

INJEÇÕES FLEXÍVEIS PARA SELAMENTO DEFINITIVO DE INFILTRAÇÕES EM TÚNEIS E ESTRUTURAS ENTERRADAS

FLEXIBLE INJECTIONS FOR DEFINITIVE SEALING OF INFILTRATIONS IN TUNNELS AND UNDERGROUND STRUCTURES

PINTO, Jaques; MINORU TAKAGI, Emilio

RESUMO

A garantia da estanqueidade das estruturas de concreto em túneis e estruturas enterradas é um autêntico desafio que se inicia na fase de concepção e elaboração dos projetos e das especificações técnicas, passando pelas diversas etapas construtivas e chegando até as fases de operação e manutenção.

Serão apresentadas no presente trabalho as técnicas, produtos e equipamentos para a realização de serviços de injeções flexíveis, compostas por resinas acrílicas e resinas de poliuretano.

Palavras-chave: injeção; poliuretano; acrílico; infiltração e selamento

ABSTRACT

The guarantee of the waterproofing in tunnels and underground structures is an authentic challenge that initiates in the phase of conception and elaboration of the projects and the specifications techniques, passing for the diverser constructive stages and arriving until the phases of operation and maintenance. The techniques, products and equipment for the accomplishment of services of flexible injections, composed for acrylic resins and polyurethane resins.

Keys-words: injection; polyurethane; acrylic; infiltration and sealing

1 INTRODUÇÃO

O tratamento de infiltrações d'água das estruturas de túneis e enterradas evoluiu muito até atingir o estágio atual onde predomina o uso dos sistemas de injeções flexíveis de resinas de poliuretano e de resinas acrílicas.

As chamadas injeções químicas de selamento fixaram novos padrões de desempenho e confiabilidade, estancando as infiltrações, prevenindo o ingresso de agentes agressivos e protegendo as estruturas de concreto, garantindo assim os padrões de durabilidade.

2 SISTEMA DE INJEÇÃO DE RESINAS DE POLIURETANO

2.1 Gel de Poliuretano

O primeiro sistema de injeção flexível (gel de poliuretano) de resinas de poliuretano à base de Metil-Di-Isocianatos (MDI) e polioliol, foi introduzido nos anos 70. Desde então, as resinas de poliuretano MDI tem sido sinônimo da mais moderna tecnologia de injeção, comprovadas pelas aplicações em várias obras importantes no Brasil e ao redor do mundo.

As resinas de poliuretano MDI permanecem impenetráveis, sendo que a durabilidade das resinas de poliuretano tem sido testada em condições únicas. Mesmo depois de 40 anos da aplicação em um ambiente altamente alcalino, o produto mantém sua elasticidade. Devido a sua alta resistência a produtos químicos, é utilizado em várias situações para impedir que substâncias agressivas infiltrem para dentro da estrutura ou que efluentes armazenados atinjam o lençol freático. Esta resistência química vai além da oferecida pelos atuais selantes. A seleção das matérias-primas específicas da resina de poliuretano MDI, possibilita a sua utilização no tratamento de estruturas em contato direto com a água potável.

A base da segurança e confiabilidade do selamento com resinas de poliuretano MDI é a formação de uma estrutura uniforme e regular; com uma excelente aderência em fissuras secas ou úmidas. A capacidade de contração e dilatação do material injetado é alcançada pela mudança na forma e no volume dos poros cheios de gás. A espessura das paredes dos poros impede a penetração de água sob pressão e que a estrutura do material rompa devido à tensão interna na fissura.

O período de trabalhabilidade prolongado e a baixíssima viscosidade da resina de poliuretano MDI é ideal para o aumento da injetabilidade nas fissuras mais finas (menores que 0,1 mm de abertura), garantindo uma penetração capilar eficaz.

As resinas de poliuretano para injeção apresentam viscosidades entre 100 mPa.s a 250 mPa.s. A injeção de resinas de poliuretano deve ser executada utilizando-se bombas de injeção de alta pressão e através de injetores metálicos de perfuração ou de adesão.

2.2 Espuma de Poliuretano Hidroativado

Para condições de serviços com fluxo de água ou água sob pressão hidrostática, será necessária uma pré-injeção de tamponamento com resina hidroativada expansiva (espuma de poliuretano) à base de metil-diisocianato e catalisadores à base de aminas e catalisadores metálicos, seguida da injeção da resina de poliuretano MDI (gel de poliuretano). A espuma de poliuretano é uma resina bi-componente (base e catalisador) que, quando misturados, possui um pot life de 6 a 8 horas. Reage entre 40 a 60 segundos em contato com a água, provocando uma expansão entre 10 a 40 vezes o seu volume original, formando uma estrutura de poros abertos interligados e estancando em segundos o fluxo de água. A espuma de poliuretano deve ser considerada apenas como tamponamento provisório.

