



**VERIFICAÇÃO DA PROTEÇÃO À CARBONATAÇÃO DO
CONCRETO COM APLICAÇÃO DE TINTAS IMOBILIÁRIAS**

SÃO PAULO
2014



FELIPE AUGUSTO FORTE
MARCELO MADEIRA SALES
RODRIGO POLATO

**VERIFICAÇÃO DA PROTEÇÃO À CARBONATAÇÃO DO
CONCRETO COM APLICAÇÃO DE TINTAS IMOBILIÁRIAS**

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

Orientador: Prof. Msc. Luís César De Luca.

SÃO PAULO
2014

AGRADECIMENTOS

Ao engenheiro civil professor De Luca por toda ajuda no desenvolvimento desse trabalho, nos orientando, auxiliando e principalmente cobrando resultados.

Aos professores e coordenadores do Instituto IDD.

Ao geólogo Marcelo Pecchio e a toda equipe do laboratório da ABCP pela ajuda na execução do programa experimental.

Aos nossos familiares pela compreensão e apoio durante todo o curso e principalmente durante a elaboração desse trabalho.

FOLHA DE APROVAÇÃO

VERIFICAÇÃO DA PROTEÇÃO À CARBONATAÇÃO DO CONCRETO COM APLICAÇÃO DE TINTAS IMOBILIÁRIAS

Por

FELIPE AUGUSTO FORTE
MARCELO MADEIRA SALES
RODRIGO POLATO

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

São Paulo (SP) ____ de _____ de _____.

Luis César De Luca

Cesar Henrique Sato Daher

André Tadeu Moreno Figueiró

RESUMO

Conforme é de conhecimento da comunidade técnica, o material concreto sofre a ação de agentes agressivos que podem alterar suas propriedades.

O presente trabalho irá expor como e por quais agentes se dão as reações de carbonatação do concreto que alteram sua alcalinidade e sua capacidade de se tornar um elemento protetor das armaduras de aço contra a corrosão, no caso do concreto armado e demonstrar qual o comportamento destas reações quando são aplicados três tipos de tintas imobiliárias, como elemento de proteção adicional, mesmo que não sejam formuladas para tal desempenho.

Através de ensaio acelerado em câmara de carbonatação, serão demonstrados os comportamentos frente ao ataque do gás dióxido de carbono (CO_2) durante determinado período de tempo, em semanas.

Por fim, o presente trabalho irá comparar o desempenho dos três tipos de tintas aplicadas em relação ao avanço da frente de carbonatação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Volume em litros por segmento. FONTE ABRAFATI	28
Figura 2 – Faturamento em dólares por segmento em 2013. FONTE ABRAFATI	28
Figura 3 – Composição básica das tintas.....	29
Figura 4 - Acetato de Polivinila - Fonte: www.wikipedia.pt	33
Figura 5 – Acrilato de Etila - Fonte: www.wikipedia.pt	34
Figura 6 – Resina Alquídica - Fonte: www.wikipedia.pt	35
Figura 7 – Esquema de corte dos Corpos de Prova Prismáticos	56
Figura 8 – Esquema de medição nos Corpos de Prova	57

LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Materiais utilizados – (a) Areia Grossa; (b) Pedrisco; (c) Cimento.....	50
Foto 2 – Formas de madeira para os Corpos de Prova Prismáticos	51
Foto 3 – Moldagem dos Corpos de Prova Prismáticos	51
Foto 4 – Corpos de Prova moldados Prismáticos.....	52
Foto 5 – Corpo de Prova Prismático moldado	52
Foto 6 – Pintura dos Corpos de Prova Prismáticos – 1ª demão	53
Foto 7 – Pintura dos Corpos de Prova Prismáticos – 2ª demão	53
Foto 8 – Câmara para ensaio acelerado de carbonatação	55
Foto 9 – Parâmetros da câmara de carbonatação.....	55
Foto 10 – Corpos de Prova Prismáticos dentro da Câmara para ensaio.....	56
Foto 11 – Corpos de Prova Prismáticos sendo cortados para o ensaio	57
Foto 12 – Fatias dos corpos de prova antes da aplicação da solução de Fenolftaleína	58
Foto 13 – Fatias dos corpos de prova durante a aplicação da solução de Fenolftaleína.....	58
Foto 14 – Fatias dos corpos de prova após aplicação de solução Fenolftaleína – Tinta Látex.....	60
Foto 15 – Fatias dos corpos de prova após aplicação de solução Fenolftaleína – Tinta Acrílica.....	61
Foto 16 – Fatias dos corpos de prova após aplicação de solução Fenolftaleína – Tinta Esmalte	64
Foto 17 – Fatias dos corpos de prova após aplicação de solução de Fenolftaleína – (a) Tinta Látex; (b) Tinta Acrílica; (c) Tinta Esmalte	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição das Tintas Látex.....	33
Tabela 2 – Composição das Tintas Acrílicas	34
Tabela 3 – Composição das Tintas Esmaltes	36
Tabela 4 – Pesquisas ensaios acelerados de carbonatação – Fonte Kulakowski (2002).....	43
Tabela 5 – Classes de agressividade ambiental – Fonte NBR 6118:2014	47
Tabela 6 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto – Fonte NBR 6118:2014.....	47
Tabela 7 – Tabela de traços – Fonte Prof. Caldas Branco	48
Tabela 8 – Profundidade de carbonatação – Tinta Látex	61
Tabela 9 – Profundidade de Carbonatação – Tinta Acrílica	62
Tabela 10 – Profundidade de Carbonatação – Tinta Esmalte	64
Tabela 11 – Profundidades de Carbonatação – Médias – Tinta Acrílica	67
Tabela 12 – Profundidades de Carbonatação – Médias – Tinta Esmalte	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Profundidades de Carbonatação – Tinta Acrílica – CP 1	62
Gráfico 2 - Profundidades de Carbonatação – Tinta Acrílica – CP 2	63
Gráfico 3 - Profundidades de Carbonatação – Tinta Acrílica – CP 3	63
Gráfico 4 - Profundidades de Carbonatação – Tinta Esmalte - CP 1	65
Gráfico 5 - Profundidades de Carbonatação – Tinta Esmalte – CP 2	65
Gráfico 6 - Profundidades de Carbonatação – Tinta Esmalte – CP 3	66
Gráfico 7 – Profundidades Médias de Carbonatação – Tinta Acrílica.....	67
Gráfico 8 – Profundidades Médias de Carbonatação – Tinta Esmalte.....	68
Gráfico 9 - Profundidades Médias de Carbonatação – Acrílica e Esmalte	69

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	3
FOLHA DE APROVAÇÃO	4
RESUMO	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE FOTOS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE GRÁFICOS	9
SUMÁRIO.....	10
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	13
1.2. OBJETIVOS.....	14
1.2.1. Objetivo Geral	14
1.2.2. Objetivos Específicos.....	14
1.3. HIPÓTESE	14
1.4. JUSTIFICATIVAS	14
1.4.1. Tecnológicas.....	15
1.4.2. Econômicas	15
1.4.3. Sociais	15
1.4.4. Ecológicas	16
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	16
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. CONCRETO	18
2.1.1. Histórico	18
2.1.2. Estrutura do Concreto.....	19
2.1.3. Zonas de Transição.....	19
2.1.4. Hidratação	20
2.1.5. Vazios / Porosidade	20

2.1.6.	Agregados.....	21
2.1.7.	Água	22
2.1.8.	Cimento Portland.....	22
2.2.	TINTAS.....	24
2.2.1.	Histórico	24
2.2.2.	O Setor de Tintas no Brasil	27
2.2.3.	Composição Básica	29
2.2.4.	Classificação das Tintas	32
2.3.	FORMAÇÃO DE PELÍCULA	36
2.3.1.	Tinta Látex	39
2.3.2.	Tinta Acrílica.....	39
2.3.3.	Tinta Esmalte.....	39
2.4.	REAÇÕES DE CARBONATAÇÃO	40
2.5.	ENSAIO ACELERADO DE CARBONATAÇÃO	42
2.5.1.	Concentração de CO ₂ , temperatura e umidade relativa do ar. ...	43
2.5.2.	Tipo, tamanho e forma das amostras.....	44
2.5.3.	Tipos de cura	44
2.5.4.	Indicador de PH.....	45
3.	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	47
3.1.	TRAÇOS	47
3.2.	MATERIAIS	49
3.3.	MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS	50
3.4.	PINTURA DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS	53
3.5.	REALIZAÇÃO DO ENSAIO ACELERADO DE CARBONATAÇÃO	54
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	60
4.1.	RESULTADOS TINTA LÁTEX.....	60
4.2.	RESULTADOS TINTA ACRÍLICA.....	61
4.3.	RESULTADOS TINTA ESMALTE	63
4.4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	66

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	71
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	73
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁICAS	74

1. INTRODUÇÃO

Em face das diversas classes de agressividade ambientais, proporcionadas pelo progresso da sociedade em relação ao aumento de emissão de poluentes, é necessário cada vez mais atentar para a produção de estruturas de qualidade, que tenham um desempenho adequado e por consequência atendam os padrões de Vida Útil.

Foi observada a importância de um estudo na área, afim, de conhecer e propor soluções para a melhoria da proteção contra ao ataque dos agentes agressivos como o dióxido de carbono (CO_2), presente nas atmosferas urbanas. Devido a uma grande quantidade de obras de pequeno porte com concretos produzidos dentro do próprio canteiro, utilizando-se traços pré-definidos por tabelas, muitas vezes sem adições e que em razão do custo acabam por ficar sem revestimentos externos.

Através do acesso do dióxido de carbono (CO_2) na estrutura, ocorrem as reações de carbonatação, deletérias para as estruturas de concreto armado.

Desta forma a proposta de pesquisa é aferir o grau de proteção conferido pela formulação de diferentes traços frente ao ataque de CO_2 , simulado em laboratório.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Qual dentre os seguintes tipos de tintas, **Látex, Acrílica e Esmalte**, oferece melhor proteção frente ao ataque de Carbonatação em concretos?

1.2. OBJETIVOS

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

1.2.1. Objetivo Geral

Verificar entre os seguintes tipos de tintas, **Látex, Acrílica e Esmalte**, qual oferece melhor proteção frente ao ataque de CO₂.

1.2.2. Objetivos Específicos

Realizar ensaio de carbonatação acelerado.

1.3. HIPÓTESE

O tipo de tinta Esmalte oferece melhor proteção a carbonatação e o tipo Látex oferece o pior desempenho.

1.4. JUSTIFICATIVAS

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

1.4.1. Tecnológicas

A proposta deste projeto de pesquisa é aferir a proteção contra ao ataque dos agentes agressivos geradores da carbonatação, de tintas imobiliárias aplicadas sobre concreto região da cidade de São Paulo, utilizando cimento tipo CP II E, agregados da região e sem adições.

A pesquisa se torna relevante do ponto de vista tecnológico ao analisar o potencial de proteção contra o ataque de CO₂, de materiais que não são produzidos para exercer esse tipo de proteção.

1.4.2. Econômicas

Sabe-se que é significativo o volume de recursos financeiros gastos em trabalhos de recuperação e reforço de estruturas.

Quando se utiliza algum tipo de proteção no concreto, tende-se a ter menor necessidade de recuperação das estruturas, porém, muitas vezes os valores a serem gastos nesses sistemas de proteção pode ser inviável.

Desta a pesquisa se torna relevante do ponto de vista econômico ao analisar o potencial de proteção contra o ataque de CO₂, de materiais que não são produzidos para exercer esse tipo de proteção, se tornando um método economicamente viável.

1.4.3. Sociais

Do ponto de vista social podemos ressaltar a relevância da pesquisa ao relacioná-la com a questão de segurança e salubridade das estruturas.

Estruturas mais seguras proporcionam menores gastos sociais ao permitir que os usuários as utilizem com maior proveito e por consequência menos riscos.

Em relação a salubridade observamos que a saúde das estruturas proporciona aos usuários um adequado conforto psicológico, ao não serem perceptíveis as manifestações patológicas, e portanto as estruturas desempenharão com grau satisfatório o desempenho para as quais foram projetadas.

1.4.4. Ecológicas

Ao se produzir estruturas mais duráveis estamos economizando recursos naturais ao se evitar os trabalhos de recuperação e reforço e com isso o consumo dos materiais necessários para estes serviços.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A proposta deste projeto de pesquisa é aferir o potencial de proteção de tintas imobiliárias contra o ataque dos agentes agressivos geradores da carbonatação, sobre um determinado traço. Tal verificação será qualitativa e se desdobrará em duas etapas, revisão bibliográfica e programa experimental em laboratório com avaliação dos resultados obtidos.

A revisão bibliográfica abordará quatro assuntos predominantes neste trabalho, sendo eles: o concreto, as principais características das tintas, as reações de carbonatação e o ensaio acelerado de carbonatação.

O programa experimental será baseado na moldagem de corpos de prova com um mesmo traço, aplicação de pintura nos corpos de prova, realização do ensaio de carbonatação acelerada em diferentes idades e análise dos valores obtidos na medição da frente de carbonatação.

No capítulo quatro deste trabalho os resultados obtidos no programa experimental são amplamente discutidos e comparados para embasar as considerações finais da pesquisa.

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Este item apresenta resumidamente o conteúdo de cada capítulo do trabalho:

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delinea as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos a serem adotados.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica e discorre sobre o concreto e sua estrutura, os diferentes tipos de cimento, o processo de carbonatação, o ensaio acelerado de carbonatação e os traços a serem utilizados.

O **Capítulo 3** trata sobre o programa experimental realizado neste trabalho, apresentando a moldagem dos corpos de prova para o ensaio de carbonatação acelerado e ensaio de compressão, e as medições realizadas durante os ensaios.

O **Capítulo 4** apresenta a análise dos resultados deste estudo.

