrado em contato direto com resina de poliuretano utilizadas em sistemas de injeção em estruturas de concreto armado de reservatório de água potável.

Pesquisas sobre os sistemas de injeção e produtos existentes no mercado deverão ser feitas junto aos fabricantes de produtos e sistemas de injeção, além de pesquisas em publicações de artigos técnicos em revistas especializadas, com o que pretende-se chegar aos resultados esperados.

Para tanto, os seguintes procedimentos serão seguidos.

a) Conseguir amostras de resina de poliuretano que são utilizadas na prática, nos sistemas de injeção em questão.

b) Fazer análise em laboratório de amostras de águas expostas à quantidade de resinas de 1% do volume de água para verificar se a água exposta às resinas sofre contaminação; percentual esse que reflete as ocorrências de campo quando da execução dos serviços de injeção em reservatório pequenos.

c) Analisar a potabilidade da água segundo o que determina a PORTARIA N.º 518 DE 25/03/2004 do Ministério da Saúde.

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Serão apresentados resumidamente a seguir o conteúdo de cada capítulo deste trabalho.

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa, seus objetivos, bem como delinea as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos a serem adotados.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica e discorre sobre as recomendações e procedimentos adequados para um bom projeto de dimensionamento de um reservatório de concreto armado para reserva de água potável e sua construção, abordando também as principais manifestações patológicas, suas causa e necessidades de manutenção de maneira a se preservar a potabilidade da água e durabilidade da estrutura.

O **Capítulo 3** trata sobre o programa experimental empregado neste trabalho, para a análise da água exposta ao contato da resina de poliuretano utilizada em sistema de injeção para selamento de trincas e fissuras em estruturas de concreto armado de reservatórios de água potável. Nesse capítulo descreve-se os procedimentos utilizados de acordo com a PORTARIA 518 do Ministério da Saúde, de 25/03/2004.

O **Capítulo 4** apresenta o resultado da análise da água com base nos procedimentos descritos no Capítulo 3.

O **Capítulo 5** apresenta as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

Neste capítulo foram abordados os parâmetros principais desse trabalho, tais como o seu objetivo, justificativas e os procedimentos metodológicos que serão adotados para o estudo desse caso; já no próximo capítulo veremos na revisão bibliográfica quais são os pré-requisitos para que se construa um reservatório durável com pouca manutenção, bem como quais são os

sistemas de impermeabilização normalizados que devem ser escolhidos; quais as manifestações patológicas mais comuns; como é o sistema de injeção de resinas para eliminação de vazamentos de água; quais são os parâmetros de potabilidade da água para consumo humano.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Serão abordadas neste capítulo as diversas fases para a construção de um reservatório, partindo-se das considerações para seu adequado dimensionamento, procedimentos construtivos, sistemas de impermeabilização, e em seguida serão abordadas as principais manifestações patológicas, procedimentos de recuperação através de injeção de resinas e os parâmetros de potabilidade para a água destinada ao consumo humano.

2.1. EXECUÇÃO DE RESERVATÓRIOS DE CONCRETO

Nesse trabalho focaremos reservatórios para armazenamento de água potável construídos em concreto armado.

2.1.1. Histórico

Reservatórios são estruturas naturais ou artificiais construídas para armazenamento de águas, efluentes e líquidos.

Os primeiros reservatórios de que se têm notícias são do século 25 A.C., construídos em escavações em rochas maciças por uma civilização que antecedeu a grega (GUIMARÃES, 1995 *apud* KIRBY *et al.*, 1956). As técnicas empregadas na época previam a captação da água em curvas verticais com escadarias e locais para decantação de sedimento, onde o sol fazia purificação da água para que ela fosse armazenada em cisternas e salas de banho.

No Brasil, os primeiros reservatórios foram construídos a partir em 1877 na cidade do Rio de Janeiro pelo Eng. Jerônimo Moraes Jardim (GIMARÃES, 1995 *apud* TELES, 1984). O primeiro grande reservatório foi construído em alvenaria de pedras com arcadas e teto abobadado com capacidade de reserva de água de oitenta milhões de litros de água, e foi inaugurado em 1880 recebendo o nome de “Pedregulho”; junto com mais quatro outros reservatórios menores

construídos entre 1877 e 1888, compunham o sistema de abastecimento de águas da cidade do Rio de Janeiro.

O formato dos reservatórios pode ser retangular ou circular e devem ter aparência harmônica com o ambiente, sendo que de acordo com alguns autores para reservar grandes quantidades de água os reservatórios devem ser projetados e construídos com formatos retangulares paralelepípedicos pois segundo afirmam são mais apropriados e economicamente viáveis que os de formato circulares; já autores e pesquisadores mais recentes afirmam que com o desenvolvimento de projetos e técnicas construtivas e de materiais, os reservatórios de formato cilíndricos são projetados com melhores distribuição de esforços devido às características geométricas, permitindo menores espessuras de paredes com maiores resistências mecânicas aos esforços.

Os reservatórios podem ser construídos com vários tipos de técnicas, estruturas e materiais, como alvenarias, concreto, aço e diretamente sobre o solo, todos porém, devendo ser projetados e planejados adequadamente para resistir às cargas dinâmicas e estáticas a que serão submetidos, bem como deverão garantir impermeabilidade, estanqueidade e resistência química ao líquido, fluido, efluente ou produto que irá armazenar.

Esse trabalho abordará reservatório de concreto armado para armazenamento de água potável. Atualmente e devido à importância desses nos sistemas de tratamento e distribuição de água à população, os reservatórios devem ser projetados e construídos de maneira que sejam esteticamente harmonizados com o local para que sejam admirados pela população pela sua aparência e formato, e que valorize o serviço de tratamento, armazenamento e distribuição de águas, preservando a qualidade e potabilidade dessa água.

2.1.2. Execução de projetos de reservatórios

Os reservatórios devem ser dimensionados adequadamente para suportarem as cargas estáticas, dinâmicas e acidentais a que serão submetidos.

Para serem evitadas fissuras nas estruturas de concreto armado de um reservatório o dimensionamento correto deve ser feito considerando-se a estrutura de paredes e lajes submetidas a esforços de flexo-tração, levando-se em conta os momentos fletores máximos em cada seção do dimensionamento, podendo desprezar-se a compressão. De acordo com o trabalho de (GIULIANI, 2010), no qual é recomendado que deve-se adotar a NB 1 – item 3.3.2.7, que hoje está atualizada pela versão NBR 6118(2003) que orienta os comprimentos de ancoragem negativos nas bordas engastadas; deve-se também executar mísulas a 45 graus para minimizar fissuramentos; as paredes laterais devem ser calculadas como vigas-paredes quando l/h for menor que 2 ou vigas armadas na flexão quando l/h for maior que 2. Para se evitar fissuramentos devido às variações de temperaturas devem-se seguir a NBR 6118(2003) que considera o estado limite último para fissuração. Para reservatórios sem tampas devem-se adotar para as paredes laterais cálculos que tenha como modelo laje engastada em três bordas e livre na borda superior. (GIULIANI, 2010)

Todo projetista de estrutura deve ter conhecimento de mecânica dos solos para o correto dimensionamento das fundações, bem como técnicas construtivas e de materiais de construção, além de conhecimento de arquitetura para reservatórios elevados; isso tudo contribui para que o reservatório seja bem projetado e dimensionado (COSTA, 1998)

Outro fator importante a ser considerado em um reservatório é a sua durabilidade. A durabilidade de uma estrutura de concreto armado é a capacidade que a mesma tem de resistir ao intemperismo, ataques químicos, ataques mecânicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração que comprometa o concreto e as armaduras e que mantenham sua funcionalidade e serviço. (CAMARINI, 2008).

O trabalho apresentado por (MOURÃO, 2009) abaixo transcrito faz referência à durabilidade do concreto.

Para Neville (1997), o concreto é considerado durável, quando desempenha as funções que lhe foram atribuídas, mantendo a resistência e a utilidade esperada, durante um período devida previsto. E acrescenta ainda, que a durabilidade do concreto não implica uma vida indefinida, nem suportar qualquer tipo de ação. É importante comentar, conforme apresentado por Medeiros e Helene (2009), que, atualmente, são gastos bilhões em manutenção e reparo em construções representando aproximadamente 50% do total empregado em construções. (Tabela 1)

Tabela 1 – Gasto com reparos manutenção em alguns países

País	Gastos com construções novas	Gastos com manutenção e reparo	Gastos totais com construção
França	85,6 bilhões de euros (52%)	79,6 bilhões de euros (48%)	165,2 bilhões de euros (100%)
Alemanha	99,7 bilhões de euros (50%)	99,0 bilhões de euros (50%)	198,7 bilhões de euros (100%)
Itália	58,6 bilhões de euros (43%)	76,8 bilhões de euros (57%)	135,4 bilhões de euros (100%)
Reino Unido	60,7 bilhões de pounds (50%)	61,2 bilhões de pounds (50%)	121,9 bilhões de pounds (100%)

Fonte: MEDEIROS; HELENE (2009)

Fonte: MEDEIROS; HELENE (2009) comenta que a resistência da estrutura de concreto à ação do meio ambiente e ao uso dependerá, no entanto, da resistência do concreto e da resistência da armadura. Qualquer dos dois que se deteriore, comprometerá a estrutura como um todo. (MOURÃO, 2010)

