

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Milton José Ribeiro Chaves

**Procedimentos de Produção, Proteção e Manutenção de Estruturas
de Concreto aparente**

**São Paulo
2016**

Milton José Ribeiro Chaves

Procedimentos de produção, proteção e manutenção de estruturas de concreto aparente

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológica do Estado de São Paulo - IPT, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Habitação: Planejamento e Tecnologia.

Data da aprovação ___/___/_____

Prof. Dr. Ercio Thomaz (Orientador)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
do Estado de São Paulo

Membros da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ercio Thomaz (Orientador)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Prof. Dr. Júlio Cesar Sabadini de Souza (Membro)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Prof.^a Dra. Mercia Maria Semensato Bottura de Barros (Membro)
USP – Universidade de São Paulo

Milton José Ribeiro Chaves

Procedimentos de produção, proteção e manutenção de estruturas de
concreto aparente

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do
Estado de São Paulo - IPT, como parte dos
requisitos para a obtenção do título de Mestre
em Habitação: Planejamento e Tecnologia.

Área de Concentração: Tecnologia de
Construção de Edifícios

Orientador: Prof. Dr. Ercio Thomaz

São Paulo
Novembro/2016

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Departamento de Acervo e Informação Tecnológica – DAIT
do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

C512p

Chaves, Milton José Ribeiro

Procedimentos de produção, proteção e manutenção de estruturas de concreto aparente. / Milton José Ribeiro Chaves. São Paulo, 2016.
111p.

Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Tecnologia em Construção de Edifícios.

Orientador: Prof. Dr. Ercio Thomaz

1. Proteção de superfície 2. Estrutura de concreto aparente 3. Manutenção preventiva 4. Durabilidade das estruturas 5. Tratamento de superfície 6. Desempenho dos materiais 7. Tese I. Thomaz, Ercio, orient. II. IPT. Coordenadoria de Ensino Tecnológico III. Título

17-21

CDU 624.012.4(043)

DEDICATÓRIA: Ao meu filho Milton J. Ferreira Chaves que este trabalho lhe sirva como exemplo de renúncia, dedicação, empenho, perseverança e estímulo para sua vida estudantil e para seu futuro profissional.

AGRADECIMENTOS

Ao Sr. Ely e a Sra. Deise, a este casal maravilhoso que me recebeu calorosamente em sua casa em São Paulo durante meus primeiros meses de mestrado, meus sinceros agradecimentos.

À minha companheira Verônica Rodrigues e ao meu filho Milton Ferreira que com companheirismo e amor se dispuseram a acompanhar-me nesta minha empreitada.

Em memória aos meus pais, Milton Chaves e Maria Marilza, a quem tive o imenso privilégio de ser filho. Seus exemplos de honestidade, educação, respeito, responsabilidade e humildade influenciaram meu desempenho. Eles foram os principais responsáveis pelas minhas maiores conquistas.

Em especial à minha mãe, minha primeira professora, que, se desprendendo de seus afazeres, contribuiu com dedicação e amor, não só para comigo, mas para com todos os meus irmãos.

A todos os professores e educadores que com dedicação, insistência e ousada expectativa transmitem seus ensinamentos para um “Brasil tão carente de conhecimentos”.

Aos meus professores acadêmicos da Universidade de Fortaleza (UNIFOR) e do mestrado profissional do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) pela transmissão de seus valiosos conhecimentos teóricos e profissionais, em especial ao Dr. Ercio Thomaz, meu professor de Patologias das Edificações do mestrado e orientador da minha dissertação, que conduziu com maestria a produção desta dissertação.

Agradeço aos membros examinadores da banca do mestrado, Dr. Júlio Cesar Sabadini, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT); e a Dra. Mercia Maria Semensato Bottura de Barros, da Universidade de São Paulo (USP), pelas observações, comentários, críticas construtivas e sugestões que contribuíram para o aprimoramento técnico deste trabalho.

PENSAMENTO: “Não espere que ponham uma
estrela em sua testa, faça você mesmo”.

(Autor, meu Pai)

RESUMO

Com a evolução tecnológica do concreto e o auxílio da Ciência dos Materiais chegou-se à tecnologia do concreto aparente, uma das mais expressivas formas de utilização do concreto, a qual agrega a função estrutural ao aspecto estético, suprimindo a aplicação de materiais cerâmicos, pinturas ou outros materiais, deixando transparecer a imponência do concreto pela exposição de texturas, formatos e diversas cores. Para que sejam produzidas as estruturas de concreto aparente é necessário atender a diversos requisitos e critérios de desempenho ainda não contemplados nas atuais normas técnicas brasileiras, sendo relativamente dispersa a literatura brasileira sobre o assunto. Neste contexto, diante da importância do tema, este trabalho reúne aspectos de projeto arquitetônico e propõe uma metodologia para seleção e aplicação de materiais na etapa executiva. Discorre sobre as ações deletérias da superfície do concreto, aborda a importância da manutenção preventiva, a contratação e recebimento das estruturas de concreto aparente, aspectos que interferem diretamente na efetiva durabilidade da estrutura, fazendo o uso do concreto aparente uma solução viável. De antemão, o trabalho apresentado tem a expectativa de contribuir para o aprimoramento de projetos e do método executivo do concreto aparente cinza, branco e colorido dos edifícios no Brasil, sendo utilizado como um guia orientativo para produzir superfícies com bom acabamento visual e boa durabilidade.

Palavras-chave: Concreto aparente; Desempenho; Metodologia; Manutenção.

ABSTRACT

Procedures of production, protection and maintenance of apparent concrete structures

Through the evolution of concrete technology and Materials' Science principles it was achieved the apparent concrete technology, one of the most expressive forms of concrete use, which adds the structural function to the aesthetic aspect, suppressing the application of ceramics tiles, paintings or other finishing materials, and showing the magnificence of the concrete by exposing textures, shapes and different colors. In order to produce the apparent concrete structures, it is necessary to meet several requirements and performance criteria not yet considered in actual Brazilian technical standards, and also the Brazilian literature on this subject is relatively dispersed. In this context, considering the importance of the theme, this work brings together aspects of architectural design and a proposed methodology for selection and applying materials in the executive stage. It is also discussed the deleterious actions to the concrete surface, the importance of preventive maintenance, aspects of contracting and receiving works in apparent concrete, all these things inferring directly in the effective durability of the structure, making the use of the apparent concrete a viable solution. This master' dissertation intends to contribute to the improvement of projects and the executive method of gray, white and colored apparent concrete buildings in Brazil, and can be used as a guideline to produce surfaces with good visual finish and structures with high durability.

Keywords: Apparent Concrete; Performance; Methodology; Maintenance.

Lista de Ilustrações

Figura 1	Composição básica do concreto aparente (Adaptada pelo autor a partir de Quarcioni, 2012)	16
Figura 2	Distribuição heterogênea dos constituintes do concreto (Franco et al., 2003)	24
Figura 3	Tipos de curvas granulométricas (Farias e Palmeira, 2010)	47
Figura 4	Impregnação hidrofóbica (Guia da NP EN 1504, 2011)	68
Figura 5	Impregnação (Autor, a partir do Guia da NP EN 1504, 2011)	69
Figura 6	Recobrimento (Guia simplificado da NP EN 1504, 2011)	70
Figura 7	Teste para verificação da umidade (Gnecco, 2014)	75
Figura 8	Medição da espessura (Gnecco, 2014)	83
Figura 9	Incidência dos problemas patológicos <i>versus</i> etapas construtivas (Autor, a partir de Helene e Figueiredo, 2003)	85
Figura 10	Sugestões para representação gráfica de anomalias em mapeamento (Souza e Ripper, 1998)	94
Fotografia 1	Concreto aparente sem proteção superficial (Autor, 2014)	15
Fotografia 2	Concreto aparente com proteção superficial (Autor, 2010)	15
Fotografia 3	Concreto branco (Cimento Itambé, 2016)	15
Fotografia 4	Concreto colorido (Autor, 2016)	15
Fotografia 5	Concreto colorido (Catálogo Degussa Construction, 2015)	20
Fotografia 6	Ponte Irineu Bornhausen (Concreto Estrutural Branco no Brasil, 2005)	23
Fotografia 7	Bolhas de ar superficiais (Autor, 2010)	25
Fotografia 8	Eflorescências (Autor, 2013)	30
Fotografia 9	Diferentes cores em função do tempo e tipo de cura (Rivera, 2007)	53
Fotografia 10	Lixamento mecânico (Autor, 2010)	57
Fotografia 11	Estucamento (Autor, 2010)	57
Fotografia 12	Sujidades em viga (Autor, 2013)	57
Fotografia 13	Concreto sem tratamento (Autor, 2010)	76
Fotografia 14	Concreto com proteção (Autor, 2010)	76

Fotografia 15	Câmara para ensaio de estanqueidade (IPT, 2013)	78
Fotografia 16	Tubo de Karsten (Autor, 2016)	79
Fotografia 17	Pente medidor (Autor, 2016)	83
Fotografia 18	Juntas de concretagem (Autor, 2011)	99
Fotografia 19	Ocultação das juntas (Autor, 2011)	99
Fotografia 20	Lavagem do substrato (Autor, 2010)	101
Fotografia 21	1. ^a camada de estucamento (Autor, 2010)	101
Fotografia 22	2. ^a camada de estucamento (Autor, 2010)	102
Fotografia 23	Execução de cura (Autor, 2010)	102
Quadro 1	Classes de agressividade ambiental (NBR 6118/2014)	27
Quadro 2	Fungos e algas capazes de deteriorar e/ou manchar o concreto (Smith e Hansen, [entre 2000 e 2016] apud Gnecco, 2014)	29
Quadro 3	Principais ações ambientais e seus efeitos (Autor, a partir de Husni et al., 2003 e Quarcioni, 2013)	33
Quadro 4	Resistência média do concreto, em MPa, em função da relação a/c para vários tipos de cimento (Helene e Andrade, 2010)	36
Quadro 5	Adições minerais e seus efeitos (Autor, a partir de Watanabe, 2008 e Fonseca, 2010)	43
Quadro 6	Avaliação de desempenho dos painéis-testes (Autor)	66
Quadro 7	Determinação do ponto de orvalho (Gnecco, 2014)	74
Quadro 8	Falhas e manifestações patológicas (Autor, a partir de Silva, 1995, Souza e Ripper, 1998)	86
Quadro 9	Principais manifestações patológicas (Franco et al., 2005)	89
Quadro 10	Pasta de estucamento (Concreto Estrutural Branco no Brasil, 2005)	100

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
Ca(OH) ₂	Hidróxido de cálcio ou Portlandita
CAA	Classe de agressividade ambiental
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
CaSO ₄	Sulfato de cálcio
CO ₂	Gás carbônico ou dióxido de carbono
F _{ck}	Resistência característica à compressão
H ₂ CO ₃	Ácido carbônico
H ₂ O	Água
H ₂ S	Gás sulfídrico
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.
KOH	Hidróxido de potássio
MPa	Megapascal
Na ₂ CO ₃	Carbonato de sódio
NaCl	Cloreto de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
NBR	Norma brasileira regulamentar
O ₂	Oxigênio
pH	Potencial de hidrogênio
SO ₂	Óxido de enxofre
UR	Umidade relativa do ar

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	15
1.2 Justificativa	16
1.3 Método do trabalho	17
2 CORES DO CONCRETO APARENTE	18
2.1 Concreto cinza	18
2.2 Concreto colorido	19
2.3 Concreto branco	20
3 A SUPERFÍCIE DO CONCRETO	23
4 AÇÕES AMBIENTAIS MAIS FREQUENTES SOBRE A SUPERFÍCIE DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS APARENTES	27
4.1 Ventos	28
4.2 Chuva e umidade relativa do ar	28
4.3 Névoa salina	30
4.4 Gases ácidos	31
4.5 Forte insolação	31
4.6 Ações ambientais e seus efeitos	32
5 MATERIAIS INDICADOS PARA OS CONCRETOS APARENTES	33
5.1 Cimentos	33
5.2 Aditivos químicos	37
5.3 Adições minerais	40
5.3.1 Propriedades das adições	41
5.3.2 Aplicação das adições minerais	42
5.4 Pigmentos	43
5.5 Agregados	44
5.5.1 Granulometria	44
5.5.2 Curvas granulométricas	45
6 AÇÕES QUE VISAM A DURABILIDADE ESTRUTURAL	47
6.1 Diretrizes de projeto	48
6.2 Diretrizes de projeto de produção	49
6.3 Diretrizes de execução	50
6.4 Diretrizes de uso	53
7 CRITÉRIOS DE CONTROLE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO APARENTE	54
7.1 Critérios de controle de materiais e componentes	54
7.1.1 Fôrmas	54
7.1.2 Cimento Portland	57
7.1.3 Agregado miúdo	58
7.1.4 Agregado graúdo	59
7.1.5 Aditivos	60
7.1.6 Adições minerais e pigmentos	60

7.2 Critérios para contratação do concreto aparente	61
7.3 Critérios de controle de recebimento do concreto aparente	62
8 DIRETRIZES PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS-TESTES	63
9 PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO APARENTE	65
9.1 Materiais impermeabilizantes e hidrofugantes	66
9.2 Princípios para seleção do sistema de proteção	71
9.3 Requisitos para aplicação do sistema de proteção	71
9.4 Métodos de aplicação	74
9.5 Ensaio	76
9.6 Verificação e cálculo da espessura da película de proteção	80
9.7 Sistema para compensar o cobrimento do concreto nos casos de cobrimento insuficiente	82
10 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO APARENTE	84
10.1 Junta de concretagem	86
10.2 Manifestações patológicas nos sistemas de proteção	87
11 USO E MANUTENÇÃO PREVENTIVA	89
12 RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO APARENTE	94
12.1 Pasta de estucamento	96
12.2 Procedimentos de preparação de superfícies	99
12.3 Método de aplicação	100
13 CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
REFERÊNCIAS	104
ANEXO A	108

1 INTRODUÇÃO

O concreto vem, ao longo do tempo, passando por avanços tecnológicos sucessivos por meio de modificações em sua constituição. Estes avanços são impulsionados pelas atuais exigências normativas para que sejam produzidas estruturas de concreto cada vez mais duráveis. De maneira geral, este era composto apenas por quatro materiais básicos: cimento comum (ligante), areia e brita (agregados), e água.

A expectativa em se produzir elementos de concreto menos permeáveis, resistentes aos agentes agressivos, com altas resistências mecânicas, sem fissuras ou outras manifestações patológicas impôs a necessidade do concreto passar por alterações físicas e químicas, utilizando-se novos materiais que efetivamente contribuíssem para melhorar seu desempenho. A Ciência e a Engenharia dos Materiais, a partir de estudos realizados em sua microestrutura, possibilitaram a explicação de fenômenos que ocorrem na pasta do cimento e no concreto em macroescala, estabelecendo-se relações intrínsecas com as propriedades e comportamento dos materiais.

Como resultado desta evolução tecnológica, maiores resistências mecânicas foram alcançadas e novos tipos de cimento e de concretos foram produzidos, possibilitando serem utilizados também com maior expressão arquitetônica, como os diversos tipos de concreto aparente sugerem.

A superfície do concreto aparente pode apresentar diversos tipos de texturas, de cores, de relevo superficial, de recursos técnicos de acabamento e de proteção superficial conforme representados pelas imagens a seguir. Concreto aparente sem proteção superficial (fotografia 1), concreto aparente com resina de proteção superficial (fotografia 2), concreto branco (fotografia 3), concreto colorido (fotografia 4), concreto com agregado exposto e concreto translúcido.

Fotografia 1 – Concreto aparente sem proteção superficial



Fonte: Arquivo do autor (2014)

Fotografia 2 – Concreto aparente com proteção superficial



Fonte: Arquivo do autor (2010)

Fotografia 3 – Concreto branco



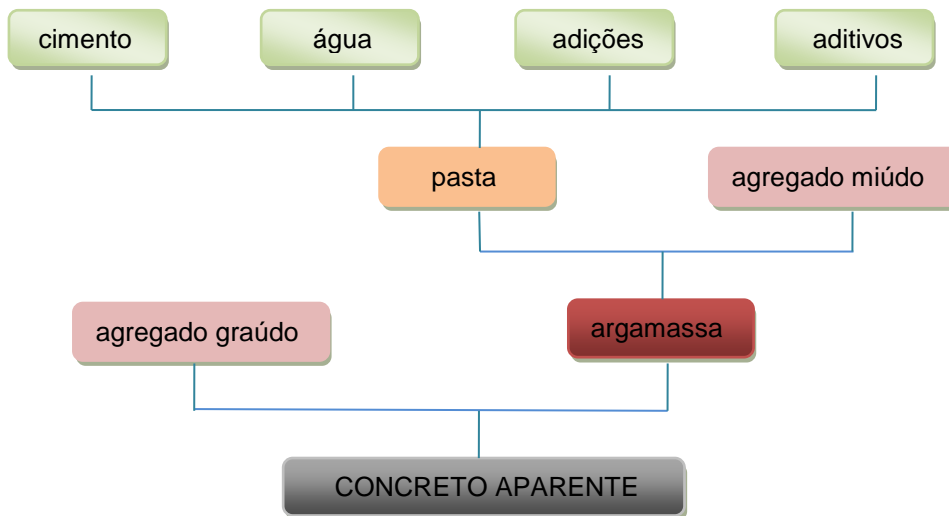
Fonte: Cimento Itambé (2016)

Fotografia 4 – Concreto colorido



Fonte: Arquivo do autor (2016)

Conforme representado na figura 1, todos os tipos de concreto são obtidos pela mistura homogênea de um aglomerante hidráulico (cimento Portland), agregados miúdo e graúdo, água e, eventualmente, aditivos químicos e adições (adições minerais, polímeros e fibras) com a finalidade de melhorar as propriedades do concreto no estado fresco ou endurecido, como plasticidade, trabalhabilidade (fluidez e coesão); acelerar ou retardar o endurecimento; melhorar a resistência mecânica e a impermeabilidade; reduzir o risco de formação de fissuras, etc. Além disso, observa-se a adição de pigmentos para produzir concretos coloridos.

Figura 1 – Composição básica do concreto aparente

Fonte: Adaptada pelo autor – Alternativas e Inovações Tecnológicas do Concreto nas Construções, notas de aula do Mestrado IPT, Quarcioni, Valdecir (2012)

Nesse contexto, concreto aparente é o concreto que não recebe qualquer tipo de revestimento com pasta ou argamassa (SILVA, 1995). Partindo desta definição, este autor ainda acrescenta a possibilidade de aplicação de pinturas ou de materiais que ocultem sua superfície, além de tratamento superficial de correção por meio da aplicação de camada de estucamento¹ e aplicação de resinas de proteção superficial.

1.1 Objetivos

Esta dissertação de mestrado tem por objetivo apresentar os aspectos gerais para a produção das estruturas de concreto aparente, considerando-se tanto o concreto na cor natural, quanto o concreto branco e o concreto colorido.

Objetiva também orientar sobre a proteção superficial dos elementos estruturais de concreto e da importância dos planos de manutenção preventiva, na expectativa de melhorar seu desempenho e prolongar sua vida útil.

¹Estucamento – camada de pasta de cimento aplicada sobre o concreto endurecido para reparar imperfeições ou uniformizar sua superfície.

Finalmente, ainda trata sobre a metodologia para recuperação das estruturas de concreto aparente, mantendo o efeito de acabamento final como forma de expressão arquitetônica a que o concreto aparente se propõe.

1.2 Justificativa

Produzir concreto aparente, em que sua superfície apresente aspecto de acabamento final, sem receber qualquer tipo de tratamento superficial e/ou reparos feitos durante a construção não é tarefa fácil. Muitos fatores devem ser considerados antes, durante e após sua produção. São necessários cuidados específicos na aplicação do concreto e no uso da edificação. Por exemplo, falhas de concretagem ou pequenas bolhas dispersas na superfície do concreto afetarão negativamente a aparência superficial, mesmo após sua devida correção, pois a coloração ou tonalidade do material utilizado para restauro dificilmente será a mesma da superfície executada.

Muitas falhas podem ser cometidas durante a execução das estruturas de concreto aparente. Estas poderão causar manifestações patológicas nas etapas de execução e de uso da edificação. Falhas de concretagem, juntas de concretagem, fissuras, diferenças de tonalidade, bolhas, corrosão das armaduras, eflorescências, envelhecimento prematuro da superfície, presença de fungos e manchas superficiais são problemas vistos com frequência em obras de concreto que não foram devidamente projetadas, executadas, tratadas ou protegidas. Assim, a alternativa encontrada para “corrigir” todas estas manifestações, na maioria das vezes, é executar uma pintura com aparência de concreto, alterando totalmente a proposta do concreto aparente.

Não há normas técnicas brasileiras específicas que possam contribuir para que sejam projetadas e produzidas estruturas de concreto aparente. Desta forma, em face de todas as particularidades citadas anteriormente, este trabalho se justifica pela necessidade de contribuir com os profissionais de engenharia e de arquitetura, de forma específica, sobre a importância deste tema, para que sejam produzidas estruturas de concreto aparente duráveis e com preservação da função estética.

Em diversas situações, alguns projetistas mostram-se inseguros em especificar o concreto aparente em projetos de edifícios residenciais e comerciais, sendo que, no Brasil, o concreto aparente é normalmente destinado às obras de arte, às indústrias, aos galpões de concreto pré-fabricado, às passarelas, aos túneis, às obras de metrô, etc., nas quais, devido a geometrias estruturais irregulares, é, de certa forma, difícil executar revestimento aderido.

Como forma de avaliação do comportamento em uso dos sistemas construtivos, buscando atender às exigências dos usuários das edificações habitacionais, a partir de julho de 2013, entrou em vigor a norma ABNT NBR 15575/2013 – Desempenho de Edificações Habitacionais, que estabelece em sua Parte 2 os requisitos e critérios para o desempenho mecânico dos sistemas estruturais. Relativamente à durabilidade, a Parte 1 da mesma norma registra que “a vida útil da estrutura principal da edificação deve ser projetada para 50 anos (nível mínimo de desempenho), 63 anos (nível intermediário) ou 75 anos (nível superior)”, independentemente da natureza do material constituinte da estrutura e se esta será aparente ou revestida.

Arquitetos e engenheiros têm a responsabilidade de projetar e executar obras duráveis e de beleza arquitetônica, buscando cada vez mais as melhores técnicas construtivas e materiais que otimizem a aplicação de recursos financeiros, principalmente com a economia de recursos destinados a reparos estruturais, fazendo, com isso, o uso do concreto aparente uma solução viável.

1.3 Método do trabalho

Este trabalho iniciou com o estudo do livro de Durabilidade das Estruturas de Concreto Aparente em Atmosfera Urbana (SILVA, 1995), o qual possibilitou o entendimento geral sobre as características dos materiais e componentes utilizados na produção do concreto como material destinado a apresentar também característica de revestimento final para os elementos estruturais.

Em seguida, a pesquisa evoluiu para outras referências e recomendações técnicas, às quais complementaram o conhecimento específico sobre o tema, uma

vez que inexistem literatura nacional ou normas técnicas brasileiras específicas que tratam deste assunto. Oportunamente, a experiência profissional deste autor também contribuiu para subsidiar alguns aspectos para ações que visam propor diretrizes de projeto, de execução, de proteção e de recuperação das estruturas de concreto aparente.

2 CORES DO CONCRETO APARENTE

O concreto aparente é um material compósito mineral produzido segundo as mesmas recomendações e métodos de dosagem do concreto convencional, entretanto, um atendimento especial é dado à sua aparência.

O concreto aparente, em face de sua exposição, sofre ações ambientais, químicas e biológicas com maior facilidade quando comparado aos demais tipos de concreto. A resistência mecânica à compressão, a trabalhabilidade e a durabilidade são requisitos fundamentais ao atendimento da sua vida útil. O f_{ck} é estipulado na fase de concepção estrutural pelo engenheiro e está relacionado à segurança estrutural.

