Avaliação de desempenho de verniz acrílico e verniz poliuretano antipichação como revestimento de proteção às estruturas de concreto aparente

Adriana Araujo[1], Zehbour Panossian[2]

Abstract

Acrylic varnishes are widely used as protective coatings for Brazilian residential, commercial and industrial constructions. However, the market offers other types of varnishes as a result of the great technological development occurring in the chemical industry dedicated to the civil construction. Among the available varnishes, it can be pointed those based on polyurethanic resins, especially antigraffiti polyurethanic varnishes. The polyurethanic coatings remain intact even after several graphite removal cleaning processes. Thus, they present larger application being a good choice for replacing the acrylic varnishes used in civil construction. Acrylic varnishes, apparently, don't protect the concrete surface from graphite and their protective properties against aggressive environmental compounds are inferior than the polyurethanic base varnishes. The objective of this work was to compare the performance of two protective varnishes available in the market for protecting concrete structures, one traditional and another based on polyurethane resin. The comparison was done through characterization tests and performance tests in order to verify their behavior against two environmental aggressive compounds: carbon dioxide and chlorides. The obtained results confirmed the superiority of the antigraffiti polyurethanic varnish, as much in characteristics as performance in protection barrier.

Keywords: concrete, varnish, antigraffiti poliuretanic varnish, acrylic varnish, carbon dioxide, sodium chloride

Resumo

Os vernizes acrílicos são largamente utilizados como revestimento de acabamento nas edificações brasileiras. Além destes vernizes, o mercado oferece outras opções decorrentes do grande avanço tecnológico da indústria química voltada para construção civil. Dentre os vernizes recentemente incorporados no mercado, citam-se os à base de poliuretano, em destaque aqueles que são denominados como antipichação. O filme deste tipo de verniz mantém-se íntegro mesmo após constantes limpezas para a remoção de pichações na sua

[1] Mestre em Habitação pelo IPT e pesquisadora do Laboratório de Corrosão e Proteção do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT.(e-mail: aaraujo@ipt.br).

[2] Doutora em Ciências, Professora convidada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e responsável pelo Laboratório de Corrosão e Proteção do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT (e-mail: zep@ipt.br).

superfície. Desta forma, o verniz antipichação tem um maior campo de aplicação, podendo ser, também, um substituto no emprego, generalizado, do verniz acrílico nas construções, já que o mesmo, além de não proteger as fachadas contra pichações, aparentemente, tem um desempenho inferior como barreira de proteção contra os agentes mais potencialmente nocivos ao concreto armado. O objetivo do presente trabalho foi comparar dois vernizes de proteção para concreto aparente disponíveis no mercado, um acrílico tradicional e outro poliuretano. Esta comparação foi realizada por meio de ensaios de caracterização e de ensaios de desempenho destinados a verificar o comportamento dos vernizes em relação a dois agentes agressivos: o dióxido de carbono e os íons cloreto. Os resultados obtidos confirmaram a superioridade do verniz poliuretânico antipichação em relação ao verniz acrílico, tanto em características como em desempenho como barreira de proteção.

Palavras-chave: concreto, verniz, verniz poliuretânico antipichação, verniz acrílico, dióxido de carbono, cloreto de sódio.

1. INTRODUÇÃO

Nas fachadas de muitas edificações brasileiras não é raro observar a depreciação da sua aparência devido à degradação das estruturas de concreto aparente, muitas vezes, de maneira intensa. Esta degradação ocorre devido aos agentes agressivos presentes na atmosfera, sendo o dióxido de carbono, os íons cloreto e os íons sulfato considerados os principais.

Para minimizar esta degradação, muitas vezes é aplicado, como uma proteção adicional, um revestimento nas superfícies de estruturas de concreto aparente. Historicamente, tanto as tintas, como os vernizes são utilizados como revestimentos de acabamento, melhorando o aspecto estético das edificações e, mais recentemente, usados também com a finalidade de proteção por barreira do concreto. Para este uso específico Schwamborn (1) cita que os revestimentos podem assegurar a durabilidade do concreto devido à diminuição da sua permeabilidade superficial, aumentando assim a resistência das estruturas de concreto ao ataque de agentes agressivos, presentes na atmosfera. As tintas e os vernizes formam, em geral, uma fina camada que obstrui os poros superficiais do concreto, e assim, restringem o ingresso destes agentes.

O verniz acrílico é tradicionalmente usado como revestimento de proteção de estruturas de concreto aparente. No entanto, nos últimos anos, uma grande variedade de revestimentos tem surgido no mercado, em decorrência do grande avanço ocorrido na última década na indústria química, voltada para a construção civil. Dentre estes, citam-se os à base de poliuretano, em destaque aqueles que são denominados como antipichação. O filme deste tipo de verniz mantém-se íntegro mesmo após constantes limpezas para a remoção de pichações na sua superfície. Desta forma, o verniz antipichação tem um maior campo de aplicação, podendo ser, também, um substituto no emprego, generalizado, do verniz acrílico nas construções, já que o mesmo, além de não proteger as fachadas contra pichações, aparentemente, tem um desempenho inferior como barreira de proteção contra os agentes mais potencialmente nocivos ao concreto armado.

No mercado da construção civil no Brasil, esses dois tipos de vernizes têm sido bastante aplicados como revestimentos de proteção e acabamento das estruturas de concreto, tanto em

obras recém-edificadas, como parte de sistemas de recuperação e tratamento de fachadas das obras existentes. Entretanto, tais aplicações ocorrem, em geral, sem o conhecimento da qualidade do revestimento e de sua eficiência como barreira de proteção ao concreto armado.

Assim sendo, foi desenvolvido o presente trabalho cujo objetivo foi:

- caracterizar um verniz acrílico e um verniz poliuretânico antipichação, verificando as suas características essenciais[3] para sua aplicação no concreto armado aparente como barreira de proteção;
- avaliar o desempenho dos vernizes selecionados, aplicados em corpos-de-prova de concreto, em duas diferentes espessuras (duas e três demãos) e duas diferentes condições (filme recém-aplicado e filme envelhecido), frente a dois dos principais agentes atmosféricos que atuam na deterioração do concreto armado: o dióxido de carbono e os íons cloreto.

2. METODOLOGIA

2.1 Seleção e caracterização dos vernizes

Para a realização deste estudo foram utilizados dois vernizes disponíveis no mercado para uso em construção civil: um acrílico e outro poliuretano antipichação. Inicialmente, foram adquiridos alguns vernizes disponíveis no mercado e submetidos ao ensaio de flexibilidade segundo a norma NBR 10545 (3), sendo escolhidos aqueles que apresentavam maior flexibilidade do filme aplicado sobre substrato metálico. Os vernizes selecionados foram, então, devidamente caracterizados, tanto na forma líquida e em filme livre, como aplicados sobre substrato metálico e cimentício, por meio dos ensaios listados na Tabela 1.

2.2 Preparação dos corpos-de-prova (CP) e aplicação de vernizes

Como os ensaios de desempenho do presente estudo foram realizados em câmaras que limitavam o tamanho e a quantidade de corpos-de-prova, foram concebidos corpos-de-prova cilíndricos, nas dimensões de 5 cm de diâmetro e 10 cm de comprimento, que são usualmente utilizados para ensaio de determinação da resistência à compressão do cimento, conforme NBR 5739 (4).

Para a definição das características dos corpos-de-prova para os ensaios de desempenho, foi conduzido um estudo preliminar. O trabalho de Araújo e Panossian (5) e a dissertação de mestrado de Araújo (2) descrevem com detalhes o referido estudo e a indicação das características mais adequadas para alcançar os objetivos propostos. Um resumo destas características é apresentado a seguir:

- cimento comum com escória de alto forno tipo II (classe 32), areia média e dois tipos de pedriscos (granulometria máxima 9,5 mm). O intuito da adição de pedriscos foi obter um

[3] Na dissertação de mestrado de Araújo (2), são listados os ensaios de desempenho essenciais para a adequada caracterização de vernizes de proteção de concreto.

microconcreto, que reproduzisse satisfatoriamente as características de um concreto. O traço adotado foi 1:2,64:1,56:0,65, sendo sua dosagem estudada conforme método proposto por Tango (6). A relação a/c 0,65 foi estabelecida para agilizar a penetração dos agentes agressivos e, conseqüentemente, a despassivação da barra de aço;

- corpos-de-prova armados (ACP) para a realização de medidas eletroquímicas. A concepção deste CP foi feita de modo a possibilitar que as medidas eletroquímicas fossem realizadas com garantia da manutenção da integridade do filme aplicado na sua superfície. Estes permaneceram na câmara de ensaio durante todo o período dos ensaios de desempenho. A Figura 1 mostra um CP armado já preparado, antes e após fratura na sua seção transversal e a Figura 2 mostra os detalhes construtivos (posição e dimensão dos eletrodos embutidos). Pode-se observar que no centro do CP está posicionado o eletrodo de trabalho (barra de aço previamente limpa e pintada em ambas as extremidades com tinta epóxi). Este representa a armadura de uma estrutura, com cerca de 2 cm de concreto de cobrimento. Observa-se também um tudo plástico rígido previamente lixado para melhorar a aderência ao concreto, usado para introduzir a solução condutiva (sulfato de sódio 10%) e o eletrodo de calomelano saturado que era o eletrodo de referência usado para as medidas de potencial de corrosão na barra de aço. O contra-eletrodo (barra de cobre) foi previamente limpo em ácido nítrico concentrado, lavado e seco. A colocação dos eletrodos num mesmo plano divide o CP em dois hemicilindros sem barreiras. Através destes hemicilindros os agentes agressivos teriam livre acesso sem a interferência dos eletrodos embutidos. Para garantir um maior espaço livre, as dimensões tanto das barras como do tubo plástico foram as menores possíveis. Tanto as extremidades das barras de aço e de cobre como as do concreto foram pintadas parcialmente com tinta epoxídica, para delimitar a área de estudo dos vernizes e conferir uma proteção ao aço nas regiões mais críticas. Durante a moldagem dos corpos-de-prova armados, os eletrodos foram mantidos na correta posições por meio do uso de um gabarito de madeira nas dimensões de 2 cm x 2 cm x 5,5 cm. E, antes do início dos ensaios, a parte exposta da barras (cobre e aço) foi protegida contra a corrosão com parafina, que foi removida e reaplicada quando da realização das medições eletroquímicas. O tubo plástico foi vedado, em sua extremidade superior, com fita adesiva que poderia posteriormente ser facilmente removida;
- corpos-de-prova não-armados (NCP), destinados para os ensaios destrutivos, sendo por isto, exemplares removidos periodicamente das câmaras no decorrer dos ensaios. Para evitar a adoção de diferentes corpos-de-prova, a mesma concepção dos armados foi adotada, mas sem nenhum elemento introduzido no mesmo. A Figura 3 apresenta uma fotografia do CP não-armado, sendo nesta representada a divisão feita em dois hemicilindros (identificados como A e B), para o ensaio de exposição aos íons cloreto. Neste ensaio, os corpos-de-prova eram girados a cada 24 horas de exposição à névoa salina.

Os corpos-de-prova foram moldados no Laboratório de Materiais de Construção Civil do IPT. Após a limpeza das formas e aplicação de desmoldante à base d'água, iniciou-se a concretagem. Para evitar falhas, em especial uma alta porosidade superficial que criaria a necessidade de estucamento do concreto, a moldagem de cada CP foi feita em quatro etapas (cada uma com 30 golpes). A Figura 4 mostra a montagem dos corpos-de-prova. Outra medida

adotada foi concretar um número adicional de corpos-de-prova para poder ser feita uma seleção daqueles de melhor acabamento.

