

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM PATOLOGIA NAS OBRAS CIVIS**

MARCELO KIELING LAFIN

**IMPERMEABILIZAÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE
CONCRETO ARMADO COM CIMENTO CP-IV, UTILIZANDO SILICATO
BIOQUIMICAMENTE MODIFICADO**

São Leopoldo

2015

Marcelo Kieling Lafin

**IMPERMEABILIZAÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE
CONCRETO ARMADO COM CIMENTO CP-IV, UTILIZANDO SILICATO
BIOQUIMICAMENTE MODIFICADO**

Artigo apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Patologia nas Obras Civas, pelo Curso de Especialização em Patologia nas Obras Civas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Orientador: Prof. Ms. Emílio Minoru Takagi

São Leopoldo

2015

IMPERMEABILIZAÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE CONCRETO ARMADO COM CIMENTO CP-IV, UTILIZANDO SILICATO BIOQUIMICAMENTE MODIFICADO

Marcelo Kieling Lafin¹

Prof. Ms. Emílio Minoru Takagi²

Resumo: O presente artigo tem por objetivo avaliar a utilização e o desempenho de silicatos bioquimicamente modificados, como solução para sistema de impermeabilização em estação de tratamento de efluentes de concreto armado, com utilização de cimento CP-IV, em ambiente industrial, na planta da CMPC, na cidade de Guaíba/RS. O trabalho consistiu em amplo embasamento teórico, acompanhamento de campo durante a preparação do substrato, execução dos reparos das fissuras pré-existentes, aplicação do sistema de impermeabilização, hidratação, cura, e verificação durante o teste hidrostático. Apesar das características do cimento CP-IV, que possui adição de até 50% de cinza volante, e do elevado grau de fissuração da estrutura, os resultados mostraram a confiabilidade do sistema, como solução para impermeabilização e proteção de estruturas de concreto armado com estas características.

Palavras-chave: impermeabilização; silicato; cristalizante; concreto; cinza volante.

1 INTRODUÇÃO

A água está relacionada diretamente com várias ações deletérias nas estruturas de concreto armado, seja como elemento principal ou como veículo de outros agentes agressivos, que podem ocasionar diversas manifestações patológicas, comprometendo a estabilidade e durabilidade dessas estruturas.

Com o objetivo de minimizar o contato com a água, a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) estabelece em seus critérios sobre durabilidade diversas recomendações para que sejam evitados ao máximo arranjos em que haja presença ou acumulação de água, ou, quando ambas as situações não puderem ser evitadas, deve ser realizada a proteção dos elementos.

¹ Aluno do curso de especialização em Patologias nas Obras Civas, Administrador de Empresas (PUCRS, 1994) e Engenheiro Civil (ULBRA, 2012). E-mail: mkl2804@gmail.com.

² Orientador do artigo, Mestre em Ciências de Materiais Autocicatrizantes (ITA, 2014); Pós-graduado em Cristalização de Concreto pela Japan International Cooperation Agency (JICA, 1996); Engenheiro civil (EPUSP, 1994). E-mail: emilio.takagi@mc-bauchemie.com.br.

A NBR 9575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010), define que impermeabilização é o conjunto de técnicas construtivas (serviços), compostos por uma ou mais camadas, que tem por finalidade proteger as construções contra a ação deletéria de fluidos, de vapores e da umidade.

A utilização de sistemas de impermeabilização é, sem dúvida, uma importante técnica construtiva para garantir a proteção e vida útil de projeto esperada. Conforme Pichi (1986) traz na Apresentação, impermeabilização é tecnologia da construção e como tal deve ser tratada.

Dentre os diversos sistemas de impermeabilização, a utilização de produtos à base de silicatos, com ou sem cimentos, têm sido amplamente difundida no meio técnico, tendo em vista a facilidade de aplicação, alta produtividade, além da possibilidade de aplicação diretamente sobre a estrutura de concreto armado, sem a necessidade de camadas intermediárias de regularização, viabilizando custos e cronogramas cada vez mais desafiadores.

Os silicatos compostos com cimento, também conhecidos como cimentos cristalizantes, conforme Bauer *et al.*(2010, p. 1429), constituem um sistema a base de cimentos e aditivos químicos minerais, aplicados sob forma de pintura, diretamente sobre o concreto, argamassa ou alvenaria, previamente saturados com água. Através de uma penetração osmótica, pela porosidade do substrato, obtém-se uma reação química de seus componentes, com a água de saturação, formando, inicialmente, um gel que, depois, transforma-se em depósitos de cristais insolúveis que colmatam a porosidade do substrato.

Atualmente, são fabricados cimentos cristalizantes considerados de última geração, que têm uma penetração maior, com polímeros formadores de géis mais hidrófobos em relação aos tradicionais já fabricados há muitos anos. Alguns cimentos cristalizantes também podem ser utilizados no sistema de adição, durante o processo de dosagem do concreto.

