



**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA A
PENETRAÇÃO DE CLORETOS NA FACE INTERNA DE LAJES DE RESERVATÓRIOS
DE ÁGUA POTÁVEL**

SÃO PAULO

2010



André Tadeu Moreno Figueiró

Lilian Quattrone Gregorio

Virgínia Maria Calou

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA A
PENETRAÇÃO DE CLORETOS NA FACE INTERNA DE LAJES DE RESERVATÓRIOS
DE ÁGUA POTÁVEL**

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

Orientador: Prof. Luis Cesar De Luca, M.Sc.

SÃO PAULO

2010

FOLHA DE APROVAÇÃO

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA A
PENETRAÇÃO DE CLORETOS NA FACE INTERNA DE LAJES DE RESERVATÓRIOS
DE ÁGUA POTÁVEL**

Por

André Tadeu Moreno Figueiró

Lilian Quattrone Gregorio

Virgínia Maria Calou

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

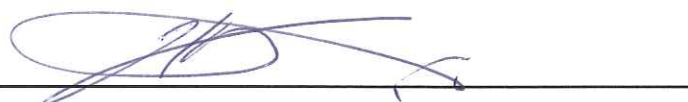
São Paulo (SP) 15 de dezembro de 2010.



Prof. M.Sc. Luis Cesar Siqueira De Luca



Prof. Dr. Enio José Pazini Figueiredo



Prof. M.Sc. Thomas Garcia Carmona

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para realização deste trabalho.

Às empresas Concremat e MC-Bauchemie, pelo apoio e incentivo na execução dos ensaios e no fornecimento dos produtos. E também a empresa ABCP pelo bom atendimento prestado na realização dos ensaios, em especial ao Engº Rubens Curti e Sr. Celso Sernaglia.

Aos amigos e colegas que tornaram possível a concretização do programa experimental, Engº José Roberto Saleme Jr., Engº Jozenias Firmino do Vale, Engª Heloisa Bolorino e Tecgª Celina Yokoyama, Sr. Jaques Pinto e Engª Rosana Tiba.

Aos amigos e colegas que contribuíram com seu conhecimento e experiência, Engº Emilio Minoru Takagi, Engº William Mititaka Naoi, Engº Paulo Fernando e Engª Alessandra Costa. E aos amigos e colegas com o apoio e carinho que nos ajudaram: Fábio Reimberg, Dailton N. Mota, Samoel Ferreira Neves, Ivan Silva, Edvaldo Ramos Soares, Thais Alves, Marcos Antônio Costa Jr., Tiago Sena e Vânia Felício.

Aos mestres Luis Cesar Siqueira De Luca, Enio José Pazini Figueiredo, Fernanda Giannotti, com destaque ao Marcelo Medeiros, pelas orientações técnicas e direcionamento na produção deste trabalho.

A todos os familiares e amigos, pelo apoio, compreensão e motivação e especialmente aos cônjuges Daniela Tahira Figueiró, Celso Calou (e filha Mariana) e ao noivo Thiago Baima.

RESUMO

O presente trabalho avalia as diferenças entre sistemas de proteção em resinas epóxi e poliuretano ambos a base de água e abertos a difusão de vapor, quando aplicados no concreto contra a penetração de cloretos na face inferior de laje de cobertura de reservatórios de água potável. Tal estudo foi motivado pelo resultado de uma pesquisa que revelou que este elemento é o mais afetado pela corrosão de armaduras. Estes sistemas de proteção apresentam tecnologias inovadoras que atenuam o impacto ambiental e permitem maior durabilidade à estrutura, minimizando o impacto das intervenções, evitando-se a paralisação no abastecimento de água. A análise iniciou-se a partir da comparação dos resultados de ensaios laboratoriais que determinam a quantidade de íons cloretos e de água que passam pelas barreiras. Os resultados obtidos indicam diferença aproximada de 5% entre os dois sistemas de proteção, mas com um ganho de 48% em relação aos corpos de prova sem qualquer tipo de proteção. O estudo permitiu ainda calcular o coeficiente de difusão de cloretos aparente e a relação entre a espessura de cobrimento e a expectativa de vida útil.

Palavras chave: Sistemas de proteção, difusão de vapor, base água, epóxi, poliuretano, eficiência, durabilidade, cloretos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Gráfico dos tipos de anomalias observadas nas 197 estruturas – faces internas e externas.....	1
Figura 2. Distribuição da área afetada por armadura exposta e corroída na face.....	2
Figura 3. Causas de ocorrência de armaduras expostas e corroídas nas	2
Figura 4. Lei de Sitter.....	5
Figura 5. Influência da relação água/cimento – concreto convencional.....	12
Figura 6. Representação esquemática do processo de carbonatação	14
Figura 7. Principais fatores envolvidos nos fenômenos de transporte no interior de materiais porosos.....	18
Figura 8. Evolução esquemática do teor de umidade no concreto, em função da umidade do ambiente.....	20
Figura 9. Esquema do processo eletroquímico da corrosão.....	21
Figura 10. Diagrama de Pourbaix.....	24
Figura 11. Tratamento das superfícies:	26
(a) Revestimentos e Vernizes (b) Fechamento de poros (c) Lineamento de poros – Repelentes.....	26
Figura 12. Modelo simplificado de Tuuti	32
Figura 13. Representação da composição em camadas do sistema de proteção em epóxi.....	42
Figura 14. Representação da composição em camadas do sistema de proteção em poliuretano.	44
Figura 15. Preparação das amostras para execução do ensaio de penetração de íons cloretos.	46
Figura 16. Ensaio de avaliação de migração de cloretos.....	47
Figura 17. Gráfico da evolução dos resultados obtidos no ensaio de compressão axial.....	54
Figura 18. Gráfico dos resultados obtidos no ensaio de verificação da homogeneidade do concreto.	55
Figura 19. Gráfico dos resultados obtidos no ensaio de migração de íons cloretos.....	56
Figura 20. Gráfico dos resultados obtidos no ensaio de profundidade de penetração de cloretos.	57
Figura 21. Comparação entre as formas de penetração no ensaio onde:	57
(a) Referência (b) Poliuretano (c) Epóxi	57
Figura 22. Gráfico dos resultados obtidos no ensaio de absorção de água por imersão e fervura.....	58
Figura 23. Comparação entre as películas:	58

(a) Poliuretano: Destacamento	(b) Epóxi: perda de brilho do sistema	(c) Epóxi: amarelamento	58
-------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------	----

Figura 24. Gráfico dos resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade.

.....	59
-------	----

Figura 25. Gráfico comparativo de expectativa de vida útil para coeficiente superficial de 0,9%.....62

Figura 26. Gráfico comparativo de expectativa de vida útil para coeficiente superficial de 1,8%.....62

Figura 27. Gráfico comparativo de expectativa de vida útil para coeficiente superficial de 3,0%.....63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Definição do cobrimento pela classe de agressividade ambiental.	10
Tabela 2. Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.	12
Tabela 3. Classificação do risco de deterioração da estrutura.	15
Tabela 4. Teor máximo de íons cloretos	20
Tabela 5. Traço definido e executado.	35
Tabela 6 - Ensaios de Caracterização das Amostras – Primeira Fase.	38
Tabela 7 - Ensaios do Estudo Comparativo dos Sistemas de Proteção Aplicados – Segunda Fase.	38
Tabela 8. Parâmetro para avaliação dos resultados de ultrassonografia.	40
Tabela 9. Resultados obtidos no ensaio de compressão axial.	54

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1. Mistura dos materiais na betoneira.....	36
Foto 2. Vista do concreto na etapa do amassamento.....	36
Foto 3. Execução do ensaio de abatimento de tronco de cone “Slump test”.	37
Foto 4. Moldagem dos corpos de prova.	37
Foto 5. Ensaio de resistência à compressão axial – Caracterização das amostras.	39
Foto 6. Corpos de prova que serão realizados os ensaios.	41
Foto 7. Calibração do equipamento pela barra de referência do ultrassom.	41
Foto 8. Aplicação de pintura nas fatias preparadas para o ensaio de migração de cloretos.....	43
Foto 9. Corpos de prova preparados para os ensaios com sistema de proteção em epóxi.	43
Foto 10. Lixamento da superfície para preparação do substrato para aplicação do sistema de proteção.	45
Foto 11. Corpos de prova com sistema de proteção aplicado.	45
Foto 12. Amostras fraturadas para execução do ensaio de determinação da frente de penetração de cloretos, através da aspersão de solução de nitrato de prata.	48
Foto 13. Medição da camada de penetração de cloretos, na amostra de referência (sem proteção), onde observa-se camada uniforme de penetração de cloretos.	48
Foto 14. Medição da camada de penetração de cloretos, na amostra com sistema de proteção em epóxi, onde observa-se penetração de cloretos em <i>pites</i>	49
Foto 15. Medição da camada de penetração de cloretos, na amostra com sistema de proteção em poliuretano, onde observa-se penetração de cloretos em <i>pites</i>	49
Foto 16. Corpos de prova imersos em fervura.	50
Foto 17. Pesagem inicial dos corpos de prova.	51
Foto 18. Corpos de prova no interior da estufa.	52
Foto 19. Corpos de prova no “aquário” para ensaio de capilaridade.	52
Foto 20. Corpos de prova “rompidos” para avaliação do perfil de absorção interna.	53

SUMÁRIO

FOLHA DE APROVAÇÃO.....	3
AGRADECIMENTOS.....	4
RESUMO	5
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE FOTOGRAFIAS	iv
SUMÁRIO	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	3
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. Objetivo Geral.....	3
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
1.3. HIPÓTESE	4
1.4. JUSTIFICATIVAS	4
1.4.1. Tecnológicas.....	4
1.4.2. Econômicas	5
1.4.3. Sociais	6
1.4.4. Ecológicas	6
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	6
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1. QUALIDADE E DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	9
2.1.1. Critérios de Projeto	9
2.1.2. Espessura do Cobrimento de Concreto	10
2.1.3. Mecanismos de Deterioração	13
2.1.4. Agressividade do Ambiente	14
2.2. ATAQUE POR CLORETOS E CORROSÃO ELETROQUÍMICA.....	16
2.2.1. Contaminação por Cloretos	17
2.2.2. Corrosão por Cloretos.....	21
2.3. SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA A PENETRAÇÃO DE CLORETOS.....	25
2.3.1. Classificação.....	26
2.3.2. Características dos Sistemas de Proteção.....	26

2.3.3.	Requisitos para a Aplicação de Sistemas de Proteção em Concreto	28
2.3.4.	Características da Eficiência dos Sistemas de Proteção.....	31
2.4.	EXPECTATIVA DA VIDA ÚTIL DE ESTRUTURAS	32
3.	PROGRAMA EXPERIMENTAL	34
3.1.	DEFINIÇÃO E EXECUÇÃO DO TRAÇO E MOLDAGEM DAS AMOSTRAS	35
3.1.1.	Moldagem dos Corpos de Prova.....	37
3.2.	AMOSTRAGEM.....	38
3.3.	REALIZAÇÃO DE ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	39
3.3.1.	Ensaio de Determinação da Resistência à Compressão Axial	39
3.3.2.	Ensaio de Verificação da Homogeneidade do Concreto	40
3.4.	APLICAÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO.....	42
3.4.1.	Sistema de Proteção em Epóxi.....	42
3.4.2.	Sistema de Proteção em Poliuretano.....	44
3.5.	ENSAIOS DO ESTUDO COMPARATIVO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO APLICADOS.....	46
3.5.1.	Ensaio de Migração de Íons Cloretos	46
3.5.2.	Determinação da Frente de Penetração de Cloretos	47
3.5.3.	Ensaio de Absorção de Água por Imersão e Fervura.....	50
3.5.4.	Ensaio de Absorção de Água por Capilaridade.....	51
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	54
4.1.	RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS ENSAIOS REALIZADOS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	54
4.1.1.	Determinação da Resistência à Compressão Axial.....	54
4.1.2.	Ensaio de Verificação da Homogeneidade do Concreto	55
4.2.	RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS ENSAIOS DO ESTUDO COMPARATIVO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO APLICADOS	56
4.2.1.	Ensaio de Migração de Íons Cloretos	56
4.2.2.	Determinação da Frente de Penetração de Cloretos	57
4.2.3.	Ensaio de Absorção de Água por Imersão e Fervura.....	58
4.2.4.	Ensaio de Absorção de Água por Capilaridade.....	59
4.3.	AVALIAÇÃO DA EXPECTATIVA DA VIDA ÚTIL	60
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	64
5.1.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	67

APÊNDICES

APÊNDICE A - FICHA DE REGISTRO DO TRAÇO DE CONCRETO	72
APÊNDICE B - FICHA DE REGISTRO DO ENSAIO DE ULTRASSOM	73
APÊNDICE C - FICHA DE REGISTRO DO ENSAIO PROFUNDIDADE DE PENETRAÇÃO DE CLORETOS	74
APÊNDICE D - CÁLCULO DA FUNÇÃO DE ERRO DE GAUSS	75

ANEXOS

ANEXO A - FICHA TÉCNICA DO SISTEMA DE PROTEÇÃO EM EPÓXI.....	76
ANEXO B - CERTIFICADO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO EM EPÓXI.....	78
ANEXO C - FICHA TÉCNICA DO SISTEMA DE PROTEÇÃO EM POLIURETANO	79
ANEXO D - CERTIFICADO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO EM POLIURETANO	81
ANEXO E - FICHA TÉCNICA - SOLUÇÃO DO REAGENTE DE NITRATO DE PRATA	82
ANEXO F - CERTIFICADOS DOS ENSAIOS.....	83

1. INTRODUÇÃO

O foco principal deste trabalho é o estudo comparativo entre dois sistemas de proteção, resinas epóxi e poliuretano, como barreira contra a penetração de íons cloretos, quando aplicados na face inferior de lajes de cobertura de reservatórios de água potável.

O desenvolvimento desse trabalho foi motivado em decorrência do estudo das incidências de anomalias mais detectadas em inspeções visuais realizadas em reservatórios de água potável do interior e do litoral de São Paulo em operação, que indicaram a face inferior da laje de cobertura como elemento mais afetado pela corrosão de armaduras.

Segundo Garrido *et al* (2010), em estudo realizado para o Ibracon, com título “Estruturas de Concreto para Abastecimento de Água – Um Estudo das Incidências das Anomalias e Causas”, no qual realizou-se avaliação estatística a partir de informações adquiridas quando da definição do quadro patológico observado em 197 estruturas, pelas quais chegou-se a conclusão que a face inferior de lajes de cobertura é, de fato, o elemento estrutural com maior incidência de deterioração ocasionada pela corrosão de armaduras e dentre as causas prováveis o cobrimento insuficiente foi o principal facilitador para a entrada de agentes agressivos.

No trabalho de Garrido *et al* (2010) é mencionado ainda, como agravante, a umidade com a presença de gás cloro, que é utilizado no tratamento da água potável. A Figura 1 representa graficamente a distribuição dos tipos de anomalias nos reservatórios.

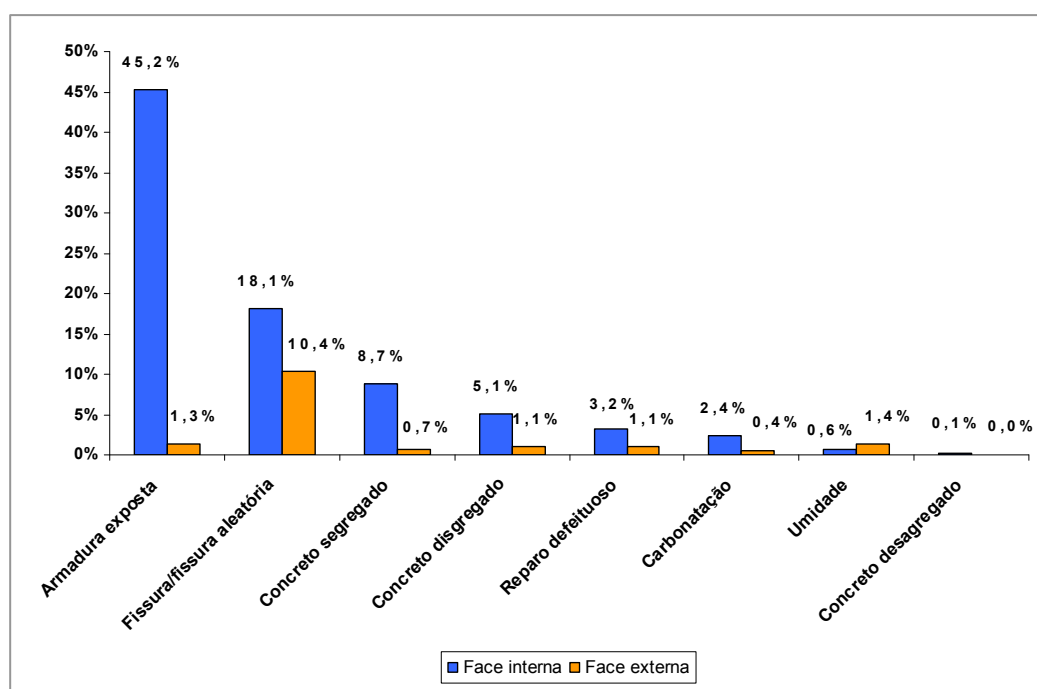
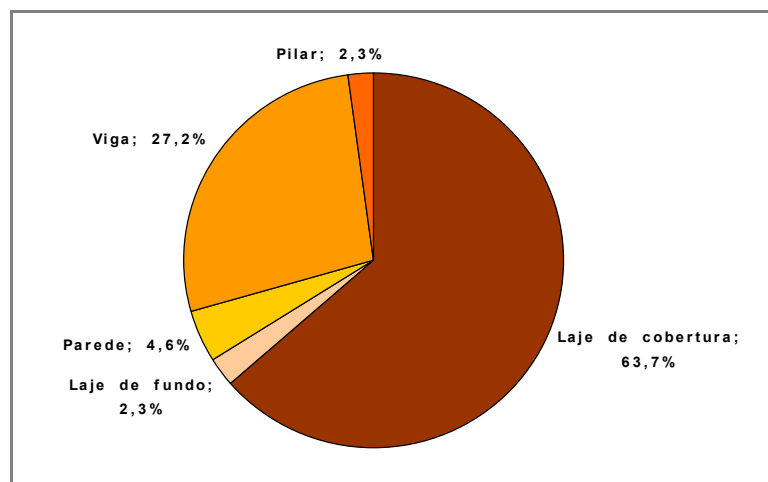


Figura 1. Gráfico dos tipos de anomalias observadas nas 197 estruturas – faces internas e externas. interna dos elementos estruturais dos reservatórios analisados.

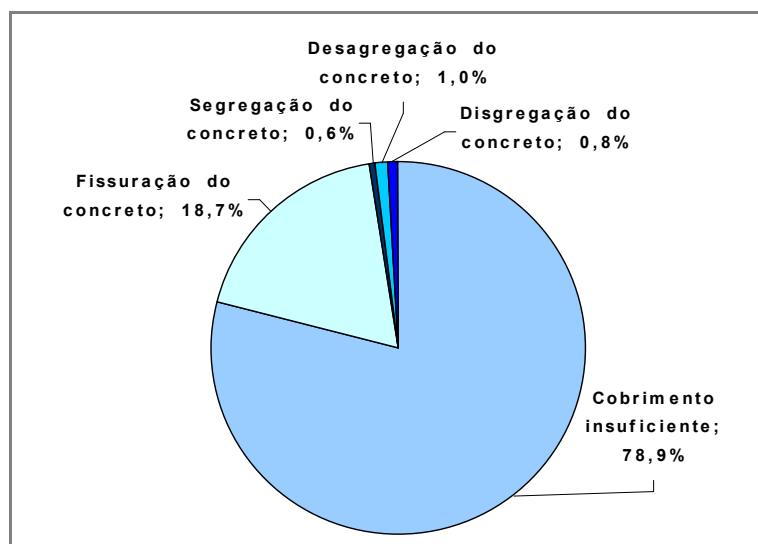
A Figura 2 representa graficamente a distribuição da área afetada por armadura exposta e corroída na face interna dos elementos estruturais dos reservatórios analisados no trabalho publicado.



Fonte: GARRIDO *et al* (2010)

Figura 2. Distribuição da área afetada por armadura exposta e corroída na face interna dos elementos estruturais dos reservatórios analisados.

A maior incidência desse tipo de anomalia ocorreu na laje de cobertura, com cerca de 64% do total e a causa provável para essa anomalia, foi a deficiência de cobrimento da armadura, com cerca de 79%, conforme mostrado na Figura 3.



Fonte: GARRIDO *et al* (2010)

Figura 3. Causas de ocorrência de armaduras expostas e corroídas nas lajes de cobertura dos reservatórios analisados.

As estruturas de concreto, segundo as prescrições da norma NBR6118(2007), devem atender aos requisitos mínimos de qualidade, os quais compreendem segurança à ruptura, desempenho em serviço e capacidade de resistir às influências ambientais previstas e definidas em projeto. A presença de anomalias vem prejudicar inicialmente seu desempenho, podendo atingir um estágio tal que comprometa a segurança das estruturas.

O presente trabalho visa apresentar os resultados do estudo comparativo de tecnologias inovadoras em produtos de proteção de estruturas de concreto, que atuem em prol dos requisitos mínimos de qualidade, promovendo benefícios de sustentabilidade, viabilidade econômica e social, na construção e conservação de estruturas hidráulicas.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Existe diferença significativa entre sistema de proteção em epóxi ou poliuretano, ambos à base de água e abertos à difusão de vapor, quando aplicadas para a proteção do concreto contra a migração de cloretos na face inferior de lajes de cobertura de reservatórios de água potável em operação?

1.2. OBJETIVOS

Neste item apresentam-se os objetivos gerais e específicos da pesquisa a ser desenvolvida.

1.2.1. Objetivo Geral

Executar estudo experimental com a finalidade de comparar as diferenças observadas entre dois tipos de sistemas de proteção, em epóxi e poliuretano, ambos à base de água e abertos à difusão de vapor, quando aplicados em condições semelhantes às lajes de cobertura de reservatórios de água potável em operação, para a criação de barreira de proteção.

1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos que baseiam este trabalho estão pautados na avaliação comparativa entre dois tipos de sistemas de proteção proveniente de um único fabricante,

com características semelhantes, ambos à base de água e abertos à difusão de vapor, visando a proteção superficial do concreto contra a penetração de cloretos em lajes de reservatórios em operação, através da medição de parâmetros relativos aos mecanismos de penetração de cloretos e da análise dos resultados.

A fim de atingir os objetivos acima mencionados, este trabalho previu a comparação dos sistemas de proteção através dos seguintes ensaios, divididos em duas fases:

Caracterização das Amostras - Primeira Fase:

- Resistência à compressão;
- Determinação da homogeneidade do concreto.

Ensaio Comparativos - Segunda Fase:

- Migração de cloretos;
- Determinação da profundidade da penetração de cloretos;
- Absorção de água por imersão e fervura;
- Absorção de água por capilaridade.

1.3. HIPÓTESE

Pressupõe-se que haverá diferenças na eficiência entre os sistemas de proteção em epóxi e poliuretano ambos à base de água e abertos à difusão de vapor

1.4. JUSTIFICATIVAS

Neste item apresentam-se as justificativas para a pesquisa, a saber: tecnológicas, econômicas, sociais e ecológicas.

1.4.1. Tecnológicas

De acordo com Garrido *et al* (2010), a maioria dos reservatórios de água potável, na cidade de São Paulo, foram construídos nas décadas de 70 e 80 e apresentam dependendo do seu sistema construtivo, problemas relativos à durabilidade das estruturas de concreto, gerados por deficiências construtivas e/ou à falta de manutenção e ainda por proteção inexistente, inadequada ou ineficiente. Aliado a estes fatores tem-se ainda a

modificação nos processos de purificação da água. Segundo Bissa (2008), a crescente contaminação da água é que demanda a necessidade de evolução nos processos e produtos químicos de purificação, alterando o pH da água e proporcionando maior agressividade ao concreto e armaduras da estrutura.

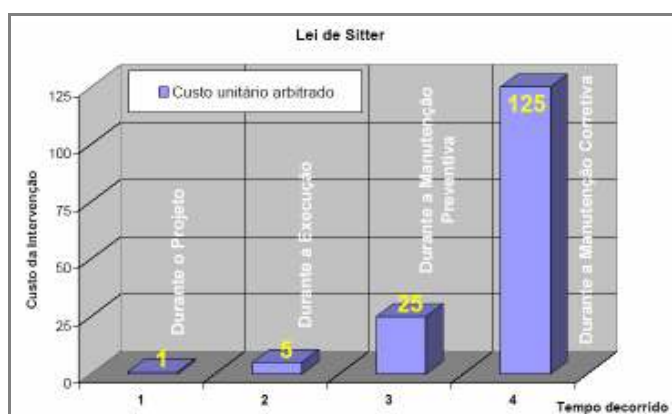
Desta forma, o presente trabalho tem por finalidade apresentar estudo comparativo entre dois sistemas de proteção de estruturas de concreto que apresentam tecnologias inovadoras, atuando com requisitos mínimos de qualidade especificados em normas técnicas vigentes.

1.4.2. Econômicas

As dificuldades na manutenção de reservatórios de distribuição de água potável estão relacionadas à acessibilidade, à paralisação da rede de distribuição de água e à disponibilidade de recursos econômicos. Em função destas dificuldades tornou-se viável um estudo comparativo quanto à resistência à barreira química de novos sistemas oferecidos no mercado, para proteger a laje de cobertura, visando minimizar as manutenções.