Após a concretagem, os corpos-de-prova foram cobertos por lona plástica e permaneceram no ambiente do laboratório por um dia. Após este período, estes foram desmoldados e armazenados por 24 dias em tanque de água, instalado em câmara úmida. Como etapa final de cura, antes do início da pintura, os corpos-de-prova foram armazenados durante 30 dias em câmara com temperatura e umidade relativa controladas (aproximadamente a 21ºC e 50%, respectivamente). Após a cura, a superfície dos corpos-de-prova foi submetida a um leve lixamento para remoção de material não-aderido e limpeza com uma flanela. Antes do início da pintura, foi medida a umidade superficial dos corpos-de-prova, com o equipamento Moisture Level, modelo UM-625. Todos os corpos-de-prova apresentaram umidade abaixo de 10%, valor este considerado adequado pelos fabricantes de vernizes e tintas de proteção de superfícies de concreto (2).

A pintura dos corpos-de-prova foi feita com rolo pequeno de lã de carneiro, que era passado ao longo do seu comprimento (toda a área cilíndrica) e em seguida em direção cruzada, de forma a garantir uma boa cobertura do substrato, sem escorrimentos. O intervalo entre demãos para ambos os vernizes foi aproximadamente de três horas. Na Figura 5 pode ser visualizada a pintura sendo realizada em um corpo-de-prova. Para melhor controle do consumo dos vernizes, a pintura foi realizada em pequenos lotes de corpos-de-prova e utilizando um pente graduado para controlar a espessura do filme úmido por demão que foi mantida em 75 μm.

Após a cura dos vernizes, a parte superior e inferior dos corpos-de-prova foi protegida com tinta epóxi (ver Figuras 1 e 3). Como no estudo preliminar realizado para a concepção dos corpos-de-prova (2,5), tinha sido verificado que, a despeito da aplicação da tinta epóxi, ocorria penetração preferencial dos agentes agressivos pela interface entre a superfície dos elementos embutidos e o concreto, nesta região foi aplicada, como uma proteção adicional, uma camada de silicone especial para vidro.

Quanto às características do microconcreto, obteve-se uma resistência à compressão (ABNT NBR 5739 (4)) aos 14 dias de 18 MPa e, aos 28 dias, de 20 MPa. Após imersão, obteve-se a absorção de 7,9%, índice de vazios de 16,1%, e 2,07%, para a massa específica da amostra seca, sendo a real 2,42% (ABNT NBR 9778 (7)). A resistividade do microconcreto foi 17 $k\Omega.cm^2$ (ABNT NBR 8204 (8)).

A Tabela 2 mostra a relação de todos os corpos-de-prova preparados, juntamente com a identificação dada a cada variável estabelecida. Para fins de comparação, foram incluídos neste estudo corpos-de-prova armados e não-armados sem revestimento, os quais constam na referida Tabela.

2.3 Ensaios de desempenho

O CP´s foram avaliados por meio da exposição ao dióxido de carbono (CO_2) e aos íons cloreto (Cl^-), os quais são reconhecidamente os principais agentes aceleradores da deterioração do concreto armado.

Esses ensaios foram conduzidos utilizando corpos-de-prova recém-envernizados (decorridos apenas o tempo de cura do verniz) e corpos-de-prova após o envelhecimento do filme feito artificialmente da seguinte forma: exposição durante 30 dias à água de condensação e aos raios ultravioleta, em câmara de intemperismo de marca COMEXIM, fabricada com as características construtivas e condições que atendem a norma ASTM G 145 (9).

Para o ensaio acelerado de exposição ao dióxido de carbono foi utilizada uma câmara de carbonatação com insuflamento de (20±1)% CO_2, sendo a umidade relativa do ambiente mantida em (65±1)%. O ensaio foi realizado com avaliações periódicas aos 8, 15, 29, 43 e 61 dias. Após estudos preliminares (2), optou-se pela realização, além das medidas eletroquímicas, do ensaio de profundidade de carbonatação, que consiste na fratura do CP e aspersão de um indicador que permite visualizar camadas de pH distintas. Para tanto, utilizou-se uma solução de fenolftaleína que era aspergida em exemplares de CP´s não-armados, fraturados longitudinalmente.

Para o ensaio de exposição aos íons cloreto, foi utilizada uma câmara de névoa salina com funcionamento condizente com a norma ASTM B 117 (10). Os CPs permaneciam na câmara por dois dias e depois cinco dias em ambiente de laboratório, sendo este ciclo repetido por onze vezes. Após estudos preliminares (2) optou-se pela realização, além das medidas eletroquímicas, do ensaio de teor de cloretos que foi feito em amostras de concreto extraídas de exemplares do CP não-armado.

Cabe citar que, em estudos com concreto armado, os ensaios de exposição aos íons cloreto, geralmente, são realizados por imersão de corpos-de-prova em soluções salinas. No presente estudo, este procedimento não foi adotado, devido à intenção de simular as condições naturais de exposição (névoa salina) que os revestimentos de fachadas estão sujeitos, sendo a imersão pouco representativa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Seleção e caracterização dos vernizes

As Tabelas 2 a 6 apresentam os resultados dos ensaios de caracterização dos dois vernizes estudados.

Na Tabela 3, observa-se que o verniz acrílico é à base de monômeros acrílico e metacrilato, os quais o caracterizam como um verniz puro, ou seja, em sua composição não há combinações com outros tipos de resinas, das quais se cita a resina de estireno como a mais comumente utilizada. Comenta-se que os vernizes acrílicos estirenados são também denominados no mercado como “vernizes acrílicos”, embora tenham, em geral, uma menor

qualidade e durabilidade. Portanto, o resultado obtido para o verniz adquirido o identifica realmente como acrílico.

Quanto aos resultados do ensaio de teor de sólidos por volume, observa-se que o teor de sólidos do verniz poliuretânico antipichação foi bem mais elevado (26% contra 16% do acrílico), indicando que a espessura do seu filme seco será sempre maior do que a do verniz acrílico, para o mesmo número de demãos e mesmo consumo (ou seja, para a mesma espessura do filme úmido), fato que foi constatado experimentalmente, conforme será descrito mais adiante.

Verifica-se pela Tabela 3, que ambos os vernizes apresentam viscosidade da mesma ordem de grandeza, sendo a do verniz poliuretânico antipichação ligeiramente maior. Entretanto, quando da realização de pintura de corpos-de-prova de concreto, o valor obtido para ambos os vernizes foi julgado baixo (tempo de passagem no copo *Ford* inferior a 13 segundos). Isto porque a espessura do filme úmido dos vernizes aplicados no concreto ficou limitada a 75 µm (acima desta espessura havia escorrimento) e, conseqüentemente, obteve-se um filme seco de baixa espessura por demão e, ainda, de pouca uniformidade (fato que pôde ser confirmado pelos altos valores de desvio padrão obtidos, Tabela 2).

O tempo de secagem ao manuseio (3 h e 40 min para o acrílico e 3 h 10 min para o poliuretânico) indica que a pintura com duas demãos (mais usual) poderia ser realizada em um mesmo dia, sendo que, para três demãos, são necessários dois dias de aplicação.

No que se refere aos ensaios realizados em filme livre, cabe lembrar que o ensaio de permeabilidade ao vapor de água foi realizado segundo a norma ISO 7783 (21), conforme consta na Tabela 1. Este ensaio possibilita classificar a proteção que os revestimentos podem conferir ao concreto, como:

- **baixa permeabilidade ao vapor d'água**: taxa de transmissão < 15 g/(m^2.dia) e camada de ar equivalente > 1,4 m;
- **média permeabilidade ao vapor d'água**: taxa de transmissão entre 15 g/(m^2.dia) e 150 g/(m^2.dia) e camada de ar equivalente entre 0,14 m e 1,4 m;
- **alta permeabilidade ao vapor d'água**: taxa de transmissão > 150 g/(m^2.dia) e camada de ar equivalente < 0,14 m.

Observando os resultados de permeabilidade ao vapor de água apresentados na Tabela 4, verifica-se que os valores de taxa de transmissão obtidos (8,1 g/(m^2.dia) para o acrílico e 7,26 g/(m^2.dia) para o poliuretano) classificam, ambos os vernizes, como de baixa permeabilidade.

No entanto, os resultados da camada equivalente a do ar (0,80 m para o acrílico e 1,09 m para o poliuretano), a qual considera a espessura média do filme obtido, classificaram os vernizes como de média permeabilidade. Tendo o filme do verniz poliuretânico antipichação sido avaliado na espessura média de 108 µm e o verniz acrílico na espessura média de 132 µm, observa-se que o poliuretânico antipichação nitidamente confere uma maior proteção como barreira ao vapor de água, apresentando um menor valor de transmissão e uma maior camada equivalente a do ar para um filme de menor espessura. Observa-se, também, que sendo as espessuras médias obtidas para os vernizes em filme livre superiores às obtidas sobre o

concreto tanto com duas como com três demãos (ver Tabela 2), a classificação dos vernizes estudados, dificilmente, seria superior à classificação de média permeabilidade ao vapor de água.

É importante mencionar que, caso os vernizes apresentassem baixa permeabilidade à água, estes poderiam ser considerados como uma barreira eficiente de proteção ao concreto, sem que fosse necessária baixa permeabilidade a outros agentes agressivos. Isto porque, se o concreto fosse mantido com baixa umidade, não haveria corrosão, mesmo que a armadura estivesse despassivada devido à carbonatação ou à presença dos íons cloreto. Em contrapartida, uma baixa permeabilidade poderia não ser adequada, nos casos de aplicação de pintura sobre concreto com grau de umidade considerável. Isto porque esta umidade ficaria aprisionada justamente devido à baixa permeabilidade do filme, o que poderia ocasionar a formação de bolhas d'água na interface concreto/verniz. Nesta condição, a aderência dos vernizes ficaria prejudicada. Outro fato, é que a água aprisionada poderia manter baixa a resistividade do concreto, condição esta favorável à corrosão.

Os resultados do ensaio de permeabilidade ao dióxido de carbono no que se refere à espessura da camada equivalente à difusão no ar foram, para ambos os vernizes, superiores a 50 m, que é o valor mínimo mencionado por alguns pesquisadores para revestimentos de proteção ao concreto (11-13). Portanto, analisando isoladamente os resultados de espessura da camada equivalente à difusão no ar, conclui-se que o verniz acrílico (com espessura média de 118 μm) e o verniz poliuretânico antipichação (com espessura média de 87 μm) poderiam ser classificados como revestimentos anticarbonatação, sendo o verniz poliuretânico o que pode, nitidamente, conferir uma maior proteção como barreira (menor permeabilidade para menor espessura). Como será verificada mais adiante, a maior eficiência do verniz poliuretânico como barreira ao dióxido de carbono foi confirmada nos ensaios de desempenho.

A Tabela 5 apresenta os resultados de flexibilidade em diferentes demãos para ensaios realizados nos vernizes aplicados sobre material metálico (aço-carbono). Os valores de espessura são apresentados para melhor serem analisados os resultados de flexibilidade. Com base nesta Tabela, pode-se verificar que a flexibilidade do verniz poliuretânico antipichação foi maior do que a flexibilidade do verniz acrílico.

Analisando os resultados do ensaio de flecha de ruptura, pode-se observar que o verniz poliuretânico antipichação tem uma elevada resistência à ruptura, sendo esta bem superior à do verniz acrílico. Portanto o verniz poliuretânico antipichação tem uma maior capacidade de alongamento. Quanto às diferenças de valores entre duas e três demãos, para ambos vernizes, observa-se que filmes de maiores espessuras têm uma maior capacidade de absorver solicitações.

Cabe chamar a atenção, que esses dois tipos de ensaios podem não ser representativos da flexibilidade e da capacidade de alongamento real dos vernizes estudados quando aplicados sobre o concreto, uma vez que foram realizados sobre substrato metálico.