2.1.3. Qualidade do concreto executado em reservatórios

A Qualidade do concreto é fator preponderante para a durabilidade do reservatório; o concreto deve ter baixa permeabilidade e para isso deverá ter um traço adequado com correta curva granulométrica de seus agregados, correto consumo de cimento, correto fator água-cimento e boa plasticidade, dentre outros. Os processos de degradação têm início quando agentes externos interagem com os materiais que compõem a estrutura afetando sua durabilidade e vida útil. Um dos principais fatores que deterioram o concreto e devem ser levados em conta durante a fase de projeto e planejamento da construção de um reservatório é o combate ao fissuramento provocado por retração hidráulica,

cargas dinâmicas, estáticas e acidentais, variações de temperaturas, ação de gelo e degelo. Os desgastes por abrasão, erosão e cavitação assim como os ataques químicos sobre a pasta de cimento também devem ser considerados e evitados; esses ataques químicos podem ser causados por ação de gases e ácidos sulfúricos, carbônicos e clorídricos, e também por sais de amônia, nitratos, nitritos, sulfatos, cloretos, além da reação álcali-agregado. A ação biológica não controlada de fungos, algas e bactérias também causam degradação do concreto advindas de sub-produtos que são produzidos por esses organismos, tais como ácidos orgânicos, sulfúricos e nítricos. (CAMARINI, 2008)

De acordo com o que cita em seu trabalho, (GUIMARÃES, 1995) a NBR 6118(2003), o concreto a ser empregado para construção de reservatórios de água devem ser dimensionados para classe C25 e ter características que confirmem a ele, baixa permeabilidade, e para tanto devem ter um consumo mínimo de cimento de 350 kg/m^3 e relação água-cimento menor que 0,5.

Concretos expostos a altos teores de SO_4 devem ser produzidos com cimentos resistentes à sulfatos e observarem a classe C30 com relação água-cimento menor que 0,45.

Por fim além dos cuidados a serem tomados com o correto no dimensionamento de uma estrutura, assim como a correta dosagem do concreto a ser empregado na construção do reservatório, deve-se lançá-lo e adensá-lo adequadamente evitando segregações, juntas frias de concretagens, ninhos e falhas, e em seguida impermeabilizá-lo e protegê-lo contra a ação deletéria do ambiente a que ele ficará exposto.

2.2. SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE RESERVATÓRIOS

A NBR 9575:2003 – Impermeabilização – Seleção e Projeto estabelece as exigências e recomendações relativas à seleção e projetos de impermeabilização para que sejam atendidas as condições mínimas de proteção da construção contra

a passagem de fluidos, bem como salubridade, segurança e conforto do usuário, de forma a ser garantida a estanqueidade das partes construtivas que a requeiram.

Essa Norma define no seu item 3.48 a impermeabilidade como sendo a propriedade de um produto de ser impermeável, sendo que a sua determinação está associada a uma pressão limite convencionada em ensaio específico; no seu item 3.49 define impermeabilização como sendo o produto de um conjunto de componentes de elementos construtivos que objetivam proteger as construções contra a ação deletéria de fluidos, vapores e umidades, e geralmente composta de um conjunto de camadas com funções específicas.

As impermeabilizações rígidas devem ser escolhidas para reservatórios não sujeitos a movimentos e fissurações, como os enterrados, por exemplo, sendo que esses sistemas podem ser executados com argamassas cimentícias aditivadas com produtos químicos que promovem impermeabilização por cristalização ou hidrofugação, ou por aplicação de pintura de pastas de cimento com resinas acrílicas, e ainda por adição de produtos ao concreto que também promovam cristalização e preenchimento dos vazios do concreto. De outra maneira, para os reservatórios elevados e de grandes dimensões sujeitos a deformações estruturais, o sistema de impermeabilização a ser escolhido deverá ser flexível, de modo a suportar essas deformações; esses sistemas podem ser aderidos ou não aderidos ao substrato, aplicados a frio ou a quente, e podem ser de vários tipos de materiais como as membranas acrílicas, membranas de poliuretano, mantas de PVC, dentre outras. A escolha de um sistema de impermeabilização deverá proporcionar ao reservatório uma durabilidade mínima de 25 anos. (GUIMARÃES, 1995),

A NBR 9575:2003 da ABNT no item 3.51 define como sendo impermeabilização flexível o conjunto de materiais ou produtos aplicáveis nas partes construtivas sujeitas à fissuração; no item 3.54 define como impermeabilização rígida o conjunto de materiais ou produtos aplicáveis nas partes construtivas não sujeitas à fissuração.

As impermeabilizações rígidas são aderidas aos substratos, já as flexíveis podem ser aderidas ou não ao substrato, sendo que também está definido no item 3.50 a impermeabilização aderida como sendo o conjunto de materiais e produtos aplicáveis nas partes construtivas, totalmente aderidos ao substrato, e no item 3.52 define a impermeabilização não aderida como sendo conjunto de materiais e produtos aplicáveis nas partes construtivas, totalmente não aderidos ao substrato.

As características gerais exigidas para um sistema de impermeabilização de acordo com a NBR 9575:2003 da ABNT está descrito no item 6.2, que recomenda e orienta a se escolher um sistema de impermeabilização para que se evite a passagem da água e proteja a estrutura e o meio ambiente, possibilitando sempre que necessário e possível a sua manutenção, garantindo ao usuário o seu conforto e salubridade física.

Por essa Norma toda obra deverá ter um projeto de impermeabilização que contemple o projeto básico que definem as soluções de impermeabilização a serem adotadas numa obra; o projeto de impermeabilização com informações gráficas e descritivas que definem integralmente as características de todos os sistemas de impermeabilização empregados na construção; e ainda o projeto executivo de impermeabilização que deve detalhar como deve ser executada a impermeabilização de uma construção.

Os tipos de impermeabilizações rígidas estão definidas na NBR 9575:2003 da ABNT no seu item 4.1.1., sendo que apenas citamos a seguir como ilustração para esse trabalho a sua classificação como sendo as executados com argamassa impermeável com aditivo hidrofugante; argamassa modificada com polímero; argamassa polimérica; cimento cristalizante para pressão negativa; cimento modificado com polímero e membrana epoxídica.

Os tipos de impermeabilizações flexíveis estão definidas na NBR 9075:2003 no seu item 4.1.2., sendo que também citamos a seguir apenas como ilustração para esse trabalho a sua classificação como sendo as executados com membrana de asfalto modificado sem adição de polímero; membrana de asfalto modificado com adição de polímero elastomérico; membrana de emulsão

asfáltica; membrana de asfalto elastomérico em solução; membrana elastomérica de policloropreno e polietileno clorossulfonado; membrana elastomérica de poliisobutileno isopreno em solução; membrana elastomérica de estireno-butadieno-estireno; membrana de poliuretano; membrana de poliuréia; membrana de poliuretano modificado com asfalto; membrana de poliuretano modificado com cimento; membrana acrílica; manta asfáltica; manta de acetado de etilvinila; manta de policloreto de vinila; manta de polietileno de alta densidade; manta elastomérica de etilenopropilenodieno-monômero e manta elastomérica de poliisobutileno isopreno.

Cabe salientar que as membranas são executadas no local moldadas e aderidas ao substrato, e as mantas são produtos pré-fabricados aplicadas aderidas ou não aderidas ao substrato.

2.3. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESERVATÓRIOS DE CONCRETO ARMADO

As manifestações patológicas em um reservatório são causadas a partir uma somatória de fatos que contribuem para essas ocorrências, a saber:

- a) começam por defeitos de projetos,
- b) defeitos construtivos por falhas de materiais e mão de obra
- c) deformações estruturais e de fundação
- d) ação de cargas dinâmicas e impactos acidentais
- e) desgaste da estrutura provocado pelo uso
- f) uso inadequado da estrutura (mudança de uso)
- g) intemperismos
- h) ataques químicos de produtos e gases.
- i) falhas no sistema de impermeabilização
- j) falta de manutenção.

Os problemas mais comuns encontrados em reservatórios e que provocam danos e dão início à sua deterioração são falta de cobrimento do aço, juntas de concretagens mal executadas, ninhos de concreto, falhas na impermeabilização, trincas e fissuras, que expõem o substrato de concreto e o aço à ação da água e seus gases, levando à corrosão de armaduras, lixiviação e carbonatação do concreto, eflorescências, etc.; todo reservatório precisa de manutenção, pois tem vida útil efêmera. Devido ao alto custo de construção de um reservatório, é importante que sejam feitas manutenções preventivas e corretivas e que sejam empregadas técnicas atuais de recuperação e reabilitação da estrutura que possam trazer redução dos custos com a manutenção e aumento da vida útil que evitem manutenções freqüentes. (DIOGO, 2008).