A trabalhabilidade determina a fluidez e a coesão do concreto no estado fresco; a durabilidade está associada a diversos fatores inerentes à qualidade e à dosagem dos seus materiais constituintes, ao adensamento, transporte, tempo de aplicação, duração e tipo de cura, desenforma, condições de exposição ambiental e às manutenções que porventura serão realizadas.

2.1 Concreto cinza

O concreto aparente cinza é o concreto produzido com os mesmos requisitos de um concreto convencional, o qual utiliza cimento Portland de cor cinza em sua composição. A tonalidade do concreto pode variar conforme o tipo de cimento utilizado. Pode-se ainda adicionar durante sua produção cimento Portland branco e pigmentos inorgânicos quando se pretende atenuar ou incrementar sua coloração.

O concreto aparente cinza é, notadamente no Brasil, o mais utilizado em estruturas de concreto aparente quando comparado aos concretos colorido e branco. Usualmente é utilizado em obras de infraestrutura, dentre as quais, viadutos, pontes, obras de metrô, passarelas e em galpões industriais.

2.2 Concreto colorido

Concreto produzido com os mesmos requisitos de um concreto convencional, podendo ser utilizados cimentos de cor cinza ou cimento estrutural branco, que a partir da adição de pigmentos inorgânicos adquire a coloração desejada (fotografia 5).

Fotografia 5 – Concreto colorido



Fonte: Catálogo Degussa Construction (2015)

Segundo Watanabe (2008), uma estrutura produzida com concreto colorido pode agregar valor estético à edificação, além de dispensar a aplicação de revestimentos, o que traduz em uma alternativa para reduzir o cronograma da obra e custos. A construção de uma estrutura de concreto colorido requer maior controle durante a execução e cuidados adicionais relevantes, sobretudo na seleção de seus constituintes, em especial os pigmentos, na dosagem e na execução das fôrmas, fatores que estão relacionados com a uniformidade e manutenção da cor.

Watanabe (2008) cita ainda que uma importante manifestação patológica que compromete a estética superficial é a eflorescência. Para prevenir este problema, Freitas Júnior (2013) pondera que as adições minerais de ação pozolânica como as cinzas volantes, a sílica ativa, a cinza da casca de arroz e o metacaulim reduzem

esta ocorrência. Outra forma de deter as eflorescências, que são o efeito da lixiviação dos compostos hidratados do cimento, é pela aplicação de sistemas de proteção sobre a superfície do concreto aparente (FRANCO et al., 2003 e ABNT NBR 6118/2014 p.16).

Segundo a ENGEMIX (2014), empresa do segmento de concreto usinado, para a produção do concreto colorido dosado em central é necessário utilizar consumo mínimo de cimento de 300 kg/m³, utilizar sempre a mesma dosagem com os mesmos constituintes do concreto, observar a mesma sequência de colocação dos materiais no caminhão betoneira, manter a relação água/aglomerantes e tempo de mistura, realizar bom adensamento, empregar fôrmas limpas, estanques, não aderentes e do mesmo tipo de material.

A cura do concreto colorido é ação de relevante importância para se produzir concretos com melhores colorações e uniformidade de cores. Watanabe (2008) sugere preferencialmente cura úmida ininterrupta durante o período de sete dias. Segundo Rivera (2007), a falta de cura torna a superfície do concreto porosa e mudará a tonalidade quando molhada, apresentando manchas similares às eflorescências e, as películas de cura não são recomendadas em face da possibilidade de causarem manchas,

2.3 Concreto branco

A utilização do concreto branco confere elevado valor arquitetônico às estruturas aparentes, eliminando-se a aplicação de revestimentos e pinturas em face de sua cor branca. O cimento Portland branco (CPB) utilizado na produção dos concretos aparentes dos tipos branco e colorido é mais fino, comparativamente aos demais cimentos convencionais de cor cinza, apresentando elevado calor de hidratação nas primeiras idades e tempo de início de pega reduzido.

O histórico que se tem desse tipo de concreto, segundo a publicação “Concreto Estrutural Branco no Brasil” (2005), é que ele pode apresentar perda de trabalhabilidade em menor tempo, alta liberação de calor, maior retração comparada ao concreto de cor cinza, maior fissuração devido à retração por secagem e

autógena, e empenamentos em peças esbeltas, quando não são tomadas as devidas precauções. Portanto, é requerido o uso de aditivos redutores de água/superplastificantes especificados para, além de reduzir a relação água/aglomerantes, facilitar o adensamento, prevenindo falhas de concretagem. Também são utilizados aditivos modificadores de viscosidade² em concretos autoadensáveis brancos e coloridos, proporcionando redução do consumo de cimento. As adições minerais influenciam na coloração do concreto branco, mas alguns tipos podem ser utilizados em teores abaixo de 5%, como no caso da sílica ativa. A cinza volante não deve ser usada, pelo risco de formação de manchas.

Durante as pesquisas realizadas no Centro de Tecnologia e Laboratórios da Camargo Corrêa em São Paulo, nos Laboratórios do LEME - da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo para a construção da Ponte Irineu Bornhausen (Fotografia 6) no ano de 2002, a primeira ponte do Brasil em concreto branco, segundo a publicação técnica “Concreto Estrutural Branco no Brasil”, localizada na cidade de Brusque/SC, foram tomadas diversas medidas preventivas para evitar a ocorrência de manifestações patológicas e alterações de coloração que o histórico do concreto branco outrora apresentava, quais sejam:

- Máxima redução do consumo do cimento, com teores abaixo de 350 kg/m³;
- Utilização de adição mineral em baixo teor;
- Adição de fibras de polipropileno;
- Utilização de aditivo superplastificante;
- Adição de mínima quantidade de agente estabilizador de hidratação;
- Otimização do grau de empacotamento das partículas, pela adição de finos.

Observou-se ainda que os aditivos de cores mais escuras e a adição de sílica ativa em teores de 5% influenciam na coloração do concreto branco, escurecendo

² Aditivo modificador de viscosidade – Aditivo de alta eficiência pela capacidade em modificar a reologia do concreto por meio da sua viscosidade, mantendo seu espalhamento sem segregação. Fonte: GRACE Construction Products.

sua tonalidade. As diretrizes acima listadas estão associadas aos seguintes objetivos:

- Redução do consumo de cimento \Rightarrow Reduzir o calor de hidratação;
- Adição de sílica ativa \Rightarrow Aumentar a resistência mecânica e aos agentes agressivos;
- Adição de fibras \Rightarrow Reduzir fissuras de retração por secagem;
- Uso de aditivo superplastificante \Rightarrow Reduzir a relação água/aglomerante e melhorar a fluidez;
- Uso de aditivo estabilizador de hidratação \Rightarrow Retardar as reações de hidratação;
- Adição de finos \Rightarrow Colmatar vazios da pasta e da argamassa.

Fotografia 6 – Ponte Irineu Bornhausen



Fonte: Concreto Estrutural Branco no Brasil (2005)

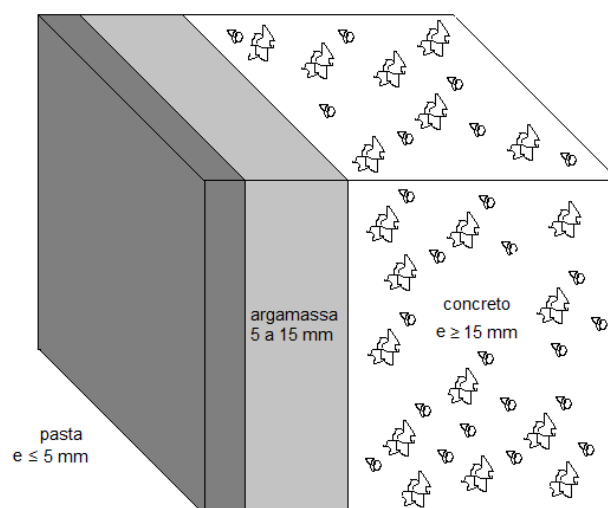
É importante salientar que os autores da referida publicação concluíram que as propriedades dos materiais adicionados ao concreto melhoraram suas características reológicas, observando que sem eles o concreto não teria o desempenho esperado. Contudo, os produtos adicionados precisam ser sempre previamente testados, principalmente quando houver alterações no tipo de cimento e emprego de agregados provenientes de outras fontes ou regiões, pois poderão causar efeitos inesperados na aparência dos concretos brancos e coloridos.

3 A SUPERFÍCIE DO CONCRETO

A superfície do concreto é basicamente constituída por agregados com dimensão inferior a 0,2 mm envoltos e unidos por uma pasta de aglomerantes. Por sua vez, esta pasta é responsável pela cor da superfície que se apresenta usualmente cinza (com nuances) ou colorida. A quantidade de água utilizada também interfere na coloração da superfície, sendo mais clara quanto maior for a relação água/cimento empregada (FRANCO et al., 2003, p.430).

Durante a concretagem, ocorre a concentração de argamassa e pasta de cimento na face interna das fôrmas devido ao fenômeno conhecido por “efeito parede” ou “efeito Caquot”. Segundo Franco et al. (2003), este fenômeno produz na superfície do concreto uma camada com espessura menor que 5 mm, essencialmente constituída por pasta (Figura 2). O adensamento do concreto por vibração faz migrar a água do concreto para junto das fôrmas, carreando as partículas mais finas do ligante e do agregado miúdo. A vibração também faz que bolhas de ar (Fotografia 7), inerentes ao processo da mistura dos constituintes do concreto, sejam igualmente transportadas.

Figura 2 – Distribuição heterogênea dos constituintes do concreto



Fonte: Franco et al. (2003)

Fotografia 7 – Bolhas de ar superficiais



Fonte: Arquivo do autor (2010)

O concreto apresenta-se suscetível a ações ambientais e a outras diversas ações por ser constituído, essencialmente, por pasta na sua superfície. As camadas de pasta e de argamassa superficiais são responsáveis por deter o ingresso de agentes agressivos para o interior do concreto e, segundo Franco et al. (2003), apresentam características de maior concentração de Ca(OH)_2 , favorecendo a ocorrência de eflorescências e manchas.

As camadas superficiais apresentam ainda maior retração por secagem, retração química e retração por carbonatação em face do maior consumo de cimento por metro cúbico; maior porosidade, devido à inexistência de agregados graúdos; e maior necessidade de cura (FRANCO et al., 2003, p.431). A partir destas características, conclui-se que a superfície do concreto poderá apresentar fissuras, caso não haja cura adequada, apresentar menor resistência mecânica, decorrente da falta de agregados graúdos, favorecer o ingresso de agentes agressivos e requerer maior demanda de custos com mão de obra para execução de cura.

Pelo exposto, para minimizar estes efeitos, segundo orientações internacionais, citado por Franco et al. (2003), pode-se reduzir a relação água/cimento e aumentar o consumo de cimento na ordem de 450 a 650 kg/m^3 de concreto, para a produção de concreto aparente. Nestas condições, e com cura adequada, a porosidade superficial poderá ser reduzida, promovendo adequada durabilidade ao concreto aparente (FRANCO et. al, 2003).

Porém, ao contrário de Franco et al. (2003), este autor adverte que estas orientações devem ser analisadas também sob outros aspectos, conforme exposto a seguir:

1º - Redução da relação água/cimento \Rightarrow muito embora eleve a resistência à compressão do concreto, implica na possibilidade do surgimento de falhas de concretagem. Desta forma, é necessária a utilização de aditivos plastificantes ou superplastificantes para promover adequada trabalhabilidade.

2º - Aumento do consumo de cimento \Rightarrow Eleva a resistência à compressão do concreto, ao mesmo tempo em que aumenta o risco de fissuras térmicas (calor gerado na hidratação do cimento), de fissuras de retração química ou de secagem (pela maior quantidade de pasta no mesmo volume) e da fluência.

Sob o ponto de vista tecnológico, ambas as especificações técnicas podem ser satisfatórias; todavia, poderão inviabilizar economicamente a produção do concreto aparente. Portanto, a execução de uma camada de pasta de estucamento adesivada com polímeros acrílicos ou outros, aplicada sobre a superfície do concreto no estado endurecido corrigirá eventuais bolhas de ar, podendo ainda tamponar fissuras de retração, reduzir a porosidade, tornar a superfície uniforme e com tonalidade homogênea. Por sua vez, a aplicação de produtos de proteção superficial, segundo Helene (2000 apud MEDEIROS, 2008) reduzirá a permeabilidade do concreto, impedindo o ingresso de CO₂, oxigênio, água e demais agentes deletérios ambientais, e ainda irá deter o avanço da frente de carbonatação, indutora dos processos de corrosão das armaduras e da lixiviação da superfície.

A norma ABNT NBR 6118/2014 prescreve cobrimentos mínimos para as armaduras do concreto em função da classe de agressividade ambiental onde a edificação está inserida (quadro 1). A partir dessa classificação, visando atender ao critério de durabilidade estrutural, associa os tipos e classes de concreto, relação água/cimento e o componente ou elemento estrutural.

De acordo com a NBR 6118/2014, a agressividade ambiental é função das ações físicas e químicas atuantes na estrutura de concreto, independentemente do

dimensionamento estrutural ou de deformações inerentes ao processo de produção do concreto. No entanto, este autor ressalta que a referida norma não contempla condições específicas, como a presença de CO₂ e umidade em garagens de subsolos e túneis, a possibilidade de contaminações devido à proliferação de fungos e eventuais pichações que deterioram o concreto, independente da localização ou classe de exposição da estrutura.

O conhecimento do clima, do microclima e do tipo de exposição e suas variações são fatores determinantes para a correta especificação, na fase de projeto, do cobrimento adequado do concreto e de possíveis tratamentos de proteção superficiais para o concreto aparente.

Quadro 1 – Classes de agressividade ambiental

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

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

^bPode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe 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 raramente chove.

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

Fonte: NBR 6118/2014

A durabilidade das estruturas está associada às características do concreto nos estados fresco e endurecido, na qualidade e na espessura do cobrimento da armadura. Outro fator preponderante para a durabilidade estrutural é a cura do concreto. A cura é uma etapa relevante na garantia da qualidade do concreto,

especialmente para o cobrimento das armaduras. A cura reduz a permeabilidade do concreto e pode evitar o surgimento de fissuras de retração por secagem, minimizando a ação de agentes agressivos ao concreto.

4 AÇÕES AMBIENTAIS MAIS FREQUENTES SOBRE A SUPERFÍCIE DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS APARENTES

O concreto armado poderá apresentar manifestações patológicas ao longo do tempo em função da agressividade ambiental à qual esteja submetido e de diversas outras ações. Ações externas ambientais estarão sempre atuando sobre a superfície do concreto aparente, condicionando sua durabilidade (QUARCIONI, 2013). Portanto, conforme afirma Repette (1997), o material precisa receber tratamento, proteção e manutenções periódicas ao longo do tempo. Esta é a única forma de se lograr sucesso no atendimento à vida útil de projeto da estrutura.

Husni, et al. (2003), no Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto, classificam as ações ambientais em:

- Físicas: variação de temperatura, umidade, ciclos de umedecimento e secagem, ciclos de congelamento e degelo, etc.;
- Químicas: carbonatação, chuva ácida, corrosão, ataque ácido, águas puras, resíduos industriais, ação do fogo, etc.;
- Biológicas: micro-organismos, algas, solos e águas contaminadas, etc.

Segundo Quarcioni (2013), outras ações ambientais que degradam o concreto são os ventos, forte insolação, chuva, névoa salina (“salt spray”), orvalho, nevoeiro, sujidades, cloretos e outros poluentes presentes na atmosfera. Cita também que a chuva desempenha dupla ação: promover a remoção dos produtos aderidos à superfície, mas, em contrapartida, satura os poros capilares e facilita a penetração de agentes agressivos como os cloretos. Águas puras têm a capacidade de dissolver alguns compostos da pasta de cimento, em especial o hidróxido de cálcio e os compostos aluminosos (REPETTE, 1997).

4.1 Ventos

Os ventos devem ser levados em consideração ao se projetar e ao se proteger uma superfície de concreto aparente. Os ventos, além de transportarem agentes agressivos, intensificam a deterioração superficial pela ação abrasiva de partículas sólidas em suspensão. Portanto, deve-se evitar nos elementos arquitetônicos estruturais de fachada a existência de cantos, arestas, de peças esbeltas e outras singularidades, em que a pressão exercida pelo vento possa contribuir decisivamente para o desgaste por abrasão. Nestas situações, pela experiência deste autor, o sistema de proteção superficial deverá ser especificado com produtos de maiores resistências mecânicas e químicas, como produtos à base de poliuretano alifático, com formação de películas mais espessas, conferindo ao sistema aplicado e ao concreto aparente proteção mais eficaz.

4.2 Chuva e umidade relativa do ar

A chuva e a umidade relativa do ar determinam a presença de água superficial e nos poros capilares do concreto (QUARCIONI, 2013). A superfície úmida proporciona ambiente favorável à proliferação de micro-organismos como os fungos, algas e outros seres vivos que, produzindo excrementos ácidos, com pH variando entre 5 a 6, deterioram e mancham a superfície do concreto, como mostrado no Quadro 2. Os fungos são conhecidos popularmente como bolores ou mofos e as algas como limo (GNECCO, 2014).

Quadro 2 – Fungos e algas capazes de deteriorar e/ou manchar o concreto

Fungos	Cor e aparência	Algas	Cor e aparência
Aureobasidium	Marrom a negro	Chlorococcum	Cor verde ou verde azulada escuro
Alternaria		Chlorella	
Aspergillus		Gloecapsa	
Cladosporium	Superfície pulverulenta	Apatococcus	Filme úmido viscoso
Chaetomium		Desmococcus	
Phoma		Trentepohlia	
Penicillium		Stichococcus	
	Formação de grandes colônias		

Fonte: Smith e Hansen (entre 2000 e 2016 apud GNECCO, 2014)

Algas ou limo são organismos fotolitróficos, ou seja, sob a ação da luz do sol, realizam fotossíntese e retiram da atmosfera o gás carbônico de que necessitam. São encontrados em superfícies expostas ou não, onde houver luz e umidade.

Podem causar danos mecânicos, devido a movimentações higroscópicas resultantes da umidade retida em suas hifas³ e produzem ácidos capazes de dissolver carbonatos.

Devido à ação da água das chuvas e da umidade presentes nos poros capilares do concreto, ocorre a lixiviação e transporte para a superfície de compostos hidratados de cálcio Ca(OH)_2 e de álcalis (KOH e NaOH), resultando em contato com o CO_2 atmosférico a formação de depósitos salinos, conhecidos como eflorescências (sulfatos e carbonatos de cálcio, sódio e potássio).

As eflorescências visíveis na fotografia 8 são depósitos cristalinos superficiais de cor branca formados por cristalização de soluções salinas, ocorrendo sempre na presença de umidade e sais solúveis nos poros dos materiais de construção, como telhas ou blocos cerâmicos, concretos, revestimentos de argamassa e outros. À medida que a água presente em uma solução salina evapora, a concentração da solução aumenta. Quando a concentração é ultrapassada, correspondente à máxima solubilidade do sal, a solução fica supersaturada e o sal em excesso pode cristalizar (BAUER; SALOMÃO; SILVA, 2013). As condições climáticas exercem grande influência na cristalização dos sais, principalmente a temperatura, a umidade relativa e a velocidade do ar.

Fotografia 8 – Eflorescências



Fonte: Arquivo do autor (2013)

³ Hifas – filamentos de células que formam o micélio dos fungos. Têm as funções de se fixarem aos substratos, de reprodução e de digestão extracelular.

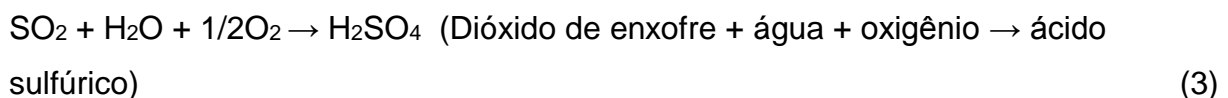
Silva (1995) classifica como principal reação que ocorre a formação do carbonato de cálcio (CaCO_3), apresentada simplificada pela reação química da Equação 1:



Como efeito deletério das eflorescências tem-se:

- Formação de manchas brancas superficiais;
- Aspecto visual desagradável;
- Aumento da porosidade e da permeabilidade;
- Redução de resistência mecânica;
- Redução da alcalinidade ($\text{pH} \leq 9$);
- Perda da passivação do aço;
- Corrosão das armaduras.

Os ambientes urbanos e industriais possuem substâncias originadas na queima de combustíveis dos veículos automotores, como o CO_2 , e, pelas indústrias, como o SO_2 , os quais são lançados na atmosfera e precipitam-se de forma seca ou úmida sobre as edificações, reagindo com o vapor d'água, produzindo os ácidos carbônico (Equação 2) e sulfúrico (Equação 3), que, em contato com a superfície do concreto, provoca sua degradação.



4.3 Névoa salina

Gnecco (2012) cita que a composição da água do mar é, em geral, constituída por 96,5% de água e 3,5% de sais. Portanto, cada litro de água do mar contém aproximadamente 35 g de sais. Destes, cerca de 86% é o cloreto de sódio (NaCl). A névoa salina ("salt spray") é o "spray" de água salgada dos oceanos, pulverizada pela ação dos ventos quando as ondas arrebentam. Em contato com as superfícies de concreto, a solução salgada acelera o processo de corrosão de suas armaduras.

4.4 Gases ácidos

Um dos efeitos que ocorrem no concreto pela ação de gases ácidos é a carbonatação. A carbonatação é um complexo processo físico-químico em que os compostos do cimento, hidratados ou não, são gradualmente substituídos por carbonatos, através de reações de carbonatação e sulfatização com gases ácidos, como o CO₂, o SO₂ e o H₂S, respectivamente, presentes no meio ambiente, reduzindo com o tempo a alcalinidade do concreto (HELENE, 1986). Neste processo, fatores como a concentração dos gases ácidos, a presença de água nos poros, a umidade relativa, a temperatura, o tipo de cimento, a porosidade e a alcalinidade do concreto são determinantes para a velocidade e a profundidade da frente de carbonatação.

A presença de Ca(OH)₂ e dos álcalis (KOH e NaOH) confere elevada alcalinidade à pasta de cimento endurecida, propiciando a formação de um filme de óxidos, transparente e aderente nas armaduras. Desta forma, as armaduras estão protegidas (passivadas) contra o processo de corrosão. A modificação da microestrutura do concreto pela carbonatação reduz o pH de 12 para valores de pH em torno de 8 ou 9, alterando as condições de estabilidade química da película passivadora do aço e criando condições para o início do processo de corrosão das armaduras (HELENE, 1986).

A principal reação que ocorre é a carbonatação do hidróxido de cálcio, o qual é transformado em carbonato de cálcio, segundo a representação simplificada na reação da equação 4.



4.5 Forte insolação

A forte insolação é danosa ao concreto quando associada a determinados fatores. A temperatura elevada afeta os mecanismos de transporte e atua como agente acelerador das reações químicas que se processam no concreto (REPETTE, 1997). No estado fresco, contribui para a formação de fissuras de retração por

secagem, para o aquecimento dos materiais constituintes do concreto antes de sua produção e na redução do tempo de aplicação. No estado endurecido, provoca a dilatação térmica das peças estruturais e, segundo Bauer, Salomão e Silva (2013), facilita a evaporação de sais solúveis, contribuindo no processo de formação das eflorescências.

Outro fator relevante da ação deletéria da forte insolação é a degradação ao longo do tempo das películas de proteção (acrílica, poliuretano, etc.) aplicadas na superfície do concreto aparente.

4.6 Ações ambientais e seus efeitos

No Quadro 3, é apresentado um resumo das principais ações ambientais deletérias com seus respectivos efeitos, citadas neste capítulo, que agem sobre a superfície do concreto aparente.