Os resultados dos ensaios de caracterização dos vernizes aplicados sobre concreto são apresentados na Tabela 2 (espessura do filme seco) e na Tabela 6 (aderência e remoção de pichação).

Analisando os resultados da Tabela 2, observa-se que a espessura média do filme obtido com o verniz acrílico, por número de demãos, foi sistematicamente menor do que a obtida com o verniz poliuretânico antipichação. Para duas demãos, o verniz acrílico apresentou espessura média de 31 µm e o verniz poliuretânico antipichação apresentou espessura média de 51 µm. Para três demãos, a espessura média do filme (recém-aplicado e envelhecido) do verniz acrílico foi de 42 µm e do verniz poliuretânico antipichação foi de 62 µm. Esta diferença era esperada, visto que o verniz acrílico tem um teor de sólidos bem inferior do que o do verniz poliuretânico antipichação e tem, também, uma viscosidade menor. Cabe ainda citar que o verniz poliuretânico antipichação apresentou valores de desvios padrões superiores a 10 µm para todas as variáveis (Tabela 2), enquanto para o verniz acrílico os desvios padrões foram bem menores.

Analisando esses resultados com os obtidos nos ensaios de caracterização realizados nos vernizes aplicados sobre substrato metálico, observa-se que não existe uma similaridade de valores, sendo que sobre metal há uma expressiva diferenciação da espessura do filme dos vernizes entre demãos e os desvios padrões obtidos são baixos. Desta forma, reforça-se a comentada necessidade de melhores estudos quando a representatividade de ensaios realizados sobre superfície metálica.

O ensaio de aderência (2,5 MPa para o verniz acrílico e 3,2 MPa para o poliuretânico) apontou que ambos os vernizes têm alta aderência ao concreto[4], no entanto, a do verniz poliuretânico é mais elevada. Com estes resultados pode-se supor que para algumas situações em campo, nas quais a aderência pode ser prejudicada mais facilmente, o verniz poliuretânico pode ter um melhor desempenho como proteção.

O ensaio de remoção de pichação mostrou que o verniz poliuretânico é eficiente para proteger o concreto contra pichações, uma vez que se manteve íntegro, mesmos depois de sucessivas remoções, inclusive no filme envelhecido artificialmente.

3.2. Ensaios de desempenho

3.2.1 Ensaio acelerado de exposição ao dióxido de carbono

A Figura 6 apresenta o gráfico da tendência de avanço médio (de três corpos-de-prova) da carbonatação em função do tempo de exposição, para cada uma das variáveis estudadas. As Tabelas 7 e 8 mostram os valores médios com os respectivos desvios padrões da profundidade da carbonatação do verniz acrílico e do poliuretânico antipichação, respectivamente. Estes valores foram utilizados na construção da Figura 6. Para fins de comparação em cada uma delas são apresentados, também, os valores da profundidade de carbonatação obtidos para os corpos-de-prova sem revestimento. As Tabelas 7 e 8 mostram, ainda, o aspecto de alguns dos CPs fraturados após aspersão de fenolftaleína. Cita-se que, no concreto, a parte de coloração acinzentada tem pH baixo (em torno de 9) e assim representa a camada carbonatada. A parte de coloração avermelhada tem pH elevado (em torno de 12), o que representa a camada não-carbonatada. As medidas da profundidade de carbonatação foram feitas nos seis pontos indicados para cada variável nas Tabelas 7 e 8.

[4] Segundo Bassi, Garston e Hurley (13), o valor mínimo para uma boa aderência é de 1 MPa.

Observando os resultados para os corpos-de-prova revestidos com verniz acrílico e os sem revestimento, apresentados na Figura 6 e na Tabela 7, pode-se verificar:

- o verniz acrílico, aplicado em duas demãos (AC2) conferiu proteção contra o avanço da carbonatação do concreto, embora pareça ser uma proteção de baixa eficiência. Isto porque, a tendência de evolução da variável não foi muito diferenciada da variável SP, concreto sem revestimento. No 15º dia de exposição o concreto dos corpos-de-prova da variável SP já estava totalmente carbonatado (25 cm de profundidade) e, embora o concreto da variável AC2 não apresentava a mesma condição (profundidade média de carbonatação de 20 cm), era possível visualizar regiões totalmente carbonatadas;
- o verniz acrílico aplicado em três demãos (AC3) conferiu melhor proteção contra o avanço da carbonatação do concreto, visto que, somente após o 29º dia de exposição ao dióxido de carbono, a profundidade de carbonatação foi elevada (valor médio de 15 cm), indicando que a carbonatação poderia estar atingindo regiões próximas à barra de aço. No 43º dia foi constatada a carbonatação total do concreto. Para a variável SP, isto ocorreu logo no início da exposição, após o 8º dia de exposição. Comparando somente os resultados de profundidade de carbonatação apresentados para as variáveis AC2 e AC3, pode-se dizer que somente o filme do verniz acrílico recém-aplicado em três demãos (AC3) foi eficiente como barreira de proteção contra o avanço da carbonatação;
- o verniz acrílico aplicado em três demãos na condição envelhecido (AC3 ENV) não conferiu proteção contra a carbonatação do concreto, pois o seu comportamento foi muito similar ao do concreto sem revestimento. Comparando os resultados de profundidade de carbonatação da variável AC3 ENV com os obtidos para as variáveis AC2 e AC3, é nítido que o envelhecimento do filme do verniz afeta, e muito, o seu desempenho como barreira contra a carbonatação.

Observando os resultados para os corpos-de-prova revestidos com verniz poliuretânico antipichação e os sem revestimento, apresentados na Figura 6 e na Tabela 8, pode-se verificar:

- o verniz poliuretânico antipichação, aplicado em duas demãos (PU2) e em três demãos (PU3), conferiu proteção efetiva contra o avanço da carbonatação do concreto, sendo esta aparentemente de elevada eficiência. Isto porque, ambas as variáveis apresentaram baixos valores de profundidade de carbonatação ao longo do ensaio, sendo somente constatado no 61º dia de exposição a carbonatação total do concreto. Comparando as variáveis, PU2 teve o melhor desempenho, podendo ser observado na Tabela 8, que esta variável apresentou os menores valores de profundidade de carbonatação, havendo sempre uma diferença, que foi em torno de 4 cm, com os obtidos para a variável PU3;
- o verniz poliuretânico antipichação aplicado em três demãos na condição envelhecido (PU3 ENV) conferiu uma proteção inferior contra o avanço da carbonatação do concreto do que o filme recém-aplicado, porém, superior ainda ao concreto sem revestimento. Portanto, os resultados levam a concluir que, quando o filme do revestimento poliuretânico está envelhecido, há uma perda na sua eficiência como proteção contra carbonatação. Provavelmente, a exposição dos corpos-de-prova da variável PU3 ENV à água de condensação na câmara de intemperismo elevou o grau de umidade no concreto, diferenciando estes corpos-de-prova dos outros das demais variáveis.

Comparando os resultados obtidos do verniz acrílico com do verniz poliuretânico antipichação, apresentados na Figura 6, pode-se verificar:

- o verniz poliuretânico antipichação, aplicado em duas demãos (PU2) e em três demãos (PU3), conferiu uma proteção muito mais eficiente contra o avanço da carbonatação do que o verniz acrílico em duas demãos (AC2) ou em três demãos (AC3). Destas, a variável PU2 foi a que apresentou um melhor desempenho como barreira de proteção, sendo observados os menores valores profundidades de carbonatação;
- o verniz poliuretânico antipichação na condição envelhecido (PU3 ENV) foi uma barreira bem mais eficiente para retardar o avanço da carbonatação do concreto do que o verniz acrílico envelhecido (AC3 ENV). Os resultados destas variáveis mostraram que o envelhecimento do filme do verniz acrílico compromete drasticamente o seu desempenho como proteção, que passa a ser nulo. O mesmo não ocorre com o verniz poliuretânico, sendo somente diminuído o desempenho do filme como proteção.

A Figura 7 apresenta o gráfico da tendência de evolução do potencial médio de corrosão em função do tempo de exposição à carbonatação dos corpos-de-prova armados, para cada uma das variáveis estudadas. Para poder interpretar os resultados obtidos é apresentada a Tabela 9 que indica as faixas de valores de potencial e os respectivos riscos de ocorrência da corrosão apresentados na ASTM C 876 (14). Os valores de potencial são apresentados referenciados para o eletrodo de calomelano saturado (ECS) e para o eletrodo de hidrogênio (EH).

As Tabelas 10 e 11 apresentam os valores médios de potencial de corrosão de dez corpos-de-prova, juntamente com os respectivos desvios padrões (tais valores foram utilizados para a construção da Figura 7). No 91º dia, é apresentado o aspecto da superfície fraturada de um dos corpos-de-prova ensaiados, evidenciando a ocorrência de corrosão da armadura de aço. Nestas Tabelas, estão destacados em negrito os valores de potencial que representam 90% de possibilidade de ocorrência de corrosão. A Tabela 12 apresenta os mesmos resultados para o concreto sem revestimento.

Observando os resultados para os corpos-de-prova armados revestidos com verniz acrílico e os sem revestimento, apresentados na Figura 7 e nas Tabelas 10 e 12, pode-se verificar:

- o verniz acrílico, recém-aplicado em duas demãos (AC2) e o aplicado em três demãos e envelhecido (AC3 ENV), não conferiu proteção contra a corrosão da barra de aço-carbono. Isto porque, a tendência de evolução destas variáveis não foi diferenciada da variável SP, concreto sem revestimento. No 8º dia de exposição o potencial médio obtido para AC2, AC3 ENV e SP indicava estado ativo de corrosão. Cita-se que valores iguais e mais negativos de potencial de - 291 mV, ECS, representam 90% de probabilidade de ocorrência da corrosão;
- o verniz acrílico recém-aplicado em três demãos (AC3) conferiu proteção contra a corrosão da barra de aço-carbono, sendo que, aparentemente, esta proteção era de baixa eficiência. Isto porque, no 15º dia de exposição ao dióxido de carbono o potencial médio já indicava estado ativo de corrosão. Para a variável SP isto ocorreu no 8º dia de exposição. Comparando os resultados obtidos para o verniz acrílico, pode-se concluir que o filme

resultante da aplicação de três demãos (AC3) atua como barreira de proteção ao concreto, retardando a corrosão na barra. Entretanto, a proteção passa a ser nula quando do envelhecimento do revestimento, conforme indicaram os resultados anteriores.

Observando os resultados para os corpos-de-prova armados revestidos com verniz poliuretânico antipichação e os sem revestimento, apresentados na Figura 7 e nas Tabelas 11 e 12, pode-se verificar:

- o verniz poliuretânico antipichação, recém-aplicado em duas demãos (PU2) e em três demãos (PU3), conferiu proteção contra a corrosão da barra de aço-carbono, sendo que aparentemente a proteção era de elevada eficiência. Isto porque, para ambas as variáveis só foram confirmados potenciais médios que indicavam estado ativo de corrosão no 43º dia de exposição, enquanto para a variável SP isto ocorreu no 8º dia de exposição. Observa-se que devido no 15º dia de exposição alguns corpos-de-prova já apresentam valores mais negativos (próximos a - 291 mV, ECS) acredita-se que, provavelmente entre esta data e a próxima medição, o processo de corrosão se iniciou. A análise somente dos resultados obtidos de potencial para o verniz poliuretânico não possibilitam definir quais das duas variáveis (PU2 ou PU3) teve melhor desempenho como proteção contra corrosão;
- o verniz poliuretânico antipichação aplicado em três demãos na condição envelhecido (PU3 ENV) conferiu proteção contra a corrosão da barra de aço-carbono sendo que, aparentemente, esta proteção era de baixa eficiência. Isto porque, no 15º dia de exposição ao dióxido de carbono o potencial indicava estado ativo de corrosão, enquanto para a variável SP isto ocorreu no 8º dia de exposição. Comparando os resultados de potencial desta variável com os obtidos para as variáveis PU2 e PU3, é nítido que o envelhecimento do filme do verniz, diminui o seu desempenho.