Ainda conforme Bauer *et al.*(2010, p. 1432), a silicatização constitui-se na aplicação de silicatos de base aquosa, com características de formação de um gel, que se cristaliza na porosidade do substrato. Estes produtos são aplicados diretamente em estruturas de concreto e penetram por ação osmótica e por fricção mecânica.

O silicato de base aquosa, bioquimicamente modificado, objeto deste estudo, reage com íons de cálcio livres do concreto, para a formação de gel, imediatamente após sua hidratação, tendo em vista seu comportamento hidrófilo, e ainda aproveita, indefinidamente, a hidratação dos

compostos de cimento e a liberação de novos íons de cálcio, para voltar ao seu estado de gel rico em cálcio, criando um círculo virtuoso, garantindo assim a estanqueidade da estrutura.

Conforme Battagin *et al.*(2010, p. 780), os materiais pozolânicos são materiais silicosos ou sílico-aluminosos que, apesar de não terem por si só propriedades de um ligante hidráulico, na forma finamente dividida e em presença de água reagem com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente, para formar os mesmos compostos produzidos pela hidratação do cimento Portland, reduzindo assim a quantidade de cálcio livre.

O objetivo deste trabalho é analisar o desempenho do silicato bioquimicamente modificado como solução para sistema de impermeabilização e proteção de estrutura, aplicado em ETE – Estação de Tratamento de Efluentes, confeccionada em concreto armado, utilizando cimento tipo CP-IV, tendo em vista os elevados teores de adição de cinza volante (fly-ash) de 15% a 50% contidos neste tipo de cimento, e o grau de fissuração da estrutura.

Este trabalho é dividido em 5 capítulos, contendo os respectivos tópicos: Introdução, Fundamentação Teórica, Metodologia, Resultados e Considerações finais.

Na Introdução, realiza-se uma breve discussão sobre a ação da água nas estruturas de concreto armado, alguns tópicos bibliográficos correlacionados, e a contextualização do tema escolhido. No capítulo 2, a fundamentação teórica traz termos e embasamento da literatura corrente sobre o assunto. Já no capítulo 3, denominado Metodologia, há a descrição dos materiais e métodos utilizados no desenvolvimento das etapas de campo e quais recursos foram empregados para alcançar os objetivos. O capítulo 4, Resultados, destina-se à descrição e à discussão das ações, vistorias e testes realizados na ETE da CMPC, na cidade de Guaíba/RS. Para encerrar o trabalho, no capítulo 5, Considerações finais, realiza-se o debate dos resultados obtidos nos tópicos anteriores.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Degradação das estruturas de concreto armado

As estruturas de concreto, quando sujeitas às ações ambientais, podem apresentar inúmeras modificações em seu comportamento, gerando alterações consideráveis em sua monoliticidade. Essas degradações trazem efeitos negativos na resistência dos elementos e

estabilidade das estruturas, gerando altos custos de manutenção e, principalmente, riscos à segurança dos usuários.

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) estabelece, em seu capítulo 6, as exigências de durabilidade, vida útil e mecanismos de deterioração do concreto, entre os quais a lixiviação, que é o mecanismo responsável por dissolver e carrear os compostos hidratados da pasta de cimento, por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras, ocasionando a redução do pH do concreto, despassivando a armadura e gerando as condições para o início do processo de corrosão das mesmas. E para prevenir sua ocorrência, recomenda restringir a fissuração, e proteger as superfícies expostas com produtos específicos, como hidrófugos. Já o silicato bioquimicamente modificado densifica a estrutura, ajudado pela água, em função de seu comportamento hidrófilo, formando mais compostos C-S-H.

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) estabelece a classe de agressividade ambiental, conforme Quadro 1, a seguir:

Quadro 1 - Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a Industrial ^{a, b}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c} Respingos de maré	Elevado

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR6118 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014).

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) também estabelece, em seu capítulo 13, os limites para fissuração e proteção das armaduras quanto à durabilidade, conforme quadro 2, a seguir. Apesar da possibilidade de aberturas maiores, se as

fissuras comprometeram a funcionalidade da estrutura, devem ser adotados limites menores, como no caso de estanqueidade em reservatórios.

Quadro 2 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental

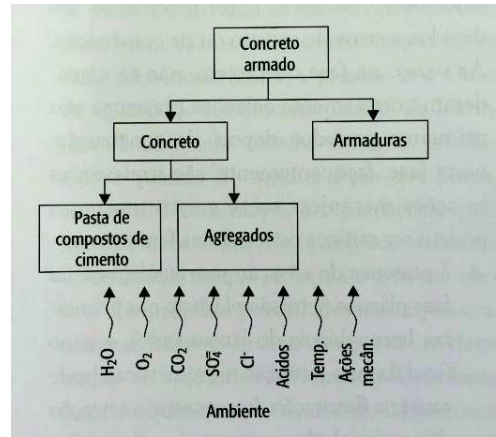
Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	–
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D ^a	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ^a	Combinação frequente

^a A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 50$ mm (Figura 3.1).
NOTAS
1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.
2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.
3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.

