



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS
Campus Palmas

Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios

RANYERE DO NASCIMENTO LOBO
RENATA SANDY FERNANDES VALERIANO

**ANÁLISE DE EFLORESCÊNCIAS EM CONCRETOS COLORIDOS
PRODUZIDOS COM PIGMENTOS INORGÂNICOS E O EFEITO DE
BARREIRA: ESTUDO DE CASO**

Palmas, TO

2014

RANYERE DO NASCIMENTO LOBO
RENATA SANDY FERNANDES VALERIANO

**ANÁLISE DE EFLORESCÊNCIAS EM CONCRETOS COLORIDOS
PRODUZIDOS COM PIGMENTOS INORGÂNICOS E O EFEITO DE
BARREIRA: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do Título de Tecnólogo do Curso
Superior de Tecnologia em Construção de
Edifícios, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins – Campus Palmas.

Orientador: Dr. Moacyr Salles Neto

Co-orientador: Dr. Flávio Roldão de C.
Lelis

Palmas, TO

2014

RANYERE DO NASCIMENTO LOBO
RENATA SANDY FERNANDES VALERIANO

ANÁLISE DE EFLORESCÊNCIAS EM CONCRETOS COLORIDOS
PRODUZIDOS COM PIGMENTOS INORGÂNICOS E O EFEITO DE
BARREIRA: ESTUDO DE CASO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como cumprimento às exigências legais do currículo do Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios pela Coordenação da Área de Construção Civil no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas.

Palmas, 16 de maio de 2014.

Prof. Msc. Adriana A. M. Monteiro
Supervisor do Trabalho de Conclusão de Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Moacyr Salles Neto(Orientador)

Prof. Dr. Flávio Roldão de Carvalho Lelis (Co-Orientador)

Prof. Msc. Adriano dos Guimarães de Carvalho
Membro de Banca Examinadora

RESUMO

Desde a antiguidade o homem tem a necessidade de construir. O concreto foi um dos materiais que revolucionou a arquitetura, devido a sua alta resistência e a facilidade em variar suas formas. Por isso, o concreto vem sendo estudado em seus vários traços, composições e adições.

Com o crescimento do seu uso, o concreto ao longo do tempo veio a apresentar algumas patologias como fissuras, desagregação, lascamento e eflorescência, sendo o surgimento de eflorescência o tema a ser abordado neste estudo.

Tendo em vista poucos estudos relacionados à eflorescência, este trabalho tem por objetivo fazer uma análise quantitativa e qualitativa do surgimento da eflorescência em concreto colorido variando em seu traço a relação água/cimento em 0,50, 0,55 e 0,60 utilizando cimento Portland CP-IV 32 e pigmento inorgânico. Neste experimento serão ensaiados nove corpos de prova com uma membrana acrílica e nove sem, os quais serão submetidos em solução de sulfato de sódio para que se possa averiguar a velocidade do surgimento do fenômeno da eflorescência ao longo de ciclos de molhagem e secagem.

Conclui-se que a velocidade de formação da eflorescência está vinculada com a absorção de água, absorvidade e resistência à compressão, as quais todas as variáveis estão diretamente ligadas ao fator a/c. Constatou-se também que a presença da película de barreira mitigou, mas não impediu a formação de eflorescência. Outro aspecto observado foi a perda de coloração nos corpos de prova sem película comparados com os que foram aplicados à membrana.

Palavras-chave: Concreto Colorido; Pigmentos; Eflorescência.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Eflorescência em blocos intertravados	14
Figura 2: Edificação em concreto colorido.....	15
Figura 3: Condições fixas.	30
Figura 4: Variáveis independentes	32
Figura 5: Variáveis dependentes.	32
Figura 6: Aplicação de adesivo epóxi no corpo de prova para orientar o fluxo da solução	34
Figura 7: Ciclo de exposição dos corpos de prova	34
Figura 8: Granulométrica do agregado miúdo empregado na confecção do concreto colorido.....	37
Figura 9: Granulométrica do agregado graúdo empregado na confecção do concreto colorido.....	39
Figura 10: Absorção de água por imersão (%) dos traços do procedimento experimental.....	40
Figura 11: Absorção de água por capilaridade (g/cm ²) dos corpos de prova	41
Figura 12: Absortividade (mm ³ /mm ² .t ^{1/2}) dos corpos de prova com relação a/c=0,542	
Figura 13: Absortividade (mm ³ /mm ² .t ^{1/2}) dos corpos de prova com relação a/c=0,55	42
Figura 14: Absortividade (mm ³ /mm ² .t ^{1/2}) dos corpos de prova com relação a/c=0,60	43
Figura 15: Determinação da resistência à compressão.....	44
Figura 16: Velocidade de formação da eflorescência (média) dos corpos de prova sem barreira	45
Figura 17: Velocidade de formação da eflorescência (média) dos corpos de prova com barreira	45