Comparando os resultados para os corpos-de-prova revestidos com verniz acrílico e os revestidos com verniz poliuretânico antipichação, apresentados na Figura 7 e nas Tabelas 10 e 11, pode-se verificar o verniz poliuretânico antipichação aplicado em duas (PU2) e em três (PU3) demãos conferiu uma proteção muito mais eficiente contra a corrosão do que a aplicação do verniz acrílico, sendo que somente a aplicação de três demãos (AC3) deste verniz conferiu certa proteção. Entretanto, a avaliação desta variável envelhecida (AC3 ENV) indicou que há comprometimento no desempenho como proteção contra corrosão, sendo o mesmo nulo. O mesmo não ocorre com o verniz poliuretânico, variável PU3 ENV, que indicou haver uma diminuição no desempenho do filme, sendo que este equivale ao do verniz acrílico aplicado em três demãos (AC3).

Comparando o gráfico da Figura 6 com o da profundidade de carbonatação (Figura 5) pode-se concluir que, de maneira geral, foram obtidos potenciais mais negativos (indicando estado ativo de corrosão) previamente a constatação da total carbonatação do concreto ou em elevada profundidade. Este fato foi atribuído por Araújo (2) ao fato da quebra de passivação da barra de aço ocorrer pouco antes do abaixamento do pH em valores da ordem de 9.

Finalmente, em relação às medidas de potencial, vale a pena comentar os seguintes pontos:

- de maneira geral os desvios padrões foram elevados, sendo em alguns casos muito elevados. Um exame criterioso da superfície fraturada dos corpos-de-prova mostrou que nos casos de desvios muito elevados, a despeito da proteção adicional aplicada na região de inserção dos eletrodos, alguns corpos-de-prova apresentaram penetração preferencial da frente de carbonatação por esta região; sendo esta a causa dos valores muito elevados dos desvios observados;
- após a elevação do potencial para as faixas de alta probabilidade de ocorrência de corrosão, observa-se um decréscimo dos valores do potencial. Isto deve ter ocorrido devido à formação de produtos de corrosão na superfície das barras, fato constatado pela presença de produtos vermelhos de forma generalizada após a fratura dos corpos-de-prova (ver Tabelas 10, 11 e 12).

É importante ressaltar que ambas as técnicas (profundidade de carbonatação em corpos-de-prova não-armados e medição do potencial de corrosão em corpos-de-prova armados) levaram à mesma conclusão a respeito do desempenho relativo dos vernizes estudados.

3.2.1 Ensaio acelerado de exposição ao cloreto de sódio

A Tabela 13 mostra os resultados obtidos por análise química do teor de cloreto para as diferentes profundidades para todas as variáveis estudadas obtidos com corpos-de-prova não-armados. Na dissertação de mestrado de Araújo (2) foi constatada que os teores de cloreto, para a profundidade de 5 mm a 10 mm no concreto, representam melhor a eficiência da barreira, já que a profundidade de 0 mm a 5 mm pode sofrer lixiviação. Assim sendo, com os valores do teor de cloreto para a profundidade de 5 mm a 10 mm foi construída a Figura 8. Isto foi feito para facilitar a discussão.

Observando os resultados apresentados na Figura 8, pode-se verificar que o verniz acrílico, recém-aplicado em duas demãos (AC2) e em três demãos (AC3) e envelhecido em três demãos (AC3 ENV), conferiu pouca proteção contra a contaminação por cloretos. Isto porque, a evolução de cada uma destas variáveis não foi expressivamente diferenciada da apresentada pela variável SP, concreto sem revestimento. Na Tabela 13, pode ser observado que já no 2º ciclo de exposição todas estas variáveis já apresentavam teores de cloreto superiores ao limite normalizado de 0,4%. No 5º ciclo de exposição, para a profundidade de 15 mm a 20 mm, este limite já era superado, indicando que já poderia haver altos teores de cloreto na superfície da barra de aço.

Comparando os resultados para os corpos-de-prova revestidos com verniz poliuretânico antipichação e os sem revestimento, apresentados na Figura 8, pode-se verificar que o verniz poliuretânico antipichação, recém-aplicado em duas demãos (PU2) e em três demãos (PU3) e envelhecido em três demãos (PU3 ENV), conferiu proteção contra a contaminação por cloretos, sendo esta aparentemente de elevada eficiência, já que durante todo o período de ensaio foram mantidos baixos teores de cloreto, diferentemente do que ocorreu para as outras variáveis. Na Tabela 13, pode ser observado que até o 5º ciclo de exposição as variáveis do verniz poliuretânico apresentavam, para todas as profundidades, teores bem inferiores ao limite de 0,4%.

Comparando o desempenho dos dois vernizes estudados, pode-se verificar que o verniz poliuretânico antipichação, recém-aplicado em duas demãos (PU2) e em três demãos (PU3) e envelhecido em três demãos (PU3 ENV), conferiu uma proteção muito mais eficiente contra o ingresso de cloreto do que as variáveis do verniz acrílico. Devido todas as variáveis do verniz poliuretânico antipichação apresentaram desempenho similar, concluí-se que o filme do verniz mesmo envelhecido é um filme eficiente como barreira.

A Figura 9 apresenta o gráfico da tendência de evolução do potencial médio de corrosão em função do tempo de exposição à névoa salina, para cada uma das variáveis estudadas. As Tabelas 14 e 15 apresentam os valores médios de potencial de corrosão, juntamente com os respectivos desvios padrões (tais valores foram utilizados para a construção da Figura 9). No 11º ciclo, é apresentado o aspecto da superfície fraturada de um dos corpos-de-prova ensaiados após aspersão com nitrato de prata, evidenciando a ocorrência de corrosão da armadura de aço. Cabe esclarecer que com a aspersão da solução de nitrato de prata no concreto fraturado há a formação de precipitado branco de cloreto de prata, na camada de maior contaminação com cloreto. Na camada de baixa contaminação há reação do nitrato de prata com os íons hidroxila presente na pasta, com formação de precipitado de óxido de prata que tem cor marrom escuro (2). Nestas Tabelas, estão destacados em negrito os valores de potencial que representam 90% de possibilidade de ocorrência de corrosão.

Observando os resultados dos corpos-de-prova revestidos com verniz acrílico e dos sem revestimento, apresentados na Figura 9 e nas Tabelas 14 e 16, pode-se verificar que o verniz acrílico, aplicado em duas demãos (AC2) e em três demãos (AC3), conferiu uma certa proteção contra a corrosão. Isto porque, a evolução destas variáveis foi diferenciada da apresentada pela variável SP, concreto sem revestimento, que apresentou estado ativo de corrosão (valores mais negativos do que - 291 mV, ECS) no 5º ciclo de exposição, enquanto para a variável AC3 isto ocorreu no 7º ciclo de exposição e para a variável AC2 não foi obtido, ao longo de todo o ensaio, valores médios mais negativos do que - 291 mV, ECS. O verniz acrílico, aplicado em três demãos e envelhecido (AC3 ENV) não conferiu proteção contra a corrosão. Isto porque, a evolução desta variável foi similar da apresentada pela variável SP, concreto sem revestimento, sendo para ambas foram obtidos valores que indicavam estado ativo de corrosão no 5º ciclo de exposição. Portanto, o filme do verniz acrílico perde a capacidade de proteger quando do seu envelhecimento.

Comparando os resultados para os corpos-de-prova revestidos com verniz poliuretânico antipichação e os sem revestimento, apresentados na Figura 9 e nas Tabelas 15 e 16, pode-se verificar que, tanto quando recém-aplicado em duas demãos (PU2) e em três demãos (PU3) quando envelhecido (PU3 ENV), este verniz confere uma efetiva proteção contra a corrosão, sendo esta proteção aparentemente de elevada eficiência, já que durante todo o período de ensaio os valores médios obtidos de potencial indicavam estado passivo de corrosão, enquanto para a variável SP foi constatada a possibilidade de a corrosão ocorrer na barra a partir do no 5º ciclo de exposição. Lembra-se que os corpos-de-prova da variável PU3 ENV foram expostos durante 30 dias à água de condensação e aos raios ultravioleta na câmara de intemperismo, para causar um certo envelhecimento no filme.

Cabe chamar a atenção novamente aos elevados desvios dos valores de potenciais de corrosão. À semelhança do que foi discutido para o caso da profundidade de carbonatação,

neste caso também foi verificada penetração preferencial de cloretos pela região de inserção dos eletrodos, sendo este fato muito mais significativo para o caso de verniz acrílico. Muito provavelmente, a camada de verniz poliuretano presente sob a tinta epóxi e que se mostrou uma efetiva barreira a penetração de cloretos, constituiu uma barreira adicional à da tinta epóxi. De qualquer maneira, fica o alerta que o preparo de corpos-de-prova com eletrodos embutidos deve ser aperfeiçoado. Ressalte-se que, mesmo com os elevados valores de desvios, as medidas de potencial foram eficientes para diferenciar o desempenho de ambos os vernizes.

4. CONCLUSÃO

Todos os ensaios, tanto os de caracterização como os de desempenho, indicaram claramente a superioridade do verniz poliuretano antipichação em relação ao verniz acrílico tradicionalmente utilizado para a proteção de superfícies de concreto aparente, destacando-se:

- maior aderência ao concreto;
- maior flexibilidade;
- maior teor de sólidos, o que permite a obtenção de espessuras maiores de filme seco para o mesmo consumo do produto líquido (por volume);
- menor permeabilidade ao vapor d'água e ao dióxido de enxofre;
- desempenho melhor como barreira de proteção, retardando o avanço da carbonatação e a ocorrência da corrosão. O envelhecimento do verniz provoca uma perda na sua capacidade de proteção, que passa a ser similar ao desempenho do verniz acrílico recém-aplicado;
- desempenho melhor como barreira de proteção contra o ingresso de cloreto e, consequentemente, contra a ocorrência da corrosão na barra de aço. Embora fosse esperado que, igualmente para o ensaio de carbonatação, o envelhecimento do filme provocasse uma perda na sua eficiência como proteção, isto não ocorreu. Este fato, possivelmente, é devido à estrutura do filme do verniz, que deve ter maior resistência a penetração da água líquida (contaminada com cloreto) do que do gás carbônico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SCHWAMBORN, B. Surface protection systems for reinforced concrete structures. In: DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS, 6., 1993. Omiya. **Proceedings...** London: E & FN Spon, 1993. p. 844-855.
2. ARAUJO, Adriana de. **Estudo para o estabelecimento de metodologia de seleção de vernizes na proteção ao concreto armado contra a penetração de agentes agressivos.** 2004. 391p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Tecnologia e Construção de Edifícios.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10545**: tintas – determinação da flexibilidade. Rio de Janeiro, 1988. 5 p.

