



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

**MANUELA QUEIROZ OLIVEIRA**

**ESTUDO DA EFICÁCIA DOS DIFERENTES TIPOS DE  
MATERIAIS DE PROTEÇÃO DE SUPERFICIAL APLICADOS EM  
ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Recife, PE  
2011



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO**  
**Programa de Pós - graduação em Engenharia Civil**

**MANUELA QUEIROZ OLIVEIRA**

**ESTUDO DA EFICÁCIA DOS DIFERENTES TIPOS DE  
MATERIAIS DE PROTEÇÃO DE SUPERFICIAL APLICADOS EM  
ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Eliana Cristina Barreto Monteiro

Recife, PE  
2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Universidade de Pernambuco – Recife

Oliveira, Manuela Queiroz

O48e      Estudo da eficácia dos diferentes tipos de materiais de  
proteção superficial aplicados em estruturas de concreto /  
Manuela Queiroz Oliveira. - Recife: UPE, Escola Politécnica,  
2011.  
128 f.

Orientadora: Dra Eliana Cristina Barreto Monteiro  
Dissertação (Mestrado - Construção Civil) Universidade  
de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-Gradua  
ção em Engenharia Civil, 2011.

1. Proteção superficial 2. Estrutura de concreto  
3. Materiais de reparo 4. Construção civil.- Dissertação  
I. Monteiro, Eliana Cristina Barreto (orient.) II. Universidade  
de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção  
Civil. III. Título.

CDU 624.01

**MANUELA QUEIROZ OLIVEIRA**

**ESTUDO DA EFICÁCIA DOS DIFERENTES TIPOS DE MATERIAIS DE  
PROTEÇÃO SUPERFICIAL APLICADOS EM ESTRUTURAS DE  
CONCRETO.**

**BANCA EXAMINADORA:**

**Orientador:**

*Eliana Monteiro*

Profª. Dra. Eliana Cristina Barreto Monteiro  
Universidade de Pernambuco

**Examinadores:**

*Arnaldo Cardim de Carvalho Filho*

Profº. Dr. Arnaldo Cardim de Carvalho Filho  
Examinador Interno  
Universidade de Pernambuco

*Marcelo Henrique Farias de Medeiros*

Profº. Dr. Marcelo Henrique Farias de Medeiros  
Examinador Externo  
Universidade Federal do Paraná

Recife, PE

2011

## DEDICATÓRIA

À minha mãe Marly, por todo o amor e esforço que tem dispendido por mim na conquista dos meus sonhos.

Ao meu filho João Pedro, que é a luz da minha vida.

À minha querida vó Docarmo (IN MEMORIAN) que sempre acreditou em mim.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pois sem ele nada sou e nada poderia ter conseguido.

Em especial a Professora Dra. Eliana Monteiro, pela imprescindível orientação dedicada a este trabalho, vinculada a profundos laços de amizade, que se fizeram presentes em todos esses anos.

Aos meus pais, Darcio(In memorian) e Marly, que sempre investiram em mim o amor e a confiança tão necessários durante as minhas escolhas.

Aos meus irmãos, Colbert e Camila, pelo eterno companheirismo e amizade.

À minha Vó Maria Docarmo(In memorian) que sempre esteve ao meu lado e sempre acreditou em mim.

Aos mestrandos Kalline, Aninha, Fábio e Marilin que foram grandes companheiros de mestrado, que sempre me incentivaram a continuar lutando nos momentos difíceis enfrentados no transcorrer da realização deste trabalho e de formas diferentes deram forças para sua conclusão.

A equipe do PEC pelas facilidades concedidas no transcorrer da dissertação, sem as quais a realização desse trabalho não seria possível. Em especial a Lúcia, que sempre me atendeu com toda a sua paciência e tranquilidade.

Ao Laboratorista, Fábio, que me ajudou durante os procedimentos experimentais nos Laboratórios de Construção Civil da Escola Politécnica.

Aos Doutores Bernardo e Sérgio Monteiro pelo apoio e ensinamentos durante a etapa do mestrado realizada na ENTEL.

Aos membros da banca examinadora de qualificação (Dr. Ângelo Just e Dra. Yêda Vieira) pelas sugestões e conselhos valiosos para a conclusão do trabalho.

Ao professor Marcelo Medeiros, pelas consultorias via e-mail. Obrigada, sobretudo, pelas dicas de como realizar o procedimento experimental. Sua tese é uma grande ferramenta de consulta para quem deseja continuar trabalhando nessa área.

À Equipe do grupo Recuperar, em especial aos bolsistas de iniciação científica, João, Eduardo, Ranielli, Wendel, Hugo e Alexandre pela colaboração e pelas risadas dadas nas tardes compartilhadas durante a realização do procedimento experimental.

A Universidade de Pernambuco, na qual tive a honra de fazer o curso de graduação, pelo conhecimento adquirido e que, apesar das dificuldades, insiste em sobreviver e formar bons profissionais em todas as áreas.

À FACEPE pelo apoio financeiro.

E a todos que colaboraram direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

## EPÍGRAFE

“Entrega teu caminho ao Senhor, confia nele e o mais ele  
fará”

Salmos (37:5)

## RESUMO

Comumente são verificados inúmeros casos de estruturas de concreto armado que apresentam problemas, sejam eles estruturais, estéticos ou funcionais. A comunidade técnico-científica no decorrer da última década vem realizando amplas discussões sobre a durabilidade das estruturas de concreto, o que já proporcionou grandes avanços no que diz respeito ao assunto. As estruturas não devem somente possuir a capacidade de resistir aos esforços que sobre ela agem, mas devem também ser capaz de suportar a ação de agentes agressivos presentes no meio ambiente, os quais têm sido os principais causadores de manifestações patológicas nas mesmas. Um dos principais problemas encontrados em estruturas de concreto armado atualmente é a corrosão, causada geralmente pelo ingresso de agentes agressivos advindos do meio externo. Esta constatação impulsionou o desenvolvimento de produtos que tem como finalidade evitar a penetração desses agentes, entre eles está o tratamento de superfície do concreto. Dentro deste contexto, procurou-se analisar três tipos de sistemas de proteção de superfície (hidrofugante, bloqueador de poros e formador de película), usualmente aplicados em estruturas de concreto armado localizadas em ambiente marinho. Neste trabalho optou-se por considerar como independentes as seguintes variáveis: Grupos de proteção – hidrofugante de superfície, formador de película e bloqueador de poros – [referência (concreto sem proteção) + 3 sistemas de proteção], Estado do substrato de concreto a ser protegido (contaminado e não contaminado por cloretos), e a Microestrutura do concreto – variação do fator a/c (0,4 e 0,7). Foram utilizados ensaios de absorção de água, por imersão e por capilaridade, e ensaios acelerados de corrosão, de modo a avaliar de forma comparativa o desempenho dos materiais. O aglomerante hidráulico utilizado para a confecção do substrato dos corpos-de-prova foi o CPII Z-32, um cimento composto com pozolana, escolhido por ser o cimento mais utilizado na região. O agregado miúdo utilizado no experimento foi uma areia fina, oriunda de rio e foi utilizada água potável, fornecida pela Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA. O aço utilizado foi o CA-60 com bitola de 5,0mm, obtido por trefilação de fio máquina e são produzidos segundo as especificações da NBR 7480 (ABNT, 1996). Com o procedimento adotado, ficaram claras as vantagens do uso do produto de proteção de superfície Hidrofugante nas estruturas. Evidenciou-se ainda, que o Hidrofugante apresentou um desempenho comparativamente melhor que os demais materiais.

**Palavras-chave:** corrosão, hidrofugantes, formadores de película, bloqueador de poros, absorção de água.



## ABSTRACT

There are numerous causes for reinforced concrete structures to present structural, aesthetic, or functional problems. The scientific community has been conducting extensive discussions about the durability of concrete structures over the last decade and has achieved great advances regarding concrete surface durability. Structures must possess not only the capability to resist loads, but must also be able to resist the action of aggressive agents present in the environment, which can be the main cause of distress. Nowadays one of the main problems encountered in concrete structures is corrosion, usually caused by the ingress of aggressive agents from the environment. This phenomenon has led to the development of products that aim to prevent the penetration of aggressive agents, including surface treatments for concrete. Within this context, this paper intends to analyze three types of surface protection systems (water repellent, blocking pores and film-forming), usually applied in reinforced concrete structures located in marine environment. In this work, it was chosen to consider as independent variables: protection groups - water repellent surface, film-forming and blocking pores - [reference (concrete unprotected) + 3 protection systems)], the condition of the concrete substrate to be protected (contaminated and not contaminated by chlorides), and the microstructure of concrete - variations of the factor  $a / c$  (0,4 and 0,7). Water absorption by immersion and capillarity tests were performed, in addition to accelerated corrosion tests, in order to comparatively evaluate the performance of the studied materials. The hydraulic binder used for creating a substrate of the specimens was the CII-Z 32, a composite cement with pozzolan, chosen for being the most widely used cement in the region. The fine aggregate used in the experiment was a fine river sand, and potable water was also used, supplied by the Pernambuco Sanitation Company - COMPESA. The steel used was CA-60 with 5.0 mm in diameter produced according to specifications of NBR 7480 (ABNT, 1996). With the procedure adopted, the advantages of using the water repellent as a surface product protection in the structures was evident. It was also showed that the water repellent performance was comparatively better than other studied materials.

**Keywords:** corrosion, water repellent, film forming, pore block, water absorption

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Modelo de equilíbrio de uma estrutura de concreto (modificada por Selinger, 1992 e CEB, 1989).....	21
Figura 2.2 – Representação do avanço da frente de carbonatação (TULA , 2000).....	24
Figura 2.3 – Deterioração de estrutura de concreto em água do mar (PONTES, 2006, adaptado do CEB - FIP, Bulletin 183, 1992).....	25
Figura 4.1 – Grupos de tratamentos de superfície para concreto; (a) formadores de película (b) bloqueadores de poros (c) hidrofugantes de superfície (MEDEIROS, 2008, adaptado de BENTUR; DIAMOND; BERKE, 1997).....	33
Figura 4.2 – Interação entre a água e a superfície de concreto com e sem hidrofugante de superfície (HELENE, 2000).....	35
Figura 5.1 – Composição granulométrica do agregado miúdo.....	43
Figura 5.2 – Corte vertical e horizontal do corpo de prova (MONTEIRO, 1996).....	51
Figura 6.1 – Absorção por imersão (%) para corpos-de-prova referência.....	61
Figura 6.2 – Absorção por imersão (%) para o sistema de proteção de superfície hidrofugante.....	62
Figura 6.3 – Absorção por imersão (%) para o sistema de proteção de superfície formador de película.....	63
Figura 6.4 – Absorção por imersão (%) para o sistema de proteção de superfície bloqueador de poros.....	64
Figura 6.5 – Comparação dos resultados da absorção por imersão (%) para o referência e o hidrofugante.....	65
Figura 6.6 - Comparação dos resultados da absorção por imersão (%) para o referência e o formador de película.....	65
Figura 6.7 - Comparação dos resultados da absorção por imersão (%) para o referência e o bloqueador de poros.....	66
Figura 6.8 - Comparação dos resultados da absorção por imersão (%) para o referência e o hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros para a relação a/c 0,4.....	67
Figura 6.9 - Comparação dos resultados da absorção por imersão (%) para o referência e o hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros para a relação a/c 0,7.....	68
Figura 6.10 – Valores médios de absorção por imersão para cada tipo de produto em função da relação a/c.....	69
Figura 6.11 – Absorção por capilaridade (%) para corpos-de-prova referência.....	70
Figura 6.12 – Absorção por capilaridade (%) para o sistema de proteção de superfície hidrofugante.....	71
Figura 6.13 – Absorção por capilaridade (%) para o sistema de proteção de superfície formador de	

película.....	72
Figura 6.14 – Absorção por capilaridade (%) para o sistema de proteção de superfície bloqueador de poros.....	73
Figura 6.15 – Comparação dos resultados da absorção por capilaridade (%) para o referência e o hidrofugante.....	73
Figura 6.16 - Comparação dos resultados da absorção por capilaridade (%) para o referência e o formador de película.....	74
Figura 6.17 - Comparação dos resultados da absorção por capilaridade (%) para o referência e o bloqueador de poros.....	75
Figura 6.18 - Comparação dos resultados da absorção por capilaridade (%) para o referência e o hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros para a relação a/c 0,4.....	75
Figura 6.19 - Comparação dos resultados da absorção por capilaridade (%) para o referência e o hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros para a relação a/c 0,7.....	76
Figura 6.20 – Valores médios de absorção por capilaridade para cada tipo de produto em função da relação a/c.....	77
Figura 6.21 – Absortividade ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$ ) para corpos-de-prova referência.....	78
Figura 6.22 – Absortividade ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$ ) para o sistema de proteção de superfície hidrofugante.....	79
Figura 6.23 – Absortividade ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$ ) para o sistema de proteção de superfície formador de película.....	79
Figura 6.24 Absortividade ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$ ) para o sistema de proteção de superfície bloqueador de poros.....	80
Figura 6.25 – Comparação dos resultados da Absortividade ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$ ) para o referência e o hidrofugante.....	81
Figura 6.26 - Comparação dos resultados da Absortividade ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$ ) para o referência e o formador de película.....	81
Figura 6.27 - Comparação dos resultados da Absortividade ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$ ) para o referência e o bloqueador de poros.....	82
Figura 6.28 - Comparação dos resultados da Absortividade ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$ ) para o referência e o hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros para a relação a/c 0,4.....	83
Figura 6.29 - Comparação dos resultados da Absortividade ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$ ) para o referência e o hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros para a relação a/c 0,7.....	83
Figura 6.30 – Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova referência sem adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	86
Figura 6.31 – Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova com aplicação do hidrofugante e sem adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	86
Figura 6.32 – Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova com aplicação do formador de película e sem adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	87
Figura 6.33 – Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova com aplicação do bloqueador de	

poros e sem adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	88
Figura 6.34 – Comparação dos resultados de Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova referência e os corpos-de-prova com aplicação do formador de Película, sem adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	89
Figura 6.35 - Comparação dos resultados de Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova referência e os corpos-de-prova com aplicação do formador de película, sem adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	90
Figura 6.36 - Comparação dos resultados de Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova referência e os corpos-de-prova com aplicação do bloqueador de poros, sem adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	91
Figura 6.37 - Comparação dos resultados de Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova referência, hidrofugante, formador de película e o bloqueador de poros, relação a/c 0,4 , sem adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	92
Figura 6.38 - Comparação dos resultados de Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova referência, hidrofugante, formador de película e o bloqueador de poros, relação a/c 0,7 , sem adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	93
Figura 6.39 – Evolução da variação de massa das séries referências 0,4 e 0,7.....	94
Figura 6.40 – Evolução da variação de massa das séries hidrofugante 0,4 e 0,7.....	95
Figura 6.41 – Evolução da variação de massa das séries formador de película 0,4 e 0,7.....	95
Figura 6.42 – Evolução da variação de massa das séries bloqueador de poros 0,4 e 0,7.....	96
Figura 6.43 – Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência e hidrofugante 0,4 e 0,7.....	97
Figura 6.44 - Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência e formador de película 0,4 e 0,7.....	97
Figura 6.45 - Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência e bloqueador de poros 0,4 e 0,7.....	98
Figura 6.46 - Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência, hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros, para a relação a/c 0,4.....	99
Figura 6.47 - Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência, hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros, relação a/c 0,7.....	100
Figura 6.48 – Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova referência com adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	101
Figura 6.49 – Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova com aplicação do hidrofugante e com adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	102
Figura 6.50 – Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova com aplicação do formador de película e com adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	102
Figura 6.51 – Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova com aplicação do bloqueador de poros e com adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	103

Figura 6.52 – Comparação dos resultados de Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova referência e os corpos-de-prova com aplicação do hidrofugante, com adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	103
Figura 6.53 - Comparação dos resultados de Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova referência e os corpos-de-prova com aplicação do formador de película, com adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	104
Figura 6.54 - Comparação dos resultados de Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova referência e os corpos-de-prova com aplicação do bloqueador de poros, com adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	105
Figura 6.55 - Comparação dos resultados de Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova referência, hidrofugante, formador de película e o bloqueador de poros, relação a/c 0,4 , com adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	105
Figura 6.56 - Comparação dos resultados de Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova referência, hidrofugante, formador de película e o bloqueador de poros, relação a/c 0,7 , com adição de cloretos(potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).....	107
Figura 6.57 – Evolução da variação de massa das séries referências 0,4 e 0,7, com 0,6% de cloretos	108
Figura 6.58 – Evolução da variação de massa das séries hidrofugante 0,4 e 0,7, com 0,6% de cloretos.....	108
Figura 6.59 – Evolução da variação de massa das séries formador de película 0,4 e 0,7, com 0,6% de cloretos.....	109
Figura 6.60 – Evolução da variação de massa das séries bloqueador de poros 0,4 e 0,7, com 0,6% de cloretos.....	110
Figura 6.61 – Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência e hidrofugante 0,4 e 0,7, com 0,6% de cloretos. ....	110
Figura 6.62 - Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência e formador de película 0,4 e 0,7, com 0,6% de cloretos. ....	111
Figura 6.63 - Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência e bloqueador de poros 0,4 e 0,7, com 0,6% de cloretos. ....	112
Figura 6.64 - Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência, hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros 0,4, com 0,6% de cloretos.....	112
Figura 6.65 - Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência, hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros 0,7.....	113

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Determinação das propriedades das tintas associadas ao desempenho, conforme ABNT.....	37
Tabela 5.1 - Análise química do cimento CII Z - 32.....	41
Tabela 5.2 – Propriedades físicas do cimento.....	42
Tabela 5.3 – Propriedades físicas do agregado miúdo.....	42
Tabela 5.4 - Características do aço.....	43
Tabela 5.5 – Descrição dos sistemas que compõem o estudo.....	44
Tabela 5.6 – Consumo de material e o tipo de cura de cada um dos sistemas de proteção empregados...	44
Tabela 5.7 – Características dos sistemas de tratamento de superfície.....	44
Tabela 5.8 – Denominação das séries para o ensaio de absorção por imersão.....	46
Tabela 5.9 – Denominação das séries para o ensaio de absorção por capilaridade.....	46
Tabela 5.10 – Denominação das séries para o ensaio de potencial de corrosão.....	47
Tabela 5.11 – Etapas do ensaio cíclico.....	58
Tabela 6.1 – Critérios de avaliação das medidas dos potenciais de corrosão de acordo com a ASTM C876(1991).....	85
Tabela 6.2 – Designação dos cloretos em relação à coloração dos corpos-de-prova (adaptado da UNI 7928,1978).....	114

**LISTA DE FOTOS**

Foto 5.1 – Ensaio de absorção por imersão.....	48
Foto 5.2 – Ensaio de absorção por capilaridade.....	50
Foto 5.3 - Imersão da barra na solução de ácido clorídrico e hexametilenotetramina.....	53
Foto 5.4 - Lavagem e escovação da barra em água corrente.....	53
Foto 5.5 - Imersão das barras em acetona.....	54
Foto 5.6 - Secagem das barras com jato de ar quente.....	54
Foto 5.7 – Delimitação da área de exposição das armaduras.....	55
Foto 5.8- Conexão protegida com fita isolante e resina epóxi.....	55
Foto 5.9 – Forma de madeira e distribuição das armaduras.....	56
Foto 5.10 – Moldagem dos corpos-de-prova.....	56
Foto 5.11 - Cura úmida.....	57
Foto 5.12 – Cura úmida durante 07 dias.....	57
Foto 5.13 – Ensaio de potencial de corrosão.....	59
Foto 6.1 – Ilustração dos corpos-de-prova referência, hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros, relação a/c 0,4.....	115
Foto 6.2 – Ilustração dos corpos-de-prova referência, hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros, relação a/c 0,7.....	116

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1 Justificativa e importância do tema.....	16
1.2 Objetivos.....	18
1.2.1 Objetivo geral.....	18
1.2.2 Objetivos específicos.....	18
1.3 Escopo do trabalho.....	18
<b>2 DURABILIDADE DO CONCRETO ARMADO</b>	<b>20</b>
2.1 Durabilidade e vida útil do concreto.....	20
2.2 Ação do meio ambiente sobre as estruturas de concreto.....	22
2.2.1 Meio ambiente urbano.....	23
2.2.2 Meio ambiente marinho.....	24
2.3 Normas sobre durabilidade e vida útil do concreto.....	25
<b>3 MECANISMOS DE TRANSPORTE DE MASSA NO CONCRETO.....</b>	<b>27</b>
3.1 Difusão.....	27
3.2 Permeabilidade.....	29
3.3 Absorção capilar.....	30
3.4 Migração.....	32
<b>4 SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE SUPERFÍCIE PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO.....</b>	<b>32</b>
4.1 Hidrofugantes de superfície.....	33
4.2 Formadores de película.....	36
4.3 Bloqueadores de poros.....	39
<b>5 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>40</b>
5.1 Variáveis independentes.....	40
5.2 Variáveis dependentes.....	40
5.3 Materiais empregados na confecção dos corpos-de-prova.....	41
5.3.1 Aglomerante hidráulico.....	41



5.3.2 Agregado miúdo.....	42
5.3.3 Água.....	43
5.3.4 Aço.....	43
5.4 Materiais de Proteção De superfície do Concreto.....	44
5.5 Definição das séries de ensaios.....	45
5.6 Absorção de Água.....	47
5.6.1 Absorção por imersão.....	48
5.6.2 Absorção por capilaridade.....	49
5.6.3 Ensaios acelerados de corrosão.....	50
5.7 Ensaios para identificação da presença de íons cloreto no concreto.....	59
5.7.1 Aspersão de solução de nitrato de prata.....	59
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>61</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>117</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>121</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Justificativa e importância do tema

Comumente são verificados inúmeros casos de estruturas de concreto armado que apresentam problemas, sejam eles estruturais, estéticos ou funcionais. A comunidade técnico-científica no decorrer da última década vem realizando amplas discussões sobre a durabilidade das estruturas de concreto, o que já proporcionou grandes avanços no que diz respeito ao assunto. As estruturas não devem somente possuir a capacidade de resistir aos esforços que sobre ela agem, mas devem também ser capaz de suportar a ação de agentes agressivos presentes no meio ambiente, os quais têm sido os principais causadores do surgimento de manifestações patológicas no concreto armado.

Um dos principais problemas encontrados em estruturas de concreto armado atualmente é a corrosão de armaduras, esta é causada geralmente pelo ingresso de agentes agressivos advindos do meio externo. O problema da corrosão das armaduras de estruturas de concreto deve ser considerado um problema econômico de 1ª ordem na Construção Civil, devido aos elevados custos para reparo desse tipo de mecanismo de degradação.

O elevado custo para recuperação dos efeitos deste mecanismo de degradação, somado aos riscos oferecidos à vida de seres humanos devido a instabilidade de várias dessas estruturas, indica a grande importância do desenvolvimento de materiais que protejam as estruturas do ingresso de agentes agressivos provenientes do meio ambiente.

Diversos pesquisadores afirmam que a principal causa da corrosão é a penetração de cloretos (ANDRADE; WHITING, 1996; MANGAT; MOLLOY, 1994). Calçada (2004) cita um estudo da National Audit Office – Reino Unido, que mostrou que de 142 estruturas com problemas de corrosão, 20 tinham como causa ação dos cloretos, o que resultou em 17% dos casos e um custo para recuperação de 22% do total gasto para recuperação das 142 estruturas.

O Brasil por possuir uma extensa costa marinha onde reside maior parcela da população apresenta sérios problemas devido a ação dos íons cloretos provenientes da névoa salina, em suas estruturas de concreto. O ingresso de íons cloreto é a principal causa da corrosão nas

principais capitais brasileiras. Esta constatação impulsionou o desenvolvimento de produtos que tem como finalidade evitar a penetração desses agentes, entre eles está o tratamento da superfície do concreto, o qual é objeto de estudo desta dissertação.

Porém ainda são escassas as pesquisas voltadas a esse tema, o que dificulta para a elaboração do ferramental necessário para estudar a eficácia deste tipo de produto.

Na Escola Politécnica de São Paulo já foram desenvolvidas 5 teses de doutorado sobre temas afins ao aqui apresentado: Figueiredo (1994), Kazmierckzak (1995), Repette (1997), Uemoto (1997) e Medeiros (2008). Além destes Ramos (1991) desenvolveu em seu mestrado um estudo geral sobre os sistemas destinados a proteção de superfície no Rio Grande do Sul. Também foram desenvolvidos estudos na Universidade de Brasília (Guimarães e Nepomuceno, (1996) e na Escola de Arquitetura da USP (Almeida, 2000) referentes a sistemas de proteção de superfície.

A avaliação da eficácia do sistema de proteção de superfície mostra-se de grande relevância devido a necessidade de se conhecer melhor o funcionamento deste tipo de produto nos diversos tipos de situações existentes.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo geral***

Analisar a eficácia de três produtos de proteção de superfície, usualmente aplicados em obras de recuperação, avaliando o comportamento destes sob a ação dos íons cloreto, onde foram utilizadas diferentes relações água/cimento em ensaios acelerados de corrosão.

### ***1.2.2 Objetivos específicos***

- Analisar se o sistema de reparo proteção de superfície é eficaz em estruturas localizadas em ambientes marinhos agressivos como o da Cidade de Recife.
- Verificar através de ensaios eletroquímicos se a proteção superficial inibe a corrosão de armaduras, ou seja, se o mesmo é eficaz em estruturas contaminadas com íons cloretos.
- Analisar o comportamento dos produtos de proteção de superfície aplicados sob diferentes estruturas físicas do substrato, através da variação da relação a/c.

## **1.3 Escopo do trabalho**

A apresentação deste documento é feita seguindo uma seqüência lógica, onde os seus capítulos estão assim divididos:

Os Capítulos 2, 3 e 4 compreendem a abordagem de temas julgados importantes para um completo entendimento deste trabalho. Apresenta - se inicialmente conceitos de durabilidade, já que problemas patológicos, como corrosão de armaduras, podem reduzir a vida útil de uma estrutura. Em seguida, são apresentados os diversos mecanismos de transportes de massa nas estruturas de concreto. E por fim aborda-se os tipos de sistemas de proteção de superfície para estruturas de concreto armado.

O procedimento experimental é abordado no Capítulo 5, onde aborda - se principalmente as metodologias dos ensaios a serem adotados.

No Capítulo 6 são apresentados os resultados obtidos. Por fim, as considerações finais estão apresentadas no Capítulo 7.

## **2 DURABILIDADE DO CONCRETO ARMADO**

### **2.1 Durabilidade e vida útil do concreto**

Gaspar (1988, apud FIGUEIREDO, 1994) define durabilidade como a capacidade de manter em serviço e com segurança uma estrutura, durante um tempo especificado, ou período de vida útil, em um determinado meio ou entorno, mesmo que este meio seja desfavorável ao concreto.

Castro (1994) conceitua a vida útil de uma estrutura como o período mínimo no qual se espera que ela desempenhe as funções previstas, segundo suas finalidades específicas e condições ambientes, sem perdas significativas na sua capacidade de utilização e não requerendo custos elevados de manutenção e reparo.

Segundo CIBW80/RILEM-PSL (1983) Durabilidade é “a capacidade que um produto, componente ou construção possui de manter o seu desempenho acima dos níveis mínimos especificados, de maneira a atender às exigências dos usuários, em cada situação específica”.

Neville (1997) afirma que a durabilidade inadequada se manifesta por uma deterioração que pode ser originada por fatores externos ou por causas internas ao próprio concreto, onde as diferentes formas de ação podem ser físicas, químicas ou mecânicas.

Ainda segundo Neville (1997) as causas de deterioração mecânica podem ser impacto, erosão, abrasão ou cavitação; as causas químicas podem incluir as reações álcali – sílica e álcali – carbonato, bem como a ação dos agentes agressivos como íons cloreto, sulfatos, dióxido de carbono e muito líquidos e gases provenientes do meio ambiente, por fim as causas físicas compreendem os efeitos de altas temperaturas ou diferenças de coeficientes de dilatação térmica do agregado e da pasta de cimento hidratado.

Nas estruturas de concreto a interação com o meio ambiente se dá em função de suas características físicas como porosidade, permeabilidade, absorção e características químicas que dependem principalmente da composição do cimento e adições. Estas características permitirão uma maior ou menor capacidade de interação com os agentes agressivos presentes no meio ambiente (SELINGER, 1992).

Na etapa de concepção de uma estrutura os fatores relacionados com a durabilidade devem ser levados em consideração, ou seja, deve-se buscar não só a estabilidade da estrutura, mas considerar o conjunto de ações que influem na sua durabilidade, funcionalidade e estética.

A Figura 2.1, a seguir, ilustra o conceito de “Modelo de equilíbrio” de estruturas de concreto, sugeridos por Selinger (1992), modificado a partir do Bulletin d` Information n°. 182 do CEB (1989), e acrescida dos itens manutenção e vida útil.

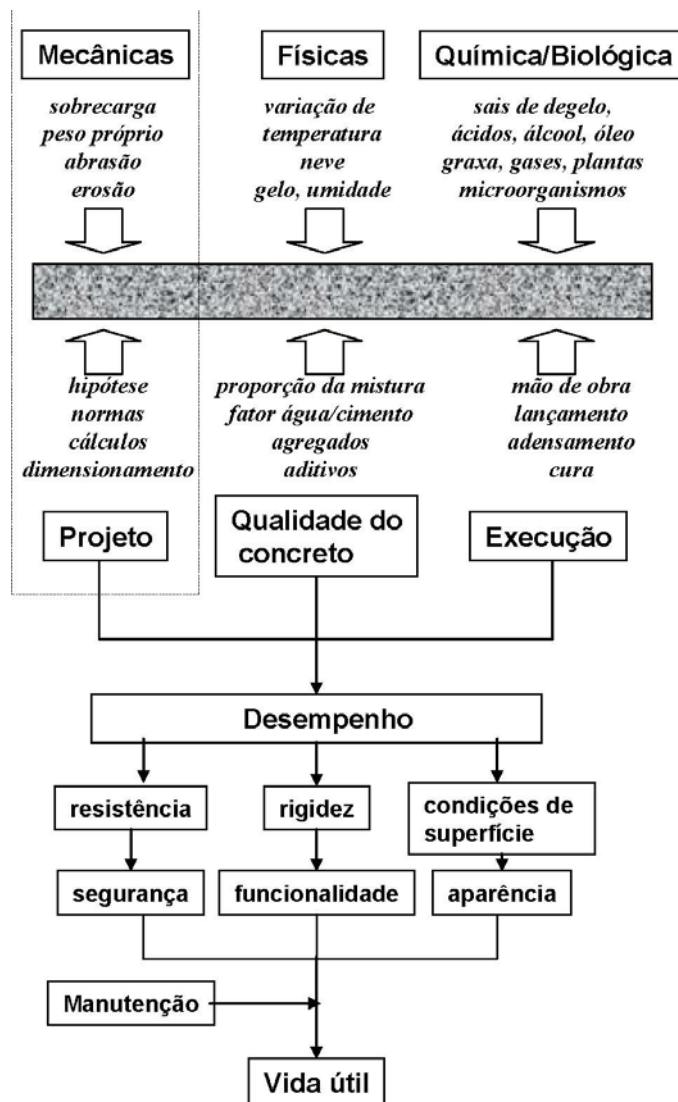


Figura 2.1 - Modelo de equilíbrio de uma estrutura de concreto (modificada por Selinger, 1992 e CEB, 1989).

De acordo com a Figura 2.1, o conjunto de ações compreende três tipos principais que podem atuar sobre a estrutura: ações mecânicas (sobrecarga, peso, etc); ações físicas (calor, água, umidade, etc); e ações químicas/biológicas (ácidos, gases, microorganismos, etc). A

capacidade de serviço compreende três tipos de “reações” que deverão ser planejadas a partir dos tipos de ações: projeto (hipótese, normas, cálculos e dimensionamentos); qualidade do concreto (proporção da mistura, fator água/cimento, agregado e aditivos); e execução (forma, lançamento, adensamento e cura). O resultado do equilíbrio entre o conjunto de ações e a capacidade de serviço determinará as condições de estabilidade e durabilidade que vão prevalecer em cada estrutura.

## **2.2 Ação do meio ambiente sobre as estruturas de concreto**

Ao se projetar uma estrutura de concreto com determinada vida de serviço deve se analisar as condições ambientais sob as quais a mesma estará exposta, pois estas terão grande influência sobre o comportamento da estrutura ao longo de sua vida útil.

Temperatura, umidade relativa, vento, poluição, agressividade da água, entre outros, são parâmetros que influenciam na degradação das estruturas de concreto (LIMA, 2005).

Os conceitos de caracterização dos diferentes ambientes em contato com as estruturas foi introduzido, no Brasil por Helene (1993), que os dividiu da seguinte maneira:

- Ambiente Rural;
- Ambiente Urbano;
- Ambiente Marinho, e;
- Outros ambientes, com características específicas, como atmosferas viciadas e industriais.

Atualmente dois são os ambientes mais estudados: ambiente marinho e ambiente urbano. Isso ocorre devido à elevada agressividade destes, mas também pela elevada concentração de edificações nestes dois ambientes.

A seguir serão apresentadas as principais características destes ambientes.



### **2.2.1 – Meio ambiente urbano**

Devido à elevada concentrações da população neste tipo de ambiente ocorrem alterações na dinâmica do meio ambiente original. Podem ser citados alguns exemplos dessas mudanças como: ocorrência de chuvas ácidas devido à poluição e excesso de dióxido de carbono, principal causador da carbonatação em estruturas de concreto, devido o elevado número de veículos das vias de tráfego.

#### **A) Ocorrência de chuvas ácidas**

A chuva ácida resulta da combinação dos gases presentes na poluição atmosférica com o hidrogênio presente na atmosfera sob a forma de vapor de água. Com os gases produzidos por fábricas e motores também são liberados óxidos de enxofre, estes reagem com o vapor de água produzindo o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), que diluído na água dá origem à chuva ácida (LIMA, 2005).

As chuvas ácidas possuem um pH entre 2,2 e 4,5 e são carregadas de agentes agressivos que atingirem as estruturas de concreto e provocam deterioração, como a degradação da matriz do cimento

#### **B) Excesso de dióxido de carbono**

Algumas substâncias presentes na atmosfera são responsáveis pela degradação do concreto armado, entre os vários existentes, os principais são o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e o íon cloreto. O  $CO_2$  é o responsável pela carbonatação do concreto e conseqüente corrosão de suas armaduras.

O  $CO_2$  penetra para o interior do concreto pelo mecanismo de difusão. Essa penetração e reação de carbonatação ocorrem gradualmente, fazendo com que exista uma camada carbonatada, denominada Frente de Carbonatação, que aumenta de espessura no decorrer do tempo. A Figura 2.2 representa esquematicamente o avanço da Frente de Carbonatação.

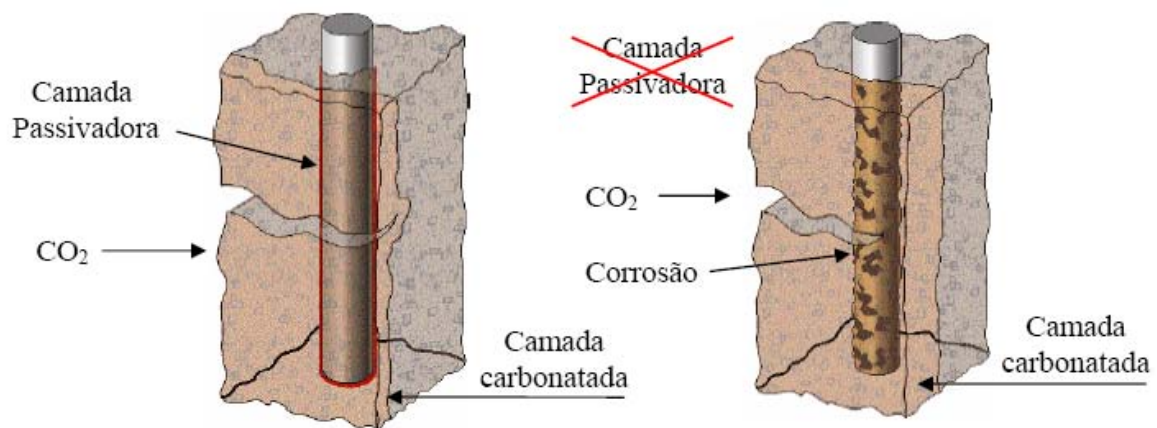


Figura 2.2 – Representação do avanço da frente de carbonatação (TULA , 2000).

Devido a ação da frente de carbonatação o pH do concreto baixa, alterando as condições de estabilidade da película de passivação do aço, o que gera condições favoráveis para que ocorra o início da corrosão das armaduras, conforme esquematizado na Figura 2.2.

### 2.2.2 Meio ambiente marinho

Este ambiente pode ser considerado o mais estudado desde que foram iniciados os estudos sobre durabilidade das estruturas, isso se deve a elevada presença de agentes agressivos com alta velocidade de ataque.

Segundo LIMA (2005) no ambiente marinho são encontrados vários agentes que atuam negativamente sobre as estruturas de concreto, reduzindo seu desempenho e que normalmente agem sobre as estruturas simultaneamente, eles podem ser classificados em: agentes mecânicos, agentes físicos e agentes biológicos.

Os principais agentes que atacam a pasta de cimento em ambientes marítimos são os sais de magnésios e os sulfatos (MEHTA ; MONTEIRO, 1994) e o principal agente que ataca o aço no concreto estrutural é o íon cloreto (HELENE, 1993).

O ambiente marinho apresenta características diferenciadas de ataques, conforme pode ser visualizado na Figura 2.3, apresentada a seguir.

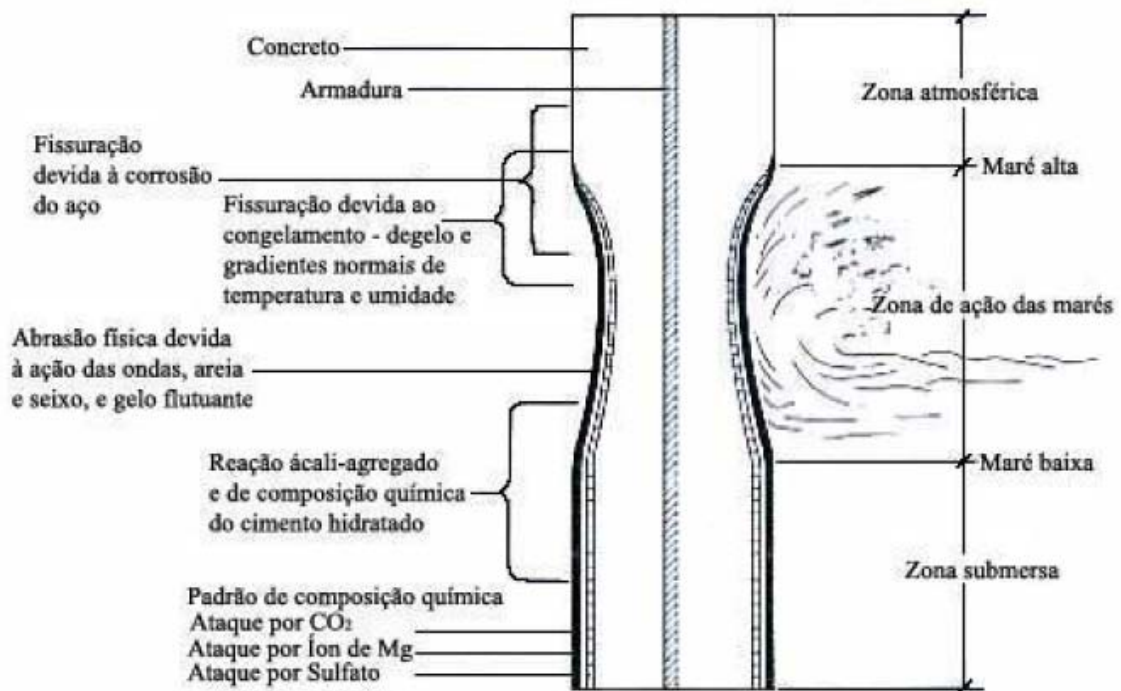


Figura 2.3 – Deterioração de estrutura de concreto em água do mar (PONTES, 2006, adaptado do CEB - FIP, Bulletin 183, 1992).