TABELA 1 – Características das Resinas de Poliuretano

Característica	Gel de Poliuretano	Espuma de Poliuretano	Observ.
base	poliuretano	poliuretano	
cor	marrom claro	marrom claro	
densidade da mistura	1,05 g/cm ³	1,13 g/cm ³	
composição	bi-componente	bi-componente	
elongamento	120 %	-	
dureza shore	50	-	
viscosidade	100 mPas	250 mPas	
tempo de trabalhabilidade	1h 40min.	6h a 8h	sem contato com água
tempo de reação	-	30 a 60 s	após contato com água
expansão (não confinado)	10% a 20%	até 40 vezes	em relação ao volume inicial
menor temperatura de aplicação	+ 3° C	+ 3° C	
embalagem	10 e 30 L	10 L	

2.3 Bomba de Injeção e Modelos de Bicos Injetores

2.3.1 Bomba de Injeção de Poliuretano

Para um serviço de injeção eficiente recomenda-se a utilização de bomba de injeção de alta pressão (até 390 bar), monocomponente, com manômetro acoplado, mangueira de 7,5 m, pistola de injeção e peso de cerca de 25 kg, compatível com a bomba de injeção modelo MC-I 500 da MC-Bauchemie. Deve ser conectada à bomba uma fonte de ar comprimido (compressor) de 200 litros por minuto e pressão máxima de 10 bar. A cada 1 bar de pressão marcada no manômetro corresponde a uma pressão de injeção teórica de 39 bar.

2.3.2 Bicos Injetores

Existem dois tipos de bicos injetores apropriados para as injeções tanto de resinas de poliuretano como para as de géis de acrílico.

O mais comumente utilizado é o bico injetor de perfuração metálico que serve para o tratamento de lugares secos ou úmidos (fissuras, juntas de concretagem, etc). Estes bicos são instalados nas estruturas de concreto em furos de 14 mm de diâmetro, em ângulos de 45° e espaçados cerca de 20 cm. São fabricados em liga de alumínio, têm dimensões de 115 mm x 13 mm e suportam uma pressão de 200 bar.

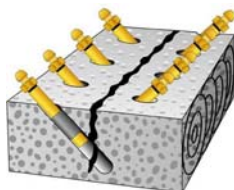


FIGURA 1 – Bicos Injetores de Perfuração Metálicos

Os bicos injetores de aderência são recomendados para injeção de preenchimento de fissuras/juntas em lugares secos. Os mesmos são colados com adesivo epóxico diretamente sobre a fissura ou junta de concretagem. São fabricados em aço e suportam uma pressão de 100 bar.

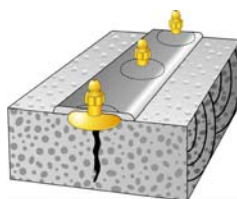


FIGURA 2 – Bicos Injetores de Aderência

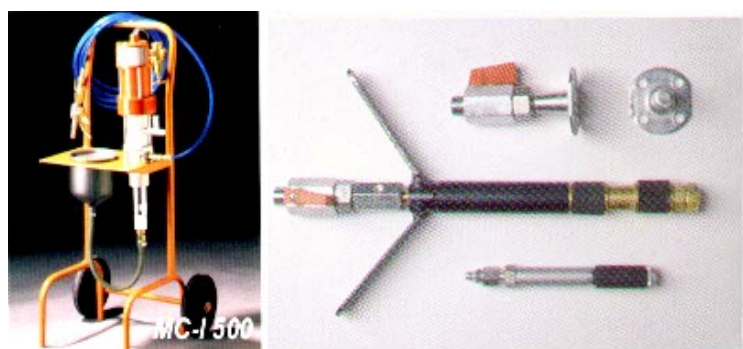


FIGURA 3 - Bomba de Injeção de Resinas de Poliuretano – Modelo MC-I 500 e Modelos de Bicos Injetores de Perfuração e de Aderência

3 SISTEMA DE INJEÇÃO DE RESINAS DE ACRÍLATO

Os produtos em forma de gel são fabricados com base em diferentes materiais como: acrilatos, dispersão de sílicatos, poliuretano ou até mesmo epóxi. O termo gel sugere um material em suspensão coloidal disperso em água, que se polimeriza formando uma gelatina. Dentre os materiais na forma de gel utilizados para impermeabilização os géis à base de acrilato tem se mostrado como sendo os mais eficientes.