4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. 4 p.
5. ARAUJO, Adriana de; PANOSSIAN, Zehbour. Técnicas eletroquímicas para avaliação de pinturas de proteção contra corrosão nas estruturas de concreto. In: 26th Brazilian Corrosion Congress; 9 th Ibero American Congress of Corrosion and Protection; 6 th NACE Latin-American Region Corrosion Congress; 13 th Photography Contest Corrosion and Material Degradation; 26 th Industrial Technical Exposition and the 6th - LATINCORR'2006 Brazil, 2006.
6. TANGO, C. E. S. Concreto: mistura sem mistério. **Téchne**. n. 4, maio/ jun., 1993. p. 20-23.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecido – determinação da absorção de água sobre pressão – índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987. 5 p.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8204**: concreto endurecido – determinação da resistividade elétrica volumétrica. Rio de Janeiro, 1985. 14 p.
9. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING & MATERIALS. **ASTM G 154**: standard practice for operating fluorescent light apparatus for UV exposure of nonmetallic materials. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 2000. 9 p.
10. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING & MATERIALS. **ASTM B 117**: standard practice for operating salt spray (Fog) apparatus. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1997. 8 p.
11. HEWLETT, P. C. Method of protecting concrete: coatings and linings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 1990. Dundee. **Proceedings...** Cambridge: E. & F.N. SPON, 1990. v.1, p. 105-134.
12. LEEMING, M. Surface treatments for the protection of concrete. In: PROTECTION OF CONCRETE, 1990. Dundee. **Proceedings...** Cambridge: E. & F.N. SPON, 1990. v.1, p. 135-148.
13. BASSI, R.; GARSTON; HURLEY, S. A. Selection of coatings systems and international tests for concrete: a European view. **Journal of Protective Coating & Linings**, v. 20, n. 1, p. 56-62, Jan. 2003.
14. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING & MATERIALS.**ASTM C 876**: standard method for half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1999. 6 p.
15. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING & MATERIALS. **ASTM D 2621**: Standard test method for infrared identification of vehicle solids from solvent-reducible paints. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 2000. 26 p.
16. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING & MATERIALS. **ASTM D 2369**: standard test method for volatile content of coatings. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 2002. 5 p.

17. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING & MATERIALS. **ASTM D 2697**: standard test method for volume nonvolatile matter in clear or pigmented coatings. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1986. 3 p.
18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5849**: tintas – determinação de viscosidade pelo Copo Ford. São Paulo, 1986. 5 p.
19. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9558**: tintas – determinação do tempo de secagem. Rio de Janeiro, 1986. 2 p.
20. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING & MATERIALS. **ASTM D 4414**: standard practice for measurement of wet film thickness by notch gages. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 2001. 3 p.
21. INTERNACIONAL STANDARD. **ISO 7783-2**: paints and varnishes – coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete. Part 2: Determination and classification of water-vapor transmission rate (permeability). International Organization for Standardization: Switzerland, 1999. 7 p.
22. BRITISH STANDARD. **BS EN 1062-6**: paints and varnishes – coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete – Determination of carbon dioxide permeability. BSI -British Standards Institution: London, 2002. 13 p.
23. DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. 1995. DIN EN 1520: prefabricated reinforced components of lightweight aggregate concrete with open structure. Berlin. 86 p.
24. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING & MATERIALS. **ASTM D 4541**: standard test method for pull-of strength of coating using portable coating testers. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1995. 11 p.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa que originou este trabalho.

Tabela 1 - Ensaios de caracterização

Ensaio	Procedimento
Caracterização de verniz líquido	
Identificação da resina	ASTM D 2621 (15)
Teor de sólidos por massa	ASTM D 2369 (16)
Teor de sólidos por volume	ASTM D 2697 (17)
Viscosidade	NBR 5849 (18)
Tempo de secagem	NBR 9558 (19)
Espessura do filme do filme úmido por demão	ASTM D 4414 (20)
Caracterização de verniz em filme livre	
Permeabilidade ao vapor d'água	ISO 7783-2 (21)
Permeabilidade ao dióxido de carbono	BS EN 1062-6 (22)
Caracterização de verniz aplicado sobre material metálico	
Determinação de flexibilidade (dobramento)	NBR 10545 (3)
Determinação de flecha de ruptura (embutimento)	DIN EN ISO 1520 (23)
Caracterização de verniz aplicado sobre material cimentício	
Aderência	ASTM D 4541 (24)
Espessura do filme seco	Método de corte em "V"
Remoção de pichação	Procedimento descrito na dissertação de mestrado de Araújo (2)

Tabela 2 – Relação dos corpos-de-prova preparados para os ensaios de desempenho

Variável	**Descrição**	**Espessura da camada de verniz**	
		Média (μm)	Desvio Padrão (μm)
NCP- AC 2	Corpo-de-prova não-armado pintado com verniz acrílico, aplicado em duas demãos.	31	8
NCP- AC 3	Corpo-de-prova não-armado pintado com verniz acrílico, aplicado em três demãos.	41	7
NCP- AC 3 ENV	Corpo-de-prova não-armado pintado com verniz acrílico envelhecido, aplicado em três demãos.	43	6
NCP- PU 2	Corpo-de-prova não-armado pintado com verniz poliuretânico, aplicado em duas demãos.	51	11
NCP- PU 3	Corpo-de-prova não-armado pintado com verniz poliuretânico, aplicado em três demãos.	60	17
NCP- PU 3 ENV	Corpo-de-prova não-armado pintado com verniz poliuretânico envelhecido, aplicado em três demãos.	65	14
NCP- SP	Corpo-de-prova não-armado sem-pintura	-	-
ACP- AC 2	Corpo-de-prova armado pintado com verniz acrílico, aplicado em duas demãos.	-	-
ACP- AC 3	Corpo-de-prova armado pintado com verniz acrílico, aplicado em três demãos.	-	-
ACP- AC 3 ENV	Corpo-de-prova armado pintado com verniz acrílico envelhecido, aplicado em três demãos.	-	-
ACP- PU 2	Corpo-de-prova armado pintado com verniz poliuretânico, aplicado em duas demãos.	-	-
ACP- PU 3	Corpo-de-prova armado pintado com verniz poliuretânico, aplicado em três demãos.	-	-
ACP- PU 3 ENV	Corpo-de-prova armado pintado com verniz poliuretânico envelhecido, aplicado em três demãos.	-	-
ACP- SP	Corpo-de-prova armado sem-pintura.	-	-

Tabela 3 – Caracterização dos vernizes líquidos

Ensaio		Verniz acrílico	Verniz poliuretânico antipichação
Identificação da resina		Acrílica (poliacrilato com preponderância de uma mistura de polimetacrilato de metila, poliacrilato de butila, pequenas proporções de poliacrilato de metila e polimetacrilato de butila)	Poliuretano (isocianato)
Sólidos por volume		16%	26%
Viscosidade (Copo *Ford*)		11,7 s	12,5 s
Tempo de secagem	**Toque**	30 min	30 min
	Livre de pegajosidade	50 min	1 h
	Endurecida	3 h 30 min	2 h 50 min
	Manuseio*	3 h 40 min	3 h 10 min
	Completamente endurecida	4 h 10 min	4 h 35 min
Espessura do filme úmido por demão		75 μm	75 μm

Tabela 4 – Caracterização dos vernizes em filme livre

Ensaio		Verniz acrílico			Verniz poliuretânico antipichação		
Permeabilidade à H_2O (vapor)	**Corpo-de-prova**	**CP1**	**CP2**	**CP3**	**CP1**	**CP2**	**CP3**
	Espessura média do filme (μm)	146	120	130	116	116	91
	Taxa de transmissão (g/(m^2.dia))	8,06	6,96	9,43	6,69	7,14	7,96
	Taxa de transmissão média (g/(m^2.dia))	8,1			7,26		
	Desvio padrão médio ((g/(m^2.dia))	1,2			0,64		
	Camada equivalente a do ar (m)	0,72	1,01	0,69	1,09	1,02	1,17
	Camada média equivalente a do ar (m)	0,80			1,09		
	Desvio padrão (m)	0,17			0,07		
Permeabilidade ao CO_2	**Corpo-de-prova**	**CP1**	**CP2**	**CP3**	**CP1**	**CP2**	**CP3**
	Espessura média do filme (μm)	123	120	94	79	86	96
	Permeabilidade (g/(m^2.dia))	2,88	2,90	3,90	2,28	2,29	2,40
	Permeabilidade média (g/(m^2.dia))	3,23			2,32		
	Desvio padrão médio ((g/(m^2.dia))	0,58			0,07		
	Camada equivalente a do ar (m)	86	86	64	108,8	108,3	102,9
	Camada média equivalente a do ar	79			106,7		
	Desvio padrão (m)	13			3,3		

Tabela 5 – Resultados de caracterização dos vernizes aplicados sobre substrato metálico

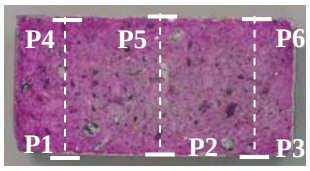
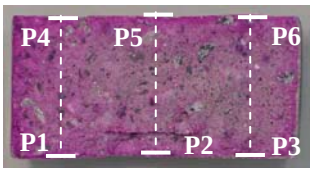
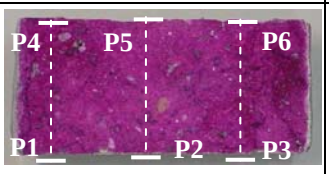
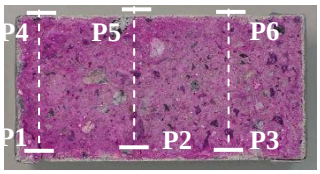
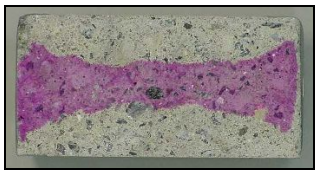
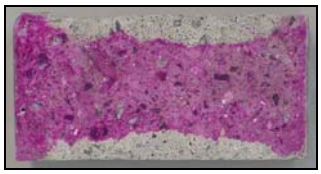
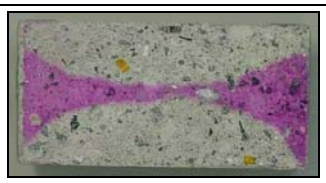
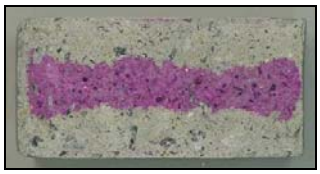
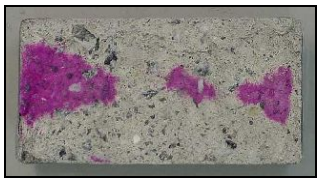
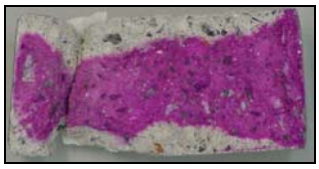
Ensaios		Verniz acrílico				Verniz poliuretânico antipichação			
Espessura do filme seco (μm)	**1 demão**	Espessura média*	8,9	DP**	2,4	Espessura média*	10,0	DP**	1,8
	2 demãos		17,3		3,6		18,8		1,3
	3 demãos		34,9		7,8		32,7		0,7
Flexibilidade (%)	**1 demão**	Espessura média*	8,9	Flexibilidade	11,37	Espessura média*	10,0	Flexibilidade	30,08
	2 demãos		17,3		31,11		18,8		31,97
	3 demãos		34,9		32,23		32,7		32,10
Flecha de ruptura (mm)	**2 demãos**	Espessura média*	18,4 (DP 2,3)	Flecha de ruptura	2,7	Espessura média*	19,2 (DP 1,5)	Flecha de ruptura	7,1
	3 demãos		33,8 (DP 2,5)		3,6		33,6 (DP 1,2)		8,4