QUADRO 3 – Principais ações ambientais e seus efeitos

AÇÕES AMBIENTAIS		EFEITOS	
TIPOS	CONDICIONANTES	INICIAIS	POSTERIORES
Vento	Transporte de agentes agressivos	Impregnação de agentes agressivos	Abrasão superficial Corrosão da armadura
Chuva e umidade	Permeabilidade do concreto	Saturação dos poros capilares e fissuras higroscópicas	Lixiviação Eflorescência Corrosão da armadura
Fungos e algas	Umidade Temperaturas elevadas Substrato aderente	Manchas verdes ou de tom rosa	Manchas escuras Redução do pH Desagregação superficial Corrosão das armaduras
Névoa salina	Atmosfera salina	Impregnação de NaCl e sulfatos	Despassivação e corrosão das armaduras Lascamento do concreto
Chuva ácida	Atmosfera industrial Partículas em suspensão	Imperceptível	Redução de pH Corrosão da armadura
Gases ácidos	UR entre 60% a 85% Porosidade Concentração de CO ₂	Imperceptível	Redução do pH Corrosão das armaduras Fissuras superficiais
Insolação	Temperatura elevada	Fissuras	Ingresso de agentes deletérios

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de Husni et al. (2003) e Quarcioni (2013)

Percebe-se a necessidade de projetar adequadamente formas arquitetônicas e elementos estruturais aparentes que reduzam a exposição dos mecanismos de degradação provenientes das ações ambientais, pois a concepção do projeto arquitetônico poderá facilitar o acúmulo de água de chuva e fuligens, o abrigo de pombos e outras aves (as quais produzem dejetos ácidos), o crescimento de vegetações indesejadas, a incidência direta do vento predominante e de elevada exposição à radiação direta do sol.

Portanto, é de suma importância produzir uma estrutura aparente resistente às ações do meio e aplicar adequados critérios na fase de projeto e na especificação técnica dos materiais. Diversos são os critérios que podem ser observados para contribuir com a durabilidade estrutural, tais como a inserção de elementos de proteção como as pingadeiras e chapins, peitoris, molduras, etc. Outros recursos incluem estabelecer inclinações e drenagens adequadas, evitar fissuras executando-se a adequada cura do concreto, determinar previamente os locais para as juntas de concretagem, selar de forma correta as juntas de dilatação, garantir cobrimentos de armadura satisfatórios conforme a classe de exposição ambiental e a classe de resistência do concreto, evitar formas arquitetônicas com cantos e arestas acentuadas e obedecer de forma eficaz a procedimentos de produção, proteção e manutenção de estruturas de concreto aparente.

5 MATERIAIS INDICADOS PARA OS CONCRETOS APARENTES

5.1 Cimentos

Na opção arquitetônica, por projetar uma estrutura de concreto aparente, surgem alguns questionamentos para definir que tonalidade apresentará a superfície exposta. É necessário saber se todos os tipos de cimento são adequados, qual proporcionará maior resistência à agressividade ambiental ao longo do tempo, que concreto apresentará maior durabilidade, qual a periodicidade e quais ações de manutenção preventiva serão requeridas.

A seleção do tipo de cimento depende ainda de fatores relativos à disponibilidade de mercado e das dimensões do elemento estrutural. Notadamente, o cimento tem grande influência na coloração do concreto, em face da composição mineralógica e química do clínquer, que pode apresentar grandes variações, além das adições minerais que podem ser introduzidas durante a produção. De modo geral, quase todos os tipos de cimento Portland são adequados aos diferentes tipos de estrutura e aplicações. Entretanto, alguns apresentam vantagens ou recomendações técnicas para usos específicos (SILVA, 1995).

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, os tipos de cimento e suas respectivas normas são:

- Cimento Portland comum (NBR 5732/1991);
 - Cimento Portland comum - CP I
 - Cimento Portland comum com adição - CP I-S
- Cimento Portland composto - CP II (NBR 11578/1997);
 - Cimento Portland composto com escória - CP II-E
 - Cimento Portland composto com pozolana - CP II-Z
 - Cimento Portland composto com fíler - CP II-F
- Cimento Portland de alto-forno - CP III (NBR 5735/1991);
- Cimento Portland pozolânico - CP IV (NBR 5736/1999);
- Cimento Portland de alta resistência inicial - CP V (NBR 5733/1991);
- Cimento Portland resistente a sulfatos - CP RS (NBR 5737/1992);
- Cimento Portland de baixo calor de hidratação - CP BC (NBR 13116/1994);
- Cimento Portland branco - CPB (NBR12989/1993).

Entretanto, ressaltam Helene e Andrade (2010), os diferentes tipos de cimento produzem para um dado concreto, em uma determinada idade, resistências à compressão iniciais e finais distintas, mesmo utilizando relação água/cimento iguais. Esta variação ocorre devido às distintas composições químicas e às adições introduzidas durante seus respectivos processos de produção. Outros fatores, como procedimento de mistura, lançamento, adensamento, transporte e cura do concreto,

influenciam na sua resistência e durabilidade. O quadro 4 apresenta a potencial variação da resistência do concreto aos 28 dias de idade, em função do tipo de cimento e da relação água/cimento.

Quadro 4 – Resistência média do concreto, em MPa, em função da relação a/c para vários tipos de cimento

Tipo e classe de cimento	Relação água/cimento				
	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
CP I 32	28	32	37	41	47
CP II 32	24	28	31	35	39
CP II 40	28	32	36	41	46
CP III 32	23	27	31	36	41
CP III 40	27	32	37	42	49
CP IV 32	24	28	32	36	41
CP V ARI.RS	30	33	38	42	46
CP V ARI	33	38	42	47	53

Fonte: Helene e Andrade (2010)

Segundo Silva (1995), a coloração do cimento depende do teor de óxidos de ferro e manganês presentes em sua composição, variando desde branco, quando estes óxidos apresentam valores menores que 0,8% e 0,02%, respectivamente, passando pelos diversos tons de cinza com o aumento destes valores percentuais. O tipo e o teor das adições presentes nos cimentos CPII, CPIII e CPIV condicionam suas tonalidades. O autor cita ainda que:

- Cimentos pozolânicos contendo cinza volante \Rightarrow induzem concretos de tonalidades escuras, que serão mais intensas quanto maior for o teor de adição.
- Cimentos com pozolanas naturais (normalmente argilominerais requeimados e finamente pulverizados) \Rightarrow induzem concretos com tonalidade avermelhada.
- Cimentos de alto-forno \Rightarrow induzem concretos com tonalidade mais clara que concretos produzidos com cimento portland comum.
- O cimento estrutural branco \Rightarrow Além de ser utilizado para produzir concretos aparentes brancos, poderá ser adicionado aos demais tipos de cimento para atenuar a coloração do concreto.

Este autor ressalta que a seleção do tipo de cimento deverá ser feita na expectativa de não apresentar manifestações patológicas visuais, como as fissuras de retração, as eflorescências, as manchas e as variações de cor. Espera-se que, por sua vez, o concreto resista à agressividade ambiental. Desta forma, concretos produzidos com:

- a) cimento CP V estão sujeitos a “fissuras decorrentes da maior retração por secagem em condições ambientais inapropriadas” (BATTAGIN, A.; BATTAGIN, I., 2010, p.769). Pelo mesmo critério, este autor não indica a sua aplicação em pastas de estucamento;
- b) cimentos CP III e CP IV apresentam “maior estabilidade, durabilidade e impermeabilidade, pois conferem ao concreto menor calor de hidratação, maior resistência ao ataque por sulfatos e cloretos” (BATTAGIN, A.; BATTAGIN, I., 2010, p.770);
- c) cimentos CP III e CP IV não são recomendados para painéis com superfície lisa, pois apresentam grandes variações de composição e de cores conforme fabricante, lote e/ou região de origem (RIVERA, 2007);
- d) cimento CP III contém sulfetos que podem provocar manchas devido ao seu alto teor de escória de alto-forno (37 a 70%) e o CP IV, rico em pozolana (15 a 50%), apresenta dificuldades de hidratação da escória e da pozolana, respectivamente, sugerindo maiores cuidados de cura (BATTAGIN, A.; BATTAGIN I., 2010, p.770). Pelo mesmo critério, este autor não os indica para serem utilizados em pastas de estucamento;
- e) cimento CP BC “são especialmente indicados para obras de grandes dimensões” (BATTAGIN, A.; BATTAGIN I., 2010, p.773);
- f) alteração no consumo de cimento interfere na cor superficial, pois menor consumo de um mesmo cimento produz concretos com tonalidades mais claras (RIVERA, 2007).

Face ao exposto, este autor sugere preferencialmente utilizar o cimento Portland composto com fíler calcário - CP II-F, em especial o cimento Portland de

baixo calor de hidratação – CP II-F BC para peças de grandes dimensões, em estruturas de concreto parente, por não apresentarem em sua composição adição de escória de alto-forno e de pozolana. Adições que podem interferir na aparência do concreto.

5.2 Aditivos químicos

Segundo a norma ABNT NBR 11768/2011: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos, “aditivo é o produto adicionado durante o processo de preparação do concreto, em quantidade não maior que 5% da massa de material cimentício contido no mesmo, com o objetivo de modificar suas propriedades no estado fresco e/ou no estado endurecido”. Os aditivos plastificantes, superplastificantes e incorporadores de ar atuam nas propriedades reológicas do concreto e os aditivos retardadores e aceleradores alteram as reações de hidratação dos compostos do cimento: C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF (SILVA, 1995).

Os aditivos são classificados pela norma NBR 11768/2011 de acordo com sua ação principal ou efeito provocado no concreto durante sua mistura ou no estado endurecido. Exercem ações físicas, químicas e físico-químicas ligadas diretamente às partículas e aos compostos principais do cimento. Os aditivos de ação física são os plastificantes e superplastificantes de pega normal e os incorporadores de ar; de ação química são os aceleradores e retardadores; e de ação físico-química são os plastificantes e os superplastificantes aceleradores e retardadores (SILVA, 1995, p.42).

O uso de aditivos redutores de água / plastificantes e de aditivos de alta redução de água / superplastificantes do tipo I e do tipo II são essenciais na produção do concreto aparente em face dos benefícios proporcionados por eles, principalmente no estado fresco, pelas características de boa fluidez e coesão, fatores que favorecem a produção de concretos com melhor acabamento.

Watanabe (2008) cita que os aditivos superplastificantes e os controladores de hidratação são fundamentais para a qualidade do concreto colorido, em especial ao concreto branco, dadas as características específicas do cimento branco. “Uma

estrutura de concreto branco aparente não deve apresentar falhas de concretagem, pois correções futuras deixam marcas visíveis, prejudicando a estética”. O autor sugere dosar concreto branco com aditivos superplastificantes, com abatimento superior a 120 mm para garantir consistência fluida do concreto no estado fresco, proporcionando adequado lançamento e adensamento.

Rivera (2007) adverte que aditivos de base orgânica podem interferir na cor do concreto e que alguns aditivos plastificantes ou polifuncionais incorporam mais ar, provocando bolhas superficiais. Desta forma, é prudente analisar previamente a interferência desses aditivos, portanto, testes devem ser realizados.

Segundo o manual de aditivos para concreto, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Impermeabilização em sua 1ª edição, os aditivos plastificantes apresentam a capacidade de redução de água superior a 5% em relação ao concreto sem aditivo. Com o avanço tecnológico da indústria química, foram desenvolvidos os aditivos classificados como superplastificantes tipo I, que permitem redução no teor de água superior a 12%. A terceira geração de aditivos classificados como superplastificantes do tipo II oferecem taxas de redução de água superiores a 20%, dependendo das características da base química do aditivo e da dosagem utilizada.

Segundo a norma NBR 11768/2011, os aditivos redutores de água / plastificantes e os redutores de água / superplastificantes desempenham as ações descritas nos próximos itens:

- a) Aditivo redutor de água / plastificante:** reduz a quantidade de água do concreto, sem modificar sua consistência no estado fresco, ou mantendo o teor de água do concreto, modifica sua consistência, proporcionando maior abatimento e fluidez. Pode ainda produzir ambos os efeitos simultaneamente. Possui ainda a capacidade de retardar (plastificante retardador – PR), ou acelerar (plastificante acelerador – PA), ou manter (plastificante – PN) a pega do material cimentício;

b) Aditivo de alta redução de água / superplastificante tipo I: reduz de forma importante a quantidade de água do concreto, sem modificar sua consistência no estado fresco, ou mantendo o teor de água do concreto, eleva bastante o abatimento e a fluidez do concreto e pode ainda produzir ambos os efeitos simultaneamente. Possui também a capacidade de retardar (superplastificante tipo I retardador – SPI-R), ou acelerar (superplastificante tipo I acelerador – SPI-A), ou manter (superplastificante tipo I – SPI-N) a pega do material cimentício. São formulados à base de naftaleno sulfonado e tendem a ter cores escuras, ou à base de melanina, que são normalmente de cores claras, sendo mais indicados para produzir concreto branco (WATANABE, 2008, p.167);

c) Aditivo de alta redução de água / superplastificante tipo II: reduz de forma importante a quantidade de água do concreto, sem modificar sua consistência no estado fresco, ou mantendo o teor de água do concreto, eleva bastante o abatimento e a fluidez do concreto e pode ainda produzir ambos os efeitos simultaneamente. Possui ainda a capacidade de retardar (superplastificante tipo II retardador – SPII-R), ou acelerar (superplastificante tipo II acelerador – SPII-A), ou manter (superplastificante tipo II – SPII-N) a pega do material cimentício. São formulados à base de policarboxilato e possuem cores claras, sendo mais recomendados para o concreto branco (WATANABE, 2008, p.167).

De maneira geral, os aditivos plastificantes e superplastificantes proporcionam ao concreto aparente os seguintes benefícios principais:

- Possibilidade de redução do consumo de cimento;
- Melhoria na trabalhabilidade (aumento da fluidez e da coesão);
- Redução de retrações térmicas, fissuração e exsudação;
- Redução da permeabilidade aos líquidos;
- Aumento na resistência mecânica e na durabilidade;
- Facilidade no adensamento;
- Melhoria na qualidade de acabamento superficial.

Segundo os manuais e catálogos técnicos de empresas fabricantes de produtos químicos para a construção que atuam no mercado brasileiro⁴, os aditivos químicos são misturados previamente na água de amassamento ou adicionados após a mistura do cimento, das adições minerais, dos agregados e parte da água ($\pm 70\%$). Em seguida, são adicionados com o restante da água ($\pm 30\%$).

Caso sejam utilizados dois aditivos diferentes no mesmo concreto, recomenda-se que sejam adicionados separadamente. A adição de aditivos líquidos aos materiais secos nunca deve ser feita. As dosagens são recomendadas em valores percentuais sobre a soma das massas do cimento e das adições minerais, sendo calculadas pelas equações 5 e 6 apresentadas a seguir. Os percentuais recomendados nas dosagens normalmente são variáveis em função das características físicas e químicas requeridas para um dado concreto.

CÁLCULO DA DOSAGEM DO ADITIVO

$$\text{Dosagem em massa} = \frac{\text{percentual do aditivo} \times (\text{massa do cimento} + \text{massa da adição})}{100} \quad (5)$$

$$\text{Dosagem em volume} = \frac{\text{percentual do aditivo} \times (\text{massa do cimento} + \text{massa da adição})}{\text{densidade do aditivo} \times 100} \quad (6)$$

Lembrando que: $1 \text{ kg/l} = 1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ g/ml}$

5.3 ADIÇÕES MINERAIS

Adições minerais são materiais silicosos (sílica, cálcio e alumínio) finamente moídos compostos por pozolanas⁵ em estado natural ou artificial, que são adicionadas ao concreto durante sua mistura em quantidades relativamente grandes para melhorar as propriedades do concreto, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Dentre os principais efeitos físicos proporcionados ao concreto pelo uso das adições minerais, têm-se a redução na porosidade capilar, condutora de

⁴ Algumas empresas que atuam no mercado brasileiro: Sika, Vedacit, MC-Bauchemie.

⁵ Pozolanas – Materiais silicosos ou sílicoaluminosos que, quando numa forma finamente dividida e em presença de umidade, reagem quimicamente com o Ca(OH)_2 , à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades cimentícias (norma NBR ABNT 12653).

agentes deletérios no concreto, e a diminuição das fissuras de origem térmica devido à redução do calor de hidratação (DAL MOLIN, 2005 apud FONSECA, 2010, p.50), características essenciais para a durabilidade do concreto aparente.

Além das propriedades técnicas proporcionadas pelo uso das adições, atuam ainda como substitutas parciais do cimento para reduzir custos. A redução do consumo do cimento, por sua vez, possibilita minimizar a ocorrência de fissuras de origem térmica em função da redução do calor gerado durante as reações de hidratação dos compostos do cimento.

Watanabe (2008) afirma que o uso das adições é importante para o incremento da resistência mecânica e da durabilidade do concreto, sendo que diversos tipos de adição podem ser utilizados durante a produção do concreto, dentre elas, a sílica ativa, o metacaulim, a cinza volante, a escória de alto-forno e o fíler.

Porém, cita que alguns cuidados são necessários quando as adições são utilizadas em concretos aparentes branco e colorido:

- a) Em concretos brancos, a cor da adição vai influenciar na coloração final do concreto;
- b) Não utilizar cinza volante em concretos brancos e coloridos, devido à acentuada variação das cores obtidas;
- c) A tonalidade da sílica ativa poderá interferir na tonalidade do concreto quando utilizada em teores superiores a 5%, principalmente no concreto branco;
- d) Conforme a produção do metacaulim, a tonalidade obtida será rósea ou com tonalidade extremamente clara.

5.3.1 Propriedades das adições

No Quadro 5, é apresentado um resumo dos principais tipos de adições minerais, suas propriedades e seus efeitos no concreto no estado fresco e no estado endurecido.

QUADRO 5 – Adições minerais e seus efeitos

PROPRIEDADES	ADIÇÕES MINERAIS					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Reduz exsudação e segregação	😊	😊	😊			😊
Requerem maior consumo de água	😊				😊	
Menor consumo de água			😊	😊		
Usada com aditivos redutores de água	😊				😊	
Maior resistência à compressão	😊😊	😊	😊	😊	😊😊	
Reduz a permeabilidade e porosidade	😊😊	😊	😊	😊	😊😊	😊
Densifica a zona de transição pasta/agregado	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Maior resistência a agentes agressivos	😊			😊	😊	
Maior plasticidade		😊				
Retardam o início da pega			😊			
Correção da granulometria ao agregado miúdo	😊		😊			😊
Menor calor de hidratação			😊	😊		

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de Watanabe, 2008 e Fonseca, 2010

(1) Sílica ativa; (2) Metacaulim; (3) Cinza volante; (4) Escória de alto-forno; (5) Cinzas da casca de arroz; (6) Fíler.

Diante do exposto, este autor conclui que, dentre os benefícios anteriormente relacionados pela utilização das adições no concreto, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, ressalta-se o aumento da massa específica, face à capacidade de empacotamento. Isso ocorre devido às dimensões das partículas serem bem inferiores às do cimento, na redução da porosidade da pasta cimentícia, na redução da água livre que fica retida na zona de transição pasta/agregado e pasta/armadura e na redução da permeabilidade. Esses fatores proporcionam ao concreto aparente, com ou sem proteção superficial, maior durabilidade e melhoria na qualidade de acabamento superficial.

5.3.2 Aplicação das adições minerais

As adições minerais são fabricadas por empresas de produtos químicos para construção e indústria de artefatos de concreto. São introduzidas durante a mistura do concreto e dosadas em função da massa do cimento, segundo a equação 7:

$$\text{Dosagem em massa} = \frac{\text{percentual da adição} \times \text{massa do cimento}}{\quad} \quad (7)$$

5.4 Pigmentos

São pós extremamente finos, inertes e insolúveis em meio aquoso. São formulados à base de óxidos de ferro, de cromo e de cobalto (pigmentos inorgânicos) que promovem a coloração de concretos, argamassas e pastas (SILVA, 1995). Os pigmentos orgânicos não são apropriados para uso com materiais à base de cimento Portland, pois interferem nas reações de hidratação e podem se converter em sais solúveis, provocando eflorescências na superfície do concreto aparente. Além disso, sofrem alterações de cor em curto espaço de tempo pela ação do intemperismo.

Normalmente, as cores utilizadas em concreto colorido são o verde, o amarelo, o vermelho, o marrom e o preto. Segundo Silva (1995), as dosagens nunca devem ser superiores a 10% da massa do cimento, sendo usualmente utilizadas dosagens em torno de 3 a 5% para produzir tons pastéis e até 7% para tons escuros. Acima destes valores percentuais, o pigmento não alterará substancialmente a cor e haverá queda significativa na resistência mecânica do concreto.

Por experiência deste autor, a coloração do concreto é sempre afetada principalmente pela tonalidade do cimento. Para colorir concretos com cores claras, deve-se utilizar preferencialmente cimentos da cor cinza claro ou cimentos brancos. Diferentes tonalidades de cimento, aditivos químicos, adições minerais, agregados, consistência, relação água/cimento, adensamento e fôrmas podem criar diferenciais na cor e na aparência final do concreto colorido.

Na produção do concreto colorido, o pigmento em forma de pó é previamente misturado a seco na betoneira com os aglomerantes (cimento e adição mineral), promovendo-se a perfeita homogeneização e a quebra de possíveis torrões do pigmento. Posteriormente, adiciona-se parte da água, o agregado graúdo, o agregado miúdo e o restante da água. Em face da finura dos pigmentos, deve ser utilizada maior quantidade de água de amassamento ou aditivos redutores de água/plastificantes ou superplastificantes (SILVA, 1995).

Segundo as empresas Sika S.A. e Degussa Construction Chemicals Brasil, fabricantes de produtos químicos para construção, para os pigmentos líquidos, o processo de mistura deverá ser realizado na usina de concreto no início, durante ou ao final do preparo do concreto, sendo a adição do pigmento realizada antes do ajuste do *slump test*. Caso o concreto seja produzido em obra, adiciona-se o pigmento na betoneira com a mistura pronta, antes, porém, do ajuste da consistência.

É prudente executar painéis-testes para verificar a coloração e a tonalidade especificadas em projeto. No entanto, esta verificação deverá ser concluída e aprovada somente após sete dias, pelo fato de que a água presente no interior do concreto pode causar futuras alterações.

5.5 Agregados

Os agregados miúdos exercem forte influência na cor final da superfície do concreto devido ao “efeito parede” citado por Franco et al. (2003), em contraposição aos agregados graúdos, que não a influencia (SILVA, 1995). Assim, os agregados miúdos devem ser de mesma origem, mesma cor e devem possuir a mesma granulometria. Impurezas, argila, materiais carbonosos (partículas de carvão, linhito, madeira e matéria vegetal sólida) e pirita presentes nos agregados podem causar manchas no concreto aparente (SILVA, 1995). De modo geral, substâncias nocivas são prejudiciais a qualquer tipo de concreto, em especial ao concreto aparente cinza, ao branco e ao colorido, sendo que os limites máximos aceitáveis dessas substâncias estão estabelecidos na norma ABNT NBR 7211/2009.

5.5.1 Granulometria

As dimensões, o formato e a distribuição dos grãos de um dado agregado influenciam nas propriedades no estado fresco (trabalhabilidade, consistência, demanda de água) e no estado endurecido (resistência mecânica, permeabilidade, textura, coloração da superfície e risco de fissuração). Por meio do ensaio de granulometria, são obtidos dois parâmetros importantes: a dimensão máxima característica (D_{max}), que caracteriza o tamanho do grão e o módulo de finura (MF),

que permite detectar variações na graduação de agregados de mesma fonte (SILVA, 1995).