Figura 18: Velocidade de formação da eflorescência (média) dos corpos de prova: traço 1 - sem/com barreira	46
Figura 19: Velocidade de formação da eflorescência (média) dos corpos de prova: traço 2 -sem/com barreira	47
Figura 20: Velocidade de formação da eflorescência (média) dos corpos de prova: traço 3 - sem/com barreira	47
Figura 21: Média e desvio padrão da velocidade de formação da eflorescência dos corpos de prova sem/com barreira.....	48
Figura 22: Correlação da velocidade de formação da eflorescência e absorção de água (média)	49
Figura 23: Correlação da velocidade média de formação da eflorescência e absorvidade	49
Figura 24: Correlação da velocidade média de formação da eflorescência e a resistência média à compressão	50
Figura 25: Coloração dos corpos de prova das séries SB e CB.....	51
Figura 26: Redução da velocidade de formação de eflorescências pela adoção da película de barreira.....	51
Figura 27: Absorção de água por capilaridade (média) – traços T1,T2 e T3.....	59
Figura 28: Velocidade de formação da eflorescência (%/ciclo) da série SBT1.....	60
Figura 29: Velocidade de formação da eflorescência (%/ciclo) da série SBT2.....	61
Figura 30: Velocidade de formação da eflorescência (%/ciclo) da série SBT3	61
Figura 31: Velocidade média de formação da eflorescência (%/ciclo) da série SB..	62
Figura 32: Velocidade de formação da eflorescência (%/ciclo) da série CBT1	63
Figura 33: Velocidade de formação da eflorescência (%/ciclo) da série CBT2	64
Figura 34: Velocidade de formação da eflorescência (%/ciclo) da série CBT3	64
Figura 35: Velocidade média de formação da eflorescência (%/ciclo) da série CB..	65
Figura 36: Absorção de água ao longo do tempo	68

LISTA DE ABREVIações

ABNT– Associação Brasileira de Normas Técnicas

CP – Corpo de prova

SB – Sem barreira

CB – Com barreira

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de cimento Portland em função das adições composição (% massa).	17
Tabela 2: Características dos pigmentos orgânicos e inorgânicos.	21
Tabela 3: Locais de formação, origens e reparos indicados para as eflorescências	26
Tabela 4: Natureza química das eflorescências	27
Tabela 5: Determinação dos traços	33
Tabela 6: Relação dos corpos de prova	35
Tabela 7: Características do agregado miúdo	36
Tabela 8: Composição granulométrica do agregado miúdo	37
Tabela 9: Características do agregado graúdo	38
Tabela 10: Composição granulométrica do agregado graúdo	38
Tabela 11: Absorção de água por imersão	39
Tabela 12: Caracterização dos concretos coloridos empregados – estado endurecido	43
Tabela 13: Absorção de água por capilaridade – resultados individuais	59
Tabela 14: Absorção de água por capilaridade – médias dos CP's	59
Tabela 15: Ciclos de exposição – área eflorescida (sem película de barreira, SB)	60
Tabela 16: Média das áreas eflorescidas (sem película de barreira, SB)	62
Tabela 17: Ciclos de exposição – área eflorescida (com película de barreira, CB)	63
Tabela 18: Média das áreas eflorescidas (com película de barreira, CB)	65
Tabela 19: Resultados da resistência à compressão dos corpos de prova	66
Tabela 20: Resultados da massa seca e saturada das amostras	67
Tabela 21: Índice de absorção de água	67
Tabela 22: Teor de umidade dos corpos de prova ao longo do tempo (%)	67

Tabela 23: Teor de umidade dos corpos de prova ao longo do tempo – média por relação a/c (%)	68
---	----

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	12
2. PROBLEMA.....	13
3.OBJETIVOS	13
3.1.OBJETIVO GERAL	13
3.2.OBJETIVO ESPECÍFICO	13
4.JUSTIFICATIVA	14
5.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
5.1.CONCRETO	16
5.2.CIMENTO	16
5.3.CONCRETO COLORIDO	18
5.3.1Agregados.....	18
5.3.2.Água de Amassamento	19
5.3.3.Pigmentos	20
5.3.4Mistura e lançamento	21
5.3.5Cura e proteção superficial	22
5.4FLORESCÊNCIAS	22
5.4.1Subflorescências ou Criptoflorescências.....	23
5.4.2Eflorescência.....	25
5.4.3Natureza Química das Florescências.....	26
5.4.4 Processo de Cristalização do Sulfato de Sódio.....	27
6. METODOLOGIA	29