### 2.3 Normas sobre durabilidade e vida útil do concreto

Devido ao crescimento do número de ocorrências de manifestações patológicas em estruturas de concreto, ocorreu a necessidade de se aprofundar o conhecimento sobre Durabilidade e Vida útil.

Segundo Castro (1994) os norte-americanos e os nórdicos na década de 70 foram os primeiros a introduzir o conceito de que as estruturas não são eternas, ou seja, possuem uma vida limitada que deve ser prevista durante a concepção do projeto.

Em 1981, o Conseil International Du Batiment pour La Recherche L' Etude et La Documentation (CIB) e a Réunion International des Laboratoires D' Essais et de Recherches sur lês Matériaux et lês Constructions (RILEM), formaram uma comissão de trabalho conjunta (Technical Committee) sobre Previsão da Vida Útil de Materiais e Componentes da Edificação (CIB W80/ RILEM 71 PSL, 1983). Essa comissão tinha como principais objetivos:

- a) Identificar metodologias que pudessem prever a vida útil dos materiais existentes, bem como dos componentes da parte exterior dos prédios;
- b) Identificar áreas para o melhoramento das metodologias existentes, bem como estimular o desenvolvimento de novas tecnologias;
- c) Desenvolver metodologias sistemáticas para previsão da vida útil dos materiais de construção e componentes de acabamento e disseminar informações sobre o estado da arte.

Segundo o Eurocode N°. 2 (1989) para se assegurar uma adequada durabilidade das estruturas, os seguintes fatores inter-relacionados deverão ser considerados:

- Uso da estrutura;
- Critérios requeridos para desempenho;
- Condições de exposição no meio ambiente;
- Propriedades, composições e desempenho dos materiais;
- Tipos dos elementos e o detalhamento estrutural;
- Qualidade da mão de obra e nível de controle;
- Medidas particulares de proteção;
- Provável manutenção durante a pretendida vida útil.

A BS 8110 – British Standard (1985, apud CASTRO, 1994) define que um elemento de concreto durável é aquele projetado e construído para proteger a armadura da corrosão e desempenhar satisfatório funcionamento no meio ambiente, durante o tempo de vida da estrutura.

Segundo a NBR 6118:2007 “ As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto conservem suas segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil”.

Pode – se concluir que nas últimas décadas houve um crescimento no que se refere a preocupação sobre os temas desempenho, durabilidade e vida útil das estruturas, porém

muitos estudos deverão ser ainda realizados a fim de aprimorar conhecimentos sobre esses, de forma a ficar claro para os profissionais a importância dos mesmos na construção civil.

### **3 MECANISMOS DE TRANSPORTE DE MASSA NO CONCRETO**

Segundo Neville (1997) são três os principais fluidos importantes para a durabilidade que podem ingressar no concreto: água pura ou com íons agressivos, dióxido de carbono e oxigênio. Eles podem se deslocar através do concreto de modos diferentes, mas todo deslocamento depende basicamente da estrutura da pasta de cimento hidratado.

Ainda conforme Neville (1997) a durabilidade depende de como os fluidos podem ingressar no concreto e se deslocar em seu interior, essa característica é comumente conhecida como permeabilidade do concreto, porém no caso das estruturas de concreto o deslocamento dos fluidos em seu interior pode ocorrer também por difusão e adsorção.

Segundo Monteiro (1996) os mecanismos de transporte das substâncias no concreto dependem: a) das características químicas e físicas de sua concentração superficial e das condições ambientais, b) da microestrutura (tipo e distribuição de tamanho dos poros e presença de microfissuras), c) do grau de umectação do concreto, e d) da temperatura.

Os mecanismos de transporte descritos a seguir são os principais responsáveis pelo ingresso dos íons cloreto e da penetração de umidade nas estruturas de concreto.

#### **3.1 Difusão**

É o transporte de íons na solução de poros do concreto causado por uma diferença de concentração do íon em questão em regiões distintas. O resultado é a ocorrência de um fluxo de íons partindo de regiões de alta concentração para regiões de baixa concentração (MEDEIROS, 2008).

Este fenômeno pode ocorrer tanto para substâncias presentes em meio líquido como para aquelas em meio gasoso. Assim os agentes agressivos que comprometem as armaduras, íons cloreto e o CO<sub>2</sub> têm a sua penetração controlada por este fenômeno.

Segundo Medeiros (2008) o concreto pode ser caracterizado por meio do coeficiente de difusão (D), que representa a habilidade do material em permitir o transporte de uma determinada substância em sua massa.

Esse coeficiente de difusão depende da concentração de cloretos, da disponibilidade de eletrólito e da temperatura (KROPP et al., 1995).

O coeficiente de difusão D das substâncias que penetram nos poros do concreto é calculado através das expressões matemáticas dadas pelas leis de Fick da difusão. Estas serão apresentadas a seguir.

1ª Lei de Fick – Difusão em estado estacionário – considera um fluxo constante em relação ao tempo através da seção por onde penetra a substância. A equação 1 representa o fluxo de íons por difusão em estado estacionário.

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial X} = cte \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

J – Fluxo de íons;

D – Coeficiente efetivo de difusão;

$\frac{\partial C}{\partial X}$  - Gradiente de concentração;

C - Concentração de íons na solução;

X – Profundidade considerada.

O coeficiente efetivo de difusão depende da natureza do material através do qual ocorre a difusão e da natureza do líquido que se difunde (JUCÁ, 2002).

2ª Lei de Fick – Difusão em fluxo variável – considera-se um fluxo variável em relação ao tempo e a profundidade de penetração. A equação 2 representa o fluxo de íons por difusão em fluxo variável.

$$\frac{\partial C}{\partial T} = -D \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

T – Tempo considerado.

### 3.2 Permeabilidade

Sabe-se que quando o concreto está em contato com um líquido, este pode penetrar através dos poros capilares. Esse fenômeno obedece à Lei de D'Arcy, através da Equação 3:

$$K_w = K^* w \left( \frac{\eta_a}{\rho g} \right) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

$K^*w$  = coeficiente de permeabilidade a água (m/s);

$\eta_a$  - viscosidade da água (Ns/m<sup>2</sup>);

$\rho$  - densidade da água;

$g$  - gravidade (m/s<sup>2</sup>).

A permeabilidade é o mecanismo de transporte que predomina em estruturas submersas ou parcialmente submersas e que acelera a penetração de agentes agressivos no concreto.

Segundo Neville (1997) devido à existência de poros de naturezas diferentes, alguns dos quais contribui para a permeabilidade e outros não, é importante fazer distinção entre porosidade e permeabilidade. Porosidade é a medida da proporção do volume total do concreto ocupada pelos poros, geralmente expressa em porcentagem.

Ainda conforme Neville (1997) se a porosidade for alta e estiverem interligados, os poros contribuem para o deslocamento de fluidos através do concreto, de modo que a permeabilidade passa também a ser alta. Por outro lado, se os poros forem descontínuos ou, de outro modo, ineficazes para o deslocamento de fluidos, a permeabilidade do concreto será baixa, mesmo com uma porosidade alta.

### 3.3 Absorção capilar

Segundo Nepomuceno (2005) este mecanismo de transporte é o que mais afeta a durabilidade das edificações, principalmente quando estas estão expostas as chuvas, onde ocorrem os ciclos de umedecimento e secagem. A água por si só pode ser uma substância agressiva se ela penetra em uma região de uma estrutura de concreto armado, cujas armaduras já estão em processo de despassivação pela ação dos íons cloreto e/ou da carbonatação, provocando a redução da resistividade do concreto.

O fenômeno da absorção capilar dá-se quando ocorre o aumento da penetração de água pelos poros do concreto devido ao aumento da tensão capilar (MONTEIRO, 2002).

A tensão capilar depende de fatores como: teor de umidade interna do concreto, da densidade e viscosidade da água, da temperatura e das características dos poros como o raio, a tortuosidade e a conectividade.

A ascensão capilar segundo Helene (1993) pode ser modelada pela Lei de Jurin, conforme mostra a Equação 4.

$$h = \frac{2\nu}{r\gamma} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$h$  = altura ou penetração da água no capilar (m);

$\nu$  = tensão superficial da água (Kg/m)  $\approx 75 \cdot 10^{-4}$  ;

$r$  = raio do capilar (m);

$\gamma$  = massa específica da água (Kg/m<sup>3</sup>)  $\approx 1$ .

Conforme pode ser observado na Equação 4, a altura de penetração de água por sucção capilar depende basicamente do raio dos capilares. Quanto maior for o raio do capilar, menor será a altura de ascensão de água pelos poros capilares.



A absorção tem um papel importante na durabilidade do concreto, já que este é o mecanismo de transporte que usualmente ocorre em concretos em contato com a chuva, solos úmidos e ciclos de umectação.

No Brasil vários pesquisadores (SATO, 1998; SILVA, 1999 e PAES, 2004) já desenvolveram trabalhos utilizando os conceitos de transportes de fluidos em poros não saturados aplicados por Hall (1989) para materiais de construção.

Hall (1989) ressalta a importância da Absortividade  $S$ , que está relacionada à difusividade hidráulica, pois representa a velocidade de penetração da água nos momentos iniciais e é dependente das características superficiais, que são fatores determinantes da durabilidade.

A Absortividade,  $S$  ( $\text{mm}/\text{h}^{1/2}$ ), é obtida experimentalmente pela declividade da curva de volume de água absorvida por unidade de área (da superfície em contato com a água) pela raiz quadrada do tempo, como representado na Equação 5.

$$S = \frac{V_{\text{água}}}{A\sqrt{t}} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

$V_{\text{água}}$  - volume de água absorvida pelo corpo-de-prova ( $\text{mm}^3$ );

$A$  – área da superfície em contato com a água ( $\text{mm}^2$ ), e;

$T$  – tempo de contato com a água (h).

A absorção capilar, conforme estabelecido pela norma NBR 9779 (ABNT, 1995) fornece a quantidade de água absorvida por unidade de área do corpo-de-prova após 72 horas e permite apenas uma comparação entre diversos materiais do ponto de vista da absorção total ao final do ensaio (NEPOMUCENO, 2005).

### 3.4 Migração

Migração é o fluxo de íons em campo elétrico devido a uma diferença de voltagem. É comumente utilizada para ensaios acelerados de resistência à penetração de íons e pode ser expressa pela Equação 6.

$$J = -D_c \frac{zF}{RT} \frac{\partial V}{\partial x} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

J – fluxo de massa (g/m<sup>2</sup>)

$D_c$  - coeficiente de difusão;

$z$  – valência do íon;

F – constante de Faraday;

x – profundidade onde se mede o fluxo;

R – constante dos gases;

T – temperatura absoluta, e;

V – voltagem aplicada no ensaio.

## 4 SISTEMAS DE PROTEÇÃO DE SUPERFÍCIE PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO

Nos últimos anos existe uma tendência, bem sucedida em países europeus e também no Brasil, que utiliza o sistema duplo de proteção pela combinação de produtos hidrófugos de superfície, como aplicação primária, seguido da aplicação de películas protetoras como material de acabamento (MEDEIROS, 2008).

Os materiais de proteção de superfície para concreto podem ser classificados em:

- Formadores de película;
- Hidrofugantes de superfície, e;
- Bloqueadores de poros.

A Figura 4.1 representa bem os tipos de materiais de proteção de superfície.

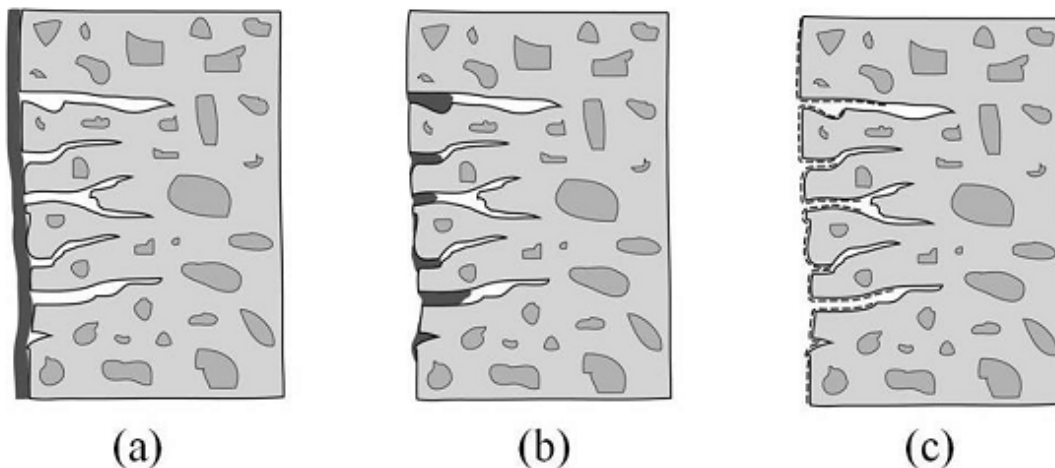


Figura 4.1 – Grupos de tratamentos de superfície para concreto; (a) formadores de película (b) bloqueadores de poros (c) hidrofugantes de superfície (MEDEIROS, 2008, adaptado de BENTUR; DIAMOND; BERKE, 1997).

Ressalta-se a importância de se conhecer bem o ambiente e as condições de serviço a que os materiais estarão submetidos ao especificar os materiais que deverão ser utilizados, pois cada produto possui sua especificidade.

#### 4.1 Hidrofugantes de superfície

As principais substâncias utilizadas nos hidrofugantes são constituídas por compostos sílico-orgânicos, tais como silanos e siloxanos dispersos em água ou solventes (MEDEIROS, 2008).

Entre as diversas técnicas para proteção das superfícies de concreto, as impregnações hidrófugas são as que menos interferem na estética das mesmas. Tem como principal função impedir, ou dificultar a absorção de água do concreto.

Segundo Helene (2000) as principais características dos hidrofugantes de superfície são:

- Diminuição da capacidade de absorção de água das superfícies de concreto;
- Diminuição da permeabilidade a sais solúveis;
- Permitem a passagem do vapor de água existente nos poros capilares para o meio externo;
- Possuem elevada capacidade de penetração nos poros capilares do concreto;

- Não alteram o aspecto superficial do concreto;
- Não necessitam superfície lisa e contínua para aplicação;
- Não impedem a carbonatação;
- Não impedem a penetração de água, gases e vapores sob pressão;
- Diminuição da lixiviação.

A eficácia destes produtos tem durado até 10 anos quando aplicados sobre fachadas de concreto aparente com pelo menos 6 meses de idade, isso ocorre porque em superfícies de concreto jovens o processo de hidratação pode ainda não ter sido concluído, podendo ocorrer a formação constante de novas superfícies não umedecidas pelos produtos de impregnação (Jacob e Hermann, 1998, apud Medeiros, 2008).

Os produtos de impregnação hidrófoba empregados atualmente são todos organossilícicos, podendo ser divididos em (Batista, 1998, apud Medeiros, 2008):

- Silanos;
- Silanos oligoméricos;
- Siloxanos poliméricos;
- Resinas de silicone.

Segundo Medeiros (2007) qualquer que seja o produto de base, as impregnações hidrófobas originam sempre resinas de silicone que estão ligadas quimicamente à base de concreto. As várias classes se diferenciam, entre outras coisas, pelo tamanho das moléculas, a reatividade e solubilidade em água e nos solventes orgânicos.

De modo geral, o desempenho dos hidrofugantes varia bastante, essencialmente de acordo com o seu conteúdo de componente ativo (5% a 40%) e porosidade do substrato a ser protegido. Ou seja, superfícies com grande porosidade necessitam de mais sólidos (BATISTA, 1998).

No que diz respeito à profundidade de penetração, esta depende do tipo de substrato. Os hidrofugantes podem penetrar profundidades superiores a 10 mm, repelindo a água pela transformação das forças capilares dos poros superficiais, de positivas (sucção) para negativas

(repelência). Estes produtos revestem internamente os poros do concreto, ao invés de cobri-los ou veda-los como é o caso dos revestimentos formadores de película.

Segundo Broomfield (1997) os hidrofugantes permitem que o concreto respire, pois permite que o vapor de água entre e saia do concreto, impedindo somente a penetração da água em seu estado líquido que pode ingressar contaminada com agentes agressivos).

Segundo HELENE (2000) apud MEDEIROS (2008) se um material de construção poroso como o concreto entra em contato com um líquido como a água, esta é absorvida por forças capilares. Estas forças são influenciadas pela viscosidade do líquido, pelo ângulo de contato entre o líquido e o material e pelo raio dos poros. No caso da água em um determinado concreto, a estrutura de poros e a viscosidade do líquido são constantes, desse modo, apenas o ângulo de contato  $\theta$  pode ser alterado. Um pequeno ângulo ( $< 90^\circ$ ) indica a atração molecular entre o líquido e o substrato, e desse modo, gotas na superfície do concreto tendem a se espalhar e são absorvidas. Este tipo de material é chamado hidrófilo. Se a atração entre o sólido e o líquido é pequena, o ângulo de contato é maior do que  $90^\circ$  e as gotas tendem a ficar esféricas, material hidrófugo, conforme mostra a Figura 4.2.

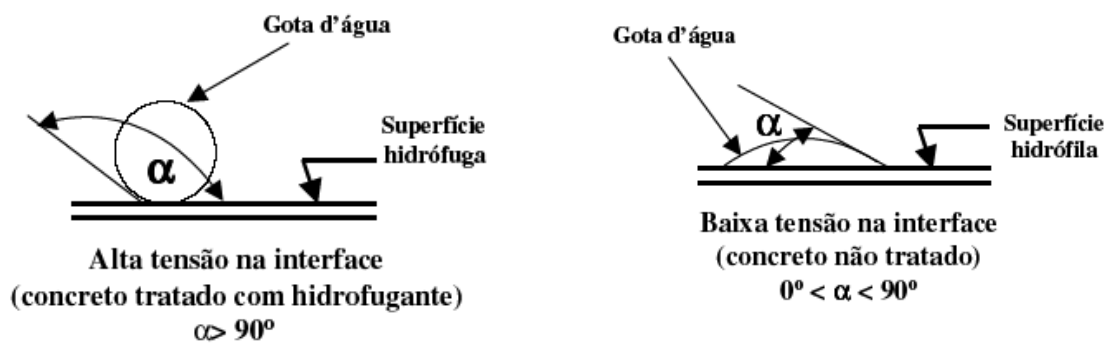


Figura 4.2 – Interação entre a água e a superfície de concreto com e sem hidrofugante de superfície (HELENE, 2000).

## 4.2 Formadores de película

Os produtos formadores de película podem ser divididos em: tintas e vernizes. As tintas são composições líquidas que se convertem em películas sólidas após a aplicação em uma camada delgada. São formuladas a partir de quatro componentes básicos:

- Resinas;
- Solventes;
- Pigmentos, e;
- aditivos.

Os vernizes são constituídos apenas por resinas, solventes e aditivos. Devido à ausência de pigmentos, não apresentam cor e geralmente têm durabilidade inferior à das tintas.

A resina, também designada por veículo não volátil, é constituída pelos polímeros, que desempenham uma função de importância primordial, pois são responsáveis pela formação da película ou do filme. Os principais tipos de resinas: PVA, Acrílica estirenada, Vinil acrílica, Acrílica pura, Alquílica, Epóxi, diferenciam e denominam os diversos tipos de tinta disponíveis. O solvente é utilizado na formulação das tintas para dissolver a resina, obtendo-se a uniformidade na aplicação. São utilizados para modificar a viscosidade ou consistência das mesmas. O aditivo é o ingrediente incorporado às tintas, que atua de forma complementar, modificando e melhorando as propriedades dos principais componentes (veículos e pigmentos).

Dentre as principais funções das pinturas, as mais importantes são:

- Proteção das superfícies, e;
- Função estética e decorativa.

A função protetora é muito mais duradoura do que a função decorativa. Segundo UEMOTO et al (1997) qualquer deterioração na superfície pode alterar o aspecto visual, entretanto, sem repercussão nas propriedades de proteção.

A partir da década de 50, com o desenvolvimento da indústria nacional, muitas resinas foram sintetizadas, surgindo tintas para as diversas aplicações, no entanto até hoje existe pouca bibliografia sobre o desempenho das tintas do mercado nacional.

Data do início da década de 80 o documento técnico intitulado “Edificações Habitacionais – Elementos, revestimentos e proteções, pinturas internas e externas sobre paredes e / ou tetos” (IPT, 1983). Dentre as conclusões, constam critérios para a permeabilidade à água, aplicados em avaliação de tinta látex para alvenaria não revestida com argamassa. Dessa forma fica registrada a preocupação com desempenho das tintas quanto à proteção e não apenas quanto ao o aspecto decorativo. Estudos realizados por Uemoto e Hehl (1988) aplicando os critérios propostos na publicação do IPT, concluem que a maioria das tintas do mercado no final da década de 80 não atendia aos critérios estabelecidos e, portanto não era recomendável a utilização de tinta aplicada diretamente sobre alvenaria de blocos de concreto, ou de blocos cerâmicos, sem o devido revestimento em argamassa.

Os principais requisitos encontrados nas normas estrangeiras para diferenciar as classes das tintas, segundo SILVA (2005) são: brilho, cor, lavabilidade, granulometria (finura das partículas), poder de cobertura (opacidade) e tempo de secagem. Segue a Tabela 1 com o resumo dos principais ensaios preconizados pela ABNT para determinação das propriedades das tintas, associadas ao desempenho.

Tabela 4.1 – Determinação das propriedades das tintas associadas ao desempenho, conforme ABNT.

Propriedade	Norma da ABNT
Cor	NBR 15.077 (2004)
Brilho	NBR 15.299 (2004)
Resistência à abrasão (sem e com pasta abrasiva)	NBR 15.078e 14.940 (2004)
Poder de Cobertura (úmida e seca)	NBR 14.943e NBR 14.942 (2003)
Porosidade	NBR 14.944 (2003)
Resistência ao crescimento de fungos	NBR 14.941 (2003)

Segundo Medeiros (2008) a proteção a ser conferida pelas tintas e vernizes depende da qualidade da resina e da sua formulação. Os componentes como solventes, cargas e pigmentos utilizados nos produtos podem alterar substancialmente o comportamento da película. Devido a isso observa-se que produtos aparentemente similares apresentam resultados totalmente diferentes em ensaios de avaliação do comportamento.

Esse sistema de proteção requer substrato homogêneo e liso, com poros de abertura máxima de 0,1mm. A grande maioria não é capaz de absorver eventuais fissuras posteriores, ou seja, são capazes de cobrir uma fissura existente de até 0,1mm, porém, a película se rompe se a estrutura fissura depois que a pintura de proteção está concluída (HELENE, 2000, apud MEDEIROS, 2008).

Helene (2000) indica as principais características deste tipo de proteção:

- Diminuição da carbonatação;
- Diminuição da lixiviação;
- Diminuição da permeabilidade e difusividade a sais solúveis;
- Diminuição do surgimento do mofo e inibição do crescimento de fungos e bactérias;
- Não permitem a secagem do concreto úmido;
- Alteram a estética original do concreto;
- Requerem superfície uniforme e homogênea, não sendo adequadas para superfícies muito rugosas, de baixa permeabilidade e com presença de desmoldante.

Antes da aplicação destes produtos comumente é necessário um tratamento prévio do substrato, conhecido como estucamento, para adequada aplicação da pintura, já que esta exige um substrato liso e homogêneo.

Um dos parâmetros mais utilizados para associar a formulação ao desempenho das tintas é o PVC – Pigment Volume Content definido como sendo a fração volumétrica percentual do pigmento sobre o volume total de sólidos do filme que inclui a resina (UEMOTO, 1998).

$$PVC = \frac{V_p}{V_p + V_v} \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

$V_p$  – Volume de pigmento;

$V_v$  – Volume de veículo não volátil(resina).



Muitas propriedades do filme mudam em função do PVC. Como exemplo pode ser citada a característica do brilho das tintas, que varia conforme o teor de PVC. Pinturas de alto brilho apresentam PVC baixo (de 15% a 25%), enquanto as do tipo semibrilho apresentam PVC entre 30% e 40% e as de acabamento fosco apresentam PVC maior do que 40% (MEDEIROS, 2008).

Uemoto; Agopyan e Vittorino (2001) em seus estudos comprovaram que quanto maior o valor de PVC maior é a absorção de água do substrato protegido com a pintura. Fundamentados nestas pesquisas estes autores defendem que as pinturas com acabamento brilhante são mais indicadas para impedir o ingresso de água. Ou seja, pinturas com baixa permeabilidade a água são as mais adequadas para prevenir o ingresso de agentes agressivos nas estruturas de concreto.

#### **4.3 Bloqueadores de poros**

São produtos compostos por silicatos que penetram nos poros superficiais e reagem com a portlandita formando C-S-H. Este tratamento forma uma camada menos porosa na superfície da peça de concreto alterando a sua penetração de água. Ou seja, visam tamponar os poros superficiais e endurecer as superfícies de concreto (MEDEIROS, 2008).

De acordo com Thompson et al. (1997) existem três teorias sobre a ação dos silicatos no sentido de proteger a superfície do concreto, são elas:

- Precipitação de  $\text{SiO}_2$  nos poros;
- Formação de um gel expansivo, dentro dos poros, similar ao formado na reação álcali silicato;
- Reação dos silicatos com o hidróxido de cálcio presente nos poros formando silicato de cálcio hidratado.

Em estruturas carbonatadas a reação do tratamento não ocorre, pois o silicato de sódio precisa da portlandita [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ], e este já reagiu com o  $\text{CO}_2$  e deu origem a carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Pesquisadores (KAGI ; REN, 1995) afirmam que uma redução significativa da penetração de água no concreto ocasionada pelo tratamento com solução de silicato só é obtida se o concreto for muito novo.

## 5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Com o objetivo de avaliar os sistemas de proteção de superfície existentes usualmente aplicados em estruturas de concreto armado em ambiente marinho foi desenvolvido o programa experimental que será detalhado a seguir.

### 5.1 Variáveis independentes

São as variáveis definidas pelo pesquisador com o intuito de observar o reflexo de suas variações sobre as variáveis dependentes (variáveis medidas).

Neste trabalho optou-se por considerar como independentes as variáveis relacionadas a seguir:

- Grupos de proteção – hidrofugante de superfície, formador de película e bloqueador de poros – [referência (concreto sem proteção) + 3 sistemas de proteção];
- Estado do substrato de concreto a ser protegido (contaminado e não contaminado por cloretos), e;
- Microestrutura do concreto – variação da relação a/c (0,4 e 0,7).

### 5.2 Variáveis dependentes

São as variáveis influenciadas pelas variáveis independentes e, em determinadas situações, por outras variáveis dependentes. As deste estudo estão apresentadas a seguir:

- Potencial de corrosão ( $E_{corr}$ );
- Absorção de água por imersão;
- Absorção de água por capilaridade, e;
- Absortividade (S).

### 5.3 Materiais empregados na confecção dos corpos de prova

#### 5.3.1 Aglomerante hidráulico

O aglomerante hidráulico utilizado para a confecção do substrato dos corpos de prova foi o CII Z-32, um cimento composto com pozolana, escolhido por ser o cimento mais utilizado na região.

Na Tabela 5.1 estão apresentados os resultados da análise química do aglomerante (CII Z – 32) fornecidos pelo fabricante.

Tabela 5.1 - Análise química do cimento CII Z - 32

Determinações(%)	CII Z - 32
Perda ao fogo	5,75
Resíduo Insolúvel	14,00
Trióxido de enxofre (SO <sub>3</sub> )	2,77
Óxido de magnésio (MgO)	4,54
Óxido de silício (SiO <sub>2</sub> )	22,6
Óxido de ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2,96
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	6,90
Óxido de cálcio (CaO)	52,6
Óxido de cálcio livre (CaO)	1,55

\*Dados fornecidos pelo fabricante.

Na Tabela 5.2 estão descritas as principais propriedades físicas do aglomerante (CII Z – 32).

Tabela 5.2 – Propriedades físicas do cimento.

Características		Norma	CPII-Z 32
Finura	P # 200	NBR 7215 (1996)	1 %
	P # 325		5,7%
	*Blaine	NBR 7224 (1984)	3390 cm <sup>2</sup> /g
Tempo de pega	Inicial	NBR 11581 (1991)	3h 40min
	Final		5h 20min
Resistência à Compressão	1 dia	NBR 7215 (1991)	9,9 MPa
	3 dias		19,7 MPa
	7 dias		25,2 MPa
	28 dias		31,3 MPa

\*Dados fornecidos pelo fabricante.

### 5.3.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado no experimento foi uma areia fina, oriunda de rio.

Na Tabela 5.3 estão descritas as principais propriedades físicas do agregado miúdo.

Tabela 5.3 – Propriedades físicas do agregado miúdo.

ENSAIOS REALIZADOS		
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	ABNT NBR NM 52:2003	<b>2,59</b>
Massa Unit. Agregado Solto (g/cm <sup>3</sup> )	ABNT NBR NM 45:2006	<b>1,59</b>
Teor de argila em torrões (%)	ABNT NBR 7218:2010	<b>8,31</b>
Dimensão máxima do agregado(mm)	NBR 7217 (1987)	<b>1,18</b>
Módulo de finura	NBR 7217 (1987)	<b>2,28</b>

O ensaio de granulometria foi executado conforme descrito na NBR 7217 (ABNT, 1987). A Figura 5.1 apresenta a composição granulométrica do agregado miúdo utilizado no presente trabalho. Essa composição enquadra-se na Zona 2, considerada uma areia fina, segundo a norma brasileira NBR 7211(2010).

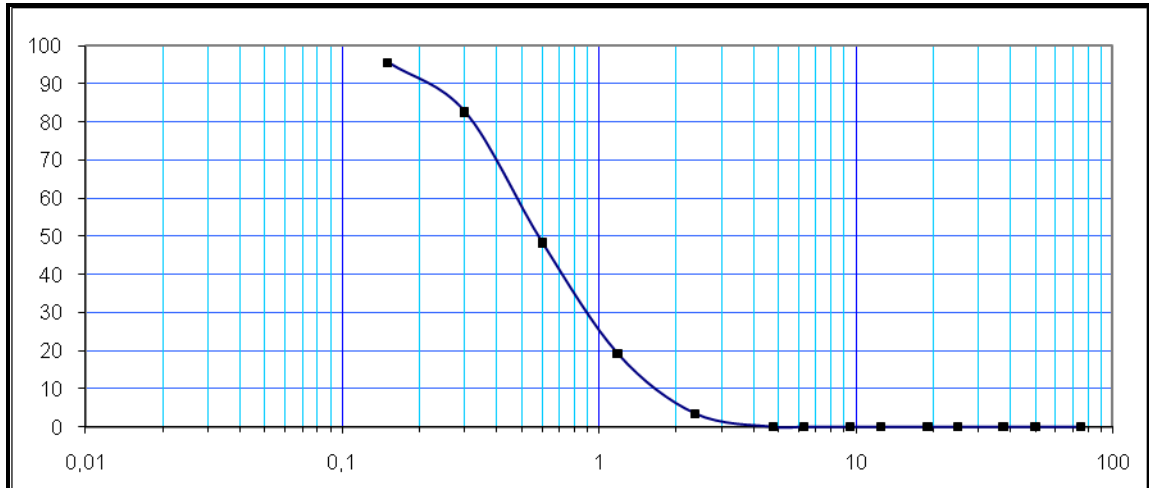


Figura 5.1 – Composição granulométrica do agregado miúdo.

### 5.3.3 Água

No procedimento experimental utilizou-se água potável, fornecida pela Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA.

### 5.3.4 Aço

O aço utilizado foi o CA-60, obtido por trefilação de fio máquina e são produzidos segundo as especificações da NBR 7480 (ABNT, 1996). O diâmetro utilizado foi de 5.0 mm. As características do aço estão na Tabela 5.4 e foram fornecidas pelo fabricante.

Tabela 5.4 - Características do aço.

Características do Aço	
Diâmetro Nominal (mm)	5,00
Massa Nominal (Kg/m)	0,154
Resistência característica de escoamento ( $f_y$ ) (MPa)	600
Limite de resistência ( $F_{ST}$ ) (MPa)	660
Relação ( $F_{ST}$ )/ ( $f_y$ )	$\geq 1,05$
Alongamento mínimo em %	5%

\*Dados fornecidos pelo fabricante

#### 5.4 Materiais de proteção de superfície

Foram aplicados 03 sistemas de proteção, sendo todos disponíveis no mercado nacional e destinados ao tratamento de superfície das estruturas de concreto armado. A escolha dos produtos teve o intuito de comparar representantes das três categorias de sistemas de proteção de superfície: hidrofugantes de superfície, formadores de película e bloqueadores de poros. A Tabela 5.5 mostra uma descrição resumida dos sistemas de proteção de superfície usados neste trabalho.

O consumo do material indicado pelos fabricantes foi respeitado na aplicação de todos os sistemas de proteção utilizados. A Tabela 5.6 apresenta o consumo de material empregado e o tipo de cura de cada um dos sistemas de proteção usados. Enquanto que a Tabela 5.7 apresenta algumas características dos sistemas de proteção de superfície estudados.

Tabela 5.5 – Descrição dos sistemas que compõem o estudo.

Sistema de Proteção	Identificação	Descrição do Fabricante
<b>Simples</b>	Hidrofugante	Silano - siloxano
<b>Simples</b>	Formador de Película	Verniz acrílico – base água
<b>Simples</b>	Bloqueador de poros	Silicato de sódio líquido

Tabela 5.6 – Consumo de material e o tipo de cura de cada um dos sistemas de proteção.

Sistema de proteção	Identificação	Consumo (l/m <sup>2</sup> )	Número de demãos	Tipo de cura
<b>Simples</b>	Hidrofugante	0,25	2	Evaporação da água + reação
<b>Simples</b>	Formador de película	0,20	1	Coalescência
<b>Simples</b>	Bloqueador de poros	0,20	3	Reação

Tabela 5.7 – Características dos sistemas de tratamento de superfície.

Sistema	Identificação	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Tempo de Secagem (h)
Simples	Hidrofugante	0,76	6
Simples	Formador de película	1,26	2
Simples	Bloqueador de poros	1,02	½ a 1

### 5.5 Definição das séries de ensaios

A variação do fator água/cimento foi utilizada em todos os corpos-de-prova moldados e teve como objetivo avaliar o comportamento dos sistemas de proteção de superfície em diferentes condições microestruturais, já que este fator é o principal parâmetro que influencia diretamente na porosidade (MEHTA, 1986). Desta maneira, foram escolhidos fatores água/cimento com significativa variação:  $a/c = 0,4$  e  $a/c = 0,7$ . Todos os corpos-de-prova tiveram as mesmas condições no estado fresco, isto é, foram confeccionados dentro de uma mesma faixa de trabalhabilidade: 260 a 320 mm, através do ensaio de consistência de argamassa (NBR 7215/91).

Somente nos corpos-de-prova confeccionados para os ensaios de potencial de corrosão foram moldados corpos-de-prova com e sem adição de cloreto. Esse procedimento teve como objetivo avaliar o comportamento dos produtos de proteção de superfície no que diz respeito aos períodos de iniciação e propagação da corrosão em estruturas novas (sem contaminação de íons cloreto) e estruturas antigas (contaminadas por íons cloreto).

Todos os corpos-de-prova permaneceram 7 dias em cura úmida.

As Tabelas 5.8, 5.9 e 5.10 apresentam as séries definidas para cada ensaio realizado.

Tabela 5.8 – Denominação das séries para o ensaio de absorção por imersão.

<b>Série</b>	<b>Produto</b>	<b>A/C</b>	<b>Traço</b>	<b>N° de corpos-de-prova</b>
<b>R1</b>	Referência	0,4	1:1,3	04
<b>R2</b>	Referência	0,7	1:3	04
<b>H1</b>	Hidrofugante	0,4	1:1,3	04
<b>H2</b>	Hidrofugante	0,7	1:3	04
<b>F1</b>	Formador de película	0,4	1:1,3	04
<b>F2</b>	Formador de película	0,7	1:3	04
<b>B1</b>	Bloqueador de poros	0,4	1:1,3	04
<b>B2</b>	Bloqueador de poros	0,7	1:3	04

Tabela 5.9 – Denominação das séries para o ensaio de absorção por capilaridade.

<b>Série</b>	<b>Produto</b>	<b>A/C</b>	<b>Traço</b>	<b>N° de corpos-de-prova</b>
<b>R3</b>	Referência	0,4	1:1,3	04
<b>R4</b>	Referência	0,7	1:3	04
<b>H3</b>	Hidrofugante	0,4	1:1,3	04
<b>H4</b>	Hidrofugante	0,7	1:3	04
<b>F3</b>	Formador de película	0,4	1:1,3	04
<b>F4</b>	Formador de película	0,7	1:3	04
<b>B3</b>	Bloqueador de poros	0,4	1:1,3	04
<b>B4</b>	Bloqueador de poros	0,7	1:3	04



Tabela 5.10 – Denominação das séries para o ensaio de potencial de corrosão.

<b>Série</b>	<b>Produto</b>	<b>A/C</b>	<b>Traço</b>	<b>Presença de íons cloreto</b>	<b>N° de corpos-de-prova</b>
<b>R5</b>	Referência	0,4	1:1,3	-	02
<b>R6</b>	Referência	0,4	1:1,3	0,6%	02
<b>R7</b>	Referência	0,7	1:3	-	02
<b>R8</b>	Referência	0,7	1:3	0,6%	02
<b>H5</b>	Hidrofugante	0,4	1:1,3	-	02
<b>H6</b>	Hidrofugante	0,4	1:1,3	0,6%	02
<b>H7</b>	Hidrofugante	0,7	1:3	-	02
<b>H8</b>	Hidrofugante	0,7	1:3	0,6%	02
<b>F5</b>	Formador de película	0,4	1:1,3	-	02
<b>F6</b>	Formador de película	0,4	1:1,3	0,6%	02
<b>F7</b>	Formador de película	0,7	1:3	-	02
<b>F8</b>	Formador de película	0,7	1:3	0,6%	02
<b>B5</b>	Bloqueador de poros	0,4	1:1,3	-	02
<b>B6</b>	Bloqueador de poros	0,4	1:1,3	0,6%	02
<b>B7</b>	Bloqueador de poros	0,7	1:3	-	02
<b>B8</b>	Bloqueador de poros	0,7	1:3	0,6%	02

## 5.6 Absorção de Água

Foram realizados os ensaios de absorção por imersão e por capilaridade, porque considera - se que a penetração de água tem dois efeitos de grande importância na durabilidade de uma estrutura de concreto armado exposta a ambientes contaminados com cloretos.