Segundo Petrucci (1987), as britas possuem grãos nas formas aproximadamente cúbicas, alongadas e lamelares. No entanto, as britas de forma cúbica são as mais adequadas para a produção do concreto estrutural devido à relação uniforme entre suas três dimensões. Esta característica é que propicia maior facilidade de preparo e de adensamento, em melhor trabalhabilidade e redução na relação água/aglomerantes, fatores que contribuem para melhores resistências mecânicas e durabilidade ao concreto.

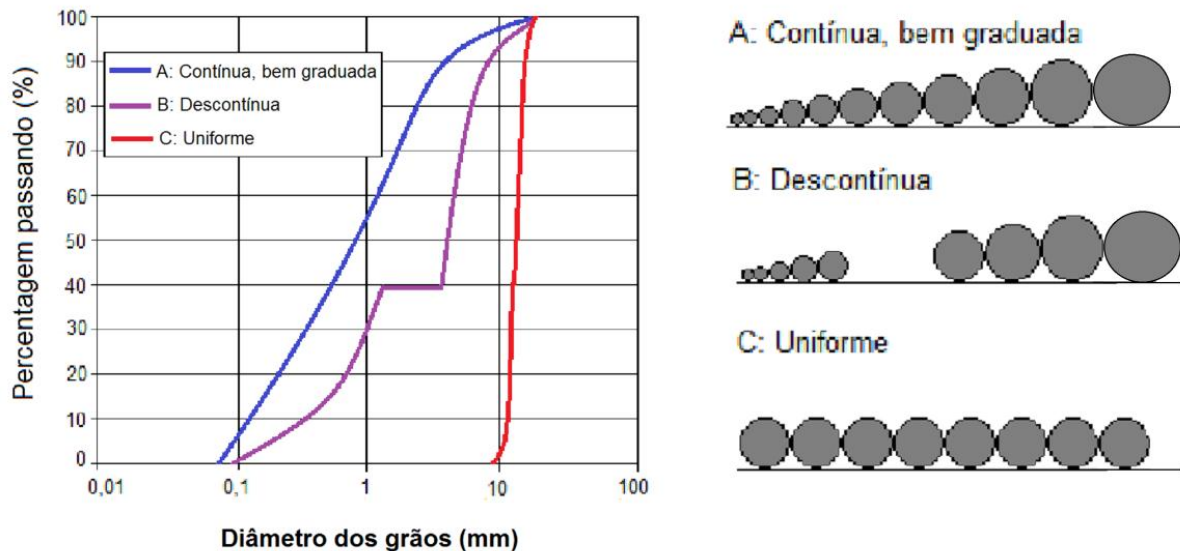
5.5.2 Curvas granulométricas

As curvas granulométricas são traçadas utilizando-se os valores obtidos pelo peneiramento dos agregados nas peneiras da série normal e intermediária. Esses valores são transcritos para um gráfico cartesiano em que o eixo das abscissas representa as aberturas das peneiras, ou o diâmetro dos grãos em escala logarítmica, e no eixo das ordenadas são colocadas as porcentagens retidas acumuladas ou acumuladas passantes. O objetivo dessas curvas é verificar se um dado agregado é bem ou mal graduado, segundo o perfil da curva obtida. Os agregados, quando bem graduados, possibilitam o emprego de maior quantidade desse material em um determinado volume de concreto, dando origem a misturas mais densas, com maior estabilidade volumétrica e menor índice de vazios (FARIAS; PALMEIRA, 2010).

As curvas são definidas em uniforme, descontínua e contínua (Figura 3). A curva é uniforme quando apresenta o maior percentual de seus grãos em um único intervalo de peneiras, fato que demonstra possuir a maioria de seus grãos do mesmo tamanho e, por isso, maior quantidade de vazios entre suas partículas. A curva descontínua apresenta um ou mais intervalos entre peneiras que não apresentaram nenhuma porcentagem retida de grãos, configurada por apresentar patamares horizontais. A granulometria contínua apresenta seus grãos distribuídos em todos os intervalos das peneiras, com melhor encaixe / empacotamento de partículas e com potencial de produzir concretos mais densos, com melhores

texturas e uniformidades de cor, sendo, portanto, a mais indicada para os concretos em geral e para os concretos aparentes em particular (SILVA, 1995).

Figura 3 – Tipos de curvas granulométricas



Fonte: Farias e Palmeira (2010)

Diante do exposto acerca dos materiais utilizados para produzir os concretos aparentes, colorido e branco, que atendam às especificações de resistência mecânica, que apresentem superfície e coloração uniformes, de resistência aos agentes atmosféricos agressivos, de impermeabilidade e de durabilidade, é necessária a correta especificação do aglomerante, dos agregados, dos aditivos, das adições, dos pigmentos e da relação água/cimento. Outros fatores também interferem no aspecto visual do concreto: o tipo e a qualidade das fôrmas, o cobrimento das armaduras, o adensamento, a ocorrência de bolhas superficiais, o posicionamento das juntas de concretagem e os desmoldantes aplicados. Desta forma, percebe-se a importância em produzir previamente na fase de execução da obra painéis-testes para as devidas correções e ajustes. Nesta fase também devem ser definidos os tempos de preparo e de aplicação, a consistência e a trabalhabilidade e, eventualmente, a necessidade de aplicação de pasta de estucamento para reparos.

6 AÇÕES QUE VISAM A DURABILIDADE ESTRUTURAL

Para que as estruturas de concreto aparente cinza, branco e colorido sejam executadas com características arquitetônicas cujas superfícies visíveis expressam valor estético à edificação, sem irregularidades superficiais e com capacidade de resistir à ação do intemperismo durante toda vida útil, é importante que determinados critérios normativos e recomendações técnicas sejam atendidos nas diversas fases executivas da obra.

Na concepção e nas definições das características da fôrma, textura, formato do relevo e coloração dos diversos elementos de concreto aparente durante a fase de projeto arquitetônico, é importante analisar efetivamente o grau de dificuldade em executar e atender adequadamente às prescrições do projeto, evitando que ocorram adaptações ou modificações durante a fase de execução da obra. A norma ABNT NBR 6118/2014 estabelece especificações técnicas de projeto visando sobretudo a durabilidade estrutural, onde dispõe sobre detalhes e formas arquitetônicas.

Os detalhes construtivos como pingadeiras, juntas de dilatação, chapins, rufos, juntas entre painéis de fôrma e frisos, além de desenhados em escala adequada, devem conter a especificação técnica de como serão executados, incluindo a relação de materiais e de componentes, não deixando esta tomada de decisão a cargo da experiência da equipe da obra.

As tolerâncias de defeitos superficiais citadas por Silva (1995) segundo os parâmetros apresentados pelo *Conseil International du Batiment Pour la Recherche l'Estude et La Documentation* CIB Comite W29: *Concrete Surface Finishes*, como desvios geométricos, variação de cor, ocorrências de bolhas superficiais, são irregularidades que devem ser definidas em projeto e atestadas nos painéis-testes.

Para os sistemas de proteção superficial, em face do tipo de produto aplicado, da espessura da película seca e em função da classe de agressividade ambiental onde a obra está inserida, devem ser pré-estabelecidas em projeto a data e a metodologia executiva para realização da primeira manutenção preventiva.

6.1 Diretrizes de projeto

- Especificar a classe, a resistência característica e o módulo de elasticidade do concreto (ABNT NBR 14931/2004).
- “Disposições arquitetônicas ou construtivas que possam reduzir a durabilidade da estrutura devem ser evitadas” (ABNT NBR 6118/2014), como cantos e arestas, peças esbeltas, locais de difícil acesso para manutenções, inclinações em elementos construtivos que possibilitem o acúmulo de água proveniente das chuvas, dentre outros.
- Especificar o cobrimento nominal do concreto em função da classe de agressividade ambiental, segundo a NBR 6118/2014 e conforme o microclima onde a obra está inserida.
- Escolher o tipo de cimento em função da tonalidade requerida, da classe de agressividade ambiental e de outras características da obra.
- Representar os detalhes executivos dos elementos estruturais em escala adequada, sugere Silva (1995) na escala 1:10, como as juntas de dilatação, as pingadeiras nas bordas de vigas e lajes, as inclinações para evitar o acúmulo de água no topo dos elementos estruturais, o arredondamento dos cantos e arestas, a aplicação de selantes, a integração com outros materiais, dentre outros.
- Inserir elementos de proteção como chapins, pingadeiras, rufos, etc. que evitem a percolação ou acúmulo de água nos elementos estruturais (ABNT NBR 6118/2014).
- Evitar cantos e arestas acentuadas na vertical e horizontal (SILVA, 1995).
- Analisar a possibilidade de minimizar a incidência direta da radiação solar.
- Estabelecer inclinações e drenagens (ABNT NBR 6118/2014).
- Descrever método executivo e especificar os materiais para selar as juntas de dilatação.
- Desenvolver projeto específico para tratamento e proteção superficial do concreto.
- Compatibilizar interferências com demais projetos
- Definir e locar suportes para sustentação de balancins, cadeiras suspensas, etc., de preferência de aço inoxidável, fixados no topo da edificação para execução de limpeza e manutenção.

Segundo a norma ABNT NBR 6118/2014, o valor mínimo de f_{ck} requerido para estruturas de concreto armado é de 20 MPa (classe C20) e para estruturas de concreto protendido é de 25 MPa (classe C25). O concreto deverá ser produzido com vistas a atender essas resistências ou demais classes de resistências à compressão previstas na mencionada norma (chegando até a classe C90), devendo ser avaliado periodicamente durante a execução da estrutura, por meio de controle tecnológico. O parâmetro mais importante para que o concreto atenda à resistência mecânica e à durabilidade satisfatória é a relação água/cimento, sendo esta responsável por interferir em todas as propriedades mecânicas e de permeabilidade.

Segundo Helene (2005, p. 465 apud RIBEIRO, 2010), outros critérios técnicos devem ser seguidos em face das características que o concreto aparente requer, portanto, o concreto deverá ter resistência à compressão superior a 40 MPa, relação água/cimento inferior a 0,45, utilizar cimentos com baixo teor de silicato tri-cálcico (C₃S), para reduzir a ocorrência de eflorescências e ser o concreto mais argamassado, para obter adequado acabamento superficial.

Com a finalidade de atender às exigências de reduzir a permeabilidade, de durabilidade e de resistência às condições de exposição ambiental, devem ser incluídos essencialmente na produção do concreto aparente os aditivos químicos e as adições minerais.

6.2 Diretrizes de projeto de produção

- Desenvolver a dosagem do concreto e especificar seus constituintes.
- Estabelecer a relação água/cimento.
- Realizar ensaios com os materiais (cimento, areia, brita, etc.), com atenção para os ensaios de qualidade do agregado graúdo (fator de forma, etc.) e avaliação de eventuais impurezas no agregado miúdo (matéria orgânica, pirita, teor de argila, presença de mica, etc.).
- Informar a usina fornecedora do concreto que não poderão ocorrer mudanças nos tipos de materiais constituintes do concreto, bem como na relação água/cimento, no consumo de cimento, no tipo e quantidade de aditivos ou adições e demais características do concreto.

- Definir o tipo de desmoldante para as fôrmas.
- Especificar materiais, aditivos químicos, adições e equipamentos.
- Especificar tempo para desenforma.
- Determinar locais para juntas de concretagem.
- Especificar tipo e natureza da fôrma (madeira, metálica, plástica, etc.).
- Definir o procedimento e tipo de cura do concreto.
- Estabelecer plano de manutenção preventiva.

6.3 Diretrizes de execução

- Seguir as prescrições das fases de projeto.
- Dar preferência ao concreto autoadensável. Caso contrário, executar o lançamento e o adensamento do concreto em camadas com espessura aproximadamente igual a $\frac{3}{4}$ do comprimento da agulha do vibrador de imersão, penetrando cerca de 10 cm na camada inferior (ABNT NBR 14931/2004).
- Produzir o concreto seguindo sempre a mesma ordem de mistura de seus constituintes.
- Controlar a limpeza / lavagem dos agregados, particularmente dos agregados miúdos.
- Fazer ajustes necessários no concreto recomendado na fase de projeto de produção.
- Conferir / levar em consideração na dosagem o teor de umidade dos agregados.
- Manter os agregados miúdo e graúdo protegidos evitando sua contaminação.
- Peneirar o agregado miúdo para garantir sua granulometria e evitar a presença de matéria orgânica e torrões de argila.
- Atender aos prazos para produção e aplicação do concreto.
- Executar painéis-testes para aferir aspecto visual do concreto.
- Manter as características dos agregados (cor, forma, granulometria, natureza mineralógica, origem, textura superficial).
- Utilizar água potável na produção do concreto.
- Executar cura úmida com água limpa e inodora, sem contaminação por óleos e sem presença de matéria orgânica ou aplicar película de cura.
- Controlar a qualidade dos materiais.

- Adensar o concreto preenchendo o total espaço das fôrmas, de maneira que inexistam falhas de concretagem, bolhas de ar ou outras imperfeições.
- Evitar a segregação do concreto devido ao transporte, lançamento e adensamento.
- Proteger a superfície do concreto após desenforma, evitando contato com água de chuva, poeira e outros contaminantes.
- Orientar e fiscalizar a mão de obra.
- Fiscalizar efetivamente todas as fases executivas para prevenir possíveis falhas.
- Programar visitas técnicas dos projetistas para analisar a qualidade superficial dos elementos estruturais.

Atenção especial deve ser dada durante a desenforma e na cura do concreto, sendo necessário que a equipe envolvida neste serviço seja devidamente orientada e possua conhecimento prévio que o concreto não poderá sofrer danos, pois não receberá nenhum tipo de revestimento ou pintura. É prudente que a fiscalização da obra acompanhe também essa etapa, mapeando a ocorrência de imperfeições superficiais para a execução de eventuais reparos.

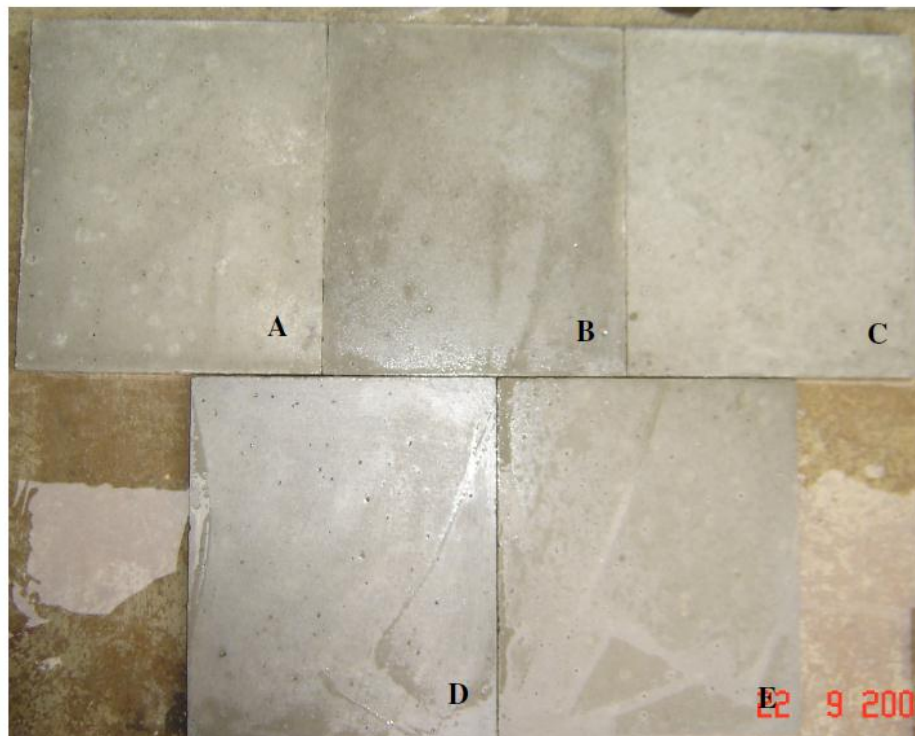
Em face do exposto, são requeridos os seguintes cuidados:

- Manter as fôrmas laterais o maior tempo possível, pelo menos entre cinco e sete dias após a concretagem;
- Os escoramentos devem ser mantidos até o concreto atingir a resistência de projeto. Consultar o relatório emitido pelo controle tecnológico do concreto;
- Evitar o contato direto de ferramentas com o concreto. Empregar cunhas de madeira para dessolidarizar o concreto onde ocorreu eventual aderência da fôrma;
- Remover as fôrmas com cuidado para não quebrar cantos e arestas;
- Não riscar a superfície do concreto;
- Atenção com luvas de proteção dos operários que podem estar sujas de graxa, óleo ou outros produtos que possam causar manchas;
- Remover, após a desenforma, sujidades ou poeira aderidas na superfície para não impregnarem o concreto;
- Proteger cantos e arestas dos elementos estruturais suscetíveis a quebras.

Helene e Levy (2013) apontam que a cura é um fator determinante para a qualidade e durabilidade do concreto. Este essencial procedimento reduz a porosidade do concreto, a carbonatação, o surgimento de fissuras de retração por secagem e o ingresso de agentes deletérios ambientais, principalmente a difusão de íons cloreto que induzem a corrosão das armaduras e, conseqüentemente, deslocamento da camada de cobrimento. É visto com frequência nas obras o concreto ser molhado aleatoriamente ao longo do dia e em curto período de tempo, sem adotar nenhum critério. Este autor ressalta que a cura, muitas vezes, não é recomendada nos projetos estruturais, não contemplada em especificações técnicas ou em memoriais dos processos licitatórios de obra, não fazendo parte do preço da etapa da produção da estrutura, como se fosse totalmente desnecessária.

Segundo Rivera (2007), diferentes tempos de cura úmida e produtos de cura modificam a tonalidade da superfície do concreto aparente (fotografia 9).

Fotografia 9 – Diferentes cores em função do tempo e tipo de cura
A – cura ao ar livre, B – cura úmida: 7 dias, C – cura úmida: 14 dias
D – cura úmida: 28 dias e E – película de cura.



Fonte: Rivera (2007)

Cura é o “conjunto de medidas com a finalidade de evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento, que rege a pega e seu endurecimento” (PETRUCCI, 1987). Para o concreto aparente, a melhor cura é a úmida, pois alguns produtos de cura podem provocar manchas em sua superfície (RIVERA, 2007). Na opção por película de cura, o produto utilizado deve ser avaliado antecipadamente.

Alguns cuidados especiais e procedimentos colaboram para execução de uma boa cura, tais como:

- Instalar antecipadamente pontos de alimentação de água;
- Adquirir os materiais necessários: mangueiras, baldes, trinchas, vassourões de pelo, mantas absorventes para cobertura, máquinas aspersoras;
- Selecionar e orientar o pessoal envolvido sobre os procedimentos adotados;
- Iniciar a cura quando o concreto atingir resistência mecânica suficiente;
- Ser Ininterrupta pelo período de sete dias;
- Manter a cura até que o concreto atinja resistência de pelo menos 20 MPa (AÏTCIN, 2000 apud HELENE; LEVY, 2013);
- Todos os elementos estruturais devem ser curados;
- Remover possíveis sujidades provenientes da fôrma.

6.4 Diretrizes de uso

- Não causar danos físicos, químicos e outros na superfície do concreto.
- Realizar vistorias técnicas.
- Realizar manutenção preventiva e corretiva conforme prevista no Manual de Uso, Operação e Manutenção preparado de acordo com a norma NBR 14037.
- Contratar profissional habilitado e capacitado no caso de realização de manutenção corretiva.

7 CRITÉRIOS DE CONTROLE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO APARENTE

De maneira geral, os critérios de controle de materiais e componentes, os critérios para contratação e controle de recebimento das estruturas de concretos aparentes cinza, branco e colorido são os mesmos, relacionados nos itens que se seguem.

7.1 Critérios de controle de materiais e componentes

7.1.1 Fôrmas

O tipo, o material, a qualidade e o arranjo das fôrmas determinam a textura dos concretos aparentes, possibilitando reproduzir fielmente seu formato geométrico, definido preliminarmente pelas formas arquitetônicas e estruturais. Vários são os efeitos produzidos pela modulação das fôrmas e desenhos por meio de relevos durante a colocação das tábuas e ripas, como apresenta o concreto ripado, ou moldes para produzir efeitos tridimensionais do concreto aparente.

Usualmente na produção de estruturas de concreto aparente são utilizados os seguintes tipos de fôrmas:

- Chapas de madeira plastificadas, possuindo dimensões de 1,10 x 2,20 m e 1,22 x 2,44 m, com espessuras de 8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm, 18 mm e 20 mm;
- Tábuas serradas, barrotes e ripas;
- Chapas de metal: aço, alumínio e magnésio;
- Plástico: PVC, polietileno duro, poliestireno duro, etc.;
- *Styrofoam*.

Diversas precauções devem ser tomadas durante a fase de execução para se produzir concreto aparente que apresente bom aspecto visual, sem manifestações patológicas que dependem, além da qualidade e do tipo das fôrmas, de procedimentos a elas associadas, dentre às quais este autor cita: a falta de

alinhamento, vazamento de pasta de aglomerante pelas juntas das fôrmas, desaprumos, restos de serragem, sobras de pregos ou pedaços de arame da montagem das armaduras, deformações e falhas decorrentes do reaproveitamento excessivo das fôrmas.

Com base em diversas obras acompanhadas, e vários serviços de reparo executados por este autor em Fortaleza/CE, são apresentadas a seguir algumas recomendações referentes a procedimentos que devem ser adotados em obras de concreto aparente:

- a mão de obra deve ser habilitada para confecção e montagem das fôrmas que, quando retiradas produzam uma estrutura que apresente aspecto de adequado acabamento final, sem desaprumos acidentais, sem falhas de alinhamento e imperfeições geométricas que necessitem de correções que comprometerão a aparência superficial do concreto;
- as fôrmas precisam sempre ser avaliadas pela fiscalização da obra antes de seu uso, não utilizando aquelas que possam prejudicar a aparência do concreto;
- chapas de compensado do tipo resinadas não devem ser utilizadas, pois eventualmente podem provocar manchas devido ao desbotamento de sua coloração;
- o tipo de fôrma não poderá ser alterado quando parte da estrutura estiver executada, pois alterará a aparência e a textura do concreto.

A estabilidade e a estanqueidade das fôrmas são fundamentais para evitar a fuga de água, de pasta e de argamassa e, às vezes, de concreto durante o adensamento. O vazamento de material poderá ocorrer entre a junção das peças das fôrmas, por desprendimentos e por diversas imperfeições durante a montagem e a concretagem, causando falhas delimitadas por manchas escuras, que só serão removidas por processo de lixamento mecânico (fotografia 10) e corrigidas por estucamento (fotografia 11). Desta forma, todas as juntas internas entre peças da fôrma devem ser calafetadas com fitas adesivas resistentes a água e executadas com fôrmas devidamente estáveis.

Fotografia 10 – Lixamento mecânico

Fonte: Obra do autor (2010)

Fotografia 11 – Estucamento

Fonte: Obra do autor (2010)

A aderência natural da fôrma pelo contato com o concreto deverá ser eliminada pela aplicação de desmoldante, conforme o tipo de fôrma. No entanto, atenção especial deve ser dada a alguns tipos de desmoldantes que podem provocar manchas na superfície do concreto. Desta forma, é sempre necessário consultar o fabricante e conferir o resultado em painéis-testes.

É necessária rigorosa limpeza das fôrmas, retirando-se restos de serragem, pontas de arames provenientes da montagem das armaduras, pregos e resíduos de qualquer material. As sujidades presentes na fôrma serão automaticamente transferidas para a superfície do concreto (fotografia 12). As fôrmas deverão ser limpas logo após a desenforma.