Os géis de acrílico são produtos formados por 04 componentes ou 5 componentes na versão tixotrópica: metacrilato, estabilizador e catalisador, misturados com água e iniciador, que reagem entre si, polimerizando em segundos.

São compostos por 80% de água ou polímero para 20% de químicos, e se caracterizam como materiais altamente elásticos (200% de alongamento), podendo sofrer grandes deformações sem sofrer qualquer dano. Sendo materiais altamente fluidos, apresentando viscosidade comparável à da água (entre 4 e 20 mPa.s), pode ser injetado em fissuras menores que 0,05 mm, ou mesmo através de solos siltosos e arenosos.

As aplicações do gel de acrílico são executadas através de técnicas de cortinas de injeção, formando uma barreira pelo lado externo da estrutura com o próprio material ou com o material incorporando ao solo. Para a injeção de géis de acrílico recomenda-se a utilização da bomba de injeção bi-componente modelo MC-I 200. Os bicos injetores são os mesmos utilizados para as injeções de resinas de poliuretano.



FIGURA 4 - Bomba de Injeção de Géis de Acrílico - Modelo MC- I 200

TABELA 2 – Características dos Géis de Acrílico

Característica	Gel de Acrílico	Gel de Acrílico Tixotrópico
base	acrílica	acrílica
cor	azul	azul
densidade	1,1 g/cm ³	1,1 g/cm ³
composição	tetracomponente	pentacomponente
viscosidade	5 mPas	30 mPas
tempo de reação	9 a 73 s	18 s a 7 min
temperatura mínima para aplicação	+ 1° C	+ 5°C
embalagem	30,5 kg	55,5 kg

4. TRATAMENTOS DE INFILTRAÇÕES COM INJEÇÕES FLEXÍVEIS

4.1 Introdução

Ao longo das últimas décadas, as equipes técnicas de construção e de manutenção são incomodadas com a ocorrência de infiltrações em trincas, juntas de dilatação e segregações.

O problema que estava se tornando crônico se agravava mais ainda quando não se apresentavam soluções efetivas.

Conheciam-se, até então, somente a ineficiente injeção de calda de cimento e a de resina de epóxi, que são produtos injetáveis que se tornam rígidos, podendo impedir a livre movimentação da estrutura, causando um problema muito maior. Cabe também colocar que resina epóxica injetável em contato com água se degrada completamente perdendo parte expressiva de sua aderência e resistência. Portanto, estas alternativas citadas há muito já estão descartadas.

Na falta de soluções para estancamento e para poder conviver com as infiltrações, a única alternativa que restava era drenar e coletar a água infiltrada através de sistemas mirabolantes de calhas e tubos. Nasce aí a famigerada “engenharia de calhas”, que se disseminou como uma praga por grande parte das barragens brasileiras.

A boa engenharia recomenda que as infiltrações através das estruturas de concreto devam ser estancadas e não canalizadas, por razões óbvias.

Felizmente, o problema das infiltrações em juntas de dilatação, que até então parecia insolúvel, terminou, juntamente com as respectivas improvisações. O assunto atualmente é tratado dentro das melhores soluções de engenharia. A conscientização sobre a garantia da sanidade e da durabilidade das estruturas de concreto já contaminou grande parcela de projetistas, consultores, engenheiros, construtores e proprietários, que já adotam as soluções com injeções flexíveis. Por sua vez, a indústria química se debruçou sobre esse problema e após muitas pesquisas oferece os melhores produtos injetáveis compatíveis com água e que garantem um perfeito estancamento das infiltrações.

As **resinas de poliuretano** (espuma de poliuretano hidroativado e gel de poliuretano) e as de acrílico (**gél acrílico**) se constituem no que há de mais moderno e eficiente no mundo em tratamento de infiltrações.

4.2 Requisitos Gerais / Preparação

Previamente à operação de injeção devem ser levadas em consideração as condições do substrato e as condições de acesso ao local do serviço. As superfícies devem estar livre de sujeiras, óleos, gorduras e outros contaminantes. Os furos devem ser limpos com injeção prévia de água e jato de ar comprimido e os bicos instalados.

4.3 Operação de Injeção

A técnica de tratamento de infiltrações nestes locais consiste em tamponar com injeções de produtos flexíveis os caminhos preferenciais (vazios) da água que são ocasionados, principalmente devido à problemas com o concreto. A injeção de resinas de poliuretano e de acrílico proporciona o completo preenchimento dos vazios sejam eles em trincas ou juntas, garantindo uma perfeita vedação das infiltrações.