- Efeito 1 – Influência no período de iniciação da corrosão, ou seja, quando a estrutura ainda não está contaminada os íons cloreto utilizam a água como veículo para o ingresso no substrato de concreto. Quanto mais difícil a penetração de água no concreto menor será a possibilidade de contaminação das estruturas por cloretos.

- Efeito 2 – Influência no período de propagação, quando a estrutura já se encontra contaminada por íons cloreto. Neste caso a água funciona como eletrólito para o desenvolvimento da corrosão, que é um processo eletroquímico. Qualquer tratamento que dificulte a penetração da água interfere na cinética da corrosão.

### **5.6.1 Absorção por Imersão**

Neste ensaio foram utilizados corpos-de-prova cilíndricos de argamassa de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, estes foram moldados de acordo com a NBR 7215 (1991). Os corpos-de-prova foram secos em estufa a 100°C até constância de massa e foram mantidos em ambiente de laboratório pelo período de 24 horas para esfriarem. Os sistemas de proteção foram aplicados em todas as faces.

Após este procedimento os corpos-de-prova foram mantidos em ambiente de laboratório por mais 7 dias para assegurar a cura dos sistemas de proteção. Para este ensaio foram empregados 4 corpos-de-prova para cada material estudado.

Em seguida os corpos-de-prova foram imersos em água com 1,0% de NaCl, com o nível sendo mantido constante durante todo o ensaio (Foto 5.1). Ao fim deste ensaio os corpos-de-prova foram submetidos aos ensaios de aspensão de nitrato de prata.



Foto 5.1 - Ensaio de absorção por imersão.

A absorção foi medida através da pesagem dos corpos de prova após a secagem superficial dos mesmos. A variação de massa foi acompanhada durante o período de 30 dias, contados do início do período de imersão. Não foi possível estender o período de monitoramento devido a restrição de tempo para a conclusão do programa experimental da dissertação.

### ***5.6.2 Absorção por Capilaridade***

Neste ensaio também foram utilizados corpos de prova cilíndricos de argamassa de 50 mm de diâmetro e 100mm de altura, estes foram moldados de acordo com a NBR 7215 (1991). Os corpos-de-prova foram secos em estufa a 100°C até constância de massa e foram mantidos em ambiente de laboratório pelo período de 24 horas para esfriarem. Os sistemas de proteção foram aplicados na face circular correspondente ao fundo da forma. Foram utilizados 04 corpos-de-prova para cada material estudado.

Foi aplicada uma proteção com silicone até a altura de 4 cm a partir da face onde o sistema de proteção de superfície foi aplicado. Este cuidado foi tomado para induzir que a penetração de água só ocorra por uma das faces circulares do corpo-de-prova. O nível de água foi mantido constante e igual a 5 mm durante todo o ensaio.

O monitoramento da absorção de água foi acompanhado a partir de pesagem dos corpos-de-prova ao longo do período de experimento. foi de 30 dias a partir do primeiro contato com a lâmina d'água. Este monitoramento também não foi realizado por um período mais longo devido a restrição de tempo para conclusão deste programa experimental.

Os resultados foram interpretados baseando – se em gráficos que relacionam a quantidade de água absorvida por unidade de área ao longo do tempo. Também foram calculados os valores de Absortividade (S) para cada caso estudado. A Foto 5.2 mostra a realização do ensaio de absorção por capilaridade.



Foto 5.2 – Ensaio de absorção por capilaridade.

### 5.6.3 Ensaio acelerados de corrosão

Os corpos-de-prova para os ensaios de corrosão acelerada tiveram forma prismática com dimensões reduzidas, empregando-se armaduras dispostas com cobrimentos definidos, feitos de argamassa de cimento e areia, variando-se os parâmetros: tipo de proteção de superfície, relação água/cimento e condição do substrato (com/sem adição de cloretos). Este tipo de corpo-de-prova seguiu a disposição empregada por diferentes pesquisadores (NEPOMUCENO, 1992; BAUER, 1995; MONTEIRO, 1996), e suas dimensões reduzidas torna-os mais susceptíveis à ação dos agentes agressivos.

As razões para o emprego de argamassa em vez de concreto são explicadas por entre outras razões, pelas pequenas dimensões das fôrmas disponíveis inviabilizando a utilização de agregados graúdos, o que geraria dificuldade na moldagem. Considerando também que o agregado graúdo é uma forma de heterogeneidade, e que estudos feitos por Winslow; Liu (1990) evidenciam que a pasta na argamassa possui estruturas de poros semelhante à estrutura da pasta no concreto. Podemos supor que a estrutura porosa da pasta na argamassa pode ser um modelo adequado ao estudo da porosidade da pasta no concreto, embora possa haver alguma influência da zona de transição.

Foram confeccionados corpos-de-prova com dimensões 60 x 80 x 25 (mm), armados com duas barras de aço longitudinais de diâmetro 5,0 mm, 100 m de comprimento e com cobrimento de 10 mm conforme mostra a Figura 5.2. Foram utilizados os fatores água/cimento com significativa variação: 0,4 e 0,7. As barras foram dimensionadas com um comprimento maior, de modo a ficar com a sua extremidade exposta para possibilitar a conexão elétrica das armaduras para monitoramento da corrosão.

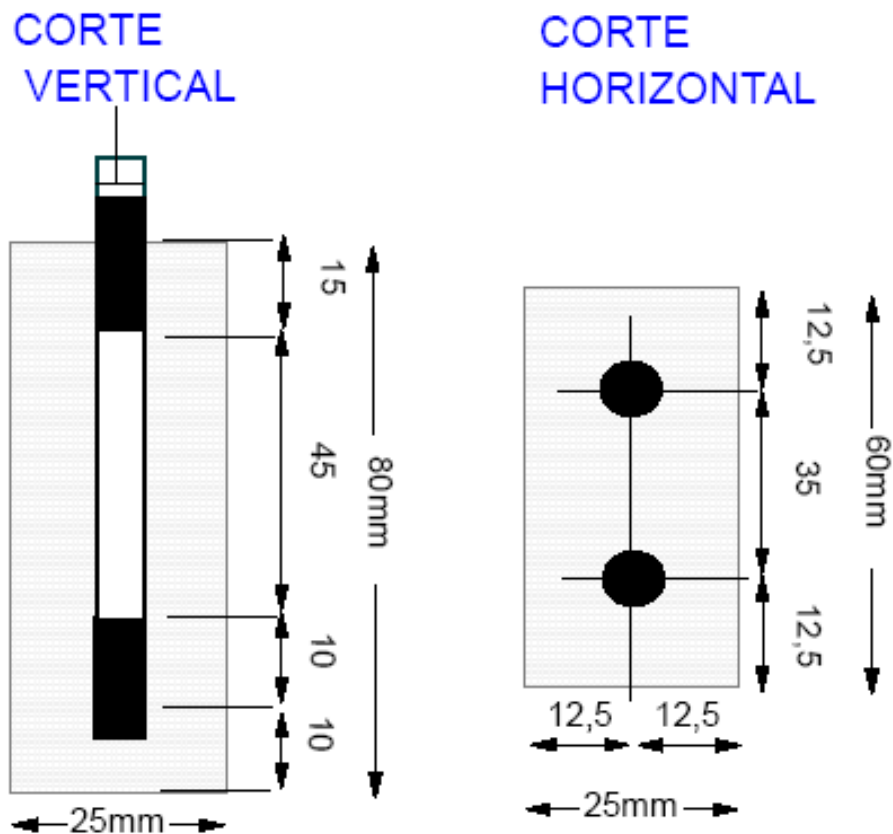


Figura 5.2 – Corte vertical e horizontal do corpo de prova (MONTEIRO, 1996).

Para cada sistema de proteção de superfície foram moldados dois corpos de prova (cada um com 2 barras de leitura). A cura foi feita em câmara úmida. Os produtos foram aplicados em todas as faces.

Existem duas séries de corpos de prova: uma com substrato previamente contaminado por cloretos (0,6% em relação a massa de cimento) e outra de argamassa sem adição prévia de cloretos. Ambas foram submetidas a semi-ciclos de secagem e umectação.

### **5.6.3.1 Preparo e Limpeza das Barras**

As armaduras utilizadas nos corpos-de-prova sofreram um procedimento de limpeza específico, de modo a conferir a todas as barras as mesmas condições superficial, já que foram utilizadas como sensores de corrosão nos ensaios acelerados.

O procedimento de limpeza empregado se baseou na norma ASTM C- 1152 (1992) onde se emprega uma solução de ácido clorídrico 1:1 com 3,5 g/l de hexametenotetramina. Esta solução remove os óxidos presentes não ocorrendo ataque ao metal. O procedimento é descrito a seguir:

- Imersão das barras na solução de ácido clorídrico e hexametenotetramina por 15 minutos (Foto 5.3);
- Lavagem em água corrente e escovação para remoção final dos óxidos (Foto 5.4);
- Imersão das barras em acetona por 2 minutos, para retirada de elementos gordurosos (Foto 5.5);
- Secagem das barras com jato de ar quente (Foto 5.6);

Uma vez executada a limpeza, as barras foram pesadas em balança analítica. As áreas das barras expostas ao ataque foram limitadas através da colocação de fitas isolantes colocadas nas suas extremidades, estabelecendo-se uma área em torno de  $7,07 \text{ cm}^2$ (Foto 5.7). Foram conectados fios flexíveis à extremidade livre das armaduras para as medidas eletroquímicas. Esta conexão foi protegida com fita isolante e sobre a fita isolante foi aplicada a resina epóxi (Foto 5.8). O objetivo da resina foi de dificultar a penetração de agentes agressivos na parte superior dos corpos de prova e também proteger a parte exterior da armadura.

### **5.6.3.2 Moldagem**

A moldagem dos corpos-de-prova dos ensaios acelerados foi planejada para se ter o maior grau possível de homogeneidade e principalmente precisão de forma, dimensões e posicionamento da barra. Sua fôrma foi feita de madeira (Foto 5.9) com peças de encaixe, facilitando assim a desmoldagem, evitando o uso de desmoldante. Foi utilizado um misturador mecânico (argamassadeira) no procedimento de mistura da argamassa. O procedimento de moldagem foi feito de forma manual (Foto 5.10), com o lançamento e o

adensamento em duas camadas. Foi utilizado um soquete no adensamento das camadas. Logo após o procedimento de moldagem, os corpos de prova foram colocados em câmara úmida (Foto 5.11) e desmoldados após 24 horas mantendo-os em cura até a idade determinada (Foto 5.12).



Foto 5.3 - Imersão da barra na solução de ácido clorídrico e hexametilenotetramina.



Foto 5.4 - Lavagem e escovação da barra em água corrente.





Foto 5.5 - Imersão das barras em acetona.



Foto 5.6 - Secagem das barras com jato de ar quente.





Foto 5.7 – Delimitação da área de exposição das armaduras.

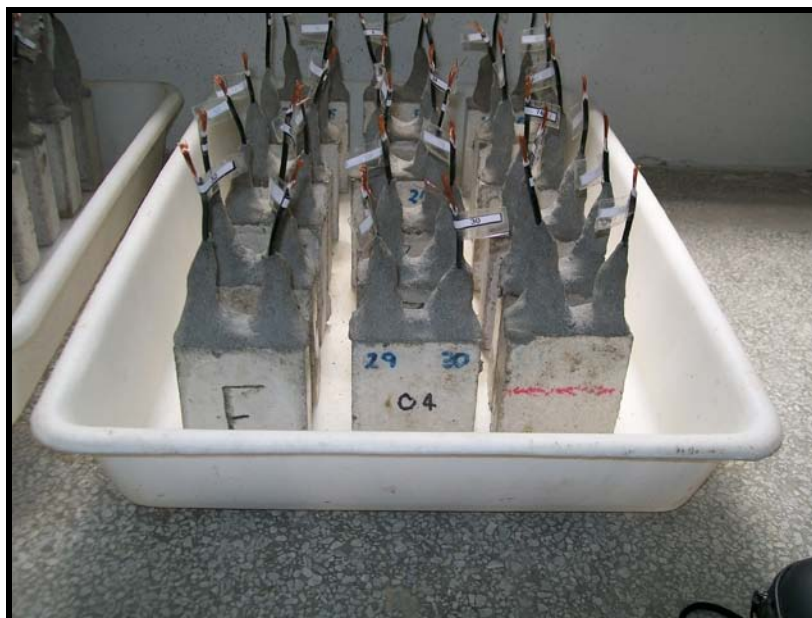


Foto 5.8- Conexão protegida com fita isolante e resina epóxi.



Foto 5.9 – Forma de madeira e distribuição das armaduras.



Foto 5.10 – Moldagem dos corpos de prova.



Foto 5.11 - Cura úmida.



Foto 5.12 – Cura úmida durante 07 dias.

### 5.6.3.3 Ensaio com cloretos

Neste programa experimental foi escolhida a condição de imersão parcial em NaCl, com semi ciclos de secagem e umectação, pois além do transporte dos agentes agressivos (íons cloreto) por absorção capilar, pode ocorrer o ingresso desses por difusão. As metodologias que envolvem os ciclos de secagem e umectação ou contato com solução de NaCl, correspondem ao regime mais severo de penetração de cloretos (PAGE et al, 1991).

A metodologia utilizada foi de submeter os corpos de prova a semi-ciclos de secagem e umectação em solução de 3% de NaCl. Os semi-ciclos caracterizam-se conforme a Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Etapas do ensaio cíclico.

<b>Semi-ciclo</b>	<b>Condição</b>	<b>Duração</b>
<b>Secagem</b>	Estufa a 50°C	5 dias
<b>Umectação</b>	Parcialmente submerso em solução com 3% de NaCl	2 dias

A condição de secagem consistiu em dispor os corpos-de-prova em estufa ventilada, mantendo-se a temperatura de 50°C. Na condição de parcialmente submerso manteve-se o nível da solução do recipiente em uma posição que corresponde à metade da altura da área de exposição da barra. Deste modo, se tem à absorção por capilaridade e, uma vez que ocorra a saturação, se tem o processo de difusão. A medição das variáveis estudadas foi feita ao final de cada semi-ciclo. As medições foram realizadas durante 8 ciclos (secagem + umectação) completos.

### 5.6.3.4 Monitoramento e Avaliação da Corrosão

O Potencial de corrosão ( $E_{corr}$ ) pode ser considerado um indicador de deterioração e avalia os aspectos termodinâmicos associados à corrosão. A norma ASTM C - 876 (1992) associa uma probabilidade superior a 95 % de corrosão para valores de potenciais inferiores a -350 mV, para eletrodo de cobre/sulfato de cobre. Neste ensaio foram utilizados os equipamentos enumerados a seguir:

1. Multímetro de alta impedância;
2. Eletrodo de cobre/ sulfato de cobre saturado para as leituras de potencial de corrosão.

A Foto 5.13 mostra a realização da medida de potencial de corrosão após o semi-ciclo de secagem.

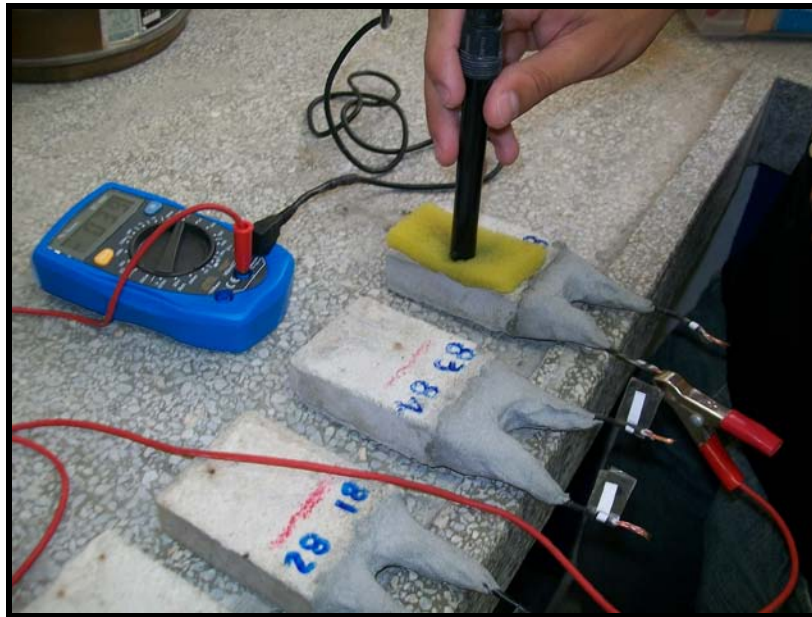


Foto 5.13 – Ensaio de potencial de corrosão.

## **5.7 Ensaio para Identificação da Presença dos Íons Cloreto no Concreto**

### ***5.7.1 Aspersão de Solução de Nitrato de Prata***

Este método foi desenvolvido pelo Dr. Mario Collepardi em 1970. É um método qualitativo e rápido para determinação de cloretos livres e combinados em estruturas e/ou amostras de concreto ou argamassa.

Sua principal aplicação neste trabalho foi determinar a presença de cloretos livres que penetram por difusão em corpos-de-prova submetidos a ensaios de absorção por imersão em solução com 3% de NaCl.

Este método é similar ao método de aspersão de fenolftaleína para determinação da frente de carbonatação do concreto. Quando a solução de nitrato de prata é aspergida na superfície do

substrato ocorre uma reação fotoquímica. Esta reação ocorre somente em presença de luz ou é catalizada pela mesma. Onde há presença de cloretos livres, ocorre a formação de um precipitado branco, denominado cloreto de prata e onde os cloretos encontram-se na forma combinada, ocorre a formação de um precipitado marrom, o óxido de prata. Como estas duas cores são bem contrastantes, branco e marrom, pode – se então observar claramente a área afetada pelos cloretos.

Quando a fonte da presença de cloretos é externa pode se observar uma frente de cloretos e saber se a mesma alcançou ou não as armaduras. No caso em que os cloretos estão inseridos na matriz da argamassa a visualização pode tornar-se um pouco mais difícil.

A solução de nitrato de prata após permaneceu em frasco escuro para evitar a decomposição pela luz (redução fotoquímica). Portanto foram evitados: calor, luz, fontes de ignição e contaminantes.



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Absorção de água

#### 6.1.1 Absorção de água por imersão

A seguir serão apresentados os resultados obtidos durante os ensaios de absorção de água por imersão.

##### A) Referência

A Figura 6.1 mostra os resultados obtidos durante os ensaios de absorção por imersão para os corpos-de-prova referência, ou seja, sem a aplicação de produto de proteção de superfície.

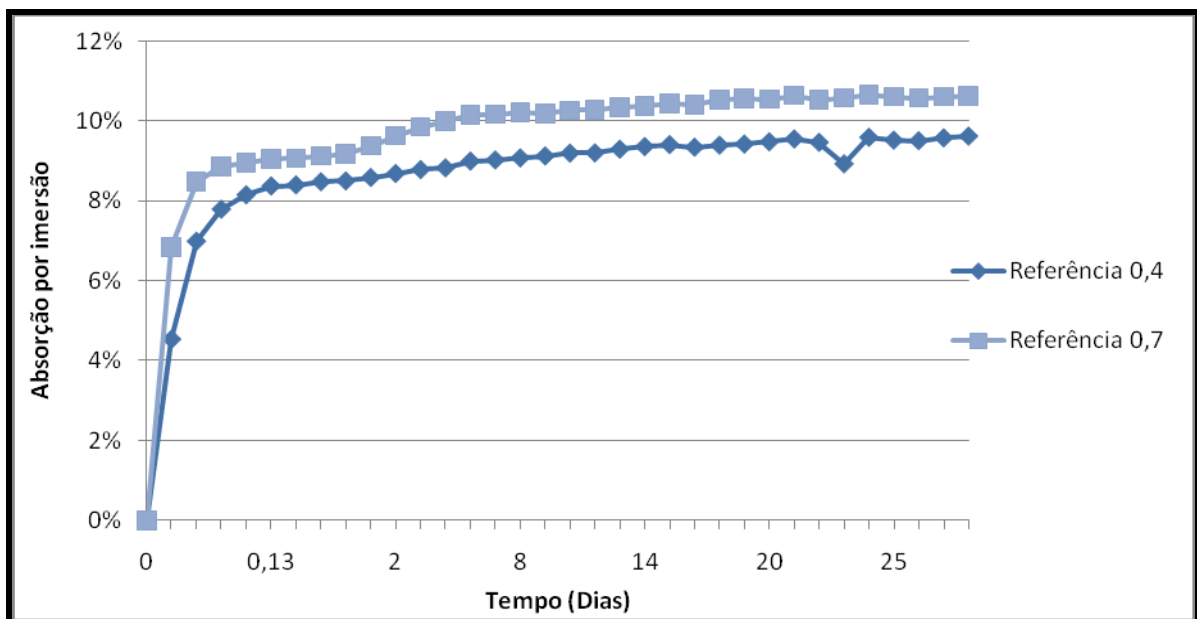


Figura 6.1 – Absorção por imersão (%) para corpos-de-prova referência.

Os resultados indicam que os corpos-de-prova referência relação a/c 0,7 apresentaram maior absorção de água do que os corpos-de-prova referência relação a/c 0,4, conforme já era esperado, devido à maior porosidade. Ao fim do período de 30 dias verificou-se que os corpos-de-prova relação a/c 0,4 absorveram 9,61% em relação a sua massa inicial ( $M_s$ ), enquanto que os corpos-de-prova relação a/c 0,7 absorveram 10,61% em relação a sua massa inicial ( $M_s$ ).

## B) Hidrofugante

Para o produto hidrofugante pôde-se observar um comportamento semelhante para as duas relações água cimento (0,4 e 0,7). O que permite concluir que a relação a/c não influi no comportamento deste material, isto provavelmente ocorre por que este produto reveste os poros e possui elevada capacidade de penetração nos poros.

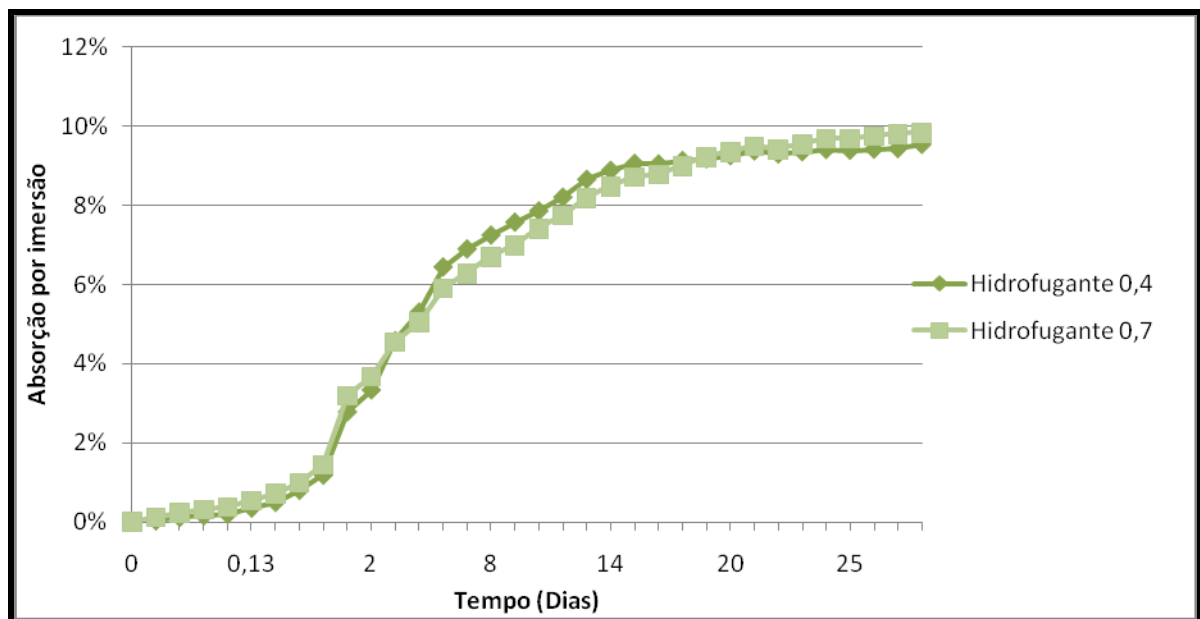


Figura 6.2 – Absorção por imersão (%) para o sistema de proteção superficial hidrofugante.

Ao fim do período de 30 dias verificou – se que os corpos-de-prova com relação a/c 0,4 absorveram 9,53% em relação a massa inicial(Ms), enquanto que os corpos-de-prova relação a/c 0,7 absorveram 9,85% em relação a sua massa inicial (Ms)(Figura 6.2).

## C) Formador de película

Conforme pode ser observado na Figura 6.3, nos corpos-de-prova com relação a/c 0,4, o formador de película obteve melhor eficácia quando comparado aos corpos-de-prova com relação a/c 0,7. Esse resultado mostra que o comportamento desse material sofre a influência da relação a/c.



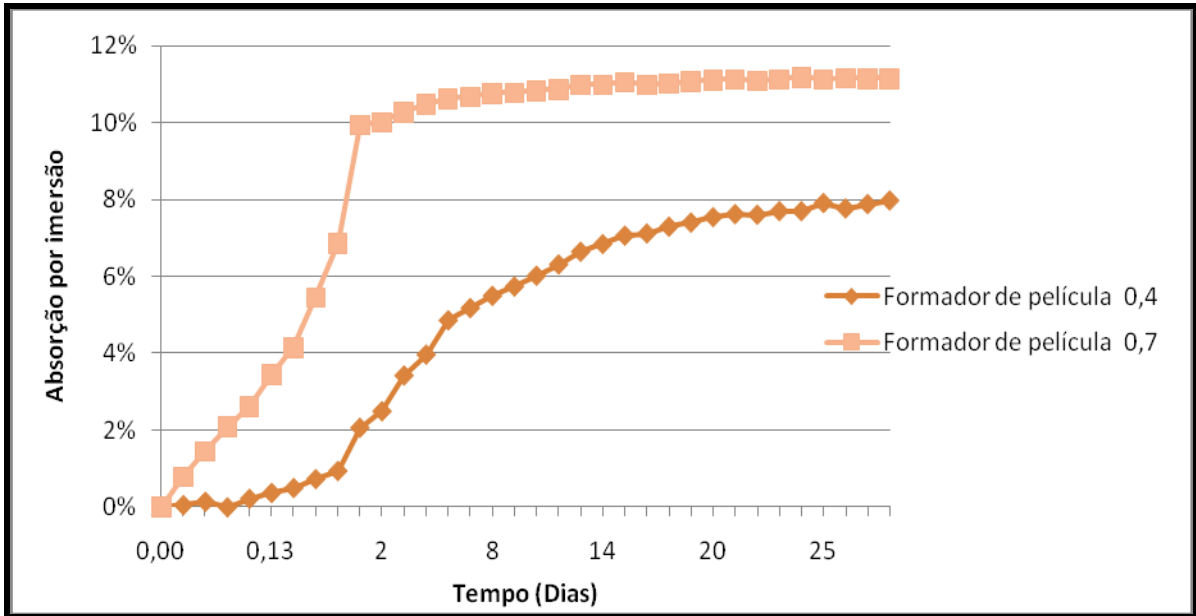


Figura 6.3 – Absorção por imersão (%) para o sistema de proteção superficial formador de película.

Além disso, pode-se observar que o formador de película no substrato de relação a/c igual a 0,7 apresentou elevada absorção logo no início do ensaio, enquanto que o formador de película 0,4 só apresentou elevada absorção a partir do 7º dia de ensaio, conforme pode ser observado na Figura 6.3.

Ao fim do período de 30 dias verificou – se que os corpos-de-prova relação a/c 0,4 absorveram 7,96% em relação a sua massa inicial ( $M_s$ ), enquanto que os corpos-de-prova relação a/c 0,7 absorveram 11,14% em relação a sua massa inicial ( $M_s$ ).

#### D) Bloqueador de poros

A Figura 6.4 apresenta os resultados para o material bloqueador de poros.

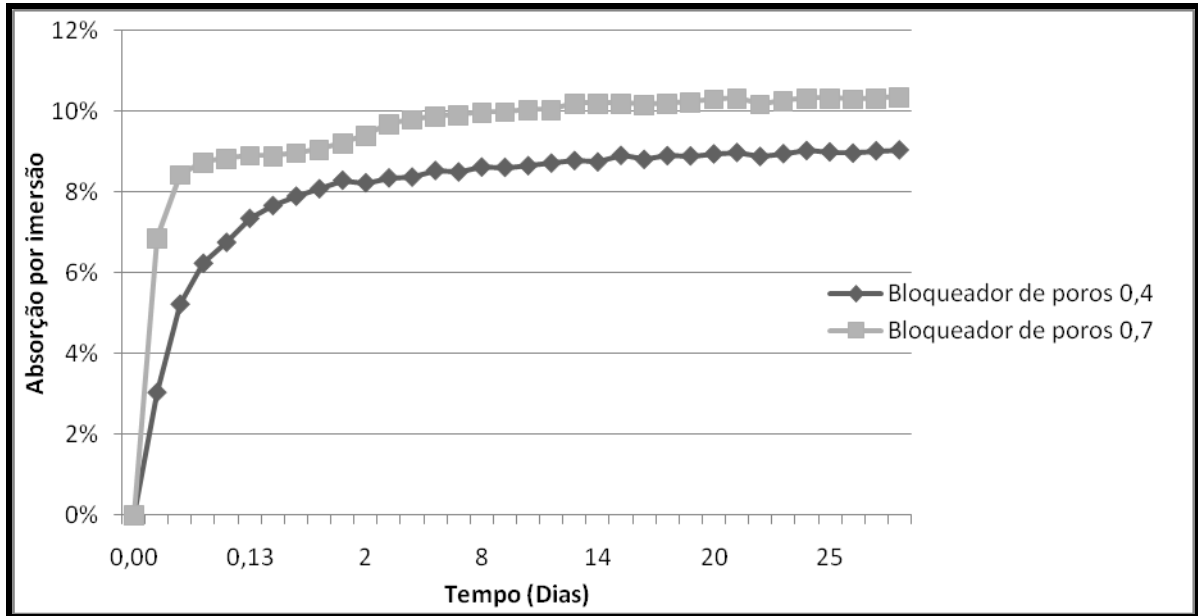


Figura 6.4 – Absorção por imersão (%) para o sistema de proteção superficial bloqueador de poros.

Este produto também apresentou melhor eficácia para a relação a/c 0,4, quando comparado a relação a/c 0,7. Ambos estabilizaram ao 4º dia de monitoramento. Ao fim do período de 30 dias verificou – se que os corpos-de-prova relação a/c 0,4 absorveram 9,03% em relação a massa inicial(Ms), enquanto que os corpos-de-prova relação a/c 0,7 absorveram 10,35% em relação a sua massa inicial (Ms), apresentado alta absorção em ambos os casos.

#### E) Comparação entre o de referência e o hidrofugante

A Figura 6.5 se refere aos resultados obtidos para os corpos-de-prova referência e hidrofugante. Os resultados deixam evidente a maior capacidade de proteção do sistema de proteção de superfície denominado hidrofugante quando comparado com a série de referência para as primeiras idades do concreto, porém ao fim do ensaio verificou-se que ambos tiveram resultados semelhantes.

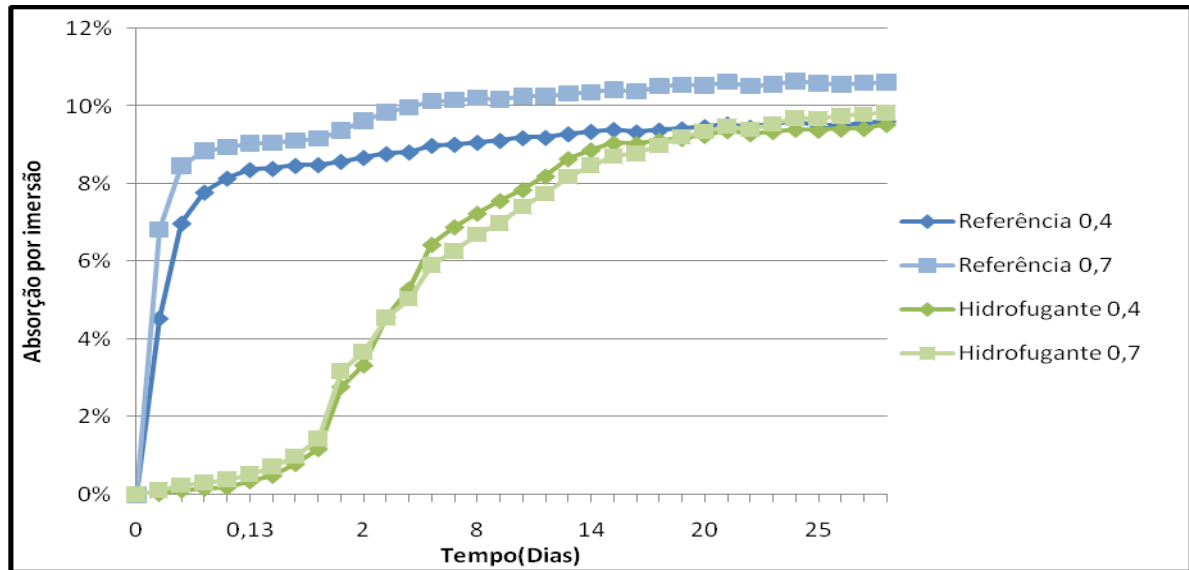


Figura 6.5 – Comparação dos resultados da absorção por imersão (%) para o referênci e o hidrofugante.

F) Comparação entre o de referênci e o formador de película

Conforme pode ser observado na Figura 6.6 o formador de película possui melhor comportamento quando comparado a séri de referênci para a relação a/c 0,4. Porém este produto apresentou eficácia inferior para a relação a/c 0,7, o que indica que para fatores a/c elevados o formador de película não é eficiente para diminuir a absorção de água.

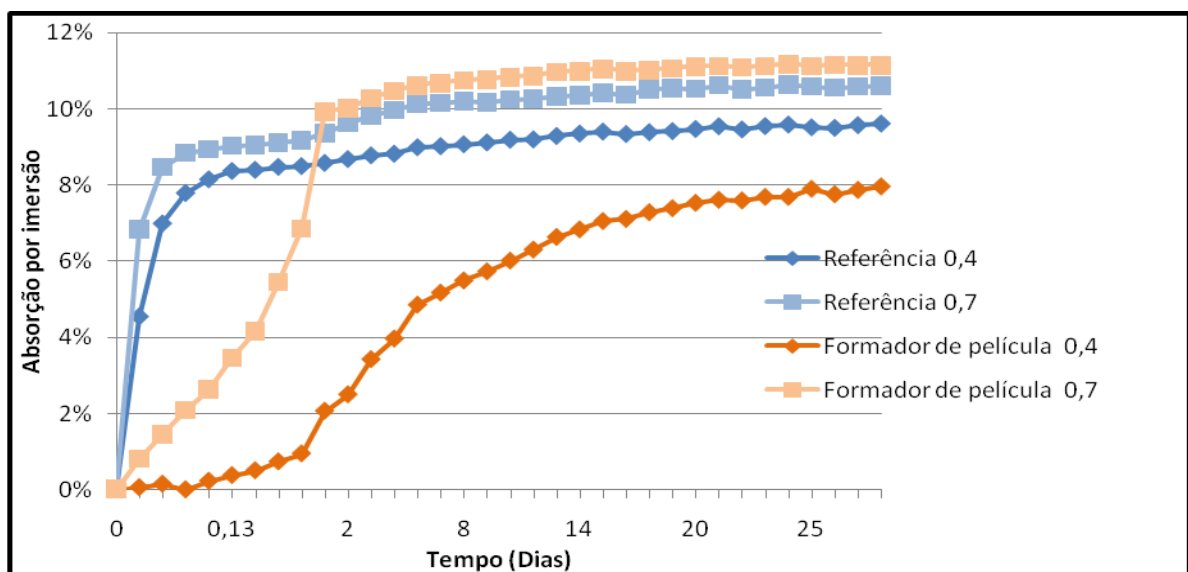


Figura 6.6 - Comparação dos resultados da absorção por imersão (%) para o referênci e o formador de película.

### G) Comparação entre o de referência e o bloqueador de poros

A Figura 6.7 se refere aos resultados obtidos para os corpos-de-prova referência e bloqueador de poros.

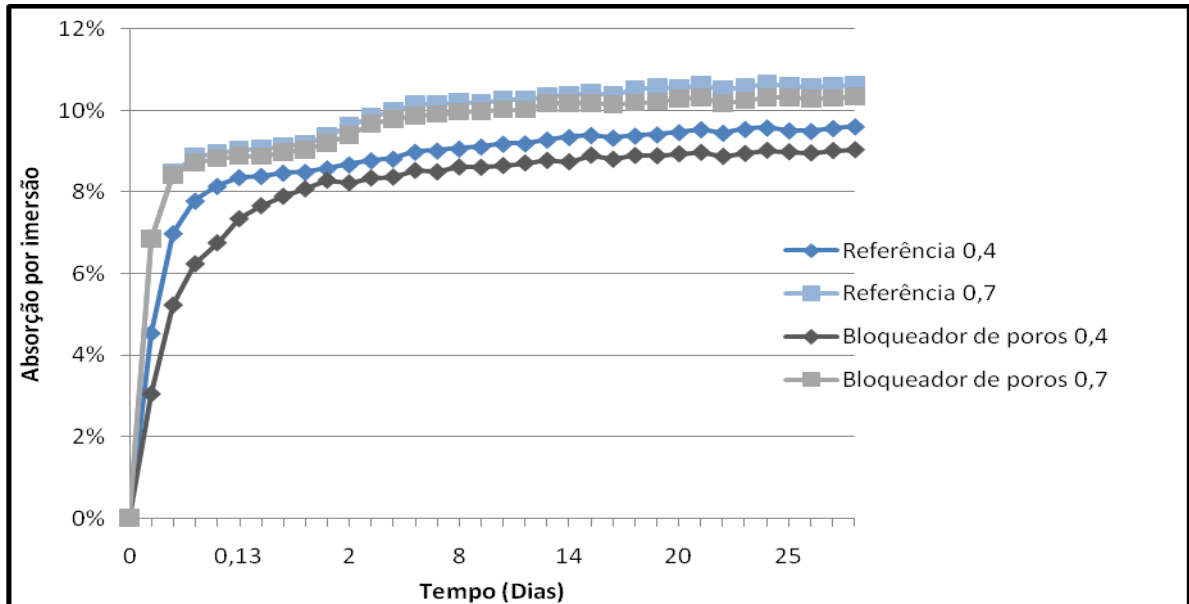


Figura 6.7 - Comparação dos resultados da absorção por imersão (%) para o referência e o bloqueador de poros.

Pode – se observar que os resultados para as relações a/c 0,4 para ambos os corpos-de-prova (com e sem proteção superficial) apresentaram comportamento semelhante quanto a penetração de água, o que também pode ser verificado para a relação a/c 0,7. Ou seja, a aplicação do produto sobre a superfície do concreto não apresentou o efeito de retardamento da penetração de água no concreto como esperado.