Apesar de o concreto ser indispensável nas obras de hoje em dia, o mesmo sofre deterioração e as estruturas têm diminuição da vida útil, mesmo que bem dimensionadas e calculadas, podem sofrer influências de agentes externos como incêndios, recalques diferenciados das fundações, cargas não previstas, reações químicas entre os agregados e cimentos, levando a um estado de fissuração que pode comprometê-la totalmente, podendo até mesmo ser fatal. Com relação às manifestações patológicas de fissuramento, a NBR 8802 – Concreto Endurecido – Determinação da Velocidade de Propagação da Onda Ultra Sônica, diferencia fissuras de trincas como sendo as fissuras uma ruptura que ocorre no material com abertura de até 0,5 mm por ação de esforços mecânicos ou agressões físico-químicas, tendo as trincas aberturas devidas as mesmas causas, porém de aberturas maiores que 0,5 mm. As fissuras são as manifestações patológicas mais freqüentes nas obras e estruturas de concreto e podem ser classificadas como ativas e passivas, podendo aparecer no concreto durante o estado plástico ou endurecido. As fissuras ativas apresentam movimentações e variação de dimensões de suas aberturas durante a vida da estrutura como as provocadas por carregamentos dinâmicos e as fissuras passivas tem comportamento estático como, por exemplo, as fissuras de retração plástica. Fissuras que possuem atividades de movimento temporárias como as de retração plástica e após certo

tempo não se deformam mais adquirindo características estáticas, são também classificadas como sendo dinâmicas, uma vez que sua terapia deverá ser feita em quanto a mesma apresenta movimentação. As fissuras ativas são causadas por variação térmica, retração por secagem hidráulica, cargas dinâmicas, corrosão de armaduras, reação álcali agregados, reações expansivas com sulfatos. As fissuras passivas são causadas por assentamento plástico, rápida evaporação da água de amassamento, absorção da água pelas formas e/ou agregados, reação química do cimento e água que produz sub-produtos de volumes menores que o produto inicial, movimento das formas, variação térmica provocadas por fogo ou excessivo calor de hidratação do cimento, sobrecargas. As técnicas de terapia das fissuras recomendam que para fissuras ativas devem-se utilizar produtos flexíveis denominados de selantes que permitam que essas fissuras se movimentem sem restrições; e para as fissuras passivas, podem-se utilizar produtos para colmatação rígidos. Produtos rígidos não devem ser utilizados para tratamento de fissuras dinâmicas pois ao serem solicitados ao trabalho irão transferir esforços fazendo com que a fissura apareça novamente em outro local próximo (FIGUEIREDO, 1989).

Ainda segundo (SOUZA, 2010) que cita em seu trabalho (CÓDIGO CEB-FIP, 1990 apud BRAGA, 2003), as fissuras podem ocorrer devido a detalhes construtivos devidos aos erros de concepção e execução das peças de concreto armado e devido a recalques de fundação.

2.4. SISTEMAS DE SELAMENTO DE FISSURAS E TRINCAS EM ESTRUTURAS HIDRÁULICAS - RESERVATÓRIOS.

Os sistemas de injeção com resinas flexíveis foram desenvolvidos para uso e aplicação em estruturas de concreto em geral e que também são aplicados para estruturas hidráulicas construídas em concreto armado – reservatórios – com objetivo de selamento de trincas e fissuras e evitar perdas de água e danos à estrutura do reservatório. Após a cura do concreto lançado, via de

regra ocorrem vazamentos devidos a defeitos executivos de lançamento e adensamento além de fissuras que não dão ao reservatório a estanqueidade desejada.

Existem vários produtos e várias técnicas para se fazer o selamento das fissuras e das trincas em estruturas de concreto sendo que os sistemas de injeção utilizam basicamente dois tipos de resinas, a saber, os durômeros e os elastômeros. Os durômeros além da vedação das trincas e fissuras garantem a recuperação do monolitismo das peças e conferem a transmissão de esforços nas fissuras e trincas injetadas, e são injeções realizadas com resinas epóxicas, microcimentos e poliuretanos estruturais. Os elastômeros são os materiais que também garantem a vedação das trincas e fissuras ativas injetadas, e são capazes de absorver as movimentações estruturais porém sem a função de monolitizar a peça e são injeções executadas com resinas de poliuretanos flexíveis e géis acrílicos. (TAKAGI e JÚNIOR, 2007).

Para que se consiga executar sistemas de injeção que garantam o resultado esperado, ou seja, a estanqueidade da estrutura, é necessário que se conheça a dimensão da trinca ou fissura a ser tratada bem como suas características de comportamento dinâmico ou estático para que se possa escolher o produto correto; sendo assim a escolha da viscosidade do produto a ser injetado é muito importante para que a injeção preencha todo o espaço das trincas e fissuras; pode-se definir como sendo a viscosidade a propriedade que o líquido tem de resistência interna para fluir, ou ainda como sendo o atrito interno dos líquidos devido às interações intermoleculares do mesmo.

O Sistema Internacional de Unidade (SI/2003) define como unidade de medida de viscosidade o Pa.s, Pascal.

Na tabela 2 a seguir mostra-se a viscosidade de alguns líquidos e produtos utilizados para sistemas de injeção comparado-os com a viscosidade da água.

Tabela 2 – Viscosidade de líquidos e produtos para injeção (mPa.s)

Líquidos a temperatura ambiente de 20 graus	Viscosidade
Água	1
Leite integral	3
GEL ACRÍLICO	5
Óleo de linhaça cru / Óleo de milho	28
GEL DE ACRÍLICO TIXOTRÓPICO	30
Azeite de oliva / Óleo de soja	84
Adesivo de cianoacrilato tipo "Super Bonder"	95
GEL DE POLIURETANO	100
Óleo de motor SAE 10 / Óleo doméstico fino tipo "Singer"	102
Óleo de motor SAE 30	200
ESPUMA DE POLIURETANO HIDROATIVADO	250
Óleo de motor SAE 40 / Óleo Castrol GTX	250

Fonte: (TAKAGI e JÚNIOR, 2007).

A tabela 3 a seguir segundo (TAKAGI e JÚNIOR, 2007) orienta a escolha correta do sistema e do produto adequado para cada tipo de necessidade de trabalho e condição de obra de acordo com condições do substrato, espessuras e deformações, onde para selamento de fissuras e trincas sujeitas à deformações e movimentos deverão ser utilizados produtos flexíveis para injeção que permitam o movimento das fissuras e trincas sem deixar que a água ou o fluido passe, e para a solidarização de fissuras e trincas de comportamento estático onde se deseje a reconstituição da monoliticidade da peça, deverão ser utilizados produtos rígidos para injeção que garantam a transferência de esforços da peça sem que ocorram novo rompimento e garantindo a estanqueidade do local. Ainda pode-se escolher os tipos de produtos de injeção de acordo com a presença de água ou não nas trincas e fissuras.

Tabela 3 - Opções de produtos para selamento de trincas e fissuras.

SELAMENTO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL EM TRINCAS ÚMIDAS ■Poliuretano ★ ★ ★ ★ ★ ■Gel de Acrílico ★ ★ ★ ★ ★ ■Microcimento ★ ★ ★	SELAMENTO COM FUNÇÃO ESTRUTURAL EM TRINCAS ÚMIDAS ■Microcimento ★ ★ ★ ★
SELAMENTO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL EM TRINCAS SECAS ■Poliuretano ★ ★ ★ ★ ★ ■Microcimento ★ ★ ★ ■Gel de Acrílico ★ ★ ★ ■Epóxi ★ ★	SELAMENTO COM FUNÇÃO ESTRUTURAL EM TRINCAS SECAS ■Epóxi ★ ★ ★ ★ ★ ■Microcimento ★ ★ ★

Fonte: (TAKAGI e JÚNIOR, 2007).

Dependendo das condições de cada obra, devem ser especificados diferentes materiais para serem utilizados para injeção em fissuras. Para uma injeção de selamento ser duradoura, mesmo em fissuras úmidas e sob contínua movimentação, devem ser usadas resinas de poliuretano. Para injeções em fissuras secas e de comportamento estático podem ser usadas resinas de epóxi de alta resistência e baixa viscosidade. Entretanto, as altas resistências e baixo módulo de elasticidade dos materiais epoxídicos em relação ao substrato de concreto, nem sempre são adequadas sob ponto de vista da análise estrutural, peças estruturais submetidas a momento fletor, tendem a concentrar as tensões internas na seção injetada com epóxi e criar novas fissuras imediatamente ao lado da que foi tratadas e/ou injetada. Portanto uma das soluções viáveis técnica e economicamente são aplicação de injeções de resinas flexíveis de poliuretano que permitem o selamento definitivo das trincas e fissuras em estruturas de concreto.