**Média de 10 pontos*
***DP – Desvio Padrão*

Tabela 6 – Caracterização dos vernizes aplicados sobre substrato cimentício

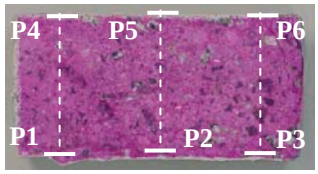
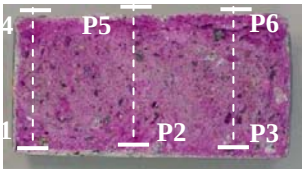
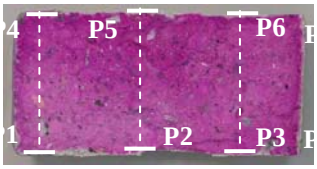
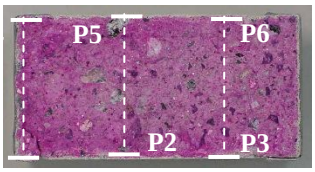
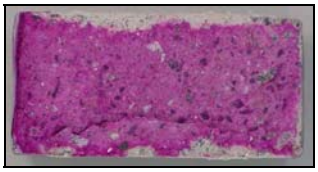
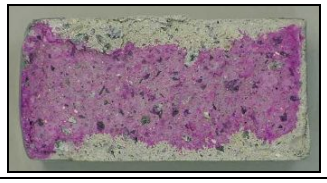
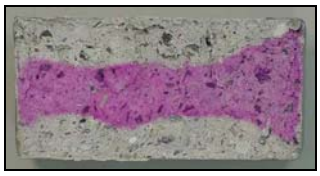
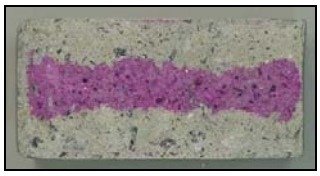
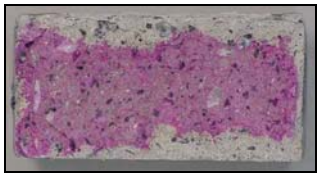
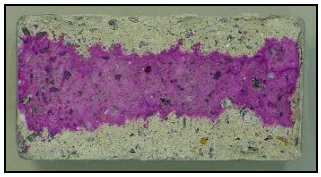
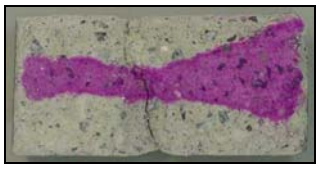
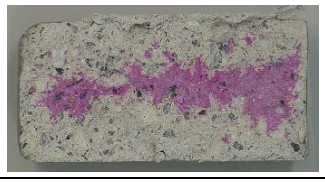
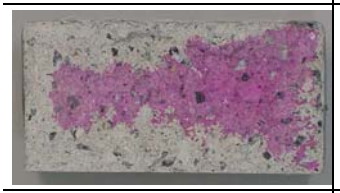
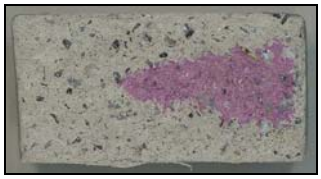
Verniz Acrílico			
Ensaio		**Média de 3 medidas**	**Desvio padrão**
Duas demãos cada uma com 75 μm de filme úmido	Aderência	2,5 MPa	0,6
	Espessura média do filme seco	30,0 μm	3,0
Verniz Poliuretânico Antipichação			
Três demão cada uma com 75 μm de filme úmido	Aderência	3,2 MPa	0,9 MPa
	Espessura média do filme seco	56,0 μm	9,0 μm
Remoção de pichação (verniz aplicado em demãos)		Sem alterações no filme recém-aplicado e no filme envelhecido	

Tabela 7 – Profundidade de carbonatação por aspersão de solução de fenolftaleína nos corpos-de-prova revestidos com verniz acrílico e sem revestimento – exposição ao dióxido de carbono

Profundidade de carbonatação em μm (média/desvio padrão)			
NCP – AC2	**NCP – AC3**	**NCP – AC3 ENV**	**NCP - SP**
			
Ref.* – 1,0/0,0	**Ref.* –** 0,0/0,0	**Ref.* –** 0,5/0,5	**Ref.* –**1,0/0,0
			
8º dia –** 14,8 /1,5	**8º dia** –** 8,8/3,7	**8º dia** – 23,4/2,4**	**8º dia** –** 16,0/2,0
			
15º dia* –** 20,2/4,9	**15º dia*** –** 7,5/4,2	**15º dia*** –** 25,0/0,0	**15º dia*** –** 25,0/0,0
			-
29º dia* –** 25,0/0,0	**29º dia*** –** 15,0/5,0	**29º dia*** –** 25/0	**29º dia*** –** 25,0/0,0
-	-	-	-
43º dia* –** 25,0/0,0	**43º dia*** –** 25,0/0,0	**43º dia*** –** 25,0/0,0	**43º dia*** –** 25,0/0,0

** Ref. = antes do início do ensaio.*
*** Média de três corpos-de-prova.*
**** Resultado de um corpo-de-prova.*

Tabela 8 – Profundidade de carbonatação por aspersão de solução de fenolftaleína nos corpos-de-prova revestidos com verniz poliuretano antipichação e sem revestimento – exposição ao dióxido de carbono

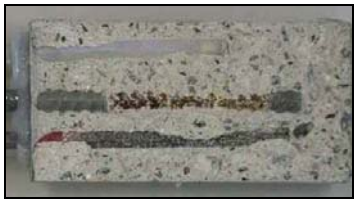
Profundidade de carbonatação (média/desvio padrão)			
NCP – PU2	**NCP – PU3**	**NCP – PU3 ENV**	**NCP - SP**
			
Ref.* – 0,8/0,7	**Ref.*** – 0,8/0,7	**Ref.*** – 0,8/0,7	**Ref.*** –1,0/0,0
			
8º dia** – 7,8 /3,2	**8º dia**** – 8,3/2,2	**8º dia**** – 11,7/2,8	**8º dia**** – 16,0/2,0
			
15º dia*** – 10,7/1,1	**15º dia***** – 14,0/3,6	**15º dia***** – 16,5/4,0	**15º dia***** – 25,0/0,0
			-
29º dia*** – 12,5/3,8	**29º dia***** – 16,7/3,6	**29º dia***** – 25,0/0,0	**29º dia***** – 25,0/0,0
		-	-
43º dia*** – 15,2/4,6	**43º dia***** – 22,3/4,0	**43º dia***** – 25,0/0,0	**43º dia***** – 25,0/0,0
-	-	-	-
61º dia*** – 25,0/0,0	**61º dia** – 25,0/0,0	**61º dia** – 25,0/0,0	**61º***** – 25,0/0,0

** Ref. = antes do início do ensaio.*
*** Média de três corpos-de-prova.*
*** Média de quatro corpos-de-prova.*
**** Resultado de um corpo-de-prova.*

Tabela 9 – Critérios de avaliação do risco de corrosão

Valores de potenciais em relação ao eletrodo hidrogênio	Valores de potenciais em relação ao eletrodo calomelano saturado	Risco de ocorrência de corrosão da armadura
Entre + 300 e + 100 mV	Entre + 59 e - 141 mV	90% de probabilidade de não estar ocorrendo corrosão na armadura
Entre + 100 mV e - 50 mV	Entre - 141 mV e - 291 mV	A ocorrência de corrosão é incerta
Mais negativos que - 50 mV	Mais negativos que - 291 mV	90% de probabilidade de estar ocorrendo corrosão na armadura

Tabela 10 – Potencial de corrosão dos corpos-de-prova revestidos com verniz acrílico – exposição ao dióxido de carbono (média de dez corpos-de-prova)

Potencial de corrosão (mV, ECS)			
Tempo	**NCP – AC2**	**NCP – AC3**	**NCP – AC3 ENV**
1º dia	Média* = -96 Desvio padrão = 34	Média* = -24 Desvio padrão = 11	Média* = -80 Desvio padrão = 43
8º dia	Média* = **-376** Desvio padrão = 208	Média* = -108 Desvio padrão = 88	Média* = **-333** Desvio padrão = 29
15º dia	Média* = **-522** Desvio padrão = 92	Média* = **-398** Desvio padrão = 62	Média* = **-306** Desvio padrão = 20
43º dia	Média* = **-368** Desvio padrão = 62	Média* = **-358** Desvio padrão = 55	Média* = -259 Desvio padrão = 18
61º dia	Média* = -302 Desvio padrão = 42	Média* = -275 Desvio padrão = 14	Média* = -218 Desvio padrão = 22
91º dia	Média* = -273 Desvio padrão = 33	Média* = -252 Desvio padrão = 76	Média* = -139 Desvio padrão = 16
			

** Média de dez corpos-de-prova*
Todos os valores em negrito representam 90% de possibilidade de estarem em processo de corrosão.

Tabela 11 – Potencial de corrosão dos corpos-de-prova revestidos com verniz poliuretano antipichação – exposição ao dióxido de carbono

Potencial de corrosão (mV, ECS)			
Tempo	**NCP – PU2**	**NCP – PU3**	**NCP – PU3 ENV**
1º dia	Média*= -58 Desvio padrão = 15	Média*= -33 Desvio padrão = 23	Media*= -68 Desvio padrão = 37
8º dia	Média*= -198 Desvio padrão = 39	Média*= -121 Desvio padrão = 89	Média* = -138 Desvio padrão = 99
15º dia	Média*= -287 Desvio padrão = 56	Média*= -229 Desvio padrão = 147	Média* = **-297** Desvio padrão = 197
43º dia	Média*= **-380** Desvio padrão = 88	Média*= **-464** Desvio padrão = 87	Média* = **-397** Desvio padrão = 16
61º dia	Média*= **-307** Desvio padrão = 15	Média*= **-396** Desvio padrão = 73	Média* = **-352** Desvio padrão = 18
91º dia	Média*= -236 Desvio padrão = 6	Média*= **-350** Desvio padrão = 57	Média* = -271 Desvio padrão = 44

** Média de dez corpos-de-prova*
Todos os valores em negrito representam 90% de possibilidade de estarem em processo de corrosão.

Tabela 12 – Potencial de corrosão dos corpos-de-prova sem revestimento – exposição ao dióxido de carbono

Potencial de corrosão (mV, ECS)	
Tempo	**NCP – SP**
1º dia	Média*= -44 Desvio padrão = 23
8º dia	Média*= **-438** Desvio padrão = 60
15º dia	Média*= **-497** Desvio padrão = 98
43º dia	Média*= **-341** Desvio padrão = 70
61º dia	Média*= -275 Desvio padrão = 35
91º dia	Média*= -253 Desvio padrão = 58

** Média de dez corpos-de-prova*
Todos os valores em negrito representam 90% de possibilidade de estarem em processo de corrosão.