Vale salientar que as condições de serviço em que estes sistemas de proteção são submetidos neste ensaio são muito diferentes da prática. Ou seja, estes produtos não são aplicados para proteger peças de concreto em contato constante com água.

H) Comparação entre o de referência, hidrofugante, formador de película e o bloqueador de poros de poros

As Figuras 6.8 e 6.9 se referem aos resultados obtidos para os corpos-de-prova referência e os três produtos aplicados na superfície dos corpos-de-prova (hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros).

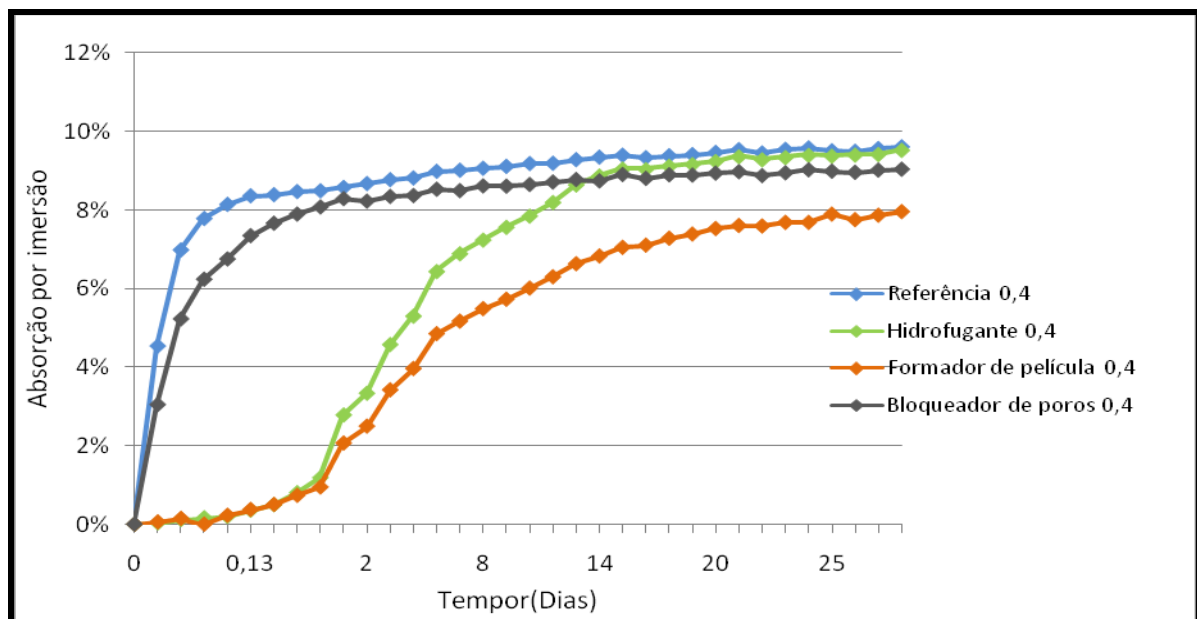


Figura 6.8 - Comparação dos resultados da absorção por imersão (%) para o referência e o hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros para a relação a/c 0,4.

Observa-se na Figura 6.8, para a relação a/c 0,4, que o produto formador de película foi o que apresentou a melhor eficácia entre todos os produtos aplicados. O bloqueador de poros foi o que apresentou a pior eficácia quando comparado aos outros produtos durante o ensaio realizado.

Com as técnicas utilizadas, foi possível classificar os materiais estudados em ordem decrescente de eficácia quanto a Absorção por Imersão para a relação a/c 0,4:

**Formador de Película > Hidrofugante > Bloqueador de poros**

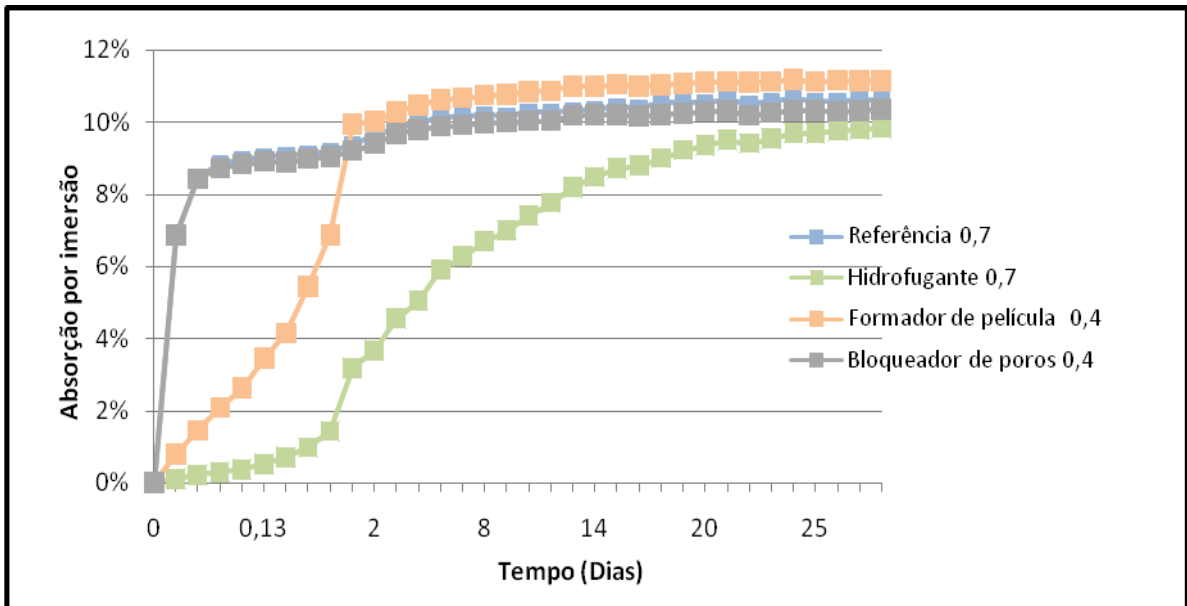


Figura 6.9 - Comparação dos resultados da absorção por imersão (%) para o referência e o hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros para a relação a/c 0,7.

Enquanto que para a relação a/c 0,7 o produto que apresentou melhor eficácia foi o hidrofugante. Este produto foi o que conseguiu retardar por um período maior a elevada absorção de água, enquanto que o bloqueador de poros apresentou a pior eficácia entre os três produtos aplicados.

Com as técnicas utilizadas, foi possível classificar os materiais estudados em ordem decrescente de eficácia quanto a Absorção por Imersão para a relação a/c 0,7:

**Hidrofugante > Formador de Película > Bloqueador de poros**

#### I) Influência da relação água/cimento

Na Figura 6.10 são mostrados os valores médios de absorção por imersão para cada tipo de material em função do fator água/cimento.

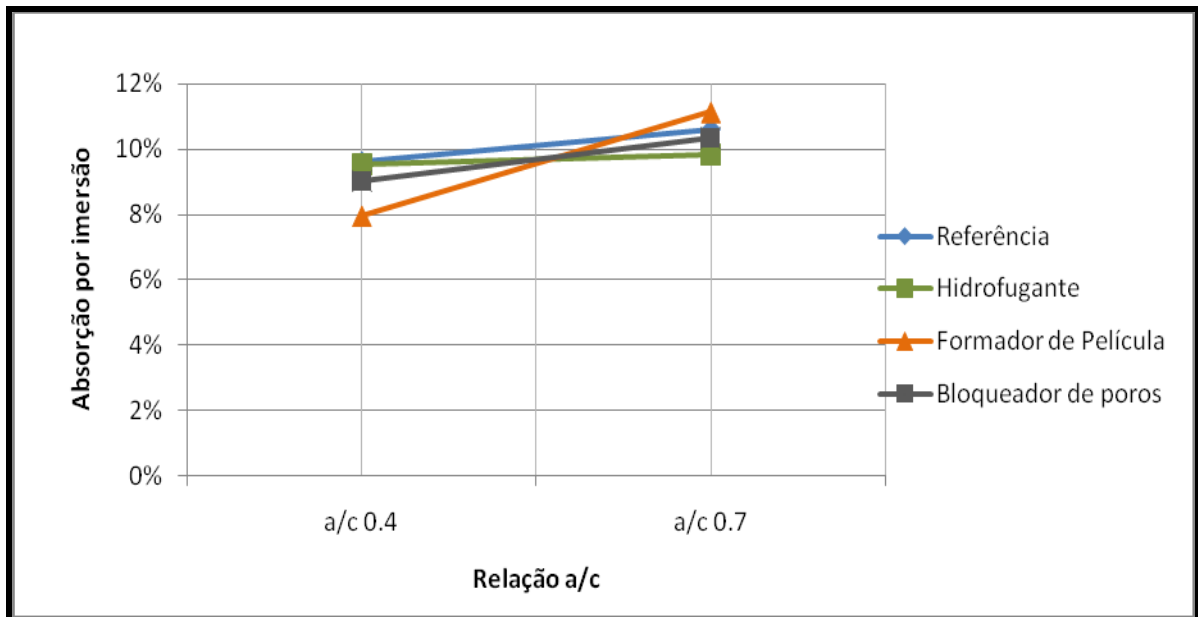


Figura 6.10 – Valores médios de absorção por imersão para cada tipo de produto em função da relação a/c.

Através da Figura 6.10 pode se verificar a tendência de crescimento dos valores de absorção por imersão com o aumento do fator água/cimento, que pode ser atribuída a uma porosidade mais aberta e interconectada para os concretos com elevadas relações a/c (NEVILLE, 1997). Conforme pode se observar no gráfico acima o produto formador de película foi o que sofreu maior influência da relação a/c, sendo notável a elevação da absorção com a variação da relação a/c de 0,4 para 0,7. O produto que sofreu menor influência da relação a/c foi o hidrofugante, conforme pode se observar no gráfico acima, isso provavelmente ocorre devido a forma como este produto reveste os poros e possui elevada capacidade de penetração nos poros.

Uma explicação para o formador de película ter sido altamente influenciado pela relação a/c pode ser sua capacidade limitada de cobrir com perfeições poros na superfície dos corpos-de-prova. Provavelmente a maior porosidade da argamassa se reflete em maior porosidade na superfície e a película acaba não cobrindo a superfície perfeitamente.

### 6.1.2 Absorção de água por capilaridade

Este ensaio foi realizado conforme a NBR 9779 (ABNT, 1987) e seus resultados foram apresentados a seguir.

### A) Referência

A Figura 6.11 mostra os resultados de absorção de água por capilaridade para os corpos-de-prova referência, ou seja, sem aplicação de nenhum sistema de proteção de superfície.

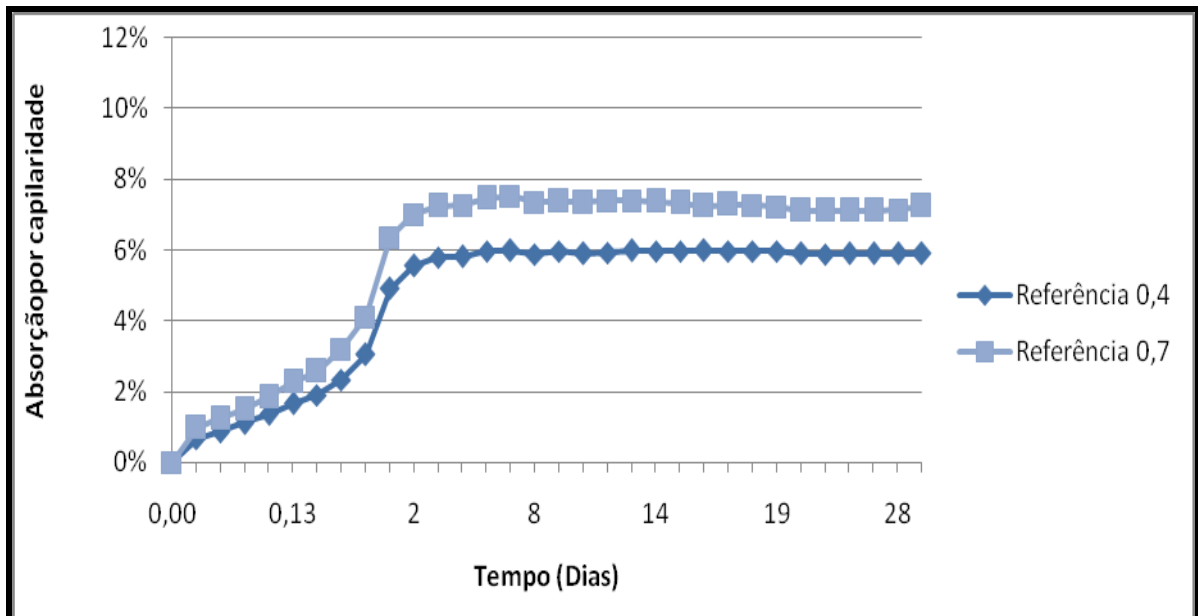


Figura 6.11 – Absorção por capilaridade (%) para corpos-de-prova referência.

Os resultados indicam que os corpos-de-prova referência relação a/c 0,7 apresentaram maior absorção de água do que os corpos-de-prova Referência relação a/c 0,4, conforme já era esperado, devido à maior porosidade. Ao fim do período de 30 dias verificou – se que os corpos-de-prova relação a/c 0,4 absorveram 5,91% de água em relação a sua massa inicial ( $M_s$ ), enquanto que os corpos-de-prova relação a/c 0,7 absorveram 7,25%.



## B) Hidrofugante

A Figura 6.12 representa os resultados de absorção por capilaridade, obtidos para o sistema de proteção hidrofugante, estudado neste trabalho.

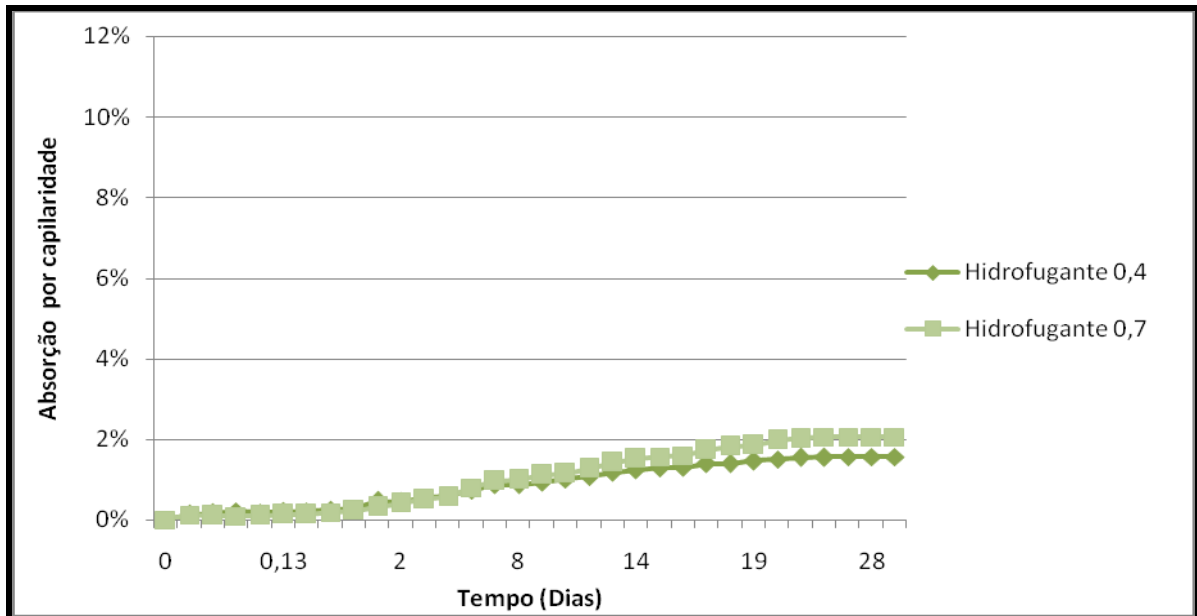


Figura 6.12 – Absorção por capilaridade (%) para o sistema de proteção de superfície hidrofugante.

Pode-se observar na Figura 6.12, que o produto Hidrofugante apresentou eficácia semelhante para as duas relações a/c, quando submetidos a ensaios de absorção de água por capilaridade. O hidrofugante 0,4 absorveu 1,57% de água quando comparado a sua massa inicial ( $M_s$ ), enquanto que o hidrofugante 0,7 absorveu 2,06%, considerando essa diferença de absorção desprezível, podemos considerar que para o ensaio de absorção por capilaridade a relação a/c não influencia no comportamento do produto hidrofugante.

## C) Formador de película

A Figura 6.13 apresenta os resultados para o material formador de película. Os resultados obtidos indicam que no início do ensaio o produto teve comportamento semelhante para ambos as relações a/c, porém ao decorrer do ensaio verificou-se que este produto é mais eficiente para fatores a/c mais baixos.

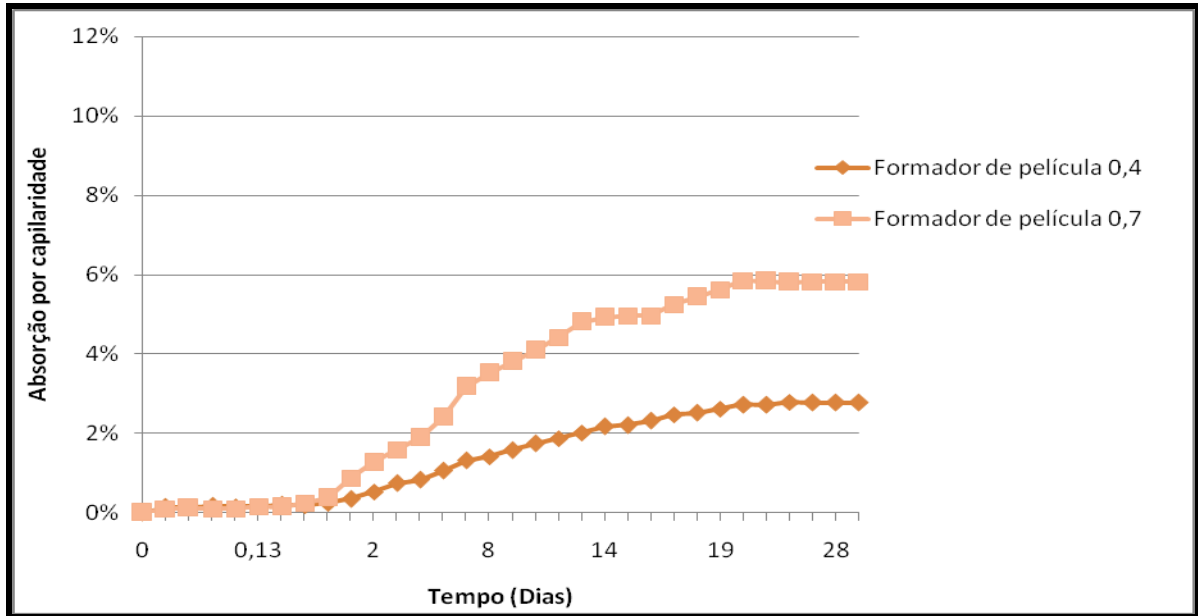


Figura 6.13 – Absorção por capilaridade (%) para o sistema de proteção de superfície formador de película.

Os resultados indicam que os corpos-de-prova referência relação a/c 0,7 apresentaram maior absorção de água do que os corpos-de-prova referência relação a/c 0,4, conforme já era esperado, devido à maior porosidade. Ao fim do período de 30 dias verificou – se que os corpos-de-prova relação a/c 0,4 absorveram 2,78% em relação a massa inicial(Ms), enquanto que os corpos-de-prova relação a/c 0,7 absorveram 5,81% em relação a sua massa inicial (Ms).

#### D) Bloqueador de poros

Analisando a Figura 6.14 pode se verificar que o bloqueador de poros relação a/c 0,4 apresentou melhor eficácia que o bloqueador de poros relação a/c 0,7, desde o início do ensaio de absorção por capilaridade. Ambos estabilizaram no 2º dia de monitoramento, conforme pode ser observado na Figura 6.14.

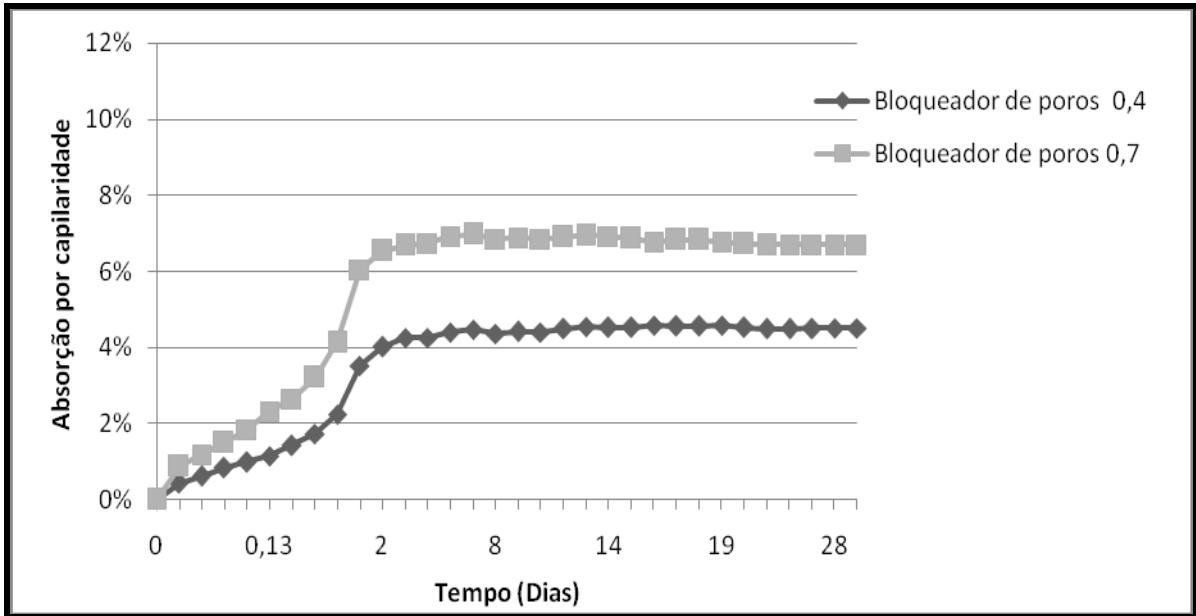


Figura 6.14 – Absorção por capilaridade (%) para o sistema de proteção de superfície bloqueador de poros.

#### E) Comparação entre referência e hidrofugante

A Figura 6.15 se refere aos resultados obtidos para os corpos-de-prova referência e hidrofugante. Os resultados deixam evidente a maior capacidade de proteção do sistema de proteção de superfície denominado hidrofugante quando comparado ao de referência.

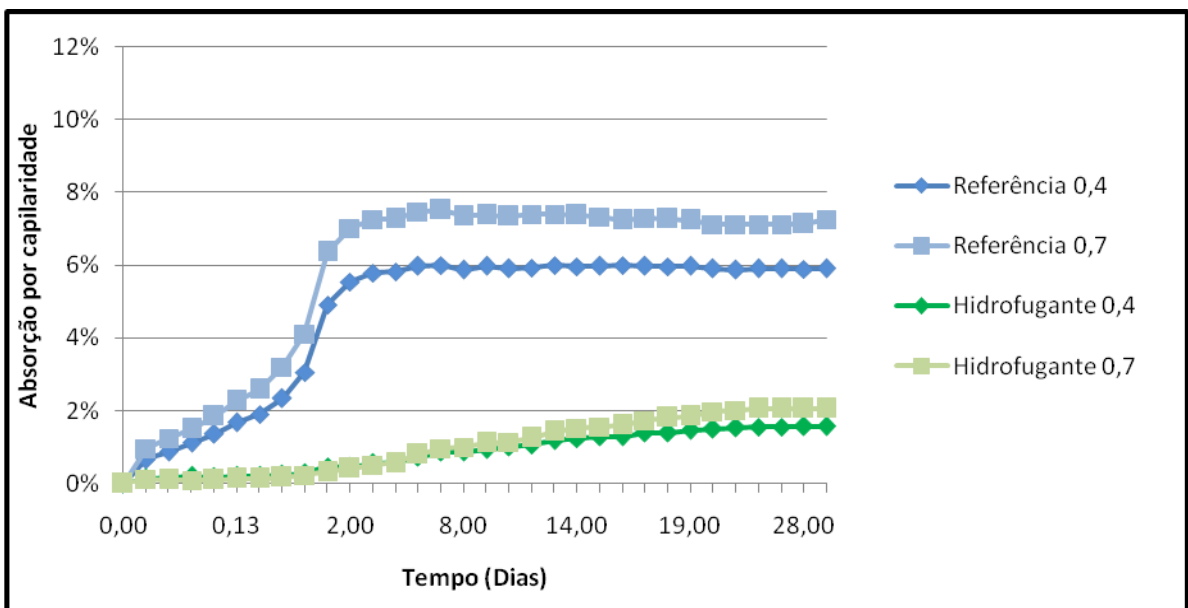


Figura 6.15 – Comparação dos resultados da absorção por capilaridade (%) para o referência e o hidrofugante.

#### F) Comparação entre o referência e o formador de película

Conforme pode ser observado na Figura 6.16 o Formador de película para ambas as relações a/c apresentou melhor eficácia do que o de referência, apresentando significativa capacidade de reduzir a penetração da água no concreto quando se trata de absorção de água por capilaridade.

Vale destacar que o formador de película fez o substrato com relação a/c 0,7 ter maior capacidade de reduzir a absorção do que o referência com relação a/c 0,4 nas primeiras idades e ter mesma eficiência em maiores idades. Ou seja, o formador de película mostrou capacidade de reduzir a absorção de um substrato relação a/c 0,7 quando comparado a um substrato sem proteção alguma com relação a/c 0,4.

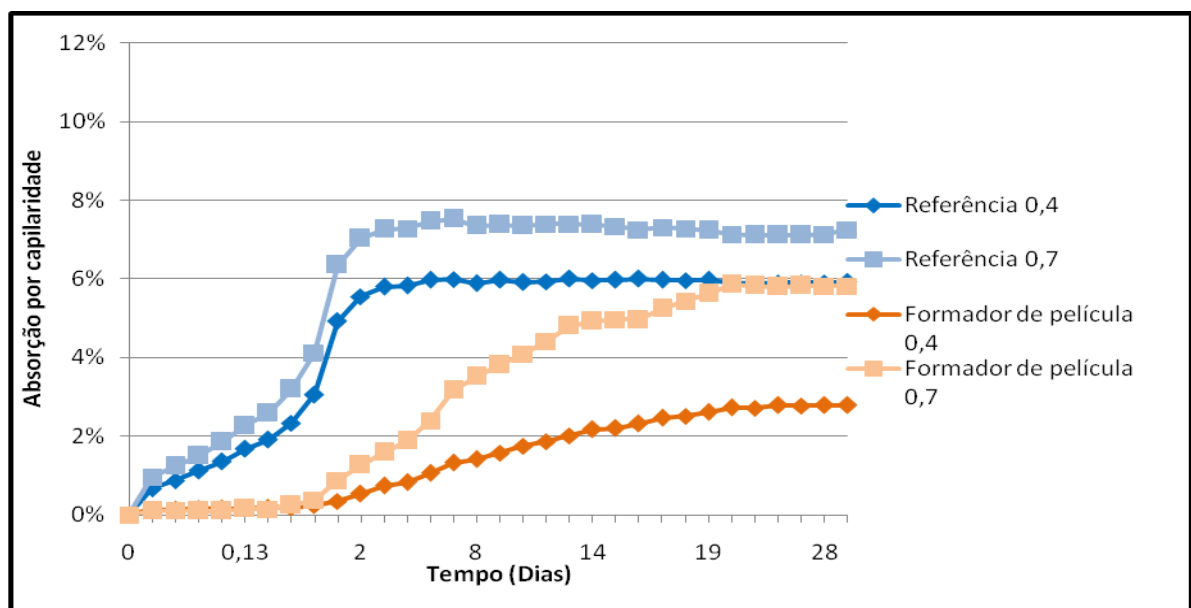


Figura 6.16 - Comparação dos resultados da absorção por capilaridade (%) para o referência e o formador de película.

#### G) Comparação entre referência e o bloqueador de poros

A Figura 6.17 se refere aos resultados obtidos para os corpos-de-prova referência e bloqueador de poros. Pode-se observar que os resultados para as relações a/c 0,4, ambos os corpos-de-prova (com e sem proteção de superfície) apresentaram comportamento semelhante quanto à penetração de água, o que também pode ser verificado para a relação a/c 0,7. Ou

seja, a aplicação do produto sobre a superfície do concreto não apresentou o efeito significativo de retardamento da penetração de água no concreto esperado.

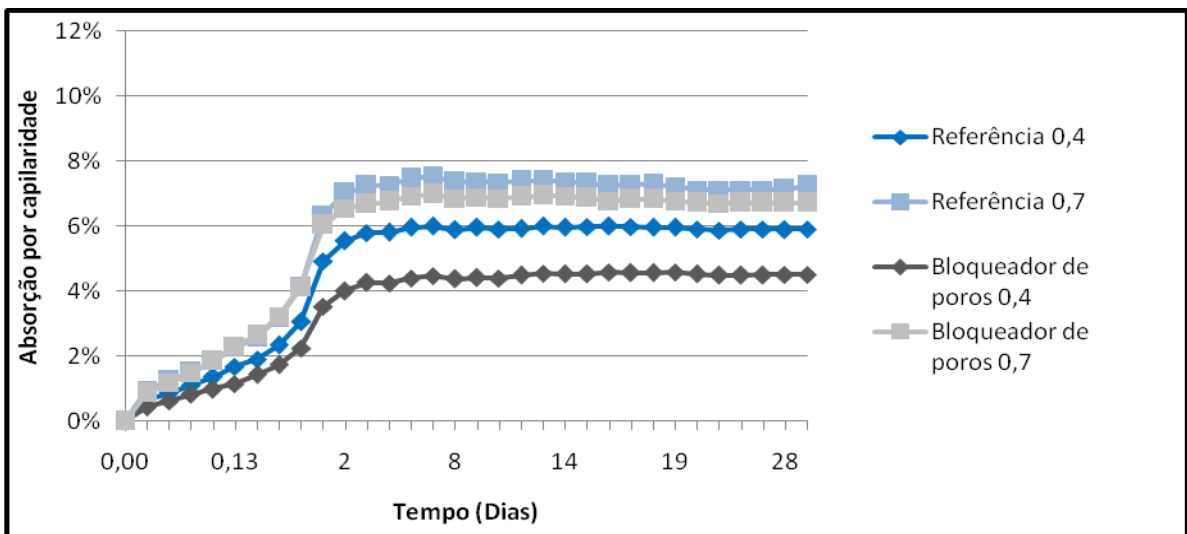


Figura 6.17 - Comparação dos resultados da absorção por capilaridade (%) para o referência e o bloqueador de poros

H) Comparação entre referência, hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros

As Figuras 6.18 e 6.19 se referem aos resultados obtidos para os corpos-de-prova referência e os três produtos aplicados na superfície dos corpos-de-prova (hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros).

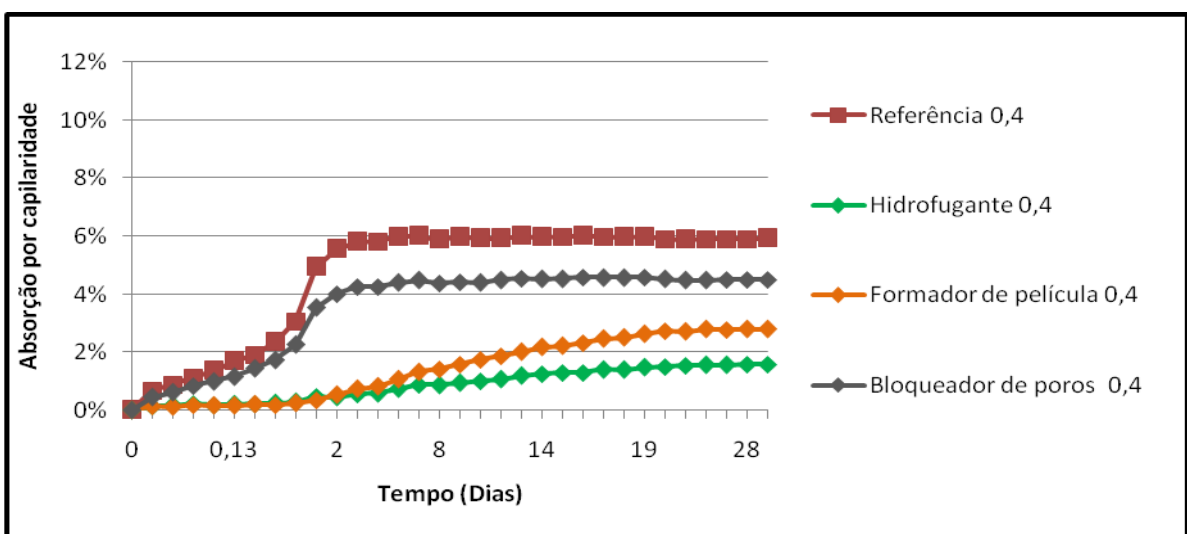


Figura 6.18 - Comparação dos resultados da absorção por capilaridade (%) para o referência e o hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros para a relação a/c 0,4.

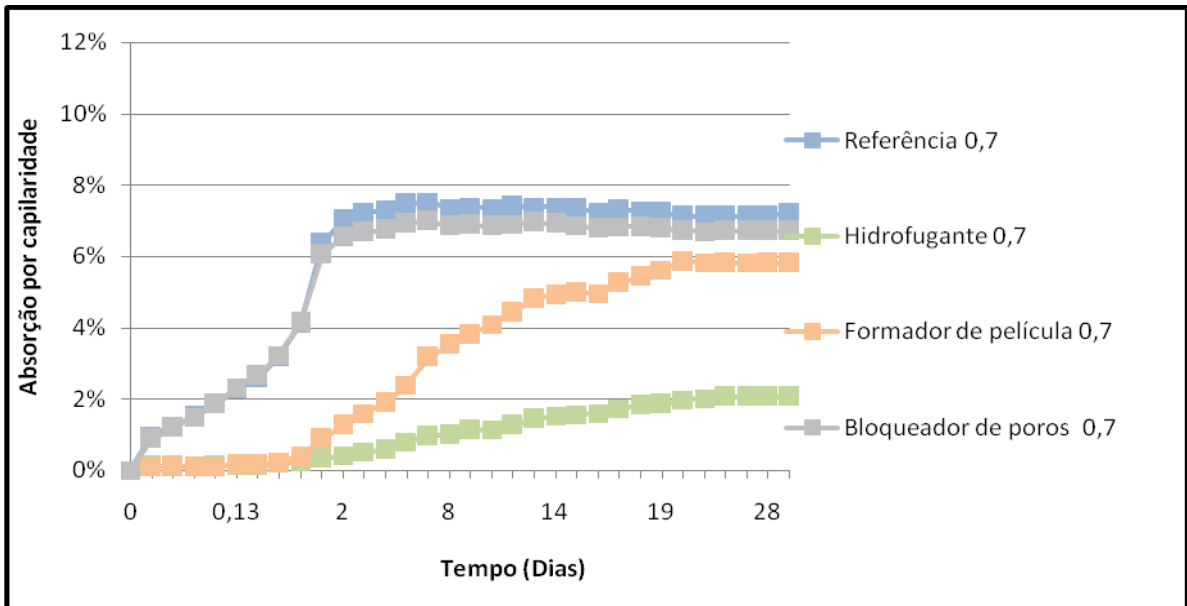


Figura 6.19 - Comparação dos resultados da absorção por capilaridade (%) para o referência e o hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros para a relação a/c 0,7.

Pode se observar que para ambas as relações a/c aqui analisadas, o material hidrofugante apresentou melhor eficácia, enquanto que o bloqueador de poros foi o produto que apresentou pior eficácia quando comparado aos demais produtos.

Com as técnicas utilizadas, foi possível classificar os materiais estudados em ordem decrescente de eficácia quanto a Absorção por capilaridade para ambos as relações água/cimento:

**Hidrofugante > Formador de Película > Bloqueador de poros**

#### J) Influência da relação água/cimento

Na Figura 6.20 são mostrados os valores médios de absorção por capilaridade para cada tipo de material em função da relação água/cimento.

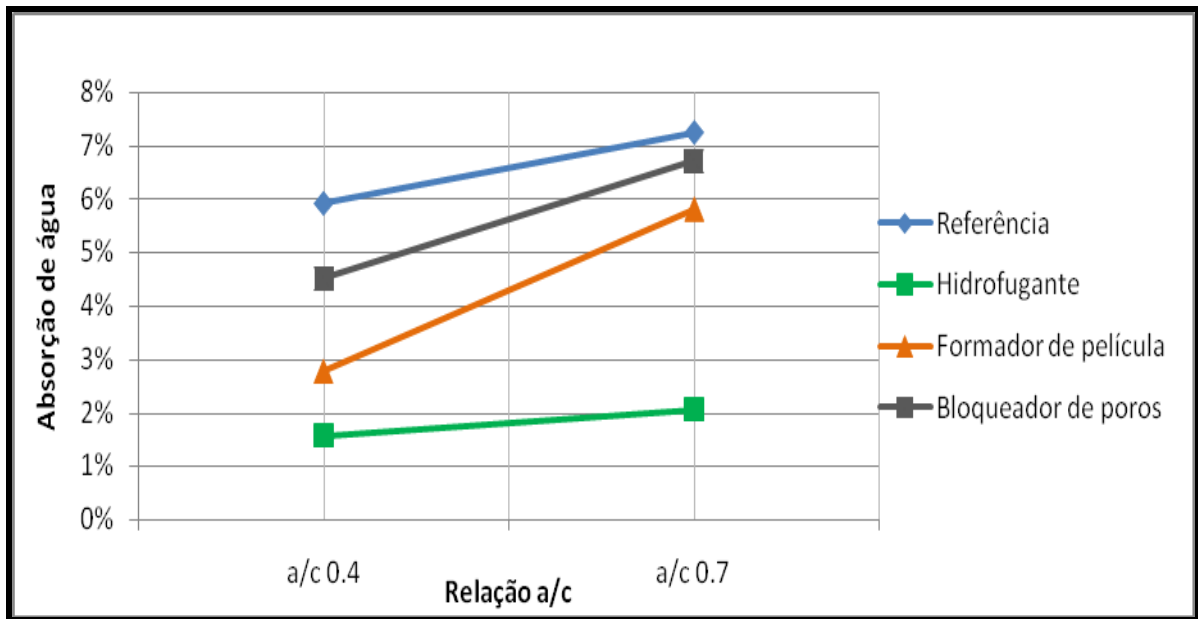


Figura 6.20 – Valores médios de absorção por capilaridade para cada tipo de produto em função do relação a/c.

Como para o ensaio de absorção por imersão também pode se verificar a tendência de crescimento dos valores de absorção por capilaridade com o aumento do fator água/cimento, que pode ser atribuída a uma porosidade mais aberta e interconectada para os concretos com elevadas relações a/c (NEVILLE, 1997).

Verificou-se também que, para o ensaio de absorção por capilaridade o produto que sofreu maior influência da relação a/c foi o formador de película, conforme pode se observar no gráfico 6.20, e bem como no ensaio de absorção por imersão, o que sofreu menor influência foi o hidrofugante.