As injeções de resinas flexíveis de poliuretano garantem o desempenho do sistema de impermeabilização, estancando os vazamentos, impedindo o ingresso de agentes agressivos na estrutura, protegendo-as, garantindo dessa maneira sua durabilidade. Os primeiros estudos e trabalhos de injeção de poliuretano foram desenvolvidos e executados nos anos 70, passando a partir de então ser sinônimo de tecnologia moderna em todo o mundo e no Brasil. As injeções de poliuretano em questão são de resinas a base de Metil Di Isocianatos chamadas MDI, permanecem mesmo depois de 40 anos aplicadas em perfeito estado, mantendo sua elasticidade mesmo em ambientes alcalinos e sob severas agressões de produtos químicos presentes em águas ou efluentes. Segundo consta em estudos apresentados pelos fabricantes, a resina de poliuretano pode ser utilizada para selamento de trincas e de fissuras em reservatórios de água para consumo humano. A resina de poliuretano MDI tem um bom desempenho no selamento flexível de trincas e fissuras mesmo que dinâmicas e com presença de água, devido a formação de uma estrutura uniforme e regular que possui excelente aderência nos substratos secos ou molhados. A flexibilidade e a capacidade de deformação da resina de poliuretano MDI é devido ao fato da mudança da forma e volume dos seus poros que são cheios de gases; a espessura das paredes dos poros não permite no entanto que a água penetre neles mesmo sobre pressão, bem como não permite que a estrutura da resina se rompa devido às tensões internas das fissuras. As resinas MDI tem viscosidade entre 100 mPa.s e 250 mPa.s, e devido a essa baixa viscosidade, podem ser injetadas em fissuras de até 0,1mm de abertura com auxílio de bombas injetoras de alta pressão e bicos metálicos de injeção de perfuração ou de adesão. (PINTO *et al.*, 2010)

Ainda como cita (SOUZA, 2010) a durabilidade das resinas de poliuretano vem sendo testada há 40 anos, sendo verificado que essas vem mantendo as flexibilidade e aderência ao substrato, mesmo em ambientes altamente alcalinos. De acordo com Takagi e Junior (2007), as resinas de

poliuretano formam uma estrutura uniforme e regular com excelente aderência ao substrato e alta capacidade de deformação que mantém a fissura ativa sendo que a baixa viscosidade das resinas de injeção permitem uma penetração em fissuras menor que 0,1mm de abertura. A viscosidade das resinas de poliuretano variam entre 100mPa.s e 250mPa.s e devem ser injetadas utilizando bombas mono-componente airless de alta pressão injetando através de injetores metálicos (figura 1) a seguir.

2.4.1. Procedimentos para a aplicação de injeção de poliuretano

O procedimento descrito a seguir é o que se tem hoje no mercado como mais eficiente para selamento de trincas e fissuras em reservatórios de concreto armado para armazenamento de água, com objetivo de eliminar os vazamentos de águas dessas fissuras e trincas; esse procedimento trata e sela definitivamente as fissuras e trincas, garantindo a impermeabilidade, estanqueidade e proteção anti corrosiva para esses locais tratados; porém a estrutura e o substrato de concreto armado necessitam de serviços complementares, uma vez que as injeções de poliuretano aplicadas tratam somente o local, ou seja, não tratam e nem reparam o restante das patologias instaladas nas estruturas.

De maneira resumida e conforme (FIGUEIREDO, 1989) um procedimento de injeção requer procedimentos básicos que não estão normatizados e que necessariamente passam por vistoria do local para levantamento da história do problema e da estrutura, exames complementares no laboratório ou no local e pesquisa caso não se tenha informações suficientes sobre o problema seguido do diagnóstico da necessidade para se entender e identificar as múltiplas relações de causa e efeito que podem fazer parte do fenômeno em questão sendo isso fundamental para a decisão do sistema corretivo a empregar e por fim definir os materiais, mão de obra, equipamentos e metodologias de injeção para a resolução do problema, bem como prever as conseqüências em termos de desempenho final.

O procedimento de Injeção de Poliuretano Hidroativado para o selamento das fissuras e trincas que apresentam vazamentos deve garantir a qualidade das águas para consumo humano segundo as normas DIN EN 1504-5.

(SOUZA, 2010) em seu trabalho de pesquisa cita também que a Norma Europeia DIN EN 1504-5 (2006) especifica requisitos técnicos e critérios de conformidade para a identificação e desempenho incluindo aspectos de durabilidade e segurança de produtos de injeção utilizados nos reparos e proteção de estruturas de concreto. A norma define três tipos de produtos de injeção; produtos de injeção para preenchimentos de fissuras com capacidade de transmissão de esforços e recomposição de monolitismo; produtos de injeção para preenchimentos dúctil de fissuras; produtos de injeção hidroexpansivos para preenchimentos de fissuras;

Além dos aspectos citados acima a DIN EN 1504-5 (2006) define aspectos relacionados a presença de umidade, movimentação das fissuras, características dos materiais, injetabilidade, pot lifes (tempo de aplicação), resistências, aderências, emissão de produtos tóxicos e processos de controle de qualidade na fabricação e define também uma classificação para os materiais que consiste em utilização de letras e números que determinam as características básicas chamado de sistema de classificação UW (U para utilização prevista e W para trabalhabilidade); a letra U vem primeiro junto de uma letra e um algarismo entre parênteses, conforme demonstrado na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 – Classificação DIN EN 1504-5 para materiais de injeção (F)

F: PRODUTOS PARA INJEÇÃO CAPAZES DE TRANSMISSÃO DE ESFORÇOS ESTRUTURAIS		
Identificação	Característica	Utilização
F1	Aderência com resistência a tração $> 2 \text{ N/mm}^2$	Fissuras, trincas, vazios
F2	Aderência com resistência a tração $> 0,6 \text{ N/mm}^2$	Apenas, trincas e vazios
D: PRODUTOS PARA PREENCHIMENTOS DÚCTEIS DE FISSURAS		
Identificação	Característica	Utilização
D1	Estanque a água a $2 \times 10^5 \text{ Pa}$	-
D2	Estanque a água a $7 \times 10^5 \text{ Pa}$	Aplicações especiais
S: PRODUTOS EXPANSÍVEIS PARA PREENCHIMENTOS DE FISSURAS		
Identificação	Característica	Utilização
S1	Estanque a água a $2 \times 10^5 \text{ Pa}$	-
S2	Estanque a água a $7 \times 10^5 \text{ Pa}$	Aplicações especiais

Fonte: DIN EN 1504-5

Na Tabela 5 a seguir, a letra W para trabalhabilidade vem seguida de 3 ou 4 algarismos entre parênteses.

Tabela 5 - Classificação DIN EN 1504-5 para materiais de injeção (W)

W – TRABALHABILIDADE		
Grupo	Descrição	Identificação
1	Mínima largura de fissuras, em décimos de milímetros	1, 2, 3 ,5,8
2	Estado de umidade da fissura - 1 seco, 2 umido, 3 molhado, 4 fluxo de água	1, 2 3 ou 4
3	Temperatura de utilização máxima e mínima (°C)	Temperatura
4	Capacidade transmissora de fissura (somente para F) - 1 para fissuras com movimentações diárias > 10% ou 0,03mm e 0 para fissuras com movimentações diárias < 10% ou 0,03mm.	0 ou 1

Fonte: DIN EN 1504-5

Exemplo, a classificação:

U (S1) W (1) (1/2) (5/30) (-) Refere-se a um material hidroexpansivo para injeção em fissuras maiores que 0,01mm. secas ou com presença de umidade, com temperaturas mínimas e máxima de aplicação de 5 e 30 graus Celsius respectivamente.

O serviço de injeção na prática compreende a aplicação prévia de injeção de resina MDI de espuma de poliuretano hidroativado para tamponar os vazamentos de água com pressão, e que ocorrem pelas fissuras e trincas do substrato de concreto, devendo na sequência ser injetado no mesmo local o gel de poliuretano MDI que fará o selamento final e definitivo dessas fissuras e trincas

O escopo para os serviços de Injeção de Espuma e Gel de Poliuretano Hidroativados abrangem a preparação, a mistura das resinas e a injeção em fissuras e trincas do concreto com aberturas maiores que 0,1 mm.

As fissuras com aberturas menores que 0,1mm geralmente não vazam pois estão colmatadas pelo carbonato de cálcio.

Os Equipamentos e Ferramentas mínimos necessários à execução dos trabalhos estão listados a baixo e no anexo 7.4.

Para a instalação dos bicos de perfuração, devem-se executar furos ao longo das trincas e fissuras, em um ângulo de 45° com a superfície de concreto, conforme se vê na Figura 1, de tal maneira e profundidade que o furo intercepte a fissura na metade da espessura da parede a ser injetada. A distância da fissura aos furos corresponde à metade da espessura da parede. O espaçamento entre os furos é igual a espessura da parede e os bicos são instalados nos dois lados da fissura alternadamente.

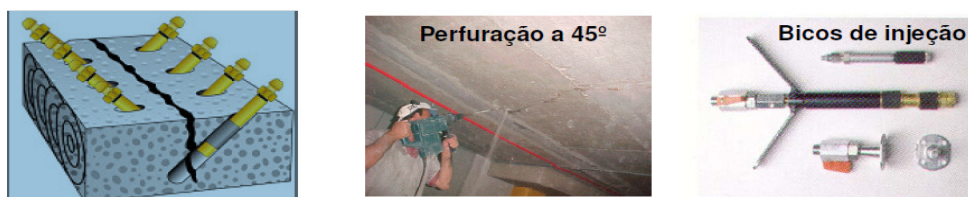


Figura 1- Detalhes de colocação dos bicos de perfuração

A sequência dos trabalhos de preparo, furação do concreto e fixação dos bicos de perfuração deve ser as seguintes.

- a) Marcação dos furos
- b) Perfuração
- c) Instalação dos bicos

Os furos perfurados devem ser aspirados com ar-comprimido.