Fonte: NBR6118 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014).

Segundo Bertolini (2010, p. 129), a ação do ambiente nas estruturas de concreto armado pode determinar um dano progressivo da estrutura, tanto no próprio concreto como nas armaduras, conforme figura 1. Pode ser do tipo físico, como efeito de temperatura; químico, como substâncias presentes no ambiente; biológico ou mecânico, como efeito da abrasão ou de cargas aplicadas à estrutura.

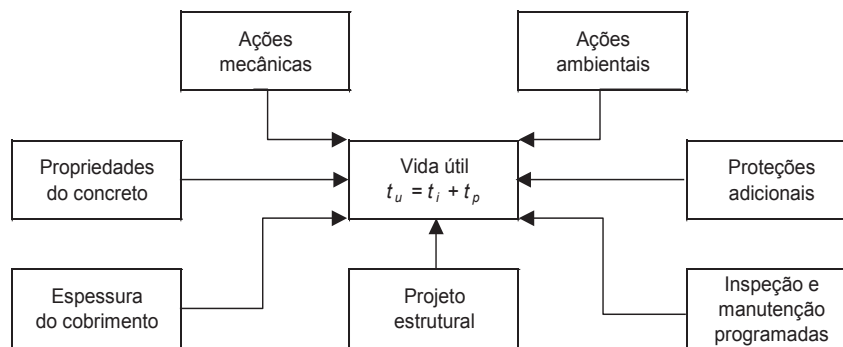
Figura 1 - Ação do ambiente sobre uma estrutura de concreto armado.



Fonte: Bertolini (2010, p. 129).

Bertolini (2010, p. 162) correlaciona diversos fatores que influenciam na vida útil das peças executadas em concreto armado, de acordo com a figura 2.

Figura 2 - Fatores que determinam a vida útil



Fonte: Bertolini (2010, p. 162).

Além disso, Bertolini (2010, p. 161-166) menciona que as estruturas de concreto armado devem ser projetadas levando-se em consideração as causas relacionadas à exposição ambiental de longo prazo, com o objetivo de reduzir os efeitos relevantes ao longo de sua vida útil. Com este intuito e visando a durabilidade dos elementos, os projetos devem levar em consideração a agressividade ambiental; a qualidade do concreto; a espessura do cobrimento; o controle da

fissuração; os detalhes contrutivos; o controle de qualidade no canteiro de obras e a manutenção programada.

2.2 Cimento Portland composto

Segundo Battagin *et al.*(2010, p. 770), a busca por escolhas corretas, sob os pontos de vista técnico, ecológico e econômico, orientou a migração gradativa na fabricação em larga escala do cimento Portland comum para o cimento Portland composto. As principais razões para utilização de adições são:

- Redução do consumo energético na fabricação do cimento;
- Propriedades específicas que melhoram a durabilidade;
- Aproveitamento de rejeitos industriais poluidores;
- Redução da velocidade de extração das jazidas de calcário;
- Diminuição da emissão de CO₂.

2.3 Pozolanas de cinza volante

Segundo Silva (2010, p. 802), pozolanas são todos os aluminossilicatos reativos naturais, predominantemente na forma vítrea, que se solubilizam em meio alcalino e reagem em solução com íons de Ca²⁺, levando à precipitação de silicatos de cálcio hidratados. O principal produto dessa reação é o silicato de cálcio hidratado, mas também podem ser formados aluminatos, e sílico-aluminatos, em função da composição química das pozolanas.

As pozolanas, isoladamente, não possuem capacidade aglomerante e necessitam de uma fonte de cálcio. Há porém, algumas pozolanas que possuem mais de 25% de cálcio em sua composição química. As pozolanas podem ser naturais, como cinzas vulcânicas, e a terra diatomácea, ou originadas de algum processo industrial, como a cinza volante, a sílica ativa, a cinza de casca de arroz e a argila calcinada.

As pozolanas utilizadas atualmente na produção de cimentos e concretos são, normalmente, subprodutos de algum processo industrial. A cinza volante, por exemplo, material

pozolânico mais utilizado na produção de cimentos, é um resíduo da queima de carvão nas centrais termoelétricas, cujas cinzas são coletadas por meio de precipitadores eletrostáticos.

Segundo Neville e Brooks (2013, p. 34), para avaliação da atividade pozolânica com cimento, avalia-se o índice de atividade pozolânica conforme a ASTM C 311-05, que é definido pela ASTM C 618-93 como a relação entre a resistência à compressão de uma mistura com um teor especificado de substituição de cimento por pozolana e a resistência de uma mistura sem substituição. A BS EN 450-1:2005 especifica um método similar para a cinza volante, também um índice de atividade pozolânica com cal (atividade total). A BS EN 196-5:2005 compara a quantidade de Ca(OH)_2 presente na fase líquida em contato com o cimento pozolânico hidratado com a quantidade de Ca(OH)_2 capaz de saturar um meio de mesma alcalinidade. Se a concentração de Ca(OH)_2 na solução for menor que a do meio saturado, o cimento satisfaz o teste de pozolanicidade.