### 6.1.3 Absortividade

A seguir são apresentados os resultados de absortividade do substrato tratado e não tratado, que é o volume de água que penetra por unidade de área e tempo.

#### A) Referência

A Figura 6.21 mostra os resultados da Absortividade para os corpos-de-prova referência, ou seja, sem aplicação de nenhum sistema de proteção de superfície.

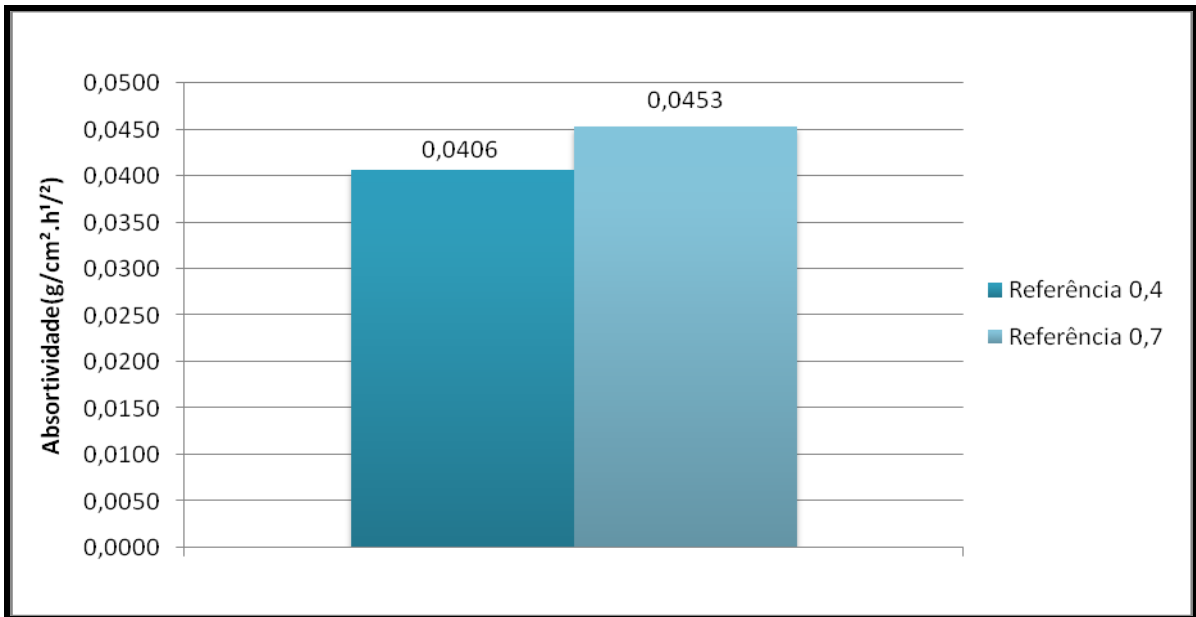


Figura 6.21 – Absortividade ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$ ) para corpos-de-prova referência.

Os resultados indicam que os corpos-de-prova de referência moldados com relação a/c 0,4 apresentaram uma redução da absortividade de 11% em relação ao referência 0,7, isso se deve provavelmente a maior comunicabilidade dos poros para a relação a/c 0,7.

A redução da relação a/c pode ser responsável pela redução do diâmetro dos poros, porém a comunicabilidade dos poros passa a ser menor, reduzindo a profundidade de penetração (HELENE, 1993).

#### B) Hidrofugante

A Figura 6.22 representa os resultados de absortividade, obtidos para o sistema de proteção hidrofugante, estudado neste trabalho.

Conforme pode ser observado na Figura 6.22 o material hidrofugante 0,4 reduziu somente em 18% a absortividade em relação ao hidrofugante 0,7, indicando que a relação a/c não possui significativa influência sobre a capacidade de reduzir a absortividade deste material.



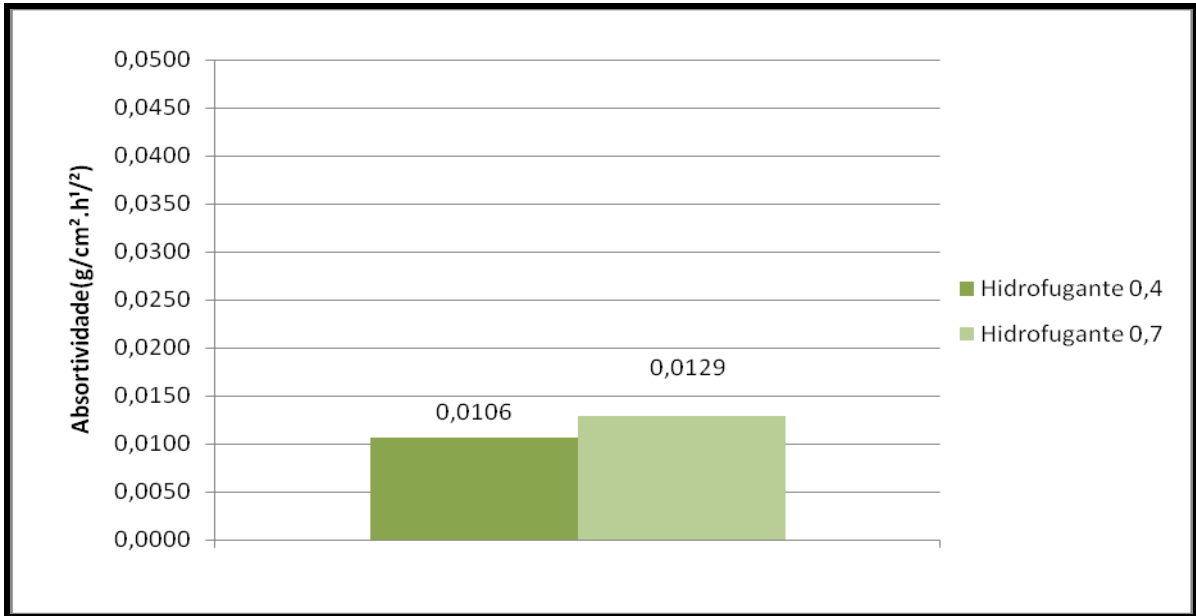


Figura 6.22 – Absortividade ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$ ) para o sistema de proteção de superfície hidrofugante.

### C) Formador de película

A Figura 6.23 apresenta os resultados para o material formador de película. O formador de película 0,4 reduziu significativamente a absortividade quando comparado ao formador de película 0,7, atingindo a taxa de redução de 49%. Isso indica que a relação a/c influi no comportamento deste produto quanto à absortividade.

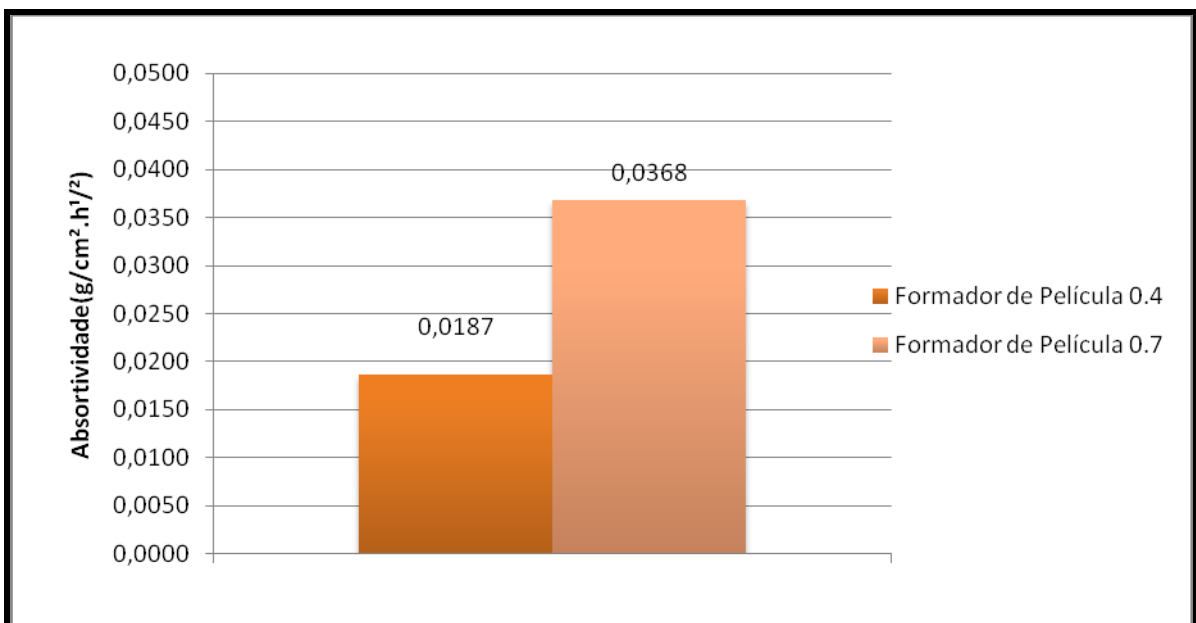


Figura 6.23 – Absortividade ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$ ) para o sistema de proteção de superfície formador de película.

#### D) Bloqueador de poros

A Figura 6.24 mostra que o bloqueador de poros 0,4 reduziu em 28% a absorvidade da argamassa quando comparado ao bloqueador de poros 0,7, indicando que a relação a/c também possui significativa influência sobre o comportamento deste material quanto à absorvidade de água por sucção.

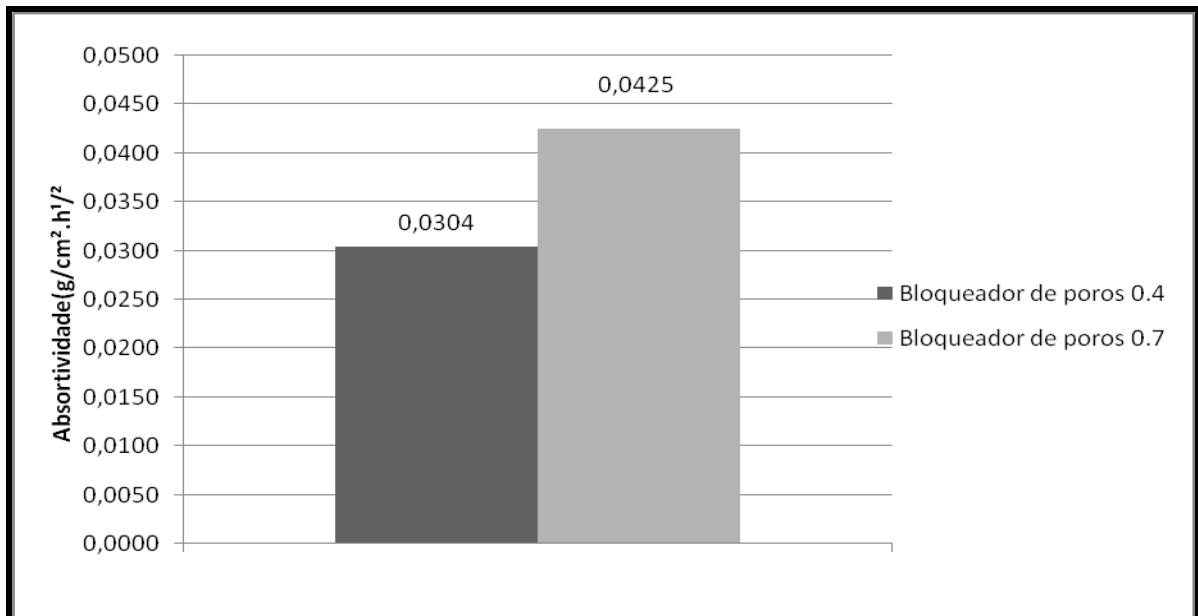


Figura 6.24 Absorvidade ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$ ) para o sistema de proteção de superfície bloqueador de poros.

#### E) Comparação entre referência e hidrofugante

A Figura 6.25 se refere aos resultados obtidos para os corpos-de-prova referência e hidrofugante. Os resultados deixam evidente a maior capacidade de redução da absorvidade do sistema de proteção de superfície denominado hidrofugante quando comparado ao de referência. Chegando a reduzir entre 72% e 74% a velocidade de absorção de água por unidade de área e tempo, estes resultados são explicados pela elevação do ângulo de contato de gotas de água em contato com a superfície de concreto tratado com Hidrofugante (HELENE, 2001).

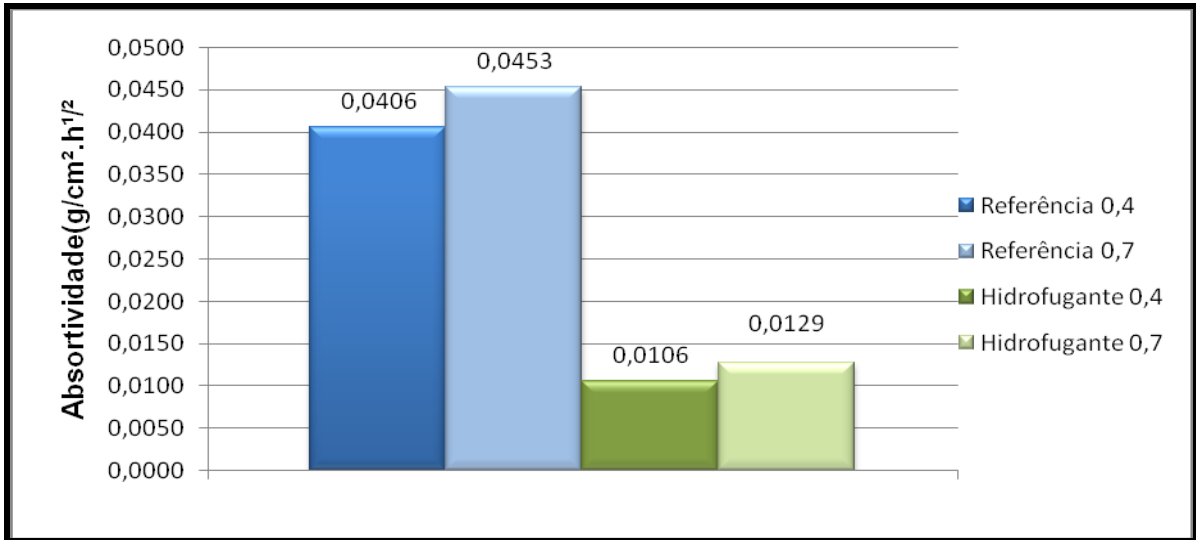


Figura 6.25 – Comparação dos resultados da Absortividade ( $\text{g/cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$ ) para o referência e o hidrofugante.

F) Comparação entre referência e formador de película

Conforme pode ser observado na Figura 6.26, para a relação a/c 0,4 o formador de película apresentou maior capacidade de redução da absortividade quando comparado ao de referência 0,4, atingindo taxa de redução de 54%. Enquanto que para a relação a/c 0,7, o formador de película não apresentou característica semelhante quando comparado ao de referência 0,7, reduzindo somente em 19% a absortividade. Isso indica que a relação a/c possui influência no comportamento deste material quanto à capacidade de reduzir a absortividade.

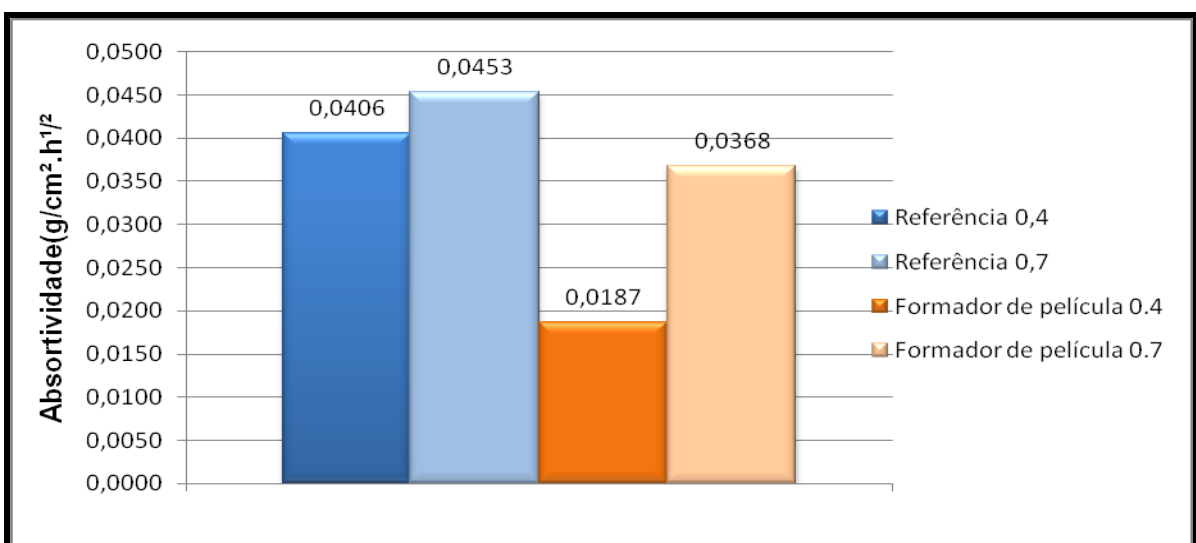


Figura 6.26 - Comparação dos resultados da Absortividade ( $\text{g/cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$ ) para o referência e o formador de película

### G) Comparação entre referência e o bloqueador de poros

A Figura 6.27 se refere aos resultados obtidos para os corpos-de-prova referência e bloqueador de poros. Pode-se observar que para ambos as relações a/c, 0,4 e 0,7, o bloqueador de poros não apresentou significativa redução da absorvidade quando comparado ao de referência, atingindo valores de taxa de redução de 25% e 6%, respectivamente.

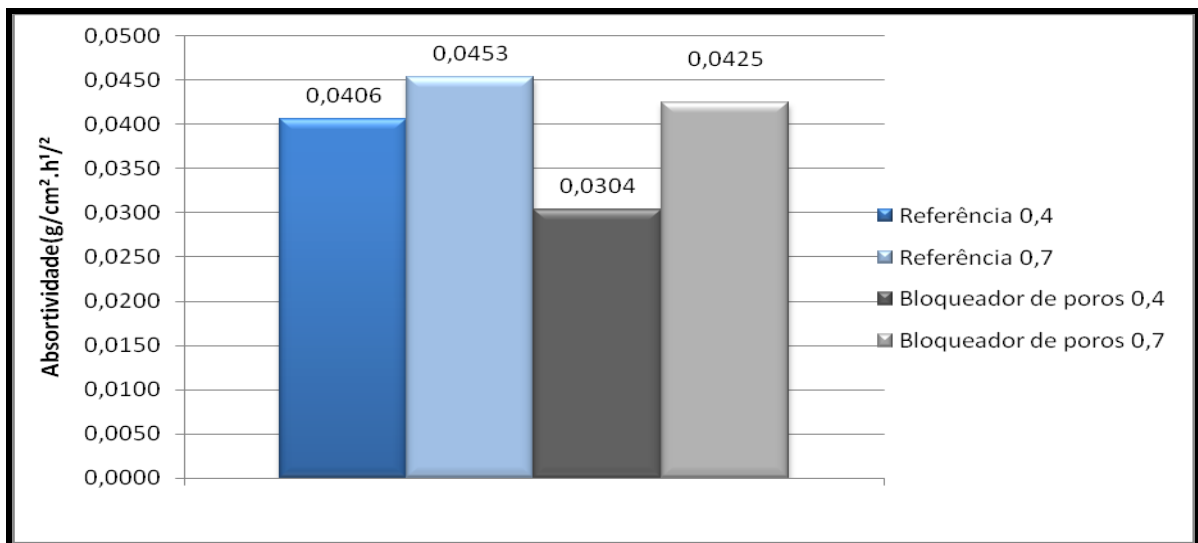


Figura 6.27 - Comparação dos resultados da Absorvidade ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$ ) para o referência e o bloqueador de poros

### H) Comparação entre referência, hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros

As Figuras 6.28 e 6.29 se referem aos resultados obtidos para os corpos-de-prova referência e os três produtos aplicados na superfície dos corpos-de-prova (hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros).

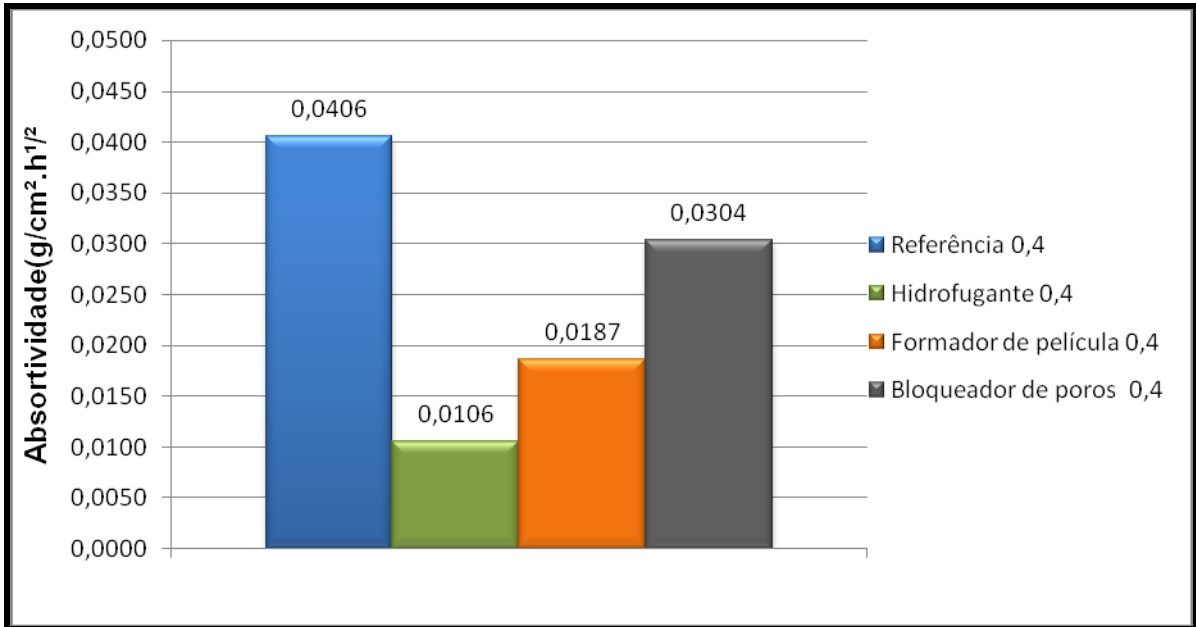


Figura 6.28 - Comparação dos resultados da Absortividade ( $\text{g}/\text{cm}^2.t^{1/2}$ ) para o referência e o hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros para a relação a/c 0,4.

Conforme pode ser observado na Figura 6.28 para a relação a/c 0,4 o produto hidrofugante foi o que apresentou a melhor eficácia entre todos os produtos aplicados, reduzindo significativamente a absorptividade, em torno de 74%, enquanto que o formador de película 0,4 e o bloqueador de poros 0,4 atingiram taxas de redução de 54% e 25%, respectivamente.

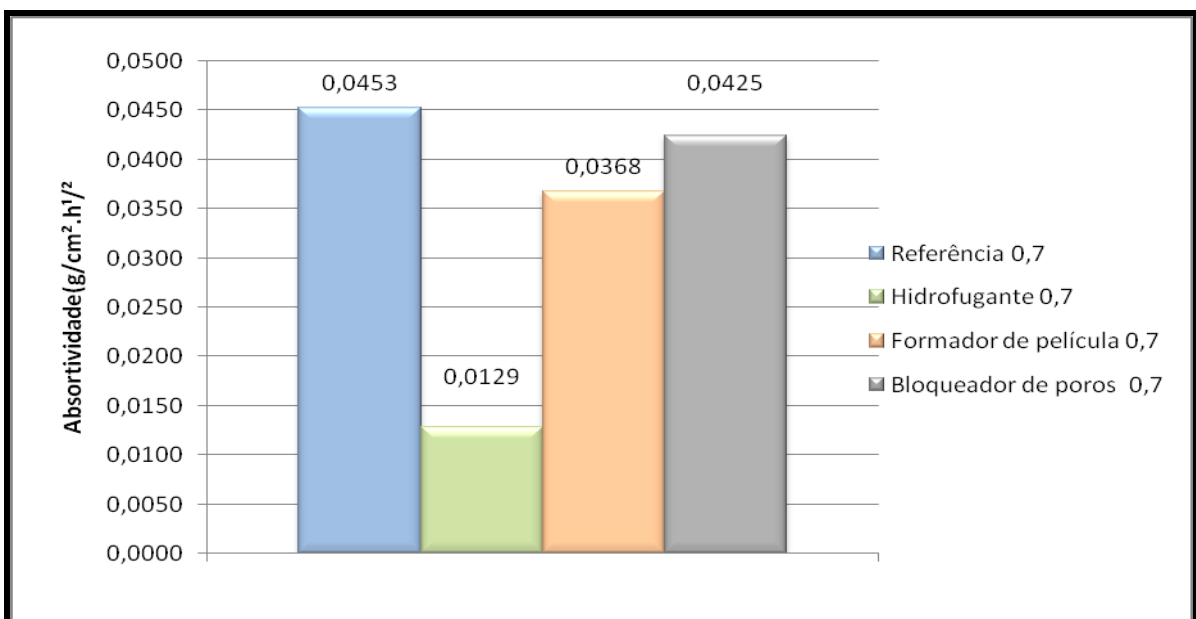


Figura 6.29 - Comparação dos resultados da Absortividade ( $\text{g}/\text{cm}^2.t^{1/2}$ ) para o referência e o hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros para a relação a/c 0,7.

O mesmo ocorreu para a relação a/c 0,7, o material que apresentou melhor capacidade para redução da absorvidade foi o hidrofugante 0,7, com taxa de redução de 72%, enquanto que o formador de película 0,7 e o bloqueador de poros 0,7 atingiram taxas de redução de 19% e 6%, respectivamente.

Com as técnicas utilizadas, foi possível classificar os materiais estudados em ordem decrescente de eficácia quanto à capacidade de redução da absorvidade para ambas as relações água/cimento:

<b>Hidrofugante &gt; Formador de Película &gt; Bloqueador de poros</b>
--

## ***6.2 Potencial de Corrosão***

O potencial de corrosão é um dado meramente qualitativo na análise de avaliação de corrosão das armaduras. Segundo Hansson (1982) apud Cascudo, (1997), este dado é uma medida de maior ou menor facilidade de transferência da carga elétrica entre o aço e a solução contida nos poros do concreto e é uma propriedade da interface concreto-aço. Mas esta maior ou menor facilidade não deve ser confundida com dados quantitativos de corrosão, que informam dados cinéticos do processo. A este respeito não se pode deduzir velocidade de corrosão a partir de potenciais medidos isoladamente.

A ASTM C876/(1991) prescreve o método de ensaio para a obtenção dos potenciais de corrosão em concreto e estabelece a avaliação da probabilidade de corrosão em armaduras de concreto.

Os valores foram obtidos do cálculo da média das 4 barras embutida nos dois corpos-de-prova, para cada ensaio, em condições semelhantes, já que os corpos-de-prova eram iguais (mesmas dimensões e recobrimento), e tiveram as mesmas condições de mistura, lançamento, adensamento e mesmo procedimento de penetração de agentes agressivos às armaduras (Nepomuceno, 1992; Bauer, 1995; Monteiro, 1996; Vasconcelos, 1997) Como já foi explicitado anteriormente, foram moldados corpos-de-prova com e sem adição de íons cloreto, todos foram submetidos a semiciclos de umectação e secagem conforme explicado no programa experimental.

De posse desses dados e calculados os valores dos potenciais, os resultados obtidos foram comparados com os da ASTM C876/(1991), que estabelece a probabilidade de corrosão das armaduras de concreto, como pode ser visualizado na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Critérios de avaliação das medidas dos potenciais de corrosão de acordo com a ASTM C876(1991).

<b>Potencial de corrosão em relação ao eletrodo de referência de cobre-sulfato de cobre - CU/CUSO4 (mV)</b>	<b>Probabilidade de corrosão (%)</b>
<b>Mais positivo que -200</b>	5
<b>Entre -200 e -350</b>	Incerta
<b>Mais negativo que -350</b>	95

Na etapa de secagem a 50°C, em função da perda de água e conseqüente redução de volume de eletrólito nos poros, observa-se valores superiores (mais positivos) de potencial de corrosão nas medições realizadas.

A seguir serão apresentados os resultados separadamente das duas situações, para ambas as relações água/cimento.

Também serão apresentados os valores da variação de massa (Mv) para análise da absorção de água pelos produtos analisados neste trabalho, quando submetidos a semi ciclos de secagem e umectação.

## **6.2.1 Corpos-de-prova sem adição de cloretos**

### **6.2.1.1 – Evolução do Potencial de Corrosão (Ecorr)**

#### A) Referência

Observando os resultados apresentados na Figura 6.30 é fácil notar que os valores de potencial de corrosão das séries com relação a/c 0,4 são melhores que as encontradas para as relações a/c 0,7. Indicando, dessa forma, a influência da porosidade nos resultados do ensaio.

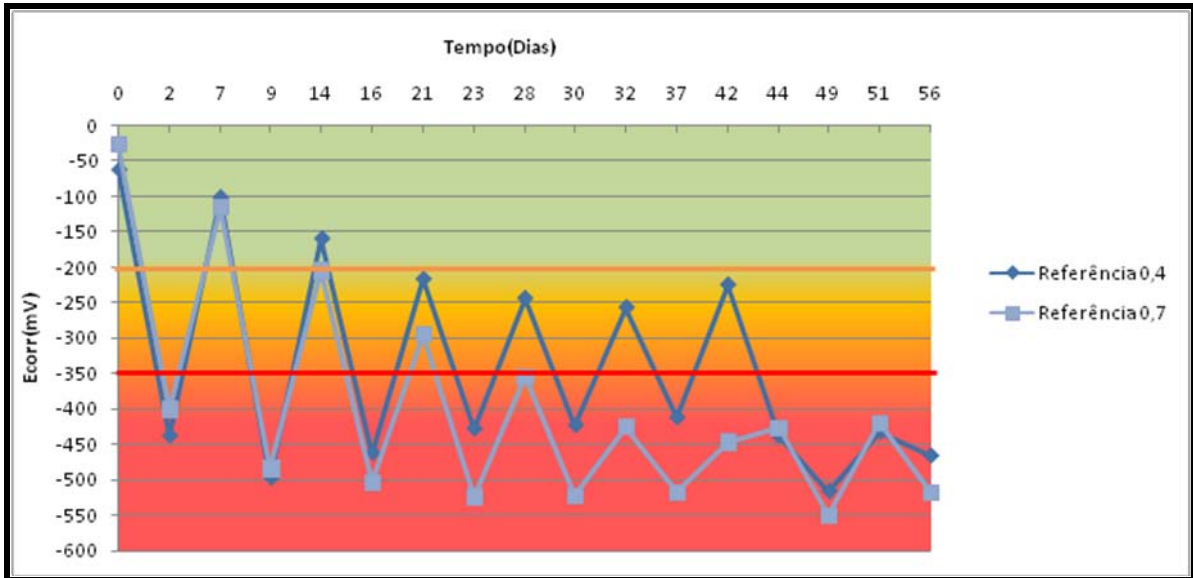


Figura 6.30 – Potencial de corrosão (mV) para os corpos-de-prova referência sem adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

#### B) Hidrofugante

Os resultados obtidos indicam que até os 56 dias de ciclagem não ocorreu a despassivação das armaduras. A aplicação do produto conseguiu evitar o início da corrosão até o fim do 8º ciclo de ensaios, indicando a eficiência da aplicação deste produto quanto à proteção contra a corrosão em estruturas de concreto armado.

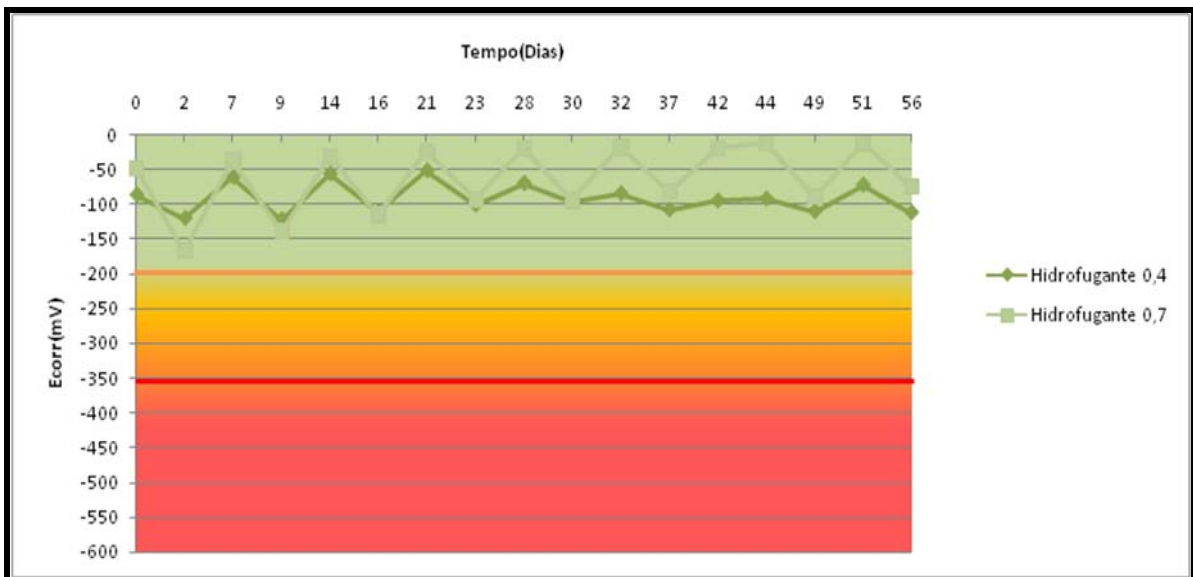


Figura 6.31 – Potencial de corrosão (mV) para os corpos-de-prova com aplicação do hidrofugante e sem adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).



### C) Formador de película

A Figura 6.32 apresenta os resultados para o material formador de película. Conforme pode ser observado às armaduras dos corpos-de-prova formadores de película 0,4 não despassivaram após os 56 dias de ensaios, porém as armaduras do formador de película 0,7 despassivaram no penúltimo ciclo atingindo patamar inferior a  $-350\text{mV}$ . Apesar disso pode se concluir que o produto tem a capacidade de retardar o período de iniciação da corrosão em ambas as relações a/c utilizadas neste trabalho.

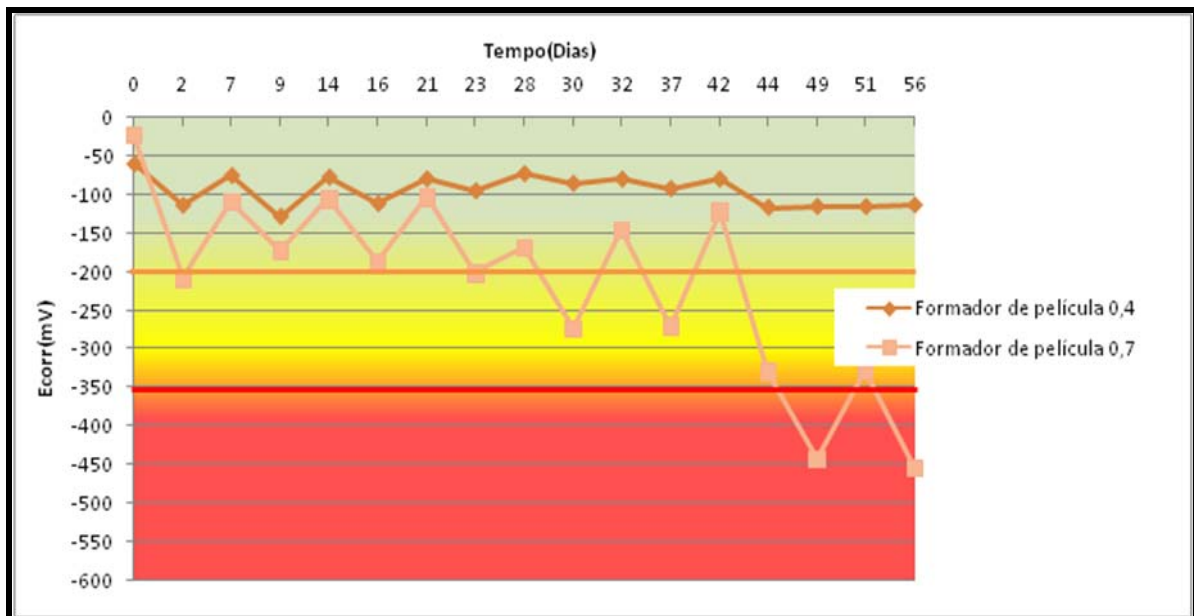


Figura 6.32 – Potencial de corrosão (mV) para os corpos-de-prova com aplicação do formador de película e sem adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

### D) Bloqueador de poros

A Figura 6.33 apresenta os resultados obtidos para o material bloqueador de poros.

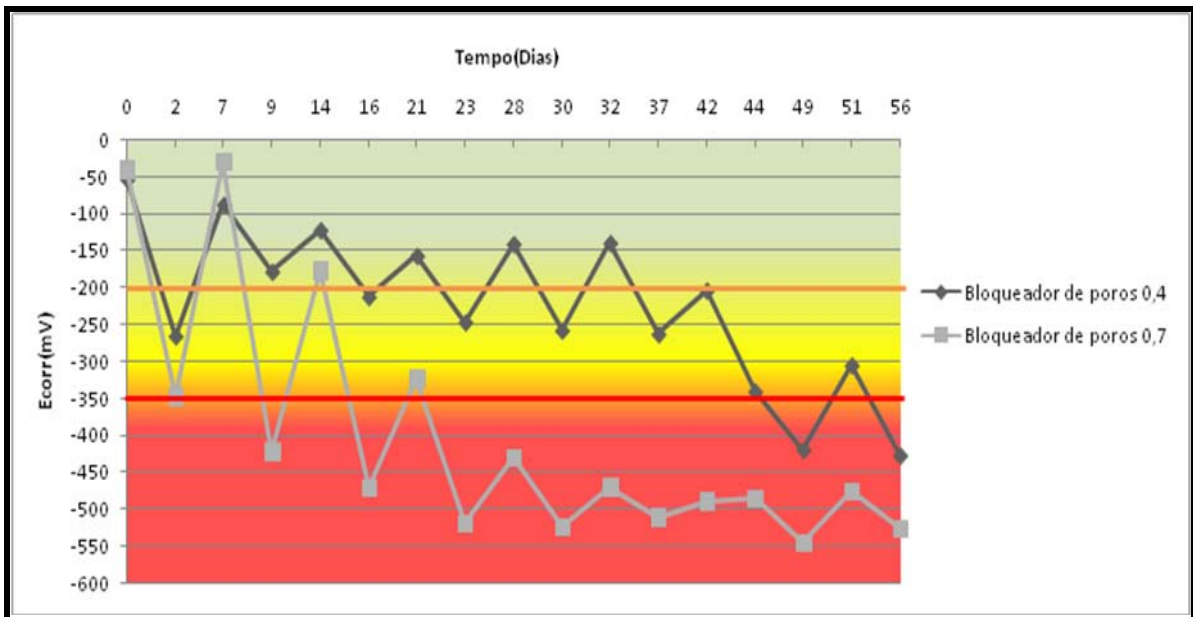


Figura 6.33 – Potencial de corrosão (mV) para os corpos-de-prova com aplicação do bloqueador de poros e sem adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

Neste caso observou – se que para ambas as relações a/c, ocorreu a despassivação das armaduras. Porém para a relação a/c 0,4 o produto conseguiu retardar o início do período de corrosão para o fim do 7º ciclo de ensaios, o que não ocorreu para a relação a/c 0,7, que apresentou valores de  $E_{corr}$  menores que -350mV ao fim do 1º ciclo.