Os problemas patológicos só se manifestam após o início da execução propriamente dita, a última etapa da fase de produção. Em relação à recuperação dos problemas patológicos, HELENE (1992) afirma que as correções serão mais duráveis, efetivas, simples em sua execução e mais baratas quanto mais cedo forem executadas.

A demonstração mais expressiva dessa afirmação é a chamada "lei de Sitter" que mostra o crescimento dos custos, segundo uma progressão geométrica. Dividindo as etapas construtivas e de uso em quatro períodos correspondentes ao projeto, à execução propriamente dita, à manutenção preventiva efetuada antes dos primeiros três anos e à manutenção corretiva efetuada após surgimento dos problemas, a cada uma corresponderá um custo que segue uma progressão geométrica de razão cinco, indicado na Figura 4.



Fonte: PINTO; TAKAGI (2008)

Figura 4. Lei de Sitter.

1.4.3. Sociais

Em decorrência do crescente consumo de água, as redes de abastecimento vêm sendo sobrecarregadas e ainda devido à falta de investimentos para suprir esta demanda, cada vez mais a paralisação para a manutenção das redes e reservatórios provocam transtornos à sociedade, pois não há como substituir ou efetuar manobras para manter o abastecimento de água de reservatórios durante estes períodos.

Desta forma, o presente estudo é importante para auxiliar na escolha de sistemas adequados para proteção de lajes de cobertura, que reduzam as interferências de manutenção neste elemento.

Assim sendo, os recursos financeiros poupados, poderão ser disponibilizados para novos projetos ou mesmo para reduzir custos e tarifas, aumentando a satisfação social.

1.4.4. Ecológicas

Do ponto de vista da sustentabilidade, deverão ser considerados fatores como: a execução e reexecução de reparos e/ou de tratamentos de proteção, que geram resíduos e a utilização de recursos naturais. E ainda da utilização de materiais isentos de solventes, que atenuam o impacto ambiental, efeito estufa e poluição do solo, durante sua aplicação, descarte e destinação final de resíduos e embalagens.

Desta forma, o presente estudo esteve baseado na avaliação de sistemas de proteção através de produtos à base de água.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O objetivo é avaliar a eficiência da barreira de proteção contra a penetração de cloretos em sistemas de resinas epóxi e poliuretano, aplicados em corpos de prova moldados para esta finalidade, através da comparação dos resultados de ensaios laboratoriais que determinam a quantidade de íons cloretos que passam pela barreira, assim como a capacidade de absorção de água de corpos de prova revestidos, utilizando-se dois tipos de ensaios, absorção por imersão e fervura e por capilaridade.

O estudo foi dividido em duas etapas, a primeira basicamente compõe-se pela revisão bibliográfica do assunto, junto às normas técnicas brasileiras e internacionais, artigos científicos, livros e trabalhos acadêmicos. A revisão bibliográfica envolve o estudo

dos mecanismos de corrosão existentes no meio - lajes de cobertura de reservatórios - bem como questões relacionadas à durabilidade das estruturas, incluindo os sistemas protetores.

Na segunda etapa, realizados paralelamente, contempla os estudos experimentais que compõe-se pela realização de ensaios laboratoriais em corpos de prova moldados com um traço padrão utilizado na construção de reservatórios de água em áreas não expostas a ambiente marinho, ou traço de baixa resistência que permita a avaliação da capacidade de proteção do sistema aplicado. A amostragem compõe-se de:

- Corpos de prova revestidos com sistema de proteção epóxi, à base d'água, aberto à difusão de vapor;
- Corpos de prova revestidos com sistema de proteção poliuretano, à base d'água, aberto à difusão de vapor;
- Corpos de prova sem qualquer tipo de proteção, para se obter comparativamente o efeito da ausência de proteção.

Para qualificar os sistemas de proteção, atendendo as normas técnicas vigentes, foram realizados os seguintes ensaios:

- Teste de migração de íons cloretos, ASTM C- 1202 (2010);
- Determinação da profundidade de penetração de cloretos por método colorimétrico;
- Ensaios de absorção de água por imersão e fervura, NBR 9778 (2009);
- Ensaios de absorção de água por capilaridade, NBR 9779 (1995).

Finalizando o trabalho, procedeu-se a compilação dos resultados, propiciando a avaliação das diferenças das características entre os sistemas testados em relação à durabilidade da estrutura contra a difusão de vapor de íons cloretos.

Por fim, realizaram-se as considerações finais e recomendações para os próximos estudos.

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, que foram motivados pela incidência de corrosão de armaduras na face inferior de lajes de reservatórios, bem como delinea as principais justificativas para a realização deste estudo, que compara sistemas de proteção das superfícies de concreto, dissertando sobre as resinas componentes escolhidas para a execução dos ensaios, como suas características e aspectos tecnológicos, econômicos, sociais e ecológicos que levaram à seleção dos

sistemas de proteção em estudo, bem como descreve sucintamente os procedimentos metodológicos a serem adotados para a comparação.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica e tem por objetivo dissertar sobre os requisitos exigidos para a garantia da qualidade e durabilidade das estruturas, sobre os mecanismos de deterioração das armaduras, principalmente o mecanismo de ataque por cloretos e o processo corrosão eletroquímica, explanando sobre aspectos como a velocidade de corrosão e a cinética do processo corrosivo. Por fim, ressalta-se a importância dos sistemas de proteção no combate a esta anomalia, descrevendo os tipos de resinas selecionados para o estudo experimental, bem como suas características e indicações de utilização.

O **Capítulo 3** trata sobre os ensaios realizados neste trabalho, apresentando a fundamentação de cada ensaio, a descrição da metodologia de execução, os resultados obtidos, bem como a importância de cada um deles para o estudo comparativo.

O **Capítulo 4** apresenta a análise dos resultados deste estudo, levando em consideração os aspectos que tenham correlação com a capacidade do sistema de proteção em desempenhar a função de barreira contra a penetração de cloretos, descrevendo os principais aspectos observados durante a fase experimental que possam ter valor ou influência nos resultados, bem como a avaliação das diferenças observadas entre os dois sistemas e a referência.

O **Capítulo 5** apresenta as considerações finais acerca do estudo experimental e as recomendações para trabalhos futuros.

O presente capítulo propôs apresentar as diretrizes deste estudo desde a introdução do assunto, problema de pesquisa, objetivos gerais e específicos, a formulação da hipótese, justificativas tecnológicas, econômicas sociais e ecológicas, bem como os procedimentos metodológicos para o estudo experimental. O próximo capítulo tratará da revisão bibliográfica dos assuntos relativos ao entendimento dos mecanismos de penetração de cloretos, de durabilidade das estruturas e das características dos sistemas de proteção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresentará a revisão bibliográfica, dissertando sobre os requisitos exigidos para a garantia da qualidade e durabilidade das estruturas, sobre os mecanismos de deterioração das armaduras, principalmente o mecanismo de ataque por cloretos e o processo corrosão eletroquímica. Assim como sobre a importância dos sistemas de proteção no combate a esta anomalia, descrevendo-se o tipo de resinas selecionadas para o estudo experimental, bem como suas características e indicações de utilização.

2.1. QUALIDADE E DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Conforme já citado anteriormente, as estruturas de concreto, segundo as prescrições da norma NBR 6118 (2007), devem atender aos requisitos mínimos de qualidade de projeto, os quais compreendem segurança à ruptura, desempenho em serviço e capacidade de resistir às influências ambientais previstas e definidas em projeto.

Dentre as diretrizes propostas na norma NBR 6118 (2007), para garantir a durabilidade de uma estrutura, estão as questões relativas à vida útil de projeto, aos mecanismos de deterioração e ao ambiente em que estas serão inseridas.

Antigamente, os requisitos definidos para o concreto estavam relacionados apenas à sua resistência característica de compressão (f_{ck}), deixando-se de avaliar ou considerar o meio em que a estrutura seria inserida (MATTOS, 2002).

Desta forma, não era possível prever o comportamento da estrutura frente ao grau de agressividade que o meio proporcionava aos componentes da estrutura, por não se considerar aspectos que estavam diretamente ligados à sua durabilidade (Andrade C., 1992).

2.1.1. Critérios de Projeto

Dentre os critérios de projeto que constam na norma NBR 6118 (2007), que visam à durabilidade das estruturas, estão os sistemas de drenagem, as características das formas arquitetônicas e principalmente a qualidade e espessura adequada do cobrimento de concreto das armaduras.

Andrade C. (1992), afirma que para assegurar a durabilidade de uma estrutura, o projeto deve garantir a não circulação de água desnecessária na superfície do concreto e também a garantia da qualidade e espessura do cobrimento, que são imprescindíveis na

criação de uma barreira física contra o meio ambiente agressivo ao metal, como o aço, que não possui estabilidade exposto à atmosfera.

O concreto armado por possuir características mecânicas muito amplas, segundo Andrade C. (1992), adéqua-se à maioria dos usos das estruturas, tendo em vista a interação das características naturais entre os materiais e à dupla função que o concreto apresenta sobre o aço, uma delas pela criação da barreira física, gerada pelo cobrimento de concreto, e a outra pela sua elevada alcalinidade, criando um meio passivo, que mantém as características iniciais do aço inalteradas.

2.1.2. Espessura do Cobrimento de Concreto

Atualmente a norma NBR 6118 (2007) prescreve que para garantir um cobrimento mínimo, tanto na fase de projeto, como na execução deve-se considerar um cobrimento nominal de projeto (c_{nom}), estabelecido de acordo com o tipo de estrutura e do elemento estrutural, conforme apresentado na Tabela 1, que leva em consideração a classificação dada à agressividade do meio em que a estrutura será construída, acrescentando-lhe um valor de tolerância de execução (Δ_c), que será determinado em função da qualidade de execução da obra, ou do meio a que ela será exposta.

Assim, o valor de tolerância de execução adotado pela NBR 6118 (2007) para as obras em geral é de 10 mm; em Obras de Arte Correntes, o valor deve ser maior que 10 mm, e quando houver controle de qualidade rigoroso em obra, com limites rígidos na variabilidade das medidas, o valor pode diminuir para 5 mm.

Tabela 1. Definição do cobrimento pela classe de agressividade ambiental.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

¹⁾ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

²⁾ Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

³⁾ Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: Norma NBR 6118 (2007)

Ressalta-se que a Tabela 1 especifica que na face inferior de lajes de reservatório, a armadura deve ter cobrimento nominal maior ou igual a 45 mm.

2.1.2.1. Influência da permeabilidade e porosidade sobre a qualidade do concreto

Contudo, mesmo com o cobrimento mínimo já assegurado em projeto e durante a execução do concreto, a norma NBR 6118 (2007) considera ainda, que para garantir a durabilidade do concreto armado é necessária uma boa qualidade deste cobrimento, que está definida tanto pela resistência à compressão, como também pela relação água/cimento.

Andrade C. (1992) afirma que:

Quando o cimento se mistura com a água, seus diversos componentes se hidratam formando um conglomerado sólido, constituído pelas fases hidratadas do cimento e uma fase aquosa que resulta do excesso de água de amassamento necessária para a mistura adequada de todos os seus componentes. O concreto resulta, pois, um sólido compacto e denso, porém poroso. A rede de poros é um entramado de canais e capilares, nem sempre comunicados entre si, mas que permitem que o concreto apresente uma certa permeabilidade aos líquidos e aos gases. Assim, ainda que o cobrimento das armaduras seja uma barreira física, esta é permeável em certa medida e permite o acesso de elementos agressivos até o aço.

Bertolini (2010), afirma que os poros, na maioria dos materiais da construção civil, apresentam várias dimensões e são interconectados e comunicantes com as suas respectivas superfícies, fato que permite o preenchimento por gases ou líquidos, e podem ser caracterizados pela suas dimensões, percentual ocupado do volume total, conexões entre poros e grau de interconexão e ainda pela abertura dos poros na superfície externa.

A relação água/cimento é um requisito de projeto que está relacionado à propriedade de permeabilidade e permite avaliar a qualidade do concreto.

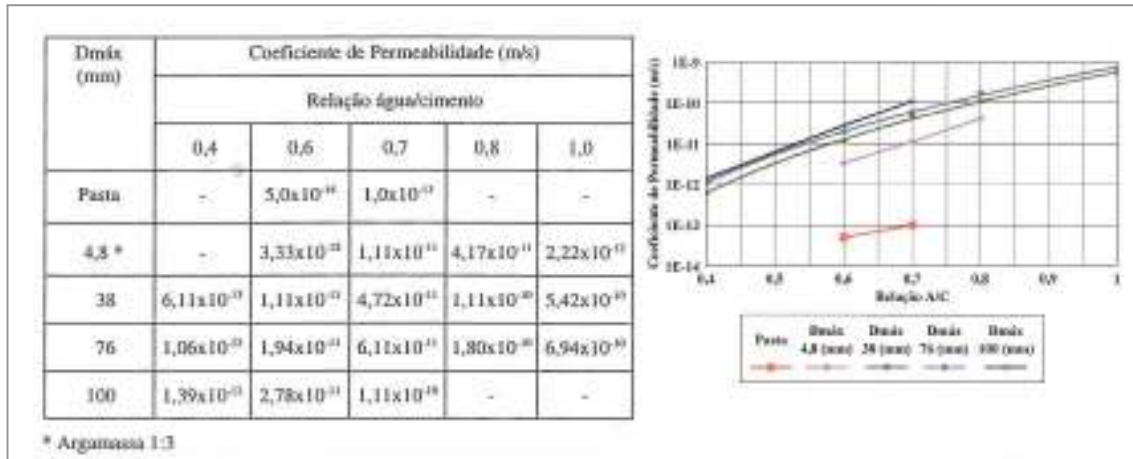
A definição para Andrade W. (1997) da propriedade de permeabilidade do concreto é a facilidade de permeio de um fluido pela estrutura interna do concreto.

Esta propriedade, segundo Mehta *apud* Andrade W. (1997), está ligada principalmente à relação água/cimento, que configura o tamanho, volume e continuidade dos espaços capilares, e também à dimensão máxima do agregado, que influencia as microfissuras na zona de transição entre o agregado graúdo e a pasta de cimento.

Andrade W. (1997) concluiu que a permeabilidade aumenta quando a relação água/cimento é maior, e da mesma forma com o aumento da dimensão máxima característica do agregado.

“A medida que o tamanho e a quantidade dos grãos vai aumentando, o número de caminhos preferenciais propícios para a passagem de água também aumenta.” (Bauer *apud* Andrade W., 1997)

A Figura 5 a seguir apresentada, conforme estudo de Andrade W. (1997), demonstra a relação do fator água/cimento e dimensão dos agregados com a propriedade de permeabilidade do concreto.



Fonte: ANDRADE W. (1997)

Figura 5. Influência da relação água/cimento – concreto convencional

A permeabilidade é uma propriedade importante para a previsão de durabilidade de uma estrutura de concreto, pois a penetração de água na região de interface pasta/agregado, pode ser um mecanismo de penetração de agentes agressivos ao concreto e às armaduras, já que esta ligação é delicada, principalmente em concretos com baixo consumo de aglomerantes (Andrade W., 1997).

Assim, a norma NBR 6118 (2007) prescreve os valores expressos na Tabela 2, para atender aos requisitos mínimos de qualidade do cobrimento de concreto.

Tabela 2. Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
NOTAS					
1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.					
2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.					
3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: Norma NBR 6118 (2007)

2.1.2.2. Fatores de influência na permeabilidade

Para Andrade W. (1997), além da qualidade do cobrimento de concreto existem outros fatores que interferem na permeabilidade do concreto, como práticas inadequadas de concretagem, dentre elas têm-se a mistura incompleta de materiais, cura inadequada e falhas no lançamento do concreto. Estas práticas favorecem a formação de áreas heterogêneas na estrutura do concreto endurecido, facilitando o aparecimento de fissuras.

Andrade C. (1992) descreve que as fissuras constituem o caminho mais rápido de penetração de agentes agressivos às armaduras, que ao alcançá-las, inicia-se o processo de corrosão em zonas não recobertas pelo concreto, atuando como ânodo frente às áreas adjacentes que se comportam como cátodo.

Segundo Prudêncio (1978), o aumento da relação água/cimento produz um concreto mais poroso, com diminuição de sua compacidade, que resulta na perda de resistência mecânica e química do concreto.

Cânovas (1988) afirma que “a compacidade de um concreto depende, como vimos, fundamentalmente da relação agregado/cimento, da dosagem do cimento e da relação água/cimento”. Assim, ainda por Cânovas, quando vazios abertos ou acessíveis entram em contato com o ambiente, quanto maior for a área da superfície em relação a um determinado volume (elemento), mais elevada será a frente de ataque do ambiente agressivo.

2.1.3. Mecanismos de Deterioração

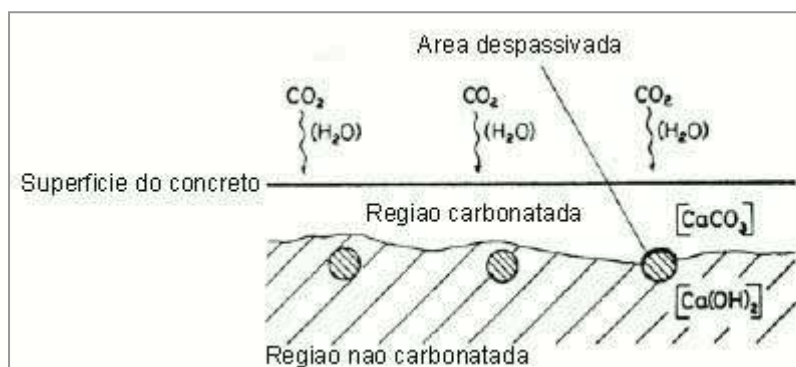
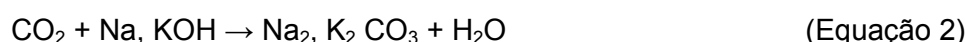
O conhecimento dos mecanismos de deterioração é importantíssimo na profilaxia da estrutura, para garantir que a solução adotada para a reabilitação da estrutura seja efetiva e definitiva (Souza, 1998).

Segundo a norma NBR 6118 (2007), os mecanismos preponderantes de deterioração das estruturas estão relacionados ao concreto e à armadura. Compreendem os mecanismos relativos ao concreto a lixiviação, a expansão por ação de águas sulfatadas ou por reações entre os álcalis do cimento e certos agregados reativos e reações deletérias superficiais de certos agregados decorrentes de transformações de produtos ferruginosos, presentes na sua constituição mineralógica.

De acordo com a norma NBR 6118 (2007), os mecanismos de deterioração relativos à armadura são a despassivação por carbonatação e por elevado teor de íon cloro (cloreto).

A carbonatação do concreto ocorre pela penetração de CO_2 através de seus poros e da reação química com hidróxido de cálcio, com sódio e com o hidróxido de potássio, contidos na solução aquosa existente no interior do concreto, formando o ácido carbônico (H_2CO_3), que altera o pH da solução, diminuindo-o de 12,5 para um pH em torno de 9, consequentemente reduzindo também a alcalinidade do concreto, fator que permite o início da corrosão, por despassivação das armaduras, conforme representação da Figura 6.

As reações descritas acima são representadas por:



Fonte: (RICHARDSON, 1988 *apud* SILVA, 2006).

Figura 6. Representação esquemática do processo de carbonatação

Quanto à presença de íon cloretos no concreto, segundo Andrade C. (1992), podem ser encontrados em duas situações: sejam pelos seus próprios componentes, aditivos, água etc. seja por migração através da rede de poros. Esta última ocorre geralmente em ambientes marinhos, mas pode ocorrer migração também em função de ambientes industriais que contenham em seu processo a presença de íons cloretos e através da aplicação de sais de degelo em estruturas e pontes em função de climas frios.

O mecanismo de penetração de íons cloretos será estudado mais a frente.

2.1.4. Agressividade do Ambiente

Afirma Bertolini (2010), que os mecanismos de degradação dos materiais ocorrem da interação físico-química entre ambiente e material, pelo transporte de agentes agressivos no interior dos materiais porosos, sendo muitas das transformações que ocorrem ao longo do tempo, decorrentes da influência da temperatura ambiente ou de sua variação.

A norma NBR 6118 (2007) define que a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.

O comportamento do concreto sob a ação de agentes agressivos é um dos aspectos mais importantes na tecnologia atual, pois muitas destas substâncias dispersas na atmosfera úmida ou em meio líquido, por dissociação na estrutura, podem comprometer a sua durabilidade. (Andrade W., 1997)

Segundo a NBR 6118 (2007), nos projetos das estruturas, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com a Tabela 4, que define de acordo com as condições de exposição da estrutura ou de suas partes, o risco de deterioração das mesmas. Tomando-se, por exemplo, o ambiente marinho, de acordo com a classificação da norma NBR 6118 (2007), representam às estruturas na condição de serviço, grau de agressividade III, incidindo em grande risco de deterioração das estruturas.

Considerando-se a existência de um micro clima no interior de reservatórios, formado pela presença de água e exposição aos íons cloretos na condição de serviço, admite-se que a classificação de agressividade para este elemento, também pela Tabela 3, principalmente em sua face interna é semelhante a um ambiente marinho, pela similaridade do mecanismo de deterioração.

Tabela 3. Classificação do risco de deterioração da estrutura.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: Norma NBR 6118 (2007)

Reservatórios de concreto armado para água tratada com cloro, flúor e outros compostos químicos estão sujeitos a condições de exposição muito severas, que podem levar a uma deterioração mais rápida da estrutura. Este risco é ampliado quando se tem estruturas de grandes dimensões e execução inadequada. (Carvalho *et al*, 2000)

Assim, segundo Gentil (2007), mesmo o concreto apresentando sua película cristalina da camada passivadora, através dos poros ou fissuras existentes no revestimento das armaduras, os íons cloretos penetram ou dispersam esta película, sob a forma coloidal, aumentando sua permeabilidade.

Andrade C. (1992), recomenda que para fazer um concreto armado durável, deve-se projetá-lo e executá-lo, principalmente se a estrutura se situar em ambientes agressivos, de maneira a garantir sua homogeneidade e qualidade.

2.2. ATAQUE POR CLORETOS E CORROSÃO ELETROQUÍMICA

Os itens a seguir explanam sobre o mecanismo de deterioração das armaduras pela penetração de cloretos no concreto e sua relação com o processo de corrosão eletroquímica, quando os materiais metálicos entram em contato com soluções aquosas existentes no concreto contaminadas por íons cloretos.

Bertolini (2010) afirma que a corrosão das armaduras pode proporcionar outras consequências às funções do elemento estrutural, como:

- Perda da capacidade portante pela redução da seção de armaduras no elemento afetado ou em elementos adjacentes;
- Distorções ou fissuras no elemento estrutural em função da ação expansiva da corrosão, que facilitam a evolução de anomalias, e reduzem a durabilidade da estrutura;
- Perfurações em elementos pela redução localizada das seções podem gerar perda de líquidos ou gases em tubulações e
- A combinação de solicitações mecânicas associadas aos tipos de materiais metálicos e ambientes pode formar fissuras ou rupturas imprevistas.

Assim, as consequências da corrosão estão ligadas à forma de ataque e ao desencadeamento do seu processo, conforme descreve Bertolini (2010).

Este trabalho abrangerá somente o tipo e o processo de corrosão gerada pela contaminação do concreto por cloretos.

2.2.1. Contaminação por Cloretos

Para o melhor entendimento da contaminação por cloretos, apresentar-se-á os mecanismos de transporte conhecidos, os coeficientes superficial e crítico de cloretos que desencadeia o processo de corrosão, bem como os fatores de interferência na velocidade de penetração de íons cloretos e corrosão de armaduras, como os tipos de cimento, umidade e variação da temperatura.

Segundo a norma europeia EN 1504-9 (2008), a presença de cloretos livres no cobrimento de concreto da armadura, quebra a película de despassivação mesmo que o cobrimento não esteja carbonatado, iniciando o processo de corrosão das armaduras, que é mais difícil de ser tratada. Muitos fatores, como o tipo de cimento, relação água/cimento, alcalinidade do concreto a exposição ao ambiente, assim como a fonte de cloretos definem a concentração de íons que inicia a corrosão. Esta última é importante para o processo, pois os cloretos podem ser introduzidos ao concreto durante a execução da obra, ou pela penetração após a construção, advindos de várias fontes como da água do mar, água potável etc. O risco de corrosão nestes casos é maior e mais agressivo.