6.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	29
6.2 ETAPAS DE PESQUISA	29
6.3 VARIÁVEIS DO TRABALHO	30
6.3.1. Condições Fixas	30
6.3.1.1. Sal	31
6.3.1.2. Pigmento e membrana acrílica	31
6.3.1.3. Cimento e agregados	31
6.3.2. Variáveis Dependente e Independente	32
6.3.3. Dosagem	33
6.3.4. Ciclos de Exposição	33
7. RESULTADOS E DISCURSÕES	36
7.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E AGREGADOS	36
7.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA	39
7.2.1 Absorção de água por imersão	39
7.2.2 Absorção de água por capilaridade	40
7.2.3 Absortividade	41
7.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	43
7.4 VELOCIDADE DO SURGIMENTO DA EFLORESCÊNCIA	44
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
8.1 CONCLUSÃO	52
8.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
APÊNDICE A - Composição granulométrica do agregado miúdo	57
APÊNDICE B - Composição granulométrica do agregado graúdo	58
APÊNDICE C - Ensaio de caracterização do concreto – absorção de água por capilaridade	59

APÊNDICE D - Evolução do surgimento da eflorescência ao longo dos ciclos de exposição	60
APÊNDICE E – Relatório de ensaio de resistência à compressão	66
APÊNDICE F – Relatório de ensaio de absorção de água por imersão.....	67

1. INTRODUÇÃO

No Brasil a adição de pigmentos na formulação do concreto colorido ainda é bem restrita aos pavimentos de blocos intertravados e pisos contínuos de concreto. O seu uso tem ganhado espaço no mercado com elementos estruturais aparentes e pré-moldados de fachada, por facilitar uma melhor estética à estrutura sem necessitar de aplicação de revestimento.

Contudo, há uma busca não só por suas formas arquitetônicas como também por seu comportamento mecânico e sua durabilidade, na qual sua cor é diretamente influenciada pelo traço escolhido. Os concretos mais porosos tendem a carrear para a superfície alguns compostos solúveis do cimento, alterando sua tonalidade devido à formação de eflorescências. Este fenômeno é menos observado quando se utiliza um cimento cinza. O excesso de água na mistura, além de provocar eflorescência, ainda deixa o concreto colorido mais claro do que com relação água/cimento baixos, logo, na dosagem deve ser mantida a mesma relação água/cimento para garantir uniformidade de cores, refere-se Corsini (2011 apud SOUSA, 2012).

De acordo com Granata (2005 apud SILVA, 2011, p.11):

Quimicamente a eflorescência é constituída principalmente de sais de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-ferrosos (cálcio e magnésio, solúveis ou parcialmente solúveis em água). Pela ação da água da chuva ou do solo, estes sais são dissolvidos e migram para superfície e a evaporação da água resulta na formação de depósitos salinos.

Com isto, este trabalho realizará um estudo da eflorescência em concreto colorido, modificando a formulação do concreto (traço) e vendo como a relação a/c pode interferir nas características do material quanto à patologia do tipo eflorescência, estando o concreto submetido a variados ciclos de molhagem e secagem. A superfície de alguns corpos de prova produzidos será envolvida por uma resina acrílica disponível no mercado, objetivando evitar a perda de cor e patologias como eflorescência.

2. PROBLEMA

Concreto pigmentado tem características estéticas e funcionais bem relevantes por minimizar o uso de revestimentos e pinturas. O problema da utilização deste material é o frequente surgimento de eflorescências, as quais afetam diretamente a superfície do concreto colorido comprometendo sua aparência, além do esperado envelhecimento natural ao longo da vida útil.

3. OBJETIVOS

3.1.OBJETIVO GERAL

Contribuir para a análise do mecanismo de formação de eflorescências em concretos coloridos, e a influência do efeito de barreira na dinâmica do processo.

3.2.OBJETIVO ESPECÍFICO

- Determinar a influência da relação água/cimento na incidência e na velocidade de formação de eflorescências em concretos coloridos.
- Determinar a efetividade de membranas de emulsão acrílica como meio de prevenção de eflorescências em concretos coloridos, conforme a relação água/cimento empregada.
- Determinar a relação da resistência à compressão e absorção de água com o mecanismo de formação de eflorescência.

4. JUSTIFICATIVA

Desde a antiguidade o concreto vem desempenhando funções fundamentais na indústria da construção, devido as suas inúmeras possibilidades de utilizações. As quais, uma delas é a utilização de concretos aparentes com a adição de pigmentos, processo este que tem sido cada dia mais difundido entre os arquitetos e engenheiros, a fim de evitar revestimentos.

Pôde-se observar que o excesso de água na mistura do concreto colorido acarretará num concreto mais poroso possibilitando o carreamento de soluções salinas até a superfície originando a eflorescência, consequentemente o aumento do custo de manutenção.