Fotografia 12 – Sujidades em viga

Fonte: Arquivo do autor (2013)

As fôrmas devem receber nova camada de desmoldante após cada utilização, o que contribuirá inclusive para sua maior durabilidade. A aplicação de óleo queimado como desmoldante nunca deverá ser feita, pois além de causar manchas escuras, reage quimicamente com o concreto reduzindo sua resistência superficial. Após a desenforma, os resíduos de desmoldante deverão ser removidos da superfície do concreto por escovação e lavagem com escova de cerdas de náilon.

Os diversos tipos de fôrma possuem diferentes durabilidades. As tábuas de madeira serradas e ripas têm pequena durabilidade por serem porosas e bastante absorventes, proporcionando pouco reuso. As chapas plastificadas são protegidas por uma película externa, chamada de “tergofilme”, que produz um acabamento liso e praticamente impermeável: a espessura e qualidade da película implicam na quantidade de utilizações da fôrma, que de maneira geral é de 4 a 6 vezes (SILVA, 1995).

7.1.2 Cimento Portland

— REQUISITOS

- Disponibilidade de mercado para evitar a necessidade de substituir o cimento no decorrer da obra, alterando a coloração desejada;
- Utilizar sempre o mesmo tipo e classe, da mesma marca e da mesma fábrica. A mistura com outros tipos de cimento, por exemplo, com o cimento branco, poderá ser realizada para atender à coloração especificada em projeto;
- O consumo de aglomerante e a relação água/aglomerante devem ser mantidos;
- A sequência de mistura na betoneira, após definida durante a confecção dos painéis-testes, não poderá ser modificada;
- Definir o tipo de cimento face às exigências de agressividade ambiental;
- Verificar a compatibilidade com os aditivos químicos. Fazer testes e consultar os respectivos fabricantes;
- Não deve possuir grumos oriundos da hidratação;

- Não utilizar cimentos que foram entregues na obra com sacos abertos ou rasgados;
- Deve ser armazenado sobre estrados de madeira afastados das paredes e do piso, empilhados no máximo com dez sacos. Poderão ser empilhados quinze sacos caso o período de estocagem não ultrapassar 15 dias. Utilizar as partidas que chegaram primeiro na obra ou na usina (ITAMBÉ CIMENTOS, 2010);
- Não utilizar cimento com prazo de validade superior a noventa dias ou que estejam empedrados (ABCP, 23.08.2016).

7.1.3 Agregado miúdo

— REQUISITOS NORMATIVOS (NBR 7211/2009)

- Quantidade máxima de torrões de argila e materiais friáveis (ex.: mica) igual a 3% em relação à massa do agregado;
- Material pulverulento menor que 3% em relação à massa do agregado ou 10% do agregado constituído totalmente de grãos obtidos pela britagem de rochas, desde que, de acordo com apreciação petrográfica feita de acordo com a norma ABNT NBR 7389, os grãos constituintes acima de 150 µm não interfiram nas propriedades do concreto;
- Teor máximo de materiais carbonosos (partículas de carvão, linhito, madeira e matéria vegetal sólida) igual a 0,5% em relação à massa do agregado;
- Possuir módulo de finura estabelecido pelos limites da zona ótima, que varia de 2,20 a 2,90.

Além dessas prescrições, recomenda-se prévia análise da areia a ser empregada no concreto aparente, que deverá ser isenta de mica, pirita / concreções ferruginosas e outros contaminantes.

7.1.4 Agregado graúdo

– REQUISITOS NORMATIVOS (NBR 7211/2009)

- Quantidade máxima de torrões de argila e materiais friáveis iguais a 1% em relação à massa do agregado, para concreto aparente;
- Teor máximo de materiais carbonosos igual a 0,5% em relação à massa do agregado;
- Material pulverulento menor que 1% em relação à massa do agregado. Para agregado total (miúdo + graúdo), provenientes de britagem de rochas o limite de material pulverulento é de 6,5%, desde que quando por apreciação petrográfica feita de acordo com a norma ABNT NBR 7389, os grãos constituintes acima de 150 µm não gerem finos que possam interferir nas propriedades do concreto.

Além dessas prescrições para os agregados miúdos e graúdos, incluem-se como materiais deletérios a qualquer tipo de concreto os materiais micáceos, as concreções ferruginosas (ex.: pirita), que provocam manchas com aparência de ferrugem (SILVA, 1995) e os argilominerais expansivos. Serem isentos de minerais álcali-reativos, conforme estabelecido na norma ABNT NBR 15577-1: Agregados – Reatividade álcali-agregado.

Este autor sugere como características importantes dos agregados na produção dos concretos aparentes:

- Devem ser isentos de impurezas orgânicas de qualquer natureza;
- Particularmente no caso do concreto branco e colorido, é imprescindível que sejam isentos de torrões de argila;
- Manter a mesma granulometria inicial;
- Serem de mesma origem, textura e cor;
- Utilizar preferencialmente agregado graúdo de forma aproximadamente cúbica.

7.1.5 Aditivos

São utilizados no concreto durante sua produção e especificados com o objetivo de atender a determinadas finalidades na expectativa de melhorar o desempenho do concreto. Sem sua aplicação os concretos aparentes, dificilmente terão resultados satisfatórios. Como citado no item 5.2, poderão interferir na coloração dos concretos aparentes.

Fatores gerais que interferem na coloração do concreto:

- Cor do aditivo – Aditivos à base de naftaleno possuem cores escuras, enquanto os policarboxilatos apresentam cores claras;
- Dosagem do aditivo;
- Uniformidade na composição química do aditivo;
- Presença de outros aditivos;
- Tipo, consumo e cor do cimento;
- Presença de adições minerais;
- Tempo de mistura e sequência de colocação na betoneira variáveis durante a produção do concreto;
- Interação com impurezas orgânicas presentes nos agregados;
- Relação água/cimento;
- Consistência do concreto.

7.1.6 Adições minerais e pigmentos

- Disponibilidade de mercado;
- Assegurar a uniformidade da composição;
- Manter o mesmo fabricante;
- Apresentar mesma coloração ao longo da execução;
- Devem ser avaliados durante a produção dos painéis-testes.

7.2 Critérios para contratação do concreto aparente

Os projetos de arquitetura normalmente apresentam resultados satisfatórios quanto a sua concepção. No entanto, o resultado estético e a ocorrência de manifestações patológicas ao longo do tempo podem ser comprometidos, caso não sejam adotados como medidas preventivas uma série de critérios específicos (GRANATO, 2002).

Estruturas de concreto aparente, em especial de concreto branco e concreto colorido, são relativamente pouco executadas quando comparadas a outros tipos de estrutura. No Brasil, existem poucas empresas e profissionais especializados e com experiência neste tipo de construção. Neste contexto, para garantir melhores resultados, cita Granato (2002) que devem ser estabelecidos critérios desde a contratação da obra até o recebimento do serviço, segundo os critérios específicos que se seguem:

a) materiais

- Ter catálogos técnicos com descrição detalhada das características dos produtos, suas limitações e restrições de forma clara;
- Especificar os cuidados e as recomendações de aplicação;
- Oferecer garantia mínima de 5 anos;
- Apresentar data de fabricação;
- Informar o número do lote de fabricação;
- Apresentar disponibilidade de consulta com o fabricante.

b) serviços

- Atestado que comprove a realização de pelo menos três obras semelhantes as do projeto, indicando local e época da execução da obra;
- Apresentar relação do corpo técnico a ser utilizado, informando o tempo de experiência dos profissionais envolvidos na obra;

- Apresentar garantia mínima de aplicação de 5 anos para vernizes e 3 anos para os hidrofugantes;
- Ter ciência que a obra está submetida a um controle da qualidade e que os materiais aplicados serão ensaiados.

7.3 Critérios de controle de recebimento do concreto aparente

- Recebimento dos produtos: nome, data de fabricação, validade, condições das embalagens;
- Inspeção dos materiais, equipamentos e serviços;
- Condições do substrato;
- Mapeamento e caracterização das falhas;
- Aplicação dos produtos: espessura da película seca, temperatura do substrato e intervalo entre demãos;
- Aspecto estético das superfícies;
- Verificação de manchas e bolhas;
- Emissão de relatório de registro de resultados;
- Ensaios técnicos de laboratório e de campo;
- Padrão de cor;
- Demarcação de trechos para revisões;
- Registro de alterações;
- Diário de ocorrências.

Este autor observa que para avaliar e atender aos critérios de qualidade das superfícies do concreto aparente, que foram pré-estabelecidos entre o projetista e o construtor na etapa de construção, deve-se utilizar como referência aqueles que foram aprovados e definidos durante a execução dos painéis-testes.

8 DIRETRIZES PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS-TESTES

Este capítulo apresenta sugestões e orientações gerais baseadas na experiência deste autor para a montagem de painéis-testes, em que estabelece parâmetros para obtenção de um modelo de referência que atenda às especificações do projeto arquitetônico com qualidade e homogeneidade, que possa ser avaliado o desempenho nas fases executivas, com definição e devidos ajustes dos procedimentos do método executivo e do sistema de proteção superficial a ser aplicado ao concreto aparente. A viabilidade técnica-econômica para a execução dos painéis-testes será analisada pelo projetista e pela empresa construtora, segundo os critérios que representam a importância arquitetônica da obra, de seus elementos estruturais e pela dificuldade de execução.

Antecedendo a execução dos painéis-testes, devem ser selecionados e caracterizados pela equipe técnica da obra todos os materiais utilizados na produção do concreto e definidos adequadamente os componentes e equipamentos para execução da estrutura. O controle tecnológico de materiais componentes do concreto deverá ser realizado segundo a norma ABNT NBR 12654/1992 e o preparo, o controle e o recebimento do concreto deverão seguir as prescrições da norma ABNT NBR 12655/2015. Os painéis-testes devem ser produzidos durante a execução dos elementos estruturais de fundação, pois haverá tempo hábil para se fazer as avaliações e os devidos ajustes que porventura serão necessários.

Recomenda-se como local para a montagem dos painéis-testes o de maior incidência de ventilação e insolação, de fácil acesso, instalados em local que permita adequada visibilidade de vários ângulos, posicionados próximos uns aos outros e que simulem os diversos tipos de elementos estruturais da edificação. O tamanho para os painéis-testes pode variar de acordo com as dimensões dos tipos de fôrmas que serão utilizadas para produzir a estrutura. Para o caso de chapas de madeira plastificadas de 1,10 x 2,20 m sugere-se que os painéis-testes tenham dimensões de 2,20 m de comprimento por 0,55 m de altura ou com dimensões de 2,44 m de comprimento por 0,61 m de altura quando utilizadas chapas de 1,22 x 2,44 m. A espessura da fôrma dos painéis-testes deve ser igual a dos elementos do projeto estrutural. As fôrmas devem ter emendas verticais, horizontais e na parte inferior,

caso existam elementos estruturais com dimensões que superem as dimensões das fôrmas. É imprescindível a participação conjunta do projetista e do engenheiro responsável pela obra em todas as fases de montagem dos painéis, pois a qualidade obtida refletirá por toda a superfície do concreto.

A execução dos painéis-testes deve ser realizada segundo as mesmas condições em que o concreto será produzido e a estrutura feita, portanto, executar os relevos na fôrma conforme o projeto, empregar o desmoldante especificado, definir o tipo de vibração para adensamento do concreto, etc. Recomenda-se que a armadura inserida na fôrma represente a de maior densidade de aço conforme os elementos estruturais do projeto, para avaliar a interferência da armadura no lançamento e adensamento do concreto. É importante simular algumas situações que possam eventualmente acontecer durante a execução da estrutura, podendo-se produzir uma junta de concretagem, uma falha de concretagem, um vazamento de pasta, etc., falhas que posteriormente serão recuperadas.

Definidas as características obtidas nos painéis-testes, em especial a aparência final da superfície, o procedimento executivo e os materiais utilizados deverão ser adotados ao longo de toda a execução da estrutura, o qual servirá de modelo comparativo com a superfície produzida na edificação. A avaliação das etapas executivas de cada painel-teste deve ser atestada por um controle da qualidade conforme exposto no quadro 6, este controle analisará o desempenho segundo critérios pré-estabelecidos pelo projetista e pelo engenheiro responsável pela obra.

A avaliação de cada etapa será feita qualitativamente, assinalando o desempenho que representa o resultado obtido. Com base nos resultados, a equipe técnica da obra fará, caso necessário, os devidos ajustes visando obter resultado satisfatório.

Quadro 6 – Avaliação de desempenho dos painéis-testes

ETAPAS EXECUTIVAS	DESEMPENHO	
	INSATISFATÓRIO	SATISFATÓRIO
Execução das fôrmas		
Aplicação do desmoldante		
Preparo do concreto		
Trabalhabilidade		
Adensamento		
Bolhas de ar		
Grau de fissuração		
Falhas de concretagem		
Manchas		
Visualização das emendas		
Junta de concretagem		
Coloração		
Aparência após desenforma		
Estucamento		
Proteção superficial		
Ensaio de permeabilidade		
Aparência final		
VISTOS	Projetista:	Engenheiro:

Fonte: Elaborado pelo autor

9 PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO APARENTE

Para o concreto aparente, independentemente de sua resistência mecânica, do local de exposição, de seus constituintes e do processo produtivo, a aplicação de produtos ou sistemas de proteção é a garantia e extensão de sua vida útil, da manutenção de cor e textura e, principalmente, de sua impermeabilidade. Portanto, há necessidade de ser protegido contra a ação deletéria dos agentes agressivos presentes no meio ambiente. Os sistemas de proteção são materiais aplicados sobre o substrato do concreto aparente com o objetivo de proporcionar proteção e melhorar a sua aparência (REPETTE, 1997).

A proteção superficial deverá ser especificada com os seguintes objetivos:

- Barrar o ingresso de CO₂, O₂, água, cloretos e outras substâncias agressivas;
- Deter o avanço da frente de carbonatação;

- Evitar ou minimizar eflorescências;
- Impedir a aderência de sujidades;
- Evitar a proliferação de fungos;
- Proporcionar impermeabilidade;
- Facilitar a remoção de pichações;
- Compensar o cobrimento do concreto nos casos de cobrimento insuficiente;
- Melhorar o aspecto visual;
- Proporcionar maior durabilidade.

A formulação de novos produtos químicos aplicados na construção civil, especificamente aos produtos que conferem ao concreto aparente proteção adicional contra a ação do intemperismo, também possibilitou melhorias em sua aparência, contribuindo para que pudessem ser produzidos concretos como forma de revestimento final. Os produtos para essa finalidade não alteram efetivamente o aspecto final do substrato do concreto, mas eliminam sua total opacidade.

A norma europeia NP EN 1504/2009: Produtos e Sistemas para a Proteção e Reparo de Estruturas de Concreto, constituída por dez partes, estabelece as estratégias adotadas para garantir a durabilidade estrutural. Em sua parte 2, contempla os sistemas de proteção e na parte 9, os princípios gerais.

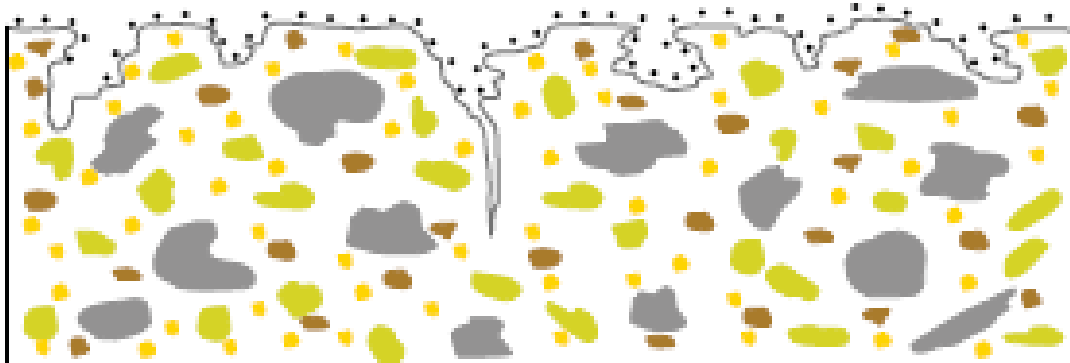
Os sistemas de proteção são classificados segundo esta norma em Impregnação hidrofóbica (H) (Figura 4), Impregnação (I) (Figura 5) e Recobrimento (C) (Figura 6). A seleção do sistema será em função do aspecto visual especificado em projeto, da classe de agressividade ambiental ou pela necessidade de corrigir o cobrimento do concreto.

9.1 Materiais impermeabilizantes e hidrofugantes

São materiais líquidos de baixa viscosidade que penetram nos poros superficiais do concreto, sem, no entanto, tamponá-los, alterando o ângulo de contato entre a parede do poro e a superfície da água de tal forma a reduzir de maneira importante a sucção capilar. Os materiais hidrofugantes permitem a difusão do vapor de água (FRANCO et al., 2003).

a) Impregnante hidrofóbico (H)

Figura 4 – Impregnação hidrofóbica



Fonte: Guia simplificado da NP EN 1504, BASF Construction Chemicals (2011)

— CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS (FRANCO et al.,2003):

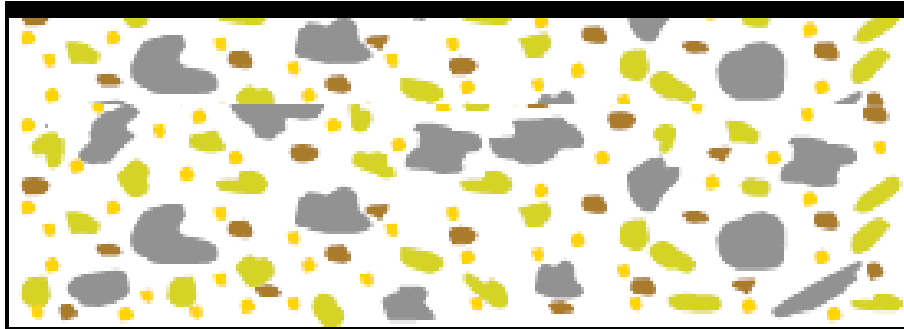
- Obtenção de uma superfície hidrorrepelente ou hidrofugante;
- Não formam película;
- Não alteram significativamente a aparência da superfície;
- Reduzem a carbonatação e a lixiviação, mas não as impedem;
- Não requerem superfície lisa e contínua para sua aplicação;
- Possuem baixa durabilidade;
- São produtos formulados à base de silanos/siloxanos dispersos em água e de silanos/siloxanos dispersos em solvente.

Ressalta Franco et al. (2003) que os hidrofugantes devem ser aplicados em estruturas de concreto aparente com idade superior a seis meses, para se obter desempenho de longa duração, enquanto a hidratação do cimento ainda estiver ocorrendo.

b) Impregnante não hidrofóbico (I)

São materiais líquidos de baixa ou de alta viscosidade que formam uma película fina, contínua, transparente e impermeável quando aplicados sobre a superfície do concreto aparente, atuando como barreira de proteção aos agentes agressivos ambientais (FRANCO et al., 2003).

Figura 5 – Impregnação



Fonte: Adaptada pelo autor do Guia simplificado da NP EN 1504, BASF Construction Chemicals (2011)

— CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS (FRANCO et al., 2003):

- Requerem superfície lisa e uniforme para sua aplicação;
- Reduzem a porosidade superficial e a permeabilidade aos sais solúveis;
- Reduzem significativamente a carbonatação e a lixiviação;
- Reforçam a superfície quanto ao desgaste;
- Evitam a aderência de sujidades e o desenvolvimento de fungos e bactérias;
- Alteram a aparência superficial conferindo-lhe brilho;
- São produtos formulados à base de polímeros orgânicos:

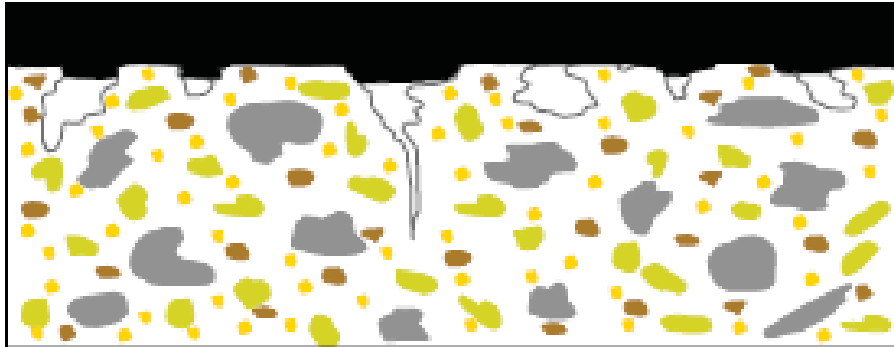
A) Para uso interno:

- a) Resina acrílica estirenada dispersa em água;
- b) Resina acrílica estirenada dispersa em solvente;
- c) Resina epóxi;
- d) Resina de poliuretano aromático.

B) Para uso externo:

- a) Resina acrílica não estirenada dispersa em água;
- b) Resina acrílica não estirenada dispersa em solvente;
- c) Resina de poliuretano alifático.

c) Recobrimento (C)

Figura 6 – Recobrimento

Fonte: Guia simplificado da NP EN 1504, BASF Construction Chemicals (2011)

— CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS:

- Formam uma camada protetora contínua;
- Compensam a camada do cobrimento quando insuficiente;
- Alteram a aparência superficial;
- Possuem espessura de 0,1 a 5 mm, em casos especiais, superior a 5 mm;
- Os ligantes podem ser polímeros orgânicos, argamassa com polímeros orgânicos com argamassa de cimento ou cimento modificado com adição de polímeros.

d) Sistemas combinados ou sistemas duplos

Os sistemas duplos são os que proporcionam maiores garantias e apresentam maiores durabilidades em relação aos sistemas convencionais, visto que agregam as vantagens dos sistemas por Impregnação hidrofóbica e impregnante, principalmente em ambientes de elevada agressividade (FRANCO et al., 2003). Esses sistemas não são contemplados pela norma NP EN 1504.

A combinação dos produtos que formam o sistema duplo é normalmente definida em função do tipo de concreto, da classe de agressividade ambiental e pela incidência direta de ventos e solar.

– **Constituição dos sistemas duplos:**

- Uma demão de hidrofugante + duas demãos de resina acrílica base água;
- Uma demão de hidrofugante + uma demão de resina acrílica base água + uma demão de resina acrílica base solvente;
- Uma demão de hidrofugante + duas demãos de resina acrílica base solvente;
- Uma demão de resina acrílica base solvente + duas demãos de resina à base de poliuretano alifático;
- Uma demão de resina epóxi + uma demão de resina de poliuretano alifático ou aromático.

As resinas de base epóxi, as aromáticas e as resinas à base de estireno (SBR e SBS) não são recomendadas para uso em ambientes externos, pois não são resistentes à ação dos raios ultravioleta (processo de fotodegradação).

e) Sistema anti-pichação

É um sistema formador de película contínua, que torna a superfície do concreto impermeabilizada, utilizando produtos à base de poliuretano alifático disperso em água ou disperso em solvente. São materiais compostos por dois componentes, proporcionando acabamentos superficiais transparentes brilhantes, ou transparentes com semibrilho, ou pigmentados. Este sistema não é prescrito pela norma NP EN 1504/2009.

A aplicação do sistema é requerida principalmente em estruturas sujeitas à elevada agressividade ambiental, monumentos, pontes, viadutos, passarelas e estruturas de concreto em locais de fácil acesso às pichações. Apesar do sistema não permitir a aderência de tintas utilizadas para pichações, esta deverá ser removida em até 48 horas de a pichação ter ocorrido, utilizando-se removedores específicos contendo solventes do tipo xilol, para não danificar a película protetora. Deve-se consultar sempre a empresa fabricante do produto de proteção.

— CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS (FRANCO et al., 2003):

- Repelentes a água e a sujidades;
- Apresentam elevada resistência à carbonatação;
- Resistentes à fotodegradação, não ficam amarelados;
- Resistentes ao ataque de cloretos;
- Possuem excelente aderência ao concreto;
- Possuem elevada vida útil;
- Proporcionam uma película vítrea e impermeável;
- Facilidade de manutenções.