O **Capítulo 5** apresenta as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

Este capítulo apresentou os objetivos, hipóteses e justificativas do problema de pesquisa proposto neste trabalho. Já o seguinte dará embasamento ao experimento objeto dessa pesquisa, descrevendo visão de diversos autores sobre o tema numa breve revisão bibliográfica das obras consideradas as mais relevantes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No capítulo anterior apresentamos o problema desse trabalho e nesse capítulo serão apresentadas as definições do concreto, seus principais componentes, comportamento e propriedades, de tintas imobiliárias, seus principais componentes, comportamento e propriedades e definições das reações de carbonatação e ações mitigadoras.

Serão ainda apresentadas as características, métodos e procedimentos referentes ao ensaio de degradação realizado em câmara de carbonatação.

2.1. CONCRETO

O concreto é um elemento de estrutura complexa e microestrutura de comportamento particular. Apresenta várias aplicações e juntamente com o aço forma um excelente material do ponto de vista estrutural.

2.1.1. Histórico

O concreto pode ser considerado como um dos materiais mais utilizados pela humanidade.

Pela relativa facilidade com que seus insumos são encontrados, pelas suas propriedades como material estrutural, desempenho, durabilidade e conceitos de sustentabilidade torna-se um excelente material do ponto de vista econômico (ISAIA, 2011).

Com a utilização em conjunto com o aço tornou-se um dos materiais mais utilizados para a confecção de elementos estruturais.

Os concretos comuns são geralmente compostos por agregados, água e cimento Portland, materiais esses que serão discutidos posteriormente no trabalho. Esta é a mistura mais usual para a confecção de concreto, podendo ainda ser utilizadas adições de elementos de origem mineral ou orgânica, na sua composição, afim de melhorar suas propriedades. Ainda é possível fazer a adição de componentes químicos que melhorem ou insiram propriedades no concreto.

Ao adicionarmos elementos minerais ou orgânicos, provenientes de processos específicos, dizemos que estamos fazendo uso de Adições. Quando adicionamos componentes químicos no concreto, também provenientes de processos específicos vindos da indústria química, dizemos que estamos fazendo uso de Aditivos.

2.1.2. Estrutura do Concreto

Segundo Guimarães, et al. (2010) apud Metha & Monteiro (1994) o concreto pode ser caracterizado como um material poroso, com uma estrutura heterogênea e complexa, e ao analisar sua macroestrutura identificam-se dois constituintes principais: a pasta de cimento endurecida e partículas de agregados. E analisando sua microestrutura, distingue-se uma camada de pasta de cimento em contato com o agregado graúdo, que apresenta características diferentes do restante da pasta, sendo chamada de zona de transição.

2.1.3. Zonas de Transição

Segundo Guimarães, et al. (2010) apud Metha & Monteiro (1994), a zona de transição do concreto é a região compreendida pela interface entre a superfície do agregado e a pasta propriamente dita. Esta é a região mais fraca do

concreto, com porosidade elevada e com grande diferenciação de formas cristalinas.

2.1.4. Hidratação

Apesar da água ser, de certa forma um elemento nocivo ao concreto por influenciar diretamente na porosidade do mesmo, ela é indispensável pois promove a ativação das reações de formação dos cristais de C-S-H, responsáveis pelas características de resistência.

A correta relação água/cimento confere propriedades de resistência, módulo de elasticidade e também de durabilidade.

2.1.5. Vazios / Porosidade

Os vazios na microestrutura do concreto são responsáveis pelo maior grau de porosidade do concreto.

Um concreto mais poroso é sem dúvida mais propenso aos ataques dos agentes agressivos além de ter suas propriedades de resistência comprometidas.

Uma correta análise da granulometria dos agregados utilizados na produção do concreto propicia um efeito de “empacotamento” e com isso um menor índice de vazios.

O controle tecnológico do concreto é fundamental para a produção de concretos duráveis e com propriedades mecânicas adequadas.

2.1.6. Agregados

Os agregados podem ser definidos como sendo materiais encontrados na natureza, de origem pétrea (rochas), na maioria dos casos, com forma e dimensões variáveis, e que seu uso é viável em obras de engenharia, para produção de concreto, juntamente com cimento Portland e água. (ISAIA, 2011)

Antigamente tinha-se a tese de que os agregados simplesmente serviriam de enchimento no concreto, porém através de estudos, chegou-se a conclusão de que desempenham papel importantíssimo na durabilidade e desempenho do concreto.

Através de uma granulometria correta, ou seja, disposição coerente de agregados que proporcione o menor índice de vazios, conhecida como “empacotamento”, tem-se a condição de produzir concretos com qualidade e desempenho satisfatórios, principalmente quanto a impermeabilidade que “barra” a entrada de agentes agressivos para o interior da massa.

Está correta distribuição de agregados é conhecida como curva granulométrica. Antes da produção de concretos é salutar a verificação desta proporcionalidade entre agregados.

Os agregados podem ser classificados quanto a origem em:

- a) Naturais, quando são encontrados na natureza e utilizados sem maiores beneficiamentos como a lavagem, por exemplo. São exemplos deste tipo de agregado a areia de rio, areia de cava e pedregulhos;
- b) Britados, quando são obtidos através do processo de britagem, de rochas maiores. São exemplos deste tipo de agregado as diferentes graduações de britas;
- c) Artificiais, quando são produzidos através de processos industriais. Por exemplo a vermiculita expandida;

- d) Reciclados, quando são produzidos através do beneficiamento de materiais com propriedades compatíveis com o uso na construção civil e em especial com o uso para produção de concreto. Como exemplo temos a reciclagem (reutilização) de entulho proveniente da própria construção civil.

2.1.7. Água

A água é utilizada na produção de concreto como elemento reagente e indutor das reações de hidratação do cimento Portland.

Para a utilização na produção de concreto deve ser utilizada em proporções adequadas sob o risco de, em excesso, permitir a produção de concretos porosos, portanto aptos a permitir a entrada de agentes agressivos para o interior da massa.

Deve ser livre de contaminações e com características químicas, como ph, adequadas.

Em nível geral, a água que se presta ao consumo humano é perfeitamente aplicável para a produção de concretos.

2.1.8. Cimento Portland

O cimento Portland, no concreto, cumpre a função de aglomerante unindo os agregados e formando um composto sólido com características particulares.

O cimento Portland é formado pela moagem do clínquer Portland, que é obtido através da calcinação a 1450°C de calcário e argila.

Para a formação do clínquer adequado deve haver a presença dos principais óxidos (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3). Como estes compostos não são encontrados em um único elemento, utiliza-se a mistura de rochas, onde o calcário e na argila são as matérias primas mais utilizadas. (ISAIA, 2011)

Adiciona-se também uma certa proporção de sulfato de cálcio, para que a pega seja controlada.

Quando a mistura utilizada para produção de clínquer não supre os elementos necessários que se espera para determinado tipo de cimento, são feitas adições que conferem estas propriedades.

Os tipos mais comuns de cimento podem ser classificados em:

- e) CP I – Cimento Portland Comum
 - 1. CP I-S – Cimento Portland Comum com Adição
 - 2. CP II E – Cimento Portland Composto com Escória
- f) CP II – Cimento Portland Composto
 - 1. CP II Z – Cimento Portland Composto com Pozolana
 - 2. CP II F – Cimento Portland Composto com Fíler
- g) Cimento Portland de Alto Forno (CP III)
- h) Cimento Portland Pozolânico (CP IV)
- i) Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI)
- j) Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS)
- k) Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC)
- l) Cimento Portland Branco (CPB)

2.2. TINTAS

A história do uso das cores e da pintura confunde-se com a própria história da humanidade. O ser humano na pré-história, possuidor de limitados recursos verbais para transmitir suas experiências, viu-se obrigado a desenvolver alternativas que complementassem sua comunicação e que perpetuasse a informação.

Conforme a definição da norma técnica NBR 15156, tinta é um produto líquido, pastoso ou em pó, com propriedades que lhe conferem a capacidade de formar película após o período ou processo de cura.

2.2.1. Histórico

Por muitos séculos, as tintas foram empregadas pelo seu aspecto estético. Mais tarde, quando introduzidas em países do norte da América e da Europa, em que as condições climáticas eram mais severas, o aspecto proteção ganhou maior importância. Sua utilização nas áreas de higiene e iluminação é resultado da ciência e da mecânica modernas. Por essa razão, descreveremos primeiramente a história e o desenvolvimento dos revestimentos através dos tempos até atingirmos a moderna tecnologia.

Os arqueólogos têm descoberto desenhos em cavernas e gravuras sobre rochas que datam de antes da última Era Glacial. Alguns desses desenhos foram feitos com óxidos de ferro naturais, ocre vermelho, cal, carvão ou terra verde.

A técnica empregada era simples, pois as cores eram preparadas com os próprios dedos e algumas vezes prensadas entre pedras. Naturalmente estes desenhos não possuíam nenhuma durabilidade a não ser em ambientes favoráveis (como os das cavernas).

Foi no Egito antigo que surgiram os primeiros pigmentos sintéticos, embora algumas das primeiras cores egípcias fossem derivadas de solo natural. O

que hoje é conhecido como Azul do Egito era composto de óxido de cálcio, alumina, sílica, resíduos de soda e óxidos de cobre.

Este pigmento tornou-se um importante item de exportação durante os anos posteriores. As cores naturais incluíam ocres vermelho e amarelo, hematita, calcário amarelo, ouro em folha, malaquita (carbonato básico de cobre), carvão, negro de fumo e gesso natural. Os egípcios também desenvolveram um pigmento orgânico, formado por uma base preparada com uma planta da região misturada com gesso natural. Os egípcios empregavam goma arábica, clara e gema de ovos, gelatina e cera de abelha tratada como preparos para seus veículos (ligantes). Piches e bálsamos naturais eram usados como revestimento protetor para seus navios.

Os materiais utilizados pelos gregos e romanos eram similares àqueles empregados pelos egípcios. Cola e albumina de ovo eram usados como ligantes. Além dos pigmentos comuns aos egípcios, os romanos conheciam outros artificiais, tais como: chumbo branco (alvaiade), litargírio, zarcão, óxido amarelo de chumbo, verdete e ossos escuros.

Pigmentos orgânicos oriundos de madeira, plantas e suas misturas com argila e mel eram bastante comuns. O piche era utilizado, durante esse período, para vedação de seus navios e sua mistura com cera, para o fundo dos mesmos. Resinas e óleos eram empregados apenas como linimentos.

A técnica de suspender pigmentos em água, com ou sem ligante, era muito comum desde os primórdios da Europa Renascentista, adquirida através dos italianos. A mesma prática prevalecia nas decorações das antigas cavernas do Oriente.

Os persas utilizavam goma arábica como ligante e os chineses, uma cola fraca com o mesmo propósito.

Os índios americanos e os da costa oeste do Canadá usavam carvão vegetal como pigmento preto para suas canoas e outro tipo de carvão para sua pintura facial. Utilizavam também negro de fumo natural, grafite e lignita em pó,

como pigmentos negros. Para a cor branca, usavam diatomita retirada do fundo de alguns lagos ou de ossos calcinados de animais silvestres. Os vermelhos eram obtidos a partir da calcinação do ocre amarelo ou torrefação do fungo das pináceas, e os amarelos consistiam do amarelo ocre ou de fungos das pináceas; os azuis e verdes eram preparados do carbonato de cobre e peziza (material proveniente de um fungo que cresce nos restos em decomposição de algumas madeiras).

Os ligantes empregados pelos índios eram ovos de salmão ou óleo de peixe. A banha de carneiro era usada como ligante para seus cosméticos.

Copal e âmbar eram as principais resinas durante a época da Revolução Americana. As resinas e óleos eram fermentados antes da incorporação, para purificá-los. Terpenteno era empregado como diluente e os pigmentos eram moídos com uma grande pedra de forma cilíndrica.

As primeiras fábricas de verniz foram estabelecidas na Europa no início dos anos 1800. A Grã-Bretanha e a Holanda foram as primeiras a produzir vernizes com técnicas mais apuradas.

Por muitos séculos, a formulação de uma tinta foi uma arte sigilosa, cuidadosamente guardada e passada de geração a geração. Como as tintas eram preparadas em quantidades pequenas, utilizando-se moinhos arcaicos e métodos de misturas manuais e trabalhosos, elas eram caras e apenas disponíveis para um pequeno segmento mais abastado da sociedade.

Com o surgimento da indústria de tintas e vernizes no século XIX, os revestimentos orgânicos ganharam, evidentemente, maior difusão popular.

Como a maioria das ciências, a indústria de tintas e vernizes, que tinha sofrido pequenas alterações ao longo do tempo, sentiu o tremendo impacto científico e tecnológico surgido no século XX. Novos pigmentos, melhoria dos óleos secativos, resinas celulósicas e sintéticas e uma grande variedade de agentes modificantes começaram a fluir dos laboratórios especializados e das linhas de produção industriais, transformando-se na base de uma corrente infindável de novos revestimentos orgânicos.

O advento de emulsões aquosas e tintas com base em soluções aquosas proporcionaram uma outra dimensão para a variedade, utilização e complexidade no campo das tintas. (FAZENDA, 2009)

2.2.2. O Setor de Tintas no Brasil

No Brasil, a primeira fábrica de tinta foi em Blumenau, Santa Catarina, datada de 1886. A partir dos anos 1950 a indústria nacional desenvolveu-se com muitas resinas sintetizadas, surgindo tintas para diversas aplicações.

Hoje o Brasil é um dos cinco maiores mercados mundiais para tintas. Fabricam-se no país tintas destinadas a todas as aplicações, com tecnologia de ponta e grau de competência técnica comparável à dos mais avançados centros mundiais de produção.

Há centenas de fabricantes, de grande, médio e pequeno porte, espalhados por todo o país. Os dez maiores fabricantes respondem por 75% do total das vendas.

Os grandes fornecedores mundiais de matérias-primas e insumos para tintas estão presentes no país, de modo direto ou através de seus representantes, juntamente com empresas nacionais, muitas delas detentoras de alta tecnologia e com perfil exportador.