No entanto, para que este processo não se torne oneroso e atenda as normas vigentes, o concreto deve resistir à exposição, à umidade e os agentes químicos em condições normais de uso sem apresentar alterações em suas propriedades. O sistema também não pode apresentar sensibilidade excessiva às condições de serviços previsíveis, alterando suas características funcionais ou estéticas além do esperado, em função do seu envelhecimento natural ao longo da vida útil, cita (ABNT, 2013).

Ressalta-se, que devido ao reduzido número de pesquisas relacionadas à dinâmica da manifestação patológica e a efetividade das películas de barreira na mitigação do problema de eflorescência no concreto colorido, influi diretamente na utilização do mesmo no mercado. Exemplificado na Figura 1, onde pode ser notado o caso de eflorescência em blocos intertravados.



Figura 1: Eflorescência em blocos intertravados

Fonte: <http://prantomix.blogspot.com.br/>. Acesso em 27 jan. 2014

A eflorescência é uma manifestação patológica que afeta diretamente a estética do concreto colorido modificando a sua cor com o surgimento de manchas esbranquiçadas na sua superfície.

Na Figura 2 ilustra-se o caso de eflorescência em edificação residencial.



Figura 2: Edificação em concreto colorido

Fonte: <http://casa.abril.com.br/materia/paredes-de-concreto-taipas>. Acesso em 27 jan. 2014

O concreto colorido está cada vez mais sendo utilizado em obras. No entanto, a ausência de aplicação de uma barreira, facilita a entrada de soluto dissolvendo os compostos solúveis do concreto endurecido e posterior cristalização dos sais, comprometendo a sua tonalidade.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. CONCRETO

Na concepção de Mehta e Monteiro (2008), concreto é um material composto por aglomerante comumente formado por cimento hidráulico, água e elemento de reforço (agregados como brita e areia), podendo conter ainda aditivos, fibras, pigmentos e adições em benefício de propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade.

Além do concreto convencional de cimento Portland, diversos tipos de concreto vêm sendo desenvolvidos para atender demandas específicas relativas ao meio ambiente ao qual estará sujeito, ao tempo de execução, à configuração arquitetônica projetada, aos requisitos de durabilidade e os de sustentabilidade. Esses concretos diferem entre si a partir de alterações no traço, dos componentes utilizados das adições (de sílica ativa de metacaulim, de pozolana, de cinzas volantes, de escórias), aditivos (superplastificantes, plastificantes, redutores de água, retardadores, aceleradores, inibidores de corrosão), métodos, processos e equipamentos utilizados na produção, cita Ribeiro (2010).

5.2. CIMENTO

Segundo a ABNT (2006b) cimento Portland é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante essa operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a essa mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores indicados nas normas específicas.

Os cimentos se diferenciam quanto às suas propriedades, não só pela composição química do clínquer, mas também por algumas adições tais como escória de alto-forno, pozolana, materiais carbonáticos e outras, que também vão definir determinadas características a serem consideradas quanto ao seu emprego, argumenta Ribeiro e Pinto (2002).

Os principais tipos de cimentos Portland normalizados pela ABNT, de acordo com Ribeiro e Pinto (2002), são os chamados:

- Cimento Portland Comum – CP I;
- Cimento Portland Composto – CP II (com adição de escória de alto-forno, pozolana e fíler);
- Cimento Portland de Alto-Forno – CP III (com adição de escória de alto-forno, apresentando baixo calor de hidratação);
- Cimento Portland Pozolânico – CP IV (com adição de pozolana, apresentando baixo calor de hidratação);
- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – CP V (com maiores proporções de silicato tricálcico – C_3S , que lhe confere alta resistência inicial e alto calor de hidratação).

A seguir apresenta-se na Tabela 1 a classe dos cimentos e a quantidade das suas adições.

Tabela 1: Tipos de cimento Portland em função das adições composição (% massa)

Sigla	Classe	Clínquer + Sulfato de Cálcio	Escória Granulada	Material Pozolânico	Material Carbonático
CP I	25, 32 e 40	100	0	0	0
CP I S	25, 32 e 40	99 a 95	1 a 5		
CP II-E	25, 32 e 40	94 a 56	6-34	0	0 a 10
CP II-Z	25, 32 e 40	94 a 76	0	6 a 14	0 a 10
CP II-F	25, 32 e 40	94 a 90	0	0	6 a 10
CP III	25, 32 e 40	65 a 25	35 a 70	0	0 a 5
CP IV	25 e 32	85 a 45	0	15 a 50	0 a 5
CP V		100 a 95	0	0	0 a 5

Fonte: UFBA – ESCOLA POLITÉCNICA – DCTM, Cimento Portland, unidade II

Devido aos vários tipos de cimentos existentes no mercado da construção civil, pode-se observar que cada cimento tem uma finalidade específica, por ter um comportamento que influi na resistência mecânica, durabilidade e na cor do concreto aparente, Ribeiro (2010).