Os bicos de perfuração são inseridos bem justos para selar efetivamente os furos, e apertados com auxílio de chaves

O Procedimento de mistura da resina de espuma de poliuretano MDI deverá ser o seguinte:

A resina de espuma de poliuretano MDI é bi-componente, os conteúdos de cada embalagem devem ser misturados juntos em um recipiente limpo e seco e misturados por 2 minutos com furadeira e batedor mecânico de baixa rotação

(200 rpm). A proporção de mistura em volume é de 5:1 (A:B) e para se obter um tempo maior para formação da espuma, pode-se variar a proporção reduzindo-se o catalisador a uma proporção de 10:1 (A:B).

O procedimento para a aplicação da injeção deverá ser o seguinte:

A bomba de injeção para as resina de poliuretano são monocomponentes, e dessa maneira a resina de espuma de poliuretano MDI já pré-misturada é vertida no reservatório da bomba de injeção e bombeada através das mangueiras e bicos para dentro das fissuras e trincas até preenchê-las.

Com a pistola de injeção conectada ao bico instalado no concreto a resina é injetada com intervalos de tempo para permitir a reação e a expansão quando em contato com a água. O processo continua até o fluxo d'água parar e quando o excesso de resina voltar pelo bico. Quando todos os bicos tiverem sido injetados, a bomba é retirada e lavada com o solvente, os bicos removidos e os locais reparados com argamassa cimentícia polimérica.

A resina de espuma MDI forma uma estrutura de células abertas e é usada preliminarmente só para um selamento inicial com o propósito de estancar os vazamentos e permitir o uso de uma injeção secundária a ser feita com o gel de poliuretano para um selamento permanente e definitivo que deverá ser feito imediatamente em seguida, com os mesmos procedimentos descritos acima para a espuma de poliuretano.

A resina de gel de poliuretano a ser injetada deve atender à seguinte especificação e ter os seguintes requisitos mínimos:

Resina elástica à base de poliuretano MDI de baixa viscosidade

Viscosidade: 100 mPa.s

Pot Life de 100 min a 20°C e 50% de umidade relativa

A avaliação da eficiência da injeção pode ser requisitada através de testemunhos extraídos da área tratada para avaliar a eficiência da técnica de injeção.

O reuso dos bicos para a injeção secundária pode ser possível pela remoção deles e lavagem com solvente, depois lavados e limpos com água antes

de serem reutilizados de maneira que resíduos de solvente não entre em contato com a água potável; caso não seja possível essa limpeza devem-se instalar novos bicos. (PINTO, *et al.*, 2010)

2.5. PARÂMETROS DE POTABILIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Todos os produtos utilizados para tratamento de fissuras e trincas em reservatórios de água potável devem ter qualidade aprovada e comprovada por ensaios junto aos órgãos competentes e atender aos requisitos de desempenho para o tratamento de selamento estável e definitivo, e não afetar a potabilidade da água para consumo humano.

No Brasil as normas de potabilidade de água para consumo humano devem seguir a Portaria 518 do Ministério da Saúde 25/03/2004 a qual está no anexo 7.3., onde os parâmetros de potabilidade analisados são o microbiológico, turbidez para água pós-filtração ou pós-desinfecção, substâncias químicas que representam riscos à saúde, radioatividade e o padrão de aceitação para consumo humano.

Neste estudo estaremos analisando os parâmetros que determinam a presença de substâncias químicas que representam riscos à saúde e o padrão de aceitação da água para consumo humano, os quais são afins com o nosso objetivo; dessa maneira não analisamos os padrões microbiológicos, radiotivos e turbidez pós-filtração ou pós-desinfecção.

A NBR 12.170 / 1992 – Potabilidade da água aplicável em sistemas de impermeabilização; define como devem ser os procedimentos para ensaio dos produtos de impermeabilização para análise em laboratório.

Na Europa a Norma DIN EN 1504-5 é que determina os parâmetros de potabilidade a serem seguidos; por essa norma, as resinas devem garantir que não apresentam toxicidade e não mudam a potabilidade da água, assim como não podem oferecer perigo ao meio-ambiente contaminando o solo e os mananciais

de água, sendo que se aprovadas para uso recebem o selo de conformidade europeu “CE”.

O Instituto de Higiene em Gelsenkirchen na Alemanha, aprova o uso de resinas de poliuretano MDI para sistemas de injeções em contato com água potável e deve ser classificada como KTW classe D2 (selamento de pequenas áreas) para plásticos em contato com água potável, procedimentos que atendem à Norma DIN EN 1504-5.

Além do uso de resinas de injeção que não alterem a potabilidade da água, os outros, produtos, materiais, equipamentos e ferramentas empregados para a realização dos serviços de injeção também deverão garantir a não contaminação da água e alteração de sua potabilidade como por exemplo, os bicos de injeção, solventes de limpeza de bombas injetoras e ferramentas.

Durante a realização dos serviços de injeção é comum que seja necessário uma reaplicação de resinas de poliuretano em algumas regiões das trincas ou fissura onde não se tenha conseguido o selamento desejado, e para isso é preciso que seja feita uma injeção complementar em alguns bicos; casos a resina ainda não tenha curado é possível fazer a injeção complementar no mesmo bico; porém caso a resina tenha curado, o reuso dos bicos para a injeção secundária pode ser possível pela remoção deles e lavagem com solvente; após lavados com solventes devem ser limpos com água antes de serem reutilizados, de maneira que o solvente não entre em contato com a água potável; caso não seja possível a sua limpeza e reaproveitamento, devem-se instalar novos bicos.

Neste capítulo vimos os cuidados que devem ser tomados para que a potabilidade da água para consumo humano seja preservada e mantida dentro dos reservatórios quando da necessidade de execução de selamento de fissuras e trincas com resinas de poliuretano, e também como se executam os serviços de injeção para selamento de trincas de fissuras. No próximo capítulo descreveremos o programa experimental desse trabalho detalhando o caso estudado.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo será apresentado o procedimento adotado para a análise da potabilidade da água após o contato dela com a resina de poliuretano MC INJEKT 2300 NV, realizado segundo Normas e Procedimentos Analíticos Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21th. Edition – AWWA/APHA/WEF; Métodos EPA e as Normas NBR/ABNT referentes, para atender às exigências da qualidade e potabilidade da água para consumo humano, segundo a Portaria 518 do Ministério da Saúde de 25/03/2004, sendo que serão estudados os parâmetros de potabilidade das tabelas 3 e 5 da referida Portaria que correspondem às necessidades desse estudo, a saber;

- Tabela 3 – Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representem risco à saúde, onde são analisados os parâmetros de contaminação por inorgânicos, orgânicos, desinfetantes e produtos secundários da desinfecção, e agrotóxico.

- Tabela 5 – Padrão de aceitação para consumo humano

Não foram analisadas as Tabelas 1, 2, 4, 6, 7, 8 e 9, pois a resina em questão não afeta a potabilidade da água nesses parâmetros, onde:

- Tabela 1 – Padrão microbiológico de potabilidade para consumo humano.

- Tabela 2 – Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção.

- Tabela 4 – Padrão de radiatividade para água potável.

Tabelas de 6 a 9 que orientam como se colher as amostras para análises, periodicidade e frequência, números mínimos de amostras para controle, parâmetros esses que não são objeto desse estudo.

Cabe ressaltar que segundo a NBR 12.170 / 1992 – Potabilidade da água aplicável em sistemas de impermeabilização (Anexo 7.10), a metodologia a ser utilizada para a análise da potabilidade da água em contato com materiais e sistemas de impermeabilização determina que os materiais utilizados em sistemas

de impermeabilização devem ser preparados em corpos de prova e a potabilidade da água é analisada após o contato da água com os materiais curados; porém como inovação de pesquisa, adotaremos como critério de análise de potabilidade da água exposta à resina de poliuretano para essa pesquisa a resina de poliuretano não curada.

As Normas Alemãs UAB (Anexo 7.11), propõe considerar a área de contato da resina com a água na razão de 1/100 da área da fissura de modo a simular a área de influência do contato de uma fissura com a água do reservatório para análise da potabilidade de revestimentos orgânicos em contato com água potável.

Salienta-se ainda que pela Norma 12.170/1992 no seu item 4.1.3.1 os corpos de prova a serem ensaiados devem ter dimensões de 12 cm x 8 cm e devem ter pelo menos uma emenda em condições analógicas à das obras, deve-se considerar que a amostra tenha área equivalente a 1/100 de corpo de prova de 12 cm x 8 cm (96 cm^2) ou seja, deve se pintar uma fina camada de resina com $0,96 \text{ cm}^2$, equivalente a 0,02g de resina, ou seja 0,001% do volume de água utilizada para avaliar a potabilidade segundo a norma NBR 12.170, modificada.

Nesse trabalho resolvemos adotar procedimentos diferentes também com relação à quantidade de resina de poliuretano para ser colocada em contato com água, e que foi de 1% sobre o peso da água; essa quantidade foi escolhida por ser uma quantidade grande comparando com o que se executa na prática; escolhemos essa dosagem por ser alta e julgarmos que ela poderá ser mais significativa para fins de análise da potabilidade da água do que as dosagens baixas, podendo ser dessa maneira o resultado do estudo mais representativo, ou seja, se não for alterada a potabilidade da água para grandes dosagens de resina de poliuretano não curada em contato com a água, provavelmente não deverá ser também para pequenas dosagens; ressalta-se também que essa opção de se analisar apenas uma resina de gel de poliuretano e apenas uma dosagem alta de resina não curada e outra curada expostas à água foi feita devido ao alto custo

dos ensaios, onde foi feita análise da resina denominada de MC INJEKT 2300 NV da MC Bauchemie Brasil.