Segundo Neville e Brooks (2013, p. 35), a classificação americana da cinza volante, dada pela ASTM C 618-05, é baseada no tipo de carvão que originou a cinza. A cinza mais comum derivada do carvão betuminoso é principalmente silicosa, e é classificada como Classe “F”. Carvão sub-betuminoso e lignita (linhito) resultam em cinza com alto teor de cal, classificada como Classe “C”.

A ASTM C618-12a classifica as cinzas em:

- Classe N: Natural ou cinza vulcânica;
- Classe F: Carvão betuminoso ou do antracito;
- Classe C: Carvão sub-betuminoso ou linhito (lignita), tipicamente com conteúdo de cálcio, sob forma de óxido de cálcio CaO , em quantidade superior a Classe F.

No Brasil, a NBR 12653 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), classifica as pozolanas em:

- Classe N: Pozolanas naturais e artificiais que obedecem aos requisitos desta Norma, como certos materiais vulcânicos de caráter petrográfico ácido, cherts silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas;

- Classe C: Cinzas volantes produzidas pela queima de carvão mineral em usinas termoelétricas, que obedecem aos requisitos desta Norma;
- Classe E: Quaisquer pozolanas, não contempladas nas classes N e C, que obedecem aos requisitos desta Norma.

No Quadro 3, a seguir, pode-se observar a evolução da normalização do Cimento Portland Pozolânico CP-VI no Brasil e os percentuais de adição.

Quadro 3 - Evolução da normalização de cimento Portland pozolânico (CP-IV) no Brasil

Ano	Quantidade de Adições de pozolana na produção*	Resistência mínima					
		Unidade	Classe	3 dias	7 dias	28 dias	90 dias
1974	10% a 40%	kgf/cm ²	250	70	150	250	320
	10% a 30%	kgf/cm ²	320	100	180	320	400
1986	15% a 40%	MPa	25	7	15	25	32
		MPa	32	10	18	32	40
1991	15% a 50%	MPa	25	8	15	25	32
		MPa	32	10	18	32	40

*Quantidade de adições em relação à massa total de cimento. O gesso, adicionado para regular a pega, não está considerado nos limites estabelecidos para o aporte de adições

Fonte: Battagin et al.(2010, p. 771).

Segundo a Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica³, as reservas brasileiras de carvão mineral são compostas pelo carvão dos tipos sub-betuminoso e linhito. As maiores jazidas situam-se nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. As menores, no Paraná e São Paulo. As reservas brasileiras ocupam o 10º lugar no ranking mundial, mas totalizam 7 bilhões de toneladas, correspondendo a menos de 1% das reservas totais. Do volume de reservas, o Rio Grande do Sul responde por 89,25%; Santa Catarina, 10,41%; Paraná, 0,32% e São Paulo, 0,02%. Somente a Jazida de Candiota (RS) possui 38% de todo o carvão nacional.

Conforme Sundstron (2012, p. 72-73), análises químicas das cinzas volantes, das usinas Tractebel, CMPC e Brasken, todas no Rio Grande do Sul, mostram teores de CaO da ordem de 4% e 6%. Embora sejam classificados como cinzas volantes tipo “C”, conforme ASTM C618-12a

³ Dados disponíveis em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par3_cap9.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2015.

(pela origem mineral do carvão), a quantidade de Óxido de Cálcio (CaO) estabelecido nas análises químicas das cinzas volantes está próxima do limite inferior.

Ainda segundo Sundstron (2012, p. 28) o estudo demonstra que há escassez comercial de cinzas volantes (ou leves), e a introdução da indústria cimenteira na utilização de chamadas “cinzas de fundo” (ou pesadas). Em termos de percentual de Óxido de Cálcio, as cinzas de fundo (pesadas) possuem maior quantidade de CaO do que as cinzas volantes (leves), o que beneficia o círculo virtuoso do silicato bioquimicamente modificado.

Como o carvão nacional é do tipo sub-betuminoso e linhito, pode-se concluir que resultam em cinza volante tipicamente com conteúdo de Cálcio, classificado como Classe “C”, segundo a ASTM C 618-05.

2.4 Impermeabilização e o silicato bioquimicamente modificado

Grande parte dos materiais de construção, em especial o concreto armado quando exposto à situação de umidade, sob todas as formas de ações, pode acabar desenvolvendo uma série de manifestações patológicas que degradam o material e diminuem, consideravelmente, sua vida útil, podendo gerar desconforto e instabilidade das estruturas. Tendo em vista todas as interfaces envolvidas na construção de uma estrutura de concreto armado e suas variantes, faz-se necessária a aplicação de materiais e sistemas de impermeabilização que contribuam, de forma decisiva, para a estanqueidade destas estruturas, garantindo assim a vida útil de projeto esperada.