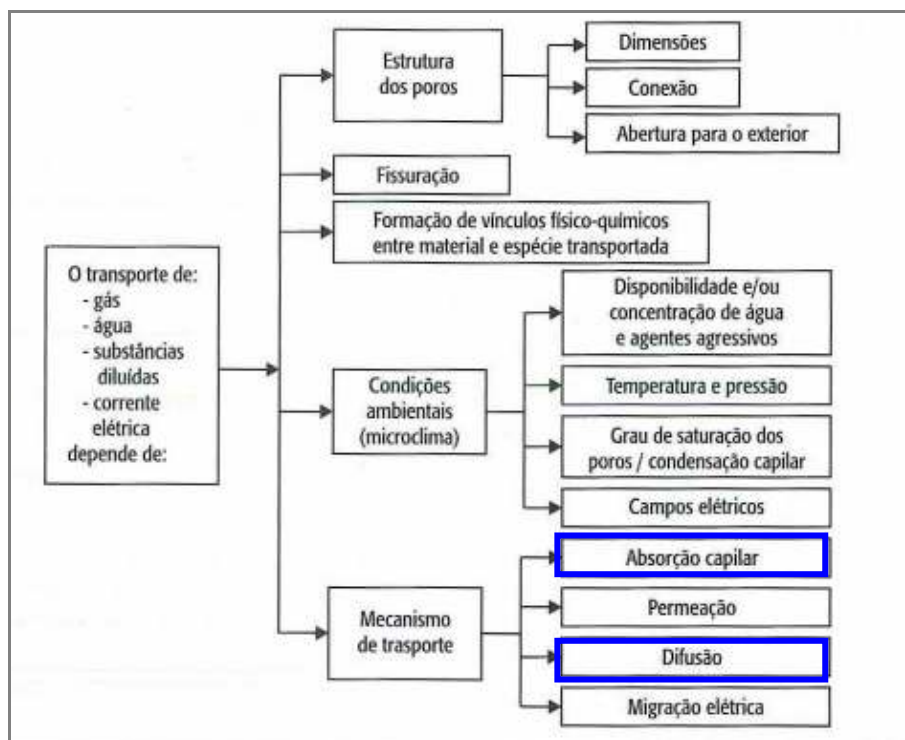
2.2.1.1. Fatores e mecanismos de transporte de massa

O transporte de massa, segundo Bertolini (2010), de substâncias líquidas, gasosas ou espécies iônicas no interior de materiais porosos é favorecido tanto na atmosfera quanto poros cheios de ar. Somente nas espécies iônicas, é necessária a presença de água e tem relação com os fenômenos de degradação dos materiais de construção.

Dentre os aspectos que interferem no transporte estão fatores como as estruturas dos poros, que segundo Silva (2006), estão relacionados ao tamanho, volume e continuidade, e determinam a facilidade de penetração de fluidos, líquidos ou gases possam ingressar no concreto, definindo a sua durabilidade.

Por Bertolini (2010) a condensação capilar e a evaporação da umidade têm seu papel importante no ingresso de substâncias agressivas aos materiais porosos, pois estão relacionados tanto às características da própria rede de poros destes materiais, quanto às condições ambientais.

A Figura 7 apresenta os principais fatores que contribuem para determinar o transporte das espécies agressivas no interior dos materiais porosos.



Fonte: BERTOLINI (2010)

Figura 7. Principais fatores envolvidos nos fenômenos de transporte no interior de materiais porosos.

Medeiros (2008) afirma que o transporte de massa através de um material poroso pode ocorrer por três processos sendo: por absorção por sucção capilar, permeabilidade e difusão de íons cloretos.

No elemento em estudo, o processo de penetração de íons cloretos em lajes de reservatórios geralmente ocorre por difusão, que foi definida por Medeiros (2008) como o transporte de íons na solução de poros do concreto causado pela a diferença de concentração do íon cloreto livre em diferentes regiões.

Bertolini (2010) descreve que o transporte por difusão ocorre por efeito de um gradiente de concentração: uma substância move-se através dos poros da região em que há uma concentração mais elevada (como na superfície do material) para a zona em que sua concentração é mais baixa.

A absorção capilar, também presente no processo em estudo, é definida por Bertolini (2010), como sendo o mecanismo que em função de uma depressão produzida pela ação capilar, permite a absorção de água, ou solução aquosa, em um determinado material poroso e não saturado, definindo o comportamento hidrófilo do material. Assim, quando uma gota de água cai sobre a superfície de um metal hidrófilo, há a tendência de aumento da superfície de contato com o próprio material, formando um ângulo agudo.

A combinação de dois mecanismos como a absorção capilar e a difusão, fenômeno comum em estruturas marítimas, principalmente em áreas de respingo e maré, permite uma penetração mais rápida de cloretos, segundo Meijers *et al* (2005 *apud* SILVA,

2006), pois após a evaporação da água, os cristais presentes nos poros, podem ser transportados ao interior do concreto novamente quando o teor de umidade aumentar novamente.

E ainda por Andrade, C (1992):

Além de um mecanismo de difusão que é relativamente lento, os cloretos e em geral todos os sais podem penetrar muito rapidamente por um mecanismo de transporte por forças capilares, muito próprios de ambientes de “névoa salina” existente em climas marinhos quentes, nos quais os cloretos estão suspensos nas gotículas de umidade do ar.

O transporte de massa feito pela permeabilidade depende de um gradiente de pressão, e o seu coeficiente depende da viscosidade do líquido, ou de forma gasosa, determinada a partir do fluxo da amostra do gás em pressão, e depende ainda, da pressão em que o gás está sendo transportado, já que diferentemente dos líquidos estes são compressíveis. (Bertolini, 2010)

Já a migração de íons por campos elétricos por Bertolini (2010) principalmente de correntes contínuas, determinam o transporte de espécies iônicas dissolvidas em soluções presentes nos poros, principalmente em materiais imersos, pela diferença de potencial produzida pelo campo elétrico entre dois pontos do material. Para determinar a difusibilidade do teor de íons cloretos no concreto frente a ação de cloretos, por ensaio acelerado utiliza-se a metodologia prescrita na norma ASTM C-1202 (2010), pelo ensaio de migração de cloretos.

2.2.1.2. Teor crítico

O teor de cloretos crítico, segundo Bertolini (2010) é a quantidade de cloretos necessária para ativar a corrosão, considerando-se a concentração de cloretos livres na solução dos poros. Em função das interações físico-químicas entre os cloretos e pasta de compostos de cimento, deve-se considerar o teor de cloretos totais, inclusive os fixados ou adsorvidos à pasta de compostos de cimento, pois podem ser determinados mais facilmente, através da dissolução da massa de concreto em solução ácida, conforme prescrições da norma ASTM C 1218/C-99.

A norma europeia EN 1504-9 (2008), indica que o teor de 0,4 % de cloretos sobre a massa de cimento está sendo considerado como um valor de concentração em que se pode ocorrer a corrosão. O mesmo índice também foi observado em outras normas como a ACI 318. Pesquisas indicam que pode ser menor ainda este valor chegando a 0,2% dependendo do ambiente.

Segundo Medeiros (2008), o teor crítico de cloretos é um índice ainda muito discutido pelos pesquisadores. No entanto, o valor de 0,4% é ainda consenso entre a maioria.

A norma brasileira NBR 12655 (2006) prescreve, conforme Tabela 4, valores limites para a presença de cloretos em estruturas de concreto, conforme sua utilização.

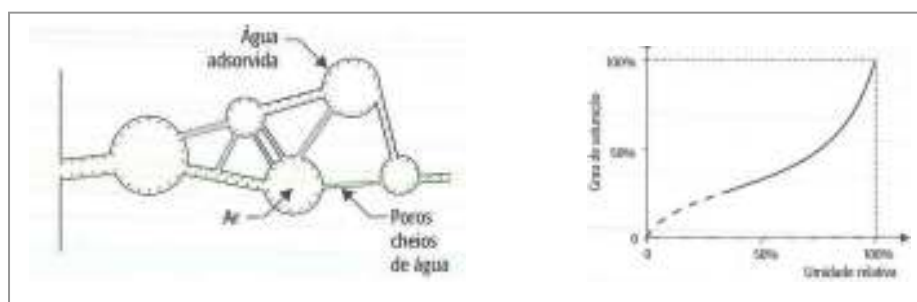
Tabela 4. Teor máximo de íons cloretos

Tipo de Estrutura	Teor Máximo de Íons Cloreto (Cl) no Concreto % sobre a Massa de Cimento
Concreto protendido	0,05
Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
Concreto armado em condições de exposição não severas (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,4
Outros tipos de construção com concreto armado	0,3

Fonte: Norma NBR 12655 (2006)

2.2.1.3. Interferência da umidade, resistividade e temperatura

Em ambiente úmido, segundo Bertolini (2010), os poros são preenchidos com água, favorecendo o transporte de agentes/ion dissolvidos em solução, tipicamente iônica. O agente agressivo pode penetrar no material junto com a água, se já estiver dissolvido no momento em que há a absorção, ou poderá penetrá-lo depois, através dos poros cheios de água. Assim o teor de umidade relativa do ambiente e as características dos poros definirão o teor de umidade no interior destes poros, conforme demonstra a Figura 8.



Fonte: BERTOLINI (2010)

Figura 8. Evolução esquemática do teor de umidade no concreto, em função da umidade do ambiente.

Figueiredo (1994) afirma:

O concreto seco possui uma alta resistividade, podendo atingir valores da ordem de 10 Ohm quando é submetido a temperaturas de 105° C. Nestas condições o concreto não permite a mobilidade dos íons. Por outro lado, a medida que a umidade interna do concreto aumenta, a resistência ôhmica vai diminuindo e o processo de corrosão pode desenvolver-se.

2.2.1.4. Influência do tipo de cimento

A porcentagem do teor de cloretos sobre a massa de cimento também pode estar relacionado ao tipo de cimento que compõe o concreto, pois cimentos do tipo portland, com elevados percentuais de escória de alto forno, podem reduzir o coeficiente de difusão, assim como crescentes quantidades de adição de pozzolana, consequentemente reduzindo o D_{ap} (Coeficiente de difusão aparente). Isto ocorre porque o pH da solução contida nos poros depende também do tipo de cimento e das adições minerais que tendem a diminuí-lo. (Bertolini, 2010)

A quantidade de C_3A do cimento também é um fator importante quando se trata da corrosão de armadura. Ela determina a capacidade de combinação com os íons cloreto. Quanto maior a quantidade de C_3A , menor é a concentração de Cl^- livres no concreto, devido à formação dos cloroaluminatos. Diminuída a concentração de Cl^- livres, a ocorrência da corrosão é dificultada. (Silva, 2006)

2.2.2. Corrosão por Cloretos

Pela definição de Gentil (2007) a corrosão basicamente é a deterioração de um material, gerado por reações químicas e eletroquímicas do ambiente associadas ou não a esforços mecânicos.

A corrosão metálica que se processa em meio aquoso é definida por Andrade C. (1992), por um fenômeno de caráter eletroquímico, ou seja, ocorrem reações de oxidação e redução, assim como a circulação de íons através do eletrólito. A corrosão eletroquímica, através do metal e do eletrólito, entre o ânodo e o cátodo, define o funcionamento de um circuito fechado.

A Figura 9 representa graficamente o processo de corrosão eletroquímica por Pedferri *apud* Bertolini (2010).

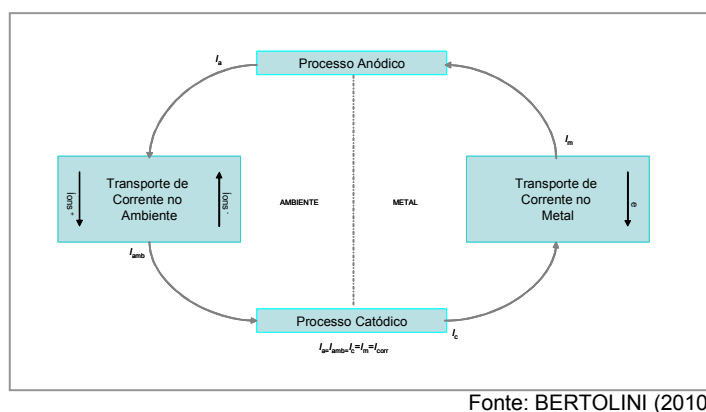


Figura 9. Esquema do processo eletroquímico da corrosão.

Existem quatro processos de corrosão ocasionados em meios eletroquímicos, afirma Bertolini (2010):

- A formação de produtos de corrosão, geradas por reações anódicas de oxidação do metal, liberam elétrons que são disponibilizados na rede cristalina do próprio metal;
- Redução de espécie química presente em ambiente agressivo, gerada por reação catódica, consumindo elétrons produzidos pelo processo anódico;
- Circulação de corrente, gerada pelo fluxo de corrente de elétrons na rede cristalina do metal e
- Circulação de corrente no ambiente, produzida pela migração elétrica dos íons dissolvidos na solução líquida em contato com a superfície do metal.

Bertolini (2010) descreve que o mecanismo de corrosão eletroquímica, provoca efeitos diretamente ligados ao consumo do material metálico, que necessariamente requer, ao mesmo tempo, a reação por processo catódico. Significa dizer que, soluções aeradas, ou seja, em contato direto ou indireto com a atmosfera, a reação catódica é a redução do oxigênio dissolvido em pequenas quantidades em ambientes ácidos ou neutros.

As reações anódicas e catódicas são processos complementares conforme Bertolini (2010), pois na fase metálica, em um determinado período de tempo, o número de elétrons liberados pela reação anódica é igual aos consumidos pela reação catódica.

A corrosão do material metálico proporcionada pela presença de íons é denominada por Gentil (2007), de pilha de concentração iônica, formada por material metálico de mesma natureza, em contato com soluções de diferentes concentrações.

Pela equação de Nernst, apresentada por Gentil (2007):



Verifica-se que diminuindo-se a concentração dos íons M^{n+} , há uma tendência de deslocamento do equilíbrio no sentido (1), aumentando-se a perda de elétrons e vice-versa, o aumento da concentração diminuiria.

À medida que a reação se processa, a solução mais concentrada torna-se mais diluída e a solução mais diluída torna-se concentrada, até que ambas cheguem a uma mesma concentração, atingindo-se uma situação de equilíbrio, quando então a força eletromotriz da pilha será zero e as concentrações serão iguais à média aritmética das concentrações iniciais (Gentil, 2007).

Por Andrade C. (1992), "...sobre a superfície do metal são geradas duas zonas, atuando como ânodo aquela onde e produz a oxidação do metal." Ainda segundo Andrade (1992) esta região libera elétrons, que migram através do metal em direção a outro lugar onde reagem para produzir uma redução de alguma substância existente no eletrólito, em meios ácidos são os íons hidrogênio e em meios alcalinos e neutros, o oxigênio dissolvido na água.

Reação em meios ácidos: $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ (Equação 4)

Reação em meios alcalinos e neutros $2\text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ (Equação 5)

Para Helene (2007), o processo de corrosão em meio aquoso, como é o caso de estruturas de concreto armado, é um fenômeno originado em função da solução existente nos poros internos, comumente observado em concretos de baixa qualidade e elevada porosidade, assim como em estruturas com problemas de umidade e/ou ciclos de molhagem e secagem.

Souza (1998) esclarece-se que pelo próprio mecanismo da corrosão, concretos secos ou saturados não estão sujeitos a este tipo de deterioração, pois falta o eletrólito, ou o oxigênio, respectivamente. No entanto, pode-se afirmar o oposto para estruturas expostas à ação de ciclos de molhagem e secagem, principalmente se na água houver concentração de cloretos.

Por Andrade C. (1992), não se deve considerar somente se o material metálico é corrosivo ou não, deve-se ainda considerar sua velocidade de corrosão. E na cinética do processo corrosivo, deve-se considerar a influência da natureza do eletrólito, além do conteúdo de oxigênio e a resistividade do meio.

Esta afirmativa é confirmada por Gentil (2007), onde deve-se levar em consideração três fatores durante o estudo dos processos de corrosão: o material metálico, o meio e as condições operacionais.

O processo de corrosão eletroquímica, segundo Helene (1992), pode ser acelerado pela presença de agentes agressivos externos ou internos. Para que o fenômeno ocorra é necessária a presença de oxigênio, umidade e a heterogeneidade da estrutura, promovida pela diferença de potencial após a despassivação da armadura.

A água é o solvente por excelência de sais, ácidos e bases inorgânicas, bem como de uma parcela de compostos orgânicos. Sendo uma molécula polar, tem como característica dissociar as substâncias ionizáveis em íons (cátions e ânions). A reação entre as substâncias dissolvidas e o concreto é iônica, e será tanto mais intensa quanto maior a concentração de íons dissolvidos. (Andrade W., 1997)

Segundo Andrade W. (1997), deve-se ressaltar que a presença de elevadas concentrações de cloretos, são prejudiciais à camada passivadora de concreto, já que os

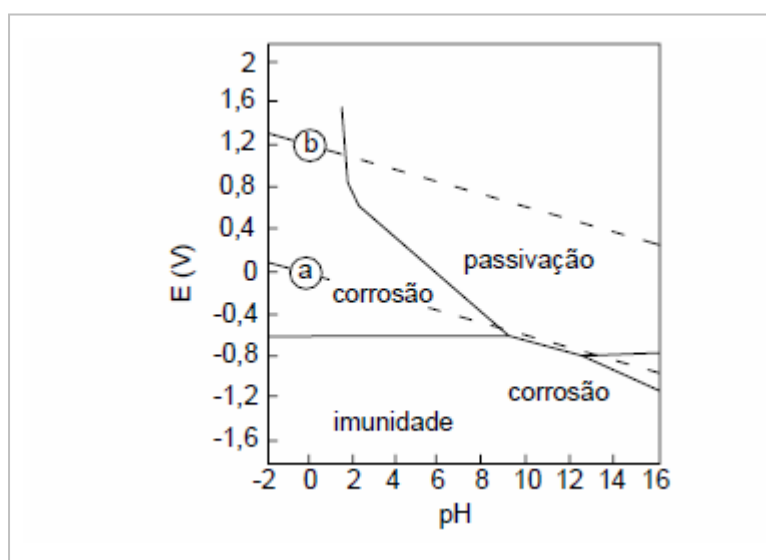
íons cloretos livres difundem-se rapidamente por capilaridade, chegando à armadura, provocando corrosões localizadas, denominada de pite.

Definida por Gentil (2007), a corrosão por pite ou puntiforme, se processa em pontos ou pequenas áreas localizadas na superfície metálica produzindo pites, que são cavidades que apresentam o fundo em forma angulosa e profundidade geralmente maior do que o seu diâmetro.

A despassivação por elevado teor de íon cloro (cloretos): a penetração de cloreto através dos poros do concreto ou trincas, por difusão, impregnação ou absorção capilar que, ao superar a concentração de hidroxilas nos poros do concreto, despassivam a superfície do aço, instalando a corrosão. Eventualmente os cloretos podem ser introduzidos no concreto em seu amassamento, através do excesso de aditivos endurecedores ou juntamente com os agregados do concreto (Maia, 2007).

“O pH altamente alcalino é resultado da presença do hidróxido de cálcio, produto da hidratação do cimento, especialmente dos silicatos C_2S e C_3S ”. (Silva, 2006)

Pode-se pelo diagrama de potencial – pH, mais conhecido como “Diagrama de Pourbaix”, verificar as zonas prováveis de corrosão, passivação e imunidade, conforme apresenta-se na Figura 10. O gráfico indica as fases termodinamicamente estáveis do aço, como uma função do potencial de eletrodo e pH para o sistema ferro-água a 25°C.



Fonte: SILVA (2010)

Figura 10. Diagrama de Pourbaix.

Segundo Souza (1998), este deve apresentar características como compacidade, fissuração controlada, barreira física para as armaduras (cobrimento) com

composição dimensionada para resistir ao estado de tensão a que será exposta e em função da agressividade do meio. Desta forma, a corrosão de armaduras, ou a possibilidade de ocorrência do fenômeno dependerá de aspectos como o controle da permeabilidade e da porosidade do concreto, da manutenção da peça sob estado de tensões de serviço dentro dos limites estabelecidos, da escolha correta das bitolas das barras das armaduras principais, da execução cuidadosa dos elementos estruturais e da proteção adicional das superfícies do concreto por pintura.

2.3. SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA A PENETRAÇÃO DE CLORETOS

Para Bertolini (2010), a durabilidade de um material também está relacionada aos tratamentos superficiais dado às estruturas, protegendo-as da ação de agentes agressivos presentes no ambiente. O objetivo da aplicação de películas finas é a criação de uma barreira físico-química, modificando o comportamento do elemento estrutural, frente aos mecanismos de deterioração.

A função mais importante dos sistemas de proteção afirma Medeiros (2009), é a proteção superficial que estes proporcionam ao concreto, reduzindo a absorção de água do concreto e por consequência diminuindo a probabilidade de deterioração das estruturas, já que para que ocorra a corrosão das armaduras é necessária a presença de oxigênio e umidade. Segundo a EN 1504-9 (2008), áreas contaminadas por cloretos podem ser reparadas com sucesso, desde que se remova todo o concreto contaminado. Contudo, estas áreas de contaminações são extensivas e tratamentos localizados em áreas afetadas não é um reparo definitivo. Isto porque novos concretos ou argamassas podem iniciar corrosão em áreas adjacentes, pelo efeito da diferença de potencial e das reações anódicas. Assim, torna-se necessária a execução de métodos adicionais para eliminar totalmente a corrosão.

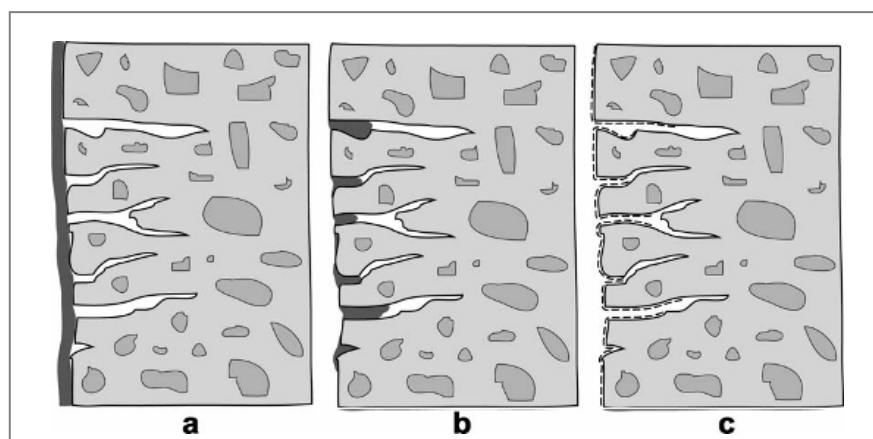
Desta forma, o processo de recuperação da estrutura contaminada por cloretos torna-se muito onerosa, devendo-se, portanto evitar o desencadeamento da corrosão, e os sistemas de proteção de superfícies pelos estudos demonstrados por Medeiros (2008), entre outros pesquisadores, indica que os sistemas de proteção apresentam-se como uma solução de manutenção preventiva.

2.3.1. Classificação

O método para classificar os sistemas de proteção está baseado em características de similaridade, sendo a mais comum é a que se refere ao atributo químico, ou seja, o tipo de resina que é único para cada grupo de sistema de proteção. A classificação por tipo genérico é a mais útil, porque estes sistemas de proteção apresentam características e propriedades semelhantes de desempenho. (Smith, 1995 *apud* Moreira, 2006).

Segundo Bertolini (2010), os sistemas de proteção podem ser selantes poliméricos, como resinas e óleos naturais, substâncias alquídicas, vinílicas, epóxi e poliuretânicas somadas aos pigmentos orgânicos ou inorgânicos, solventes e aditivos para a sua composição final, definindo-se a condição de melhor aplicação e desempenho destes produtos ou sistemas em função das diversas misturas formuladas e das características requeridas aos sistemas de proteção em função do material a ser protegido.

Segundo Medeiros (2008), podemos classificar os sistemas de proteção em formadores de película, caso da resina epóxi e do poliuretano e bloqueadores de poros, ou hidro-repelentes conforme ilustra a Figura 11.



Fonte: MEDEIROS (2008)

Figura 11. Tratamento das superfícies:

(a) Revestimentos e Vernizes (b) Fechamento de poros (c) Lineamento de poros – Repelentes.

2.3.2. Características dos Sistemas de Proteção

Segundo Medeiros (2008), os sistemas de proteção formadores de película podem ser divididos em tintas e vernizes. A diferença básica entre os dois tipos é a presença de pigmentos na composição das tintas, geralmente com vida útil maior em relação aos

vernizes, justamente em função dos pigmentos. Tem-se a dizer ainda que, os produtos à base de epóxi são os que apresentam maior aderência ao concreto e os de maior resistência química e mecânica.

Os produtos de igual natureza, mas à base de água tem menor eficiência e menor poder de penetração sobre os produtos diluídos em solventes afirma Medeiros (2008). Desta forma, os sistemas de proteção em epóxi e poliuretano a serem estudados são formadores de película, apresentam as mesmas características, ambos à base de água e abertos à difusão de vapor.

2.3.2.1. Epóxi

As resinas epoxídicas resultam da polimerização do bisfenol-A com a epicloridrina, formando um polímero linear contendo dois grupos reativos (epoxídico e hidroxílico. Os grupos epoxídico e hidroxílico são assim definidos pelos pontos de reação com catalizadores, agentes de cura e copolímeros para a promoção de um polímero tridimensional. É possível reagir com uma grande variedade de produtos como: resinas aminoplastos, fenólicas, poliamidas, óleos secativos, aminas polifuncionais, resultando em muitos produtos com uma variedade de propriedades. As tintas baseadas neste tipo de reação são fornecidas em dois recipientes separados, um contendo a resina epoxídica e outro o agente de cura. Os componentes devem ser misturados nas proporções indicadas antes da sua utilização, estas tintas funcionam com secagem ao ar (Eusébio, 1985 *apud* Moreira, 2006).

Os sistemas de proteção em epóxi são conhecidos pela boa resistência aos solventes, água, químicos e à abrasão. No entanto, deterioram-se na presença da luz do sol, num processo denominado de amarelamento.