Os números atualizados, fornecidos pela ABRAFATI, da indústria de tintas nacional constam:

- m) Faturamento líquido 2013: US\$ 4,183 bilhões - R\$ 9,120 bilhões
- n) Faturamento líquido 2012: US\$ 4,282 bilhões - R\$ 8,350 bilhões
- o) Volume produzido 2013: 1,426 bilhão de litros
- p) Volume produzido 2012: 1,398 bilhão de litros
- q) Crescimento 2013/2012: 2,0 %
- r) Previsão de crescimento 2014/2013: 2,0% a 3,0%

- s) Exportações 2013: US\$ 188 milhões (excluindo tintas gráficas)
- t) Importações 2013: US\$ 209 milhões (excluindo tintas gráficas)

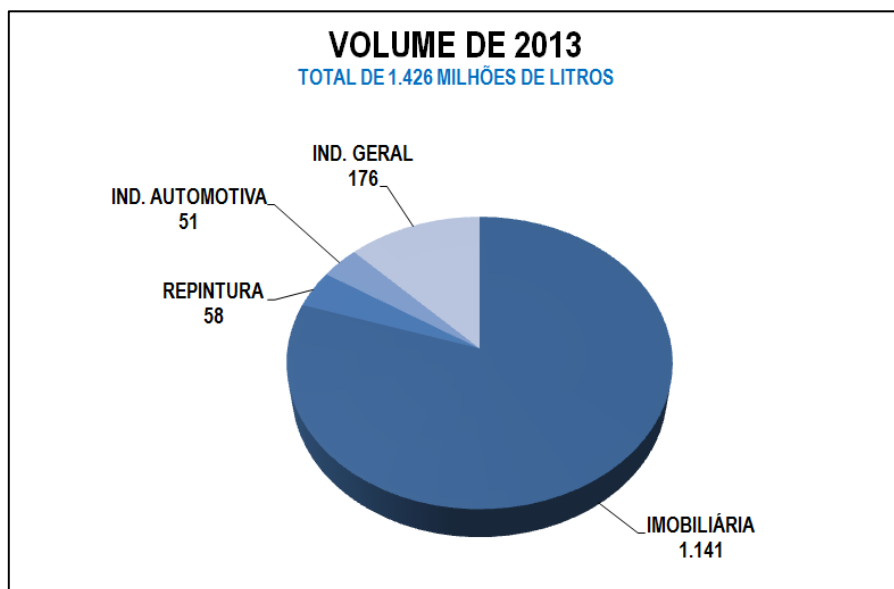


Figura 1 – Volume em litros por segmento. FONTE ABRAFATI

Ainda segundo a ABRAFATI as tintas imobiliárias representam cerca de 80% (1141 milhões de litros) do volume total e 64% (2677 milhões de dólares) do faturamento contra tintas automotivas e tintas para indústria em geral, conforme pode ser observado nas Figura 1 e Figura 2.

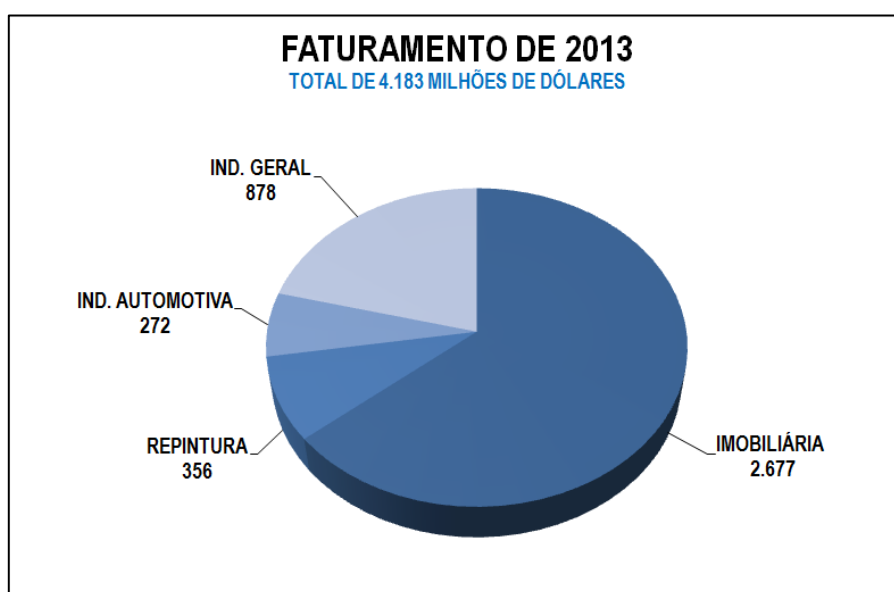


Figura 2 – Faturamento em dólares por segmento em 2013. FONTE ABRAFATI

2.2.3. Composição Básica

A tinta é uma dispersão onde partículas sólidas estão distribuídas nos outros componentes na forma líquida, aquosa ou em gel que, quando aplicada sobre um substrato e sofre um processo de cura, forma um filme aderente ao substrato, com a finalidade de proteger, decorar e dar acabamento. A sua principal função é a proteção contra agentes deletérios do meio, tais como: água, umidade, poluição atmosférica etc. (ABRAFATI)

Nos dias atuais, pode-se dizer que a tinta é composta basicamente por quatro elementos: pigmentos, resinas, solventes e aditivos, conforme pode ser observado na Figura 3.

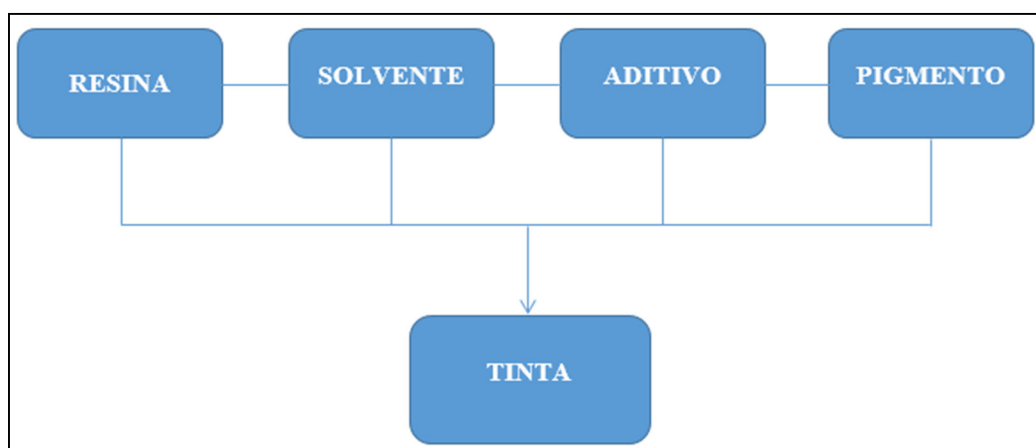


Figura 3 – Composição básica das tintas

Os pigmentos concedem o poder da cor e cobertura, os ligantes ou resinas aderem e dão liga aos pigmentos e os solventes são capazes de dar a consistência desejada. Já a variabilidade de aditivos, que se encontra no mercado, é a maior responsável por aperfeiçoar uma série de características e tipos específicos de tintas, sejam os solventes à base de água ou orgânicos. (ABRAFATI)

2.2.3.1. Resina

Resina é a parte não volátil da tinta, que serve para aglomerar as partículas de pigmentos. A resina também denomina o tipo de tinta ou revestimento empregado. Assim, por exemplo, temos as tintas acrílicas, alquídicas, epoxídicas, etc.

Todas levam o nome da resina básica que as compõe. Serão vistos, adiante, os mais variados tipos de resina utilizados nas formulações de tintas e vernizes.

Antigamente, as resinas eram a base de compostos naturais, vegetais ou animais. Hoje em dia são obtidas através da indústria química ou petroquímica por meio de reações complexas, originando polímeros que conferem às tintas propriedades de resistência e durabilidade muito superiores às antigas.

A formação do filme de tinta está relacionada com o mecanismo de reações químicas do sistema polimérico, embora outros componentes, como solventes, pigmentos e aditivos, tenham influência no sentido de retardar, acelerar e até inibir essas reações.

2.2.3.2. Solvente

O principal objetivo do solvente é ajustar as propriedades de cura e a viscosidade da tinta. É volátil e não se torna parte do filme seco da tinta.

Também controla a reologia e as propriedades da aplicação e afeta a estabilidades da tinta enquanto está se encontra no estado líquido. A sua função principal é funcionar como transportador dos componentes não voláteis.

De modo a dispersar os óleos pesados (Óleo de linhaça) é necessário usar, nas tintas para o interior de casas um óleo mais fino. Estas substâncias

voláteis transmitem as suas propriedades temporariamente. Assim que o solvente se evapora os restantes componentes ficam fixados na superfície.

O solvente é um componente opcional numa tinta. Existem tintas que não o possuem. A água é o principal solvente das tintas de base aquosa.

As tintas de base solvente podem ter várias combinações de solventes como diluente, que podem incluir alifáticos, aromáticos, alcoóis, cetonas e Éter de petróleo. Estes incluem solventes orgânicos como Aguarrás, ésteres, Glicol, éteres, etc.

Em certas aplicações, resinas sintéticas de baixo peso molecular também são usadas como diluentes. Tais solventes são usados quando são desejadas resistência à água, gordura, etc.

2.2.3.3. Pigmento

Material sólido finamente dividido, insolúvel no meio. Utilizado para conferir cor, opacidade, certas características de resistência e outros efeitos.

São divididos em pigmentos coloridos (conferem cor), não coloridos e anticorrosivos (conferem proteção aos metais).

O índice de refração (I.R.) está diretamente relacionado ao poder de cobertura (propriedade da tinta de cobrir o substrato), sendo que os pigmentos coloridos devem possuir I.R. superior a 1,5 (I.R. médio das resinas utilizadas em tintas). As cargas possuem I.R. iguais ou ligeiramente superiores a 1,5 sendo, portanto, transparentes ou quase transparentes.

2.2.3.4. Aditivo

Ingrediente que, adicionado às tintas, proporciona características especiais às mesmas ou melhorias nas suas propriedades. Utilizado para auxiliar nas diversas fases de fabricação e conferir características necessárias à aplicação.

Existe uma variedade enorme de aditivos usados na indústria de tintas e vernizes, a saber: secantes, anti-sedimentantes, niveladores, antipele, antiespumante, dispersantes, etc. (FAZENDA, 2009)

2.2.4. Classificação das Tintas

A classificação de cada tinta fica disposta pela resina “base” utilizada, sendo o foco de nosso estudo as qualidades de tintas denominadas: Acrílicas, Látex, Esmaltes. Excluimos as demais classificações apenas pelo efeito não comparativo com os supracitados.

2.2.4.1. Tinta Látex

Basicamente formado por polímeros sintéticos à base de acetato de polivinila (Figura 4), o látex é talvez a tinta mais comumente encontrada atualmente, nos interiores das residências.

O PVA vem do nome da substância usada atualmente para fabricar a tinta látex. O látex tem uma base solúvel em água e, por isso, facilita sua aplicação.

O acabamento em látex PVA é adequado para a parte interna das residências, que podem ser limpas apenas com um pano úmido. O acabamento desse tipo de tinta é muito bom, assim como seu recobrimento da camada anterior de pintura (se ela existir). Seca rapidamente, e o odor típico de pintura é mínimo.

Porém, o produto não é adequado para áreas molhadas ou que possam receber chuva, salvo exceções com mescla de Látex PVA e Acrílica.

Na Tabela 1 pode-se observar a composição das Tintas Látex.

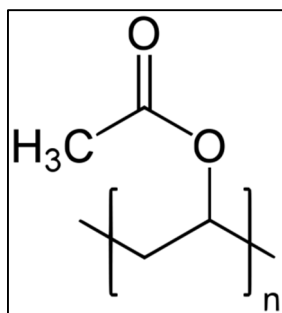


Figura 4 - Acetato de Polivinila - Fonte: www.wikipedia.pt

Tabela 1 – Composição das Tintas Látex

Matéria Prima	% em massa
Acetato de sódio	0,04
Acetato de vinila	51,76
Água	43,49
Hidroetil celulose	1,55
Nonil fenol +35 EO	2,07
Nonil fenol +9,5 EO	1,03
Persulfato de amônia	0,06

2.2.4.2. Tinta Acrílica

A tinta acrílica, pela diversidade de composições poliméricas que o mercado apresenta, é possível obter tintas acrílicas de várias qualidades e performances, mas com um uso acima de 70 % o Acrilato de Etila (Figura 5) é o polímero sintético mais utilizado para esta finalidade, por garantir boa

flexibilidade e durabilidade a preço melhor acessível. A tinta acrílica de forma geral, tem aspecto muito similar ao do látex, também é solúvel em água e seca rapidamente. A diferença é que sua fórmula contém resinas acrílicas, o que proporciona ao produto alta impermeabilidade uma vez aplicado, tornando-o especialmente eficaz para pinturas externas.

Essa impermeabilidade também torna a tinta acrílica interessante para uso em áreas molhadas da casa, como na cozinha e lavabo. As tintas acrílicas podem ser lavadas, ao contrário do látex, que deve ser limpo apenas com pano úmido.

O acabamento tende a ser mais brilhante que o do látex, ainda que exista a versão fosca.

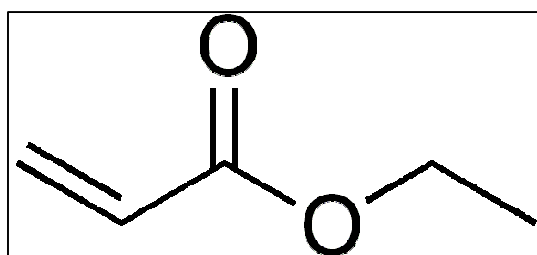


Figura 5 – Acrilato de Etila - Fonte: www.wikipedia.pt

Na Tabela 2 pode-se observar a composição das Tintas Acrílicas.