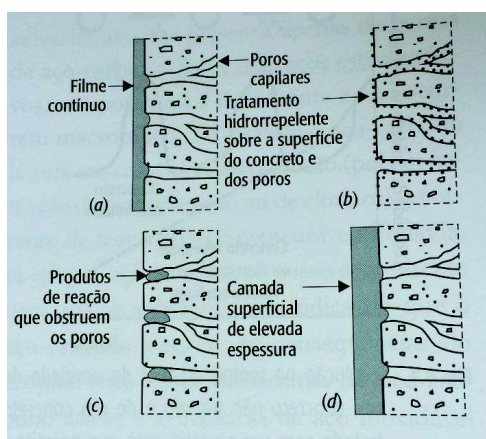
A NBR 9575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010, p. 6) define sistema de impermeabilização como o conjunto de produtos e serviços (insumos) dispostos em camadas ordenadas, destinado a conferir estanqueidade a uma construção.

Metha apud Souza, Ripper (2009 p. 35) desenvolve uma ideia pertinente sobre a questão dos concretos convencionais, onde relata que o futuro deste material está em resolver os problemas de impermeabilidade, resultando em maior durabilidade, já que as questões relacionadas à resistência podem ser resolvidas de forma trivial, e ainda afirma que a impermeabilidade do concreto deve ser a primeira linha de defesa contra qualquer processo físico-químico de deterioração.

Para Bertolini (2010, p. 189), a aplicação de um revestimento impermeável pode realmente impedir que a penetração de agentes agressivos cessem sobre a superfície do concreto.

Bertolini (2010, p. 190) também apresenta quatro tipos de tratamentos superficiais para as estruturas de concreto armado, relatando que alguns tipos de tratamento superficial levam ao fechamento dos poros, graças à ação de substâncias como silicatos ou fluossilicatos, que, penetrando no interior dos poros, reagem com os constituintes do concreto, em particular com o hidróxido de cálcio, conforme a figura 3(c), a seguir:

Figura 3 - Tipos de tratamento superficial



Fonte: Bertolini (2010, p. 190).

Cabe reafirmar que, conforme Bauer *et al.* (2010, p. 1432), a silicatização constitui-se na aplicação de silicatos de base aquosa, com características de formação de um gel, que se cristaliza na porosidade do substrato. Estes produtos são aplicados diretamente em estruturas de concreto e penetram por ação osmótica e por fricção mecânica.

O silicato de base aquosa, bioquimicamente modificado, objeto deste estudo, é um sistema de impermeabilização que reage com íons de cálcio livres do concreto, para a formação de gel, imediatamente após sua hidratação, e ainda aproveita, indefinidamente, a hidratação dos compostos de cimento e a liberação de novos íons de cálcio para voltar ao seu estado de gel rico em cálcio, criando um círculo virtuoso, garantindo assim a estanqueidade inicial. Entretanto, o concreto fissura, microfissuras futuras com aberturas em torno de 0,30 mm, são re-impermeabilizadas de duas maneiras:

1. Imediatamente, com o contato da água com o gel do silicato bioquimicamente modificado e o gel de sílica, presentes no substrato já tratado. Em contato com a

água, o gel do silicato e o gel de sílica se expandem, vedando a entrada adicional de água;

2. Com o passar do tempo, com a carbonatação do gel, o silicato bioquimicamente modificado preenche definitivamente a fissura, cicatrizando-a totalmente. O gel agora está “pobre em Cálcio” e vai reagir com novos íons de Cálcio da hidratação do cimento, buscando voltar ao seu equilíbrio original, isto é o que se chama de círculo virtuoso do sistema.

Desta maneira, com a carbonatação constante do Cálcio, e a densificação decorrente do preenchimento dos vazios, porém sem a lixiviação, já que todo Cálcio é absorvido pelo gel do silicato, o substrato tratado com o sistema irá manter indefinidamente um valor de pH alto (básico), mantendo as condições de passivação das armaduras e protegendo o concreto armado da corrosão. É importante, portanto, para a segunda etapa de vedação das fissuras futuras, que exista Cálcio disponível no concreto.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização

A ETE – Estação de Tratamento de Efluente, objeto de estudo, é a 1-B, localizada no complexo industrial da CMPC, na cidade de Guaíba/RS, conforme figura 4:

Figura 4 - ETE 1-B Complexo Industrial CMPC – Guaíba/RS



Fonte: Acervo do autor (2014).

3.2 Durante a etapa de concretagem

Foi solicitado ao contratante dos serviços de impermeabilização a carta traço de concreto que seria utilizada pela concreteira para a confirmação das especificações técnicas do concreto, conforme figura 5, a seguir:

Figura 5 - Carta traço do concreto

Obra: C.O.GUAIBA

Ref.: CARTA DE TRAÇO.