5.3. CONCRETO COLORIDO

O concreto colorido agrega valor estético à construção, no Brasil este tipo de concreto é utilizado com mais frequência em elementos decorativos, revestimentos, pisos intertravados, sendo pouco utilizado em concreto estrutural, comenta Ribeiro (2010).

Na sua fabricação, o concreto colorido, pode ser feito com cimento branco ou cinza. Entretanto, para que se obtenha um concreto com uma cor uniforme e durável, na sua execução devem ser observados alguns fatores como a dosagem, a seleção de matérias-primas, o armazenamento do pigmento, a produção, o adensamento e a cura, cita Ribeiro (2010).

Segundo Watanabe (2008), essa técnica pode ser utilizada tanto em pavimentos quanto em elementos estruturais aparentes, por dispensar aplicação de revestimentos, o que pode significar economia, agilidade e menor exigência de manutenção. No entanto, embora apresente resistência e desempenho semelhantes ao concreto cinza, a utilização de concreto colorido exige maior controle tecnológico e alguns cuidados especiais, sobretudo durante a produção do concreto e a execução da estrutura.

Devido a esses cuidados muitos elementos estruturais ou de revestimento são produzidos já coloridos, entretanto, os mesmos podem ser feitos em obras com a adição de pigmentos na mistura do material seco (areia, brita, cimento), na porcentagem desejada, pois o processo de formulação da massa de concreto colorido é similar ao do concreto normal. Portanto, é possível obter qualquer cor desejada visto que a fabricação e a intensidade das cores podem ser controladas, comenta Watanabe (2008).

5.3.1 Agregados

Os agregados ocupam, normalmente, 80% do volume do concreto, dessa forma é natural que os mesmos influenciem diretamente no seu comportamento. Sendo assim, suas características são de extrema importância para a tecnologia do concreto como, por exemplo, a porosidade, a absorção de água, a resistência à

compressão, o módulo de elasticidade, a composição granulométrica, a forma e a textura superficial das partículas e os tipos de substâncias insalubres eventualmente presentes, Mehta e Monteiro (1994 apud PIOVESAN, 2009).

Assim como se abordam de concreto cromático, a cor do agregado se torna também um parâmetro de controle. Agregados de cores claras são os preferidos para fabricação do concreto colorido. Contudo, na produção de concreto colorido são inúmeros os agregados que podem ser utilizados, incluindo os calcários, os basaltos, mármore, granitos, entre outros. Portanto a escolha do agregado dependerá dos efeitos estéticos pretendidos, conforme cita Piovesan (2009).

5.3.2. Água de Amassamento

Segundo Fusco (2008), a água destinada ao amassamento de concreto deve ser isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas, sendo que no caso de águas não potáveis é necessário controlar o conteúdo de matéria orgânica, os resíduos sólidos existentes, bem como os teores de sulfatos (expressos em íons SO_4) e de cloretos (expressos em íons CL^-). É preciso notar que os agentes agressivos contidos na água de amassamento, quando mantidos abaixo de certos limites, tem ação muito menos prejudicial do que a mesma água agindo sobre o concreto endurecido. De fato, a maioria dos agentes agressivos contidos na água de amassamento é neutralizada pelas próprias reações de hidratação do cimento e, com isso, termina seu efeito destruidor.

Portanto os maiores defeitos provenientes da água de amassamento tem maior relação com o excesso de água empregada, que propriamente com os elementos que ela possa conter. Uma grande variabilidade no teor de água gera grandes dispersões na resistência e na coloração do concreto, cita Silva (1995).

5.3.3. Pigmentos

O pigmento ideal para a confecção do concreto colorido tem que ser insolúvel em água ou qualquer solvente. Sendo os inorgânicos os mais recomendados por apresentar menor quantidade de material fino, ocasionando assim uma maior durabilidade. Entretanto, também podem ser utilizados pigmentos orgânicos, mas neste caso, podem apresentar desempenho inferior, Watanabe (2008).

Os requisitos necessários para uso de pigmento em concreto e argamassa, segundo Coelho (2011apud PIOVESAN, 2009):

- Ser inerte com os demais componentes do concreto e argamassa;
- Assegurar e manter a sua cor original;
- Apresentar boa resistência á ação da luz e das intempéries;
- Apresentar pH estável;
- Ser insolúvel em água;
- Misturar-se facilmente com o cimento e os finos do concreto e argamassa.

Os pigmentos inorgânicos de óxido de ferro são os mais empregados por apresentar propriedades indispensáveis para o uso em concreto como, por exemplo, sua durabilidade, cita Ribeiro (2010).