Tabela 13 – Teor de íons cloreto por análise química dos corpos-de-prova revestidos com verniz acrílico, verniz poliuretânico antipichação e sem revestimento – exposição aos íons cloreto

Variável	Profundidade da coleta de concreto	Teor de cloretos (%)			
		Referência	2º ciclo (CP1)	3º ciclo (CP4)	5º ciclo (CP8)
NCP – AC2	(5 a 10) mm	0,08	0,53	0,70	1,93
	(10 a 15) mm	0,07	0,22	0,65	1,32
	(15 a 20) mm	0,07	0,10	0,33	0,58
NCP – AC3	(5 a 10) mm	0,08	0,51	0,77	1,86
	(10 a 15) mm	0,07	0,28	0,27	1,20
	(15 a 20) mm	0,07	0,10	0,13	0,53
NCP – AC3 ENV	(5 a 10) mm	0,08	0,62	1,14	1,49
	(10 a 15) mm	0,07	0,21	1,00	0,82
	(15 a 20) mm	0,07	0,07	0,58	0,55
NCP – PU2	(5 a 10) mm	0,08	0,06	0,07	0,10
	(10 a 15) mm	0,07	0,05	0,05	0,05
	(15 a 20) mm	0,07	0,06	0,05	0,05
NPU – PU3	(5 a 10) mm	0,08	0,06	0,06	0,09
	(10 a 15) mm	0,07	0,04	0,05	0,05
	(15 a 20) mm	0,07	0,04	0,08	0,03
NCP – PU3 ENV	(5 a 10) mm	0,08	0,10	0,08	0,06
	(10 a 15) mm	0,07	0,10	0,07	0,11
	(15 a 20) mm	0,07	0,15	0,06	0,06
NCP – SP	(5 a 10) mm	0,08	1,02	1,00	2,24
	(10 a 15) mm	0,07	0,62	1,16	1,85
	(15 a 20) mm	0,07	0,22	0,73	0,62

Tabela 14 – Potencial de corrosão dos corpos-de-prova revestidos com verniz acrílico – exposição à câmara de névoa salina

Potencial de corrosão (mV, ECS)			
Tempo	**NCP – AC2**	**NCP – AC3**	**NCP – AC3 ENV**
1º ciclo	Média*= -162 Desvio padrão = 16	Média** = -160 Desvio padrão = 14	Média* = -200 Desvio padrão = 20
2º ciclo	Média*= -216 Desvio padrão = 109	Média** = -244 Desvio padrão = 140	Média* = -180 Desvio padrão = 30
5º ciclo	Média*= -221 Desvio padrão = 147	Média** = -256 Desvio padrão = 157	Média* = **-514** Desvio padrão = 119
6º ciclo	Média*= -246 Desvio padrão = 149	Média** = -254 Desvio padrão = 162	Média* = **-527** Desvio padrão = 103
7º ciclo	Média*= -262 Desvio padrão = 164	Média** = **-317** Desvio padrão = 150	Média* = **-485** Desvio padrão = 132
8º ciclo	Média*= -262 Desvio padrão = 168	Média** = **-350** Desvio padrão = 163	Média* = **-500** Desvio padrão = 84
9º ciclo	Média*= -205 Desvio padrão = 162	Média** = **-306** Desvio padrão = 186	Média* = **-490** Desvio padrão = 46
10º ciclo	Média*= -236 Desvio padrão = 156	Média** = **-410** Desvio padrão = 41	Média* = **-550** Desvio padrão = 67
11º ciclo	Média*= -251 Desvio padrão = 149	Média** = **-446** Desvio padrão = 19	Média* = **-534** Desvio padrão = 78

** Média de quatro corpos-de-prova*
*** Média de dez corpos-de-prova.*
Todos os valores em negrito representam 90% de possibilidade de estarem em processo de corrosão.

Tabela 15 – Potencial de corrosão dos corpos-de-prova revestidos com verniz poliuretano antipichação – exposição à câmara de névoa salina

Potencial de corrosão (mV, ECS)			
Tempo	**NCP – PU2**	**NCP – PU3**	**NCP – PU3 ENV**
1º ciclo	Média*= -168 Desvio padrão = 12	Média** = -168 Desvio padrão = 12	Média* = -125 Desvio padrão = 38
2º ciclo	Média*= -141 Desvio padrão = 11	Média** = -153 Desvio padrão = 34	Média* = -192 Desvio padrão = 215
5º ciclo	Média*= -139 Desvio padrão = 36	Média** = -150 Desvio padrão = 52	Média* = -222 Desvio padrão = 233
6º ciclo	Média*= -143 Desvio padrão = 34	Média** = -131 Desvio padrão = 39	Média* = -220 Desvio padrão = 243
7º ciclo	Média*= -125 Desvio padrão = 26	Média** = -132 Desvio padrão = 51	Média* = -234 Desvio padrão = 242
8º ciclo	Média*= -123 Desvio padrão = 32	Média** = -163 Desvio padrão = 61	Média* = -266 Desvio padrão = 254
9º ciclo	Média*= -100 Desvio padrão = 20	Média** = -107 Desvio padrão = 13	Média* = -178 Desvio padrão = 175
10º ciclo	Média*= -108 Desvio padrão = 15	Média** = -116 Desvio padrão = 13	Média* = -288 Desvio padrão = 246
11º ciclo	Média*= -112 Desvio padrão = 14	Média** = -116 Desvio padrão = 14	Média* =-219 Desvio padrão = 222

** Média de quatro corpos-de-prova*

*** Média de dez corpos-de-prova.*

Todos os valores em negrito representam 90% de possibilidade de estarem em processo de corrosão.

Tabela 16 – Potencial de corrosão dos corpos-de-prova sem revestimento – exposição à câmara de névoa salina

Potencial de corrosão (mV, ECS)	
Tempo	**NCP – SP**
1º ciclo	Média*= -187 Desvio padrão = 53
2º ciclo	Média*= -269 Desvio padrão = 104
5º ciclo	Média*= **-404** Desvio padrão = 72
6º ciclo	Média*= **-402** Desvio padrão = 85
7º ciclo	Média*= **-415** Desvio padrão = 65
8º ciclo	Média*= **-417** Desvio padrão = 63
9º ciclo	Média*= **-393** Desvio padrão = 73
10º ciclo	Média*= **-407** Desvio padrão = 77
11º ciclo	Média*= **-403** Desvio padrão = 70

** Média de dez corpos-de-prova*
Todos os valores em negrito representam 90% de possibilidade de estarem em processo de corrosão.