A escolha dos produtos de injeção deve levar em consideração os tipos de estrutura; o volume de serviços; as condições de trabalho, etc, de modo a se empregar a melhor alternativa técnico-econômica.

Em locais com fluxo de água ou água sob pressão, será necessário um selamento temporário com uma pré-injeção com espuma de poliuretano hidroativado. Esta operação pode ser executada através dos mesmos bicos injetores por onde será em seguida executada a injeção de selamento definitivo de gel de poliuretano.

Também se obtém excelentes resultados em serviços de estancamento de água em juntas de dilatação, onde existe a instalação de veda-juntas de PVC tipo fugenband, com a utilização da injeção de gel de acrílico tixotrópico.

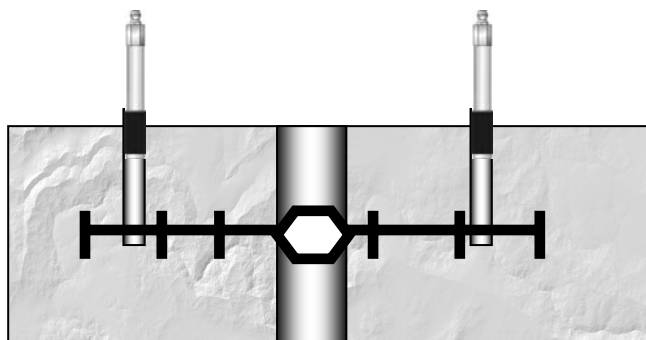


FIGURA 5 - Vista em Corte de Junta de Dilatação entre Dois Blocos de Concreto, Vendo-se os Furos Interceptando as Abas do Veda-Juntas e os Bicos Injetores de Perfuração Instalados.

5 UNIDADES DE VISCOSIDADE

O grau de injetabilidade de um produto está associado diretamente ao valor da viscosidade do mesmo, o que garante um completo preenchimento dos vazios das estruturas de concreto. Por julgar-se muito importante essa propriedade dos produtos injetáveis, as informações que serão apresentadas irão ajudar a compreender-se melhor e a escrever corretamente as unidades de medida de viscosidade pelo Sistema Internacional de Unidades (SI/2003) elaboradas pelo “Bureau International des Poids et Mesures”, adotadas no Brasil em 1962 e ratificado pela Resolução nº. 12 de 1988 do CONMETRO, de uso obrigatório em todo o Território Nacional.

A unidade para a viscosidade dinâmica, viscosidade absoluta ou simplesmente viscosidade, definida no Sistema Internacional, é o Pascal x segundo, cujo símbolo é expresso como [Pa.s], que ainda não possui nenhum nome especial, sendo que tem existido movimentos para estabelecer o Poiseuille [Pl] como um nome para o Pa.s sem sucesso internacional. Devemos tomar cuidado para não confundirmos o Poiseuille com o Poise [P], que é uma unidade criada em homenagem ao físico francês Jean Louis Marie Poiseuille (1799-1869), mais comumente utilizada pelos cientistas britânicos e americanos, particularmente nas normas ASTM, que optam por utilizar a versão do sistema CGS (centímetro-grama-segundo) criado em 1874. Portanto, as duas unidades de viscosidade dinâmica [Pa.s] = [Newton/metro² x segundo] e [Poise] = [dina/centímetro² x segundo] diferem apenas no sistema de unidades adotado.

$$1 \text{ Pa.s} = 1 \text{ pascal segundo} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times \text{s} = 1 \frac{(10^5 \times \text{dina})}{(100 \text{ cm})^2} \times \text{s} = 10 \frac{\text{dina} \times \text{s}}{\text{cm}^2} = 10 \text{ Poise}$$

$$1 \text{ mPa.s} = 1 \text{ milipascal segundo} = \frac{1}{1000} (10 \text{ Poise}) = \frac{1}{100} \text{ Poise} = 1 \text{ centiPoise} = 1 \text{ cP}$$

$$1 \text{ Pl} = 1 \text{ Poiseuille} = 1 \text{ Pa.s} = 10 \text{ Poise}$$

A conversão das unidades de viscosidade do SI para o CGS resulta que um Pascal x segundo é igual a dez Poise, de modo que as unidades milliPascal.segundo [mPa.s] e centiPoise [cP], que são as mais utilizadas pelos fabricantes de materiais, sejam idênticas. Como o sistema de unidades adotado no Brasil é o sistema Internacional (SI), a unidade que devemos adotar para a viscosidade é o [Pa.s] ou [mPa.s], do mesmo modo que utilizamos as unidades Newton [N] para força e megaPascal [MPa] para resistências mecânicas, não deve fazer sentido utilizar unidades de viscosidade como o Poise [P] derivadas da unidade de força dina [dina] do sistema CGS.