9.2 Princípios para seleção do sistema de proteção

A norma EN 1502 - 9 estabelece os princípios básicos que devem ser utilizados quando é necessário proteger ou reparar uma estrutura de concreto, estando agrupados em onze princípios. Dois princípios referem-se à proteção superficial: Princípio 1 [PI] – Proteção contra a penetração e o Princípio 2 – controle de umidade. Ambos os princípios utilizam os sistemas de impregnação e de revestimento superficial.

Para que sejam atendidos esses princípios, é necessário conhecer as características do concreto, do seu substrato, o tipo de exposição que a estrutura será submetida e o intervalo das manutenções preventivas. As características físico-químicas, o consumo, a forma de aplicação, a quantidade e o intervalo entre demãos, as condições climáticas são informações importantes que se deve coletar acerca dos materiais selecionados.

9.3 Requisitos para aplicação do sistema de proteção

A superfície do concreto aparente naturalmente apresenta as condições de rugosidade e porosidade adequadas que permitem a aplicação dos sistemas de proteção, muito embora os procedimentos de preparo e limpeza sejam fundamentais. No entanto, a temperatura da superfície do concreto, as condições ambientais e a umidade do substrato presentes antes da aplicação do sistema de

proteção são pré-requisitos determinantes para garantir a aderência e a estabilidade da película de proteção.

Gnecco (2014), na apostila técnica “A Pintura na Manutenção Industrial”, discorre sobre as condições que se deve atender para produzir um sistema de proteção durável, ou seja:

- a) **Temperatura dos produtos de proteção:** A temperatura do produto verificada ainda na lata ou após a mistura, quando o produto é bicomponente, deverá estar compreendida entre 5°C e 35°C. Utiliza-se para medir a temperatura um pirômetro a laser;
- b) **Temperatura do ambiente:** A temperatura ideal do ambiente para aplicação do produto deverá estar compreendida entre 16°C e 30°C. No entanto, quando as temperaturas estiverem entre 10°C e 16°C e entre 30°C e 40°C, melhores técnicas de homogeneização e de aplicação deverão ser utilizadas;
- c) **Temperatura do substrato:** A temperatura do substrato a ser protegido deverá estar compreendida entre 5° C e 35° C. Utiliza-se para medir a temperatura um pirômetro a laser;
- d) **Umidade relativa do ar:** Além da aplicação do produtos, o preparo do substrato deverá ser executado quando a umidade relativa do ar for inferior a 85%. Essa medição é realizada por meio de um higrômetro;
- e) **Ponto de orvalho:** É definido como a temperatura na qual a umidade do ar condensa, passando para o estado líquido. As técnicas de aplicação estabelecem em geral que se a temperatura do substrato não estiver no mínimo 3°C acima do ponto de orvalho, o sistema de proteção não poderá ser aplicado (FRANCO et al., 2003). Exemplificando: para uma umidade relativa de 80% e temperatura do ambiente de 30°C, o ponto de orvalho é de 25,9°C. Portanto, caso a temperatura do substrato não estiver acima de 28,9° C (25,9°C + 3°C), o sistema de proteção não deverá ser aplicado.

O quadro 7 indica a temperatura do ponto de orvalho, relacionando a umidade relativa do ar com a temperatura do ambiente.

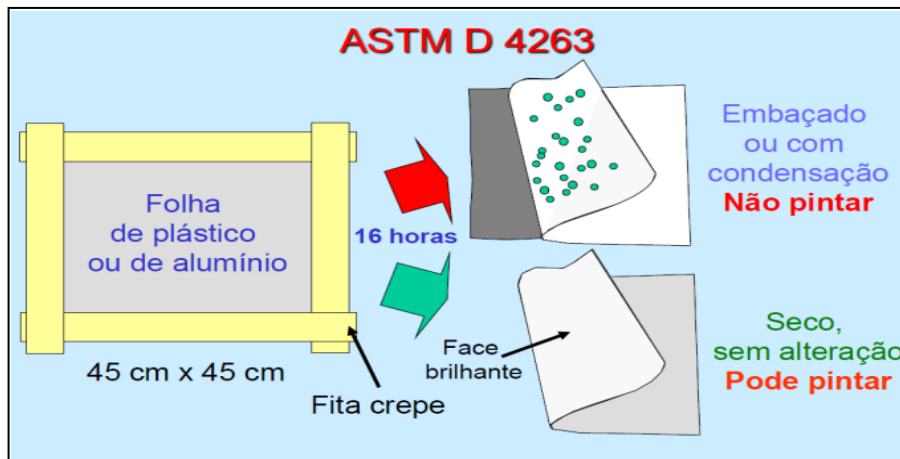
Quadro 7– Determinação do ponto de orvalho

UR %	TEMPERATURA AMBIENTE EM ° C						
	10	15	20	25	30	35	40
90	8,2	13,3	18,3	23,2	28,0	33,0	38,2
85	7,3	12,5	17,4	22,1	27,0	32,0	37,1
80	6,5	11,6	16,5	21,0	25,9	31,0	36,2
75	5,6	10,4	15,4	19,9	24,7	29,6	35,0
70	4,5	9,1	14,2	18,6	23,3	28,1	33,5
65	3,3	8,0	13,0	17,4	22,0	26,8	32,0
60	2,3	6,7	11,9	16,2	20,6	25,3	30,5
55	1,0	5,6	10,4	14,8	19,1	23,9	28,9
50	-0,3	4,1	8,6	13,3	17,5	22,2	27,1
45	-1,5	2,6	7,0	11,7	16,0	20,2	25,2
40	-3,1	0,9	5,4	9,5	14,0	18,2	23,0
35	-4,7	-0,8	3,4	7,4	12,0	16,1	20,6
30	-6,9	-2,9	1,3	5,2	9,2	13,7	18,0

Fonte: Gnecco (2014)

A determinação da presença de umidade capilar no concreto pode ser avaliada facilmente em campo pelo método qualitativo da norma ASTM D 4263:1999 – *Standard Test Method for Indicating Moisture in Concrete by the Plastic Sheet Method* (Ensaio Padrão para a Indicação do Teor de Umidade no Concreto pelo Método da Lâmina Plástica). O método consiste em aderir sobre o concreto as bordas de um plástico de polietileno transparente, com 45 cm de largura por 45 cm de comprimento, aproximadamente, e 0,1 mm de espessura, com fita adesiva de 5 cm de largura, assegurando a perfeita aderência ao substrato (figura 7). O método prescreve verificar visualmente após 16 horas de aplicação, a existência de umidade na superfície do concreto e na parte interna do plástico, realizando-se o teste em trechos distanciados a cada três metros entre si.

Figura 7 – Teste para verificação da umidade



Fonte: Gnecco (2014)

— **Difusão de vapor:** Define a propriedade de transpiração de um revestimento de proteção ao vapor de água. Os revestimentos devem permitir ao substrato que protegem a difusão de vapor de água para evitar condensações internas e desprendimentos (EN 1502-2/2009). É uma propriedade importante utilizar produtos abertos à difusão de vapor, permitindo ao concreto liberar água presente em seus poros capilares.

Além das condições supracitadas, é prudente que a aplicação do sistema de proteção seja executada após seis meses da conclusão da estrutura, pois nesse período, as reações de hidratação dos aglomerantes do concreto ocorreram completamente.

9.4 Métodos de aplicação

Os produtos hidrofugantes podem ser aplicados diretamente sobre as superfícies lisas ou superfícies porosas do concreto aparente, enquanto que os produtos formadores de película apenas sobre as superfícies lisas. Podem ainda ser aplicados sobre substratos que receberam tratamento com pasta de estucamento. Além dessas condições de textura, requerem superfícies limpas, totalmente secas e absorventes.

Antes de iniciar a aplicação dos produtos, deve-se verificar se existe a possibilidade de ocorrerem chuvas. A aplicação desses produtos pode ser feita por aspersão, por broxa de náilon com cerdas macias ou por rolo do tipo epóxi de pelo baixo. A aplicação ideal é feita de cima para baixo para se evitar escorrimentos sobre a superfície recém aplicada. É recomendado pelas empresas fabricantes dos produtos que as aplicações sejam sempre em duas ou três demãos, sendo a primeira considerada como *primer*. Os produtos de proteção são produzidos prontos para uso e não devem ser diluídos, bastando misturar seus componentes quando forem bi-componentes e serem homogêneos antes da aplicação.

CUIDADOS ESPECIAIS

- Proteger as áreas e materiais adjacentes que possam ser danificados pelos solventes contidos na formulação dos produtos de proteção;
- Sinalizar os locais de trabalho para evitar respingos nas pessoas;
- Não aplicar sobre superfícies sob radiação solar direta e de ventos;
- Não aplicar os produtos quando lixamentos estiverem sendo executados, danificando o sistema de proteção.

O resultado satisfatório do procedimento de aplicação de pasta de estucamento e de proteção da superfície do concreto aparente pode ser observado nas fotografias 13 e 14.

Fotografia 13 – Concreto sem tratamento



Fonte: Obra do autor (2010)

Fotografia 14 – Concreto com proteção



Fonte: Obra do autor (2010)

9.5 Ensaio

Os materiais que compõem os diversos sistemas de proteção superficial constituídos por produtos hidrofugantes e por produtos impermeabilizantes formadores de película devem ter suas qualidades observadas durante a construção e por ensaios realizados previamente em laboratório, os quais devem atender aos seguintes requisitos:

- ▶ Garantir proteção contra a penetração de agentes atmosféricos agressivos, em especial o CO₂ e cloretos;
- ▶ Proporcionar impermeabilidade;
- ▶ Ter resistência adequada à fotodegradação e ao ataque de fungos e algas;
- ▶ Manter a aparência e a durabilidade conforme suas propriedades físicas e químicas estabelecidas durante sua vida útil;
- ▶ Assegurar a aparência e a cor do concreto;
- ▶ Facilitar a aplicação e a manutenção;
- ▶ Apresentar resistência de aderência satisfatória;
- ▶ Ter preço acessível.

No entanto, não existem normas brasileiras que prescrevam a metodologia de amostragem dos elementos estruturais de concreto aparente, para realizar os ensaios dos sistemas de proteção superficial. Este autor sugere que os ensaios realizados durante a obra poderão ser feitos nos elementos estruturais que estejam sujeitos às ações ambientais diretas, por exemplo, nos elementos em que predominam a incidência de insolação direta e de ventos e, naqueles com maior área superficial, pois estarão sujeitos a maior degradação.

Em atendimento aos requisitos de permeabilidade dos produtos e dos sistemas de proteção, são realizados ensaios laboratoriais em corpos de prova de concreto devidamente preparados para se aferir a absorção de água por imersão

(NBR 9798/87), a absorção de água por capilaridade (NBR 9779/87), a absorção de água pelo método da pipeta e a migração de cloretos (ASTM C 1202/05).

Segundo a norma ABNT NBR 15575/2013, a verificação da permeabilidade à água proveniente de chuvas ou de outras fontes pode ser avaliada pelo ensaio de estanqueidade à água nos sistemas de vedações verticais externas. O ensaio é constituído por uma câmara acoplada de forma estanque ao substrato (fotografia 15), no qual é aplicada uma pressão estática relativa à ação dos ventos de acordo com as condições de exposição definidas conforme as regiões brasileiras I, II, III, IV e V, estabelecidas pela norma ABNT NBR 15575-4/2013.

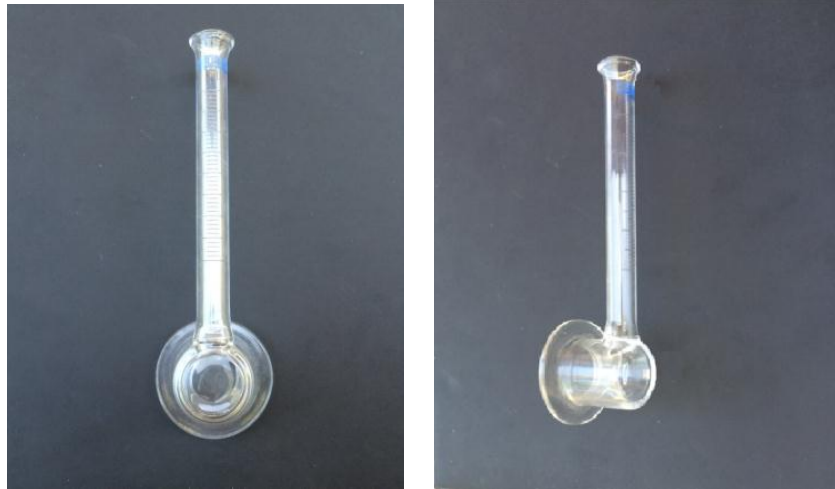
Fotografia 15 – Câmara para ensaio de estanqueidade



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2013)

Um ensaio prático e simples que pode ser realizado na obra foi proposto pelo pesquisador alemão Karsten. É o ensaio de permeabilidade conhecido por ensaio de KARSTEN ou método do cachimbo, que simula uma situação de chuva com uma pressão de vento equivalente a 140 Km/h (fotografia 16). Durante o ensaio, o nível de água é mantido constante em 10 cm de altura para garantir a mesma pressão de água. É um ensaio qualitativo por comparação de resultados e sem valores normativos (FRANCO et al., 2003).

Fotografia 16 – Tubo de KARSTEN



Fonte: Arquivo do autor (2016)

Medeiros (2008), em sua tese de doutorado, apresenta os resultados comparativos entre diversos sistemas de proteção (segundo os ensaios de absorção citados anteriormente) os quais foram realizados em corpos de prova de concreto, com o objetivo principal de determinar o grau de proteção proporcionado pelos diversos sistemas aplicados sobre o concreto aparente. De mesma forma, por conseguinte, analisou a eficiência de alguns produtos disponíveis no mercado nacional à luz da agressividade ambiental em ambientes marinhos.

As conclusões obtidas pelos ensaios de absorção foram:

a) Absorção de água por imersão:

Produtos hidrofugantes à base de silano/siloxano dispersos em água possuem menor capacidade de reduzir o ingresso de água em relação ao sistema hidrofugante + acrílico disperso em solvente;

O sistema hidrofugante + acrílico disperso em solvente e os sistemas simples e duplos à base de poliuretano alifático possuem maior capacidade de reduzir o ingresso de água em relação aos sistemas acrílicos disperso em água e ao disperso em solvente;

b) Absorção de água por capilaridade:

O sistema hidrofugante + acrílico disperso em solvente possui maior capacidade de reduzir o ingresso de água em relação aos produtos hidrofugantes. Produtos hidrofugantes de qualidades superiores se equivalem a este sistema;

Produtos acrílicos dispersos em água possuem menor capacidade de reduzir o ingresso dela em relação aos sistemas acrílico disperso em solvente, hidrofugante + acrílico e aos produtos à base de poliuretano alifático.

Os resultados obtidos nas taxas de redução da absorvidade entre o concreto de referência não tratado e os tratados foram:

- Produtos hidrofugantes apresentam taxa entre 76% e 97%;
- Produtos formadores de película apresentam taxa entre 79% e 98%;
- Sistema duplo constituído por um hidrofugante + acrílico disperso em solvente taxa entre 95% e 98%;
- Produtos à base de poliuretano alifático apresentam taxa entre 96% e 97%;
- Produtos à base de acrílico disperso em água apresentam taxa de 79%;
- Produtos à base de acrílico disperso em solvente apresentam taxa entre 96% e 97%.

c) Absorção de água pelo ensaio da pipeta:

Produtos hidrofugantes apresentaram maior absorção em relação ao sistema hidrofugante + acrílico disperso em solvente;

Sistemas acrílicos dispersos em água apresentaram maior absorção em relação ao sistema acrílico disperso em solvente e aos produtos à base de poliuretano alifático.

Sistemas hidrofugante + acrílico disperso em solvente apresentaram menor absorção em relação aos produtos acrílico disperso em solvente e aos à base de poliuretano alifático.

d) Migração de cloretos:

Sistema hidrofugante + acrílico apresenta menor migração em relação aos produtos hidrofugantes;

Sistemas acrílicos dispersos em água apresentaram menor capacidade de redução de carga passante de íons entre os produtos formadores de película;

Produtos à base de poliuretano alifático apresentaram maior resistência à penetração de íons em relação aos produtos formadores de película acrílicos. Porém, alguns produtos de base acrílica, dependendo de suas qualidades, apresentam resultados semelhantes aos produtos à base de poliuretano alifático.

Os resultados encontrados durante os três ensaios experimentais apresentaram uma correlação aproximada e, de certa forma, todos os produtos e sistemas utilizados mostraram-se eficazes quanto à redução de absorção de água por imersão e por capilaridade, porém, a diferença está associada à durabilidade de cada material em função de sua composição química.

9.6 Verificação e cálculo da espessura da película de proteção

Um dos fatores responsáveis pela manutenção da cor dos concretos aparentes cinzas, brancos e coloridos e, pela durabilidade dos sistemas de proteção, é a espessura final da película aplicada. A inobservância da correta espessura contribui para que ocorra um descrédito na qualidade do concreto aparente como material de revestimento final, bem como do material selecionado para protegê-lo. Porém, esses materiais têm vida finita, portanto, precisam receber novas aplicações em função da durabilidade de cada produto para garantir suas eficácias.

A especificação da espessura final do sistema de proteção deverá ser determinada em projeto em função dos critérios de durabilidade adotados, devido a fatores como exposição ambiental, características de resistência do material selecionado, condições para realização de manutenções, e também por aspectos financeiros. Durante a aplicação da película úmida, pode-se calcular a espessura da película seca solicitada. A aferição da espessura da película úmida pode ser feita logo após sua aplicação, utilizando-se um pente medidor (fotografia 17) e, a partir

dessa, poder-se-á calcular a espessura da película seca segundo a equação 8. Normalmente, para ser atingida a espessura final de projeto é necessária a aplicação de demãos sucessivas. A grandeza utilizada para expressar a espessura das películas secas e úmidas dos sistemas de proteção, segundo o Sistema Internacional de Unidades (SI), é o micrometro (μm), equivalente a 0,000001 m.

— Cálculo da espessura da película seca a partir da espessura da película úmida:

$$\text{EPS} = \frac{\text{EPU} \times \text{Vs}}{100}, \text{ sendo:} \quad (8)$$

EPS → espessura da película seca (μm)

EPU → espessura da película úmida (μm)

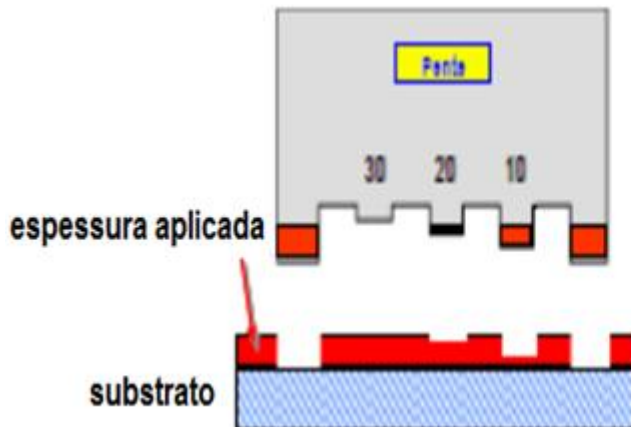
Vs → teor de sólidos do material, conforme ficha técnica, em volume (%)

Da mesma forma pode-se calcular, utilizando-se a equação 9, a espessura da película úmida que deve ser aplicada em função da película seca especificada em projeto, assim determina-se a quantidade de demãos necessárias para atingir a espessura desejada.

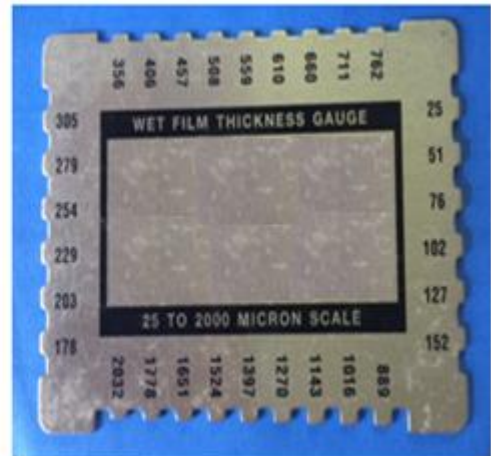
— Cálculo da espessura da película úmida a partir da espessura da película seca:

$$\text{EPU} = \frac{\text{EPs}}{\text{Vs}} \times 100 \quad (9)$$

A medida da espessura úmida é realizada apoiando-se o pente medidor sobre a superfície recém aplicada, logo após, verifica-se qual dente de maior valor que molhou e o primeiro após que não molhou. O valor da espessura será a média simples desses dois valores. Na figura 8, a espessura úmida é igual a $[(20 + 30) / 2] = 25 \mu\text{m}$.

Figura 8 – Medição da espessura

Fonte: Gnecco (2014)

Fotografia 17 – Pente medidor

Fonte: Arquivo do autor (2016)

9.7 Sistema para compensar o cobrimento do concreto nos casos de cobrimento insuficiente

O cobrimento do concreto é um dos fatores de garantia e de extensão da durabilidade das estruturas de concreto ao longo dos anos, principalmente em concretos aparentes expostos à ação do intemperismo. Percebe-se que, muitas vezes, na fase de projeto, são cometidos erros de especificação causados pelo desconhecimento das normas técnicas, os quais, em geral, também são reproduzidos durante a fase executiva. Por sua vez, falhas de execução proporcionadas pela falta de acompanhamento técnico, por cronogramas que não contemplam a cura dos materiais aplicados, por vícios construtivos, pela inadequada seleção e aplicação de materiais ou por diversos fatores estão presentes com relativa frequência nas obras.

Dentre os erros cometidos em ambas as fases, este autor cita que, o de insuficiência de cobrimento do concreto é o mais recorrente. Decisões pela mudança de localização da obra utilizando-se o mesmo projeto estrutural também acontecem, não se levando em conta a classe de agressividade ambiental e o cobrimento requerido com a mudança. Quando necessário, normalmente a correção do cobrimento acontece com o aumento substancial da seção dos elementos estruturais, alterando a concepção do projeto arquitetônico.

A norma europeia NP EN 1504: Produtos e Sistemas para Reparo e Proteção de Estruturas de Concreto, em sua parte 2, prescreve o sistema para compensar o cobrimento do concreto nos casos de cobrimento insuficiente, chamado de recobrimento (C) a uma camada de proteção adicional que não proporcione aumento significativo na seção dos elementos estruturais. As características dessa camada foram citadas no item 9.1 – Materiais impermeabilizantes e hidrofugantes, alínea 2 - Recobrimento.

Os materiais para essa finalidade são as membranas moldadas *in loco* à base de resina de poliuretano alifático e os revestimentos constituídos por argamassas com adição de polímeros orgânicos e por pastas de cimento modificado com adição de polímeros. As membranas com resinas de poliuretano possuem elevada resistência à carbonatação, ao ataque de íons cloreto e aos raios ultravioleta. Elas são impermeáveis e flexíveis, podem ser pigmentadas ou incolores, impedem a aderência de tintas aplicadas por *spray* em eventuais pichações e proporcionam a recomposição do cobrimento do concreto. As argamassas e pastas com adição de polímeros orgânicos são revestimentos aplicados na forma de estucamento ou de pintura, apresentando espessuras entre 3 mm e 5 mm. Depois de aplicadas, não apresentam características de acabamento final, portanto, precisam de tratamento posterior para apresentar aspecto de concreto aparente.