Tabela 2 – Composição das Tintas Acrílicas

Matéria Prima	% em massa
Água	39,5
Amoníaco	0,1
Antiespumante	0,25
Bactericida	0,15
Cargas	33,0
Coalescentes	1,5
Dióxido de titânio	8,0
Dispersante	0,3
Espessante	0,55

Fungicida	0,15
Inibidor de corrosão	0,1
Polímeros	16,0
Surfactante aniônico	0,15
Surfactante não-iônico	0,15
Umectante	0,1

2.2.4.3. Tinta Esmalte

Tinta esmalte ou tinta óleo, são nomes populares para tintas Alquídica (Figura 6). Ao contrário dos exemplos anteriores é um tipo de tinta que não é solúvel em água, visto que possui o que é chamado de “base a óleo”, material que compunha sua fórmula antigamente. Atualmente são outros produtos sintéticos que compõem a base mais comum para esse tipo de acabamento.

A tinta esmalte é comumente utilizada em superfícies de ferro ou madeira, mas sua diversidade não se restringe apenas nestas bases, sua empregabilidade também pode ser vista em bases cimentícias, paredes internas e externas.

Na Tabela 3 pode-se observar a composição das Tintas Acrílicas.

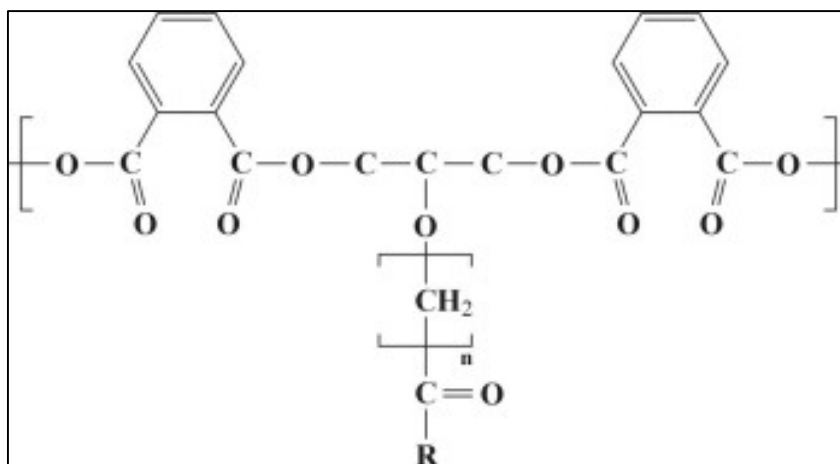


Figura 6 – Resina Alquídica - Fonte: www.wikipedia.pt

Tabela 3 – Composição das Tintas Esmaltes

Matéria Prima	% em massa
Glicéridos	41,20
Poliois	11,45
Anidrido Ftálico	17,15
Solvente	28,15
Inibidor	2,05

2.3. FORMAÇÃO DE PELÍCULA

Analisando-se a propriedade protetiva das tintas imobiliárias em relação a carbonatação do concreto, em primeira instância e culminando com a perda de alcalinidade deste e consequente propensão às reações de corrosão de armaduras, o caso do concreto armado, é importante compreender que para que as reações de carbonatação se iniciem são necessários três agentes indutores a saber: oxigênio(O_2), dióxido de carbono(CO_2) e umidade (H_2O).

Caso um destes elementos ou todos sejam eliminados ou reduzidos a fatores mínimos que sejam incapazes de induzir as reações de carbonatação, estas não se iniciam.

O objetivo para que se dê a proteção em relação ao avanço das reações e consequente frente de carbonatação é que a tinta aplicada forme uma barreira protetiva através da formação de película sobre o substrato.

Desta forma a formação de película e consequente proteção por barreira tem a função de impedir o acesso destes elementos ao interior do elemento concreto.

A formação de película se dá pela passagem da película úmida para a película seca, após a secagem e/ou cura.

Segundo Kränkel (2014) para que esta película de tinta seja satisfatória do ponto de vista de proteção, deve apresentar as seguintes características:

- u) Coesão
- v) Adesão ao substrato
- w) Absorção e transferência de umidade
- x) Resistência química
- y) Resistência a abrasão
- z) Resistência ao intemperismo

Ainda segundo Kränkel (2014) os mecanismos que regem a formação de película, variam conforme a formulação e materiais constituintes das mesmas. São relacionados abaixo os mecanismos de formação de película mais importantes:

- aa) Evaporação do solvente: este mecanismo está presente em quase todos os tipos de tinta de uso industrial. Na evaporação do solvente, contudo, pode haver a formação de bolhas que diminuem o desempenho de proteção por barreira ao permitir uma maior permeabilidade da película. Como exemplos de tintas que formam película por evaporação do solvente temos: acrílicas, vinílicas, borrachas cloradas, asfaltos, betuminosas, estirenoacrilatos e outras,
- bb) Coalescência: ocorre nas tintas monocomponentes hidrossolúveis, emulsionadas em água. Este mecanismo se caracteriza pela ação de um solvente orgânico coalescedor que une as multifases a medida que se dá a evaporação da água. Após a evaporação deste solvente coalescedor se dá a formação de película de uma película sólida e resistente a própria água. Como exemplos de tintas que formam película por este mecanismo temos as tintas com veículos vinílicos de acetato de vinila (latéx PVA) e as acrílicas hidrossolúveis, muito utilizadas na pintura arquitetônica e na pintura industrial,

- cc) Oxidação de óleos: este mecanismo de formação de película ocorre nas tintas base óleo e óleo modificadas. Caracteriza-se pela oxidação dos óleos secativos (óleos vegetais), em contato com o ar formando uma película sólida pela entrada de oxigênio nas moléculas dos óleos. Estas tintas à base óleo ou óleo modificadas apresentam tempos de secagem diferentes, conforme o tipo de óleo utilizado na formulação. Como exemplos de tintas que formam película por este mecanismo temos as tintas alquídicas, fenílicas modificadas com óleos, óleos secativos e as ésteres de epóxi.
- dd) Polimerização: presente nas tintas de alto desempenho, sendo que a película formada apresente alto poder impermeabilizante. Este mecanismo se dá de duas formas:
- Polimerização térmica: caracteriza-se pela formação de película mediante a ação de determinada temperatura, sendo que em temperatura ambiente não se polimerizam. Como exemplo temos as tintas alquídicas-melamínicas e as de silicone puras.
 - Polimerização de condensação: ocorre nas resinas em que se usa um semipolímero como um dos reagentes e um agente de cura, que, ao serem misturados dão início a uma reação química caracterizada pelo componente A+B, em temperatura ambiente. Como exemplos temos as tintas epóxi, poliuretânicas e poliaspárticas.

Sendo assim, a formação de película se dá em todas as tintas e o a proteção por barreira é, de certa forma, inerente a este processo.

Entretanto cada tinta possui características específicas em relação a película formada, como descrito a seguir.

2.3.1. Tinta Látex

Sua película composta por PVA, poliacetato de vinila, é rígida e possui baixo poder de lixiviação, ou seja, tende ao “esfarelamento”, perda ou quebra da estrutura ou composição por ação de H_2O , CO_2 , OH^+ e H^- . Por este motivo a tinta Látex não possui vida longa, necessitando de manutenção constante.

2.3.2. Tinta Acrílica

A película formada pela tinta acrílica pode ser classificada em semi rígida ou flexível. Basicamente dependerá da quantidade de polímero presente na formulação, ou seja, através desta maior ou menor concentração de polímeros, podemos obter duas classes de tintas acrílicas: Standard ou Premium.

A grande característica das tintas acrílicas é a resistência às intempéries e maior durabilidade. A estrutura da película formada garante tal durabilidade em virtude da cadeia polimérica formar uma matriz fechada, não permitindo a penetração de H_2O na superfície que recebeu a aplicação desta; porém torna-se incapaz de propiciar esta mesma resistência às moléculas gasosas tipo CO_2 , O_2 e soluções OH^- e H^+ ; além de possuir características ao reemulcionamento, ou seja, tende a retornar ao estado inicial, “amolecer”, em contato excessivo com H_2O .

2.3.3. Tinta Esmalte

A película formada por esta tinta é mais espessa, pela característica de formulação entre ácido graxo e polióis. Esta característica de ser mais espessa consegue apresentar maior capacidade de formação de barreira, ou seja, consegue ser mais impermeabilizante.

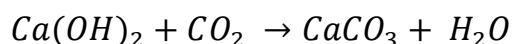
Consegue também apresentar maior capacidade de impermeabilização e portanto, de formação de barreira, protegendo a superfície onde é aplicada, através repulsão de H_2O , propriedade esta caracterizada pela “pesada” cadeia do ácido graxo.

As tintas esmaltes formam películas rígidas e muito duráveis por não perderem em espessura na lixiviação.

2.4. REAÇÕES DE CARBONATAÇÃO

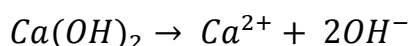
O concreto é atingido por agentes agressivos, que causam ações deletérias no mesmo, causando dissolução da pasta de cimento, no caso de ataque por sulfatos, expansão no caso das reações Álcali-agregados e etringita tardia e corrosão de armaduras no caso do concreto armado, através das reações de carbonatação e ataque por cloretos.

O processo de carbonatação altera o Ph do concreto e causa a despassivação da armadura tornando-se suscetível aos agentes agressivos, ocorrendo entre o hidróxido de cálcio e o gás carbônico, conforme é apresentado a seguir.

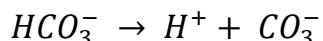
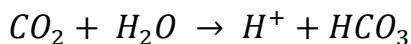


Segundo Kulakowski (2002) apud Papadakis (1991) processo físico-químico que leva à carbonatação do concreto envolve as seguintes etapas.

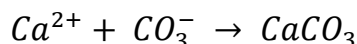
O hidróxido de cálcio, formado nas reações de hidratação do cimento, é dissolvido pela água presente na solução dos poros, conforme equação a seguir.



O gás carbônico penetra no concreto e se transporta por difusão através da fase gasosa do poro da matriz, e se dissolve na solução aquosa, conforme as seguintes equações.



O gás carbônico dissolvido reage com o $Ca(OH)_2$ dissolvido, bem como com os outros produtos carbonatáveis da pasta de cimento, formando os carbonatos, conforme equação a seguir.



Os produtos oriundos da reação do CO_2 , bem como os produtos de hidratação, alteram a estrutura de poros da pasta de cimento. E o vapor d'água presente nos poros condensa e entra em equilíbrio com as condições do ambiente no qual o concreto está exposto.

Este composto apesar de não deteriorar o concreto causa a diminuição do pH através do consumo dos álcalis da pasta de cimento durante sua formação. Normalmente o pH do concreto se encontra entre 12,5 e 14,0 e com a carbonatação estes valores decrescem para a ordem de 8,5 a 9,0.

Esta reação forma uma frente que se dirige para a armadura e desta forma despassiva a armadura permitindo que ela fique exposta aos agentes agressivos, como o CO_2 , no caso, combinados com uma diferença de potencial propiciada pela variação na aeração, umidade e oxigênio, dando início a corrosão e formação dos produtos desta corrosão (óxidos), altamente expansivos. Por isso observamos o deslocamento do concreto, quando a espessura de cobrimento é muito baixa.

A resistência do concreto as reações de carbonatação está intimamente ligada com as suas propriedades nos momentos de preparo, como traço e relação água/cimento, nos momentos de aplicação do concreto, como a sua compactação adequada e pós aplicação, realizando uma cura de forma eficaz.

De acordo com a NBR 6118/2014, que preconiza classes de resistência e espessuras de cobrimento de acordo com as classes de agressividade do ambiente, consegue-se também concretos com qualidade adequada.

Segundo Kulakowski (2002), os principais fatores determinantes para a carbonatação são:

- a) Condição de exposição
- b) Composição química do cimento
- c) Composição do concreto
- d) Execução do concreto
- e) Porosidade

2.5. ENSAIO ACELERADO DE CARBONATAÇÃO

Em se tratando de vida útil de estruturas de concreto armado, a carbonatação do concreto é um fenômeno importante a ser estudado. No Brasil ainda não existe norma que regulamente os ensaios de carbonatação, existindo somente recomendações ou normas locais, as quais ainda são pouco difundidas.

Em condições naturais de exposição (0,03% a 1% de CO_2), o processo de carbonatação pode requer vários anos para apresentar dados passíveis de análise. Segundo Pauletti, et al., (2006) apud Kobuku (1989), concretos com relações água/aglomerante inferiores a 0,50, o tempo demandado para a determinação da velocidade de carbonatação pode levar até 20 anos.

Afim de reduzir esse tempo, algumas pesquisas foram realizadas acelerando esse processo, através da elevação dos teores de CO_2 (de 1% a 100%).

Ainda segundo Pauletti, et al., (2006), essa aceleração do fenômeno de carbonatação, propicia uma resposta rápida e um controle rígido do ambiente de exposição das amostras, aumentando a precisão das medidas a serem tomadas.

Existem câmaras climatizadas onde é possível a realização de ensaios acelerados com o controle das variáveis conforme comentado acima, mas o custo é elevado e somente poucos laboratórios tem potencial para a sua aquisição. (SALOMÃO, et al., 2008)

Os principais fatores a serem levados em consideração a respeito do ensaio acelerado de carbonatação são: concentração de CO₂, temperatura e umidade relativa do ar, tipo, tamanho e forma das amostras e tipos de cura.

Em relação ao tempo de exposição e concentração de CO₂, Kulakowski (2002) apud Isaia (1995) apresenta a tabela a seguir (Tabela 4), onde resume algumas pesquisas, contendo relação água/cimento, período de cura, concentração de CO₂, umidade relativa, temperatura, período de exposição ao CO₂ e profundidade carbonatada.