Por isso, em exteriores são preferencialmente utilizados como primários ou como sistemas de proteção intermediários. A película dura e lisa da resina epoxídica, pode ser uma vantagem (na limpeza) ou uma desvantagem (deficiência de aderência de outra camada após o seu *pot life*). Os tipos de epóxi mais comuns são os curados com poliamida e os curados com amina. As resinas epóxi curados a poliamida têm maior resistência à água e os curados a amina têm maior resistência química. Outros agentes de cura são usados, como os mástiques epoxídicos. O último desenvolvimento neste material consiste em formulações de película fina, usadas como selantes para sistemas baseados em óleo e alquídicos. Algumas resinas epoxídicas e endurecedores podem ser usadas para formular sistemas de proteção ou para modificar outros tipos de resinas (Smith, 1995 *apud* Moreira, 2006).

Os produtos de base epóxi, segundo Helene (2003), podem ser 100% sólidos, ou seja, não tem a adição de solventes, ou podem ser misturados com um solvente, que tem por efeito diminuir sua viscosidade. Isto porque com esta mistura é possível mudar sua forma de aplicação, ou disponibilizar a utilização do sistema com outros métodos, por exemplo, a aplicação com pistola, que facilita a penetração do produto no substrato, favorecendo a ancoragem na base.

Existem produtos com aperfeiçoamento e desenvolvimento de suas tecnologias, que atualmente já eliminam a incompatibilidade de aplicação em superfícies ou ambientes úmidos, mas devem ser utilizados de acordo com as especificações do fabricante. (MC-Bauchemie, 2010)

2.3.2.2. Poliuretanos

Os poliuretanos são polímeros resultantes da reação dos polisocianatos com poliésteres contendo grupos hidroxílicos livres. São comparáveis às resinas epoxídicas por possuírem excelente resistência química, a maioria é fornecida em dois componentes e são os mais utilizados. Contudo existem produtos monocomponentes, fornecidos numa embalagem em que o catalizador é a própria umidade do ar. As propriedades destas resinas dependem das modificações químicas de cada fabricante e formam películas secas, duras, resistentes aos agentes químicos e à abrasão (Eusébio, 1985 *apud* Moreira, 2006; Helene 2003).

Podem-se aplicar os sistemas de proteção em poliuretano em conjunto com as resinas de epóxi, já que estes não resistem aos raios UV, devem ser protegidos com uma camada final em poliuretano que preserva as propriedades da resina epóxi, em particular quando há uma grande exigência estética. (Helene, 2003)

2.3.3. Requisitos para a Aplicação de Sistemas de Proteção em Concreto

Antigamente a pintura em concreto armado era realizada apenas pela preocupação estética. No entanto, pinturas especiais surgiram em função das necessidades de cada área com a finalidade de propiciar ao concreto uma proteção adicional. Atualmente resumem-se abaixo os requisitos mínimos para sistema de proteção em pintura com relação às suas funções por Moreira (2006):

- (ácidos e sais);
- (dióxido de carbono e oxigênio);

- (íons cloretos, sulfatos);
- (exposição à intempérie, radiação UV, temperatura/umidade e
- (gelo/degelo, reação álcali/sílica).

2.3.3.1. Preparação das superfícies

De acordo com Helene (2003): “a qualidade de reparação e reforço de uma estrutura de concreto depende em grande parte da preparação adequada e limpeza do substrato, a qual deve-se realizar com o maior cuidado, utilizando-se equipamentos apropriados e o melhor método de procedimento”.

Da mesma forma, deve-se considerar o mesmo cuidado para o substrato, quando da aplicação de sistemas de proteção. De acordo com Helene (2003), a superfície deve ser limpa com jato de água, livre de detergentes ou outras substâncias, devendo-se os trabalhos serem executados o mais breve possível para evitar novas contaminações do substrato. Deve-se levar em consideração que a superfície deve aguardar um período de aproximadamente 48h para a secagem, pois quanto mais seca estiver a superfície, maior será a profundidade de impregnação de hidrofugantes e, portanto maior a durabilidade.

Eusébio *et al* (1991 *apud* Moreira, 2006), recomenda-se que a preparação das amostras deve seguir rigorosamente a ficha técnica dos produtos, quanto às condições da base e preparação e mistura, e ainda quanto às condições ambientais necessárias à aplicação. Todos os trabalhos de pintura deverão ser executados sobre substratos perfeitamente limpos, ou seja, isentos de contaminantes prejudiciais tais como umidade, gorduras, ferrugem, pó, lixo, etc.

2.3.3.2. Condições de aplicação e manuseio

Para aplicação dos produtos, algumas condições devem ser cumpridas para que haja posteriormente o melhor desempenho do sistema de proteção. Dentre as questões a serem verificadas, por ocasião da aplicação de qualquer produto estão os requisitos relativos à temperatura ambiente, que não pode ser inferior a 5°C, nem superior a 35 °C; O ar deve estar suficientemente seco para evitar condensações, ou seja, a umidade relativa não pode ser superior a aproximadamente 85%; E os substratos não podem estar frios nem excessivamente quentes. Assim, superfícies que estiveram expostas ao sol, só deverão ser pintadas após o arrefecimento da temperatura no elemento. (Moreira, 2006)

Dentre os cuidados no manuseio e aplicação dos produtos, deve-se garantir que o material terá sua mistura, condições de aplicação e *pot life* respeitado, seguindo-se as recomendações dos fabricantes. Durante as aplicações deverá ser avaliada a consistência e validade dos materiais.

Desta forma, a garantia da durabilidade dos sistemas também está relacionada não só ao preparo do substrato e condições de aplicação, mas também os produtos selecionados devem ser adequados ao meio em que serão expostos, levando-se em consideração as indicações dos fabricantes e a execução de ensaios acelerados que simulem as condições de exposição reais. (Moreira, 2006)

A norma Européia EN 1504-2 (2004) contém requisitos e referências aos métodos de ensaio, independentemente do tipo de sistema de proteção utilizado, a sua durabilidade será limitada. De acordo com Forbes *et al* (1986, *apud* Moreira 2006) a vida útil de um sistema de proteção epóxi poderá ser de 7 a 10 anos e 5 a 7 anos para um sistema de proteção em acrílico, dependendo das condições de exposição. (Kordina *et al*, 1982 *apud* Moreira 2006)

2.3.3.3. Métodos de aplicação

Assim como a preparação e condições de aplicação e manuseio dos produtos pode interferir na vida útil e durabilidade do sistema, os métodos de aplicação também é um requisito importante para esta condição (Helene, 2003)

Segundo Helene (2003), os sistemas podem ser aplicados por aspersão, brocha ou rolo, sendo o de melhor aplicação, para os casos em que o produto permitir esta condição, a aspersão em baixa pressão, dependendo ainda a escolha da estrutura ou do meio em que está inserido o elemento estrutural. Recomenda-se que as superfícies a serem protegidas, devam ser delimitadas, em demãos consecutivas, ou conforme recomendação do fabricante, sempre no sentido vertical (de baixo para cima). Nas pinturas com brocha, geralmente utiliza-se a primeira demão de pintura como uma imprimação ou com um primer aplicado juntamente com o acabamento final, de forma que se possa melhorar a penetração da pintura nos poros e irregularidades superficiais do substrato. Já nas pinturas com rolo, as superfícies devem estar planas e uniformes, recomendando-se em alguns casos o estucamento das superfícies (Helene, 2003 e MC-Bauchemie, 2010)

Os cuidados básicos após a aplicação, ainda por Helene (2003), são:

- Evitar aplicações por aspersão sob a ação do vento;
- Evitar aplicações nas fachadas em que estiver ocorrendo a incidência de luz solar direta;

- Não pintar áreas externas quando a umidade relativa do ar for superior a 90%;
- Iniciar e finalizar os trabalhos o mais rápido possível, logo após a preparação das superfícies;
- Utilizando-se os métodos de pulverização, sobrepor a aplicações consecutivas em 50%.

2.3.4. Características da Eficiência dos Sistemas de Proteção

Segundo Bertolini (2010), a eficiência e durabilidade de um sistema de proteção estão diretamente ligadas ao requisito de aderência ao substrato e à coesão do material de aplicação. Assim sendo, o sistema por pintura precisa ter a capacidade de molhar o substrato e de resistir à ruptura à pequenos esforços de tração.

Este último requisito é influenciado, ainda segundo Bertolini (2010), pela excessiva dosagem de pigmentos, que além de diminuir notavelmente a coesão da película pode ainda aumentar a permeabilidade do sistema de proteção, isto porque o selante não tem mais a capacidade de cobrir, de forma eficaz, os espaços entre as partículas.

Outros requisitos intrínsecos a qualquer material estão os econômicos (longa duração em serviço, facilidade de repintura e aparência estética). E também é possível avaliar uma barreira, como é o caso dos sistemas de proteção estudados, pelas propriedades de resistência à difusão e de permeabilidade, que permitem avaliar a capacidade do sistema de proteção evitar a corrosão das armaduras (Eusébio, 1991 *apud* Moreira, 2006).

A norma NBR 14050 (1998), que estabelece procedimentos para projeto, seleção, execução, inspeção e avaliação do desempenho e recebimento de produtos e serviços executados com sistemas de revestimento de alto desempenho (RAD) à base de resinas epoxídicas e agregados minerais, define que “revestimentos por pintura de alto desempenho são RAD de baixa ou alta espessura, aplicado a pincel, rolo ou pistola, onde critérios de desempenho são eminentemente de natureza química.”

Por Medeiros (2008), a eficiência de um sistema de proteção diminui ao longo do tempo, pela ação do ambiente. Assim, estabelecer um programa de manutenção e avaliar o tempo de vida útil do material, tendo em vista os mecanismos de deterioração da estrutura e do ambiente ajudam a estabelecer a boa relação custo/benefício na adoção de sistemas protetores superficiais.

Segundo Helene (2003), quando uma estrutura exposta a cloretos apresenta baixo ou insuficiente cobrimento de concreto para reter a penetração dos cloretos, mas no entanto, ainda não é objeto de corrosão severa, ou seja, apresenta em seu mecanismo uma baixa velocidade de corrosão e não apresenta outras anomalias como fissuras e disgregação do concreto, poderá recorrer aos sistemas de proteção por pintura em epóxi, poliuretano e acrílico, de forma que haja o impedimento do ingresso de água contaminada por cloretos, e da mesma forma a penetração de oxigênio, evitando-se o início do processo de corrosão das armaduras.

2.4. EXPECTATIVA DA VIDA ÚTIL DE ESTRUTURAS

Andrade, C. (1992) descreve que há várias definições para a vida útil, dentre elas têm-se que é aquela em que a estrutura mantém todas as características mínimas de funcionalidade, resistência e aspectos externos exigíveis.

Tuuti, segundo Andrade C. (1992), propôs modelo simplificado mostrado na figura abaixo que relaciona a vida útil ao tempo de possível ataque de corrosão de armaduras.



Fonte: Andrade C (1992)

Figura 12. Modelo simplificado de Tuuti

Conforme demonstra a figura 12, o período de iniciação por Andrade C (1992), é o tempo que o agente demora em transpor o cobrimento de concreto, até atingir a armadura, despassivando-a, e por propagação compreende o acúmulo progressivo da deterioração, até que se alcance um nível inaceitável de degradação. Assim, o modelo basicamente é qualitativo.

Existem outros métodos que procuram prever ou definir uma expectativa de vida útil, segundo a norma ACI 365.1R-1. Estes mecanismos de previsão, em condições de

operação da estrutura, utilizam-se de técnicas de avaliação não destrutivas específicas, que são complementadas com informação dos projetos, materiais, mecanismos e condições de degradação em função do meio e tecnologias contidas em um sistema de manutenção para quantificar a reabilitação da estrutura, prorrogando a sua vida útil.

Muitos dos métodos de previsão de vida útil da estrutura são focados no processo de degradação. Segundo a norma ACI 365.1R-1, os processos de degradação da estruturas são resultantes de mais de um mecanismo e ainda da interação com o ambiente. No entanto, foca-se no fator mais importante de degradação da estrutura e faz-se o modelo matemático de previsão, que pode basear-se em expectativas de vida útil através de experiências, deduções de desempenho, testes laboratoriais e modelos matemáticos baseados em requisitos físicos e químicos dos materiais e sistemas etc.

Para este trabalho, através da definição de requisitos dos sistemas de proteção, foram realizadas correlações entre o mecanismo de corrosão por cloretos, no caso o coeficiente de difusão e a profundidade de penetração, visando dar uma expectativa de vida útil direcionados ao mecanismo de corrosão, baseado em modelo matemático de previsão de vida útil por comparação de desempenho, segundo as Leis de Fick, que encontra-se melhor detalhada no capítulo 4.

Este capítulo apresentou a revisão bibliográfica contendo os requisitos para garantir a durabilidade do concreto e sistemas de proteção utilizados no estudo experimental.

O capítulo 3 tratará sobre os ensaios realizados, baseados nos requisitos anteriormente mencionados, apresentando a fundamentação de cada ensaio, a descrição da metodologia de execução, os resultados obtidos, bem como a importância de cada um deles para o estudo comparativo.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Este capítulo trata sobre os ensaios realizados no programa experimental deste trabalho, apresentando a fundamentação do ensaio, a descrição das metodologias e da execução e os resultados obtidos.

De acordo com Bertolini (2010), no caso de materiais porosos, como é o caso do concreto, as substâncias agressivas podem penetrar através dos poros sejam elas em estado gasoso ou líquido. Os mecanismos principais do transporte de substâncias são feitos por difusão, permeabilidade absorção capilar e migração elétrica.

Dessa forma o programa experimental esteve fundamentado na realização dos seguintes ensaios:

- Ensaio para determinação da resistência a compressão axial, NBR 5739 (1994);
- Ensaio de verificação da homogeneidade do concreto – Ultrassom, NBR 8802 (1994);
- Teste de migração de íons cloretos, ASTM C- 1202 (2010);
- Determinação da penetração de cloretos por método colorimétrico;
- Ensaios de absorção de água por imersão e fervura, NBR 9778 (2009) e
- Ensaios de absorção de água por capilaridade, NBR 9779 (1995).

Os ensaios de absorção de água foram adotados nesse programa experimental porque se considera que não existe a penetração de íons cloretos na estrutura sem a presença de água, ou seja, os íons cloreto penetram no concreto utilizando a água como veículo.

Segundo Bertolini (2010), a permeação é o mecanismo pelo qual um fluido, um gás ou um líquido penetram através dos poros do material, como efeito de um gradiente de pressão.

Segundo Medeiros (2008), quanto mais difícil for à penetração de água no concreto menor sua susceptibilidade a contaminação por íons cloretos.

Ainda, segundo Medeiros (2008), se a estrutura encontra-se já contaminada por cloretos, a corrosão de armaduras é um processo eletroquímico e, por isso, precisa de um eletrólito para se desenvolver. Deste modo, qualquer tratamento que tenha a capacidade de restringir o acesso de água para o interior do concreto interfere na cinética do processo de corrosão.

3.1. DEFINIÇÃO E EXECUÇÃO DO TRAÇO E MOLDAGEM DAS AMOSTRAS

Para o presente trabalho foi de fundamental importância a definição do traço, que previa inicialmente a utilização de um concreto com resistência de 25 MPa e relação água/cimento 0,60, conforme padrão estabelecido para estruturas hidráulicas de São Paulo, por Companhia de Abastecimento de Água. No entanto, esta definição foi descartada, tendo em vista que, possivelmente os resultados de resistência à compressão axial poderiam ser muito superiores ao especificado.

Como o objetivo do programa experimental é comparar sistemas de proteção contra a penetração de íons cloretos, as amostras deveriam apresentar um traço “pobre”, permitindo uma melhor avaliação dos sistemas de proteção em estudo. Desta forma, o traço adotado foi baseado nas especificações da norma NBR 12171(1992), mantendo a resistência de 25 MPa e a relação água/cimento em 0,63, mais adequado ao procedimento em questão.

A Tabela 5 apresenta o traço definido e executado.

Tabela 5. Traço definido e executado.

Material	M.C.C (Kg/m ³)	Quantidade
Cimento Portland Comum E 32 Holcim	297	16,34 kg
Areia 1 – Quartzo	517	32,02 kg
Areia 2 – Artificial	348	20,10 kg
Brita 0 – Pedrisco	300	16,50 kg
Brita 1	700	38,50 kg
Água	187	5,745 kg
Aditivo polifuncional (plastificante) – FK-100 B	1,782	98,00 g

Para a composição da granulometria foram seguidas as classificações de acordo com a NBR 7211 (2005).

Para a mistura dos componentes utilizou-se uma betoneira com capacidade de 220L e rotação do tambor de 28 rpm. Os insumos foram pesados em balanças digital com precisão de 10g e, então colocados na betoneira. Conforme a norma NBR 12171 (1992), para a execução do traço, primeiramente foram adicionadas brita, água, cimento, areia e por último o aditivo. A mistura do concreto se deu em 3 etapas, totalizando 8 minutos, conforme relação de tempo abaixo:

- 3 minutos para mistura inicial;
- 2 minutos para massa descansar;
- 3 minutos para mistura final.

As fotos 1 e 2 ilustram as etapas de execução do amassamento do concreto.



Foto 1. Mistura dos materiais na betoneira.



Foto 2. Vista do concreto na etapa do amassamento.

Para verificar a consistência da mistura foi utilizado o método de abatimento de tronco de cone “Slump test” realizado segundo a norma NBR NM 67 (1998), conforme ilustra a foto 3. O resultado do “Slump test” foi de 165 mm.



Foto 3. Execução do ensaio de abatimento de tronco de cone “Slump test”.

3.1.1. Moldagem dos Corpos de Prova

Após finalização da mistura, procedeu-se a moldagem de 34 (trinta e quatro) corpos de prova com dimensões de 10 x 20 cm, de acordo com a norma NBR 5738 (2003). Após a desforma dos corpos de prova, o procedimento de cura foi realizado através de imersão em tanque de água. A foto 4 ilustra a moldagem dos corpos de prova.



Foto 4. Moldagem dos corpos de prova.

3.2. AMOSTRAGEM

Após a moldagem e cura dos 34 (trinta e quatro) corpos de prova, os mesmos foram selecionados e encaminhados para realização dos ensaios. As Tabelas 6 e 7 apresentam a listagem dos ensaios do programa experimental.

Tabela 6 - Ensaios de Caracterização das Amostras – Primeira Fase.

Ensaios realizados	Quantidade de amostras total por determinações			Total de amostras
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	
Ensaio de verificação da homogeneidade do concreto – Ultrassom - NBR 8802 (1994)	28	-	-	28
Ensaio para determinação da resistência a compressão axial - NBR 5739 (1994)	6	-	-	6

Legenda:

Tipo A - sem qualquer tipo de sistema de proteção

Tipo B - com sistema de proteção epóxi, à base d'água, aberto à difusão de vapor (MC Dur 1100 diffusion)

Tipo C - com sistema de proteção poliuretano, à base d'água, aberto à difusão de vapor (Encephob Nanoperm P, pigmentado)

Tabela 7 - Ensaios do Estudo Comparativo dos Sistemas de Proteção Aplicados – Segunda Fase.

Ensaios realizados	Quantidade de amostras total por determinações			Total de amostras
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	
Ensaios de absorção de água por imersão e fervura - NBR 9778 (2009)	2	2	2	6
Ensaios de absorção de água por capilaridade - NBR 9779 (1995)	3	3	3	9
Teste de migração de íons cloretos - ASTM C-1202 (2010)	3	3	3	9

Legenda:

Tipo A - sem qualquer tipo de sistema de proteção

Tipo B - com sistema de proteção epóxi, à base d'água, aberto à difusão de vapor (MC Dur 1100 diffusion)

Tipo C - com sistema de proteção poliuretano, à base d'água, aberto à difusão de vapor (Encephob Nanoperm P, pigmentado)

3.3. REALIZAÇÃO DE ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

Os subitens a seguir apresentam os resultados obtidos nos ensaios de caracterização das amostras.

3.3.1. Ensaio de Determinação da Resistência à Compressão Axial

Com o objetivo de determinar a resistência à compressão axial, procedeu-se a realização do ensaio em 6 dos corpos de prova moldados.

A resistência à compressão é tomada como base para caracterizar a qualidade do concreto. Ela foi medida pelo ensaio de compressão axial simples, no qual os testemunhos foram carregados até a ruptura.

Esse ensaio foi realizado utilizando-se as prescrições da NBR 5739 (1994) nas idades de 7,14 e 28 dias, e os resultados apresentam-se no item 4.

A foto 5 representa a realização do ensaio em laboratório.



Foto 5. Ensaio de resistência à compressão axial – Caracterização das amostras.

3.3.2. Ensaio de Verificação da Homogeneidade do Concreto

Com o objetivo de avaliar a homogeneidade do concreto, procedeu-se a realização do ensaio de ultrassom nos corpos de prova moldados, exceto nas 6 (seis) amostras utilizadas para realização dos ensaios de determinação da resistência a compressão axial.

A execução da ultrassonografia esteve baseada no procedimento de execução pelo método direto descrito na norma NBR 8802 (1994).

A ultrassonografia consiste em um método não destrutivo e tem como principais aplicações a verificação da homogeneidade do concreto, detecção de falhas internas, monitoramento de variações no concreto ao longo do tempo, avaliação comparativa de sua compacidade, entre outras.

Realiza-se este ensaio com auxílio de um circuito gerador-receptor que produz pulsos elétricos de baixa frequência ultra-sônica, os quais são transformados em ondas de choque pelo transdutor-emissor e novamente transformadas em pulsos elétricos pelo transdutor-receptor. Seu princípio consiste em medir o tempo em que estas ondas levam para percorrer a massa de concreto, obtendo-se então a velocidade de propagação.

Os parâmetros para avaliação dos resultados estão referenciados na publicação *“Manual de Inspeccion, Evaluacion y Diagnostico de Corrosion en Estructuras de Hormigon Armado”*, do CYTED – *Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo – Subprograma XV*, conforme indica a Tabela 8.

Tabela 8. Parâmetro para avaliação dos resultados de ultrassonografia.

Velocidade (m/s)	Condições Gerais
< 2000	Deficiente
2001 a 3000	Normal
3001 a 4000	Alta
> 4001	Durável

Os resultados obtidos no presente ensaio, bem como a inspeção visual superficial da face dos corpos de prova, auxiliaram na seleção das amostras para realização dos demais ensaios, visando à definição de corpos de prova com mesma qualidade para os mesmos tipos de ensaios.

As fotos 6 e 7 representam as etapas do ensaio pelo método direto.



Foto 6. Corpos de prova que serão realizados os ensaios.



Foto 7. Calibração do equipamento pela barra de referência do ultrassom.

3.4. APLICAÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO

A seguir será descrito o método de aplicação dos sistemas de proteção contra a penetração de cloretos.

Ressalta-se que não foi utilizado nenhum tipo de tratamento de regularização de superfície recomendados pelo fabricante, tendo em vista a necessidade de manter-se homogêneo o substrato para que não houvesse mais variáveis no estudo comparativo.

3.4.1. Sistema de Proteção em Epóxi

A superfície foi preparada com lixamento abrasivo, manualmente seguido de limpeza da poeira superficial.

Após a preparação da superfície aplicou-se a ponte de aderência, denominado Primer MC-DUR 1101 (resina epóxi, base d'água transparente) fabricante MC-BAUCHEMIE. O mesmo foi aplicado sobre o substrato preparado com rolo de lã de carneiro de pêlo curto.

Aguardou-se 12 horas de cura, após aplicação da ponte de aderência e aplicou-se a camada de proteção MC-DUR 1100 Diffusion (resina epóxi, base d' água pigmentado cinza, conforme cartela padrão RAL 7047), em duas demãos, respeitando o intervalo de 12 horas entre as demãos, com auxílio de rolo de pêlo curto de lã de carneiro.

A Figura 13 demonstra as camadas de composição do sistema de proteção, em três demãos,

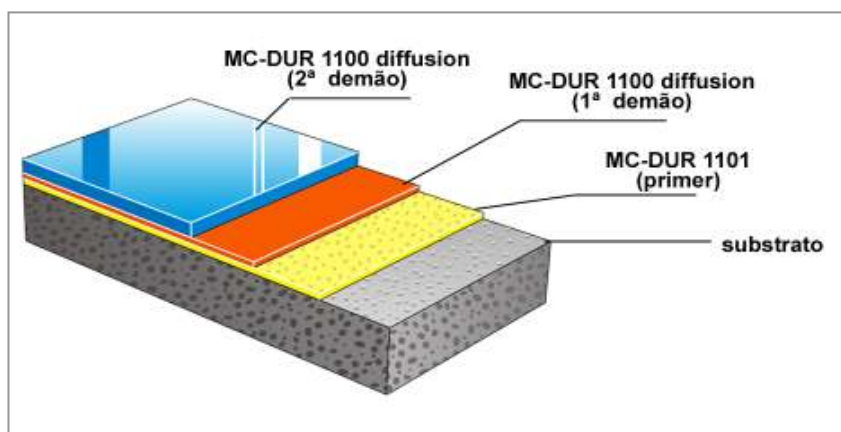


Figura 13. Representação da composição em camadas do sistema de proteção em epóxi

Os corpos de prova revestidos foram encaminhados ao laboratório para execução dos ensaios após cura total aos 7 dias.

As fotos 8 e 9 apresentadas ilustram os processos de pintura e revestimento dos corpos de prova.



Foto 8. Aplicação de pintura nas fatias preparadas para o ensaio de migração de cloretos.



Foto 9. Corpos de prova preparados para os ensaios com sistema de proteção em epóxi.