O que pode se colher de informações de campo com relação à quantidade de resina de poliuretano utilizada em serviços de injeção e que entram em contato com água armazenada, é que uma parte muito pequena da resina de poliuretano entra de fato em contato com a água do interior dos reservatórios, ficando a maior parte da resina de poliuretano no interior das fissuras do concreto, e uma pequena parte escorre para fora da estrutura, perdendo-se.

Na Tabela 6 abaixo estão resumidos alguns dados colhidos em obras de injeção executadas com resinas de poliuretano, onde foi considerado como perda de resina 5% do volume injetado, sendo que foi considerado que metade desse percentual foi o interior do reservatório e a outra metade para fora do reservatório; fazendo-se uma relação entre o volume de água e o percentual da resina que foi para dentro do reservatório pode se estimar que na média o percentual de resina de poliuretano que entra em contato com a água é em torno de 0,000365%.

Tabela 6 – Percentual de resina de poliuretano em contato com água em reservatórios

RESERVATÓRIO	SÃO BENTO	ETA I	DECANTADOR	SANTA ROSA
LOCAL	DAERP RIB. PRETO - SP	DAE SANTA B. D'OESTE - SP	CODEN NOVA ODESSA - SP	DAE SANTA B. D'OESTE – SP
ANO	2007	2008	2007	2008
VOLUME	3.000,00 m ³	5.000,00 m ³	4.000,00 m ³	1.000,00 m ³
FISSURA	60,00 m	150,00 m	252,00 m	100,00 m
RESINA	240,00 litros	250,00 litros	740,00 litros	200,00 litros
PERDA RESINA	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%
% CONTATO	0,0002%	0,00012%	0,00046%	0,0005%

As amostras de água para análises foram preparadas de duas maneiras diferentes; uma foi colocada em contato com a resina de poliuretano catalisada e não curada, e a outra colocada em contato com a resina de poliuretano catalisada e curada, depois foram comparadas com a água padrão de referência, para análise dos resultados; vejamos então o que segue.

3.1. PROCEDIMENTOS DE EXTRAÇÃO DE INORGÂNICOS DA RESINA

Apresentamos a seguir quais foram os procedimentos feitos para o preparo das duas amostras que foram analisadas e comparadas com a amostra de referência, obedecendo os critérios da Tabela 3 e 5 da Portaria 518 de 25/03/2004.

3.1.1. Preparo das amostras para análise.

a) Amostra 1 – Resina não curada em contato com a água.

A primeira amostra que foi utilizada para o Teste 1, foi preparada a partir da mistura em um recipiente com 37,50 ml de resina de poliuretano - componente A, e mais 12,50 ml do catalisador - componente B, somando 50 ml da resina. Essa mistura da resina de poliuretano seguiu a recomendação de proporção indicada pelo fabricante, como ilustrado na Figura 2.

Na seqüência foi feito a homogeneização da mistura por 3 minutos.

A resina homogeneizada com o catalisador, e não curada, foi inserida num outro recipiente com 5,00 litros de água contendo água tratada, tendo-se assim a proporção de 1% de resina de poliuretano não curada em contato com a água a ser analisada, como ilustrado na Figura 3.

A solução foi deixada em repouso por 48h e após esse período a solução (água + resina) foi filtrada com emprego de bomba a vácuo e filtro de fibra de vidro 0,47 μm e encaminhada para as devidas análises, conforme ilustrado na Figura 4.



Figura 2 – Preparo da Resina de Poliuretano – Amostra 1



Figura 3 – Colocação da Resina em contato com água.



Figura 4 – Resina curada dentro da amostra de água após 48 h.

b) Amostra 2 – Resina curada em contato com a água.

A segunda amostra, ilustrada na Figura 5, que foi utilizada para o Teste 2, foi preparada a partir da mistura em um recipiente com 37,50 ml de resina de poliuretano - componente A e mais 12,50 ml do catalisador – componente B, seguindo também as recomendações do fabricante na proporção de mistura dos componentes A e B, somando 50,00 ml de resina homogeneizada.

A homogeneização da mistura foi feita por 3 minutos.

A resina homogeneizada com o catalisador foi deixada em repouso para aguardar o processo de cura e endurecimento por um período de 48 hs, como se vê na Figura 6.

A resina catalisada, endurecida e curada pelo período de 48 hs foi deixada em imersão em um volume de 5,00 litros de água por mais 48h para se ter a proporção de 1% de resina curada em contato com a água, como se vê na ilustração da Figura 7; pós esse tempo a resina foi removida da água e a água foi enviada para as devidas análises.



Figura 5 – Mistura do Catalisador (componente B) à Resina de Poliuretano (componente A) – Amostra 2



Figura 6 – Resina curada após 48 h de homogeneizada – Amostra 2.



Figura 7 – Resina curada em contato com a amostra de água, após 48 h de imersão.

3.1.2. Procedimentos para extração de amostra da água exposta à resina de poliuretano, para análise de voláteis - COV

O método de preparação das amostras de água 1 e 2, para análise denominado de BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos) em água foi adaptado da metodologia EPA (Environmental Protection Agency) 5021.

O procedimento de preparo foi realizado conforme etapas descritas a seguir para cada uma das amostras analisadas.

- Foi pesado 0,5 g de sulfato de sódio anidro em Vial Headspace de 20 ml (que é um pequeno frasco de vidro de 20 ml);
- Depois foi pipetado 15 ml da amostra;
- Na sequencia foi adicionado solução surrogate a 20 µg/L;
- Foi depois lacrado o vial com crimpador, que é um alicate para lacração;
- O Vial lacrado foi inserido no carrossel do Headspace e programadas as injeções automáticas, onde o equipamento, cromatógrafo, faz o aquecimento e a agitação da amostra e a leitura dos resultados, apresentando-os na tela do computador.

O CG-FID, Cromatógrafo a Gás, acoplado ao Detector de Ionização que se vê na Figura 8 realiza os seguintes procedimentos de injeção e análise das amostras.

- O fluxo de gás na coluna é de 1,0 ml/min;
- O volume de injeção da amostra é de 100 µl;
- A temperatura do injetor é de 220°C;
- A temperatura do detector é de 280°C;
- A coluna de leitura tem 5% de fenil, e 95 % de dimetilpolisiloxano (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm);
- Usa como gás de arraste o Nitrogênio de alta pureza;
- O tempo de corrida para análise é de 13,69 min.



Figura 8 - Cromatógrafo a gás acoplado ao Detector de Ionização CG-FID

Esse equipamento, CG-FID analisa e apresenta os resultados analíticos que constam nos Boletins De Análises 032.278 e 029.028 de acordo com os métodos EPA 8260B, EPA 8232A, e EPA 524.2

3.1.3. Procedimentos para análise de semi-voláteis (SVOCs)

Hidrocarbonetos Policíclico Aromático - PAH's

O método de preparação das amostras de água para análise de PAH's (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) em água foi adaptado das metodologias 525.2 e 3535a, ambas da EPA (Environmental Protection Agency).

O procedimento de preparo da amostra foi realizado conforme etapas que seguem, para as duas amostras de água.

- Foi medido em proveta 1000 mL de amostra da água;
- Foi filtrada a amostra em filtro de membrana de celulose ($\varnothing$ 0,47 cm);
- Foi feito o ajuste do pH da amostra para 2,0 com ácido sulfúrico e agitar (verificado com fita de pH);
- Foi eluido o cartucho C18 com 6 ml de diclorometano;
- Foi eluido o cartucho C18 com 6 ml de água ultrapura;
- Foi Inserida a amostra a 2 ml/min no cartucho;
- Foi secado o cartucho a vácuo por 20 min;
- Foi eluido o cartucho com 6 ml de diclorometano;
- Foi concentrado o extrato em banho-maria a 50°C e fluxo de gás N₂;
- Por fim, foi injetado uma alíquota de 2 μ l em GC-FID.



Figura 9 – Capela usada para o banho-maria.

As condições e procedimentos realizados pelo Cromatógrafo a Gás acoplado ao Detector de Massa GC-MS para a injeção e análise da amostra da água para identificação de presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, conforme ilustrado na Figura 10 são as seguintes:

- O fluxo da amostra é de 1,0 ml/min;
- O volume de injeção é de 2 µl;
- A temperatura do forno é de 80°C;
- A temperatura do injetor é de 220°C;
- A temperatura do detector 320°C;
- A temperatura da fonte: 185°C;
- Coluna: Elite 5MS de 5% fenilmetilpolisiloxano (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm);
- O Gás de arraste é Hélio 6.0;
- O tempo de corrida é de 30 min;
- Liner: com divisor (modo split).



Figura 10 - Cromatógrafo a Gás acoplado ao Detector de Massa GC-MS

Esse equipamento, CG-MS analisa e apresenta os resultados analíticos que constam nos Boletins De Análises 032.278 e 029.028 de acordo com o métodos EPA 525.2

3.1.4. Análises dos Metais por Espectometria de Absorção Atômica.

Para as amostras serem analisadas corretamente, foi realizada a digestão das mesmas; em uma alíquota de 7 ml da amostra, acrescentou-se 2 ml de ácido nítrico P.A. e 1 ml de ácido clorídrico. O frasco foi lacrado com o auxílio do suporte de digestão e a amostras colocadas no micro-ondas para digestão.