Segue composição do traço por metro cúbico, conforme solicitado:

6101701	FCK 40 MPA BR.0/1 ABAT 10+2 MK		
MATERIAL	TIPO MCC	QDE	UN
3005550	ADITIVO METACAULIM	27	kg
3010787	ADITIVO POLIFUNCIONAL	3,60	kg
3005514	ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	2,25	kg
3005733	AGUA	175	l
4254361	AREIA DE BRITA	267	kg
4254378	AREIA MÉDIA	412	kg
4254353	BRITA 0	307	kg
4254354	BRITA 1	717	kg
4254348	CIMENTO CPIV 32 RS	423	kg

OBS.:

- Os traços estão sujeitos a alteração, devendo manter as características técnicas previstas em contrato e não sua composição.

Fonte: Correspondência Engemix (26/02/2014).

Para as juntas de concretagens previstas, foi indicada a aplicação de um composto de selamento que se expande de forma controlada quando exposto à umidade, tornando-se um material de selamento para aplicações em juntas de construção. É um produto de selamento sofisticado à base de materiais hidrófilos. Não se expande prematuramente mesmo com o lançamento do concreto fresco, conforme figura 6:

Figura 6 - Perfil hidro-expansivo



Fonte: Acervo Penetron (2014).

3.3 Após a etapa de concretagem

Após a conclusão dos serviços de concretagem, foi realizado vistoria para medição e mapeamento das fissuras dos paramentos horizontais e verticais. Também foram identificadas as falhas de concretagem, furos dos travamentos de formas e quaisquer interfaces que poderiam prejudicar a aplicação e a estanqueidade dos serviços de impermeabilização, conforme figuras 7 e 8, a seguir.

Figura 7 - Mapeamento e medição de fissuras de paramentos verticais



Fonte: Acervo do autor (2014).

Nos paramentos verticais, observou-se que as fissuras ficaram dentro da faixa de tolerância do silicato bioquimicamente modificado para fissuras pré-existentes, ou seja, até 2 mm.

Figura 8 - Mapeamento e medição de fissuras de paramentos horizontais



Fonte: Acervo do autor (2014).

Nos paramentos horizontais, observou-se que as fissuras ficaram fora da faixa de tolerância do silicato bioquimicamente modificado para fissuras pré-existentes, ou seja, acima de 2 mm.

3.4 Preparação da superfície e aplicação do silicato bioquimicamente modificado

Tendo em vista a elevada quantidade de fissuras nos paramentos horizontais, conforme figura 9, bem como o elevado dimensionamento de abertura, em média 5 mm, optou-se por um tratamento diferenciado de preparação destas fissuras antes da etapa de impermeabilização de toda a ETE.

Figura 9 - Quantidade de fissuras no paramento horizontal



Fonte: Acervo do autor (2014).

Os serviços foram realizados na seguinte ordem, conforme figuras 10 a 16:

1. Lavagem de todo o tanque com hidrojato de alta pressão com 5.800 psi;
2. Aplicação de ar comprimido nas fissuras para remoção final de impurezas;
3. Aplicação de silicato bioquimicamente modificado diretamente nas fissuras;
4. 1ª hidratação com água nas fissuras em até 6h após a aplicação do silicato;
5. 2ª hidratação com solução de acetato de Cálcio 10% nas fissuras em até 24h após a aplicação do silicato;
6. 3ª hidratação com água nas fissuras em até 48h após a aplicação do silicato;
7. Groutamento fluido das fissuras com adição de 1% de cimento cristalizante;
8. Aplicação de silicato bioquimicamente modificado em toda a ETE;
9. 1ª hidratação com água em até 6h após a aplicação do silicato;

10. 2ª hidratação com solução de acetato de Cálcio 10% em até 24h após a aplicação do silicato;
11. 3ª hidratação com água em até 48h após a aplicação do silicato;
12. Execução de reforço com argamassa polimérica e tela de poliéster, composta com PVC, como reforço em todas as fissuras de paramentos horizontais;
13. Teste com carga d'água por 72h.

Figura 10 - Lavagem da superfície com hidrotrato 5.800 psi



Fonte: Acervo do autor (2014).

O hidrojetamento da superfície, com equipamento de no mínimo 5.800 psi é indispensável para a retirada de impurezas, abertura dos poros, e remoção de resíduos de desmoldantes.

Figura 11 - Aplicação de silicato bioquimicamente modificado nas fissuras de paramentos horizontais.



Fonte: Acervo do autor (2014).

A aplicação de silicato bioquimicamente modificado nas fissuras para saturar a microregião com o produto, elevando assim a concentração de gel de silicato no interior das fissuras.

Figura 12 – 2ª hidratação com solução de acetato de Cálcio 10% nas fissuras em até 24h após a aplicação do silicato



Fonte: Acervo do autor (2014).

A aplicação de solução de acetato de cálcio a 10%, indicado para cimento CP-IV, proporcionou uma concentração de cálcio na microregião, elevando assim a formação do gel de silicato no interior das fissuras.