Tabela 4 – Pesquisas ensaios acelerados de carbonatação – Fonte Kulakowski (2002)

Autores	Ano	a/c	Cura (dias)	CO₂ (%)	U.R. (%)	t (°C)	Tempo Exposição (semanas)	e_c (mm)
Ho, Lewis	1983	0,53	7	4	50	20	8	7,1
Ho, Lewis	1987	0,50	7	4	50	23	1 e 16	2,8 e 11,2
Dhiretal.	1989	0,50	6	4	50	20	20	11,2
Ohga, Nagataki	1989	0,50	7	7	50	40	1,4 e 9	4,9; 9,5 e 13,8
Kobayashi, Uno	1990	0,50	7	10	60	20	2,4, 8 e 16	6,1; 7,7; 10,3 e 12,7
Papadakis et al.	1991	0,50	90	50	65	30	0,1; 0,4; 0,7; 1,4; 2,1 e 2,9	3,0; 5,0; 8,0; 10,0; 12,0 e 15,0
Roper, Baweja	1991	0,49	1	12	50	-	4,3	6,0
Branca et al.	1992	0,50	7	30	75	20	4,3; 8,6 e 17,15	12,5; 19,3 e 25,8
Levy	1992	0,51	2	10	50-70	-	5,14	8,3
Nagataki, Ohga	1992	0,50	7	7	50	40	1; 2; 4; 8 e 20	3,2; 4,1; 5,5; 7,2 e 13,4
Isaia	1994	0,50	7	10	60-70	24-28	4; 8; 12 e 16	7,1; 10; 13,5 e 16,5

2.5.1. Concentração de CO₂, temperatura e umidade relativa do ar.

Elevadas concentrações de CO₂ nem sempre conduzem a maiores profundidades de carbonatação. Estudos indicam que essa propriedade aumenta com o acréscimo do percentual de CO₂ até determinada concentração. Maiores concentrações de CO₂ podem ocasionar mudanças na microestrutura, originando queda no avanço da frente de carbonatação. (PAULETTI, et al., 2006)

Segundo Pauletti, et al., (2006) apud Papadakis (1991), temperaturas entre 20° e 40° praticamente não exercem influências na carbonatação, pois o processo é controlado pela difusão.

E em relação a umidade é sabido que para a ocorrência de carbonatação, deverá ter água nos poros afim de dissolver o CO₂. Pauletti, et al., indica que valores mais utilizados para pesquisas estão entre 50% e 85%.

2.5.2. Tipo, tamanho e forma das amostras

Segundo Kulakowski (2002), as dimensões dos corpos de prova estão geralmente relacionadas com a quantidade de medidas a serem realizadas e com o tempo de medição das profundidades carbonatadas. Corpos de provas muito pequenos podem ocasionar problemas se forem utilizados para estudo em idades avançadas, pois, podem carbonatar completamente antes do término do ensaio.

Geralmente corpos de prova cubicos e cilindricos são utilizados para a medição de uma ou duas idades específicas, já os primas podem ser utilizados para obter um número maior de idades por ensaio.

Afim de minimizar a influência do agregado graúdo na determinação da frente de carbonatação e também reduzir o tamanho das formas, pode ser utilizado argamassa no lugar de concretos, apresentando boas correlações entre os dois tipos de amostras. Porém, se o objetivo é pesquisar a carbonatação de concretos estruturais, o ensaio deve ser realizado em concreto e não em argamassa. (KULAKOWSKI, 2002)

2.5.3. Tipos de cura

A cura interfere na microestrutura do concreto e consequentemente o avanço da frente de carbonatação sofrerão interferências. Tendo em vista que diferentes tipos de materiais demandam tempo diferentes para desenvolver completamente suas reações, esse aspecto merece reflexão na hora de realização dos ensaios.

2.5.4. Indicador de PH

A fenolftaleína é um indicador de pH (potencial hidrogenionico), com a formula, apresenta-se comumente como um sólido em pó branco ou já devidamente preparado em solução alcoólica, já que o mesmo não é solúvel em água, apenas em álcool etílico.

A fenolftaleína é empregada a química como indicador em titulações, para determinar concentrações, já que se conhece seu ponto de viragem (mudança de cor) nos valores de pH (8,2 a 9,8).

A fenolftaleína também fora adotada na construção civil para identificar núcleos despassivados em concretos, servindo como um indicador das áreas em que o concreto está carbonatado.

Isso se dá por que o concreto normalmente apresenta valores de pH próximos a 12, e quando esta carbonatado apresenta valores próximos a 8, portanto, após a aplicação de fenolftaleína na superfície do concreto pode ser observado a mudança de cor de um rosa claro (pH 12) a incolor (pH 8).

O uso como agente de identificação à construção civil fica caracterizado em 1 – 2 gramas por 60ml a 70ml água com 40ml a 30ml álcool etílico, possuindo esta formula menor poder de rápida evaporação, ficando “impregnado” a cor quando identificado a alcalinidade.

Este capítulo apresentou o embasamento teórico para o programa de pesquisa experimental, abordando os tópicos principais e relevantes para este experimento, orientando a modelagem da parte prática em laboratório.

Foram abordados os tópicos de sobre concreto e suas particularidades, tópicos sobre tintas e suas particularidades, tópico sobre reações de carbonatação e o ensaio de carbonatação acelerada

O capítulo seguinte apresenta a metodologia empregada na condução do experimento, mostrando alguns ensaios de verificação durante a moldagem dos corpos de prova.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Conforme o panorama apresentado na revisão bibliográfica do capítulo anterior, o programa experimental será descrito detalhadamente neste capítulo. Resumidamente o programa experimental consistiu em moldagem de corpos de prova, exposição à câmara de carbonatação e medição das profundidades de carbonatação atingidas com o avanço do tempo.

3.1. TRAÇOS

O traço que será analisado no presente trabalho está de acordo com a classe de agressividade ambiental urbana (Tabela 5), ou seja, está inserida na classe de agressividade II, moderada.

Ainda de acordo com a

Tabela 6, NBR 6118/2014, o concreto deve apresentar relação a/c menor igual a 0,6 e classe de resistência maior ou igual a 25MPa.

Tabela 5 – Classes de agressividade ambiental – Fonte NBR 6118:2014

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

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

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

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

Tabela 6 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto – Fonte NBR 6118:2014

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

Sendo assim, os possíveis traços objeto de análise no presente trabalho, constam na tabela abaixo (Tabela 7), seguindo as especificações das tabelas anteriores.

Tabela 7 – Tabela de traços – Fonte Prof. Caldas Branco

TRAÇO EM VOLUME	ALTURA DAS PADIOLAS (*3)			QUANTID. DE PADIOLAS POR			FATOR A/C (*1) (água/cimento)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO		
	AREIA cm	BRITA 1 cm	BRITA 2 cm	TRAÇO DE 1 SACO DE CIMENTO				PROVÁVEL (kgf/cm2) (*2)		
				AREIA	BRITA 1	BRITA 2	litros/saco	3 dias	7 dias	28 dias
1 : 1 : 2	28,7	22,4	22,4	1	1	1	22,0	228	300	400
1 : 1,5 : 3	21,5	33,6	33,6	2	1	1	24,5	188	254	350
1 : 2 : 2,5	28,7	28,1	28,1	2	1	1	27,5	148	208	298
1 : 2 : 3	28,7	33,6	33,6	2	1	1	30,5	117	172	254
1 : 2,5 : 3	23,9	33,6	33,6	3	1	1	32,5	100	150	228
1 : 2 : 4	28,7	22,4	22,4	2	2	2	34,0	90	137	210
1 : 2,5 : 3,5	23,9	19,6	19,6	3	2	2	35,5	80	123	195
1 : 2,5 : 4	23,9	22,4	22,4	3	2	2	36,5	74	114	185
1 : 2,5 : 5	23,9	28,0	28,0	3	2	2	39,5	58	94	157
1 : 3 : 5	28,7	28,0	28,0	3	2	2	44,0	40	70	124
1 : 3 : 6	28,7	33,6	33,6	3	2	2	47,5	30	54	100
1 : 4 : 8	28,7	29,9	29,9	4	3	3	60,0	-	-	-

(*1) Reduzindo-se esse valor ter-se-á menor trabalhabilidade entretanto maior resistência e impermeabilidade ao concreto.

(*2) Valores experimentais retirados da tabela do Professor Caldas Branco para traços de concreto, tomados de curvas baseadas em ensaios de compressão de 72 corpos de prova cilíndricos de 15 x 30 cm, área da base = 177 cm². Moldagem, cura e experimentação conforme a norma.

(*3) Todas as padiolas com "boca" de 35 x 45 cm.

O traço selecionado conforme as tabelas anteriores foi 1 : 1,5 : 3.

A Tabela 7 foi utilizada em virtude de se procurar simular um concreto produzido em obra sem a utilização de adições ou aditivos.

É fato que para a produção do concreto existe a influência de várias condicionantes como variação de cimento e agregados. Desta forma o referido traço foi produzido sem estas observações, com o intuito, conforme exposto, de simular um concreto produzido em obra, sem a utilização das técnicas de controle tecnológico a não ser a observância às proporções informadas na tabela para o traço 1:1,5:3.

3.2. MATERIAIS

Para a elaboração do traço foram utilizados os seguintes materiais abaixo, sempre buscando a simulação com um concreto que seria produzido em obra, sem controle tecnológico de materiais. Lembramos que os materiais foram adquiridos no varejo, em depósito de material de construção.

A areia utilizada foi do tipo grossa e não sofreu nenhum processo de lavagem ou peneiramento.

Foi utilizada pedrisco (brita 00), também sem nenhum tipo de tratamento prévio como lavagem para redução de material pulverulento.

O cimento utilizado nesse trabalho, foi escolhido a fim de representar qualitativamente a situação do mercado de obras de pequeno porte. Portanto, o cimento escolhido foi o Cimento CP II E 32.



Foto 1 – Materiais utilizados – (a) Areia Grossa; (b) Pedrisco; (c) Cimento

A Foto 1 demonstra os materiais utilizados na elaboração do traço, adquiridos no varejo.

3.3. MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS

Foram confeccionados em madeira três conjuntos contendo três moldes prismáticos de dimensões 4,0 cm x 4,0 cm x 16,0 cm e posteriormente preenchidos com o concreto elaborado conforme o traço citado no item 3.1.

Foi aplicado desmoldante base óleo vegetal e após a desforma os corpos de prova foram escovados a fim de retirar qualquer resíduo de desmoldante.

Após uma semana os corpos de prova prismáticos foram extraídos da forma. Dentro deste período foi aplicada cura úmida.



Foto 2 – Formas de madeira para os Corpos de Prova Prismáticos

Como pode ser observado na Foto 2, os moldes de madeira foram executados em conjuntos de três moldes por conjunto.



Foto 3 – Moldagem dos Corpos de Prova Prismáticos

Observa-se na Foto 3 o concreto elaborado conforme traço específico e a preparação para a moldagem dos corpos de prova prismáticos.



Foto 4 – Corpos de Prova moldados Prismáticos

A Foto 4 mostra dos corpos de prova prismáticos logo após a moldagem, nos conjuntos de três moldes executados em madeira.



Foto 5 – Corpo de Prova Prismático moldado

Os corpos de prova foram retirados dos moldes, após quinze dias da moldagem dos mesmos, como pode ser observado na Foto 5.

Foi realizada escovação nas 4 faces para retirada dos resíduos de desmoldante e da moldagem.

3.4. PINTURA DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS

Após a escovação dos corpos de prova prismáticos, os mesmos foram pintados.

A pintura dos corpos de prova prismáticos foi realizada conforme especificações técnicas fornecidas pela empresa fornecedora das tintas e essa etapa pode ser observada na Foto 6 e Foto 7.



Foto 6 – Pintura dos Corpos de Prova Prismáticos – 1ª demão



Foto 7 – Pintura dos Corpos de Prova Prismáticos – 2ª demão

Após quinze dias decorridos da moldagem, os corpos de prova receberam então duas demãos das tintas em análise.

Foram aplicadas tinta látex, tinta acrílica e tinta esmalte, todas na cor branca e de um mesmo fabricante. Além disso as tintas que foram utilizadas foram as do tipo Premium, presentes na linha comercial do fabricante.

Para o ensaio acelerado de carbonatação foram pintados três corpos de prova prismáticos com cada tipo de tinta.

3.5. REALIZAÇÃO DO ENSAIO ACELERADO DE CARBONATAÇÃO

Após moldagem e pintura dos corpos de prova prismáticos, os mesmos foram levados ao laboratório que realizaria o ensaio acelerado de carbonatação.

O ensaio acelerado de carbonatação caracteriza-se como uma simulação, em ambiente controlado de umidade e concentração de CO₂, com o intuito de representar o ataque deste gás combinado ao oxigênio e umidade na estrutura de concreto, representada pelos corpos de prova prismáticos. O referido ensaio simula os efeitos sobre a estrutura projetando-se um extenso período de tempo.

Foram estipuladas 5 diferentes idades (semanas), para a realização das medições das frentes de carbonatação.



Foto 8 – Câmara para ensaio acelerado de carbonatação

O ensaio acelerado em câmara de carbonatação se deu em equipamento (Foto 8) específico com umidade, concentração de CO₂ e O₂ controladas.



Foto 9 – Parâmetros da câmara de carbonatação

A Foto 9 – Parâmetros da câmara de carbonataçãoFoto 9 mostra os parâmetros da câmara de carbonatação durante o ensaio acelerado de carbonatação. Sendo: Temperatura - 23°C; Umidade relativa – 65%; Concentração de CO₂ – 5,0 %



Foto 10 – Corpos de Prova Prismáticos dentro da Câmara para ensaio

Observamos na Foto 10 que os corpos de prova prismáticos foram dispostos na câmara de forma que todos recebessem a mesma concentração dos agentes.