Estes resultados indicam que para fatores a/c elevados o produto não é eficiente quando se pretende retardar o período de iniciação da corrosão.

#### E) Comparação entre referência e hidrofugante

A Figura 6.34 se refere aos resultados obtidos para os corpos-de-prova de referência e hidrofugante.

Conforme pode se observar na figura a seguir, a aplicação do produto hidrofugante contribuiu para evitar a despassivação das armaduras, mostrando-se eficiente quando comparado ao de referência quanto a corrosão de armaduras.

Os corpos-de-prova com aplicação do produto hidrofugante apresentaram uma menor amplitude nos valores de  $E_{corr}$ . Já na série referência observa-se a maior amplitude de variação de  $E_{corr}$ .

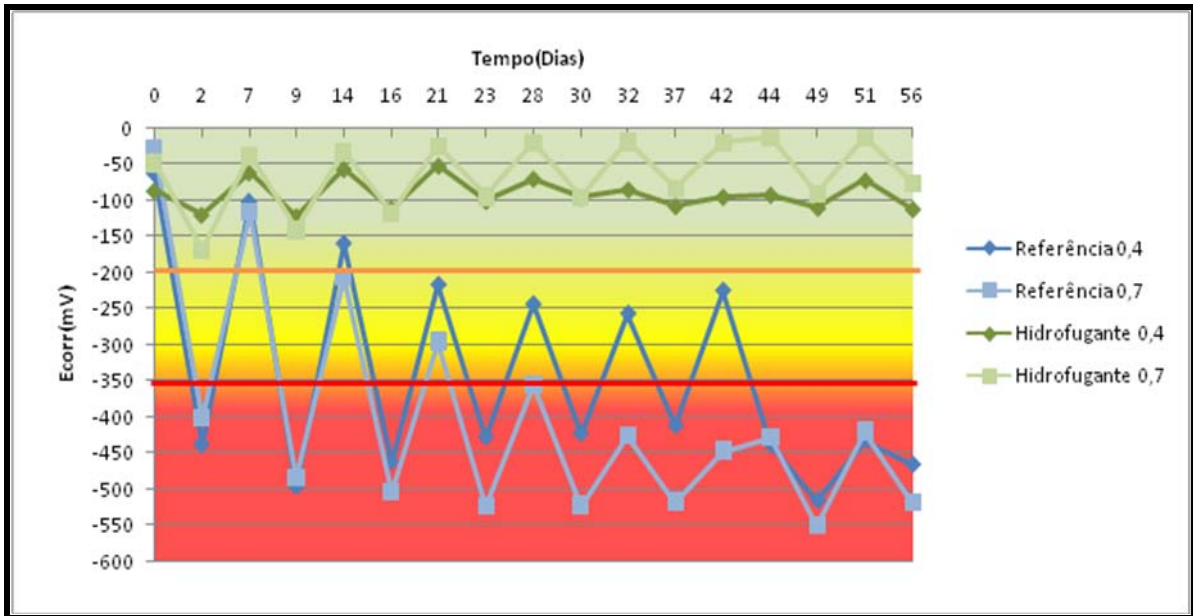


Figura 6.34 – Comparação dos resultados de Potencial de corrosão (mV) para os corpos-de-prova referência e os corpos-de-prova com aplicação do formador de Película, sem adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

#### F) Comparação entre o de referência e o formador de película

A Figura 6.35 mostra que para a relação a/c 0,4 o formador de película apresentou menor amplitude nos valores de  $E_{corr}$ , enquanto que para a relação a/c 0,7, o formador de película apresentou significativa amplitude nos valores de  $E_{corr}$ , quando comparado ao de referência.

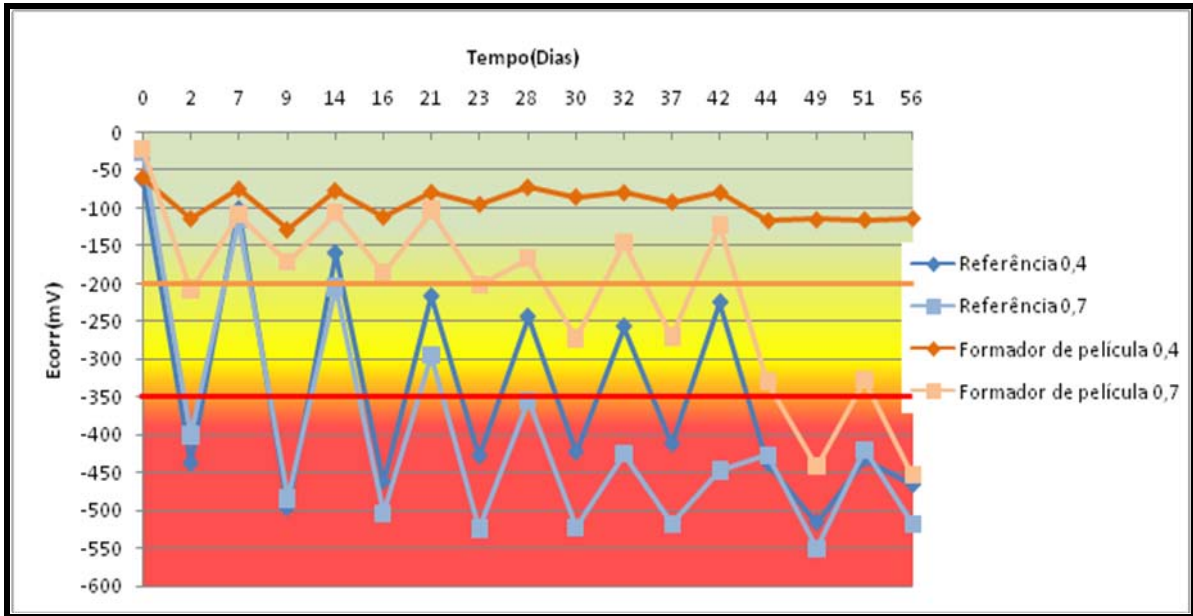


Figura 6.35 - Comparação dos resultados de Potencial de corrosão (mV) para os corpos-de-prova referência e os corpos-de-prova com aplicação do formador de película, sem adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

#### G) Comparação entre referência e bloqueador de poros

Verificou-se ao longo do monitoramento do potencial de corrosão ( $E_{corr}$ ) que para a relação a/c 0,7, o bloqueador de poros apresentou elevada amplitude nos valores de  $E_{corr}$ , equiparando – se ao de referência 0,7.

Já para a relação a/c 0,4 este produto apresentou boa eficácia, mantendo o valor do Potencial superior a  $-350\text{mV}$  até 42° dia de ensaio, conforme pode se observar na Figura 6.36.

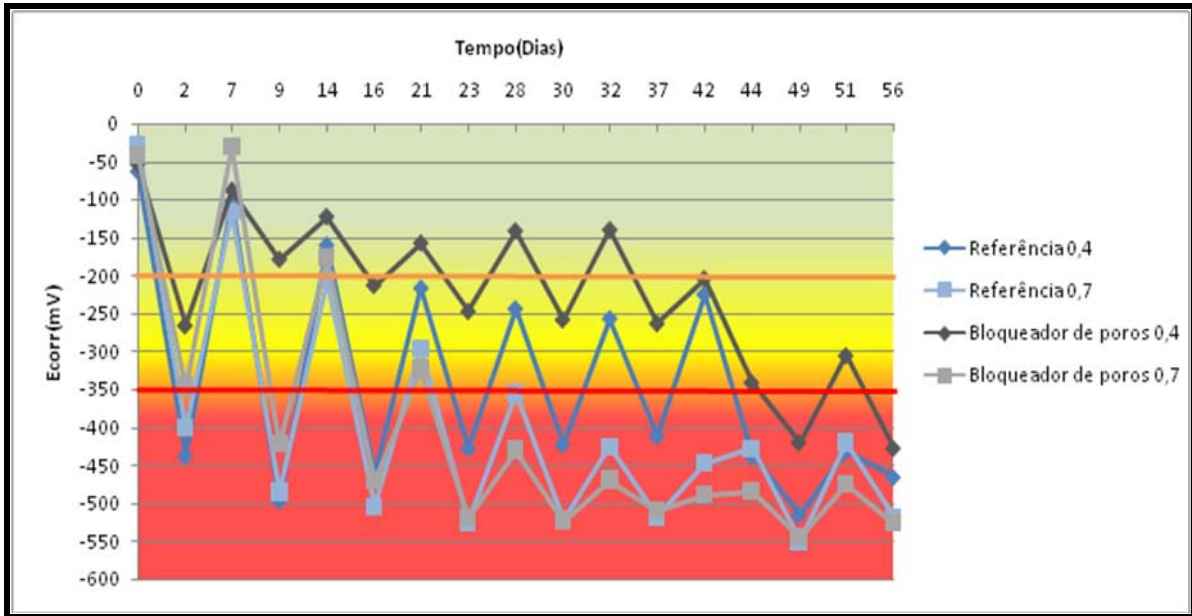


Figura 6.36 - Comparação dos resultados de Potencial de corrosão (mV) para os corpos-de-prova referência e os corpos-de-prova com aplicação do bloqueador de poros, sem adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

H) Comparação entre o de referência, hidrofugante, formador de película e o bloqueador de poros

As Figuras 6.37 e 6.38 se referem aos resultados obtidos para os corpos-de-prova referência e os três produtos aplicados na superfície dos corpos-de-prova (hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros).

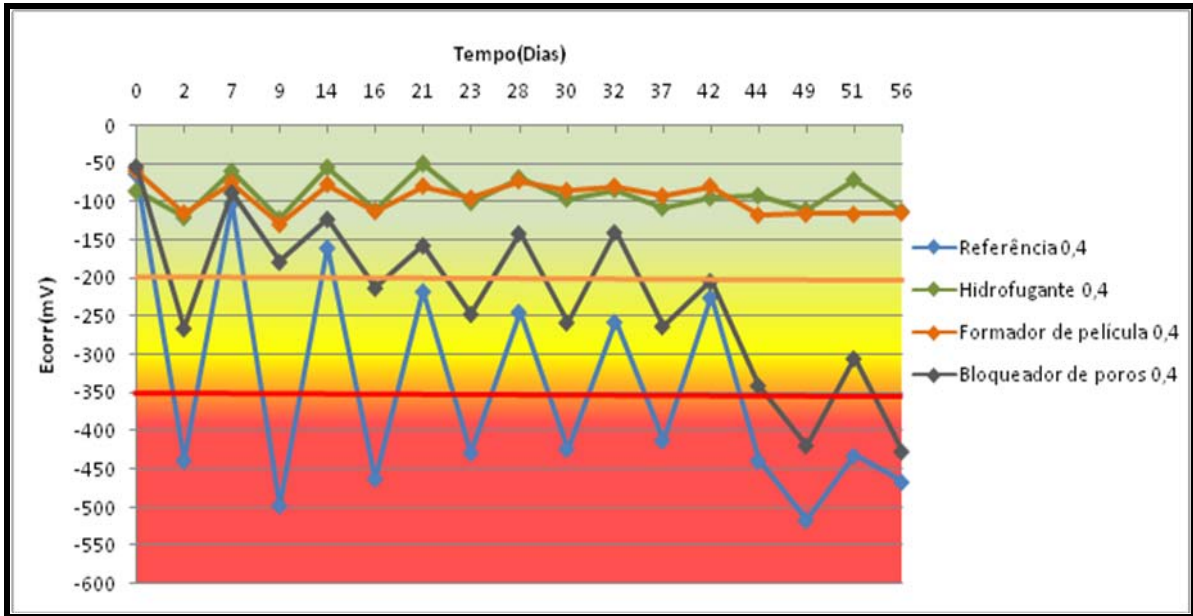


Figura 6.37 - Comparação dos resultados de Potencial de corrosão (mV) para os corpos-de-prova referência, hidrofugante, formador de película e o bloqueador de poros, Relação a/c 0,4 sem adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

Conforme pode ser observado na Figura 6.37 para a relação a/c 0,4 os produtos hidrofugante e formador de película tiveram comportamentos semelhantes no que diz respeito ao potencial de corrosão, não ocorrendo a despassivação de suas armaduras até o fim do monitoramento. Já o bloqueador de poros foi o que obteve a pior eficácia, vindo a ocorrer a despassivação de suas armaduras ao final do 6º ciclo.

Com as técnicas utilizadas, foi possível classificar os materiais estudados em ordem decrescente de eficácia quanto ao Potencial de Corrosão para estruturas novas e relação a/c 0,4:

**Hidrofugante = Formador de Película > Bloqueador de poros**

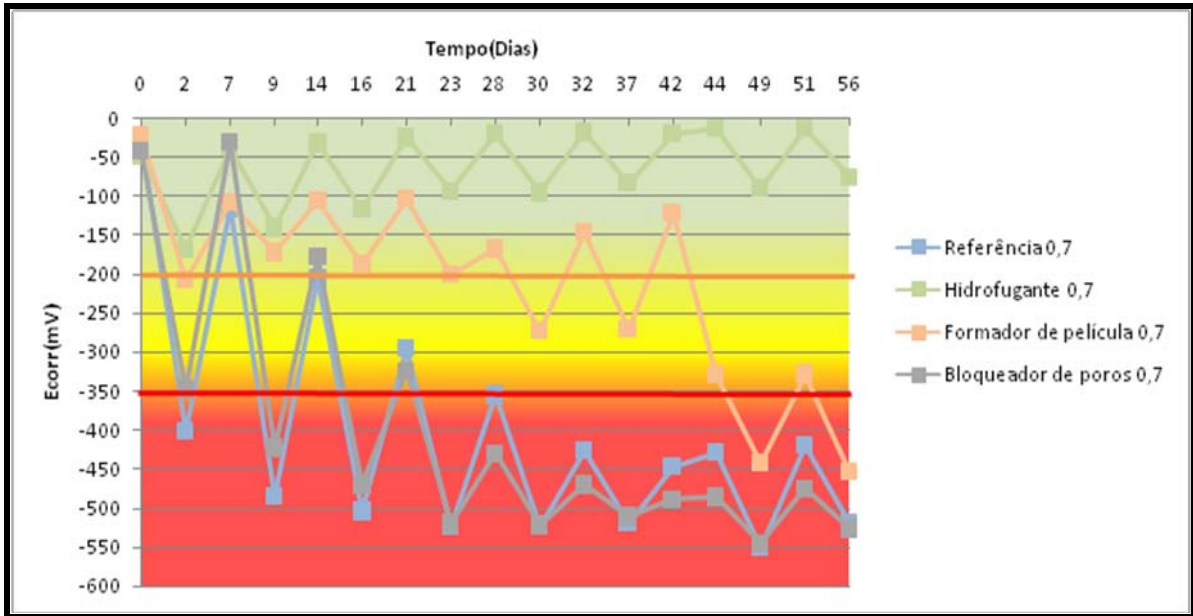


Figura 6.38 - Comparação dos resultados de Potencial de corrosão (mV) para os corpos-de-prova referência, hidrofugante, formador de película e o bloqueador de poros, Relação a/c 0,7, sem adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

Conforme pode se observar na Figura 6.38, para a relação a/c 0,7 o produto que apresentou melhor eficácia foi o hidrofugante.

O formador de película que tinha apresentado boa eficácia para a relação a/c 0,4, para a relação a/c 0,7 apresentou maior amplitude dos valores de  $E_{corr}$ , vindo as suas armaduras a despassivar ao fim do 7º ciclo.

O bloqueador de poros também apresentou comportamento semelhante ao de referência para a relação a/c 0,7.

Com as técnicas utilizadas, foi possível classificar os materiais estudados em ordem decrescente de eficácia quanto ao Potencial de Corrosão para estruturas novas e relação a/c 0,7:

**Hidrofugante > Formador de Película > Bloqueador de poros**

### 6.2.1.2 – Evolução da Variação de Massa (Mv)

#### A) Referência

A Figura 6.39 representa a evolução da variação de massa para as relações água/cimento 0,4 e 0,7 para os corpos-de-prova referência sem adição de cloretos.

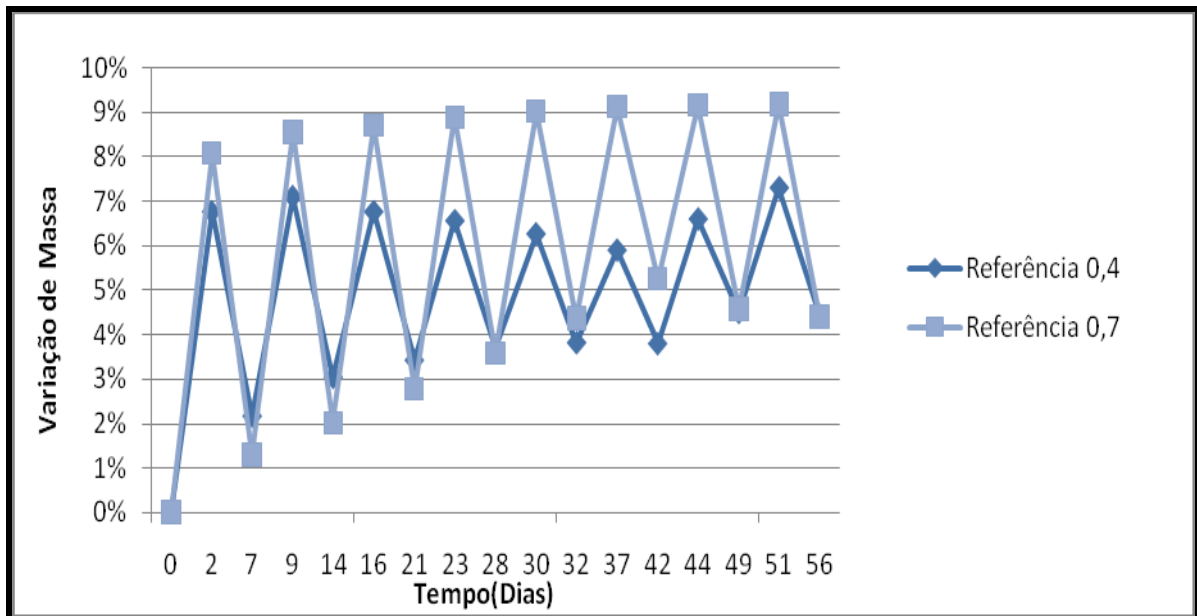


Figura 6.39 – Evolução da variação de massa das séries referências 0,4 e 0,7.

Observa-se que com o aumento da relação água/cimento, cresce a amplitude de variação em ciclos equivalentes. Este comportamento significa que séries com maior relação água/cimento perdem mais água na secagem e absorvem mais na etapa de imersão parcial.

#### B) Hidrofugante

Pode – se concluir através da análise da Figura 6.40, que o hidrofugante para a relação a/c 0,4 obteve melhor eficácia do que o hidrofugante 0,7, reduzindo a absorção de água durante os semi-ciclos de umectação e secagem.



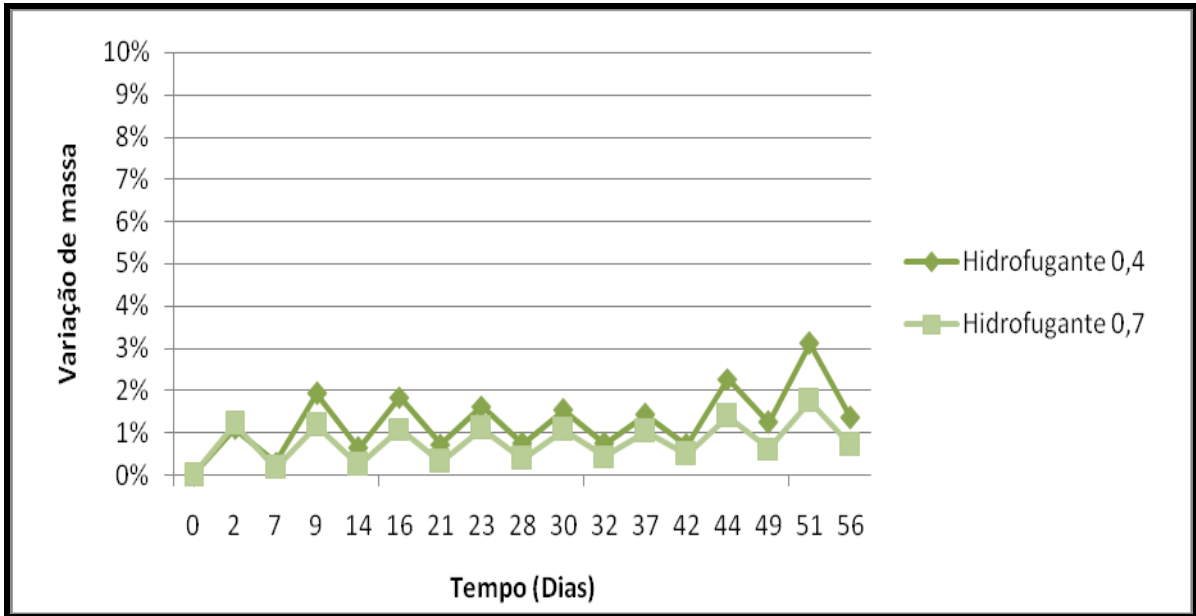


Figura 6.40 – Evolução da variação de massa das séries Hidrofugante 0,4 e 0,7.

### C) Formador de película

O formador de película 0,4 obteve melhor eficácia do que o formador de película 0,7, reduzindo a amplitude dos valores de massa durante os ensaios de umectação e secagem, conforme mostra a Figura 6.41.

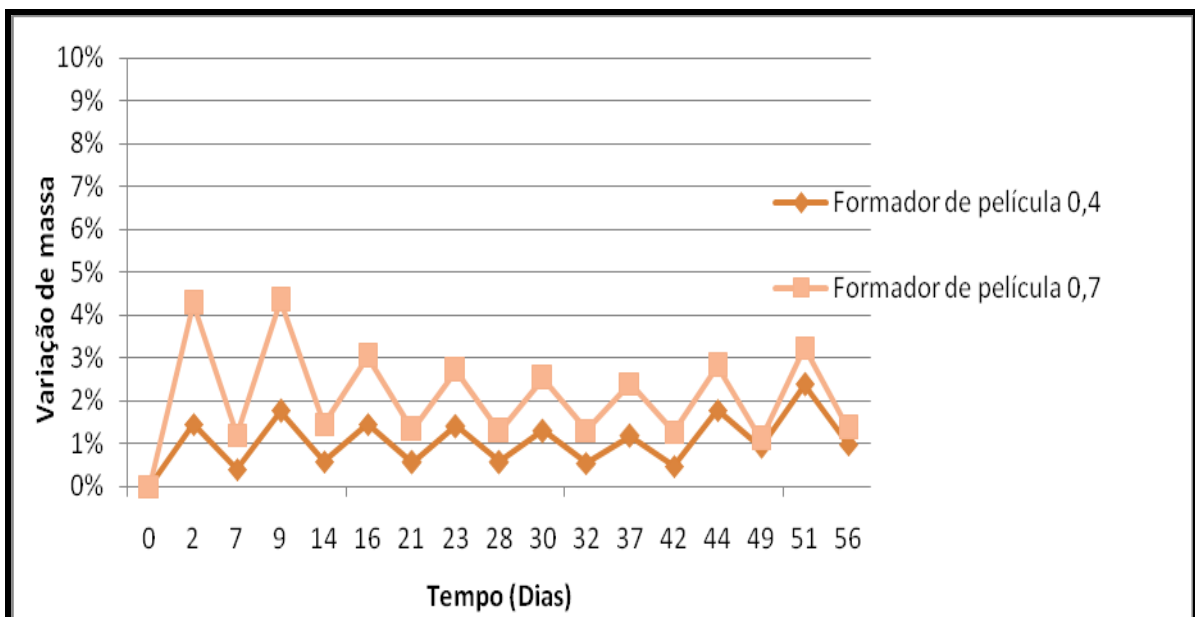


Figura 6.41 – Evolução da variação de massa das séries formador de película 0,4 e 0,7.

#### D) Bloqueador de poros

Conforme pode se observar na Figura 6.42, o bloqueador de poros para ambas as relações a/c, apresentou elevada absorção de água.

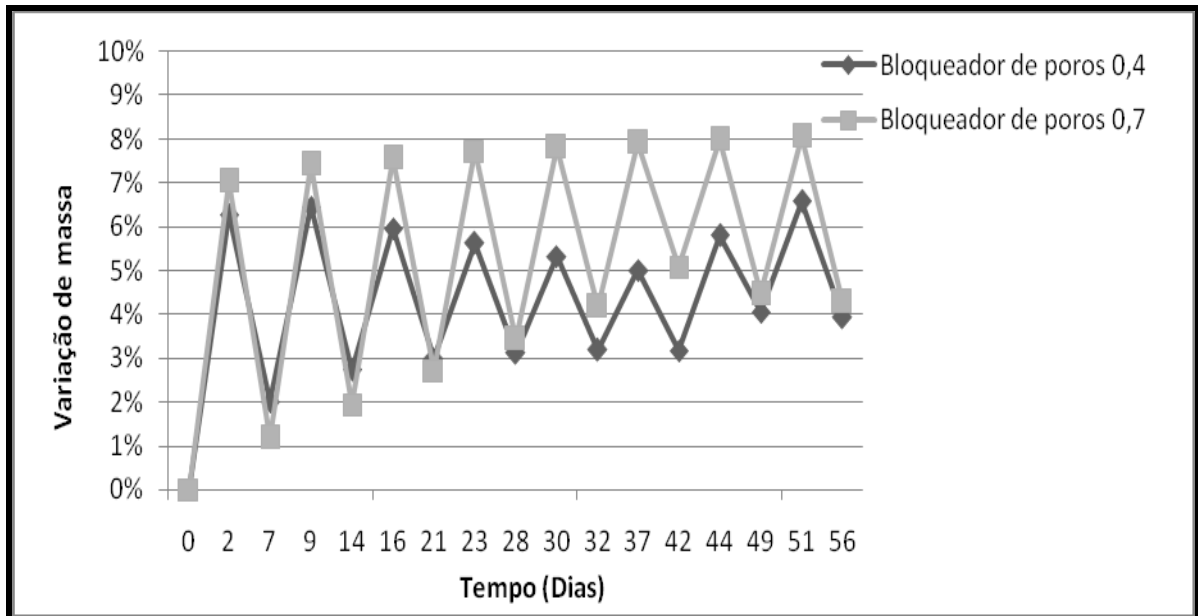


Figura 6.42 – Evolução da variação de massa das séries bloqueador de poros 0,4 e 0,7.

#### E) Comparação entre o de referência e o hidrofugante

A Figura 6.43 se refere aos resultados obtidos para os corpos-de-prova referência e hidrofugante. Conforme pode se observar na figura a seguir, a aplicação do produto hidrofugante contribuiu para diminuir a absorção de água quando comparado ao de referência para ambas as relações a/c analisadas.

Os corpos-de-prova executados com o hidrofugante apresentaram uma menor amplitude nos valores de variação de massa quando comparado ao de referência, mostrando-se eficiente na redução da absorção de água para estruturas submetidas a ciclos de secagem e umectação.

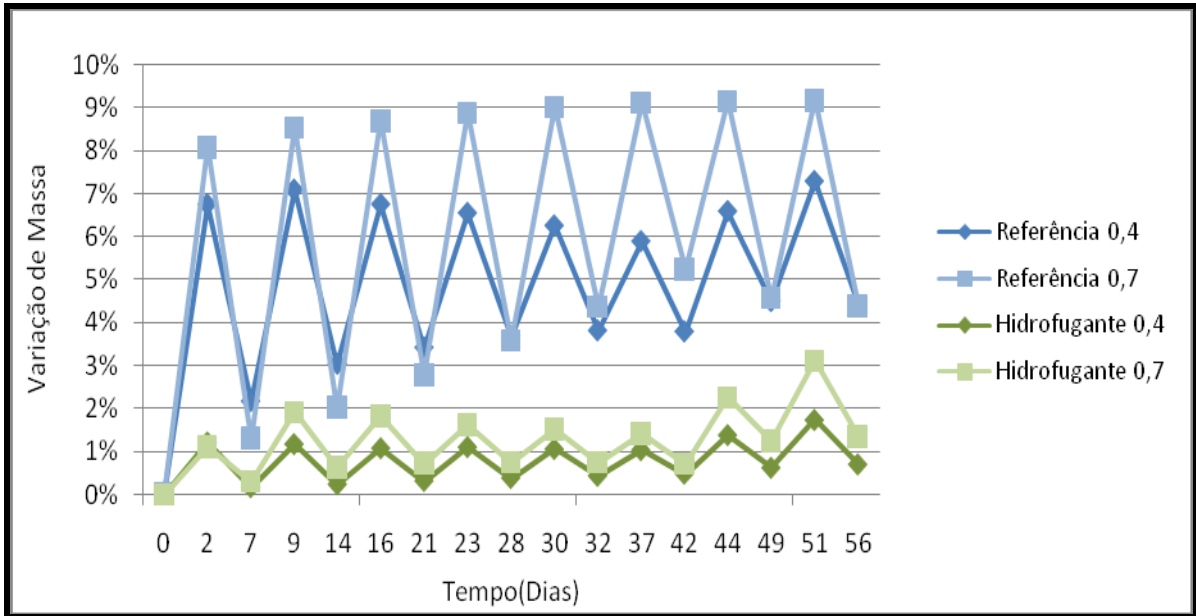


Figura 6.43 – Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência e hidrofugante 0,4 e 0,7.

F) Comparação entre o de referência e o formador de película

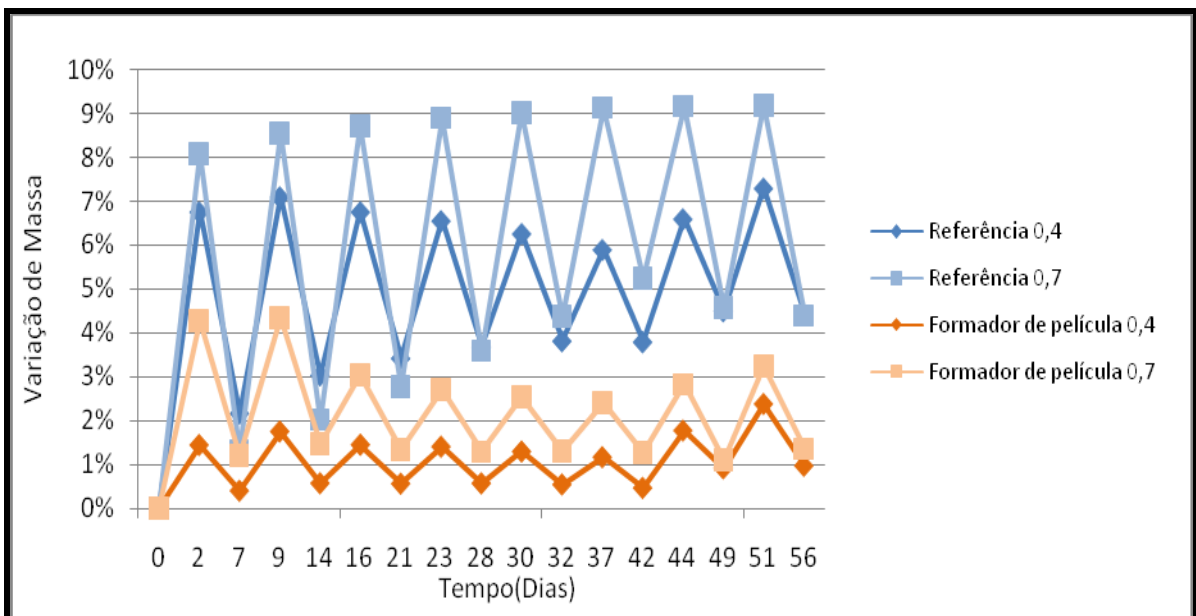


Figura 6.44 - Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência e formador de película 0,4 e 0,7.

A Figura 6.44 mostra que tanto para a relação a/c 0,4 como para a relação a/c 0,7, o formador de película apresentou menor amplitude nos valores de variação de massa quando comparado

ao de referência, mostrando se eficiente na redução da absorção de água para estruturas submetidas a ciclos de secagem e umectação.

G) Comparação entre o de referência e o bloqueador de poros

A Figura 6.45 mostra que ao longo do monitoramento da variação de massa que para as relações a/c 0,4 e 0,7, o bloqueador de poros apresentou elevada amplitude nos valores de variação de massa, equiparando – se ao de referência 0,7.

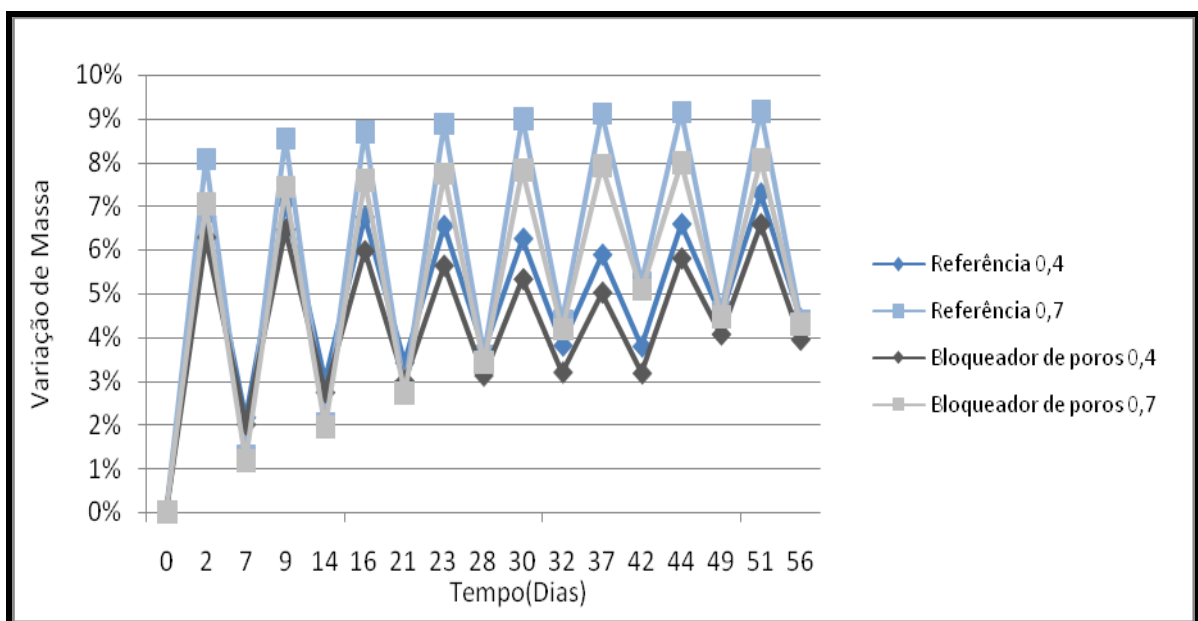


Figura 6.45 - Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência e bloqueador de poros 0,4 e 0,7.

H) Comparação entre o de referência, hidrofugante, formador de película e o bloqueador de poros

As Figuras 6.46 e 6.47 se referem aos resultados obtidos para os corpos-de-prova referência e os três produtos aplicados na superfície dos corpos-de-prova (hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros).

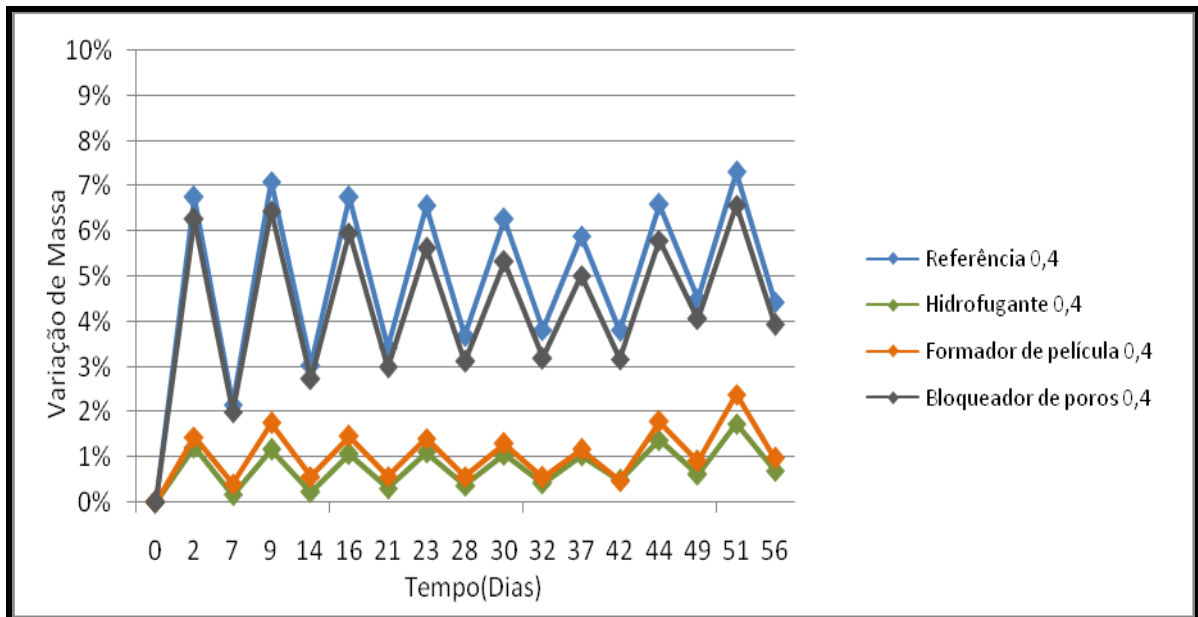


Figura 6.46 - Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência, hidrofugante, Formador de película e Bloqueador de poros, para a relação a/c 0,4

Conforme pode ser observado na Figura 6.46 para a relação a/c 0,4 os produtos hidrofugante e formador de película tiveram comportamentos semelhantes no que diz respeito a absorção de água e apresentaram ótima eficácia durante os ciclos de secagem e umectação. Já o bloqueador de poros foi o que obteve a pior eficácia, apresentando comportamento equivalente ao de Referência.