Figura 13 - Grouteamento flúido da fissuras com adição de 1% de cimento cristalizante.



Fonte: Acervo Hochtief do Brasil (2014).

Na região hidratada com solução de acetato de cálcio, observou-se grande esbranquiçamento, o que comprova a elevação de cálcio nesta região. Após, foi realizado grouteamento flúido, com adição de 1% de cimento cristalizante, para selamento das fissuras.

Figura 14 - Aplicação de silicato bioquimicamente modificado em toda a ETE



Fonte: Acervo do autor (2014).

A aplicação de silicato bioquimicamente modificado proporcionou elevada produtividade, com possibilidade de até 800 m² por hora, por conjunto, através de projeção com bomba de baixa pressão, permitindo alta performance em cronogramas extremamente justos.

Figura 15 - Silicato bioquimicamente modificado aplicado em toda a ETE



Fonte: Acervo do autor (2014).

A aplicação de silicatos bioquimicamente modificados não altera as características visuais do concreto, podendo ser aplicado em diversos tipo de estruturas aparentes ou não.

Figura 16 - Execução de reforço com argamassa polimérica e tela de poliéster, composta com PVC, como reforço em todas as fissuras de paramentos horizontais



Fonte: Acervo do autor (2014).

Foram utilizados sistemas auxiliares como cimentos cristalizantes, groutes, argamassas poliméricas e membrana de poliuretano, compatíveis com o sistema principal de silicato bioquimicamente modificado.

Figura 17 - Teste com carga d'água por 72h.



Fonte: Acervo do autor (2014).

Foi realizado teste hidrostático conforme item 5,6 da NBR 9574 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

4 RESULTADOS

Conforme informações do fabricante do silicato bioquimicamente modificado, o sistema pode ser aplicado em cimentos com cinzas volantes (fly ashes) Classe “C”, enquanto não recomenda aplicações em cimentos com cinzas volantes (fly ashes) Classe “F”, de carvão betuminoso ou antracito, de acordo com a classificação da ASTM C618-12a. Com um conteúdo menor de Cálcio, a cinza volante Classe “F” vai concorrer com o silicato bioquimicamente modificado, pelos íons de Cálcio disponíveis, e pode não haver íons de Cálcio suficientes para a reação nas fissuras futuras. Ao contrário, com um teor maior de Cálcio, a cinza volante Classe “C” não vai concorrer com o andamento do círculo virtuoso do silicato bioquimicamente modificado.

Cabe salientar que a cinza volante Classe “C”, conforme a ASTM C618-12a, que é determinada pelo tipo de origem do carvão mineral, coincide com a Classe “C” da NBR 12653 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), tendo em vista que o carvão das reservas brasileiras são de origem sub-betuminoso e linhito, ricos em cálcio.

Sempre que o cimento for tipo CP-IV, que é o cimento mais comum no RS, SC e PR, o qual permite a adição de pozolanas de cinza volante em teores de até 50%, é recomendável que a segunda hidratação contenha a solução de acetato de cálcio entre 10% e 15%, para elevar a quantidade de Cálcio para a reação do gel do silicato bioquimicamente modificado.

Em testes de laboratório, realizados no Dipartimento di Chimica Applicata e Scienza dei Materiali, da Università Degli Studi di Bologna Italy (1995), se obteve a re-impermeabilização de fissuras de até 1,3 mm, com a adição de solução de acetato de cálcio ao substrato, após a aplicação do silicato bioquimicamente modificado.

Devem ser monitorados e tratados o aparecimento de fissuras, vazios de concretagem, passagens de tubulações, furos de travamento de formas, etc..., após o carregamento das estruturas e, havendo a necessidade, estes locais devem ser tratados com sistemas auxiliares. Um dos benefícios do silicato bioquimicamente modificado é que o sistema permite verificar exatamente os locais onde a intervenção complementar é necessária.

Em termos práticos, para obras antigas ou que não se tenha a informação sobre o tipo de cimento utilizado, ou mesmo o tipo do cinza volante, se o concreto perde Cálcio, por lixiviação constatada através de eflorescências, ele é adequado para ser utilizado o sistema. E mesmo no caso do cimento CP-IV, na estrutura em estudo, observou-se a formação de eflorescências, conforme figura 18, o que é benéfico para o silicato bioquimicamente modificado.

Figura 18 - Formação de eflorescência em estrutura de concreto com cimento CP-IV



Fonte: Acervo do autor (2014).

Através de diversas experiências práticas, em obras realizadas nos estados do Sul do Brasil que utilizaram cimentos tipo CP IV, a eflorescência é uma constante, o que demonstra que,

mesmo sendo cinza volante Classe “C”, conforme a classificação da ASTM C618-12A, com níveis de CaO no limite inferior, há a constante lixiviação de Cálcio das estruturas, o que é benéfico ao sistema, permitindo a segunda etapa de reação do gel.