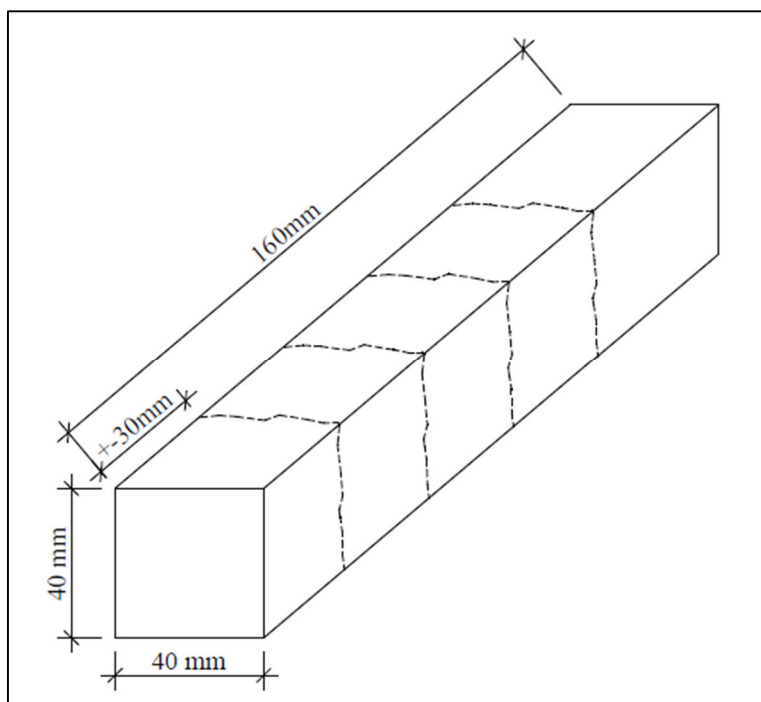


Figura 7 – Esquema de corte dos Corpos de Prova Prismáticos

Na Figura 7 pode-se observar o esquema de corte dos Corpos de Prova Prismáticos em fatias com aproximadamente 3,0 cm de largura, para medição das profundidades de carbonatação.



Foto 11 – Corpos de Prova Prismáticos sendo cortados para o ensaio

A Foto 11 mostra a etapa de corte dos corpos de prova prismáticos em fatias, antes da aplicação da solução de fenolftaleína.

Na Figura 8 pode-se observar um croqui das fatias e de como eram feitas as medições das profundidades de carbonatação, sempre medindo a maior profundidade em cada face da fatia.

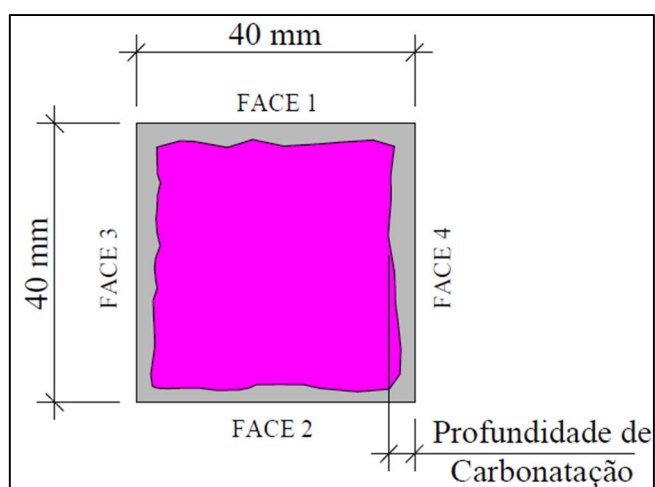


Figura 8 – Esquema de medição nos Corpos de Prova

Não foi considerado necessário a utilização de amostras de referência, tendo em vista que era sabido que os corpos de prova sem pintura apresentariam frentes de carbonatação relativamente altas ou ainda, estariam completamente carbonatados.



Foto 12 – Fatias dos corpos de prova antes da aplicação da solução de Fenolftaleína

A Foto 12 mostra as fatias dos corpos de prova antes da aplicação de solução de fenolftaleína e a Foto 13 mostra as fatias dos corpos de prova durante a aplicação de solução de fenolftaleína, em determinado período de ensaio.



Foto 13 – Fatias dos corpos de prova durante a aplicação da solução de Fenolftaleína

Este capítulo apresentou o programa experimental e procedimento adotados para medição dos resultados obtidos.

Os resultados serão apresentados no capítulo seguinte, que também terá uma breve análise desses dados, com base na pesquisa bibliográfica realizada e delineado no capítulo 2.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos no ensaio acelerado de carbonatação nos corpos de provas, pintados com as tintas Látex, Acrílica e Esmalte.

Como foram moldados 3 corpos de provas prismáticos por cada tipo de tinta, e cada corpo de prova prismático foi fatiado em 5 pedaços (um para cada semana), e foram realizadas 4 leituras de profundidade de carbonatação (uma em cada face) por semana, os resultados serão reunidos e apresentados indicando CP1, CP2 e CP3, para cada tipo de tinta, a fim de facilitar o entendimento

4.1. RESULTADOS TINTA LÁTEX

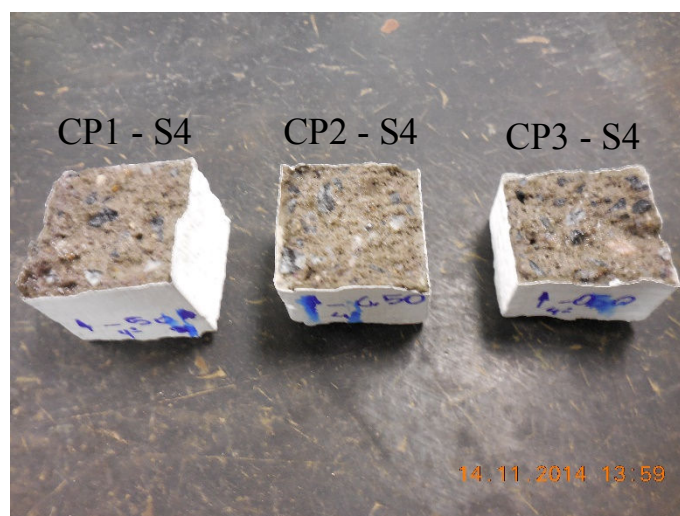


Foto 14 – Fatias dos corpos de prova após aplicação de solução Fenolftaleína – Tinta Látex

Conforme a Foto 14 observa-se que houve alteração da alcalinidade/ph (ph=potencial hidrogeniônico) do concreto, pela ausência de coloração rósea característica após a aplicação da solução de fenolftaleína.

Este comportamento se repetiu nos três corpos de prova, nas cinco semanas de duração do ensaio acelerado de carbonatação.

Tabela 8 – Profundidade de carbonatação – Tinta Látex

LÁTEX												
Profundidade de Carbonatação (mm)												
	CP1				CP2				CP3			
SEMANA	FACE 1	FACE 2	FACE 3	FACE 4	FACE 1	FACE 2	FACE 3	FACE 4	FACE 1	FACE 2	FACE 3	FACE 4
S - 1					20	20	20	20				
S - 2	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
S - 3	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
S - 4	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
S - 5	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Conforme pode-se observar na Tabela 8 o avanço da frente de carbonatação foi total logo na primeira semana, levando a uma conclusão preliminar que a tinta látex não oferece resistência ao avanço desta frente. Com isso não serão levados em consideração os resultados obtidos com a tinta látex.

4.2. RESULTADOS TINTA ACRÍLICA

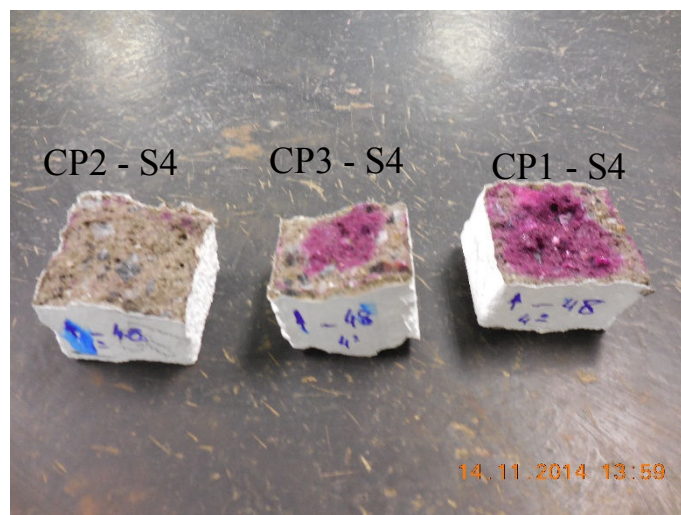


Foto 15 – Fatias dos corpos de prova após aplicação de solução Fenolftaleína – Tinta Acrílica

Conforme depreende-se da Foto 15 houve uma alteração no ph do concreto após a aplicação da solução de fenolftaleína, demonstrando através da

diferença de coloração que se estabeleceu, fazendo-nos concluir pelo avanço moderado da frente de carbonatação, diferente do comportamento apresentado pela tinta látex.

Tabela 9 – Profundidade de Carbonatação – Tinta Acrílica

ACRÍLICA												
SEMANA	Profundidade de Carbonatação (mm)											
	CP1				CP2				CP3			
	FACE 1	FACE 2	FACE 3	FACE 4	FACE 1	FACE 2	FACE 3	FACE 4	FACE 1	FACE 2	FACE 3	FACE 4
S - 1					1,5	1	1	1,5				
S - 2	5	4	4	4,5	3	2,5	1,5	0	9	10	2	0
S - 3	2,5	2,5	1,5	0	4	7	8	8	4	4	2,5	10
S - 4	1,5	0	2	7,5	20	20	20	20	10	12	7	12
S - 5	4	5	2,5	5	20	20	20	20	20	20	20	20

A Tabela 9 traz os resultados obtidos na medição da profundidade da frente de carbonatação dos corpos de prova prismáticos.

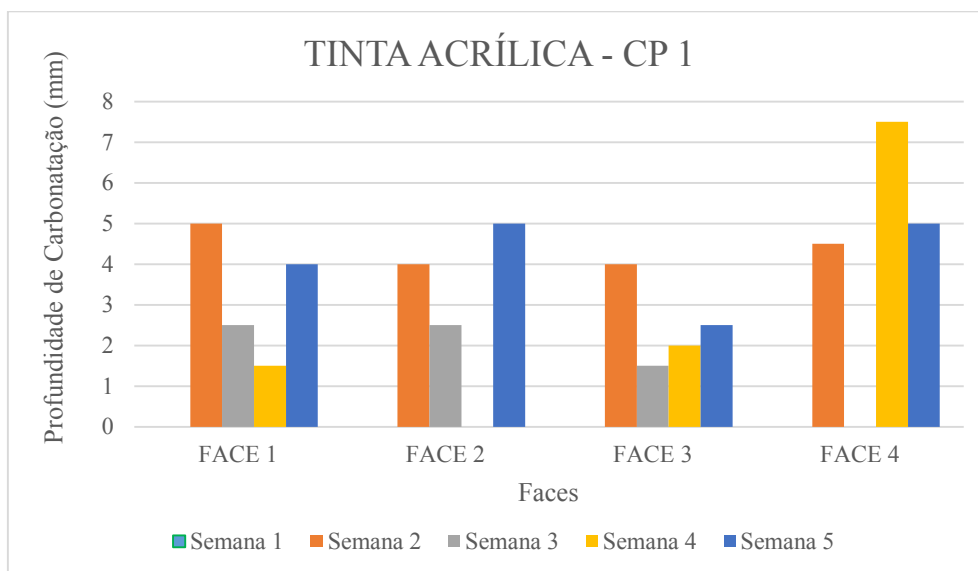


Gráfico 1 - Profundidades de Carbonatação – Tinta Acrílica – CP 1

Já o Gráfico 1, Gráfico 2 e Gráfico 3 mostram as profundidades de carbonatação dos 3 corpos de provas prismáticos no decorrer das 5 semanas de ensaio e ainda pode ser observado que a película formada pela tinta acrílica

promoveu uma certa resistência a este avanço, diferente da tinta látex que não promoveu nenhum grau de proteção.