Os pigmentos orgânicos, embora, sua estabilidade química seja similar à do produto sintético, a maioria dos pigmentos naturais apresentam pouco óxido solúvel e baixo poder de tingimento, o que implica em um maior consumo de material, consequentemente comprometendo a resistência do concreto e resultando em patologias pela presença de impurezas, ressalta Ribeiro (2010). Os pigmentos de óxidos com teor superior a 10% do peso do cimento em um concreto podem ser nocivos para sua durabilidade e resistência, mas aumentam as incidências de patologias decorrentes de sais inapropriados e contaminantes, conforme Watanabe (2008).

Coelho (2001 apud PIOVESAN, 2009), explica que na produção dos concretos coloridos se adiciona pigmentos em quantidades crescentes, observa-se que a intensidade da cor aumenta inicialmente de forma unidimensional até um ponto, onde a partir daí o aumento da tonalidade é praticamente nulo. A utilização de pigmentos com grande poder de pigmentação é muito importante, pois assim é

possível chegar a uma tonalidade desejada com uma quantidade mínima do mesmo, com isso, também se pode evitar problemas na produção dos concretos devido à grande quantidade de finos na mistura.

De uma forma geral, as principais diferenças entre os pigmentos orgânicos e inorgânicos, quanto às suas aplicações são:

Tabela 2: Características dos pigmentos orgânicos e inorgânicos

Característica	Pigmentos Inorgânicos	Pigmentos Orgânicos
Estabilidade Térmica	Alta	Baixa
Dispersabilidade	Boa	Ruim
Estabilidade às intempéries	Boa	Ruim
Poder de cobertura	Alto	Baixo
Força colorística	Baixa	Alto
Migração / eflorescência	Não ocorre	Possível

Fonte: Rojas (2001 apud PIOVESAN, 2009)

O concreto colorido e o convencional são idênticos. Com isso, o pigmento adicionado no concreto é classificado como material fino (fíler), no qual o concreto produzido com pigmentos com alto poder de pigmentação terá uma menor quantidade de finos fazendo com que suas propriedades praticamente não sejam alteradas. Contudo, eles podem ser divididos em pigmentos em pó e em dispersões aquosas, ou seja, os pigmentos líquidos tem como vantagem uma maior uniformidade na cor, além da facilidade de manuseio e medição. Porém, há possibilidade do pigmento se precipitar no fundo, se o produto não for agitado durante um tempo prolongado. Observa-se também que a finura de cada pigmento exerce influência sobre a resistência, secagem, retração e a durabilidade dos compósitos de cimento, argumenta Piovesan (2009).

5.3.4 Mistura e lançamento

No processo de mistura os traços dos concretos coloridos apresentam grande sensibilidade, pois são fabricados com baixa relação a/c e apresentam uma abundância de frações de finas, Piovesan (2009).

Segundo Helena e Galante (1991 apud PIOVESAN, 2009), concretos coloridos porosos tendem a apresentar maior índice de eflorescência. Onde a mesma altera significativamente o aspecto superficial do concreto aparente, sendo esta a principal queixa dos clientes.

5.3.5 Cura e proteção superficial

A cura é uma das fases mais importantes do processo de fabricação do concreto colorido. O método a ser escolhido precisa de muita cautela, pois deve ser feito sobre superfícies planas. Para que isso seja possível, o concreto colorido geralmente deve ser curado com um produto recomendado pelo fabricante do pigmento, o qual normalmente é formado por compósitos especiais que são formulados exclusivamente para esse emprego, relata Piovesan (2009).

Uma grande vantagem do concreto pigmentado está no seu baixo custo de manutenção, o qual se resume quase sempre com jato intenso de água, geralmente com o auxílio de solução de limpeza. No entanto, é necessária uma proteção superficial à base de hidrófugos de superfície, garantindo uma durabilidade e boa aparência.

Para o concreto colorido julga obrigatória a utilização de um sistema de proteção. Ainda pode-se notar que o tipo de proteção a ser aplicado é aquela que menos altera o brilho e a textura natural do concreto, informa Passuelo (2004 apud PIOVESAN, 2009).

5.4 FLORESCÊNCIAS

Florescências consistem em armazenamento de cristais que se formam na superfície, denominado de eflorescências, ou no interior, designado de subflorescências, o qual também pode ser chamado de criptoflorescências pela ação de agentes mobilizadores, mediante estímulos de fatores externos, como infiltrações. Este conceito deve ser ampliado, abordado não apenas no concreto, mas também nos demais substratos porosos (argamassa, cerâmicas, madeira, etc.), segundo Verduch e Solana (2000 apud SALLES NETO, 2010).