A seguir na Tabela 7 mostra-se a descrição da programação do digestor – micro-ondas, e na Figura 11 o próprio micro-ondas utilizado.

	Tempo (min)	Potência (W)
1º step	4	320
2º step	4	790
3º step	1	000
4º step	2	790
5º step	10	320

Tabela 7 - tempo x potencia para digestão da amostra no micro-ondas.



Foto 11 – Micro Ondas / digestor.

Após a digestão da amostra, a mesma foi encaminhada ao equipamento de absorção atômica, conforme se vê na Figura 12. O frasco contendo a amostra foi aberto e inseriu-se o capilar no frasco e o equipamento analisou a amostra. Após esta etapa, o display do equipamento mostra a possível concentração de metais presente na amostra.



Foto 12 - Equipamento de Espectrometria de Absorção Atômica

Esse equipamento, Espectômetro de Absorção Atômica analisa e apresenta os resultados analíticos que constam nos Boletins De Análises 032.278 e 029.028 de acordo com o métodos 311C, 311D e 3114C

3.2. MENÇÃO ÀS TABELAS

As tabelas com os resultados obtidos nas análises estão no anexo sob os títulos “Boletim de Análises”.

a) Boletim de Análise 032.278 de 02/12/2010 2010 que apresenta o resultado da análise da amostra de água exposta à resina de poliuretano MC Injekt 2300 NV, não curada – Amostra 1 / Teste 1 que está no Anexo 7.7.

b) Boletim de Análise 029.028 de 25/11/2010 que apresenta o resultado da análise da amostra de água exposta à resina de poliuretano MC Injekt 2300 NV, após curada por período de 48 hs – Amostra 2 / Teste 2 que está no Anexo 7.8

Com os procedimentos feitos para preparo das amostras e análise das mesmas conforme procedimentos do Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater 21th Edição 2005 e EPA – Environmental Protection Agency descrito nesse capítulo, apresentamos no capítulo seguinte os resultados obtidos nesse trabalho.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se uma compilação dos resultados e faz-se uma análise dos mesmos a partir das amostras 1 e 2 preparadas conforme descrito no item 3.1.1., onde pudemos constatar o que segue:

A amostra número 1 foi preparada na a proporção de 1% de resina sobre o volume de água, e analisada após 48 h de contato da água com a resina, onde a resina de poliuretano MC Injekt 2300 NV foi homogeneizada e sem estar curada foi colocada imediatamente na água.

A amostra 2 foi preparada na a proporção de 1% de resina sobre o volume de água, e analisada após 48 h de contato com a água, onde a resina de poliuretano MC Injekt 2300 NV foi homogeneizada e curada por 48 h antes de ser colocada na água.

Uma terceira amostra de referência da mesma água foi mantida para análise comparativa sem que essa fosse colocada em contato com a resina de poliuretano.

Pelos resultados obtidos nos ensaios pudemos constatar que:

a) A água testada na amostra 1, não teve os parâmetros de Cor Aparente, Odor, e Turbidez aprovados pelos padrões da Portaria 518 de 25/03/2004, como verifica-se no Boletim de Análises N0. 032.278 de 02/12/10 página 3/3, onde estabelecem-se os seguintes parâmetros.

LQ – Limite de Qualificação que é o resultado mínimo que os equipamentos utilizados para as análises conseguem medir.

VMP – Valores Máximos Permitidos pelas Normas

Quanto à cor pudemos constatar que a água adquiriu cor ligeiramente âmbar.

Quanto ao odor pudemos constatar que a água adquiriu um leve odor característico da resina de poliuretano em estudo.

Quanto à turbidez pudemos verificar que a água ficou com materiais sobrenadantes que são resíduos da resina curada e em suspensão.

Na tabela 8 abaixo fazemos a apresentação dos resultados de não conformidades obtidos para a amostra 1 analisada. Todos os resultados obtidos no ensaio dessa amostra poderão ser vistos no documento Boletim de Análises No.032.278 de 02/12/2010 no anexo 7.7.

Tabela 8: Resumo dos resultados obtidos de não potabilidade – Amostra 1

Parâmetro Analisados	Unidade	LQ	Resultados Obtidos	VMP	Método de Análise
Cor Aparente	mg/l	5	89	15	2120C 1)
Odor	-----	Não Objetável	Objetável Fora de Limite	Não Objetável	2170B (1)
Turbidez	UT	0,20	11,86	5	2130B(1)

Abaixo estão as fotos de registro dos resultados visíveis e observados na Amostra 1 sob os números Figura 13, Figura 14 e Figura 15.



Figura 13 – Verificação de resina endurecida em suspensão na amostra de água após 48 h de imersão.



Figura 14 – Comparação da amostra 1 da água exposta à resina por 48 hs e filtrada para eliminação de material sobrenadante (direita) com a amostra de água referência (esquerda) – sem contato com a resina, com alteração de cor.

b) A água testada na amostra 2, teve todos os parâmetros aprovados pela Portaria 518 de 25/03/2004, os quais estão no documento Boletim de Análises No. 029.028 de 25/11/2010 no anexo 7.8.

Também não se observou matérias sobrenadantes e em suspensão, ou alteração de cor e odor nessa amostra, conforme Figura 15 a seguir.



Figura 15 - Comparação da amostra 2 de água exposta à resina curada por 48 hs com a amostra de água referência – sem contato com a resina.

Pelos métodos que foram adotados para as análises das amostras de água neste trabalhos de pesquisa, e pelos resultados encontrados, verifica-se que a resina de poliuretano não curada da amostra 1 em contato com a água na dosagem de 1% sobre o volume de água alterou a potabilidade da água, cabendo ressaltar que o procedimento de análise adotado está em desacordo com as Normas de referência; pode-se verificar também que a resina de poliuretano curada em contato com a água na dosagem de 1% sobre o volume de água conforme a amostra 2 não alterou a potabilidade da água, cabendo ressaltar que esse procedimento atende às Normas de referência embora esteja com dosagem de análise superior às recomendações.

Pode-se assim verificar que se forem observados os procedimentos de análise de potabilidade da água recomendados pelas Normas Alemãs UAB e NBR 12.170/1992, onde a potabilidade da água exposta à resina de poliuretano deverá ser analisada após a resina estar curada, a resina de poliuretano não alterou a potabilidade da água, sendo que dessa forma a resina estudada atende às Normas Nacionais e Internacionais de Potabilidade mesmo com a dosagem alta de 1% sobre o peso da água, acima das recomendadas pelas normas referidas que são correspondentes à 0,001% do volume de água.

Dessa maneira no capítulo seguinte faremos considerações finais e sugestões para continuidade do trabalho e pesquisas futuras.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho procurou avaliar em laboratório o contato de um percentual alto de resina de poliuretano em contato com água potável, o que pode se reproduzir na prática em reservatórios de pequenas dimensões. A partir dos resultados obtidos e demonstrados no capítulo anterior, seguem as considerações finais e sugestões para a continuidade deste trabalho.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se que os resultados foram obtidos a partir de estudos de laboratório, onde a dosagem utilizada para a análise da potabilidade da água foi de 1% de resina de poliuretano sobre o volume de água a qual representa uma dosagem 1000 vezes maior que as utilizadas para as análises que são determinadas pelas Normas Alemãs UAB e NBR 12.170/1992, podemos dizer que foram atingidos os objetivos propostos no início desta pesquisa; temos no entanto a observar e considerar o que segue:

1. Quanto à potabilidade da água pelos procedimentos adotados nesta pesquisa os quais foram diferentes dos determinados pelas Normas Alemãs UAB e NBR 12.170/1992;

a. A resina de poliuretano MC Injekt 2300 NV enquanto no seu estado líquido e não curada, e colocada em contato com a água na proporção de 1%, alterou o padrão de potabilidade da água nos seus aspectos visíveis e padrões físicos de cor, odor e turbidez, não alterando os seus outros parâmetros físicos e químicos, segundo o que determina a Portaria 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde.

b. A resina de poliuretano MC Injekt 2300 NV após cura inicial de 48 h e no seu estado endurecido, quando colocada em contato com a água na proporção de 1% não alterou o padrão de potabilidade da água, de acordo como os parâmetros da Portaria 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde.

2. Quanto à influência dos procedimentos de preparo, mistura e colocação da resina de poliuretano em contato com a água de acordo com os procedimentos adotados nesta pesquisa os quais foram diferentes dos procedimentos determinados pelas Normas Alemãs UAB e NBR 12.170/1992.

a. A resina de poliuretano MC Injekt 2300 NV enquanto no seu estado líquido e não curada, ao ser colocada em contato com a água na proporção de 1% alterou a potabilidade da água nos seus padrões de cor, odor e turbidez, segundo os parâmetros da Portaria 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde.

b. A resina de poliuretano MC Injekt 2300 NV no seu estado endurecido, ao ser colocada em contato com a água na proporção de 1% não alterou o padrão potabilidade da água de acordo com os parâmetros da Portaria 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde.