Conclui-se, portanto, que os tipos de cimentos preferencialmente compatíveis com o silicato bioquimicamente modificado são:

- CP V ARI
- CP II – F
- CP II – E
- CP III
- CP II – Z
- CP IV (com utilização de solução de acetato de cálcio nas hidratações).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve por objetivo investigar a influência da cinza volante adicionada ao cimento CP-IV no desempenho do sistema de impermeabilização com silicato bioquimicamente modificado, utilizado em estruturas de concreto armado. Foi realizada ampla pesquisa bibliográfica, com o objetivo de embasar as ações durante a execução das etapas do serviço realizado em campo.

A cinza volante das reservas brasileiras são de origem sub-betuminoso e linhito, ricos em Cálcio, sendo classificados como Classe “C”, diferentes dos carvões Classe “F”, betuminoso ou do antracito, conforme a ASTM C618-12A. Ainda dependem da temperatura de queima, transporte, condicionamento, etc., que podem afetar as concentrações de CaO, contudo, na prática, observa-se constantemente a formação de eflorescências caracterizadas pela presença de Ca(OH)_2 , o que é benéfico ao sistema de silicato bioquimicamente modificado, mesmo em estruturas de concreto que utilizam o CP-IV.

A hidratação com solução de Acetato de Cálcio 10% também mostrou-se eficaz, mesmo em fissuras de grande abertura, o que permite a maior disponibilidade de íons de Cálcio para a formação do gel de silicato. Esse estudo já foi comprovado no Dipartimento di Chimica Applicata e Scienza dei Materiali, da Università Degli Studi di Bologna Italy (1995).

O tanque não foi carregado antes da execução do trabalho, conforme orientado, tendo em vista questões de cronograma do contratante. Mesmo assim, após a execução do trabalho, durante o teste hidrostático, observaram-se pequenas infiltrações, as quais foram reduzindo durante os 14 dias subsequentes, o que comprova a evolução da formação do gel de silicato bioquimicamente modificado. Alguns pontos internos e externos foram tratados com materiais complementares como cimentos cristalizantes, argamassas poliméricas e membranas de poliuretano, que fazem parte deste sistema de impermeabilização.

Os resultados práticos de campo mostraram-se satisfatórios, porém, há a necessidade de continuidade do estudo, principalmente através de realização de modelos e ensaios para serem avaliados em laboratório, com utilização de técnicas como MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura, análise química elementar por EDS, Difração de Raio X, entre outros, com o objetivo de ratificar as conclusões aqui obtidas. Estudo similar, de estrutura exposta à agressividade de uréia, conforme relatório a técnico Netherland, (2014), onde foram realizados estes ensaios, em estrutura de concreto armado, também obteve excelentes resultados, que comprovam a eficácia do silicato bioquimicamente modificado.

Por fim, o silicato bioquimicamente modificado mostrou-se uma excelente opção de sistema de impermeabilização e proteção de estruturas de concreto armado, tendo em vista os cronogramas cada vez mais exíguos, onde a praticidade, a produtividade, eficácia técnica e custos competitivos são cada vez mais exigidos pelo mercado técnico de engenharia.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 12653**: materiais pozolânicos – requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 9575**: impermeabilização – seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 9574**: execução de impermeabilização. Rio de Janeiro, 2008.

ANEEL. Relatório Fontes Não Renováveis – Carvão Mineral – Parte III. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par3_cap9.pdf>. Acesso em: 18/02/14.

ASTM INTERNATIONAL. **Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete**. Designation: C618-12a. 2012.

BATTAGIN A. et al. **O cimento Portland no Brasil**. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais** – 2^a ed. – volumes 1 e 2. São Paulo: Editora Ibracon 2010.

BAUER E. et al. **Sistemas de impermeabilização e isolamento térmico**. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais** – 2^a ed. – volumes 1 e 2. São Paulo: Editora Ibracon 2010.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção – patologia, reabilitação e prevenção**. São Paulo: Editora Oficina de textos, 2010.

DIPARTAMENTO di Chimica Applicata e Scienza dei Materiali, da Università Degli Studi di Bologna Italy. **Certificado 905**. 1995.

NETHERLAND engenharia ltda. **Relatório técnico proteção do concreto contra ataque de uréia – teste de campo**. 2014.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Editora Brookman, 2013.

PICCHI, F.A. **Impermeabilização de coberturas**. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 1986.

SILVA. **Cimentos Portland com adições minerais**. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais** – 2^a ed. – volumes 1 e 2. São Paulo: Editora Ibracon 2010.

SOUZA, V.C.M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed., 5^a tiragem. São Paulo: Editora PINI, 2009.

SUNDSTRON, M.G. **Caracterização e Avaliação das Cinzas da Combustão de Carvão Mineral Geradas na Região do Baixo Jacuí– RS**. Dissertação (mestrado em Avaliação de impactos ambientais em mineração) – Centro Universitário La Salle, Canoas, 2012.