Os íons então solubilizados permanecem dispersos na água até o ponto onde este solvente não consegue mais sustentar a uniformidade, devido à sua evaporação. A evaporação aumenta a pressão osmótica, fazendo com que os íons sejam precipitados na solução, quase sempre na forma de cristais, que tendem a crescer com a ação contínua deste fenômeno. Com isso, a quantidade de sais depositados sob a superfície está em função da concentração da solução salina, bem como do número de ciclos de molhagem-secagem, os quais a estrutura pode ser submetida. Pois, quanto maior a concentração de números de ciclos maior será a quantidade de sais armazenado na peça, cita Salles Neto (2010).

Uma combinação de três fatores é necessária para a formação da fluorescência, (ASTM INTERNATIONAL C270, 2003 apud SALLES NETO, 2010):

- Fonte de sais solúveis;
- A presença de umidade para atingir estes sais e trazê-los para a superfície;
- A evaporação ou pressão hidrostática.

No entanto, se quaisquer destas condições forem eliminadas, a fluorescência não ocorrerá.

As fluorescências podem ser divididas em dois grupos principais: subflorescências, também conhecidas como criptoflorescências e eflorescências.

Subflorescências ou criptoflorescências são fluorescências não visíveis, ocasionadas quando os depósitos cristalinos são formados sob a superfície da peça, nos poros e na rede capilar, podendo ocasionar consideráveis danos à durabilidade do sistema pelas forças de expansão criadas, já as eflorescências são as fluorescências visíveis, ocasionadas quando há a cristalização na superfície dos elementos. Esta formação salina acarreta na degradação estética do produto e na salubridade do edifício, mas não produz esforços mecânicos relevantes, causando degradação micro estrutural apenas nas zonas próximas à superfície, cita Salles Neto (2010).

5.4.1 Subflorescências ou Criptoflorescências

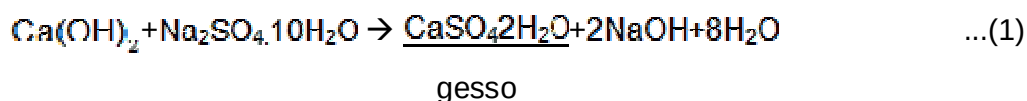
De forma geral todos os tipos de concreto, argamassa e blocos cerâmicos quando secos contêm, em seu interior, sais cristalizados normalmente solúveis,

ainda que em baixas concentrações. A existência destes sais poderia levar à conclusão errônea de que estes materiais possuem criptoflorescências. A criptoflorescência, entretanto, deve ser reservado para caracterizar um contexto patológico dos sistemas envolvidos, quando se confere a abundância de sais, geralmente carregados de fontes externas, podendo estes sais serem capazes de apresentar mudanças de volume do material, desempenhar esforços direcionais durante sua cristalização ou concentrar-se em locais determinados dos materiais, ocasionando fissuras no concreto possibilitando a entrada de agentes de deterioração. (VERDUCH e SOLANA, 1999 apud SALLES NETO, 2010).

Caso tivessem espaços suficientes para os cristais crescerem, nenhum dano à estrutura aconteceria. Entretanto, quando os cristais crescem em espaços pequenos, como os poros, onde ficam limitados, pressões elevadas são desenvolvidas nas paredes deste espaço físico, já que as forças moleculares que acompanham o crescimento cristalino são consideráveis (ANDEREGG, 1952 apud SALLES NETO, 2010). Os sais comumente associados ao fenômeno são os sulfatos de cálcio, de magnésio e de sódio, os quais são capazes de exercer, segundo Muzzin (1982 apud SALLES NETO, 2010), as pressões de 110 MPa e 25 MPa respectivamente, quando em condições parecidas. Estas pressões são suficientes para fissurar os materiais envolvidos.

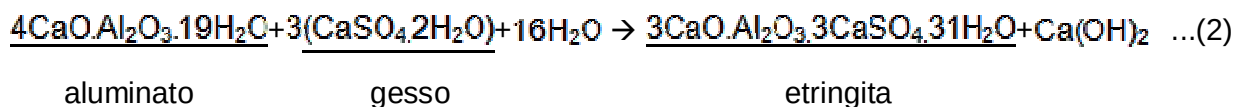
Encontra a seguir as reações de sulfato de sódio, cálcio e magnésio no concreto, que são os mais prejudiciais para o material (KULISCH, 2011):

Reação com sulfato de sódio:



gesso

Reação com sulfato de cálcio:

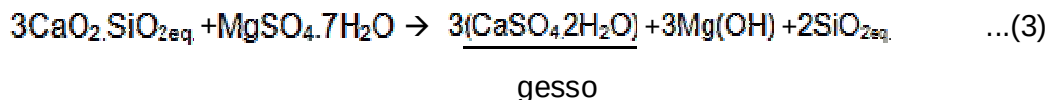


aluminato

gesso

etringita

Reação com sulfato de magnésio:



O acontecimento das subflorescências pode ser potencializado quando o sistema construtivo está em contato com solos ricos em sulfatos, e seja permitida a percolação de água do solo, acumulando continuamente estes compostos salinos em determinados locais. Ressalta-se ainda, a formação de Sal de Candlot, expansivo no concreto de cimento Portland, conforme previamente ilustrado pela equação 2. Nota-se também a influência, em condições ideais de umidade e evaporação, em particular, quando a água se desloca com dificuldade pela rede capilar, aliada a uma rápida evaporação da superfície do material. (VERDUCH e SOLANA, 1999 apud SALLES NETO, 2010).