Com as técnicas utilizadas, foi possível classificar os materiais estudados em ordem decrescente de eficácia quanto a Variação de massa para estruturas novas e Relação a/c 0,4, quando submetidos a ciclos de secagem e umectação:

**Hidrofugante = Formador de Película > Bloqueador de poros**

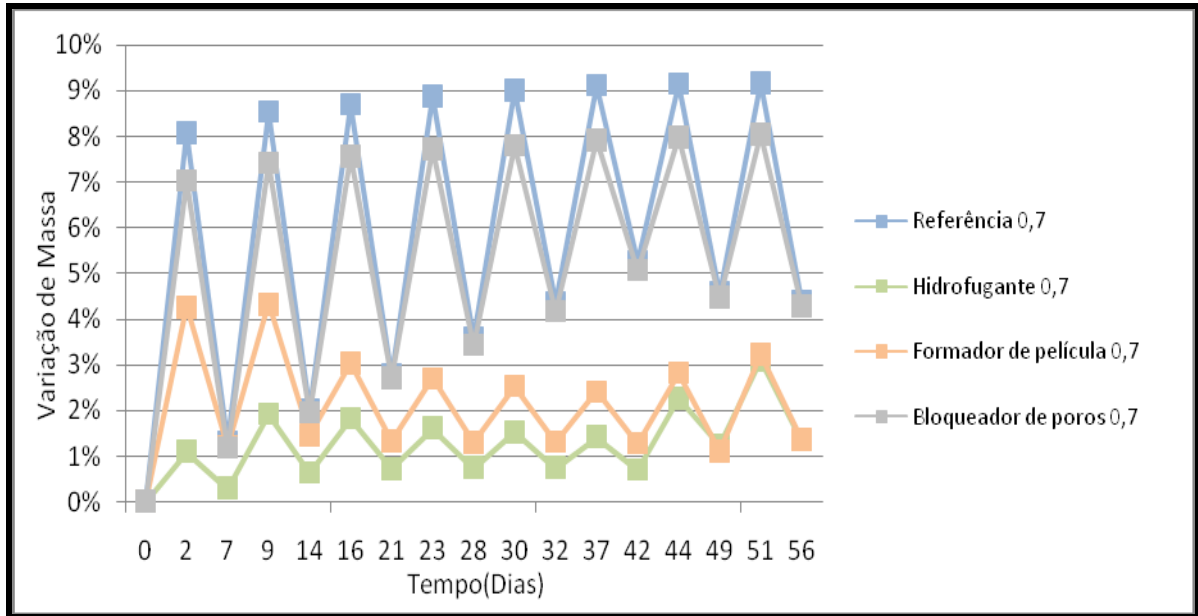


Figura 6.47 - Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência, hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros 0,7

Para a relação a/c 0,7 o produto que apresentou melhor eficácia também foi o hidrofugante. O formador de película que tinha apresentado eficácia equivalente ao hidrofugante para a relação a/c 0,4, apresentou maior amplitude dos valores de variação de massa para a relação a/c 0,7 indicando que este produto é mais eficiente em concretos com relação a/c menores. O bloqueador de poros apresentou a pior eficácia entre os três materiais analisados, equiparando-se ao de referência.

Com as técnicas utilizadas, foi possível classificar os materiais estudados em ordem decrescente de eficácia quanto a Variação de massa para estruturas novas e Relação a/c 0,7, quando submetidos a ciclos de secagem e umectação:

**Hidrofugante > Formador de Película > Bloqueador de poros**

## 6.2.2 Corpos-de-prova com adição de cloretos

### 6.2.2.1 Evolução do Potencial de corrosão ( $E_{corr}$ )

#### A) Referência

Através da Figura 6.48 pode-se observar que o de referência com adição de 1% de sal apresentou valores de  $E_{corr}$  menores que  $-350\text{mV}$  já no início do monitoramento da corrosão, para ambos as relações a/c.

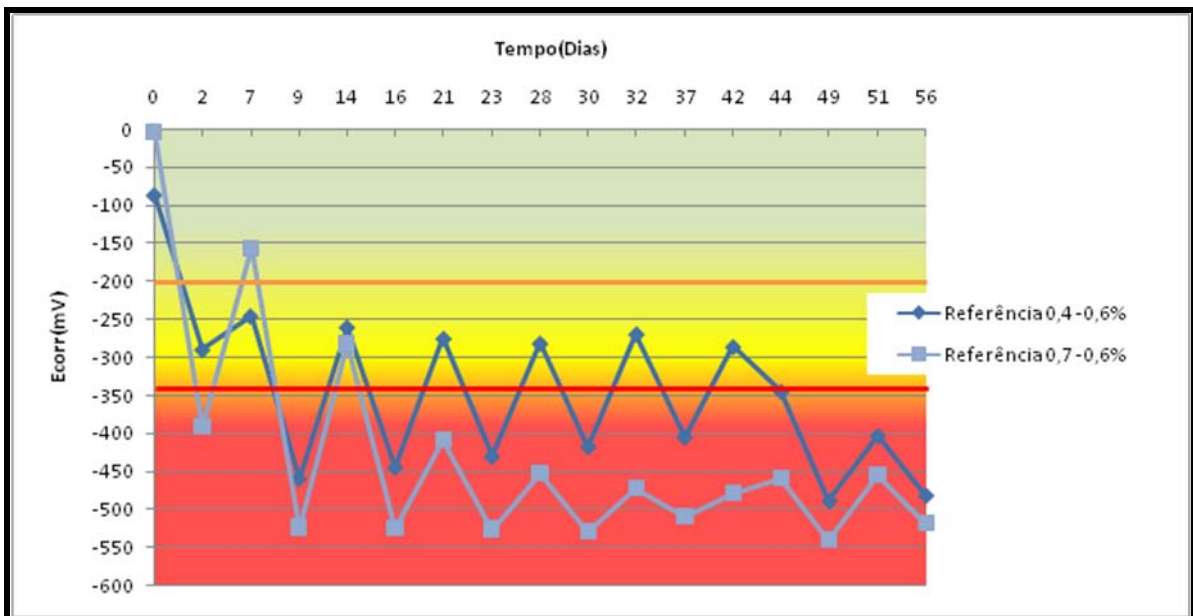


Figura 6.48 – Potencial de corrosão (mV) para os corpos-de-prova referência com adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

#### B) Hidrofugante

A Figura 6.49 mostra que o produto hidrofugante contribui para evitar a corrosão de armaduras ao longo dos 56 dias de ensaio de Potencial de corrosão, isso mostra a eficiência deste produto para estruturas já contaminadas.

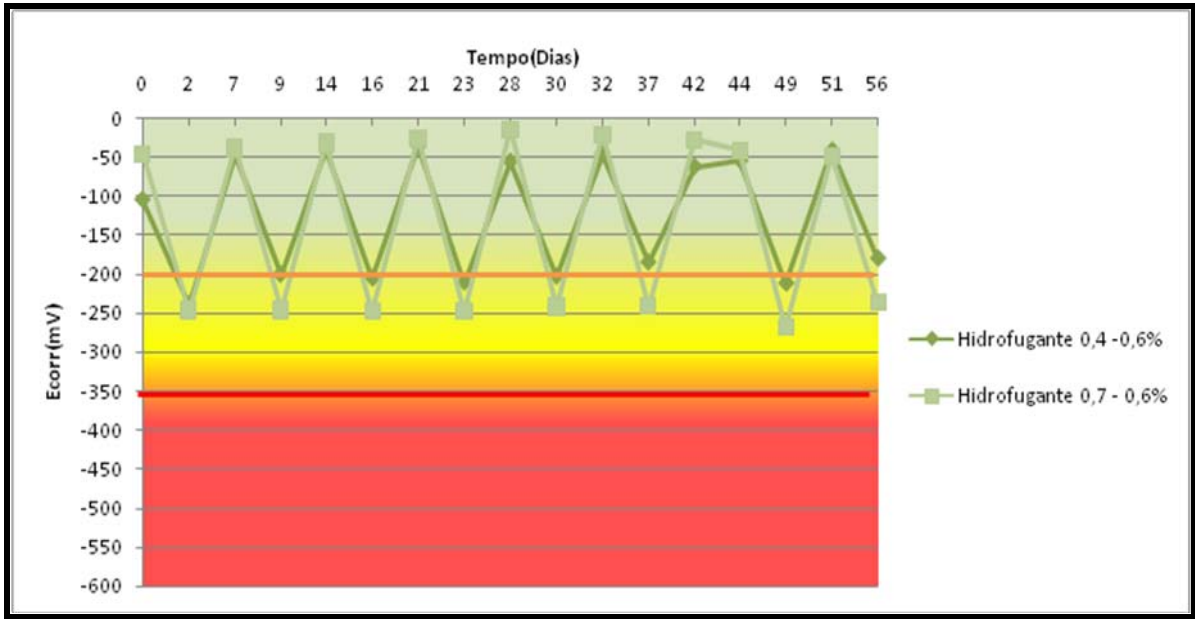


Figura 6.49 – Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova com aplicação do hidrofugante e com adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

C) Formador de película

A Figura 6.50 mostra que o produto formador de película inibiu a corrosão de armaduras para a relação a/c 0,4, porém para a relação a/c 0,7, este somente retardou o início da mesma, mostrando-se mais eficiente para baixos valores de relações a/c.

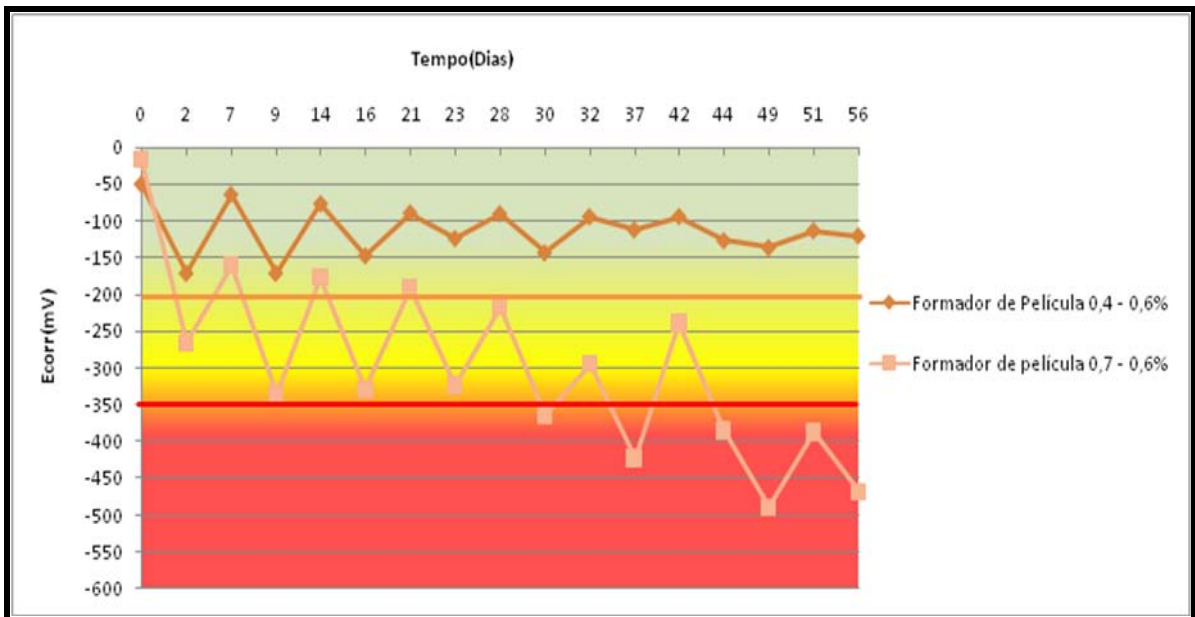


Figura 6.50 – Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova com aplicação do formador de Película e com adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).



D) Bloqueador de poros

O produto bloqueador de poros mostrou se ineficiente quanto a evitar o início da corrosão de armaduras (Figura 6.51). Conforme pode se observar na figura a seguir, para ambos as relações a/c, as armaduras apresentaram  $E_{corr}$  menores que  $-350\text{mV}$  logo no 1º ciclo de ensaios.

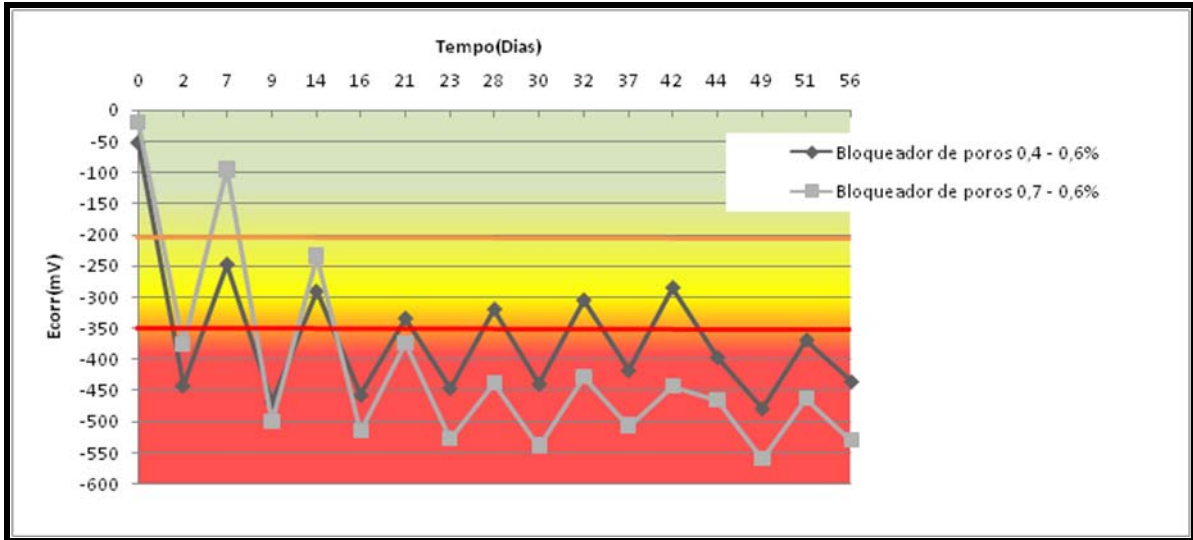


Figura 6.51 – Potencial de corrosão(mV) para os corpos-de-prova com aplicação do bloqueador de poros e com adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

E) Comparação entre o de referência e o hidrofugante

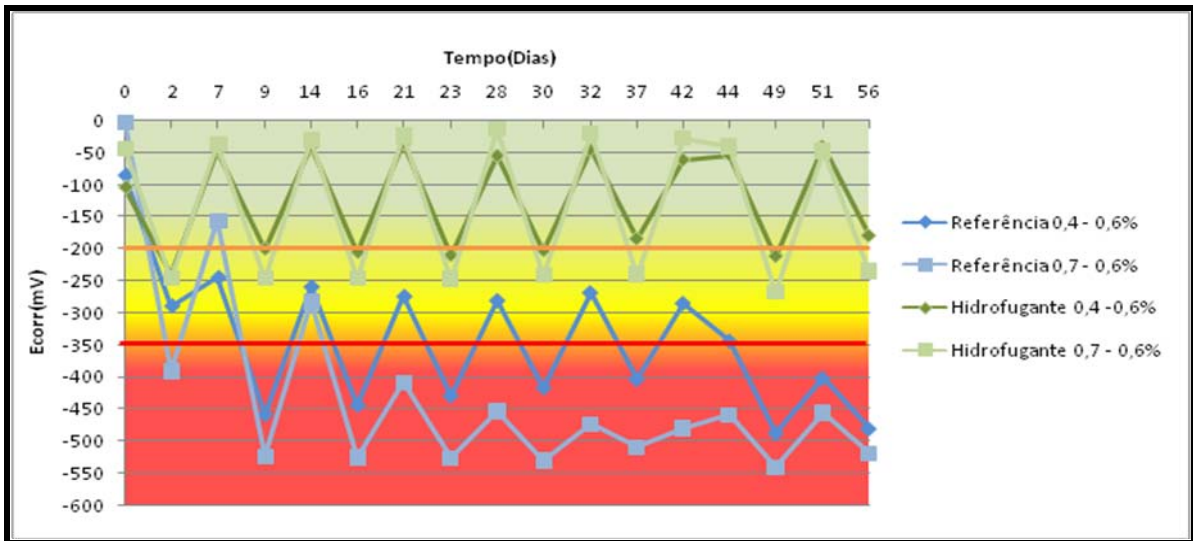


Figura 6.52 – Comparação dos resultados de Potencial de corrosão (mV) para os corpos-de-prova referência e os corpos-de-prova com aplicação do hidrofugante, com adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

Conforme pode se observar na Figura 6.52 o material hidrofugante apresentou melhor eficácia para ambas as relações a/c no que diz respeito a retardar o período de iniciação da corrosão quando comparado a série referência. Isto se deve ao efeito de restrição do acesso de água (proveniente do ambiente), influenciando diretamente na cinética do processo de corrosão de armaduras.

#### F) Comparação entre referência e o formador de película

O produto formador de película apresentou melhor eficácia que o de referência para a relação a/c 0,4, enquanto que para a relação a/c 0,7 o produto conseguiu retardar o período de corrosão, porém não conseguiu evitar que a mesma ocorresse ao fim do 7º ciclo de ensaios, conforme pode se observar na Figura 6.53.

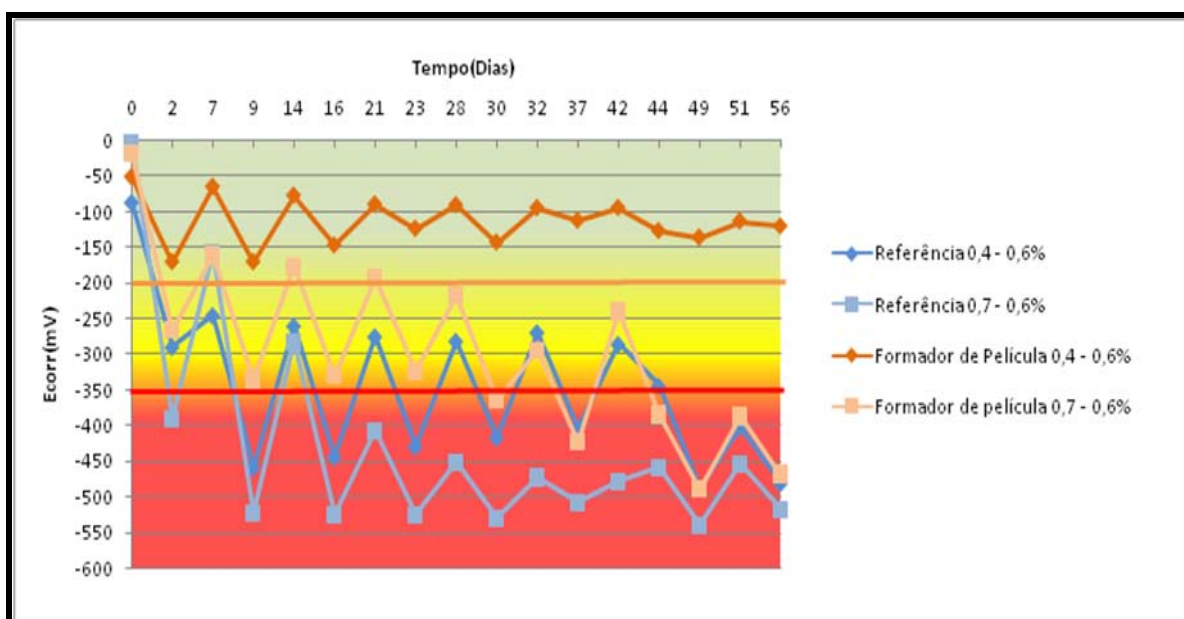


Figura 6.53 - Comparação dos resultados de Potencial de corrosão (mV) para os corpos-de-prova referência e os corpos-de-prova com aplicação do formador de película, com adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

#### G) Comparação entre o de referência e o bloqueador de poros

A Figura 6.54 mostra que o bloqueador de poros apresentou eficácia similar ao de referência para ambos as relações a/c, apresentando valores de  $E_{corr}$  menores que -350 mV logo no 1º ciclo de ensaios.

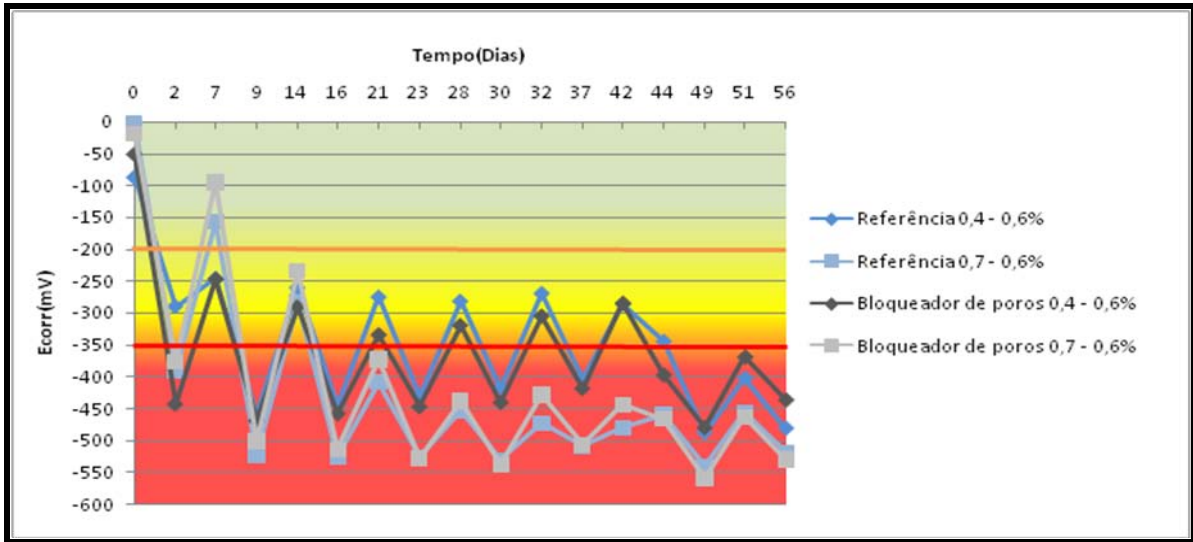


Figura 6.54 - Comparação dos resultados de Potencial de corrosão (mV) para os corpos-de-prova referência e os corpos-de-prova com aplicação do bloqueador de poros, com adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

H) Comparação entre o de referência, hidrofugante, formador de película e o bloqueador de poros

As Figuras 6.55 e 6.56 se referem aos resultados obtidos para os corpos-de-prova referência e os três produtos aplicados na superfície dos corpos-de-prova (hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros).

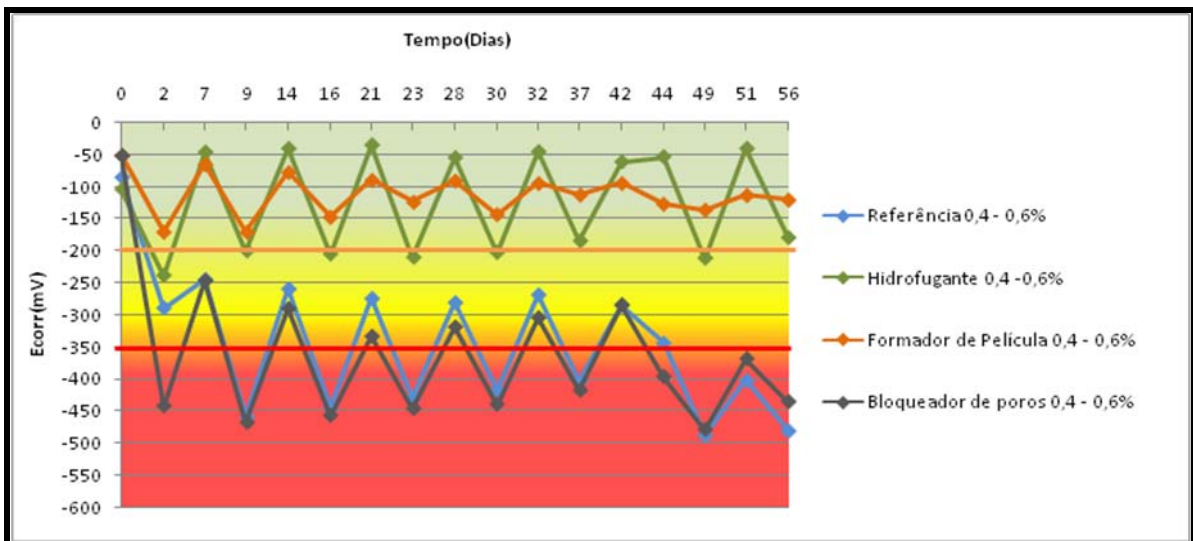


Figura 6.55 - Comparação dos resultados de Potencial de corrosão (mV) para os corpos-de-prova referência, hidrofugante, formador de película e o bloqueador de poros, relação a/c 0,4 , com adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

Conforme pode se observar, para a relação a/c 0,4 os produtos hidrofugante e formador de película apresentaram maior eficiência no que diz respeito a restringir o acesso de água, reduzindo a cinética da corrosão de armaduras. O bloqueador de poros foi o que apresentou pior eficácia entre os três produtos. Com as técnicas utilizadas, foi possível classificar os materiais estudados em ordem decrescente de eficácia quanto ao Potencial de Corrosão para estruturas já contaminadas por cloretos para a relação a/c 0,4:

**Formador de Película > Hidrofugante > Bloqueador de poros**

Para a relação a/c 0,7 o produto que apresentou melhor eficácia foi o hidrofugante, este conseguiu evitar que a corrosão acontecesse durante o período de 56 dias de ensaio. O formador de película somente conseguiu retardar o início do processo de corrosão, não evitando que a mesma acontecesse ao fim do 7º ciclo conforme pode ser observado na Figura 6.56. O bloqueador de poros também teve eficácia inferior ao restante dos materiais para esta relação a/c, apresentando valores de  $E_{corr}$  inferiores a -350mV logo no início do 1º ciclo. Com as técnicas utilizadas, foi possível classificar os materiais estudados em ordem decrescente de eficácia quanto ao Potencial de Corrosão para estruturas já contaminadas por cloretos para a Relação a/c 0,7:

**Hidrofugante > Formador de Película > Bloqueador de poros**

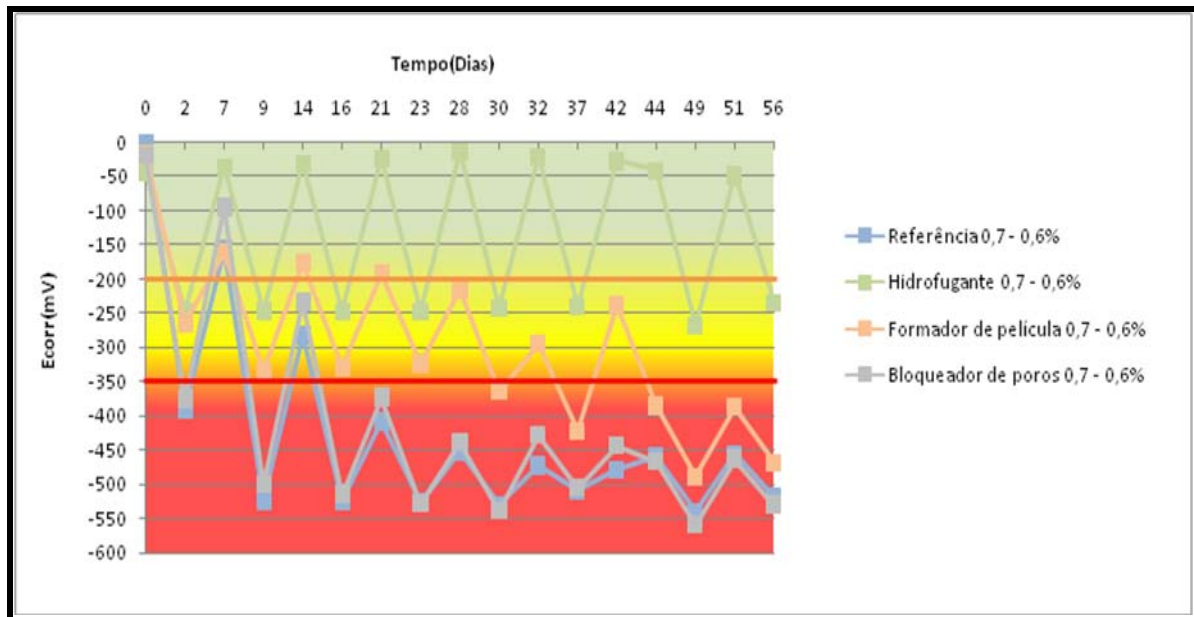


Figura 6.56 - Comparação dos resultados de Potencial de corrosão (mV) para os corpos-de-prova referência, hidrofugante, formador de película e o bloqueador de poros, Relação a/c 0,7 com adição de cloretos (potencial relativo ao eletrodo de cobre/sulfato de cobre).

#### 6.2.2.2 – Evolução da Variação de Massa (Mv)

##### A) Referência

Observando os resultados apresentados na Figura 6.57 é fácil notar que os valores de variação de massa da série com relação a/c 0,4 são melhores que os encontrados para as relações a/c 0,7. Ambos apresentaram elevada absorção de água durante os ensaios de umectação e secagem.

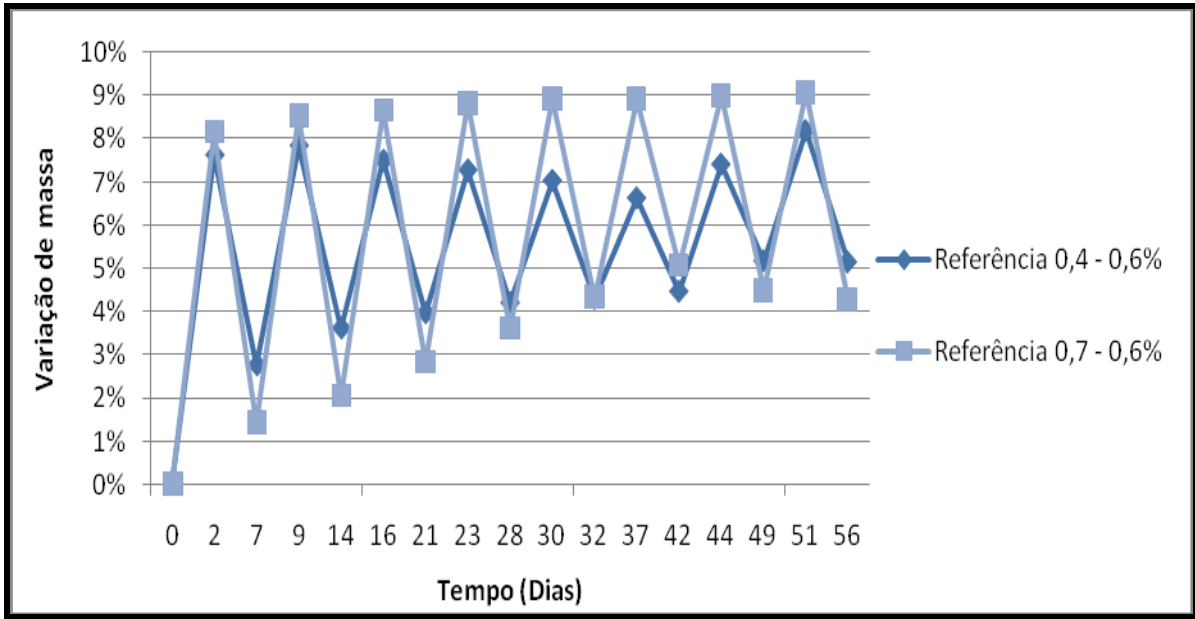


Figura 6.57 – Evolução da variação de massa das séries referências 0,4 e 0,7, com 0,6% de cloretos.

B) Hidrofugante

A aplicação do produto hidrofugante reduziu a absorção de água, apresentando baixos valores de variação de massa, indicando a eficiência da aplicação deste produto em estruturas submetidas a semi-ciclos de secagem e umectação.

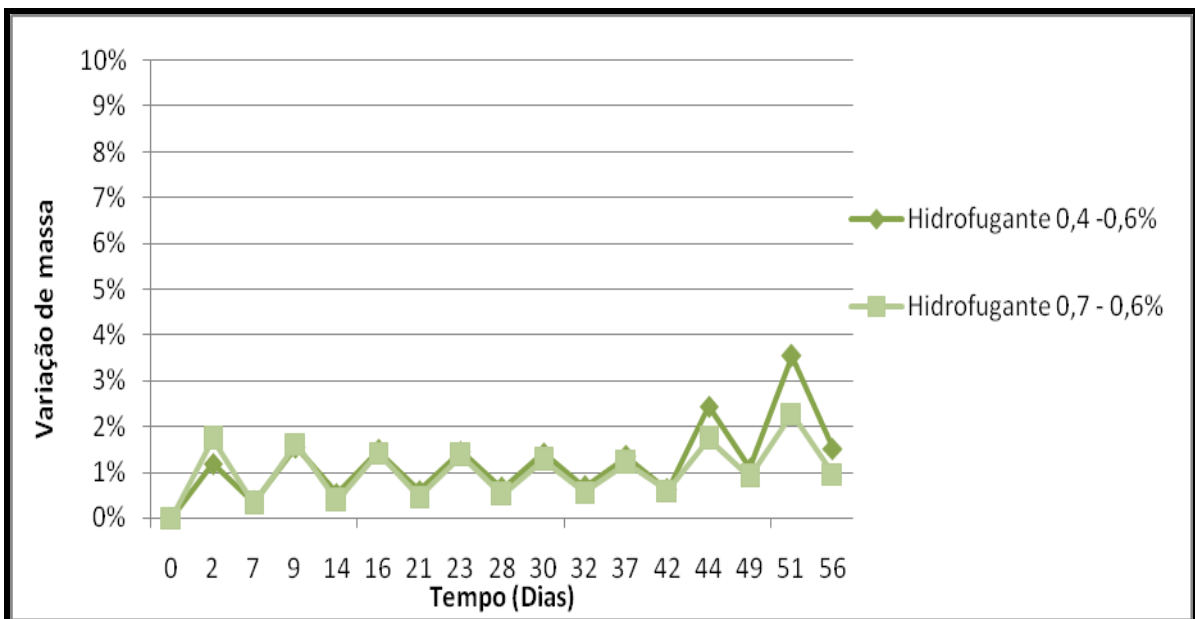


Figura 6.58 – Evolução da variação de massa das séries hidrofugante 0,4 e 0,7, com 0,6% de cloretos.

### C) Formador de película

A Figura 6.59 apresenta os resultados para o material formador de película. Conforme pode ser observado às armaduras do formador de Película 0,4 apresentou melhor eficácia que o formador de película 0,7. Pode-se observar que o primeiro apresentou menor amplitude dos valores de variação de massa quando comparado ao formador de película 0,7.

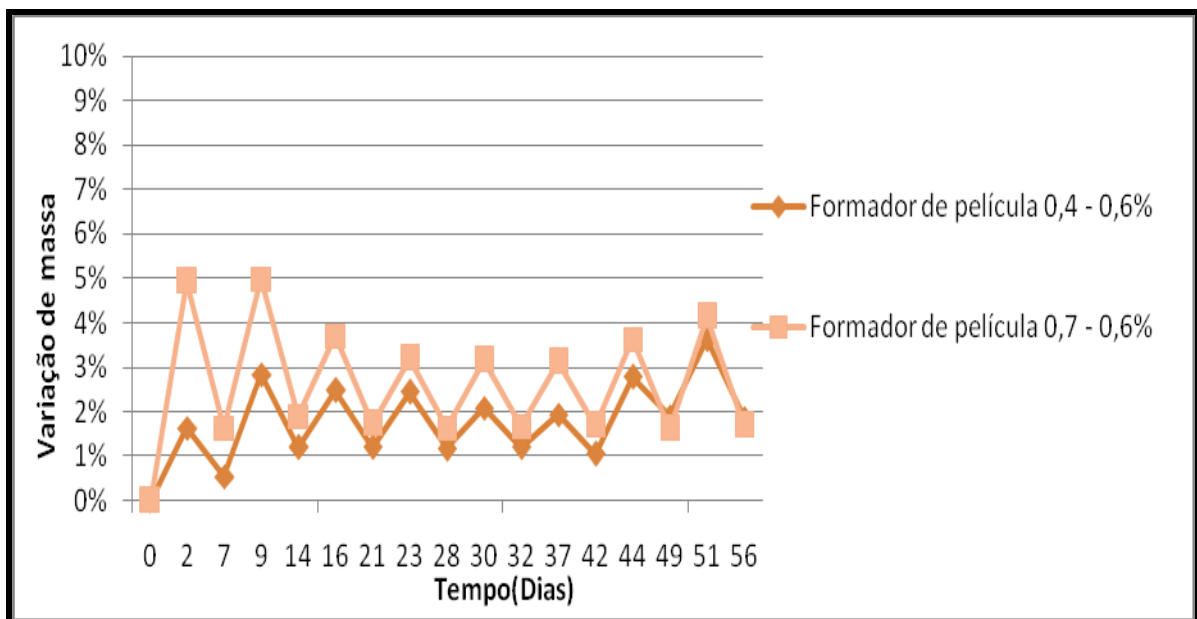


Figura 6.59 – Evolução da variação de massa das séries formador de película 0,4 e 0,7, com 0,6% de cloretos.

### D) Bloqueador de poros

A Figura 6.60 apresenta os resultados obtidos para o material bloqueador de poros. Neste caso observou – se que para ambos as relações a/c, os corpos-de-prova apresentaram elevada amplitude dos valores de variação de massa, o que pode indicar que a relação a/c não possui influencia significativa no comportamento deste material.

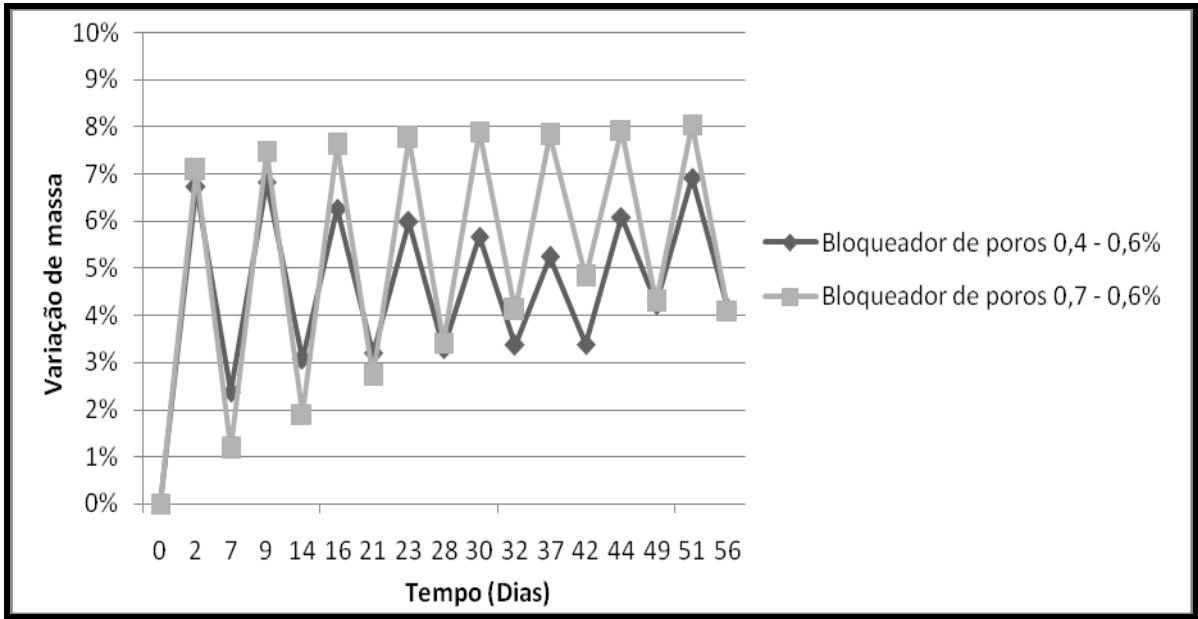


Figura 6.60 – Evolução da variação de massa das séries bloqueador de poros 0,4 e 0,7, com 0,6% de cloretos.