De acordo com a ficha técnica da resina MC Injekt 2300 NV, o seu tempo de manuseio para que ela possa ser injetada é de no máximo 100 minutos a uma temperatura próxima de vinte graus centígrados; conforme a sua ficha de segurança, no seu estado líquido a resina in-natura oferece riscos ao homem e ao ambiente, porém não irrita a pele, é pouco miscível à água, e em caso de utilização correta do produto não oferece riscos de toxidade à saúde.

A resina de poliuretano MC Injekt 2300 NV possui um Certificado de Declaração de Conformidade do Institut für Massivbau und Baustofftechnologie da Universidade Karlsruhe da Alemanha, de 23/10/2006 e que está em

conformidade com a Norma Européia DIN EN 1504-5 para uso dessa resina em contato permanente com água potável.

Dessa maneira e com o acima exposto, pode-se dizer que os trabalhos de injeção de resina de poliuretano para selamento de trincas e fissuras em estruturas de concreto armado de reservatórios, com os mesmos em carga podem ser executados uma vez que a quantidade de resina que entra em contato com a água em relação ao volume total da água armazenada nos reservatórios não afetam ou alteram a potabilidade dessas águas.

Deve-se observar porém que para serviço de injeção executado que na prática reproduza esse caso em estudo onde a dosagem de resina que entra em contato com a água seja muito superior ao que habitualmente ocorre, recomenda-se fazer o descarte da água armazenada após a conclusão dos serviços, com a devida lavagem e higienização do reservatório e a limpeza dos resíduos da resina que fiquem em suspensão na água para posterior enchimento e liberação para uso da água.

Dessa forma seguem algumas sugestões para trabalhos de pesquisas futuros.

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista o resultado obtido neste trabalho de pesquisa em laboratório, onde se pode verificar que o Sistema de Injeção de Resinas de Poliuretano MDI para selamento de trincas e fissuras em reservatórios de água potável em carga pode ser executado com os devidos cuidados de limpeza e higienização dos reservatórios, bem como que a resina de poliuretano curada e em contato permanente com a água não afeta a sua potabilidade, propõem-se que sejam desenvolvidos estudos e novos trabalhos relacionados ao presente para complementá-lo, como por exemplo;

a) Desenvolver um estudo de campo quando da execução de serviços de injeção de resinas de poliuretano em reservatórios de concreto em geral, sejam esses de pequena ou grande dimensão, para verificar e comprovar que na prática a potabilidade da água após o contato com a resina de poliuretano ainda não curada é de fato alterada ou não em virtude do volume de água armazenada e em relação à quantidade de resina utilizada, partindo-se do princípio que apenas uma pequena parte da resina de poliuretano utilizada na injeção de fato entrará em contato com a água do interior do reservatório, uma vez que o volume de resina excedente no processo de injeção após o preenchimento do interior das trincas e fissuras do concreto é que vaza para o interior do reservatório, entrando em contato direto com a água armazenada.

b) Pode-se ainda estudar outras resinas de poliuretano similares disponíveis no mercado para essa finalidade, como também as resinas de espuma expansivas de poliuretano hidroativas utilizadas para serviços de tamponamentos preliminares de vazamentos com grande volume e vazão de água, antes da utilização das resinas de gel de poliuretano hidroativadas.

c) Sugere-se também estudar o uso de outros sistemas de injeção que sejam compatíveis com o propósito de se executar selamento de trincas e fissuras em reservatórios de concreto para reserva de água potável com o mesmo em carga, e que garantam o selamento definitivo dessas trincas e fissuras de maneira a não comprometer a potabilidade da água armazenada, como sugere a Tabela 3 na pagina 29 - (TAKAGI e JÚNIOR, 2007).

d) Sugere-se ainda que sejam estudados sistemas de injeção para selamento de fissuras e trincas em situações de presença de água ou de apenas presença de umidades com emprego de resinas de gel acrílico e microcimento, sendo a primeira para fissuras e trincas de comportamento dinâmico e a segunda para fissuras e trincas de comportamento estático.

e) Adequação da Norma Brasileira 12.170/1992 no seu item 4.1.3.1 onde sugere-se que ao invés de considerar o corpo-de-prova de 12 cm x 8 cm do item 4.1.3, deverá se fazer a aplicação de uma fina camada de resina de poliuretano com 1/100 da área deste corpo-de-prova, baseada nas normas alemãs UAB, em anexo, que propõe considerar a área de 1/100 da área de modo a simular a área de influência do contato de uma fissura com a água do reservatório para análise da potabilidade de revestimentos orgânicos em contato com água potável para que se tenham parâmetros e procedimentos que possam ser tomados como únicos para as análises e resultados de ensaios de potabilidade de água para consumo humano.

A seguir relação das referências bibliográficas utilizadas para consultas e orientação desse trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12170:2009– Potabilidade da Água Aplicável em Sistema de Impermeabilização**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2003 – Normas para Concreto**. Rio de Janeiro, 2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575:2003 - Seleção e Projeto dos Sistemas de Impermeabilização**. Rio de Janeiro, 2003.

CAMARINI, G. **Durabilidade das Estruturas de Concreto**. Campinas: FEC – UNICAMP, 2008.

CONSUMO E PERDA DE ÁGUA NA CIDADE DE SÃO PAULO, **Campanha “De Olho nos Mananciais pela Preservação das Fontes de Água de São Paulo, versão 2007**. São Paulo: Fonte Indicadores e dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (ano referência 2004) e SABESP (ano referência 2007)

DIOGO, J. **Reabilitação de Reservatório de Água**. Portugal: SOTECNICOL ENGENHARIA, 2008.

Diário do Nordeste – CE Edição de 03/12/2007 – Caderno Cidade

EN 1504-05. **Sistema de Injeção para Concreto, 2005**

FIGUEIREDO, E. J. P. **Terapia das Construções de Concreto – Metodologia de Avaliação do Sistema Epóxi destinados á injeção em fissuras passivas em estruturas de concreto**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989.

GIUGLIANI, E. **Reservatório de Concreto Armado**. Porto Alegre: FENGPUC, 2010

GUIMARÃES, A. E. P **Indicações para Projeto e Execução de Reservatórios de Concreto Armado**. São Carlos - USP, 1995.

MANUAL E FICHAS TÉCNICAS. **Resina de Poliuretano para Injeção MC Injekt 2300 NV**. Vargem Grande Paulista: MC Bauchemie, 2010

MOURÃO, D. K. **Injeção de Resinas em Estruturas de Concreto Armado**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2010

NORMA ALEMÃ UAB

OLIVEIRA COSTA, F. **Projetos Estruturais de Reservatórios Paralelepípedicos de Concreto Armado Moldados In Loco**. São Carlos: USP, 1998.

PINTO, J. *et al.*, **Sistemas de Injeção de Resinas Elastoméricas de Poliuretano e Hidroestruturadas de Gel Acrílico Polimérico para Recuperação da Estanqueidade em Obra Metroviárias**. São Paulo: Revista Recuperação de Estruturas, 2008.

PORTARIA N.º 518. **Potabilidade da Água para Consumo Humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 25 de Março de 2004

SCHENKEL, M. **Manifestações Patológicas em Reservatórios de Concreto Armado**. Universidade Caxias do Sul / RS, 2000.

STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 21th. Edition. AWWA/APHA/WEF.

SOUZA, JULIANO MORETTI. **Sistemas de Injeção Flexível para fins de impermeabilização. Estudo de caso Metrô Pinheiros de São Paulo**. Cuiabá: Universidade Federal do Mato Grosso, 2010.

TAKAGI, E. M. & ALMEIDA JR, W. **Utilização de Tecnologia de Injeção para o Aumento da Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado**. São Paulo: MC Bauchemie Brasil, emilio.takagi@mc-bauchemie.com.br & waldomiro.almeida@mc-bauchemie.com.br, 2008.

TAKAGI, E. M. **Injeções Flexíveis para Selamento Definitivo de Infiltrações em Tuneis e Estruturas Enterradas.** São Paulo: MC Bauchemie Brasil, emilio.takagi@mc-bauchemie.com.br, 2007.

TEST CERTIFICATE MC Injekt 2300 NV, RUHR REGION HYGIENE INSTITUTE Institute for Environmental Hygiene and Environmental Medicine, 2006

.

7. ANEXOS

- 7.1. Ficha Técnica da Resina de Injeção MC DUR 2300 NV
- 7.2. Ficha de Segurança da Resina de Injeção MC DUR 2300 NV
- 7.3. Tabelas de Parâmetros de Potabilidade da Água da PORTARIA 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde.
- 7.4. Declaração de Conformidade MC Injekt 2300 NV segundo a Norma EN 1504-5, para uso em concreto.
- 7.5. Declaração de Conformidade da resina MC Injekt 2300 NV segundo a Certificação Europeia da Universidade Karlsruhe – Alemanha, 2006.
- 7.6. Lista de Ferramentas necessárias para execução de serviços com injeção de resinas de poliuretano MDI em reservatórios de concreto armado.
- 7.7. Boletim de Análises no. 032.278 de 02/12/2010 – Amostra 1.
- 7.8. Boletim de Análises no. 029.028 de 25/11/2010 – Amostra 2.
- 7.9. Test Certificate MC Injekt 2300 NV – Ruhr Region Hygiene Institute