3.4.2. Sistema de Proteção em Poliuretano

A superfície foi preparada com lixamento abrasivo, manualmente seguido de limpeza da poeira.

Após a preparação da superfície aplicou-se a primeira camada de proteção Emcephob NanoPerm P (resina de poliuretano, base d' água pigmentada branca, conforme cartela padrão RAL 9010) do fabricante MC-BAUCHEMIE. O mesmo foi aplicado sobre o substrato preparado com rolo de lã de carneiro de pêlo curto.

Ressalta-se que este sistema não prevê a aplicação de primer de base para a pintura principal, conforme ilustra a Figura 14.

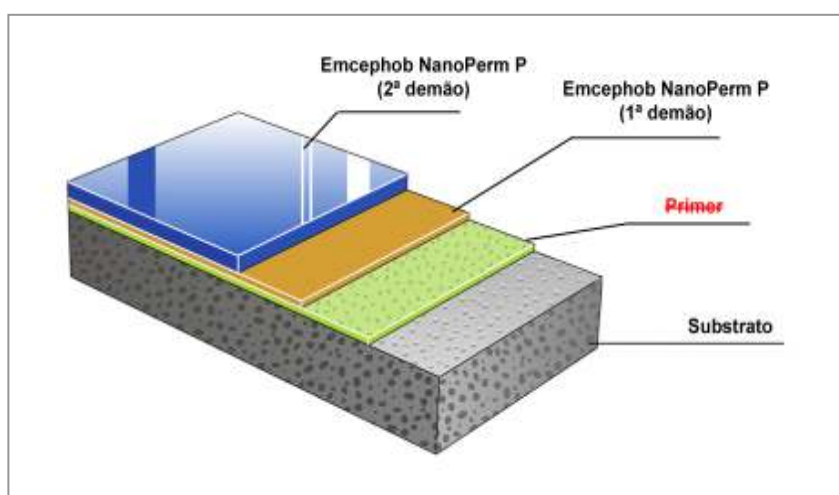


Figura 14. Representação da composição em camadas do sistema de proteção em poliuretano.

Aguardou-se 12 horas de cura, após aplicação da primeira demão do produto finalizando o processo com a aplicação da segunda demão, com auxílio de rolo de pêlo curto de lã de carneiro.

Os corpos de prova revestidos foram encaminhados ao laboratório para execução dos ensaios após cura total aos 7 dias.

As fotos 10 e 11 apresentadas ilustram o processo de pintura e revestimento dos corpos de prova.



Foto 10. Lixamento da superfície para preparação do substrato para aplicação do sistema de proteção.



Foto 11. Corpos de prova com sistema de proteção aplicado.

3.5. ENSAIOS DO ESTUDO COMPARATIVO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO APLICADOS

Os subitens a seguir apresentam os resultados obtidos nos ensaios realizados para comparação dos sistemas de proteção aplicados.

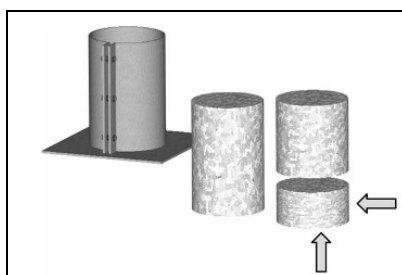
3.5.1. Ensaio de Migração de Íons Cloretos

O ensaio de migração de íons cloreto foi realizado conforme as recomendações da norma ASTM C-1202 (2010) utilizando-se 6 (seis) corpos de prova cilíndricos de 100mm de diâmetro e 200mm de altura, sendo:

- 2 CP's: sem qualquer tipo de proteção;
- 2 CP's: com sistema de proteção epóxi, à base d'água, aberto à difusão de vapor (MC Dur 1100 diffusion);
- 2 CP's: com sistema de proteção poliuretano, à base d'água, aberto à difusão de vapor (Encephob Nanoperm P - pigmentado).

O princípio químico do ensaio, segundo Silva (2006) é eletroquímico, e basicamente é aplicada à amostra, já preparada, uma diferença de potencial de 60 V, durante 6 horas. Neste período registra-se as intensidades das correntes elétricas passantes pela amostra a cada 30 minutos. Esta corrente elétrica indica o risco de penetração dos íons cloreto.

A preparação da amostra consiste no fatiamento dos corpos de prova com serra diamantada, eliminando-se as duas extremidades externas de 7,5 cm de altura, utilizando-se a fatia de 5,0 cm da faixa central para o ensaio (parte do terço médio), conforme ilustra a Figura 15. Após a aplicação do sistema protetor as amostras foram levadas ao laboratório, para a selagem lateral e após a cura do produto foi levada ao dessecador, onde se aplicou-se o vácuo por 3 horas.

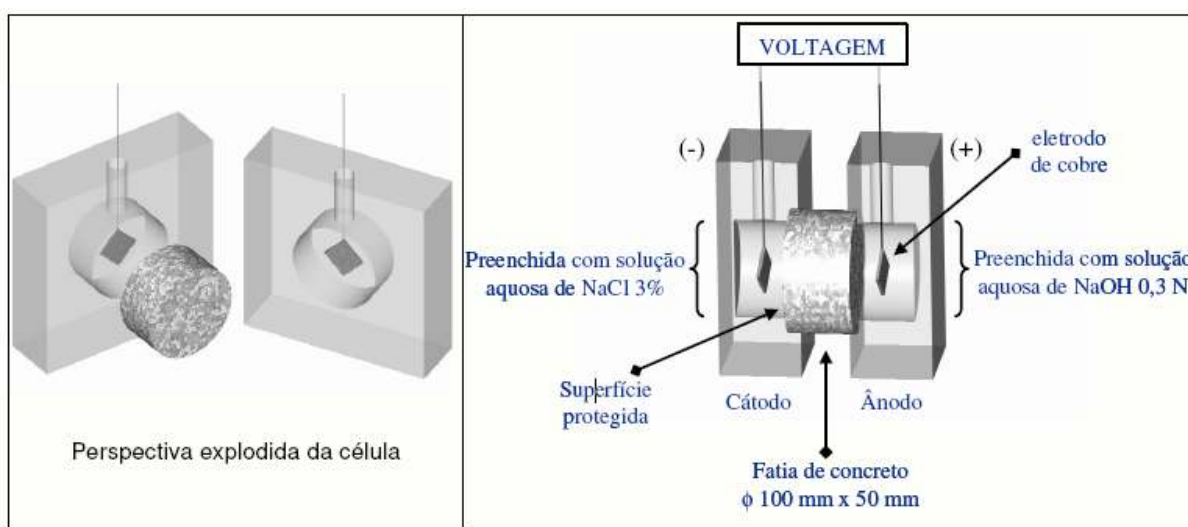


Fonte: MEDEIROS (2008)

Figura 15. Preparação das amostras para execução do ensaio de penetração de íons cloretos.

Posteriormente colocou-se água neste dessecador, sem que houvesse o contato com o ar, e novamente ligou-se a bomba de vácuo para permanecer neste estado durante 1 hora. Depois a amostra ficou imersa por aproximadamente 18 horas.

Após a preparação das amostras as fatias de concreto revestidas foram inseridas em duas células de acrílico, conforme ilustra a Figura 16, onde uma delas está em contato com a solução de 3,0% de NaCl (pólo negativo da fonte) e a outra em solução de 0,3 N de NaOH (pólo positivo), formando uma pilha iônica.



Fonte: MEDEIROS (2008)

Figura 16. Ensaio de avaliação de migração de cloretos.

3.5.2. Determinação da Frente de Penetração de Cloretos

Esta determinação consiste em ensaio colorimétrico, aplicando-se solução de nitrato de prata com concentração de 0,1 M por aspersão na superfície do concreto das amostras de ensaio em que foi realizada a migração de cloretos. Após o ensaio as amostras foram rompidas por compressão diametral, onde foi aspergida a solução de nitrato de prata, a um ambiente iluminado para que a solução reagisse com os cloretos e, depois de algumas horas, as leituras foram feitas.

Segundo Silva (2006), “a aspersão da solução de nitrato de prata gera o cloreto de prata, em presença de cloretos livres e o óxido de prata, na ausência de cloretos, cujas colorações são contrastantes”.

A reação entre os íons cloreto do concreto e a solução de nitrato de prata é descrita como:



As fotos 12 a 15 ilustram a realização do ensaio e os resultados visuais obtidos.



Foto 12. Amostras fraturadas para execução do ensaio de determinação da frente de penetração de cloretos, através da aspersão de solução de nitrato de prata.



Foto 13. Medição da camada de penetração de cloretos, na amostra de referência (sem proteção), onde observa-se camada uniforme de penetração de cloretos.



Foto 14. Medição da camada de penetração de cloretos, na amostra com sistema de proteção em epóxi, onde observa-se penetração de cloretos em *pites*.



Foto 15. Medição da camada de penetração de cloretos, na amostra com sistema de proteção em poliuretano, onde observa-se penetração de cloretos em *pites*.

3.5.3. Ensaio de Absorção de Água por Imersão e Fervura

O ensaio de absorção de água por imersão e fervura foi realizado conforme as recomendações da norma NBR 9778 (2005) utilizando-se 6 (seis) corpos de prova cilíndricos de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, sendo:

- 3 CP's: sem qualquer tipo de proteção;
- 3 CP's: com sistema de proteção epóxi, à base d'água, aberto à difusão de vapor (MC-Dur 1100 Diffusion);
- 3 CP's: com sistema de proteção poliuretano, à base d'água, aberto à difusão de vapor (Encephob Nanoperm P, pigmentado).

Os corpos de prova foram secos em estufa a 105°C, por um período de 72 h, e após secagem determinou-se a massa dos mesmos na condição seca.

Em seguida procedeu-se a saturação das amostras através da imersão da amostra em água por 72 horas, a uma temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ conforme demonstra a foto 16.

Finalizada esta etapa, as amostras são levadas a um tanque, onde a temperatura da água é elevada até a ebulição durante 5 horas.

A absorção foi medida a partir da pesagem das amostras após secagem superficial das mesmas.



Foto 16. Corpos de prova imersos em fervura.

3.5.4. Ensaio de Absorção de Água por Capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado conforme as recomendações da norma NBR 9779 (1995) utilizando-se 6 (seis) corpos de prova cilíndricos de 100 mm de diâmetro e 200mm de altura, sendo:

- 2 CP's: sem qualquer tipo de proteção;
- 2 CP's: com sistema de proteção epóxi, à base d'água, aberto à difusão de vapor (MC-Dur 1100 Diffusion);
- 2 CP's: com sistema de proteção poliuretano, à base d'água, aberto à difusão de vapor (Encephob Nanoperm P, pigmentado).

Primeiramente os corpos de prova foram pesados para a determinação da massa dos mesmos na condição natural, conforme ilustra a foto 17.

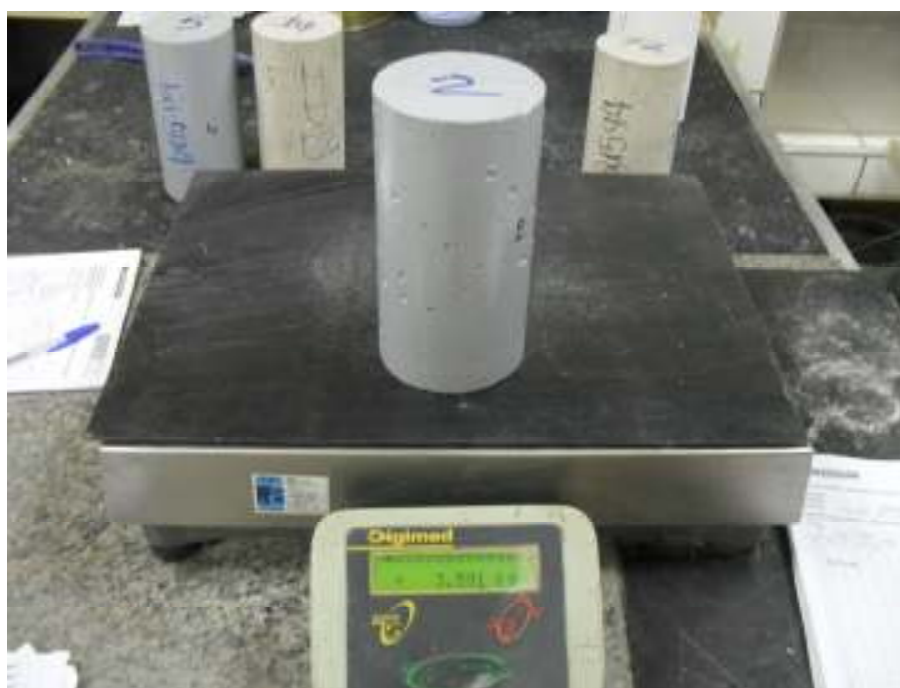


Foto 17. Pesagem inicial dos corpos de prova.

Depois os corpos de prova foram secos em estufa para determinação da massa dos mesmos na condição seca, conforme ilustra a foto 18.



Foto 18. Corpos de prova no interior da estufa.

Após resfriamento do corpo de prova ao ar à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, de preferência em dessecador, deve-se determinar sua massa.

Em seguida, as amostras são imersas parcialmente, de modo que o nível d'água permaneça constante a $(5 \pm 1)\text{mm}$ acima da face inferior dos corpos de prova. A foto 19 ilustra esta condição.



Foto 19. Corpos de prova no “aquário” para ensaio de capilaridade.

Durante o ensaio deve-se determinar a massa dos corpos de prova com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h, contadas a partir da colocação destes em contato com a água.

Após a última determinação de massa, devem-se romper as amostras por compressão diametral, conforme NBR 7222, de modo a permitir a anotação da distribuição de água no interior das mesmas, conforme representado pela figura 20.



Foto 20. Corpos de prova “rompidos” para avaliação do perfil de absorção interna.

Para se obter o valor de absorção de água por capilaridade (g/cm^2), deve-se calcular dividindo o aumento de massa pela área da seção transversal da superfície do corpo de prova em contato com a água, de acordo com a equação expressa a seguir:

$$C = \frac{A - B}{S} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

C = absorção de água por capilaridade, em g/cm^3

A = massa do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado, em g

B = massa do corpo de prova seco, assim que este atingir a temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, em gramas (g)

S = área da seção transversal, em cm^2

Este capítulo tratou a respeito dos ensaios realizados no programa experimental, descrevendo a metodologia cada ensaio, bem como a finalidade de cada um deles, e o capítulo 4 apresentará os resultados e a análise obtidos a partir deste estudo experimental.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresentará a análise dos resultados, levando em consideração os aspectos que tenham correlação com a capacidade do sistema de proteção em desempenhar barreira contra a penetração de cloretos, descrevendo os principais aspectos observados durante a fase experimental que possam ter valor ou influência nos resultados, bem como a avaliação das diferenças observadas entre os dois sistemas de proteção.

4.1. RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS ENSAIOS REALIZADOS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

4.1.1. Determinação da Resistência à Compressão Axial

A tabela 9 apresenta os resultados obtidos de resistência à compressão axial.

Tabela 9. Resultados obtidos no ensaio de compressão axial.

Idade de ruptura (dias)	Resultado de resistência à compressão axial (MPa)
7	16,5
	15,9
14	21,0
	20,2
28	25,5
	25,1

O gráfico da figura 17 apresenta a evolução dos resultados, nas idades de 7,14 e 28.

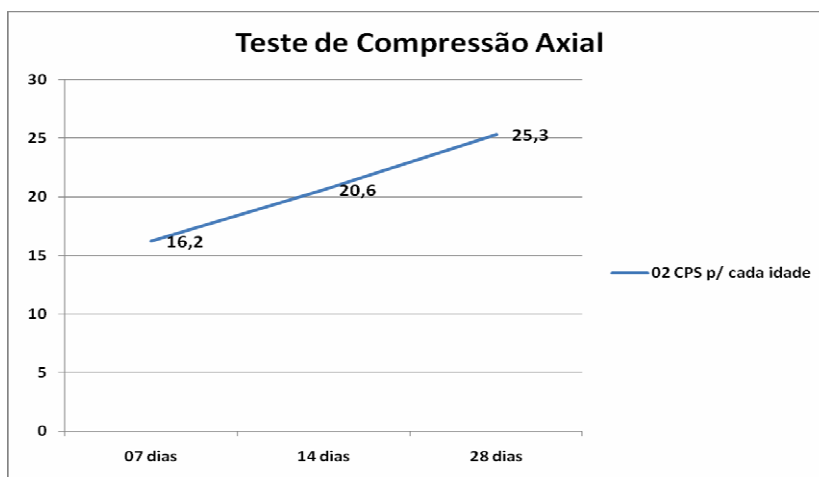


Figura 17. Gráfico da evolução dos resultados obtidos no ensaio de compressão axial.

Os ensaios de resistência à compressão axial tiveram por finalidade demonstrar que o concreto utilizado para o programa experimental atingiu aos 28 dias o f_{ck} de 25 MPa, conforme previsto, permitindo uma melhor avaliação do sistema de proteção.

4.1.2. Ensaio de Verificação da Homogeneidade do Concreto

O gráfico da figura 18 representa os resultados obtidos no ensaios de ultrassom.

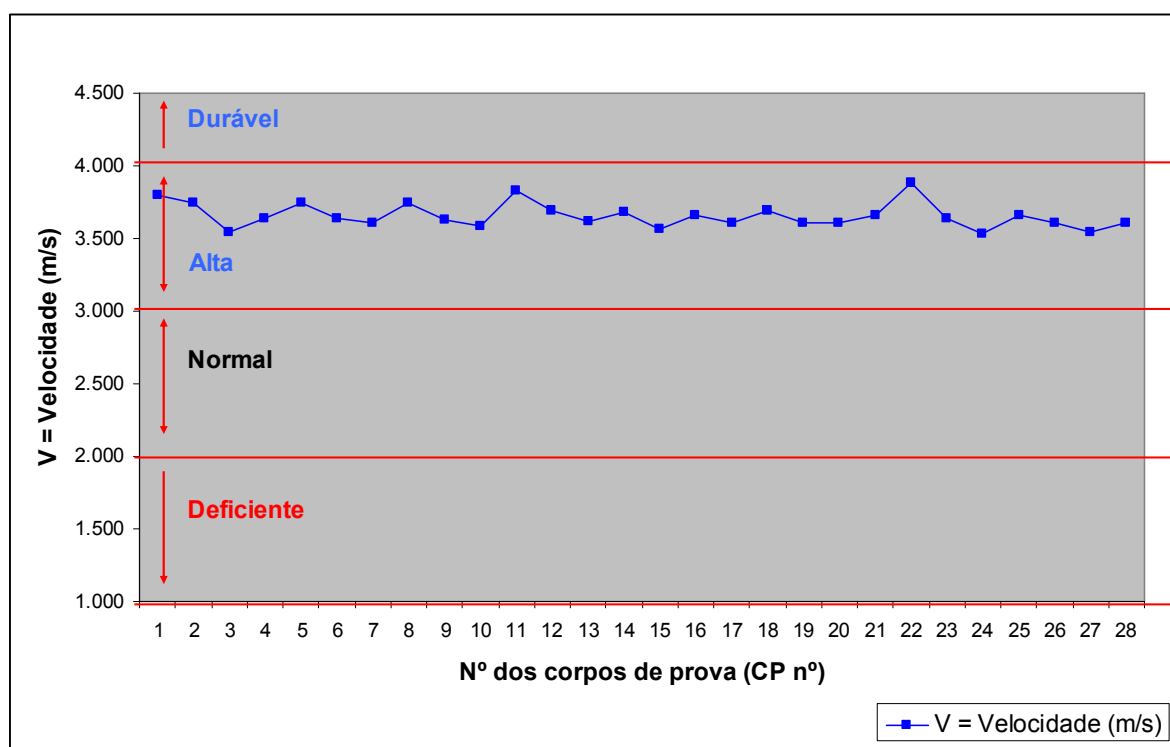


Figura 18. Gráfico dos resultados obtidos no ensaio de verificação da homogeneidade do concreto.

De acordo com a Figura 18, o gráfico apresentado, pelos critérios do “*Manual de Inspeccion, Evaluacion y Diagnostico de Corrosion en Estructuras de Hormigon Armado*”, do CYTED – *Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo* – Subprograma XV, classifica o concreto como de “Alta qualidade/homogeneidade” das amostras, constatando-se apenas sensível variação na velocidade de propagação da onda.

Desta forma, entende-se que as amostras continham a mesma qualidade viabilizando a execução dos ensaios, bem como sua comparação por se tratarem de amostras de características semelhantes.

4.2. RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS ENSAIOS DO ESTUDO COMPARATIVO DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO APLICADOS

4.2.1. Ensaio de Migração de Íons Cloretos

A figura 19 apresenta os resultados obtidos de carga elétrica passante em Coulombs no ensaio acelerado de migração de íons cloretos.

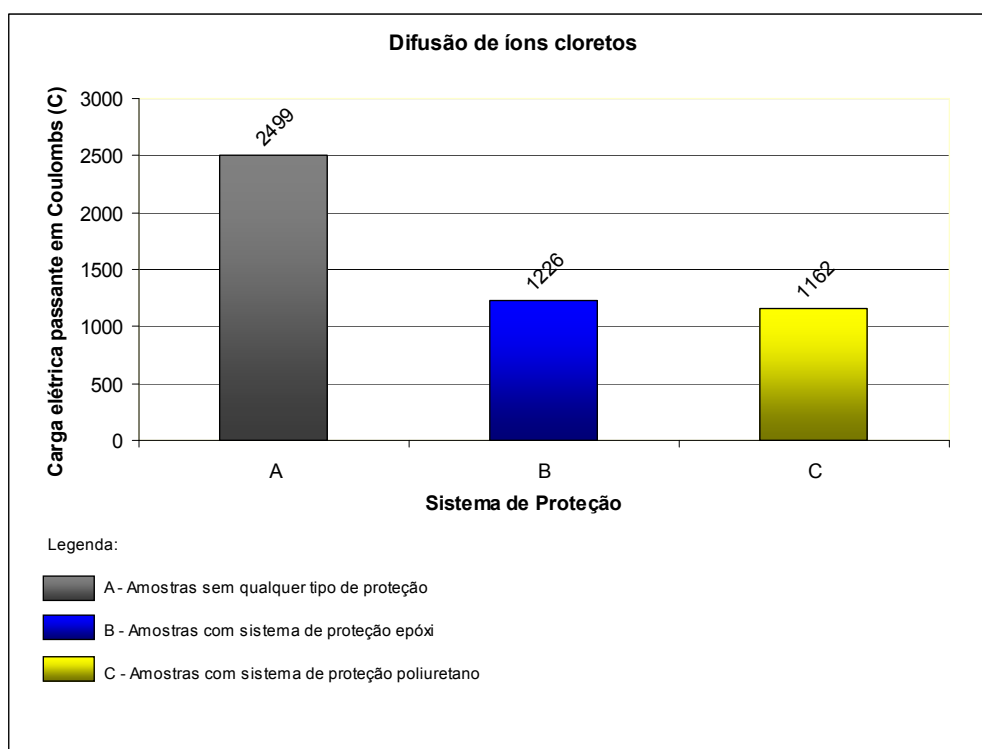


Figura 19. Gráfico dos resultados obtidos no ensaio de migração de íons cloretos.

Com base na comparação dos resultados obtidos no ensaio de migração constatou-se que a carga média passante em Coulombs é 48% menor nos corpos de prova que possuem sistema de proteção.

Ambas as amostras com sistema de proteção, de acordo com a norma ASTM 1202-10, classificam-se como “baixa” difusão.

Não foram observadas diferenças significativas entre amostras que continham os sistemas de proteção.

4.2.2. Determinação da Frente de Penetração de Cloretos

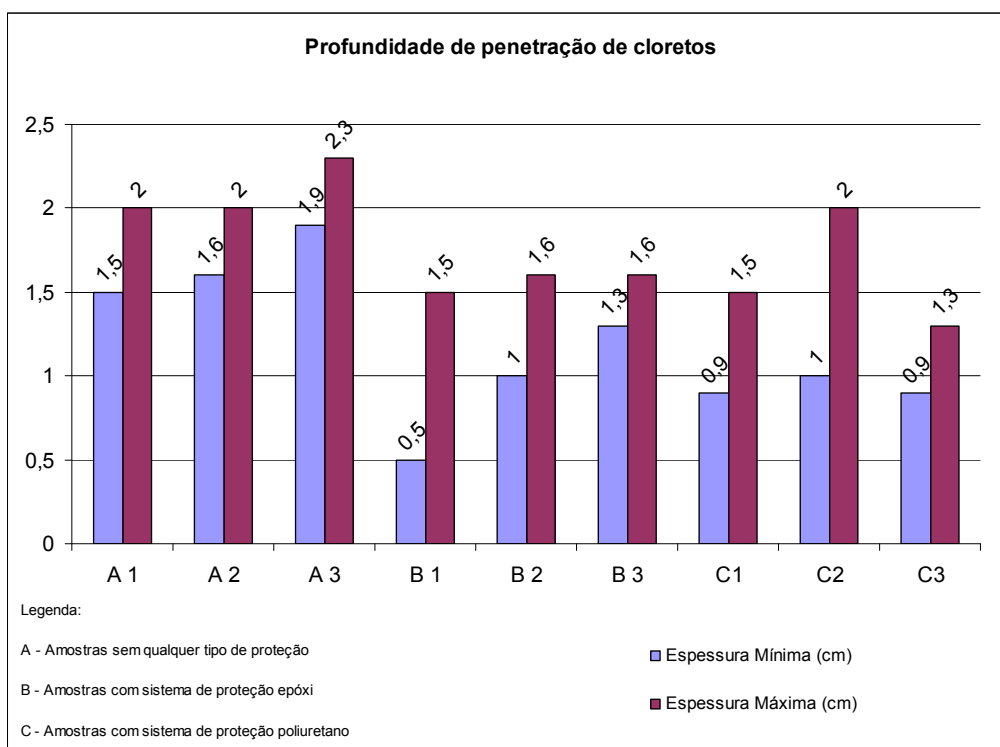


Figura 20. Gráfico dos resultados obtidos no ensaio de profundidade de penetração de cloretos.