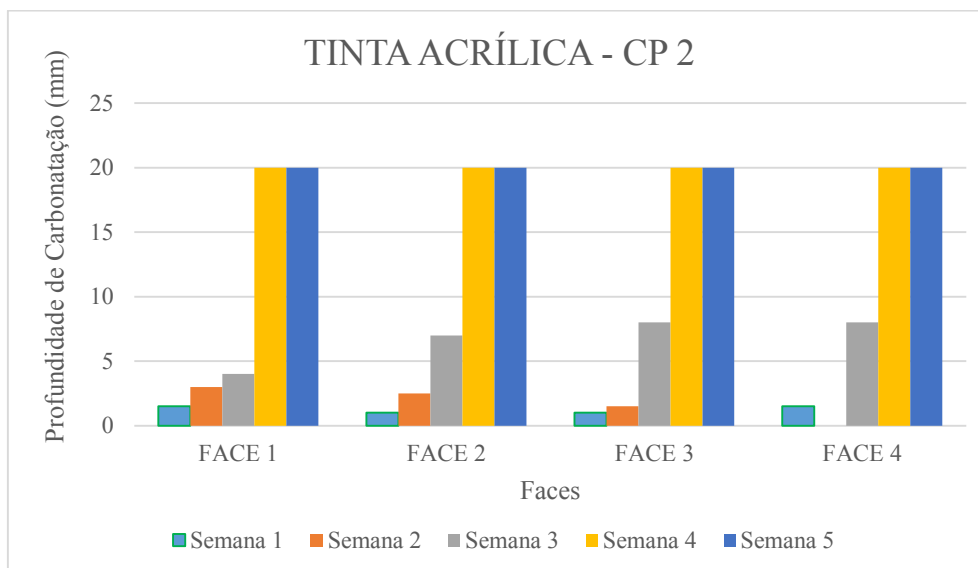


Gráfico 2 - Profundidades de Carbonatação – Tinta Acrílica – CP 2

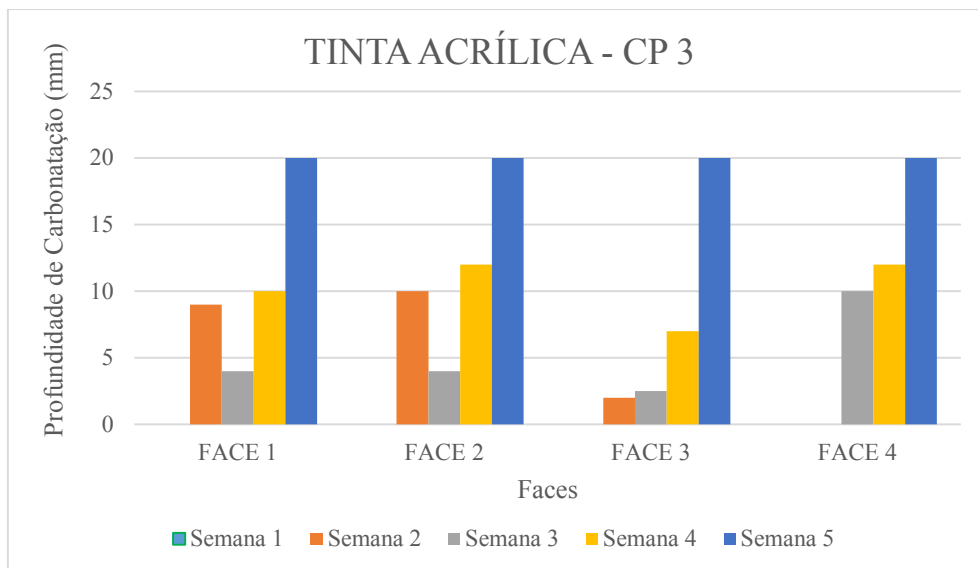


Gráfico 3 - Profundidades de Carbonatação – Tinta Acrílica – CP 3

4.3. RESULTADOS TINTA ESMALTE

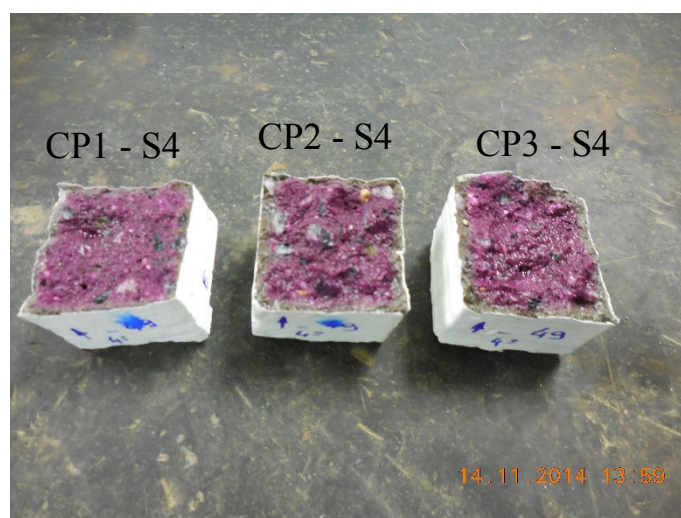


Foto 16 – Fatias dos corpos de prova após aplicação de solução Fenolftaleína – Tinta Esmalte

Conforme observamos na Foto 16, perante a aplicação da solução de fenol, também houve alteração no pH do concreto, conforme observa-se nas bordas dos corpos de prova prismáticos.

Tabela 10 – Profundidade de Carbonatação – Tinta Esmalte

ESMALTE												
SEMANA	Profundidade de Carbonatação (mm)											
	CP1				CP2				CP3			
	FACE 1	FACE 2	FACE 3	FACE 4	FACE 1	FACE 2	FACE 3	FACE 4	FACE 1	FACE 2	FACE 3	FACE 4
S - 1					2,5	2,5	2,5	2,5				
S - 2	3	2	2	1	2,5	2	2,5	0,5	3	2,5	2,5	2,5
S - 3	3,5	1	1,5	1	1,5	2	3	1,5	3,5	1,5	1,5	0,5
S - 4	4	2,5	2,5	1,5	1,5	3	2,5	3	3,5	2,5	2	1,5
S - 5	3	1	1,5	1	1,5	2	2	3,5	2	2	1,5	3

A Tabela 10 traz os resultados obtidos na medição da profundidade da frente de carbonatação dos corpos de prova prismáticos.

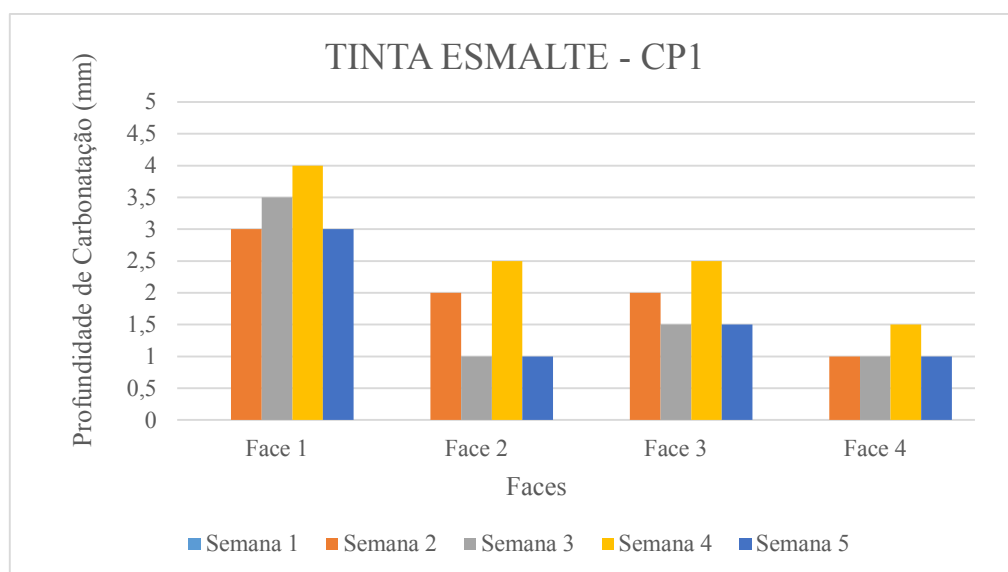


Gráfico 4 - Profundidades de Carbonatação – Tinta Esmalte - CP 1

O Gráfico 4, Gráfico 5 e Gráfico 6 mostram as profundidades de carbonatação dos 3 corpos de provas prismáticos no decorrer das 5 semanas de ensaio.

Podendo ser observado que a película formada pela tinta esmalte permitiu menores profundidades de carbonatação em relação a tinta acrílica. Nota-se que as profundidades foram praticamente constantes em todas as semanas.

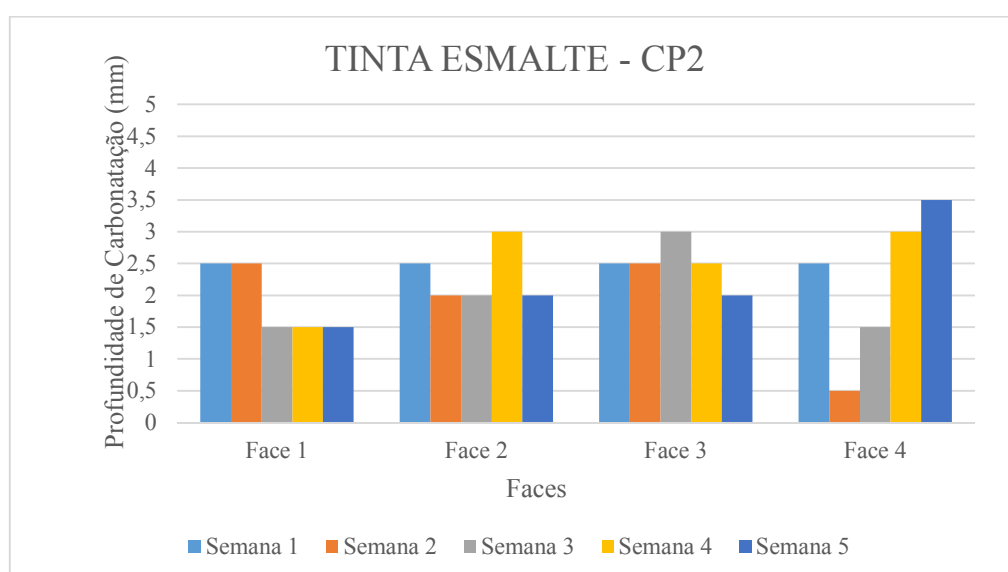


Gráfico 5 - Profundidades de Carbonatação – Tinta Esmalte – CP 2

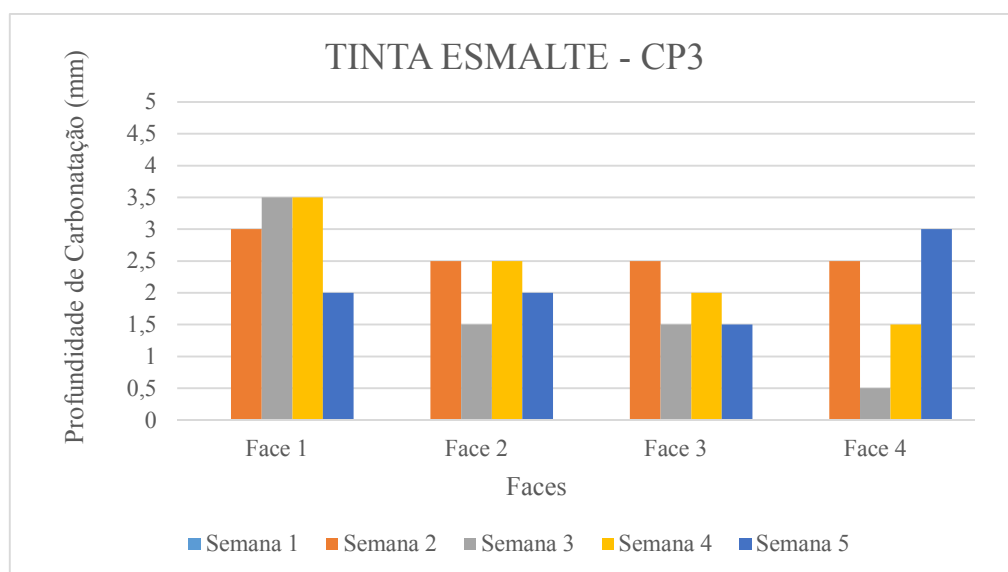


Gráfico 6 - Profundidades de Carbonatação – Tinta Esmalte – CP 3

4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

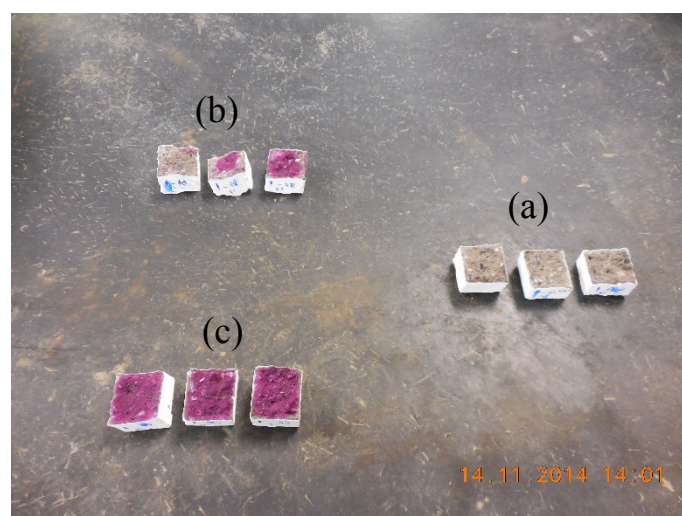


Foto 17 – Fatias dos corpos de prova após aplicação de solução de Fenolftaleína – (a) Tinta Látex; (b) Tinta Acrílica; (c) Tinta Esmalte

A Foto 17 demonstra as diferentes fatias dos corpos de prova prismáticos, após a aplicação de solução de fenolftaleína em determinada idade do ensaio acelerado de carbonatação.

Observamos que pela alteração de coloração, a alteração de ph não foi uniforme, dependendo do tipo de tinta aplicada.

Desta forma podemos notar que as capacidades protetivas não são iguais.

A Tabela 11 mostra as profundidades médias de carbonatação dos 3 corpos de prova prismáticos, no decorrer das 5 semanas.

Tabela 11 – Profundidades de Carbonatação – Médias – Tinta Acrílica

ACRÍLICA				
Semana	Profundidades de Carbonatação - Médias (mm)			
	CP 1	CP 2	CP 3	MÉDIA
S - 1	0	1,25	0	1,25
S - 2	4,25	2	5,5	4,25
S - 3	2	7,5	4	4
S - 4	1,75	20	11	11
S - 5	4,5	20	20	20

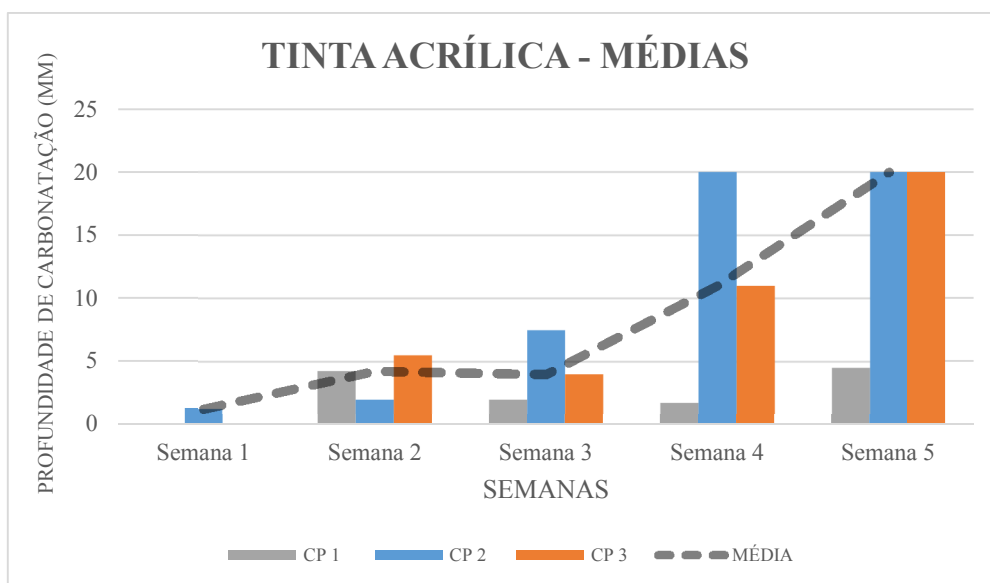


Gráfico 7 – Profundidades Médias de Carbonatação – Tinta Acrílica

Conforme o Gráfico 7, que trata sobre a evolução das profundidades médias das frentes de carbonatação nas diferentes idades do ensaio acelerado, pode-se observar que os corpos de prova prismáticos que receberam a aplicação da tinta látex apresentaram um avanço considerável da frente de carbonatação logo a partir da primeira semana e se mantendo durante todo o ensaio, chegando a se dar de forma total, ou seja, a frente atingiu o eixo do prisma em todas as faces.