A Tabela 3 abaixo mostra alguns valores de viscosidade dos produtos de injeção, comparados com os mais diversos materiais do nosso cotidiano.

TABELA 3 - Viscosidades de Materiais

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

6. REFERÊNCIAS DE OBRAS

Metrô de São Paulo – Brasil



Estação da Luz – São Paulo – Brasil



Túnel Sophia – Holanda



Metro – República Checa



Túnel ICE – Alemanha



Túnel Engelberg – Alemanha



Metrô de Budapeste – Hungria



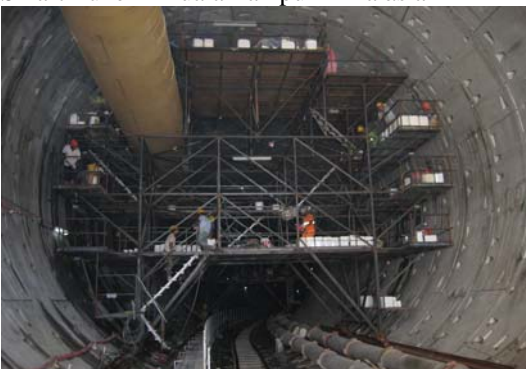
Metrô – Singapura



Estação de Trem – Zurique – Suíça



Smart Túnel – Kuala Lumpur – Malásia



Trem Rápido – Linha Sul – Holanda



Metrô de Caracas - Venezuela



7. CONCLUSÕES

A durabilidade das estruturas de concreto armado está diretamente associada à rigorosa e periódica manutenção preventiva e à qualidade dos serviços executados e materiais empregados, onde deve prevalecer como fator fundamental, a garantia da estanqueidade das mesmas. Entende-se que uma estrutura bem projetada, dimensionada, executada, controlada e com efetiva manutenção não tem limitação de idade quanto à sua vida útil.

Deve-se lembrar que os custos de manutenção periódica das estruturas de concreto são drasticamente inferiores quando comparados àqueles destinados a uma recuperação em caráter emergencial, na qual a estrutura apresenta situação de pré-colaço estrutural, devido à falta de ou à manutenção deficiente.

Em busca de uma durabilidade cada vez maior é que se encaixam as tecnologias de injeção em estruturas de concreto, que vêm obtendo excelentes resultados há mais de 30 anos, comprovados em aplicações em centenas de obras de concreto em túneis e estruturas enterradas. Destinadas principalmente ao selamento flexível de fissuras, ao estancamento de infiltrações através de fissuras, defeitos do concreto, juntas de concretagem e de dilatação e pontos de segregação, os sistemas de injeção com materiais de alta qualidade, alto desempenho e grande durabilidade se constituem na melhor solução para os problemas técnicos referidos.

Antes da escolha do produto para injeção, recomenda-se uma análise criteriosa de cada caso, a fim de se estabelecer o que deve ser feito. Para o caso de selamento flexível de fissuras com ou sem a presença de água, juntas de concretagem e de dilatação com infiltrações d'água e defeitos e pontos de segregação com presença de água deverão ser utilizados os sistemas de injeção composto por espuma e gel de poliuretano e o sistema de gel de acrílico, que são comprovadamente as melhores soluções para garantir a estanqueidade das estruturas de obras hidráulicas.

Deve-se saber fundamentalmente que todos os serviços de injeção requerem uma perfeita preparação e limpeza do substrato, uma instalação planejada e bem executada da linha dos bicos de injeção, uma cuidadosa operação de injeção dos produtos de acordo com o tipo de tratamento especificado. Também é importante uma equipe técnica bem treinada e familiarizada com os produtos, a fim de se obter bons resultados e principalmente solucionar os problemas técnicos das estruturas de concreto.

8. BIBLIOGRAFIA

Polyurethane Sealants: Tecnology and Aplications; Evans, Robert M. (1993); Technomic Publishing Company.
Injection-Mould design Fundamentals (1994); Glanvill, A.B. – Denton E.N.; The Machinery Publishing Co. Ltd.
Polímeros como materiais de engenharia (1996); Mano, Eloísa Biasotto; Editora Edgar Blücher Ltda.