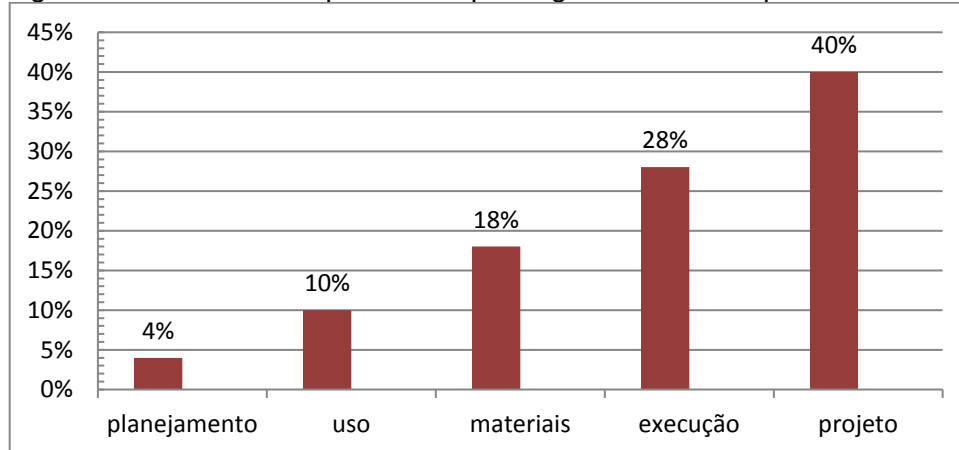
Para que esses sistemas de cobrimento adicional do concreto atendam ao objetivo de limitar o ingresso de agentes deletérios atmosféricos, que provocam a corrosão das armaduras e outras lesões, com conseqüente risco de se atingir até mesmo ruptura e colapso estrutural, devem apresentar os seguintes requisitos de desempenho prescritos pela NP EN 1504 - 2:

- Baixíssima retração linear;
- Baixíssima permeabilidade ao CO₂;
- Adequada permeabilidade ao vapor d'água;
- Baixa permeabilidade à água na forma líquida e pequena absorção capilar;
- Adequada resistência de aderência.

10 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO APARENTE

As manifestações patológicas no concreto aparente podem ter suas causas motivadas por falhas que ocorrem durante a realização de uma ou mais das atividades inerentes ao método executivo, sendo eventualmente originadas em qualquer fase do processo. O processo de construir pode ser dividido em cinco grandes etapas: planejamento, projeto, execução, fabricação de materiais e uso (HELENE; FIGUEIREDO, 2003); as etapas de planejamento e projeto são, em geral, as desenvolvidas em menor tempo, com menor investimento financeiro, e delas normalmente decorre a maioria das incidências de manifestações patológicas (figura 9). As falhas de planejamento e projeto são, em geral, mais graves e onerosas que as demais. Portanto, nessas fases é prudente investir mais tempo, aplicar mais conhecimentos técnicos, compatibilizar projetos e materiais, utilizar sistemas construtivos adequados e projetos bem elaborados.

Figura 9: Incidência dos problemas patológicos *versus* etapas construtivas



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Helene e Figueiredo (2003)

O concreto aparente cinza, branco e colorido apresenta, além das manifestações patológicas dos demais tipos de concreto estrutural, alterações que podem ocorrer em sua coloração superficial em face da exposição direta ao meio ambiente quando não bem executado e protegido adequadamente ou não receber as devidas manutenções periódicas. Falhas também podem ser decorrentes de imperfeições geométricas relevantes à aparência, posto que, atualmente, algumas

obras são executadas com os mesmos requisitos e metodologias inerentes ao concreto com revestimentos de argamassa, cerâmicos ou pétreos. Esta condição advém de não existir norma técnica brasileira específica para produção, projeto, execução e recebimento de estruturas de concreto aparente. Além do que, segundo Souza e Ripper (1998), são provenientes “das ainda inevitáveis falhas involuntárias e casos de imperícia que têm sido constatadas em algumas estruturas que acabam por ter desempenho insatisfatório, se confrontadas com as finalidades a que se propunham.”

O Quadro 8 apresenta falhas típicas que podem ocorrer durante as etapas de planejamento, de projeto e de materiais; e as manifestações patológicas nas etapas de execução e uso.

Quadro 8 – Falhas e manifestações patológicas

PLANEJAMENTO	MATERIAIS
Cronograma inexecutável Má contratação profissional Método construtivo inadequado Especificação incorreta de materiais	Falta de controle de qualidade Inadequada seleção de materiais Ensaio técnico não realizado Substituições indevidas
PROJETO	
Disposições arquitetônicas inadequadas Detalhes geométricos em escala inadequada Incompatibilidade entre projetos Detalhes construtivos inexecutáveis F_{ck} , cobrimento e CAA incorretos Dimensionamento de fissuras com abertura superior ao limite de norma	Falta de elementos de proteção Alta densidade de armadura Falta de detalhamento
USO	EXECUÇÃO
Carbonatação Lixiviação ⇒ Eflorescências Acúmulo de sujidades Corrosão da armadura Proliferação de fungos Manchas Envelhecimento natural Variação de tonalidade Danos Manutenção inadequada Falta de manutenções	Alta relação água/cimento Falta de estanqueidade das fôrmas Bolhas de ar Falta de cura Falhas de adensamento Juntas de concretagem visíveis Fissuração Variação de tonalidade Fuga de pasta de cimento Manchas de desmoldante Desaprumos acidentais

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de Silva (1995), Souza e Ripper (1998)

10.1 Junta de concretagem

A junta de concretagem, ou “junta fria”, é o local da estrutura onde ocorreu uma interrupção com posterior retomada da concretagem de uma estrutura ou de um elemento estrutural, caracterizada pela formação de uma emenda do concreto com diferentes idades.

Normalmente, as juntas de concretagem não estão indicadas nos projetos estrutural e arquitetônico, sendo que a tomada de decisão em realizá-las, quando necessárias, é oportunamente feita durante a etapa de concretagem, na maioria das vezes, pelo encarregado da obra, sendo determinadas segundo o quadro de horário e pela jornada de trabalho dos operários: portanto, podem ser indevidamente localizadas, não levando em consideração os esforços atuantes na estrutura. Além disto, muitas vezes, não são colocados anteparos temporários na fôrma, posicionados a 90° com o eixo dos elementos estruturais horizontais, para garantir apropriadas condições de adensamento, sem desagregação, ficando nesta condição com seção inclinada devido ao adensamento, produzindo-se trechos próximos à região das juntas com seções inadequadas.

O desejável é que os elementos estruturais não tenham juntas causadas por paralisações que possam comprometer o desempenho estrutural e o aspecto visual do concreto aparente. A forma de execução das juntas deve ser detalhada no projeto estrutural e sua localização definida pelo autor do projeto arquitetônico em locais de fácil acesso e que não causem prejuízos visuais ao concreto aparente. Quando, em uma estrutura, as juntas de concretagem são necessárias, e previamente programadas, de maneira geral, é prática dos engenheiros calculistas posicionarem as juntas onde o momento fletor seja praticamente zero, sendo os esforços de tração e compressão nulos (seções localizadas nas vigas e lajes entre 1/3 a 1/5 do vão a partir dos apoios). É prudente que nas estruturas em balanço não sejam executadas juntas de concretagem.

Barras de ancoragem inseridas previamente na etapa de lançamento do concreto, perpendiculares à região das juntas, contribuem para proporcionar maior aderência entre o concreto fresco e o concreto endurecido (ABNT NBR 6118/2014).

Ao retomar uma concretagem, antes de reiniciá-la efetivamente, a camada do concreto no local da junta deverá ser removida por apicoamento manual, ou por escarificação mecânica, ou por hidrojateamento em alta pressão, deixando o agregado graúdo exposto. Em seguida, o local deverá ser lavado, retirando-se todo material solto e desagregado, deve-se aguardar a secagem na condição superfície saturada seca, e, após esses procedimentos, a concretagem poderá ser retomada (ABNT NBR 14931/2004). Outra maneira para promover a aderência entre concreto já endurecido com o do novo trecho é utilizar adesivos de base epóxi na região da junta. De qualquer forma, após a desforma do concreto existirá uma descontinuidade superficial naquela região. Por fim, haverá a necessidade de tratar a região externa das juntas de concretagem de tal maneira que não comprometa a aparência do concreto.

10.2 Manifestações patológicas nos sistemas de proteção

Os sistemas de proteção das superfícies do concreto aparente podem apresentar diversos tipos de manifestações patológicas e ter uma vida útil relativamente curta quando comparados com as estruturas de concreto armado (MEDEIROS, 2008).

Genericamente, a perda de desempenho pode estar associada especificamente à qualidade e ao tipo de produto aplicado. Fatores como idade e alcalinidade do concreto, metodologia de aplicação dos produtos, temperatura e umidade do substrato, umidade relativa do ar e a espessura da película seca são, às vezes, desconsiderados durante as inspeções periódicas para futuras manutenções, e eventualmente estão interligados com as manifestações patológicas que podem surgir nas películas de proteção ao longo do tempo.

Desconsiderando-se estes condicionantes, os sistemas de proteção apresentam variação de durabilidade em função do tipo de resina usada na formulação do produto e das condições de exposição aos quais estão submetidos: os produtos formulados à base de água têm durabilidade em geral de 2 a 4 anos; os formulados à base de solvente, cerca de 4 anos e os sistemas duplos normalmente de 6 a 7 anos (FRANCO et al., 2005).

Segundo Franco et al. (2005), as principais causas de manifestações patológicas nos sistemas de proteção são: seleção inadequada, condições ambientais diferentes das previstas em projeto, substrato inadequado, aplicação incorreta, espessura insuficiente da película e produtos mal formulados.

As principais manifestações patológicas que ocorrem nas películas de proteção sobre o concreto e suas causas são descritas no quadro 9:

Quadro 9 – Principais manifestações patológicas

Manifestações patológicas	Causa mais Provável	Provável surgimento	Procedimento de correção
Eflorescência	Substrato úmido Infiltração	1 mês ou a qualquer momento	Remover a película, eliminar a causa da infiltração, secar o substrato e reaplicar o produto.
Saponificação	Substrato muito alcalino	1 a 6 meses	Remover a película, lavar com solução ácida e reaplicar o produto.
Escorridos e manchas	Água de chuva	1 dia	Lavar a película, reaplicar o produto se necessário.
Bolhas	Substrato úmido Osmose Infiltração	1 a 2 meses	Remover a película, eliminar a causa da infiltração, secar o substrato e reaplicar o produto.
Desagregação e descascamento	Intempéries Substrato sem cura	A qualquer momento ou dentro de 1 mês	Corrigir a formulação do produto, remover a película, aplicar solução de metassilicato de sódio e reaplicar o produto.
Descoloração e/ou perda de brilho	Ação ultravioleta	6 meses	Corrigir a formulação do produto.
Destacamento	Substrato inadequado	2 meses	Eliminar a causa e preparar o substrato antes de reaplicar o produto.
Fungos	Umidade elevada Formulação sem fungicida	2 meses	Eliminar a causa da umidade e corrigir a formulação do produto

Fonte: Franco et al. (2005)

Degradações químicas podem ocorrer nas películas dos sistemas de proteção, devidas a alterações provocadas por reações que causam a ruptura das cadeias moleculares principais, podendo acontecer nas cadeias pendentes e intermoleculares dos produtos de proteção, citadas por Repette em sua tese de doutorado (1997), como se seguem:

- Degradação térmica: causada pela exposição a temperaturas maiores do que a temperatura de estabilidade do polímero;
- Degradação biológica: causada pela ação de micro-organismos que produzem enzimas que desencadeiam reações químicas que provocam ruptura das cadeias poliméricas;
- Degradação fotoquímica: ocorre pela ação da radiação ultravioleta ou de luz visível, desestabilizando as moléculas do polímero;
- Degradação mecânica: decorrente da ação de esforços mecânicos superiores às forças de ligação dos átomos que compõem as moléculas do material;
- Degradação química: causada pela interação química dos agentes agressivos em contato com as moléculas do polímero.

11 USO E MANUTENÇÃO PREVENTIVA

O cenário de nossas atuais construções demonstra que parte dos edifícios apresenta, em poucos anos, degradação por ações ambientais, podendo-se em certos casos perceber na fase de execução da obra projetos falhos e incompatíveis, má execução, falta de acompanhamento técnico, especificações incorretas de materiais, aplicação indevida de métodos construtivos e desconhecimento de normas técnicas, causas que reduzem o desempenho da edificação durante a fase mais longa da edificação: a fase de uso.

Edifícios com problemas congênitos, sem os devidos requisitos e critérios devidamente aplicados aos materiais, aos componentes e aos sistemas construtivos

como um todo são construídos sem atendimento às condições de durabilidade e de manutenibilidade, que são exigências dos usuários (ABNT NBR 15575/2013). Citam Helene e Figueiredo (2003) que “em geral os problemas patológicos são evolutivos e tendem a se agravar com o passar do tempo, além de acarretarem outros problemas associados ao inicial”. Neste contexto, para garantir desempenho satisfatório do concreto aparente ao longo da sua vida útil de projeto é requerido um conjunto de ações pré-estabelecidas em intervalos regulares de tempo, que serão definidas em um programa de manutenção preventiva.

Um bom programa de manutenção consiste em definir métodos adequados de operação, de controle e de execução do serviço, e na análise do custo/benefício desta manutenção, sendo que devem ser contempladas, pelo menos, segundo Souza e Ripper (1998), as seguintes fases:

a) Cadastramento das estruturas

A primeira fase deve ser o cadastramento dos elementos estruturais do concreto aparente da edificação, para facilitar a coordenação das ações para um efetivo controle que porventura será adotado. Este autor sugere que podem ser elaboradas fichas cadastrais relacionando-se os elementos de concreto aparente conforme o projeto estrutural, contendo as seguintes informações:

- a) Tipo de elemento estrutural;
- b) Localização;
- c) Data da inspeção;
- d) Manifestação patológica;
- e) Tipo de manutenção;
- f) Data da manutenção;
- g) Custo;
- h) Responsável pela manutenção;
- i) Relatório fotográfico.

b) Inspeção periódica

Ação importante e indispensável para a realização das manutenções preventivas, é fase em que são identificados os diversos danos e as anomalias presentes no concreto aparente, observando sua importância em tempo hábil, antes que os mesmos possam comprometer as condições de segurança estrutural. As inspeções possibilitam ainda observar as falhas que comprometem as condições de serviço e funcionamento da edificação, por exemplo, o aspecto visual do concreto aparente, a necessidade de nova proteção superficial, a ocorrência eflorescências, dentre outras. Um bom diagnóstico, segundo Helene e Figueiredo (2003), deve contemplar algumas considerações sobre as consequências das manifestações patológicas, ou seja, fazer um prognóstico sobre a evolução do problema.

A periodicidade das inspeções variará em função da idade, da importância e da vulnerabilidade da estrutura ou dos elementos desta, devendo ser programadas em intervalos regulares. Alguns ensaios podem ser requeridos durante a inspeção periódica, visto que, em alguns casos, segundo Rostam (1991 apud SOUZA; RIPPER, 1998), observações a olho nu, sem instrumentação adequada, podem não identificar lesões com mecanismos deletérios já iniciados.

Os sistemas de proteção aplicados no concreto aparente têm eficiência reduzida ao longo do tempo de exposição ao meio ambiente. A partir desta premissa, a garantia do aumento da vida útil de projeto está no estabelecimento de um plano de manutenção, considerando a durabilidade limitada de cada material, devendo este, periodicamente, receber vistorias técnicas para verificar a real necessidade de manutenção preventiva (MEDEIROS, 2008), evitando antecipadamente que a superfície do concreto fique exposta diretamente à ação do meio ambiente por um determinado período de tempo.

Concomitantemente aos sistemas de proteção superficial, os serviços de manutenção do concreto podem fazer parte do programa de manutenção preventiva ou de um programa de manutenção corretiva, caso mais recorrente em nossas edificações, em que os serviços de reparo são executados após a ocorrência das manifestações patológicas.

O plano de manutenção deverá ser desenvolvido por profissional habilitado, que tenha experiência comprovada no campo da patologia das estruturas de concreto. Este profissional analisará as reais condições do substrato como porosidade, alcalinidade, grau de fissuração, teor de umidade, etc. e das condições de serviço a que será submetida à superfície do concreto aparente, com atenção na seleção de produtos específicos para cada tipo de substrato e de exposição.

Diversos tipos de produto de proteção não atendem a determinadas solicitações, como por exemplo, resinas acrílicas com grande carga de estireno, resinas de base epóxi e de poliuretano aromático não são indicadas para ambientes externos, pois não apresentam resistência à fotodegradação (FRANCO et al., 2003). Na dúvida, é sempre prudente consultar o fabricante acerca da natureza do produto, pois eventualmente podem não constar em seus respectivos catálogos técnicos. Em geral, os produtos de igual natureza dispersos em água apresentam menor durabilidade em relação aos produtos dispersos em solvente (MEDEIROS, 2008).

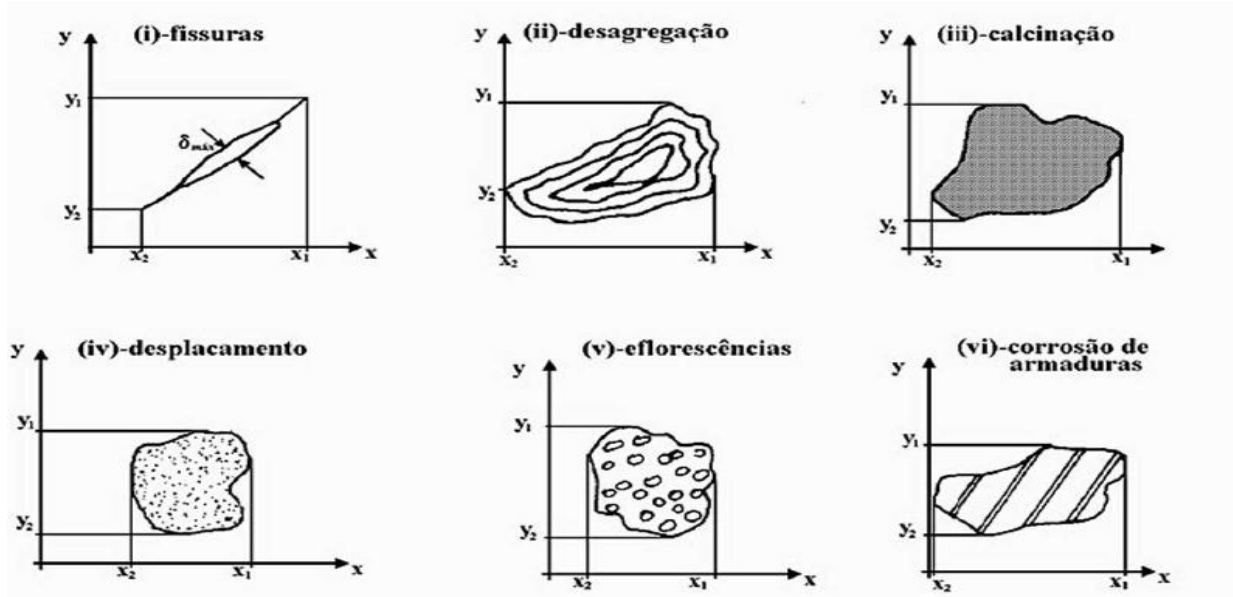
Esclarecem Araújo et al. (2010) que a durabilidade das estruturas está associada diretamente à sua manutenção periódica, sendo oportuno realizar ensaios de campo e de laboratório, sendo que, com os dados obtidos, é possível estimar a vida útil das estruturas, definindo-se as técnicas de recuperação e de proteção mais adequadas e de menor custo benefício.

c) Inspeção condicionada

Inspeção realizada em caráter especial. Deve ser realizada todas as vezes que as inspeções periódicas detectarem lesões que afetam as condições de segurança em determinados elementos estruturais. Esta inspeção deve ser feita obrigatoriamente por pessoal técnico especializado e com instrumentação adequada, para que sejam determinadas as reais causas das manifestações patológicas, com emissão de laudo técnico com subsídios para elaboração do projeto de recuperação ou de reforço da estrutura, especificação e levantamento de quantitativos para a execução do serviço de reparo.

A inspeção condicionada deve contemplar o mapeamento das áreas afetadas, com suas localizações na planta de fôrma do projeto estrutural da edificação, desenvolvido com detalhes executivos elaborados em escala adequada, caracterizando o tipo de cada anomalia detectada, conforme sugestões ilustradas na figura 10.

Figura 10 – Sugestões para representação gráfica de anomalias em mapeamento



Fonte: Souza e Ripper (1998)

d) Serviços de limpeza

Os serviços de limpeza das superfícies do concreto aparente devem fazer parte de uma rotina pré-estabelecida, independentemente do programa de manutenção preventiva. O acúmulo de sujidades e de agentes deletérios na superfície do concreto são condicionantes importantes para o início do mecanismo de sua deterioração. Aliada aos agentes ambientais, é importante considerar a ação dos próprios usuários da edificação, que, inadvertidamente, em algumas situações, causam danos à estrutura por entupimentos dos drenos em marquises, em lajes expostas, em passarelas, etc., com lançamento de papéis, lixo e outros materiais, provocando empoçamentos das águas das chuvas, o que pode causar infiltrações, transbordamentos e até riscos de desabamentos por sobrecarregar a estrutura.

e) Serviços de reparos e de reforços

Os reparos são classificados em reparos de pequena monta e reparos de grande monta, conforme o tipo e a natureza do reparo (SOUZA; RIPPER, 1998). Os reparos de pequena monta são reparos de manutenção rotineira, como correção de declividades, reconstituição de pingadeiras, substituição de rufos e chapins, pinturas de proteção, dentre outros. Estes reparos podem ser executados por equipe não especializada. Os reparos de grande monta, como os serviços de reparos estruturais, só devem ser executados por pessoal técnico qualificado.

Os serviços de reforços estão ligados às condições de estabilidade estrutural dos diversos tipos de concreto, com causas que podem ter origem em qualquer etapa do processo construtivo, por mudança de uso ou por incêndios, abalos sísmicos, etc. Nestes casos, um projeto de reforço deverá ser realizado por engenheiro estrutural com experiência comprovada neste tipo de serviço, pois várias técnicas de reforço podem ser aplicadas conforme a manifestação patológica. Os serviços de reforços devem ser executados por equipe ou por empresas especializadas neste seguimento.

12 RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO APARENTE

A expectativa dos projetistas, construtores e usuários é que a aparência das estruturas de concreto aparente se mantenha inalterada ao longo de toda a vida útil da edificação. O concreto é um material compósito, sendo constituído por materiais permeáveis e absorventes, utiliza água para a formação dos compostos hidratados e, no estado fresco, ocorre evaporação de parte dessa água, com conseqüente diminuição de seu volume inicial causado pelas retrações por secagem e autógena, com formação de poros capilares dispersos por toda a massa do concreto (RODRIGUES, 2009). Ao contrário do que se possa pensar, o concreto não é um sólido perfeito, mas um sólido poroso, com superfície aderente às sujidades e suscetível ao ataque de agentes agressivos ambientais.

É comum a superfície do concreto aparente se degradar pela ação do intemperismo, necessitando, desta forma, ser tratada, em especial ser protegida e receber manutenções preventivas, mantendo sua aparência inicial, com efetiva durabilidade e, por conseguinte, prolongamento da sua vida útil. Apesar dos avanços tecnológicos já alcançados pela Ciência e Engenharia dos Materiais, para a melhoria da qualidade dos concretos pelo uso consagrado dos aditivos químicos, adições, cimentos compostos, elevação substancial da resistência mecânica, redução da relação água/aglomerantes, melhoria nas condições de produção, transporte, adensamento, aplicação e cura do concreto, e ainda na seleção adequada dos agregados, o uso dos produtos ou sistemas de proteção aplicados sobre a superfície do concreto apresenta-se como alternativa mais viável diante da agressividade ambiental (MEDEIROS, 2008; KAZMIERCZAK; HELENE, 1995). Esta recomendação faz parte das mais recentes e completas normalizações de estruturas de concreto, como indicam o CEB-FIP *Model Code* no item 8.4.6 *Special protective measures* e o ACI 350R – *Environmental Engineering Concrete Structures* (REPETTE, 1997). A Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6118/2014 no item 7.7 – Medidas especiais, prescreve:

Em condições de exposição adversas, devem ser tomadas medidas especiais de proteção e conservação do tipo: aplicação de revestimentos hidrofugantes e pinturas impermeabilizantes sobre as superfícies de concreto, [...] proteção catódica e outros. (NBR 6118/2014, p. 21).