Os resultados obtidos no gráfico da figura 20 indicaram que as espeçsuras de penetração de   ns cloretos medidas são menores nos corpos de prova com os sistemas de proteção. Nos corpos de prova de referência (sem sistema de proteção), a penetração ocorreu de forma linear/uniforme em toda a seção das amostras. Já com os corpos de prova com a aplicação dos sistemas de proteção, constatou-se que a penetração foi desuniforme e em pontos localizados na seção da amostra, conforme visualiza-se na figura 21.



Figura 21. Comparação entre as formas de penetração no ensaio onde:

(a) Referência (b) Poliuretano (c) Epóxi

4.2.3. Ensaio de Absorção de Água por Imersão e Fervura

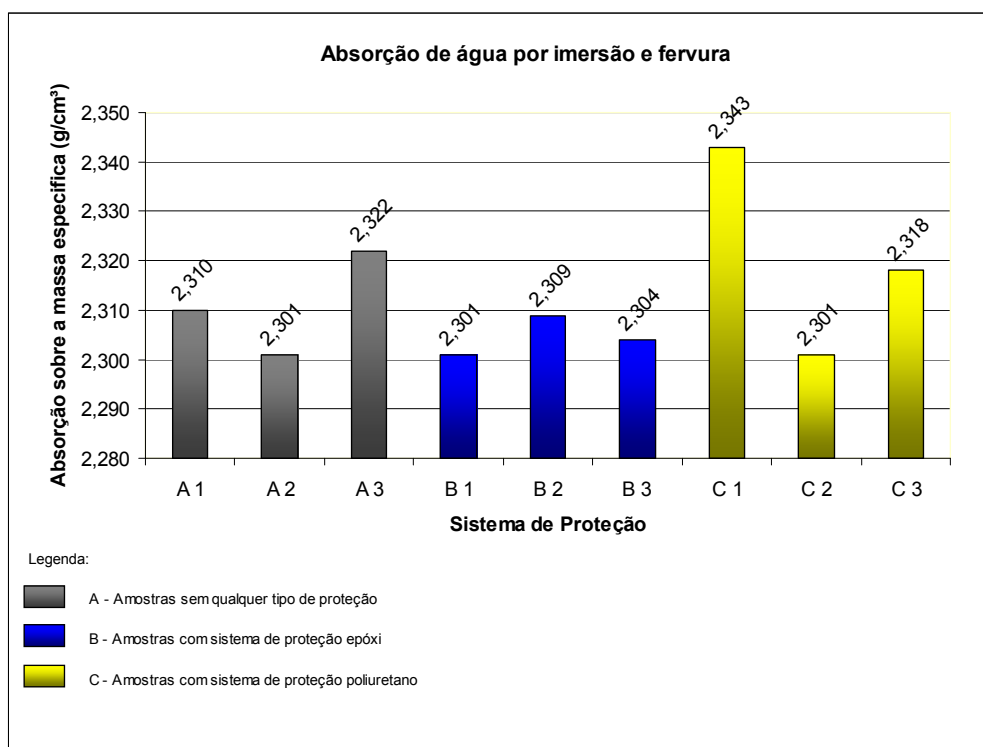


Figura 22. Gráfico dos resultados obtidos no ensaio de absorção de água por imersão e fervura.

Os índices obtidos pelo ensaio de absorção por imersão e fervura praticamente não apresentaram diferenças em relação aos corpos de prova de referência, tendo sido observado apenas no sistema epóxi uma diferença de 19% a mais na capacidade de redução da absorção de água, conforme demonstra o gráfico da Figura 22.

Constatou-se que após a execução do ensaio as películas dos sistemas apresentaram-se danificadas, sendo que a de resina epóxi apresentou manchas amareladas e a de poliuretano apresentou pontos de destacamento, conforme ilustra a Figura 23.



Figura 23. Comparação entre as películas:

(a) Poliuretano: Destacamento (b) Epóxi: perda de brilho do sistema (c) Epóxi: amarelamento

4.2.4. Ensaio de Absorção de Água por Capilaridade

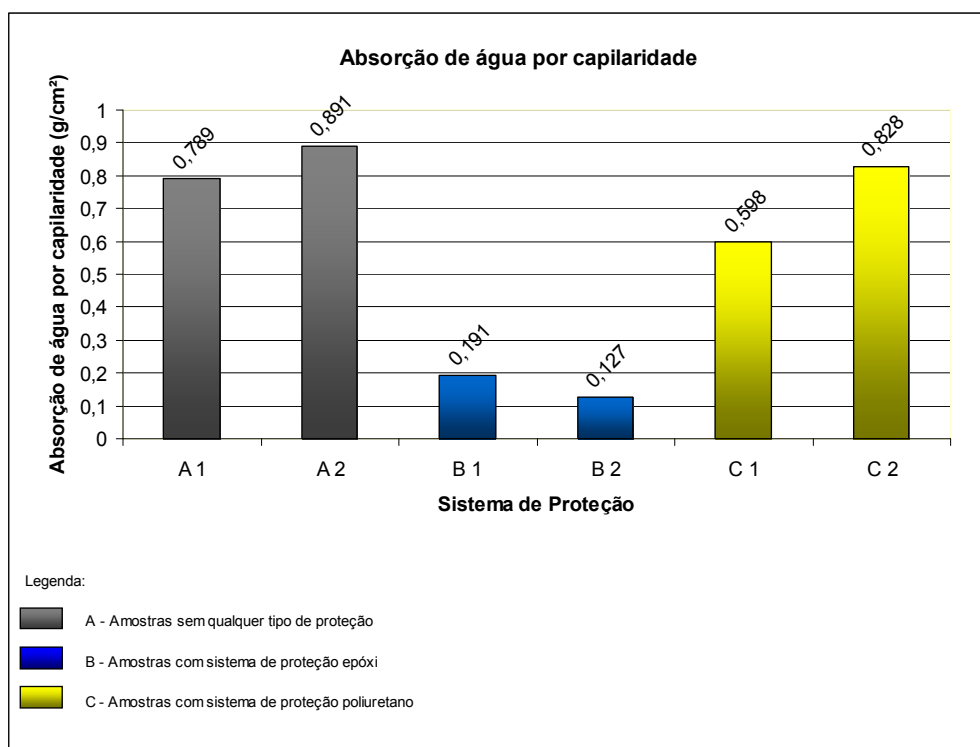


Figura 24. Gráfico dos resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade.

Os resultados de absorção por capilaridade em relação à massa específica indicam que o sistema epóxi obteve o melhor desempenho, com índice de 81% a mais na capacidade de redução de absorção em relação à referência. Já o sistema em poliuretano apresentou apenas 15% de capacidade de redução de absorção de água, índice comparativamente diferenciado se comparado ao outro sistema.

Quanto à altura da ascensão capilar, os dados demonstram a diferença entre a entre os corpos de prova de referência e os protegidos com sistema epóxi, constatando-se uma redução de absorção interna de 60% e 100%, ou seja, neste último corpo de prova houve um bloqueio da absorção de água. No entanto, em comparação aos resultados dos corpos de prova com sistema em poliuretano, obteve-se 8,3% apenas de redução com a referência (corpos de prova sem sistema de proteção), conforme ilustra o gráfico da Figura 24.

4.3. AVALIAÇÃO DA EXPECTATIVA DA VIDA ÚTIL

Segundo Bertolini (2010), para se prever a vida útil de uma estrutura, pode-se utilizar a equação de Fick proposta em 1972, que descreve a difusão pura dos cloretos no concreto, calculando-se em função do tempo, a concentração de cloretos a diferentes profundidades, de modo a prever o tempo necessário para que a concentração na superfície das armaduras atinja o teor crítico para ativação da corrosão.

O cálculo do coeficiente de difusão pode ser calculado em:

- Condições estacionárias (D_e) de acordo com a primeira Lei de Fick;
- Condições não estacionárias (D_{ne}) de acordo com a segunda Lei de Fick.

Nos ensaios acelerados de migração de cloretos em condições estacionárias, realizados em câmara com medida de difusão pura, o transporte dos cloretos ocorre como resultado de um gradiente de concentração, e segundo Bertolini (2010), onde o corpo de prova cilíndrico é colocado entre dois compartimentos de uma câmara de difusão contendo uma solução 1 M de NaCl (cloreto de sódio) e um volume conhecido de solução sem cloretos. A concentração de cloretos no compartimento inicialmente sem cloretos é medida periodicamente. Após um tempo inicial t_0 observa-se que esta concentração cresce linearmente porque, através da amostra, instaura-se um fluxo constante de cloretos. O coeficiente de difusão pode ser extraído da solução da primeira Lei de Fick (condições estacionárias).

Iniciou-se pela determinação do coeficiente de Difusão Aparente (D_{ap}), através de Berke e Hicks *apud* Medeiros (2008), utilizando-se dos valores de carga passante advindos do ensaio de migração de cloretos segundo a ASTM C 1202 (2010), obteve-se o coeficiente de difusão para cada sistema de proteção estudado.

$$D_{ap} = 0,0103 \times 10^{-8} Q_{(60V-6h)} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

D_{ap} = Coeficiente de difusão aparente (cm^2/s)

$Q_{(60V-6h)}$ = carga total passante com ddp de 60 V durante
6 horas de ensaio.

No entanto, para tornar-se possível avaliar a relação entre a espessura de revestimento e a expectativa de vida útil dos sistemas, utilizou-se coeficiente de Difusão Aparente (D_{ap}) para cloretos, aplicando-se os resultados posteriormente à segunda Lei de Fick, conforme segue:

$$\frac{C_{cl} - C_0}{C_s - C_0} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{e_{cl}}{2\sqrt{Def_{cl}t}}\right) \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

C_{cl} = teor de cloretos na profundidade e_{cl} , no tempo (%)

C_{cs} = teor de cloretos na superfície do componente estrutural de concreto, admitido como constante (%)

C_0 = teor inicial de cloretos no interior do componente estrutural de concreto (%)

Def_{cl} = Coeficiente efetivo de difusão de cloretos (cm^2/s)

e_{cl} = profundidade atingida pela frente de cloretos com teor de cloretos igual a C_{cl} (cm)

Para aplicar a lei de Fick é necessário determinar os coeficientes superficiais (C_s), coeficiente de penetração (C_0) e requer a definição do fator $\operatorname{Erf}_{(Z)}$ através da função estatística de erro de Gauss.

Mediante a determinação de Z , pela tabela da função de Erro de Gauss juntamente com os valores da Difusão aparente (D_{ap}), desenvolveu-se os resultados em função de tempos pré-determinados para definir a espessura de ativação da corrosão.

Para a construção dos gráficos, foram usados valores de C_s iguais a 0,9%; 1,8% e 3,0%. Estes valores foram extraídos do trabalho de Medeiros (2008) e se justificam, pois o valor de C_{cl} é igual ao limite crítico de para a desp passivação das armaduras por corrosão causadas por ataque de cloretos. Este limite foi fixado em 0,4% sobre a massa de cimento por ser o valor mais aceito em meio técnico. Assim o período de iniciação da corrosão de armaduras é na verdade o tempo necessário para que o teor de íons cloretos na superfície das armaduras atinja 0,4% sobre a massa de cimento, ou seja, a vida útil da estrutura.

Helene (2003) especifica teor de referência ou orientativo para um concreto com f_{ck} entre 20 e 30 MPa, a/c entre 0,48 e 0,68 submetido a névoa salina. Esta especificação encaixa-se em nossa amostragem.

Segundo Medeiros (2008), o valor referente a 3,0% refere-se à perfis de cloretos de uma estrutura real com 22 anos de idade e submetida a um ambiente contaminado com cloretos (extraído do trabalho de Guimarães, 2000). O valor de 1,8% foi escolhido por representar um valor intermediário entre os valores justificados.

A seguir apresentam-se os gráficos das figuras 25, 26 e 27, contendo os resultados dos cálculos estimativos de tempo de penetração de íons cloretos para os sistemas de proteção estudados em função dos coeficientes empíricos definidos para as concentrações superficiais e de limite de crítico de cloretos, em função do coeficiente de difusão obtido no ensaio de migração.

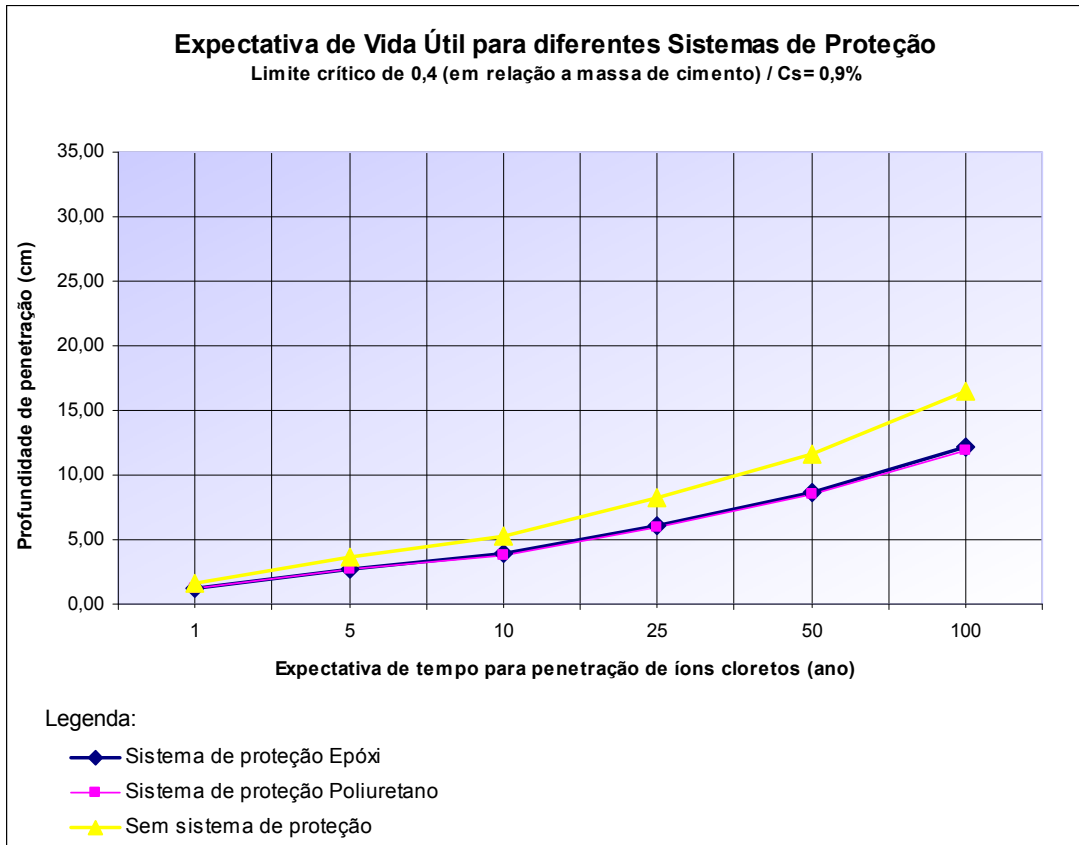


Figura 25. Gráfico comparativo de expectativa de vida útil para coeficiente superficial de 0,9%

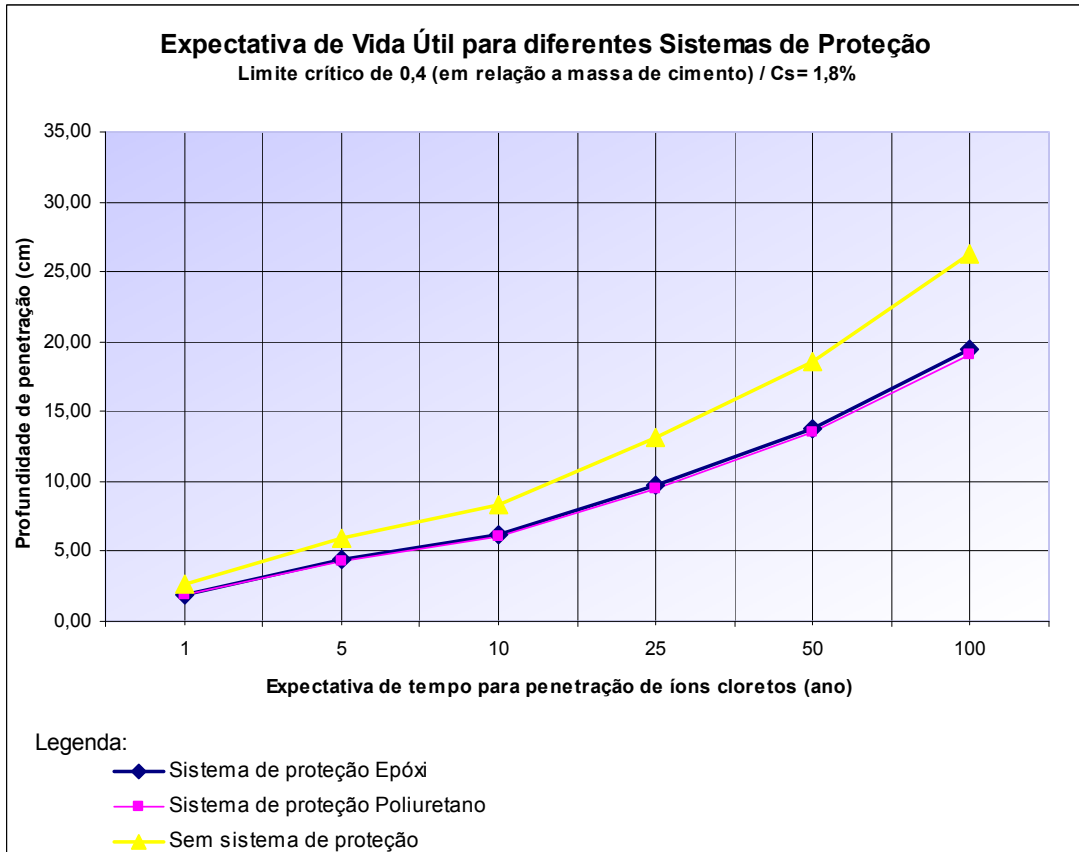


Figura 26. Gráfico comparativo de expectativa de vida útil para coeficiente superficial de 1,8%

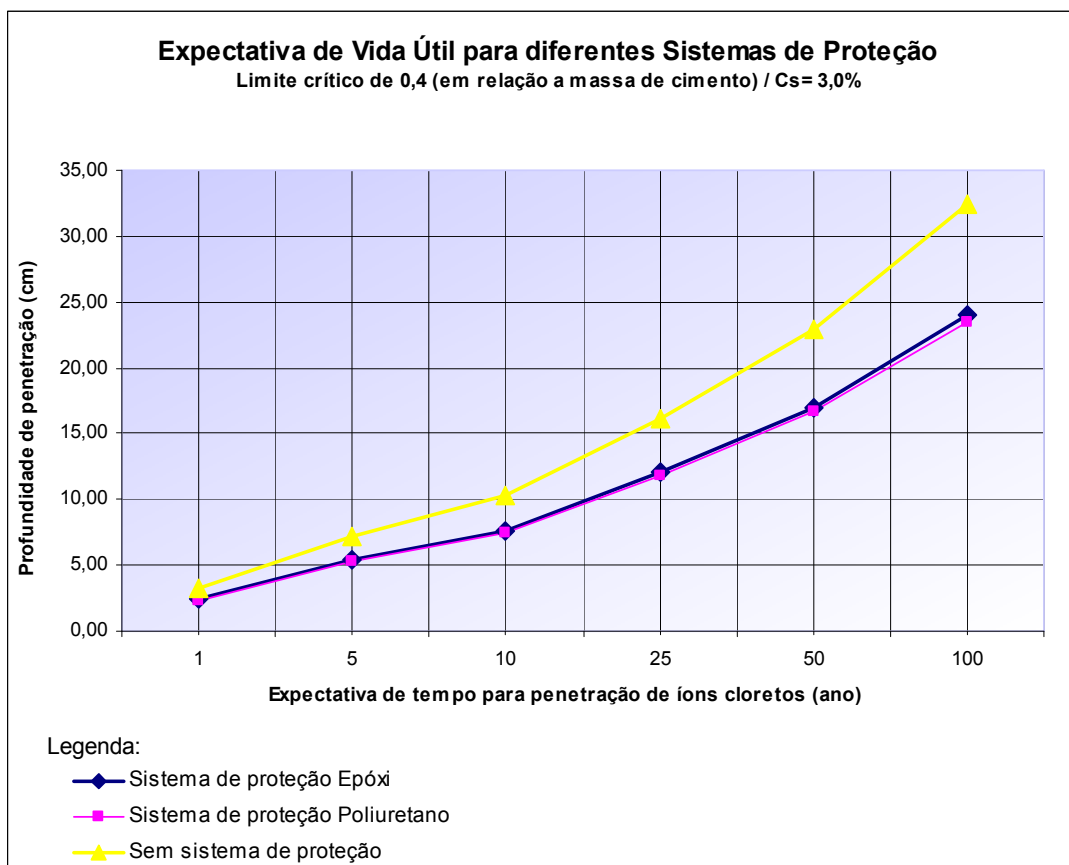


Figura 27. Gráfico comparativo de expectativa de vida útil para coeficiente superficial de 3,0%

Os gráficos das figuras 25 a 27 demonstram a eficiência dos dois sistemas em questão em comparação com as amostras de referência. Também pôde-se observar que não existe diferença significativa entre os sistemas para um mesmo teor superficial de cloretos.

Constatou-se que aumentado o teor de cloretos superficiais, de 0,9% para 1,8%, e de 1,8% para 3,0%, a relação entre o tempo estimado e a profundidade de penetração de cloretos define uma tendência a elevação da curva, ou seja, quanto maior o teor de cloretos superficiais, maior deverá ser o cobrimento necessário para manter a durabilidade da estrutura em um tempo pré-definido. Deve-se considerar ainda que estes cobrimentos serão ainda maiores se não houver nenhum tipo de sistema de proteção.

Este capítulo apresentou a análise dos resultados, levando em consideração os aspectos que tiveram correlação com a capacidade dos sistemas de proteção em desempenhar barreira contra a penetração de cloretos, descrevendo os principais aspectos observados durante a fase experimental, bem como a avaliação das diferenças observadas entre os dois sistemas de proteção. No próximo capítulo apresentar-se-á as considerações finais deste trabalho, bem como as sugestões para novos estudos na área.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo apresentar-se-á as considerações finais deste trabalho, bem como as sugestões para novos estudos na área.

Da avaliação dos resultados obtidos no programa experimental, bem como pelas observações realizadas ao longo do experimento os objetivos propostos foram atingidos, pois constataram diferenças entre os dois sistemas de proteção estudados.

Estas diferenças estão relacionadas aos fatores que interferem no mecanismo de deterioração do concreto pela ação de cloretos, como o coeficiente de difusão de vapor, a quantidade de absorção de água e a espessura de cobrimento contaminada pela ação de cloretos.

Inicialmente o ensaio acelerado de migração, segundo a norma ASTM 1202 C (2010), permitiu avaliar a carga passante dos sistemas de proteção, resultando para ambos os sistemas de proteção a “Baixa” difusibilidade de íons cloretos. Este ensaio também permitiu determinar os coeficientes de difusão aparente (D_{ap}) e através do cálculo de Berke e Hicks com este coeficiente, indicado por Medeiros (2008), obteve-se pela segunda Lei de Fick, a relação entre a espessura de cobrimento a expectativa de vida útil para três coeficientes superficiais de teores de cloretos.

Os resultados obtidos indicam pequenas diferenças entre os dois sistemas de proteção, mas com um ganho de aproximadamente 48% em relação aos corpos de prova sem qualquer tipo de proteção.

Obteve-se pela segunda Lei de Fick, a relação entre a espessura de cobrimento, definida em 5 cm para o estudo, e a expectativa de vida útil para três coeficientes de teores de cloretos superficiais, 0,9%, 1,8% e 3,0%, de acordo com o estudo de Medeiros (2008) e Helene (2003). Com base nos gráficos obtidos, constatou-se que quanto maior o teor de cloretos superficiais, maior deverá ser o cobrimento necessário para manter a durabilidade da estrutura. Ressalta-se que os sistemas de proteção em estudo (epóxi e poliuretano) apresentaram desempenho similar, no entanto, o sistema de poliuretano apresentou-se em até 4,46% superior em relação ao sistema epóxi, considerando-se a expectativa de vida útil em anos. Deve-se considerar ainda que, estes cobrimentos serão ainda maiores se não houver nenhum tipo de sistema de proteção a fim de evitar a corrosão das armaduras.