E) Comparação entre o de referência e o hidrofugante

A Figura 6.61 se refere aos resultados obtidos para os corpos-de-prova referência e hidrofugante. Conforme pode se observar na Figura 6.61, a aplicação do produto hidrofugante contribuiu para reduzir a absorção de água para ambas as relações a/c. Os corpos-de-prova executados com o hidrofugante apresentam uma menor amplitude nos valores de massa. Já na série referência observa-se a maior amplitude de variação de massa.

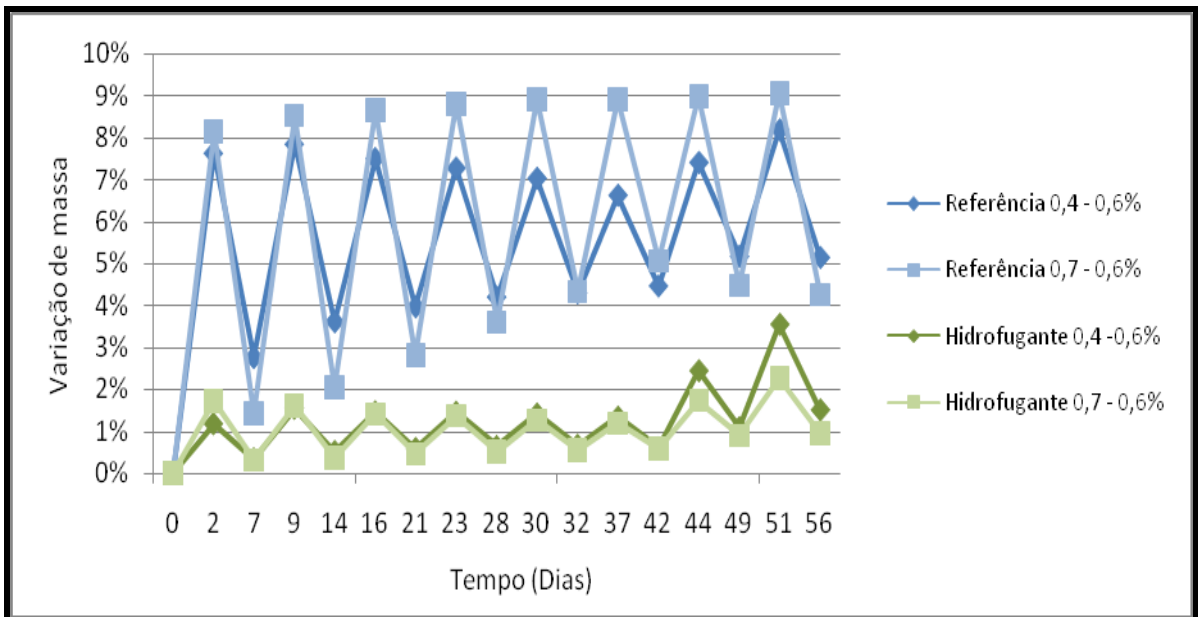


Figura 6.61 – Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência e hidrofugante 0,4 e 0,7, com 0,6% de cloretos.



F) Comparação entre o de referência e o formador de película

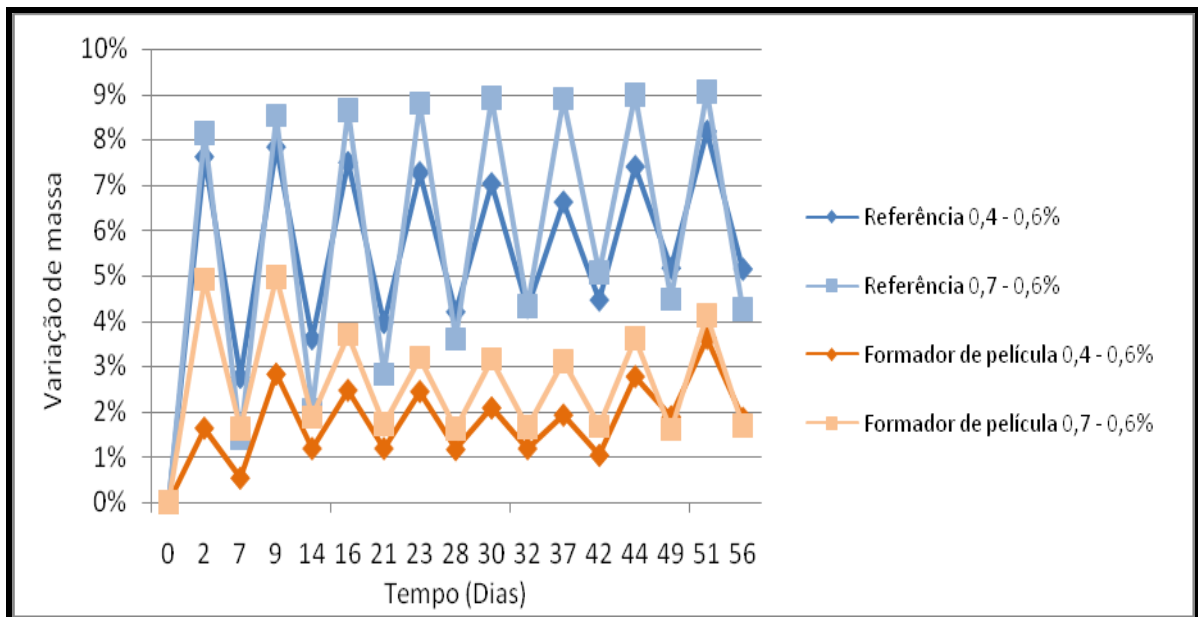


Figura 6.62 - Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência e formador de película 0,4 e 0,7, com 0,6% de cloretos.

A Figura 6.62 mostra que para a relação a/c 0,4 o formador de película apresentou menor amplitude nos valores de variação de massa, enquanto que para a relação a/c 0,7, o formador de película apresentou significativa amplitude nos valores de massa, quando comparado ao de referência.

G) Comparação entre referência e bloqueador de poros

Verificou-se ao longo do monitoramento do potencial de corrosão ( $E_{corr}$ ) que para ambas as relações a/c, o bloqueador de poros apresentou elevada amplitude nos valores de variação de massa, equiparando-se ao de referência. Mostrando se ineficiente para estruturas já contaminadas por cloretos submetidas a semi-ciclos de secagem e umectação.

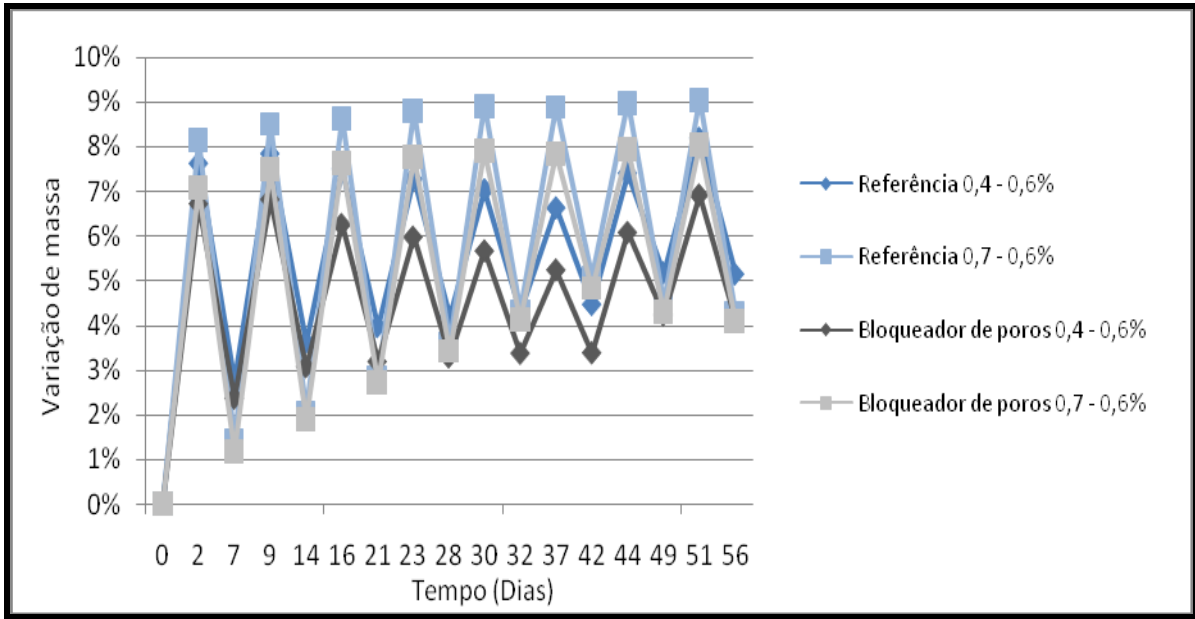


Figura 6.63 - Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência e bloqueador de poros 0,4 e 0,7, com 0,6% de cloretos.

H) Comparação entre o de referência, hidrofugante, formador de película e o bloqueador de poros

As figuras 6.64 e 6.65 se referem aos resultados obtidos para os corpos-de-prova de referência e os três produtos aplicados na superfície dos corpos-de-prova (hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros).

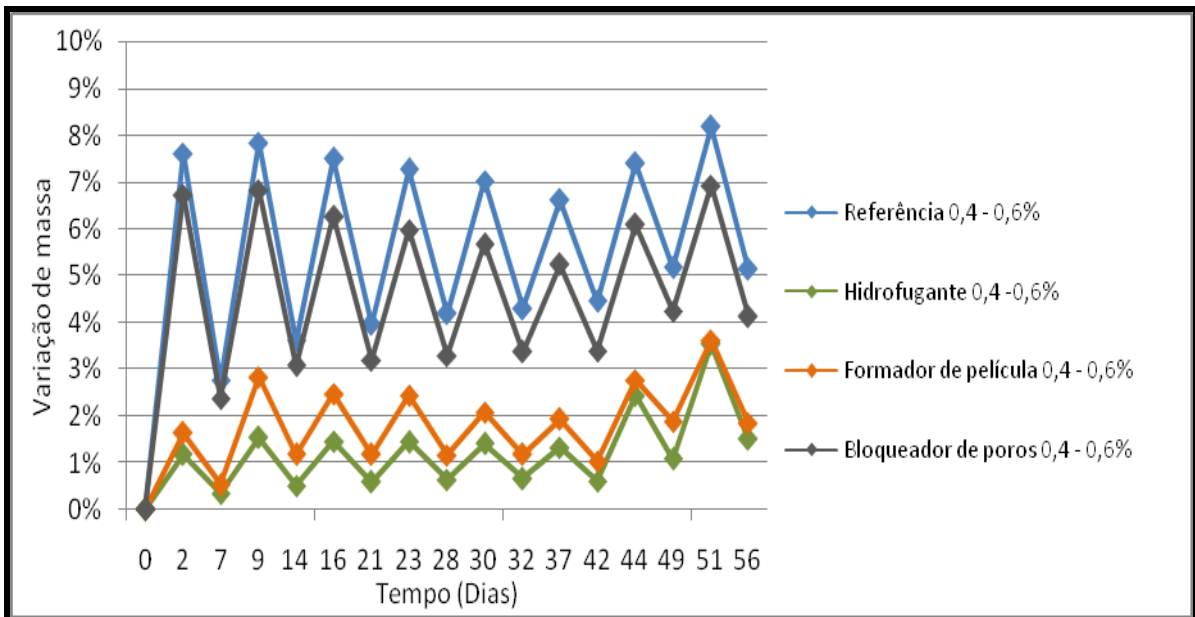


Figura 6.64 - Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência, hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros 0,4, com 0,6% de cloretos

Conforme pode ser observado na Figura 6.64 para a relação a/c 0,4 os produtos hidrofugante e formador de película tiveram comportamentos semelhantes no que diz respeito à absorção de água, obtendo melhor eficácia quando comparado ao de referência.

Já o bloqueador de poros foi o que apresentou pior eficácia entre os três produtos, apresentando valores de absorção de água semelhantes ao de referência

Com as técnicas utilizadas, foi possível classificar os materiais estudados em ordem decrescente de eficácia quanto a Variação de massa para estruturas já contaminadas e relação a/c 0,4, quando submetidas a ciclos de secagem e umectação:

**Hidrofugante > Formador de Película > Bloqueador de poros**

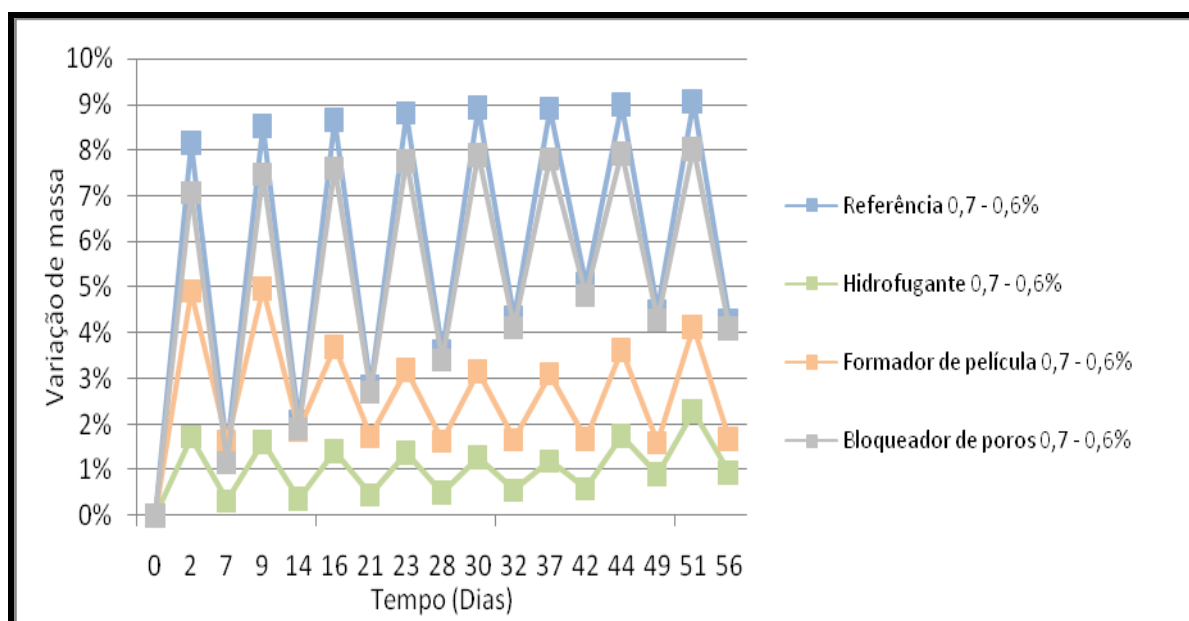


Figura 6.65 - Comparação da Evolução da variação de massa das séries referência, hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros 0,7.

Para a relação a/c 0,7 o produto que apresentou melhor eficácia também foi o hidrofugante. O formador de película que tinha apresentado eficácia equivalente ao hidrofugante para a relação a/c 0,4, apresentou maior amplitude dos valores de variação de massa para a relação a/c 0,7. O bloqueador de poros obteve a pior eficácia entre os três materiais analisados, equiparando-se ao de referência.

Com as técnicas utilizadas, foi possível classificar os materiais estudados em ordem decrescente de eficácia quanto a Variação de massa para estruturas já contaminadas e relação a/c 0,7:

**Hidrofugante > Formador de Película > Bloqueador de poros**

### **6.3 Aspersão de Nitrato de Prata**

#### **6.3.1 – Considerações gerais**

O método de aspersão de solução de nitrato de prata é meramente qualitativo. Os corpos-de-prova cilíndricos de 5 cm x 10 cm que foram submetidos aos ensaios de absorção por imersão foram seccionados ao meio e então foi efetuada uma inspeção visual após 15 minutos da aspersão da solução de nitrato de prata para identificar presença de cloretos livres e combinados

A Tabela 6.2 contém os critérios adotados para a avaliação de cloretos livres e combinados.

Tabela 6.2 – Designação dos cloretos em relação à coloração dos corpos-de-prova (adaptado da UNI 7928,1978).

<b>Coloração da superfície do corpo-de-prova</b>	<b>Designação</b>
<b>Branco</b>	Presença de cloretos livres
<b>Escura</b>	Ausência de cloretos livres

#### **6.3.2 – Resultados obtidos**

Conforme pode se observar na Foto 6.1 os corpos-de-prova referência 0,4 e o bloqueador de poros 0,4 apresentaram alto índice de área branca, indicando a presença de cloretos livres. O mesmo acontece para a relação a/c 0,7.

Observou que para ambos as relações a/c, o hidrofugante e o formador de película apresentaram menor área esbranquiçada, isso provavelmente se deve ao fato destes produtos

apresentarem melhor eficácia quanto à inibição da penetração de água com cloretos quando submetidos a ensaios de absorção por imersão.

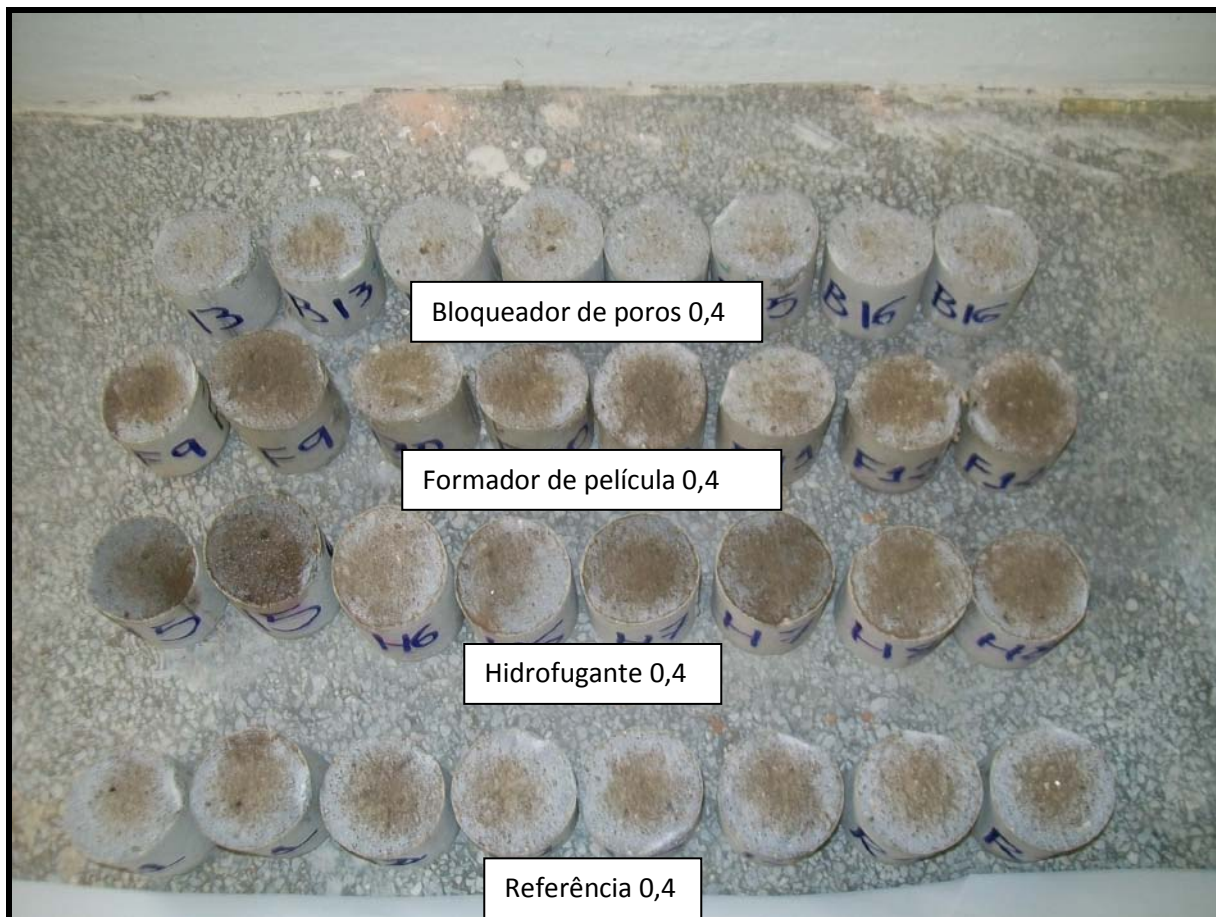


Foto 6.1 – Ilustração dos corpos-de-prova referência, hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros, relação a/c 0,4.

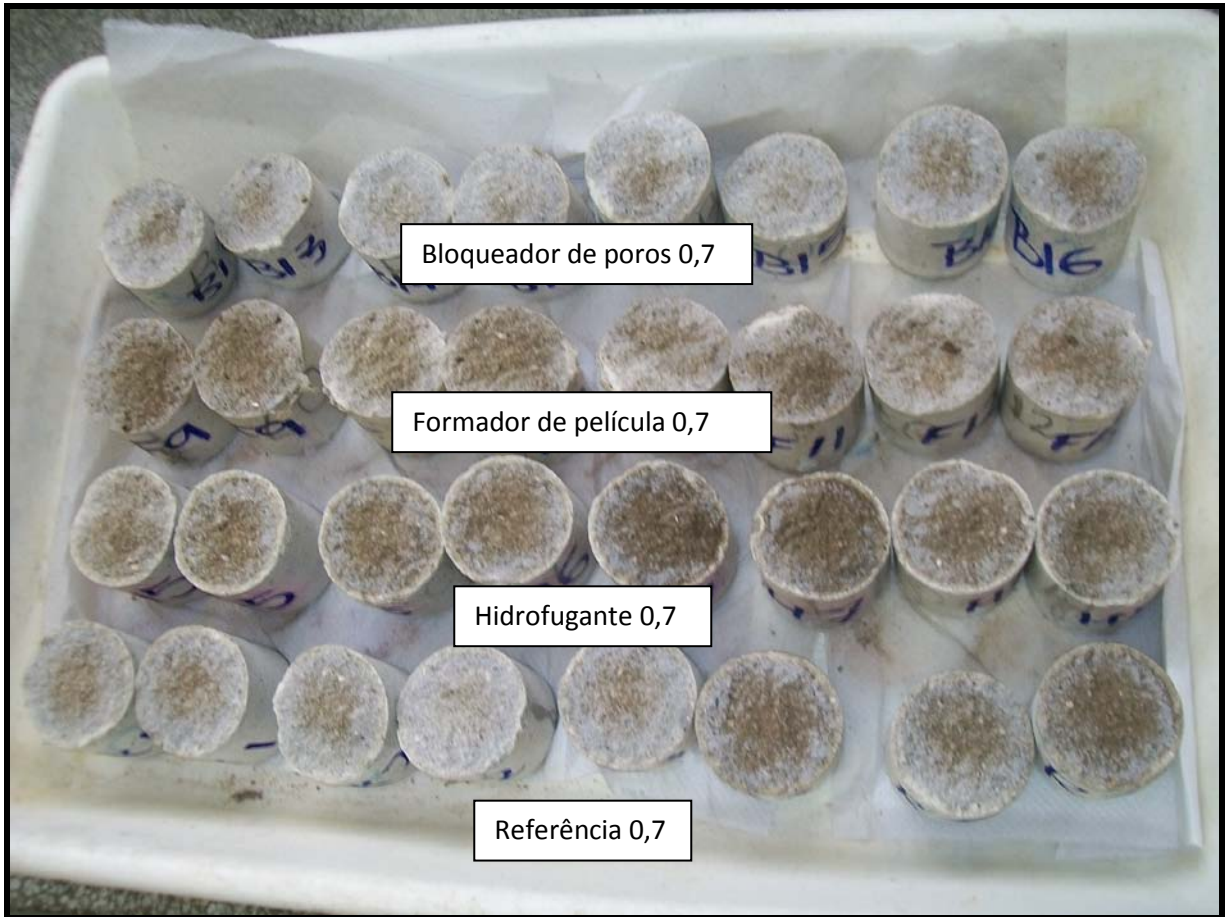


Foto 6.2 – Ilustração dos corpos-de-prova referência, hidrofugante, formador de película e bloqueador de poros, relação a/c 0,7.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 7.1 Conclusões

Dentro do objetivo deste trabalho, que consiste em avaliar a eficácia dos três tipos principais de sistemas de proteção de superfície serão apresentadas a seguir as considerações finais desta pesquisa:

#### A) Absorção

Tanto para os ensaios de absorção por imersão, como para os ensaios de absorção por capilaridade, o hidrofugante foi o produto que apresentou maior capacidade de reduzir a absorção de água tanto quando comparado ao referência, como quando comparado aos outros dois produtos aqui estudados. Em seguida o produto que apresentou o melhor desempenho foi o formador de película, mesmo este apresentando significativa variação no seu comportamento para as diferentes relações a/c utilizadas neste trabalho, ele reduziu significativamente a penetração de água no concreto, apresentando um bom desempenho quando comparado ao referência.

Por fim o bloqueador de poros não mostrou bom desempenho quando comparado ao referência. Verificou-se que apesar da aplicação deste produto, o mesmo não impedia a penetração da água de maneira significativa.

#### B) Absortividade

No que se refere à capacidade de reduzir a absortividade, o produto que apresentou maior taxa de redução foi o hidrofugante, em seguida foi o formador de película, e por fim o bloqueador de poros.

#### C) Potencial de corrosão

Verificou-se que quanto maior a relação a/c, mais negativo, é o valor do potencial de corrosão. A influência do aumento da relação a/c sobre o aumento do potencial constata



que à proporção que a qualidade do concreto diminui, a armadura fica mais suscetível a danos que nos concretos de boa qualidade, com relação a/c mais baixas. Isso foi possível observar mesmo com aplicação dos produtos aqui estudados.

Durante a realização deste ensaio verificou – se que tanto para os corpos-de-prova sem adição de cloretos (estruturas novas), como para os corpos-de-prova com adição de cloretos (estruturas antigas contaminadas) o produto que inibiu a corrosão de armaduras durante os 56 dias de monitoramento foi o hidrofugante.

O produto formador de película apresentou bom desempenho, conseguindo retardar o início da corrosão até o 7º ciclo para ambas as condições de moldagem (com e sem cloretos) apresentando bom desempenho quanto a retardar o início a corrosão de armaduras.

Já o bloqueador de poros apresentou péssimo desempenho para ambas as relações a/c, bem como para as condições de moldagem, apresentando potenciais menores que - 350mV já no início do monitoramento da corrosão.

#### D) Influência da relação água/cimento

No que diz respeito à influência da relação a/c sobre o comportamento dos produtos analisados neste estudo, verificou – se que para os produtos hidrofugante e bloqueador de poros a relação a/c não influencia no desempenho destes. Isso provavelmente se deve ao modo como esses produtos penetram nos poros do concreto. O primeiro revestindo os poros, o segundo tamponando-os. Enquanto que o produto formador de película apresentou significativa variação em seu desempenho para os diferentes fatores a/c utilizados neste trabalho, isso provavelmente se deve ao fato deste produto não reagir com o concreto, ele apenas forma uma superfície protetora.

O hidrofugante e o bloqueador de poros apresentaram comportamento semelhantes para ambos as relações a/c, enquanto que o formador de película apresentou melhor desempenho para os corpos de prova com relação a/c 0,4.



### E) Penetração de cloretos

Através do ensaio de Aspersão de Nitrato de prata foi possível averiguar a capacidade dos produtos de evitar a penetração dos cloretos nas amostras. Conforme MEDEIROS(2008) em ambientes contaminados por cloretos, o caminho para o sucesso em termos de durabilidade quanto à penetração de cloretos é a restrição ao ingresso de água, já que este íon só penetra no concreto se dissolvido em água.

Conforme foi observado o produto hidrofugante foi o que teve melhor desempenho quanto a diminuir a penetração de água nas amostras, diminuindo assim a penetração de íons cloreto nas amostras. O produto bloqueador de poros como apresentou o pior desempenho entre os três materiais estudados, permitindo elevada absorção de água nas amostras, apresentou mais de 90% da sua área contaminada por cloretos livres, que são responsáveis pela corrosão de armaduras nas estruturas de concreto armado.

Por fim pode-se concluir que o produto de proteção de superfície hidrofugante foi o que apresentou o melhor desempenho entre todos os produtos analisados neste trabalho.

Com as técnicas utilizadas, foi possível classificar os materiais estudados em ordem decrescente de desempenho para ambas as relações água/cimento:

<b>Hidrofugante &gt; Formador de Película &gt; Bloqueador de poros</b>
--

## 7.2 Sugestões para trabalhos futuros

- Analisar o comportamento do produto formador de película para diversas relações água/cimento;
- Analisar a penetração de íons cloretos através do ensaio de nitrato de prata para as diversas concentrações destes íons nos ensaios de absorção por imersão em corpos-de-prova protegidos com produtos de proteção de superfície;
- Estudar o comportamento de sistemas duplos de proteção para diferentes fatores a/c;
- Estudar a eficácia dos produtos de proteção de superfície em águas contaminadas com sulfatos.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. E. F. de S. **Desempenho de revestimento de poliuretano vegetal, frente a outros polímeros, quanto à proteção do concreto em ambientes agressivos.** 2000. 183p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS **Standard test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete. ASTM C 1152:** 1992. Philadelphia: Annual Book of ASTM Standards.

\_\_\_\_\_. **Standard test method for half cell potential of uncoated reinforcing steel in concrete. ASTM C 876:** 1992. Philadelphia: Annual Book of ASTM Standards.

ANDRADE, C.; WHITING, D. A. **Comparison of chloride ion diffusion coefficients derived from concentration gradients and non-steady state accelerated ionic migration.** Materials and Structures, v. 29, p. 476 – 484, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: procedimento.** Versão corrigida, 2007. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211: Agregado para concreto.** Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215: Cimento Portland- Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 7217: Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro. 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 7218: Agregados: determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.** Rio de Janeiro. 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 7224: Cimento Portland e outros materiais em pó-Determinação da área específica.** Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45:2006 Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios .** Rio de Janeiro. 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 7480: Barras e fios de aço destinados a armadura para concreto armado** - Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52:2003 Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente** . Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 9779: Argamassa e Concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 9798: Argamassas e Concretos – ensaio de absorção de água por imersão**. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 11581: Cimento Portland-Determinação dos tempos de pega**. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 14940 – Tintas para construção civil – Método para avaliação do desempenho de tintas para edificações não industriais – Determinação da resistência à abrasão úmida**. Rio de Janeiro, R.J.: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004, 5p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15077 – Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais – Determinação da cor e da diferença de cor por instrumental**. Rio de Janeiro, R.J.: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004, 4p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15078 – Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais – Determinação da resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva, é indicado para avaliação da lavabilidade**. Rio de Janeiro, R.J.: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004, 5p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15299 – Tintas para construção civil – Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais – Determinação de brilho**. Rio de Janeiro, R.J.: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004, 3p.

BATISTA, M. **Siloxanos e Silanos – Perfeitos hidrorrepelentes para toda situação**. Revista Recuperar, v. 23, p. 14-19 , 1998.

BAUER, E. **Avaliação comparativa da influência da adição da escória de alto-forno na corrosão de armaduras através de técnicas eletroquímicas**. São Paulo, 1995. Tese de doutorado- Escola Politécnica da Universidade e São Paulo, SP, 236p.

BENTUR, A.; DIAMOND, S.; BERKE, N. S. **Steel Corrosion in Concrete – Fundamentals and Civil Engineering Practice**. London: E and FN SPON, 1997. 201 p.

BROOMFIELD, J. P. **Corrosion of steel in concrete – Understanding, Investigation and repair**. Londres: E e FN Spon, 1997.

CALÇADA, L.M.L. **Estudo da Eficácia do Ensaio de Migração em Condições de Fluxo Não Estacionário na Previsão da Penetração de Cloretos em Concreto**. Florianópolis, 2004. 214p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

CASTRO, E. K.(1994), **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 185p, Dezembro.

CEB (1982), **CEB Design guide: Durable concrete structures**, Bulletin d'Information No. 182, Junho.

CIB W 80/RILEM 71-PSL. 1983. (Conseil International du Batment Pour la Recherche L'étude et la Documentation & Réunion Internationale des Laboratoires D'essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions). **Prediction of service life of building materials and components**. Rotterdam, 98p

COLLEPARDI, M., MARCIALIS, A. AND TURRIZIANI, R. **Penetration of Chloride Ions into Cement Pastes and Concretes**. Journal of the American Ceramic Society, 1972. Vol. 55, N.º 10, pp.533-535.

EUROCODE n.º. 2, **Design of concrete structures, Part 1: General rules and rules for buildings**, EC2, Revised Final Draft, Dezembro.

FIGUEIREDO, E. J. P. (1994). **Avaliação do desempenho de revestimentos para proteção da armadura contra corrosão através de técnicas eletroquímicas – contribuição ao estudo de reparo de estruturas de concreto armado**. Tese Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 423p.

GUIMARÃES, E. A.; NEPOMUCENO, A. A. **Avaliação da capacidade protetora da resina de óleo de mamona contra os efeitos da penetração de íons cloreto sobre as armaduras de concreto armado**. In: Latin American Region Corrosion Congress, 2., 1996, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: NACE, 1996, p. T139. CD ROM

HALL, C. **Water sorptivity of mortars and concretes: a review.** Magazine of concrete Research, London, n. 147, p. 51-61, 1989.

HELENE, P.R.L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** 1993. 231p. Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

HELENE, P.P. **Protección y Mantenimiento de las Superfícies de Hórmigon.** In: CASANOVAS, X. Manual de Diagnosis e Intervención en Estructuras de Hormigón Armado. Espanha; Col·legi d' Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona, 2000. Capítulo 12, p 115-126.

HELENE, Paulo R. L. . **Introdução da Vida Útil no Projeto das Estruturas de Concreto..** In: 2º WORKDUR, 2001, São José dos Campos. Anais do 2º WORKDUR, 2001. v. 1. p. 58-94.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Especificação de tintas IPT:** Programa de controle de qualidade das construções habitacionais . Procontrol. São Paulo, 1983. (Relatório nº 18.503).

JACOB, T.; HERMANN, K. **Protección de las superficies de concreto: Impregnaciones hidrófobas.** Construcción y Tecnologia, p. 18 – 23, março, 1998.

JUCÁ, T. R. P. **Avaliação de cloretos livres em concretos e argamassas de cimento portland pelo método de aspersão de solução de nitrato de prata.** Góias, 2002. 142p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia Civil – Universidade Federal de Goiás.

KAGI, D. A.; REN, K. B. **Reduction of water absorption in silicate treated concrete by post – treatment with cationic surfactants.** Building and Environment, v. 30, n. 2, p. 237 – 243 , 1995.

KAZMIERCZAK, C de S. **Contribuição para análise da eficiência de películas aplicadas sobre estruturas de concreto armado com o objetivo de proteção contra a carbonatação,** 1995. 168p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

KROPP, J.; HILSDORF, H. K.; GRUBE, H.; ANDRADE, C.; NILSSON. **Transport mechanisms and definitions.** In: KROPP, J.; HILSDORF, H. K. Performance Criteria for concrete Durability. Londres: E e FN Spon, 1995. Capítulo 2, p. 4 -14.

LIMA, M. G. **Ação do meio ambiente sobre as estruturas de concreto.** In: ISAIA, G. *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.* São Paulo: IBRACON, 2005. V.2 , p. 713 – 751.

MANGAT, P.S.; MOLLOY, B. T. **Factors influencing chloride-induced corrosion of reinforcement in concrete.** *Materials and Structures*,v. 25, p. 404 – 411, 1992.

MEDEIROS, M. H. F. de. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íons cloretos.** Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – São Paulo, 2008.

MEHTA, P.K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto, estrutura, propriedades e materiais.** Trad. de Paulo Helene (Coord.). São Paulo: PINI. 1994. 574p.

MONTEIRO, E. C. B. **Estudo da capacidade de cimentos nacionais, em relação à corrosão de armaduras sob à ação conjunta de CO<sub>2</sub> e íons cloretos.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília, Brasil, jul. 1996, 132p.

MONTEIRO, E. C. B. **Avaliação do método de extração eletroquímica de cloretos para reabilitação de estruturas de concreto com problemas de corrosão de armaduras.** Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

NEPOMUCENO, A. A. **Comportamento de morteros de reparacion frente a la carbonatación y la penetracion de coruros em estruturas de hormigón armado dañadaspor corrosionde armaduras. Estudio mediante la resistencia de polarizacion.** Tese de Doutorado, Universidad Politecnica de Madrid, Instituto de Ciências de la Construcción Eduardo Torroja – CSIC, Madrid, Espanha, nov.1992, 371 p.

NEPOMUCENO, A. A. **Mecanismo de transporte de fluidos no concreto.** In: ISAIA, G. *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.* São Paulo: IBRACON, 2005.V.2, p. 447 - 550.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** São Paulo, PINI, 1997.

PAES, I. N. L. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós fabricação.** Brasília – DF: UNB, 2004. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 2004.

PAGE, C. L., LAMBERT, P., & VASSIE, P. R. **Investigations of reinforcement corrosion.** 1. The pore electrolyte phase in chloride-contaminated concrete. *Materials and Structures*, 1991. Vol. 24, pp. 243-252.

RAMOS, R. R. de C. M. **Avaliação de desempenho de sistemas destinados à proteção de concreto aparente**, 1991. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

SATO, N.M.N. **Análise da porosidade e de propriedades de transporte de massa em concretos**. São Paulo: UFSP, 1998. Tese(Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1998.

SELINGER, F. **Morteros de Reparación**. Curso de Recuperação de Obras de Concreto, Bilbao, 30-31 de janeiro, 1992. 19p.

SILVA, S.C. **Estudo da infiltração de água no concreto e na argamassa. Modelo Numérico e Experimental**. Brasília: UNB, 1999. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). Universidade de Brasília, 1999. 96p.

SILVA, J. M. da **Caracterização de tintas látex para construção civil: diagnóstico de mercado do estado de São Paulo**. São Paulo, S.P.: Dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia, Universidade de São Paulo, 2005, 202p.

THOMPSON, J. L.; SILSBEE, M.R.; GILL, P.M. SCHEETZ, B. E. **Characterization of silicate sealers on concrete**. Cement and Concrete Research, v. 27, n. 10,p. 1561 – 1567, 1997.

TULA, L. S. **Contribuição ao estudo da resistência à corrosão de armaduras de aço inoxidável**. São Paulo, 2000. 259p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo.

UEMOTO, K. L. **Influencia da formulação das tintas de base acrílica como barreira contra a penetração de agentes agressivos**. 1998. 178p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

UEMOTO, K.L. ; AGOPYAN, V. **Durabilidade de revestimentos à base de polímeros**. in Workshop – Durabilidade nas Construções, São Leopoldo, RS.: UNISINOS, Jun./Jul.1997.p. 55-63.

UEMOTO, K.L. ; AGOPYAN, V. VITTORINO, F. **Concrete protection using acrylic latex paint: Effect of the pigment volume content on water permeability**. Materials and Structures, v. 34, p. 172 – 177, 2001.

WINSLOW, D. e LIU, D. **The pore structure of paste in concrete**. Cement and Concrete Research. 1990. Vol.20, pp.227-235.