Tabela 12 – Profundidades de Carbonatação – Médias – Tinta Esmalte

ESMALTE				
Semana	Profundidades de Carbonatação - Médias (mm)			
	CP 1	CP 2	CP 3	MÉDIA
S - 1	0	2,5	0	2,5
S - 2	2	2,25	2,5	2,25
S - 3	1,25	1,75	1,5	1,5
S - 4	2,5	2,75	2,25	2,5
S - 5	1,25	2	2	2

A Tabela 11 mostra as profundidades médias de carbonatação dos 3 corpos de prova prismáticos, no decorrer das 5 semanas.

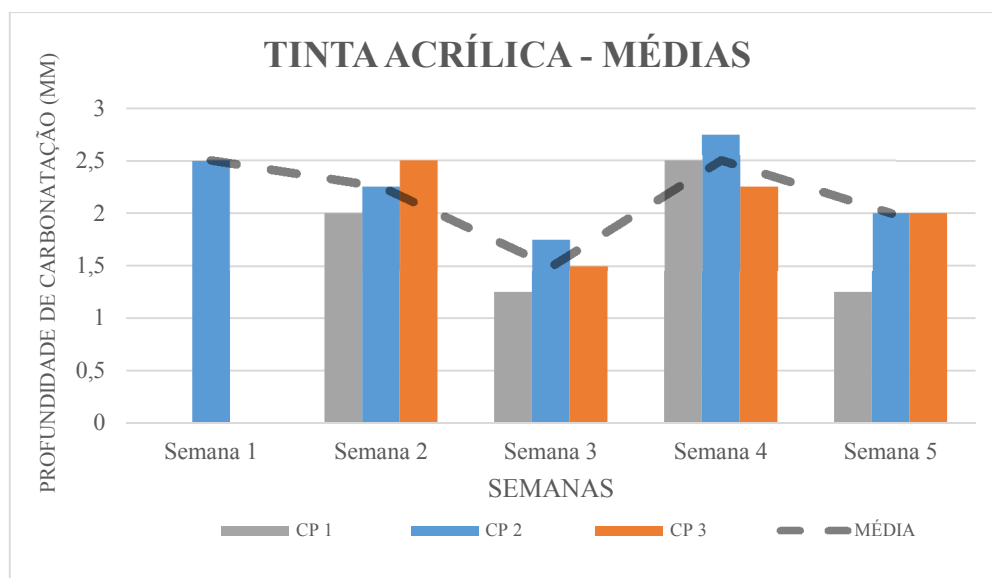


Gráfico 8 – Profundidades Médias de Carbonatação – Tinta Esmalte

Já os corpos de prova prismáticos que receberam a aplicação de tinta esmalte apresentaram um avanço moderado da frente de carbonatação, em relação a tinta acrílica. Desta forma já conseguimos notar que a formação da película promovida pela aplicação deste tipo de tinta oferece uma certa capacidade protetiva por barreira frente aos agentes agressivos presentes na câmara de carbonatação.

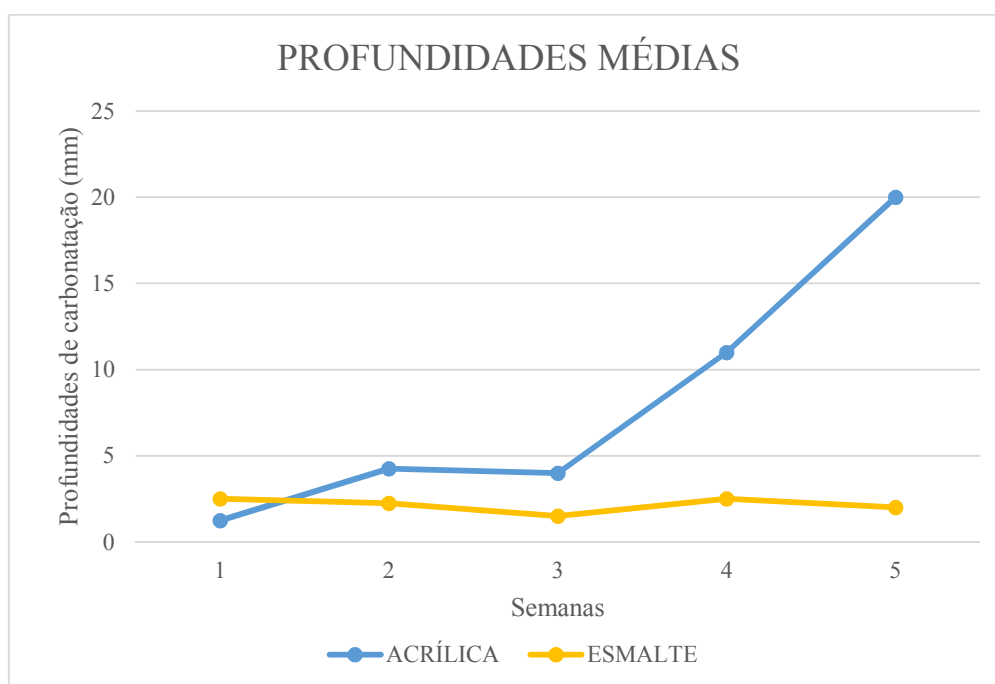


Gráfico 9 - Profundidades Médias de Carbonatação – Acrílica e Esmalte

No Gráfico 9 pode ser observado no Gráfico 9, que trata sobre a evolução das profundidades médias das frentes de carbonatação, das tintas acrílica e esmalte, nas diferentes idades do ensaio acelerado, que as profundidades médias na tinta acrílica foram maiores que na tinta esmalte, chegando a carbonatação total da fatia.

E ainda nota-se a constância e tendência crescente dos valores nas profundidades de carbonatação medidas nos corpos de prova prismáticos que receberam a aplicação de tinta acrílica.

O Gráfico 9 representa também que a película formada pela tinta acrílica apresentou desempenho por barreira protetiva abaixo da película formada pela tinta esmalte, conforme as espessuras medidas nas idades semanais atingindo o limite de cinco semanas de permanência na câmara.

O avanço da frente de carbonatação nos corpos de prova prismáticos que receberam a tinta acrílica apresentou-se de forma constante e crescente apresentando um limite de 20,0 mm ao final de cinco semanas.

Já a frente de carbonatação medida nos corpos de prova prismáticos que receberam a aplicação de tinta esmalte apresentou pequena variação, desde a primeira semana de permanência na câmara de carbonatação.

Conforme o Gráfico 9, podemos observar ainda, que no início do ensaio a tinta esmalte ofereceu menor proteção por barreira em relação a tinta acrílica, invertendo esta tendência logo após decorrida a primeira semana, sendo que no final de cinco semanas a frente de carbonatação medida nos corpos de prova que receberam a tinta esmalte apresentaram uma frente de carbonatação da ordem de 2,0 mm, muito menor que os que receberam a tinta acrílica que foi da ordem de 20,00 mm, ou seja, a totalidade da fatia do corpo de prova prismático.

Este capítulo apresentou os resultados do programa experimental e uma análise dos resultados do mesmo, já no próximo, apresentaremos as considerações finais da pesquisa e algumas sugestões para novas pesquisas que surgiram durante a construção dessa, para orientação aos trabalhos futuros.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados obtidos em ensaio acelerado de carbonatação, serão apresentados neste capítulo as considerações finais e conclusões a respeito do desempenho de três tipos de tintas da linha imobiliária, em relação a capacidade protetiva por barreira da película formada em relação ao avanço da frente de carbonatação promovida pelos agentes responsáveis pelas reações de carbonatação. E também serão apresentadas sugestões para novos estudos na área.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme a proposta de verificar a proteção à carbonatação do concreto com aplicação de tintas imobiliárias, representadas pelas tintas látex, acrílica e esmalte; submetidos posteriormente a ensaio acelerado de carbonatação, foi possível obter os seguintes resultados e tendências de comportamento expostos a seguir.

O ensaio foi realizado durante cinco semanas sendo que durante este período os parâmetros de temperatura, umidade relativa e concentração de dióxido de carbono CO₂ mantiveram-se de forma constante e controlada.

Analisando os resultados obtidos constatamos que:

- i. A tinta látex foi a que forneceu menor ou nenhuma proteção por barreira, apresentando desempenho insatisfatório desde a primeira semana de ensaio.
- ii. A tinta esmalte foi a que apresentou melhor capacidade protetiva por barreira. Mantendo uma profundidade de carbonatação praticamente constante desde a primeira semana.

- iii. A tinta acrílica apresentou nas primeiras semanas profundidades de carbonatação próximas as da tinta esmalte, porém, com o decorrer do ensaio essas profundidades aumentaram.

Desta forma a hipótese inicial foi corroborada pois acreditava-se que a tinta esmalte seria a que melhor ofereceria capacidade de proteção diante do avanço da frente de carbonatação.

Apesar das tintas imobiliárias não serem formuladas especificamente para a proteção contra a frente de carbonatação, podemos constatar que a simples aplicação destas tintas oferece diferentes graus de proteção, em função da formação de película.

É importante então atentar para o fato da necessidade de aplicação de pinturas de proteção e na ausência de produtos específicos a simples aplicação de uma tinta acrílica ou esmalte oferecerão certo grau de proteção por barreira, retardando o avanço da frente de carbonatação.

A simples aplicação destas películas confere as estruturas de concreto um aumento de vida útil de serviço, desde que mantidas dentro do período de manutenção.

São sistemas de baixo custo relativo e que podem ser a solução de muitas estruturas de concreto-

Para que o mesmo possa manter sua alcalinidade e por consequência a capacidade de manter as armaduras imersas em meio alcalino e portanto que confira as mesmas a passividade requerida para que as reações de corrosão sejam mitigadas-

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

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

- i. Realizar ensaios de carbonatação acelerada variando-se apenas a concentração de CO₂ na câmara.
- ii. Realizar ensaios de carbonatação acelerada variando-se apenas a umidade relativa na câmara.
- iii. Realizar ensaios de carbonatação acelerada variando-se apenas a temperatura na câmara.
- iv. Aferição da correlação entre o tempo de ensaio em câmara e no ambiente real.
- v. Aferição da pequena variabilidade da frente de carbonatação em corpos de prova com aplicação de tinta esmalte.
- vi. O ensaio acelerado não é normatizado, portanto, recomendamos que estudos sejam feitos neste sentido.

Este capítulo encerrou a pesquisa mostrando as considerações finais e algumas sugestões para trabalhos futuros nessa área, o próximo capítulo apresentará toda bibliografia consultada para estruturação dessa pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004. *NBR 15156 - Pintura industrial - Terminologia*. s.l. : ABNT, 2004.

—. **2014.** *NBR 6118 - Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado*. Rio de Janeiro : s.n., 2014.

ABRAFATI. <http://www.abrafati.com.br/>. *Site da ABRAFATI*. [Online] Associação Brasileira de Fabricantes de Tinta. [Citado em: 5 de Outubro de 2014.] <http://www.abrafati.com.br/>.

ALMEIDA, Kalline da Silva, et al. 2010. *Carbonatação de Concretos com Diferentes Traços*. s.l. : Anais do 52º Congresso Brasileiro de concreto, 2010.

ANGHINETTI, IZABEL CRISTINA BARBOSA. 2012. *TINTAS, SUAS PROPRIEDADES E APLICAÇÕES IMOBILIÁRIAS*. Belo Horizonte : Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

FAZENDA, J. M. R. 2009. *Tintas: ciência e tecnologia*. 4 ed. São Paulo : Blucher, 2009.

GUIMARÃES, Alberto Casanova Trujillo, ANSCHAU, Katia Regina e LOPES, Renato Encinas. 2010. *Resistência à Carbonatação de Concretos Dosados com Diferentes Tipos de Cimentos*. São Paulo : Instituto IDD, 2010.

ISAIA, G. C. 2011. *Concreto: Ciência e Tecnologia - 1ºv*. São Paulo : IBRACON, 2011.

KRÄNKEL, FÁBIO. 2014. *Pintura Industrial com Tintas Líquidas*. s.l. : WEG Tintas, 2014.

KULAKOWSKI, Marlova Piva. 2002. *Contribuição ao Estudo da Carbonatação em Concretos e Argamassas Compostos com Adição de Silica Ativa*. Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

MOREIRA, Maria de Lourdes Teixeira, et al. 2013. *Variabilidade da Profundidade de Carbonatada com o Tipo de Cimento, o Fator Água/Cimento e o Tipo de Cura*. s.l. : Anais do 55º Congresso Brasileiro de Concreto, 2013.

PAULETTI, C., POSSAN, E. e DAL MOLIN, D. C. C. 2006. *Carbonatação acelerada: estado da arte das pesquisas no Brasil*. Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

POSSAN, Edna. 2010. *Modelagem da Carbonatação e Previsão de Vida Útil de Estruturas de Concreto em Ambiente Urbano*. Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

SALOMÃO, Maria Cláudia de Freitas e SILVA, Turibio José da. 2008. *Ensaio Acelerado de Carbonatação de concreto*. Uberlândia : Universidade Federal de Uberlândia, 2008.