Em confirmação aos ensaios de migração, os resultados obtidos quanto à determinação da espessura de penetração de íons cloretos através do ensaio colorimétrico, indicaram profundidade de penetração menor nos corpos de prova com sistemas de proteção, em comparação aos corpos de prova de referência. As amostras com sistema de proteção apresentaram uma forma de penetração desuniforme e em pontos localizados na

seção da amostra. Já os corpos de prova de referência tiveram uma profundidade de penetração maior e de forma linear/uniforme em toda a seção.

Quanto aos ensaios de absorção por imersão e fervura, constatou-se que as amostras praticamente não apresentaram diferenças em relação aos corpos de prova de referência. Apenas no sistema epóxi verificou-se uma diferença de 19% maior na capacidade de redução da absorção de água.

Neste ensaio o desempenho dos sistemas foi visivelmente comprometido pela atuação da temperatura utilizada, que pode chegar até 100° C, na câmara de imersão e fervura. Após a execução do ensaio, as películas dos sistemas apresentaram-se danificadas, onde foram observadas manchas amareladas no sistema em epóxi e descamação no sistema em poliuretano. O objetivo do ensaio era avaliar os sistemas perante temperaturas mais altas, simulando o micro clima do reservatório. No entanto, conclui-se que o ensaio não pode ser utilizado fazendo-se a fervura, somente em imersão para este tipo de avaliação, pois alteram as características moleculares do sistema em epóxi, que ao atingir 60° C, inicia o processo de transição vítrea, descaracterizando a capacidade de retenção de água do produto, e conseqüentemente afetando o seu desempenho. Da mesma forma, o sistema em poliuretano, apesar de apresentar maior flexibilidade, imerso ou em altas temperaturas, apresentou descamações de sua película que podem comprometer a estrutura molecular e ocorrer a descaracterização da barreira contra a penetração de água.

E quanto aos resultados de absorção por capilaridade em relação à massa específica indicaram que o sistema epóxi obteve melhor desempenho, com o índice de 81% superior em relação à capacidade de redução de absorção, comparado à amostra de referência (sem proteção). Já o sistema em poliuretano apresentou o índice de 15% de capacidade de redução de água, comparativamente inferior ao outro sistema.

Quanto à altura da ascensão capilar, os dados demonstram a diferença entre os corpos de prova de referência e os protegidos com sistema epóxi, constatando-se uma redução de absorção interna de 60% e 100%, ou seja, num dos corpos de prova houve um bloqueio da absorção de água. No entanto, em comparação aos resultados dos corpos de prova com sistema em poliuretano, obteve-se apenas 8,3% de redução em relação à amostra de referência.

Neste caso, a tendência de absorção pode não estar relacionada ao desempenho do sistema, e sim à existência de falhas no processo de preparação do substrato e/ou finalidade de utilização. Sabe-se que para a aplicação dos sistemas recomendam-se diversos procedimentos que antecedem à este processo, propriamente dito, dentre eles a preparação da superfície que pode incluir até mesmo o estucamento com a finalidade de regularização de imperfeições e porosidades. Entretanto, deve-se ressaltar que

para este estudo, não foram realizados nenhum tipo de regularização ou estucamento nos corpos de prova, visando manter características idênticas nas bases de substrato para a aplicação de cada sistema de proteção e avaliar sua eficiência. Quanto à finalidade de utilização, ressalta-se que estes sistemas não são formulados para uso submerso, ou seja, não funcionam como impermeabilizantes e podem ter sua eficiência comprometida.

Dentre os fatores que podem ter influência no sistemas de proteção em estudo tem-se que:

- A película de epóxi aparentemente cobre com mais facilidade as imperfeições constatadas nos corpos de prova, isto porque a viscosidade deste tipo de sistema de proteção é de 1200 mPa, enquanto o sistema em poliuretano apresenta viscosidade de 300 mPa, sendo assim, sua capacidade de cobertura de superfície em situações de irregularidade é inferior que o sistema epóxi, ambos à base de água;
- As espessuras finais de cada sistema de proteção são diferentes, cerca de 400 μ para o sistema epóxi e 280 μ para o sistema em poliuretano;
- O sistema epóxi apresenta uma camada de primer, que neste caso pode ter interferido na aderência ao substrato e
- Estudar o efeito do transporte de água em sistemas de proteção abertos à difusão de vapor.

O programa experimental demonstra que as diferenças constatadas entre os sistemas de proteção estudados não configuram distinção em relação à eficiência dos produtos, mas permitiu identificar outras fontes de interferência relacionadas ao desempenho do sistemas de proteção como a conformação estrutural, condição da superfície da estrutura, formas de aplicação dos produtos e definição e controle das suas espessuras.

5.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se a seguir, proposições para novos trabalhos relacionados ao presente estudo:

- Fazer o estudo utilizando-se novo traço de concreto, visando melhorar a condições superficiais das amostras;
- Fazer o mesmo estudo experimental, utilizando-se o mesmo traço, a mesma amostragem e mesmo sistema de aplicação do sistema proteção, porém com estucamento dos poros ou imperfeições superficiais das amostras, anteriormente à aplicação dos sistemas;
- Realizar o programa experimental adotando-se outros procedimentos de tratamento de substrato, aplicação do sistema e diferentes espessuras;
- Realizar o estudo com outros materiais de sistema de proteção;
- Realizar o programa experimental utilizando-se ensaios de difusão em estado estacionário (névoa salina) e determinação do teor de cloretos por método químico de fluorescência e
- Acrescentar ao programa ensaios de absorção por capilaridade e imersão, evitando-se a fervura, em tempo maior e utilizar outros ensaios de absorção como o método da pipeta e por penetração sob pressão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, W. P. (Edit). Equipe de Furnas, Laboratório de Concreto, Departamento de Apoio e Controle Técnico. **Concreto: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo**. Editora PINI, São Paulo, 1997.

ANDRADE, Maria C. P. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**; tradução e Adaptação Carmona A. e Helene, P. São Paulo, Ed. PINI, 1992.104p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova** – NBR 5738, 2008.

_____. **Ensaio para determinação da resistência à compressão axial** – NBR 5739, 1994.

_____. **Projeto de estruturas de concreto – procedimento** – NBR 6118, 2007.

_____. **Agregados para concreto - especificação** – NBR 7211, 2005.

_____. **Argamassa e concreto - determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos** – NBR 7222, 2005.

_____. **Ensaio de verificação da homogeneidade do concreto – ultrassom** – NBR 8802, 1994.

_____. **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica** – NBR 9778, 2009.

_____. **Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por capilaridade – Método de ensaio** – NBR 9779, 1995.

_____. **Concreto de cimento portland – preparo, controle e recebimento - Procedimento** – NBR 12655, 2006.

_____. **Sistemas de revestimentos de alto desempenho a base de resinas epoxídicas e agregados minerais – Projeto, execução e avaliação do desempenho – Procedimento”** – NBR 14050, 1998.

_____. **Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone** – NM 67, 1998.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Service Life Prediction – State-of-Art Report – Reported by ACI Comittee 365 – 2000**

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for half - cell potentials of uncoated reinforced steel in concrete** - ASTM C-876-91 (Reapproved 1999).

_____. **Water soluble chloride in mortar and concrete** - ASTM C 1218/C-99.

_____. **Standard test method for eletrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration** - ASTM C 1202/C-10.

BERTOLINI, L. **Materiais de Construção: patologia, reabilitação e prevenção**. Tradução Beck, L. M. M. D. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2010. 404p

BERKE, N.S. and HICKS, M.C., **Predicting Times to Corrosion form Filed and Laboratory Data. Techniques to Assess teh Corrosion Activity of Steel Reinforced Concrete Strutuctures**. ASTM STP 1276. Neal S. Berke, Edward Escalante, Charles K. Nmais, and David Whiting, Eds., American Society for Testing and Materiaisl, 1996.

BRANDÃO, A M S **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto**. Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1998.

BISSA, Rodrigo C. R. **Sistemas de impermeabilização e proteção de estruturas de Concreto armado de reservatórios de água tratada atacados por cloretos**. Monografia (Especialização em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2008. 80 p.

CÂNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. Ed. Pini. São Paulo, 1988.

CARVALHO *et al*, R. C. **Recuperação de dois reservatórios enterrados**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 42., 2000, Fortaleza. Anais... Ibracon: Fortaleza: 2000. CD-ROM.

CASTRO *et al.*, A. L. **Métodos de ensaio não destrutivos para estruturas de concreto**. Disponível em <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/151/imprime154418.asp>. Acesso em 24/07/2010 às 13 horas.

DEUTSCHES INSTITUTE FUR NORMUNG DIN **EN 1504 products and systems for protection and repair of concrete structures: definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity**: English version, Berlim, Germany, 2005

FIGUEIREDO, Enio. P. **Avaliação do desempenho de revestimento para proteção da armadura contra a corrosão através de técnicas eletroquímicas - contribuição ao**

estudo de reparo de estruturas de concreto armado. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994. 423 p.

GARRIDO, R.; GREGORIO Lilian. Q.; OLIVAN, Lucy. I.; SCANDIUZZI, Luércio.; TAKI, Olga. S. **Estruturas de Concreto para Abastecimento de Água – Um Estudo das Incidências das Anomalias e Causas.** In: Congresso Brasileiro do Concreto, 52., 2010, Fortaleza. Anais... Ibracon: Fortaleza: 2010.

GENTIL, Vicente. **Corrosão.** 5. ed. Ed. LTC. Rio de Janeiro, 2007. 353p.

HELENE, Paulo R. L. (Edit). **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto.** Rede Rehabilitar. São Paulo, 2003.

HELENE, Paulo .R.L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto,** São Paulo, 2º Edição, Editora. PINI, 1992.

HELENE, Paulo R.L. **Corrosão em armaduras para concreto armado,** São Paulo, Ed. Pini, 1986.

MAIA, Gustavo F. **Recuperação de estruturas de concreto no saneamento.** São Paulo, Revista Concreto e Construções, IBRACON 2007.

MATTOS, Flávio V. **Contribuição ao estudo de argamassas de recuperação superficial em estruturas de concreto armado.** Vitória 2002, Dissertação Universidade Federal do Espírito, 201p.

MEDEIROS, Marcelo H. F. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íons cloretos.** Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Ed. Revisada, 218p

MOREIRA, Pedro M de J. **Contribuição dos revestimentos poliméricos para a durabilidade de betões em ambientes agressivos.** Dissertação (Mestrado). Universidade do Minho – Engenharia Civil – Área de Materiais e Reabilitação da Construção, 2006. Disponível em: <: <http://hdl.handle.net/1822/7287>>. Acesso em 30/11/2010.

PINTO, Jaques; TAKAGI, Emilio Minoru. **Sistemas de impermeabilização para obras de Saneamento.** Disponível em: < http://www.casadagua.com.br/pdf/artigo_saneamento.pdf>. Acesso em 20/10/2008.

PRUDÊNCIO, Walmor. **Durabilidade das estruturas de concreto em água do mar.** In: Resumo Congresso Brasileiro do Concreto, Publicação interna Concremat, IBRACON: Rio de Janeiro, 1978.

RINCÓN, Oladis T.; CARRUYO, Aleida R.; ANDRADE, Carmen; HELENE, Paulo R.L.; DÍAZ, Isabel. **Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado**. Ibero-America, CYTED, Red DURAR, Red Temática XV.B Durabilidad de la Armadura, 1997.

SILVA, Fernanda. G. **Estudo de concretos de alto desempenho frente à ação de cloretos**. Tese (Doutorado). Interunidades – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. 220 p.

SOUZA, Vicente C. M.; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1 ed. São Paulo, Editora PINI, 1998. 255p.

APÊNDICE B - FICHA DE REGISTRO DO ENSAIO DE ULTRASSOM

DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRA-SÔNICA NO CONCRETO (NBR 8802/94)

Cliente: IDD - TCC			
Edificação: -			
Técnico Responsável: André / Lilian / Virginia			
Data: 21/10/2010	Hora Início: 10:00	Hora Término: 12:00	
Condições Climáticas: (x) () ()		Temperatura (°C): 25	UR (%): -

Distância: 0,20 (m)

Nº do CP	T = tempo (µs)
1	3800
2	3750
3	3540
4	3640
5	3740
6	3640
7	3610
8	3740
9	3630
10	3580
11	3830
12	3690
13	3620
14	3680
15	3560
16	3660
17	3610
18	3690
19	3610
20	3610
21	3660
22	3880
23	3640
24	3530
25	3660
26	3610
27	3540
28	3610

Observações:
Transmissão: (x) Direta () Indireta
Transdutores utilizados: () de ponta (x) de face

CROQUIS

APÊNDICE C - FICHA DE REGISTRO DO ENSAIO PROFUNDIDADE DE PENETRAÇÃO DE CLORETOS

Tabela A.1. Resultados obtidos nos ensaios

TIPO DE SISTEMA DE PROTEÇÃO		Profundidade de Penetração de Cloretos (cm)		
		01	02	03
Nenhum	Mínimo	1,5	1,6	1,9
	Máximo	2,0	2,0	2,3
Epóxi	Mínimo	0,5	1,0	1,3
	Máximo	1,5	1,6	1,6
Poliuretano	Mínimo	0,9	1,0	0,9
	Máximo	1,5	2,	1,3

APÊNDICE D - CÁLCULO DA FUNÇÃO DE ERRO DE GAUSS

Tabela A.2. Função de Erro (Gauss)

z	erf z	z	erf z	z	erf z	z	erf z
0,000	0,0000	0,400	0,4284	0,850	0,7707	1,600	0,9763
0,025	0,0282	0,450	0,4755	0,900	0,7970	1,700	0,9838
0,050	0,0564	0,500	0,520	0,950	0,8209	1,800	0,9891
0,100	0,1125	0,550	0,5633	1,000	0,8427	1,900	0,9928
0,150	0,1680	0,600	0,6039	1,100	0,8802	2,000	0,9953
0,200	0,2227	0,650	0,6420	1,200	0,9103	2,200	0,9981
0,250	0,2763	0,700	0,6778	1,300	0,9340	2,400	0,9993
0,300	0,3286	0,750	0,7112	1,400	0,9523	2,600	0,9998
0,350	0,3794	0,800	0,7421	1,500	0,9661	2,800	0,9999

ANEXOS

ANEXO A - FICHA TÉCNICA DO SISTEMA DE PROTEÇÃO EM EPÓXI



MC-DUR 1100 diffusion

Resina epóxi a base d'água para proteção e impermeabilização de estruturas

Propriedades do produto

- Revestimento aberto à difusão de vapor de água
- Elevada resistência química e mecânica sem odor (isento de solventes)
- Permite a aplicação em substratos levemente úmidos
- Não permite a passagem de íons cloreto
- Revestimentos pigmentado com excelentes propriedades de limpeza

Áreas de aplicação

- Estações de tratamento de água e esgoto, reservatórios de água
- Estruturas portuárias
- Pisos sujeitos a fluxo de água ascendente
- Áreas industriais (parte interna)
- Estruturas subterrâneas, como subsolos de garagem
- Substratos levemente úmidos e sujeitos a fluxo de água ascendente
- Aprovação REACH para cenários de exposição: inalação e aplicação à longo prazo

Aplicação

Preparação do Substrato

A superfície pode ser preparada com lixamento abrasivo ou hidrojateamento de alta pressão com 3.000 libras. Em caso de lixamento com disco diamantado (vídea), deve ser seguido por aspiração da poeira. As contaminações de óleo ou graxa podem ser removidas com desengraxante MC-Duroprop B.

Primer

MC-DUR 1101 é um primer isento de solvente, transparente que deve ser aplicado sobre o substrato preparado com rolo de lã de carneiro de pêlo curto com consumo de 300 g/m².

Estucamento

Após a aplicação do primer, as porosidades e pequenas cavidades devem ser preenchidas com estucamento que consiste do MC-DUR 1101 misturado com sílica MC-325 na proporção de 1 : 3. O consumo de MC-DUR 1101 é de 600 g/m².

Aplicação

MC-DUR 1100 diffusion é aplicado em duas demãos com auxílio de rolo de pêlo curto de lã de carneiro se usado como pintura em áreas verticais ou horizontais (tetos).

Informações importantes

As condições de temperatura e características do local da aplicação determinam os tempos de aplicação, resistências para trânsito de pessoas e resistência total.

Exposições químicas e de raios ultravioleta podem causar mudança na coloração do produto, mas não afetam as propriedades e utilização do revestimento.

Superfícies expostas a solicitações mecânicas e químicas estão sujeitas a desgastes, riscos ou arrancamentos. Favor consultar o departamento técnico sobre a conservação e a manutenção do revestimento.


Dados Técnicos – MC-DUR 1100 diffusion

Característica	Unidade	Valor	Observações
Proporção da mistura (A:B)	peso	6:1	endurecedor : base
Densidade	g/cm³	Aprox. 1,70	-
Viscosidade	mPa.s	Aprox. 1.200	20°C e 50% umidade relativa
Pot Life	minutos	Aprox. 30	20°C e 50% umidade relativa
Resistência total	dias	7	20°C e 50% umidade relativa
Resistência de compressão axial	MPa	Aprox. 37	Após 7 dias
Resistência ao arranque	MPa	Aprox. 5	Após 7 dias
Consumo	kg/m²/demão	0,3 – 0,4	Pintura de baixa espessura em 2 demãos
	kg/m²	2,0 - 2,5	Revestimento autonivelante
	kg/m²	0,4 – 0,5	Pintura de alta espessura

Dados Técnicos – MC-DUR 1101

Proporção da mistura (A:B)	peso	2:1	Base : endurecedor
Densidade	g/cm³	Aprox. 1,10	-
Viscosidade	mPa.s	Aprox. 900	20°C e 50% umidade relativa
Pot Life	minutos	Aprox. 45	20°C e 50% umidade relativa
Consumo	kg/m²	Aprox. 0,3	Primer
	kg/m²	Aprox. 0,6	Estucamento

Características – MC-DUR 1100 diffusion

Agente de Limpeza	Água
Cor	Cinza MC, aprox. RAL 1001, 7023, 7030, 7032, mais cores mediante consulta a cartela RAL
Embalagens	Baldes de 10 kg e 30 kg
Armazenagem	Armazenar em local seco, coberto, arejado e com temperatura inferior a 20 °C
Validade	12 meses a partir da data de fabricação
Descarte	Para a preservação do meio ambiente, favor esvaziar completamente as embalagens
Regulamentação EU- 2004/42	RL2004/42/EG ALL/J (140/140 g/l) Max 19g/l VOC

Características – MC-DUR 1101

Agente de Limpeza	Água
Cor	Transparente
Embalagens	Baldes de 9 kg e 30 kg
Validade	12 meses a partir da data de fabricação
Regulamentação EU- 2004/42	RL2004/42/EG All/J (140/140 g/l) máx 3 g/l VOC

Nota: As informações contidas nesta ficha técnica estão baseadas em nossa experiência e no melhor do nosso conhecimento, porém devem ser ajustadas a cada projeto, aplicação e principalmente às condições locais. Nossos dados se referem a práticas aceitas na engenharia que devem ser considerados durante a aplicação. Não nos responsabilizamos por aplicações erradas. Recomendações verbais diferentes das contidas aqui, não são válidas sem a confirmação por escrito da MC-Bauchemie.

Edição 07/2010. Esta ficha técnica substitui a anterior. Caso seja necessária atualização, uma nova edição pode ser impressa em substituição a esta.

ANEXO B - CERTIFICADO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO EM EPÓXI

Declaration of Conformity

The manufacturer

MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG
Am Kruppwald 1-8
46238 Bottrop

and the notified body

Institut für Massivbau und Baustofftechnologie
Universität Karlsruhe (TH)
Gotthard-Franz-Straße 2
D-76131
(Nr. 0754)

declare according to § 9 of the construction product directive that the following
 surface protection product

MC-DUR 1100 diffusion

described in the technical data sheet and manufactured in the factory of Bottrop

is in compliance with EN 1504-2 under consideration of the accompanying product information
 regarding system build-up and fulfills the requirements for CE marking according to
 Annex ZA of EN 1504-2

The procedures for the assessment of the conformity have been accomplished according to Table
 ZA.2.

The product is subject to factory production control according to EN 1504-2 with the certificate number
 0754-CPD-05-0796.

Bottrop, 23.10.2006



Dr. Hans-Günter Seltmann
 Head of quality management

**Enclosures**

Technical data sheet (system build-up according to the technical data sheet)

ANEXO C - FICHA TÉCNICA DO SISTEMA DE PROTEÇÃO EM POLIURETANO



Emcephob Nanoperm P

Sistema de proteção de superfície pigmentado, com proteção anti-grafite

Propriedades

- Poliuretano bi-componente, base água
- Repelente a sujeira e a água (hidrorepelente)
- Resistente às intempéries e aos raios UV: não fica amarelo
- Resistente à abrasão
- Resistente ao ataque de cloreto
- Resistente a carbonatação
- Aberto à difusão de vapor
- Aplicado por rolo ou pulverização
- Protege contra pichação
- Testado e aprovado de acordo com a ZTV-WG parte 3, parágrafo 4.

Áreas de aplicação

- Sistema de proteção superficial compatível com a linha de reparo da MC
- Proteção preventiva e acabamento de superfícies de concreto
- Proteção contra pichação de estruturas, fachadas, etc
- Além do concreto, também é recomendado para alvenaria, texturas, superfícies metálicas pintadas, sobre pinturas antigas (consultar departamento técnico), etc.

Aplicação

Preparação da superfície

Todos os substratos mencionados devem estar limpos e livre de partículas soltas, poeira, óleos, nata de cimento e outros agentes contaminantes. O substrato deve possuir uma resistência ao arranque de acordo com as regulamentações técnicas. Vapor ou jato d'água de alta pressão são métodos permitidos para preparação superficial.

O substrato deve estar seco antes da aplicação do Emcephob NanoPerm P.

Aplicação

Emcephob NanoPerm P consiste de dois componentes, base e endurecedor, os quais são fornecidos em embalagens pré-dosadas. Antes da aplicação, ambos os componentes são misturados usando um equipamento de baixa rotação até a completa homogeneização. Após a mistura, Emcephob NanoPerm P é vertido em um recipiente limpo e misturado novamente.

Após a completa mistura, o Emcephob NanoPerm P é aplicado com rolo ou por pulverização, sobre o substrato. Sempre em duas demãos.

O Emcephob NanoPerm P não deve ser aplicado sob ou na iminência de chuva e com umidade elevada. Pinturas frescas devem ser protegidas da pichação durante 7 dias

O Emcephob NanoPerm P deve ser sempre aplicado em duas demãos. Se a segunda demão for aplicada fora do tempo recomendado, a primeira demão deverá ser lixada. Se o Emcephob NanoPerm P é aplicado em combinação com o Emcephob WM (agente hidrofóbico) ou Nafufill KM 103, o Emcephob Nanoperm P deve ser aplicado em uma sequência diária.

Remoção da pichação

A pichação é removida até as primeiras 48 horas dela ter ocorrido, com o agente de limpeza, Emcephob Cleaner.

Informações gerais

Nenhum sistema anti-grafite oferece completa proteção contra todos os tipos de pichação.



Dados Técnicos – Emcephob NanoPerm P

Característica	Unidade	Valor	Observações – (23° C e 50% UR)
Densidade	g/cm ³	1,41	
Teor de sólidos	em volume	52	
Proporção de mistura	em peso	10 : 3,5	Base : endurecedor
Pot life	horas	1,0	
Tempo de secagem	horas	Aprox. 4	Secagem ao toque
	dias	Aprox. 7	Resistência - limpeza da pichação
Consumo teórico	g/m ²	150 – 200 por demão	São necessárias 2 demãos: base e acabamento
Resistência à difusão de CO ₂	m	3.628	
Resistência à difusão de vapor de água	m	1,25	
Resistência à chuva	h	Aprox. 6 - 8	
Condições para aplicação	°C	≥ 8 ≤ 30	temperatura do ar e substrato
	°C	≥ 15 ≤ 25	Emcephob NanoPerm P
	%	≤ 80	umidade relativa
	K	3	ponto de orvalho
Tempo entre demãos	horas	Mínimo 8	+ 20°C
		Máximo 72	+ 20°C
		Mínimo 4	+ 30°C
		Máximo 12	+ 30°C

Características – Emcephob NanoPerm P

Tipo de produto	Sistema de proteção de superfície pigmentada
Estado	líquido
Cor	RAL 1024, 5014, 6011, 7023, 7030, 7032, 7035, 7038, 7042, 7044, 8014, 9002, em branco de acordo com a tabela de cores da MC, onix faixas de 1-7
Armazenagem	Pode ser armazenado nas embalagens fechadas por 9 meses. Armazenar em local seco, coberto e arejado
Embalagens	Conjuntos de 10kg e 30kg
Descarte	Para a preservação do meio ambiente, favor esvaziar completamente as embalagens

Nota: As informações contidas nesta ficha técnica estão baseadas em nossa experiência e no melhor do nosso conhecimento, porém devem ser ajustadas a cada projeto, aplicação e principalmente às condições locais. Nossos dados se referem a práticas aceitas na engenharia que devem ser considerados durante a aplicação. Não nos responsabilizamos por aplicações erradas. Recomendações verbais diferentes das contidas aqui, não são válidas sem a confirmação por escrito da MC-Bauchemie.

Edição 01/2006. Esta ficha técnica substitui a anterior. Caso seja necessária atualização, uma nova edição pode ser impressa em substituição a esta.