Vale ressaltar que os produtos de proteção superficial apresentam desempenhos diferenciados, dependendo das condições de exposição, da classe de agressividade ambiental, da espessura do filme aplicado e do tipo de resina.

A aparência e a coloração da superfície do concreto, quando não tratada e protegida adequadamente, e/ou quando não forem executadas as devidas manutenções preventivas em tempo hábil, mudarão substancialmente com o passar do tempo, face às ações ambientais citadas no capítulo 4. Os serviços de tratamento e de proteção superficial, ambos executados na fase de construção ou de uso da edificação, deverão corrigir as imperfeições superficiais, proteger física e quimicamente a superfície do concreto aparente, além de realçar sua cor e sua textura.

O tratamento de recuperação das estruturas deverá ser, portanto, especificado com os seguintes objetivos:

- Corrigir imperfeições causadas durante a execução das fôrmas;
- Reparar falhas de concretagem de pouca profundidade;
- Dar acabamento em reparos estruturais;
- Ocultar juntas de concretagem;
- Corrigir desvios de planeza;
- Tamponar fissuras superficiais passivas e bolhas de ar;
- Uniformizar a coloração;
- Modificar a textura do substrato de um concreto convencional, tornando-a com características de concreto aparente;
- Receber a proteção superficial.

12.1 Pasta de estucamento

A pasta de estucamento é um revestimento de pouca espessura, da ordem de 1 mm a 5 mm, sua aderência ao substrato é fundamental para garantia do sistema de proteção superficial. Concretos com superfícies muito lisas, de baixa porosidade e de elevadas resistências mecânicas dificultam a ancoragem das pastas e dos revestimentos de argamassa. Desta forma, resinas adesivas incorporadas à mistura da pasta proporcionarão melhores propriedades de aderência, de elasticidade, de resistência ao desgaste, de impermeabilidade e evitarão as retrações.

O tratamento do concreto utilizando pasta de estucamento, além das funções citadas anteriormente, visa, de maneira geral, preparar adequadamente sua superfície para receber o sistema de proteção. Normalmente, a pasta é produzida na obra para se obter a mesma coloração do concreto; para isso, misturas experimentais de pasta, utilizando a mesma marca, mesmo tipo e mesma fábrica do cimento da obra devem ser testadas. A pasta de estucamento deve ser preparada por meio de um misturador eletromecânico de baixa rotação até sua completa homogeneização (em pequenas quantidades), próxima ao local de aplicação, ser protegida contra ação do sol e de ventos e ser aplicada rapidamente.

Como dosagem inicial de pasta, este autor sugere, para o caso de concreto aparente cinza, a mistura de cimento Portland cinza, cimento Portland branco no traço volumétrico 3:1 e uma solução de adesivo promotor de aderência e água na relação volumétrica 1:2. A partir de então, modificando a proporção dos aglomerantes obter-se-ão misturas mais claras ou mais escuras. No entanto, a relação adesivo/água deverá ser mantida.

O adesivo utilizado na mistura da pasta possui simultaneamente duas finalidades, a primeira é contribuir com a aderência dos aglomerantes ao substrato, proporcionada pela sua capacidade de promover a aderência química, e a segunda, é poder evitar o surgimento de fissuras de retração. A trabalhabilidade da pasta é dada pela quantidade de solução do adesivo/água adicionada.

A seleção do tipo de cimento é de fundamental importância para evitar o surgimento de fissuras. Cimentos mais finos, como o cimento Portland CP V ARI, de alta resistência inicial, devido a sua elevada área específica, exige mais água para obtenção de consistência adequada e possui alta velocidade de hidratação, estando sujeito a maiores retrações por secagem. O cimento CP III contém sulfetos que podem provocar manchas no estucamento devido ao seu alto teor de escória de alto-forno (37 a 70%) e o CP IV rico em pozolana (15 a 50%) apresenta dificuldades de hidratação da escória e da pozolana, respectivamente, sugerindo maiores cuidados de cura e, por conseguinte, maiores prazos para que sejam aplicados os sistemas de proteção, que, por vezes, em face do cronograma da obra, não são atendidos. Os cimentos de alta resistência inicial são mais finos, comparados aos demais cimentos nacionais. Portanto, seu uso deve ser evitado para produzir pastas de estucamento, ainda que utilizado para produzir a estrutura que será tratada e protegida. A seguir estão enumerados os fatores que influenciam a aderência da pasta ao concreto:

- Tipo de aglomerante (Finura: quanto mais fino, maior aderência potencial);
- Quantidade de adesivo da solução;
- Trabalhabilidade da pasta;
- Forma de aplicação;
- Textura do substrato;

- Cura;
- Condições climáticas.

Fatores que influenciam na plasticidade da pasta:

- Tipo de cimento;
- Relação adesivo/água;
- Uso de adições minerais;
- Tempo de produção e de aplicação da pasta;
- Tipo de mistura (manual ou mecânica);
- Temperatura ambiente.

As fotografias 18 e 19 apresentam a aplicação de pasta de estucamento em juntas de concretagem segundo as recomendações deste autor. As juntas foram ocultadas utilizando-se traço volumétrico 3:1 (cimento Portland cinza: cimento Portland branco) e solução de resina acrílica:água na proporção 1:2.

Fotografia 18 – Juntas de concretagem



Fonte: Obra do autor (2011)

Fotografia 19 – Ocultação das juntas



Fonte:Obra do autor (2011)

Os materiais usuais utilizados para produzir as pastas de estucamento são, basicamente, cimento cinza, cimento branco, pigmento, um adesivo promotor de aderência (que pode ser acrílico quando o uso for externo, ou PVA quando interno) e água. A principal alteração que ocorre nas misturas serve para produzir pastas mais claras ou mais escuras em função da tonalidade requerida pelo concreto aparente original ou por ocasião de uma nova definição de tonalidade ou cor, obtida pela adição de algum pigmento. Existem também pastas industrializadas com outras

propriedades, são monocomponentes prontas para uso, bastando apenas adicionar água ao produto. Podem ser aplicadas com espessuras únicas de até 6 mm; produzem acabamentos mais uniformes e são disponíveis em várias cores.

A pasta especificada no Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto (HELENE; LEVY, 2003) contempla 2 volumes de cimento Portland, 1 volume de cimento branco, 1 volume de alvaiade ou areia fina e uma solução de resina acrílica e água na proporção 1:3, até conseguir uma pasta homogênea. Outra aplicação de pasta de estucamento apresentada no quadro 10, ocorreu na construção da Ponte Irineu Bornhausen, a primeira ponte do Brasil em concreto branco, localizada na cidade de Brusque/SC, no ano de 2002.

Quadro 10 – Pasta de estucamento

MATERIAIS	ESTUCAMENTO
Cimento Cauê Branco	1000 g
Sílica ativa - SILMIX	60 g
Pó calcário. Passa na peneira 0,15 mm	1000 g
Látex acrílico puro ou látex SBR, sem adição de água	Até a consistência desejada

Fonte: Concreto Estrutural Branco no Brasil (2005)

12.2 Procedimentos de preparação de superfícies

O desempenho da pasta de estucamento das superfícies do concreto está associado à qualidade dos serviços de preparo e limpeza do substrato. É uma etapa de relevante importância que precisa ser executada e acompanhada com critério para não comprometer as demais etapas, ela não deve ser deixada a cargo de pessoal inabilitado. Algumas das manifestações patológicas dos serviços de tratamento e proteção do concreto estão ligadas à falta de aderência na interface pasta de estucamento/substrato. Existem vários procedimentos que podem ser adotados para o preparo e limpeza do substrato, descritos por Muñoz e Helene (2003), apresentados no Anexo A deste trabalho, os quais são determinados de acordo com o seu estado superficial, em função do tamanho da área, da profundidade requerida, dos equipamentos disponíveis e do tempo para sua execução. Neste trabalho, não são contemplados os serviços de preparo para

eventuais reparos, como falhas de concretagem, tratamento de armadura exposta, aplicação de argamassas estruturais, dentre outros.

12.3 Método de aplicação

O método de aplicação da pasta de estucamento apresentado a seguir foi executado por este autor em uma edificação durante sua fase de uso, em que a superfície do concreto não recebeu tratamento e proteção superficial, apresentando em poucos anos diversas manifestações patológicas causadas pela ação do intemperismo e por diversas falhas durante a execução da estrutura.

A pasta de estucamento foi aplicada utilizando-se espátula confeccionada em “*Tecnil*”⁶, em finas camadas sobre toda a superfície do concreto, esta, preparada conforme o procedimento de corte mecânico e limpa por jateamento com agregado miúdo molhado, estando o substrato antes da aplicação da pasta na condição de superfície saturada seca (SSS), para uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência da pasta (Fotografia 20). Aplicou-se a primeira camada de pasta de estucamento pressionando-a fortemente sobre o substrato, tamponando-se todas as bolhas, os poros, as pequenas fissuras e as irregularidades existentes. A aplicação deve ser contínua para evitar a formação de camadas de ar entre a pasta e o substrato (Fotografia 21).

Fotografia 20 – Lavagem do substrato



Fonte: Obra do autor (2010)

Fotografia 21 – 1ª camada de estucamento



Fonte: Obra do autor (2010)

⁶ Tecnil – Nome comercial de um tipo de polímero, cuja estrutura química é a poliamida. É reforçado com fibras minerais e/ou sintéticas (ex.: fibra de vidro) e aditivos químicos, visando reduzir o peso e aumentar a resistência mecânica.

Espessuras de camadas superiores a 3 mm aplicadas em uma única camada estão sujeitas a maior fissuração. Devido a pasta ser constituída essencialmente por aglomerantes hidráulicos, que durante as reações químicas de hidratação de seus compostos produzem calor, favorece o surgimento de retração por secagem. A retração se inicia ainda no estado fresco e continua após o endurecimento da pasta. Fatores como clima quente, incidência de ventos, insolação direta e temperatura do concreto são condições favoráveis para a ocorrência desse tipo de fissura, acelerando a perda prematura de água.

Após a secagem total da primeira camada, foi feito o lixamento manual com lixas de carbureto de silício de n.º 100 e n.º 120 para remover os excessos de pasta. Uma segunda camada foi aplicada na forma de repasse, corrigindo as imperfeições deixadas pela primeira camada, sendo desta vez, lixada com lixas de carbureto de silício entre os n.º 120 e n.º 150 (Fotografia 22). Quando necessário, repasses de pasta subsequentes foram executadas até obter-se uma camada uniforme e sem imperfeições. A cura da pasta deve ser iniciada após 24 horas de cada camada e ininterrupta após a camada final, feita com água limpa durante sete dias consecutivos (Fotografia 23).

Fotografia 22 – 2ª camada de estucamento



Fonte:Obra do autor (2010)

Fotografia 23 – Execução de cura



Fonte: Obra do autor (2010)

CUIDADOS ESPECIAIS:

- A pasta deve ter consistência plástica;
- A pasta deve ser aplicada logo após seu preparo;
- Não utilizar espátulas de metal, pois mancham a superfície por desgaste;

- O lixamento de cada camada de pasta é executado após 24 horas de aplicada;
- Não aplicar sobre superfícies sob radiação solar direta;
- Aplicar com temperatura do ar e do substrato entre 5°C e 35°C.

13 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O concreto de cimento Portland é, no Brasil e em outros países, o principal e mais utilizado material de construção, sendo que sua versatilidade e supremacia sobre as mais diversas soluções adotadas na engenharia e arquitetura podem ser constatadas (HELENE; ANDRADE, 2010). Uma das evoluções tecnológicas na arte de projetar aconteceu com a descoberta e introdução de novos materiais ou sistemas, dentre eles o concreto aparente que, expondo sua superfície como forma de expressão decorativa, pode agregar a função estrutural ao aspecto estético, ressaltando a imponência do concreto pela utilização de texturas, formas e cores.

Na concepção de projetos arquitetônicos de concreto aparente, a interação entre o projetista e o construtor nas etapas de projeto e execução é fundamental, sendo oportuna a participação efetiva de um tecnologista ou de um engenheiro consultor com conhecimentos técnicos específicos nos materiais constituintes do concreto, manutenções preventivas e processos de diagnóstico e tratamento de manifestações patológicas que podem ocorrer nas estruturas de concreto.

Portanto, é necessário conhecer o método de dosagem racional dos materiais constituintes para cada tipo de utilização do concreto aparente; aplicar corretamente agregados, aditivos e adições; planejar as etapas de concretagem para evitar juntas de concretagem localizadas indevidamente; ter domínio das boas técnicas construtivas durante a montagem das fôrmas, no lançamento e no adensamento do concreto, na utilização de espaçadores que garantam o cobrimento especificado em projeto, e, de maneira geral, obediência às prescrições das normas técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) sobre produção, lançamento, adensamento, desenforma, cura, etc.

Ao longo deste trabalho, pode-se observar que para projetar e executar estruturas de concreto aparente é necessário atender a determinados requisitos, aplicar técnicas construtivas específicas, utilizar materiais e componentes selecionados e aplicados adequadamente, de forma a possibilitar produzir estruturas com desempenho satisfatório, sendo importante desenvolver planos de manutenção preventiva, principalmente para os sistemas de proteção superficial, evitando a ocorrência de manifestações patológicas e suas evoluções.

As diversas metodologias e especificações técnicas propostas neste trabalho têm a expectativa de contribuir com o aprimoramento de projetos e na melhoria do método executivo dos edifícios de concreto aparente cinza, branco e colorido, para produzir superfícies aparentes com bom acabamento visual e duráveis ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. **Aditivos para concreto: Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central**. 1ª ed. São Paulo. 31f.

ARAÚJO, A. et al. Avaliação da durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho tropical. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 52, 2010, Fortaleza. **Anais...** São Paulo: IBRACON. 2010. (Artigo 0397).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Acesso em: 30 abr. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Como comprar cimento**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estrutura de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2007. 170p.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009. 9p.

_____. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011. 12p.

_____. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004. 53p.

_____. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013. 308p.

BASF CONSTRUCTION CHEMICALS. **Guia Simplificado da Norma Europeia EN 1504**. Espanha, abril 2011. 48p.

BATTAGIN, A.F.; BATTAGIN, I.L. O Cimento Portland no Brasil. In: ISAIA, G.C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2010. 2. ed. v.1, cap.24, p.762-790.

BAUER, E.; SALOMÃO, M. C.; SILVA, M.N.B. Artigo técnico 21 - **Estudo do comportamento das eflorescências em argamassas com o emprego de bloqueadores de umidade.** Brasília, 2013. Disponível em: <<http://materialsandmateriais.blogspot.com.br/2013/07/artigo-tecnico-at-21-eflorescencias-e.html>>. Acesso em: 30 abr. 2016.

BRANCO, F. A; PAULO, P.; GARRIDO, M. Vida Útil na Construção Civil. **Boletim técnico BT 04 ALCONPAT Internacional.** México, mar. 2013. 22p.

CATÁLOGO TÉCNICO DEGUSSA CONSTRUCTION CHEMICAL: **Rheocolor – Pigmento Líquido para Concreto.** 4p. São Paulo, [entre 2000 e 2010].

CATÁLOGO TÉCNICO ENGEMIX / VOTORANTIM CIMENTOS – **Melhor concreto do Brasil.** 12p. São Paulo, [entre 2008 e 2013].

CIMENTO ITAMBÉ. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br>>. Acesso em: 10 julho 2016.

CONCRETO ESTRUTURAL BRANCO NO BRASIL. Disponível em: <<http://carloscampos.com.br/index.php/artigos/1-concretobranco>>. Acesso em: 22 novembro 2015.

FARIAS, M. M.; PALMEIRA E.M. Agregados para Construção Civil. In: ISAIA, G.C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2010. 2. ed. v.1, cap.16, p.483-525.

FERREIRA, F. G. S. **Notas de aula de Alternativas e Inovações Tecnológicas do Concreto nas Construções** – Mestrado do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. São Paulo, 2013.

FICHA TÉCNICA DO PRODUTO SIKACOLORFLO – 338HP Liquid. 3 p. **Sika.** Edição 10.02.2015.

FIGUEIREDO, E.J.P.; MEIRA, G.R. Corrosão das Armaduras das Estruturas de Concreto. **Boletim Técnico BT 06 ALCONPAT Internacional.** México, mar. 2013. 30p.

FONSECA, G. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: Uma abordagem epistêmica**. Belo Horizonte, 2010, 105f. Dissertação de mestrado – Escola de engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 2010.

FRANCO, J. et al. Procedimentos de Proteção e Manutenção de Estruturas. In: **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto**. Cytel, Red Rehabilitar, editores. São Paulo, 2003. cap.9, p.429-523.

FREITAS JÚNIOR, J.A. **Aditivos para concreto**. Materiais de Construção (TC-031) Universidade Federal do Paraná, 2013. Disponível em: <<http://dcc.ufpr.br/mediawiki/images/1/15/TC031>>. Acesso em: 04 abril 2015.

GNECCO, C. **A pintura na manutenção industrial**. São Paulo. jan. 2014. 79p. (Apostila técnica).

GNECCO, C. Compostos solúveis em superfícies a serem pintadas. **Revista Corrosão & Proteção**, São Paulo, ano 9, n. 40, p.14-22, jan./abr. 2012.

GRANATO, J.E. **Patologia das Construções**, 2002. 250p. (Apostila do curso). Disponível em: <<http://irapuama.dominiotemporario.com/doc/patologiasdasconstruções2002.pdf>>. Acesso em: 10 julho 2016.

HELENE, P. **Corrosão em Armaduras para Concreto Armado**. São Paulo: PINI: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1986. 47p.

HELENE, P.; KAZMIERCZAK, C. **Determinação da Eficiência de Películas Usadas como Proteção contra a Carbonatação**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 2005. 20p.

HELENE, P.; LEVY, S. Cura do concreto. **Boletim Técnico BT 08 ALCONPAT Internacional**. México, mar. 2013. 12p.

HELENE, P.; FIGUEIREDO P. Introdução. In: **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto**. Cytel, Red Rehabilitar, editores. São Paulo, 2003, p.19-34.

HUSNI, R. et al. Ações Sobre as Estruturas de Concreto. In: **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto**. Red Rehabilitar, editores. 2003, cap.1, p.37-104.

MEDEIROS, M. Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Concretos com Proteção Superficial Frente à Ação de Íons Cloretos. 2008, 218f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2008.

MUÑOZ, H. et al. Procedimentos de Preparo e Limpeza do Substrato. In: **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto**. Red Rehabilitar, editores. 2003, cap.5, p.249-278.

PETRUCCI, E. **Concreto de cimento Portland**. 11 ed. Rio de Janeiro. Editora Globo S.A. 1987. 307p.

QUARCIONI, V. A. **Notas de aula de Materiais de Construção Civil: Constituição, Aplicação e Inovação** – Mestrado do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2013.

REPETTE, W. **Modelo de previsão de vida útil de revestimentos de proteção da superfície do concreto em meios de elevada agressividade**. 1997, 231f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1977.

RIBEIRO, R. **Concreto aparente: uma contribuição para a construção sustentável**. Minas Gerais, 2010. 101f. Monografia - Especialização em construção civil – Escola de Engenharia da UFMG, Minas Gerais, 2010.

RIVERA, A. **Estruturas de Concreto Arquitetônico: Projeto, Execução e Recebimento**. São Paulo, 2007. 117f. Dissertação (Mestrado Profissional em Habitação – Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2007.

RODRIGUES, P. **A tal da retração autógena**. Coletânea de Artigos Técnicos ANAPRE – Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho. 2009. 45p.

SILVA, P. **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana**. São Paulo: PINI, 1995. 152p.

SOUZA, V.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: PINI, 1998. 257p.

TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. Inspeção, Diagnóstico, Prognóstico na Construção Civil. **Boletim Técnico BT 01. ALCONPAT Internacional**. México, mar. 2013. 17p.

WATANABE, P.S. **Concretos Especiais – Propriedades, Materiais e Aplicações**. 2008. 192p. Relatório Final de Pesquisa – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Bauru/SP, 2008.

ANEXO A – Procedimentos de preparo e limpeza do substrato de concreto
(MUÑOZ; HELENE, 2003)

A 1) PROCEDIMENTOS DE PREPARO

Escarificação manual ⇒ Apicoamento para trechos pontuais do substrato de pequenas áreas com a finalidade de melhorar as condições de aderência da pasta. Ferramentas utilizadas: marreta, talhadeira e ponteiro comuns;

Escarificação Mecânica ⇒ Apicoamento para trechos pontuais e para intervenções maiores, com a finalidade de melhorar as condições de aderência da pasta. Equipamento utilizado: rompedor elétrico de pequeno porte acoplado à talhadeira ou ponteiro de encaixe;

Corte mecânico ⇒ Retirada de rebarbas de concreto e corte de pontas de aço. Equipamento utilizado: máquina de corte acoplada a disco diamantado ou de corte de aço;

Desbaste mecânico ⇒ Remoção total da camada de pasta existente em grandes áreas para receber nova camada de estucamento. Equipamento utilizado: lixadeira eletromecânica angular acoplada a disco diamantado;

Lixamento manual ⇒ Remoção de desmoldante e lixamento da película de proteção em pequenas áreas. Materiais utilizados: Lixa de carbureto de silício ou lixa para aço;

Lixamento elétrico ⇒ Remoção de desmoldante e da película de proteção em grandes áreas. Equipamento utilizado: lixadeira eletromecânica com disco de lixa nº 60 ou nº 80;

Escovação manual ⇒ Remoção de desmoldante e de partículas soltas em pequenas áreas. Ferramenta utilizada: escova com cerdas de aço;

Jateamento com agregado miúdo molhado ⇒ Abertura dos poros superficiais, retirada da camada de estucamento e remoção de partículas desagregadas (fungos, mofos e de sujidades). Equipamento utilizado: Máquina de hidrojateamento abrasivo em alta pressão entre 5.000 e 45.000 psi.

A 2) PROCEDIMENTOS DE LIMPEZA

Hidrojateamento ⇒ Limpeza para remoção de pós oriundos dos procedimentos de preparo do substrato. Equipamento utilizado: Máquina de hidrojateamento de baixa pressão inferiores a 5.000 psi (MUÑOZ; HELENE, 2003);

Remoção de fungos ou mofos ⇒ Lavagem do local afetado com hipoclorito de sódio ou água sanitária diluídos em água potável na proporção 1:1, esfregando com escova de cerdas de náilon ou com mantas do tipo “*scotch brite*”. Manter o local umedecido por 6 horas e em seguida lavar abundantemente com água e esperar secar completamente. É necessário usar os equipamentos de proteção adequados. (GNECCO, 2014);

Remoção de óleo, graxa, cera ⇒ Remoção de contaminantes pela aplicação de pasta constituída de solvente do tipo toluol, xilol, etc., misturado com pós-absorventes (talco, caulim, cal hidratada, carbonato de sódio). Aplicar a pasta com espessura entre 0,5 cm a 1 cm, esperar secar e em seguida lavar com água em abundância, esfregando com uma escova de cerdas de náilon para remoção das partículas que se desprenderam (GRANATO, 2002);

Remoção de eflorescências ⇒ Remoção do CaCO_3 aderido à superfície do concreto por lavagem com solução de ácido clorídrico a 10%, seguida de lavagem abundante com água para retirada de todo o excesso do ácido.