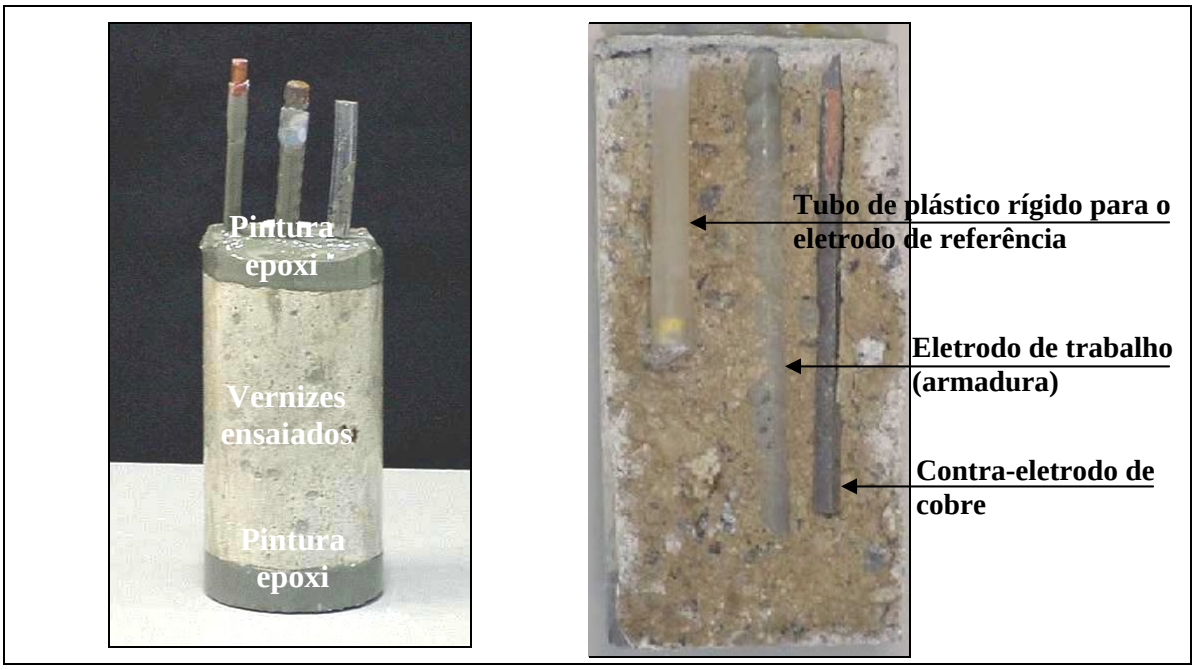


Figura 1 - Corpo-de-prova armado, vista externa e fraturado

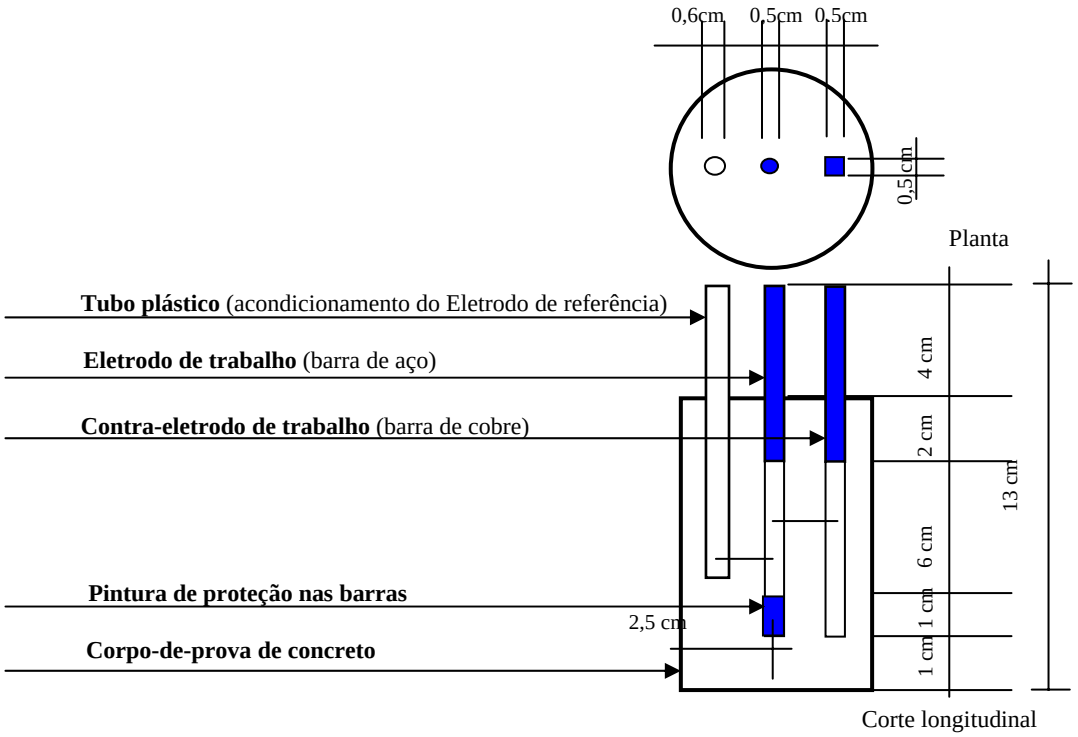


Figura 2 – Detalhes construtivos do corpo-de-prova armado

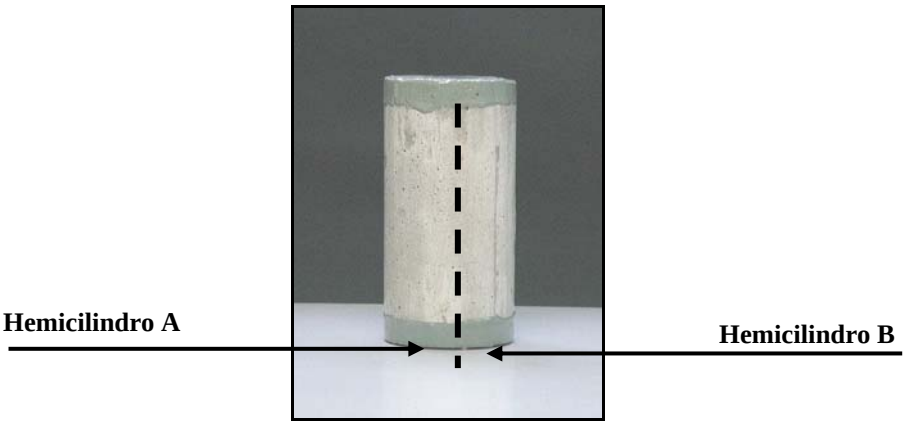


Figura 3 – Corpo-de-prova não-armado executado

Figura 4 – Moldagem dos corpos-de-prova de concreto

Figura 5 – Aplicação dos vernizes

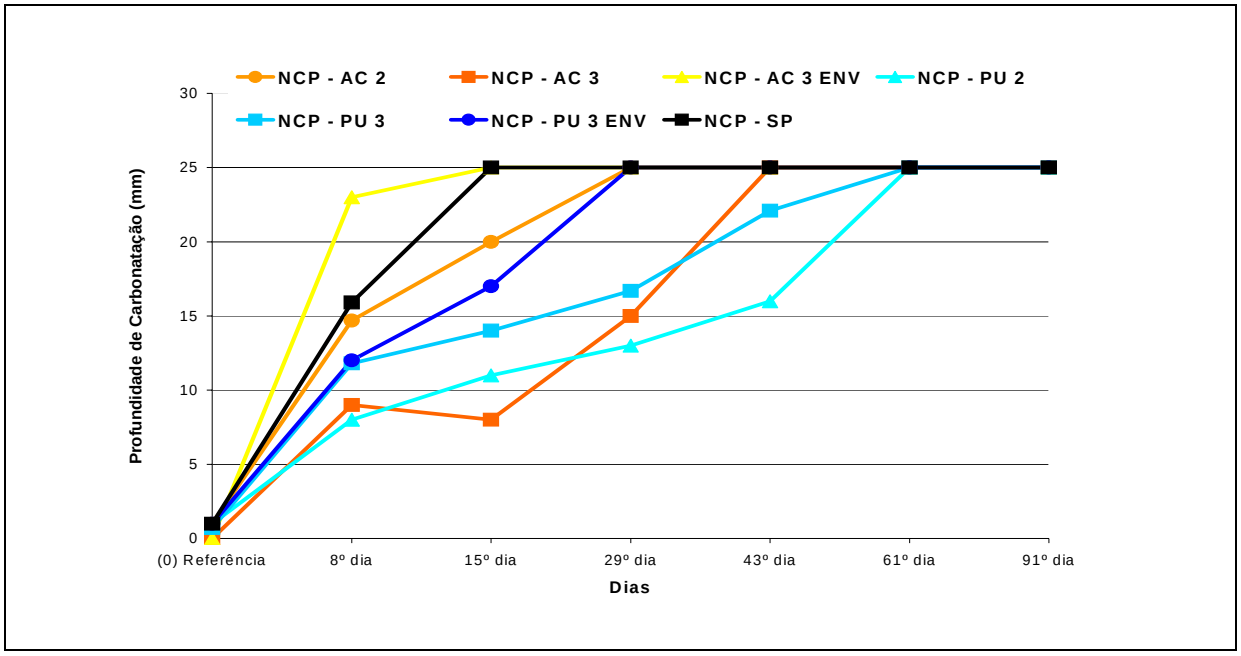


Figura 6 – Gráfico da profundidade média de carbonatação por aspersão de solução de fenolftaleína em corpos-de-prova revestidos com verniz acrílico e verniz poliuretânico antipichação e sem revestimento – exposição ao dióxido de carbono

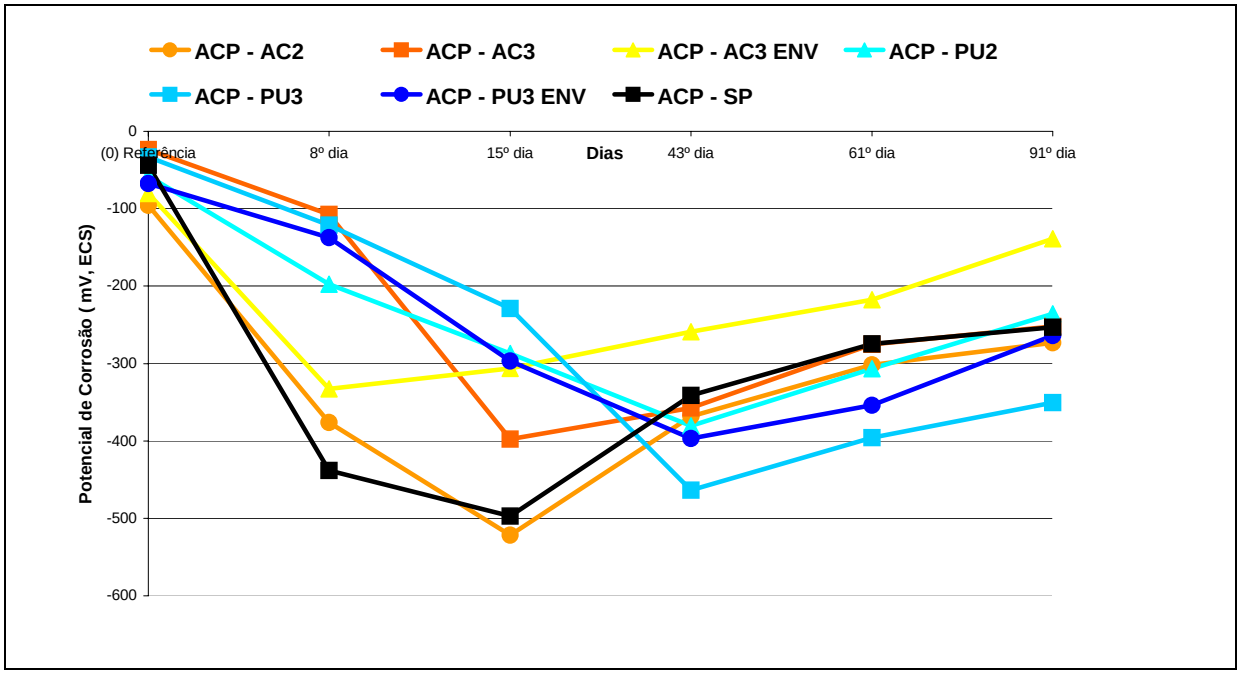


Figura 7 – Gráfico da evolução do potencial médio de corrosão nos corpos-de-prova revestidos com verniz acrílico e verniz poliuretânico antipichação e sem revestimentos – exposição ao dióxido de carbono.

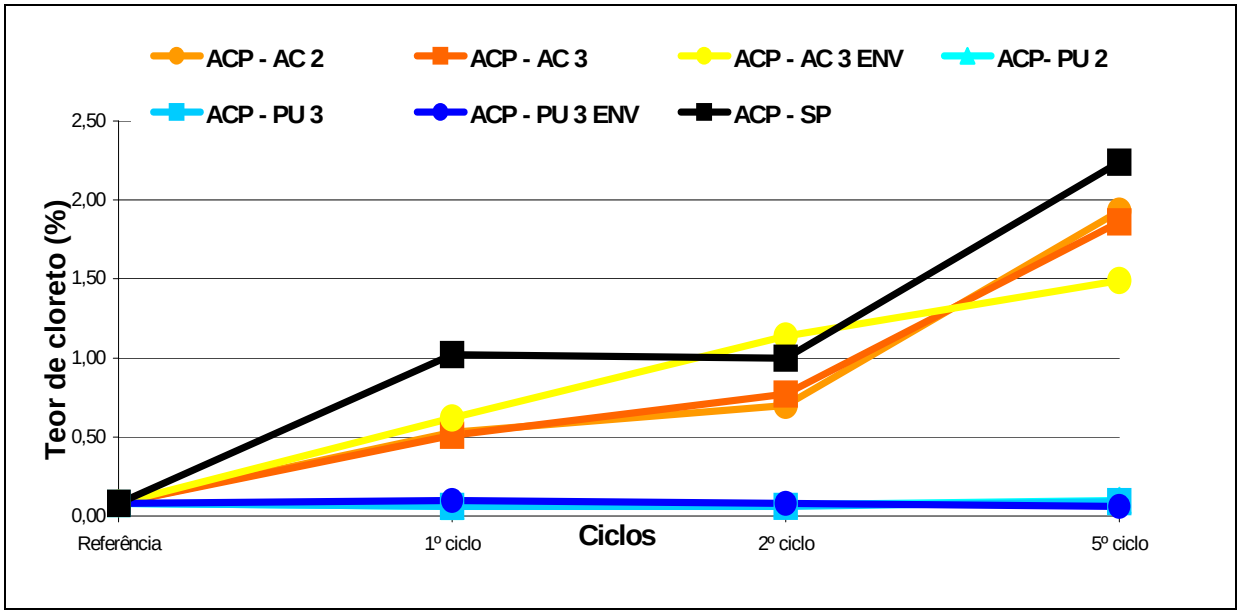


Figura 8 – Gráfico da evolução do ingresso de cloreto por análise química nos corpos-de-prova revestidos com verniz acrílico e verniz poliuretânico antipichação e sem revestimento – exposição aos íons cloreto

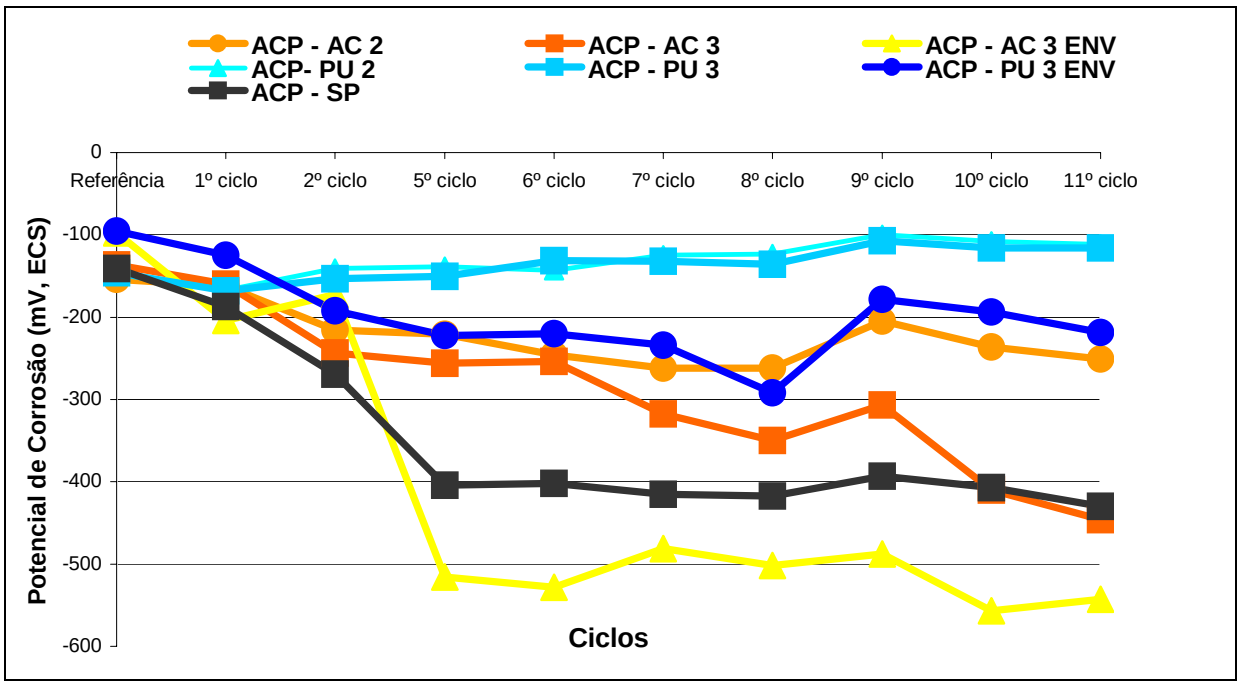


Figura 9 – Gráfico da evolução do potencial médio de corrosão nos corpos-de-prova revestidos com verniz acrílico e verniz poliuretânico antipichação e sem revestimentos – exposição aos íons cloreto