2

MC- Bauchemie Brasil Indústria e Comércio Ltda
R. Henry Martin, 235 – Tijuco Preto – Vargem Grande Paulista – SP – CEP 06730-000
Tel.: (11) 4159-3050 – Fax.: (11) 4159-7707 – e-mail: info@mc-bauchemie.com.br

www.mc-bauchemie.com.br

ANEXO D - CERTIFICADO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO EM POLIURETANO

Declaration of Conformity

The manufacturer

MC-Baucheemie Möller GmbH & Co. KG
Am Kruppwald 1-8
46238 Bottrop

and the notified body

Institut für Massivbau und Baustofftechnologie
Universität Karlsruhe (TH)
Gottard-Franz-Straße 2
D-76131
(Nr. 0754)

declare according to § 9 of the construction product directive that the following

surface protection product

Emcephob NanoPerm P

described in the technical data sheet and manufactured in the factory of Bottrop

is in compliance with EN 1504-2 under consideration of the accompanying product information
 regarding system build-up and fulfills the requirements for CE marking according to
 Annex ZA of EN 1504-2

The procedures for the assessment of the conformity have been accomplished according to Table
 ZA.2.

The product is subject to factory production control according to EN 1504-2 with the certificate number
 0754-CPD-05-0796.

Bottrop, 23.10.2006



Dr. Hans-Günter Seltmann
 Head of quality management

**Enclosures**

Technical data sheet (system build-up according to the technical data sheet)

ANEXO E - FICHA TÉCNICA - SOLUÇÃO DO REAGENTE DE NITRATO DE PRATA

Dinâmica®*Química Contemporânea Ltda.*

REAGENTES ANALÍTICOS

SOLUÇÕES REAGENTES

LABORATÓRIO DE CONTROLE DE QUALIDADE**Produto :** NITRATO DE PRATA SOLUÇÃO 0,1N (0,1M)**Quantidade :** 01 x 1000ml**Lote :** 42398

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICAÇÕES	RESULTADO
Solução contendo aproximadamente 17g de Nitrato de Prata P.A. p/ 1000ml de Água Destilada.	17g de AgNO ₃ P.A. para 1000ml de H ₂ O destilada	OK
Solução padronizada com Cloreto de Sódio Sal Padrão	Fc: 0.9800 a 1.020	Fc: 1.000
Solução límpida, transparente e livre de sedimentos	Límpida e transparente	OK

Observações : P/ USO EXCLUSIVO EM LABORATÓRIO E FINS INDUSTRIAIS.**Data de Fabricação :** Novembro / 2010**Data de Validade :** Novembro / 2011**Químico Responsável :** CRQ. nº 04414139 - 4ª RegiãoDocumento emitido eletronicamente sob responsabilidade do Controle de Qualidade.
Dispensa assinatura.

ANEXO F - CERTIFICADOS DOS ENSAIOS

 Associação Brasileira de Cimento Portland	ÁREA DE TECNOLOGIA - LABORATÓRIO RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 65359-1	1/3
	Interessado: MC-Bauchemie Brasil Indústria e Comércio Ltda. Endereço: Rua Henry Martin, 235 – CEP 06730-000 – Vargem Grande Paulista/SP Referência: Orçamento 41240	
Amostras nºs: 138.324 a 138.236 Data de entrada: 21.10.2010 Material declarado: Corpos de prova de concreto Período de realização dos ensaios: 21.10.2010 a 18.11.2010 Objetivo: Determinação da difusão de íons cloretos		

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados dos ensaios de difusão de íons cloretos referente a três amostras de concretos contendo 3 corpos-de-prova cilíndricos (10 x 20 cm), cada uma. As amostras enviadas pelo interessado receberam as seguintes identificações:

ABCP	Interessado
138.324	Corpos de prova nºs 09L, 14L e 23L, nestes cps foi aplicado o produto MC-DUR 1100 Diffusion do lado que ficou em contato com a solução de (cloreto de sódio)
138.325	Corpos de prova nºs 16L, 18L e 25L, nestes cps foi aplicado o produto Emcephob NanoPerm P do lado que ficou em contato com a solução de (cloreto de sódio)
138.326	Corpos de prova nºs 04L, 06L e 21L, nestes cps não foi aplicado nenhum produto, foi considerado como REFERÊNCIA

2. MÉTODO DE ENSAIO

ASTM C 1202/94 Difusão de íons cloretos

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.

Av. Torres de Oliveira, 76 - CEP 05347-902 - São Paulo/SP - Fone (11) 3760-5300 - Fax (11) 3760-5340 - e-mail: laboratorio@abcp.org.br



3. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

3.1. Difusão de íons cloretos

A difusão de cloretos pela pasta de cimento desperta grande atenção porque esses íons podem levar ao desencadeamento do processo de corrosão das armaduras, uma das patologias mais comumente identificadas no concreto. Segundo investigação de PAGE e colaboradores, a taxa de difusão varia linearmente com a temperatura e é inversamente proporcional à idade.

Além disso, a difusão é maior para relação a/c 0,60 em comparação com relações a/c 0,40 a 0,50, já que pastas de cimento com relação a/c 0,60 têm maior frequência de poros contínuos maiores que 100µm que pastas com relações de 0,40 a 0,50, que nas mesmas condições, apresentam poros com diâmetro médio próximo de 40nm.

Para investigar o comportamento dos concretos confeccionados frente à difusibilidade dos íons cloreto, adotou-se o método ASTM C – 1202/94 - “*Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration*”, sendo as medidas feitas após cura de 28 dias.

Este procedimento consiste em submeter uma amostra de concreto com 5cm de altura e 10cm de diâmetro (extraída no terço médio de um corpo-de-prova cilíndrico de 10cm de diâmetro e 20cm de altura) à passagem de corrente elétrica, por um período de 6 horas, sob uma diferença de potencial de 60V. Os corpos-de-prova têm uma das extremidades imersas em solução de hidróxido de sódio e a outra em solução de cloreto de sódio.

A carga total passante (C), é relacionada com a resistência do concreto à penetração de íons cloretos. Os resultados obtidos são semiquantitativos, tendo em vista a amplitude das faixas classificatórias apresentadas na ASTM C 1202/94 *Tabela 1*.

TABELA 1 – Critério de classificação para difusibilidade de cloretos

Carga Passante (Coulombs)	Penetração dos íons cloreto
> 4000	Elevada
2000 - 4000	Moderada
1000 - 2000	Baixa
100 - 1000	Muito baixa
< 100	Desprezível

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.



4. RESULTADOS

Os corpos de prova foram preparados no laboratório da ABCP e deixados com as dimensões exigidas para a realização dos ensaios e devolvidos para o interessado para a aplicação dos produtos. Após a aplicação dos produtos MC- DUR 1100 Diffusion e Emcephob NanoPerm P os corpos de prova retornaram para o laboratório da ABCP para serem submetidos ao ensaio de difusão de íons cloretos. Os resultados dos ensaios de penetração de íons cloreto são apresentados na *Tabela 2*.

TABELA 2 – Difusão dos íons cloretos

Identificação dos concretos		Difusão dos Íons Cloreto	
ABCP	Interessado	Carga media Passante em Coulombs (C)	Classificação ASTM C 1202
138.324	MC- DUR 1100 Diffusion	1226	BAIXA
138.325	Emcephob NanoPerm P	1162	BAIXA
138.326	REFERÊNCIA	2499	MODERADA

São Paulo, 26 de novembro de 2010


Engº Roberto Curti
Supervisor Técnico


Geól. Arnaldo Forti Baiton
CREA 0600586647
Chefe do Laboratório



RELATÓRIO DE ENSAIO	Nº:	01
CENTRO DE CUSTO	Nº:	2.3.8.001.0000
PEDIDO DE ENSAIO	Nº:	121.594
PÁGINA	Nº:	01/02

A : Laboratório da Filial São Paulo
Referência : Trabalho Virginia
Amostra : Coletadas e entregues em nosso laboratório em 18/11/10.

ARGAMASSA E CONCRETO ENDURECIDOS
DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE
(NBR-9779/95)

• CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

ITEM	DESCRIÇÃO	ITEM	DESCRIÇÃO
CORPO DE PROVA TIPO	Moldado	DIMENSÕES $\varnothing$ (cm)	10,0
IDADE (dias)	-	h (cm)	20,0
DATA DA CONCRETAGEM	-	PERÍODO (DIAS)	-
UMIDADE DE ENTRADA (%)	-	VIA	-
MÉTODO DE CURA	-	DATA DO ENSAIO	23/11/10
PRESSÃO (Kg/cm ²)	-	UMIDADE DE SAÍDA (%)	-
ABATIMENTO (mm)	n/d	TEMPERATURA (°C)	-
CONSUMO (Kg/m ³)	-	UR (%)	-
$\varnothing$ DO BICO DO MANGOTE (°)	-	TRAÇO	-
ADITIVO	-	AVANÇO (m)	-
LOCAL DE APLICAÇÃO	Série 3 - Revestimento Poliuretano		

• RESULTADOS OBTIDOS

CP Nº	DIMENSÕES (cm)		ABSORÇÃO CAPILAR (g/cm ²)	ALTURA DA ASCENSÃO CAPILAR INTERNA (cm)
	$\varnothing$	altura		
15	10,0	20,0	0,598	5,5
13	10,0	20,0	0,828	8,0
-	-	-	-	-
Média			0,713	6,8
Máxima			0,828	8,0

É expressamente proibida a reprodução parcial deste documento sem prévia autorização.

Rua Madre Emília de Villeneuve, 434
 CEP 04367-090 São Paulo-SP
 PABX (11) 5567-1900 | FAX (11) 5563-6640 | SAC (11) 5563-0059

ECLAB 016
 REV 01_10



RELATÓRIO DE ENSAIO	Nº:	01
CENTRO DE CUSTO	Nº:	2.3.8.001.0000
PEDIDO DE ENSAIO	Nº:	121.594
PÁGINA	Nº:	02/02

• CROQUI DA ASCENSÃO CAPILAR

CORPO DE PROVA Nº	CONFIGURAÇÃO EXTERNA	CONFIGURAÇÃO INTERNA	ASCENSÃO (cm)
01			24
			18
			12
			6
			0
02			24
			18
			12
			6
			0
03			24
			18
			12
			6
			0

Análise visual dos corpos de prova

Cp nº	Normal	Oclusão	Sombra	Lamin.	Fissura
15	x				
13	x				

Oclusão: Incorporação do material segregado.

Sombra: Vazios existentes atrás da armadura

Laminação: Camadas visíveis nos corpos de prova

São Paulo, 06 de Dezembro de 2010.

Meloisa Bolorino Pires
Meloisa Bolorino Pires
 Coordenadora Técnica / Laboratório
 Área de Negócios Inspeções e Laboratório
 Engenharia Civil / Concremat

NOTA IMPORTANTE
 OS RESULTADOS DESTES ENSAIOS TEM SIGNIFICADO
 RESTRITO, SE APLICAM TÃO SOMENTE A AMOSTRA
 ENTREGUE PELO INTERESSADO

É expressamente proibida a
 reprodução parcial deste
 documento sem prévia autorização.

Rua Madre Emília de Villeneuve, 434
 CEP 04367-090 São Paulo-SP
 PABX (11) 5567-1900 | FAX (11) 5563-6640 | SAC (11) 5563-0059

ECLAB 016
 REV 01_10



RELATÓRIO DE ENSAIO	Nº:	01-A
CENTRO DE CUSTO	Nº:	2.3.8.001.0000
PEDIDO DE ENSAIO	Nº:	121.594
PÁGINA	Nº:	01/02

A : Laboratório da Filial São Paulo
Referência : Trabalho Virginia
Amostra : Coletadas e entregues em nosso laboratório em 18/11/10.

ARGAMASSA E CONCRETO ENDURECIDOS
DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE
(NBR-9779/95)

• CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

ITEM	DESCRIÇÃO	ITEM	DESCRIÇÃO
CORPO DE PROVA TIPO	Moldado	DIMENSÕES $\varnothing$ (cm)	10,0
IDADE (dias)	-	h (cm)	20,0
DATA DA CONCRETAGEM	-	PERÍODO (DIAS)	-
UMIDADE DE ENTRADA (%)	-	VIA	-
MÉTODO DE CURA	-	DATA DO ENSAIO	23/11/10
PRESSÃO (Kg/cm ²)	-	UMIDADE DE SAÍDA (%)	-
ABATIMENTO (mm)	n/d	TEMPERATURA (°C)	-
CONSUMO (Kg/m ³)	-	UR (%)	-
$\varnothing$ DO BICO DO MANGOTE (°)	-	TRAÇO	-
ADITIVO	-	AVANÇO (m)	-
LOCAL DE APLICAÇÃO	Série 1- Sem revestimento		

• RESULTADOS OBTIDOS

CP Nº	DIMENSÕES (cm)		ABSORÇÃO CAPILAR (g/cm ²)	ALTURA DA ASCENSÃO CAPILAR INTERNA (cm)
	$\varnothing$	altura		
17	10,0	20,0	0,789	7,0
19	10,0	20,0	0,891	8,0
-	-	-	-	-
Média			0,840	7,5
Máxima			0,891	8,0

É expressamente proibida a reprodução parcial deste documento sem prévia autorização.

Rua Madre Emília de Villeneuve, 434
 CEP 04367-090 São Paulo-SP
 PABX (11) 5567-1900 | FAX (11) 5563-6640 | SAC (11) 5563-0059

ECLAB 016
 REV 01_10



RELATÓRIO DE ENSAIO	Nº:	01-B
CENTRO DE CUSTO	Nº:	2.3.8.001.0000
PEDIDO DE ENSAIO	Nº:	121.594
PÁGINA	Nº:	01/02

A : Laboratório da Filial São Paulo
 Referência : Trabalho Virginia
 Amostra : Coletadas e entregues em nosso laboratório em 18/11/10.

ARGAMASSA E CONCRETO ENDURECIDOS
DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE
(NBR-9779/95)

• **CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA**

ITEM	DESCRIÇÃO	ITEM	DESCRIÇÃO
CORPO DE PROVA TIPO	Moldado	DIMENSÕES $\varnothing$ (cm)	10,0
IDADE (dias)	-	h (cm)	20,0
DATA DA CONCRETAGEM	-	PERÍODO (DIAS)	-
UMIDADE DE ENTRADA (%)	-	VIA	-
MÉTODO DE CURA	-	DATA DO ENSAIO	23/11/10
PRESSÃO (Kg/cm ²)	-	UMIDADE DE SAÍDA (%)	-
ABATIMENTO (mm)	n/d	TEMPERATURA (°C)	-
CONSUMO (Kg/m ³)	-	UR (%)	-
$\varnothing$ DO BICO DO MANGOTE (°)	-	TRAÇO	-
ADITIVO	-	AVANÇO (m)	-
LOCAL DE APLICAÇÃO	Série 2 - Revestimento Epóxi cinza.		

• **RESULTADOS OBTIDOS**

CP Nº	DIMENSÕES (cm)		ABSORÇÃO CAPILAR (g/cm ²)	ALTURA DA ASCENSÃO CAPILAR INTERNA (cm)
	$\varnothing$	altura		
02	10,0	20,0	0,191	4,5
05	10,0	20,0	0,127	0,0
-	-	-	-	-
Média			0,159	
Máxima			0,191	4,5

É expressamente proibida a
reprodução parcial de
documento sem prévia autorização.

Rua Madre Emília de Villeneuve, 434
 CEP 04367-090 São Paulo-SP
 PABX (11) 5567-1900 | FAX (11) 5563-6640 | SAC (11) 5563-0059

ECLAB 016
 REV 01_10



RELATÓRIO DE ENSAIO	Nº:	01-B
CENTRO DE CUSTO	Nº:	2.3.8.001.0000
PEDIDO DE ENSAIO	Nº:	121.594
PÁGINA	Nº:	02/02

• CROQUI DA ASCENSÃO CAPILAR

CORPO DE PROVA Nº	CONFIGURAÇÃO EXTERNA	CONFIGURAÇÃO INTERNA	ASCENSÃO (cm)
01			24
			18
			12
			6
			0
02			24
			18
			12
			6
			0
03			24
			18
			12
			6
			0

Análise visual dos corpos de prova

Cp nº	Normal	Oclusão	Sombra	Lamin.	Fissura
02	x				
05	x				

Oclusão: Incorporação do material segregado.

Sombra: Vazios existentes atrás da armadura

Laminação: Camadas visíveis nos corpos de prova

São Paulo, 06 de Dezembro de 2010.

Meloisa Bolorino Pires
Meloisa Bolorino Pires
 Coordenadora Técnica / Laboratório
 Área de Negócios Inspeções e Laboratório
 Engenharia Concremat

NOTA IMPORTANTE
 OS RESULTADOS DESTES ENSAIOS TEM SIGNIFICADO
 RESTRITO, SE APLICAM TÃO SOMENTE A AMOSTRA
 ENTREGUE PELO INTERESSADO

É expressamente proibida a
 reprodução parcial desde
 documento sem prévia autorização.

Rua Madre Emília de Villeneuve, 434
 CEP 04367-090 São Paulo-SP
 PABX (11) 5567-1900 | FAX (11) 5563-6640 | SAC (11) 5563-0059

ECLAB 016
 REV 01_10

		Ensaio NBR 9086 1998	RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 01 CENTRO DE CUSTO Nº: 2.3.8.001.0000 PEDIDO DE ENSAIO Nº: 121.595 PÁGINA Nº: 01/03
		CRL 0037	

A : Laboratório da Filial São Paulo
Referência : Trabalho Virginia
Amostra : Coletada e entregue em nosso laboratório em 16/11/10.

ARGAMASSAS E CONCRETOS ENDURECIDOS
DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E
MASSA ESPECÍFICA
(ABNT NBR-9778/06)

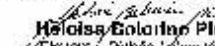
• CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

ITEM	DESCRIÇÃO	ITEM	DESCRIÇÃO
CORPO DE PROVA TIPO	Moldado	DIMENSÕES $\varnothing$ (cm)	10,0
IDADE (dias)	Imediato	h (cm)	20,0
DATA DA CONCRETAGEM	-	PERÍODO (dias)	-
UMIDADE DE ENTRADA (%)	-	VIA	-
MÉTODO DE CURA	-	DATA DO ENSAIO	16/11/10
PRESSÃO (kgf/cm ²)	-	UMIDADE DE SAÍDA (%)	-
ABATIMENTO (mm)	n/d	TEMPERATURA (°C)	-
CONSUMO (kg/m ³)	-	UR (%)	-
$\varnothing$ DO BICO DO MANGOTE (")	-	TRAÇO	-
ADITIVO	-	AVANÇO (m)	-
LOCAL DE APLICAÇÃO	Série 1 - Sem revestimento		

• RESULTADOS OBTIDOS

PARÂMETRO		CP 26	CP 20	CP 03	MÉDIA
ABSORÇÃO APÓS IMERSÃO E FERVURA	(%)	6,9	6,8	6,7	6,8
ÍNDICE DE VAZIOS APÓS SATURAÇÃO E FERVURA	(%)	15,0	14,6	14,6	14,8
MASSA ESPECÍFICA DA AMOSTRA SECA	(g/cm ³)	2,160	2,154	2,176	2,163
MASSA ESP. DA AMOSTRA SATURADA APÓS FERVURA	(g/cm ³)	2,310	2,301	2,322	2,311
MASSA ESPECÍFICA REAL	(g/cm ³)	2,541	2,524	2,549	2,536

São Paulo, 06 de Dezembro de 2010.


Heloisa Galvão Pires
 Engenheira Civil - Habilitação
 Área de Engenharia de Estruturas e Edificações
 Empresa Concremat

NOTA IMPORTANTE
 OS RESULTADOS DESTES ENSAIOS TEM SIGNIFICADO
 RESTRITO, SE APLICAM SOMENTE A AMOSTRA
 ENTREGUE PELO INTERESSADO

É expressamente proibida a
 reprodução parcial deste
 documento sem prévia autorização.

Rua Madre Emília de Vilhense, 434
 CEP 04367-090 São Paulo-SP
 PABX (11) 5567-1900 | FAX (11) 5563-6640 | SAC (11) 5563-0059

ECLAB 017
 REV 09_08
 apt



RELATÓRIO DE ENSAIO	Nº:	01
CENTRO DE CUSTO	Nº:	2.3.8.001.0000
PEDIDO DE ENSAIO	Nº:	121.595
PÁGINA	Nº:	02/03

A : Laboratório da Filial São Paulo
Referência : Trabalho Virginia
Amostra : Coletada e entregue em nosso laboratório em 16/11/10.

ARGAMASSAS E CONCRETOS ENDURECIDOS
DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E
MASSA ESPECÍFICA
(ABNT NBR-9778/06)

• **CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA**

ITEM	DESCRIÇÃO	ITEM	DESCRIÇÃO
CORPO DE PROVA TIPO	Moldado	DIMENSÕES $\varnothing$ (cm)	10,0
IDADE (dias)	Imediato	h (cm)	20,0
DATA DA CONCRETAGEM	-	PERÍODO (dias)	-
UMIDADE DE ENTRADA (%)	-	VIA	-
MÉTODO DE CURA	-	DATA DO ENSAIO	16/11/10
PRESSÃO (kgf/cm ²)	-	UMIDADE DE SAÍDA (%)	-
ABATIMENTO (mm)	n/d	TEMPERATURA (°C)	-
CONSUMO (kg/m ³)	-	UR (%)	-
$\varnothing$ DO BICO DO MANGOTE (")	-	TRAÇO	-
ADITIVO	-	AVANÇO (m)	-
LOCAL DE APLICAÇÃO	Série 2 - Revestimento Epóxi		

• **RESULTADOS OBTIDOS**

PARÂMETRO		CP 01	CP 08	CP 10	MÉDIA
ABSORÇÃO APÓS IMERSÃO E FERVURA	(%)	5,1	5,8	5,6	5,5
ÍNDICE DE VAZIOS APÓS SATURAÇÃO E FERVURA	(%)	11,2	12,7	12,1	12,0
MASSA ESPECÍFICA DA AMOSTRA SECA	(g/cm ³)	2,189	2,182	2,183	2,185
MASSA ESP. DA AMOSTRA SATURADA APÓS FERVURA	(g/cm ³)	2,301	2,309	2,304	2,305
MASSA ESPECÍFICA REAL	(g/cm ³)	2,466	2,500	2,485	2,483

São Paulo, 06 de Dezembro de 2010.

Handwritten signature: Hilda Galvão Pires
Hilda Galvão Pires
Engenheira Civil - CREA 10000000000000000000
Arce da Engenharia e Construção Ltda.
Empresas Concremat

É expressamente proibida a
reprodução parcial deste
documento sem prévia autorização.

Rua Madre Emília de Villeneuve, 434
CEP 04367-090 São Paulo-SP
PABX (11) 5567-1900 | FAX (11) 5563-6640 | SAC (11) 5563-0059

ECLAB 017
REV 09_08
apf



RELATÓRIO DE ENSAIO	Nº:	01
CENTRO DE CUSTO	Nº:	2.3.8.001.0000
PEDIDO DE ENSAIO	Nº:	121.595
PÁGINA	Nº:	03/03

A : Laboratório da Filial São Paulo
Referência : Trabalho Virginia
Amostra : Coletada e entregue em nosso laboratório em 16/11/10.

ARGAMASSAS E CONCRETOS ENDURECIDOS
DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E
MASSA ESPECÍFICA
(ABNT NBR-9778/06)

• **CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA**

ITEM	DESCRIÇÃO	ITEM	DESCRIÇÃO
CORPO DE PROVA TIPO	Moldado	DIMENSÕES $\varnothing$ (cm)	10,0
IDADE (dias)	Imediato	h (cm)	20,0
DATA DA CONCRETAGEM	-	PERÍODO (dias)	-
UMIDADE DE ENTRADA (%)	-	VIA	-
MÉTODO DE CURA	-	DATA DO ENSAIO	16/11/10
PRESSÃO (kgf/cm ²)	-	UMIDADE DE SAÍDA (%)	-
ABATIMENTO (mm)	n/d	TEMPERATURA (°C)	-
CONSUMO (kg/m ³)	-	UR (%)	-
$\varnothing$ DO BICO DO MANGOTE (*)	-	TRAÇO	-
ADITIVO	-	AVANÇO (m)	-
LOCAL DE APLICAÇÃO	Série 3 - Revestimento Poliuretano		

• **RESULTADOS OBTIDOS**

PARÂMETRO		CP 27	CP 24	CP 11	MÉDIA
ABSORÇÃO APÓS IMERSÃO E FERVURA	(%)	7,0	6,8	6,8	6,9
ÍNDICE DE VAZIOS APÓS SATURAÇÃO E FERVURA	(%)	15,2	14,8	14,7	14,8
MASSA ESPECÍFICA DA AMOSTRA SECA	(g/cm ³)	2,161	2,155	2,171	2,163
MASSA ESP. DA AMOSTRA SATURADA APÓS FERVURA	(g/cm ³)	2,343	2,301	2,318	2,311
MASSA ESPECÍFICA REAL	(g/cm ³)	2,547	2,524	2,545	2,539

São Paulo, 06 de Dezembro de 2010.

Helisa Galvão Pires
Helisa Galvão Pires
Engenheira Civil - Habilitação
Arquiteta - Registro Profissional nº 12.121/10
Empresas Concremat

É expressamente proibida a
reprodução parcial deste
documento sem prévia autorização.

Rua Madre Emília de Vilhense, 434
CEP 04367-090 São Paulo-SP
PABX (11) 5567-1900 | FAX (11) 5563-6640 | SAC (11) 5563-0059

ECLAB 017
REV 09_08
apf