Solos salinizados são os que oferecem maior concentração de sais solúveis. Os sais solúveis do solo contêm principalmente os cátions sódio, cálcio e magnésio e os ânions cloretos e sulfatos. Em menor quantidade, ocorrem potássio, bicarbonatos e carbonatos, segundo Richards et al. (1954 apud SALLES NETO, 2010).

A perda de durabilidade do material ocorre através da desintegração da superfície externa, que pode se manifestar através de escamações, fissuras ou lascas. Independentemente da forma de manifestação, a desintegração é provocada pela fadiga da cristalização cíclica do sal causada no material. (BINDA e BARONIO, 1987; JACKSON, 1925 apud SALLES NETO, 2010).

5.4.2 Eflorescência

Eflorescências são as florescências visíveis que se desenvolvem na superfície de materiais porosos ou em regiões próximas a face, devido à evaporação da solução aquosa de sais conduzidos, quando há um gradiente de umidade entre a atmosfera ambiente e o material, cita Barzaghi (1983 apud SALLES NETO, 2010).

Na Tabela 3 são citados os locais de formação e os reparos para as eflorescências, segundo Uemoto (1988 apud SALLES, 2010, p.35).

Tabela 3: Locais de formação, origens e reparos indicados para as eflorescências

Tipo da Eflorescência	Locais de formação	Causas prováveis atuando com ou Sem simultaneidade	Reparos
Tipo 1	Em superfície de alvenaria aparente. Em superfície de alvenaria revestida de argamassa. Em regiões próximas a caixilhos mal vedados. Em superfícies de ladrilhos cerâmicos não esmaltados. Em juntas de pisos cerâmicos esmaltados e azulejos.	Sais solúveis presentes nos componentes da argamassa: água de amassamento, agregados ou aglomerantes. Sais solúveis presentes nos materiais cerâmicos (blocos cerâmicos, ladrilhos, etc.). Sais solúveis contidos no solo. Poluição atmosférica. Reação bloco cerâmico-cimento.	Eliminação da fonte de umidade. Aguardar a eliminação dos sais pela ação da chuva em casos de eflorescência em superfície externa. Lavagem com água. Escovamento da superfície por processo mecânico. Após aturar a alvenaria com água, lavar com solução clorídrica a 10%, e em seguida com água abundante.
Tipo 2	Em superfície de componentes próximos a elementos em alvenaria e concreto. Em superfície de argamassa ou concreto.	Carbonatação da cal liberada na hidratação do cimento. Carbonatação da cal não carbonatada proveniente de argamassas mistas.	Eliminação da percolação de água. Lavagem com solução clorídrica conforme indicado anteriormente. Em caso de depósito abundante, escovamento da superfície por processo mecânico e lavagem com ácido conforme indicado anteriormente.
Tipo 3	Entre fissuras de juntas de alvenaria. Entre juntas de argamassas e blocos cerâmicos. Locais de alvenaria muito exposta à ação da chuva.	Expansão devido à hidratação do sulfato de cálcio existente no bloco cerâmico ou da reação bloco cerâmico-cimento. Formação de sal expansivo por ação de sulfato do meio.	Não realizar reparos, esperar a estabilização do fenômeno. Reparo usando cimento isento de sulfatos.

5.4.3 Natureza Química das Florescências

Conforme orientam Verduch e Solana (1999 apud Salles Neto, 2010), os sais formadores do fenômeno podem proceder exclusivamente dos materiais, pela composição química ou contaminação de seus compósitos, sendo identificados

então como de origem interna. Podem ainda, derivar de compostos transportados do exterior, sendo então reconhecidos como de origem externa.

Segue na Tabela 4 a discriminação da natureza dos sais (UEMOTO, 1988 apud SALLES NETO, 2010, p.41):

Tabela 4: Natureza química das eflorescências

Composição química	Formula química	Solubilidade em água	Fonte provável
Carbonato de cálcio	CaCO_3	Pouco solúvel	Carbonatação da cal lixiviada da argamassa ou concreto e de argamassa de cal não carbonatada.
Carbonato de magnésio	MgCO_3		Carbonatação da cal lixiviada de argamassa de cal não carbonatada.
Carbonato de potássio	K_2CO_3	Muito solúvel	Carbonatação dos hidróxidos alcalinos de cimentos de elevado teor de álcalis.
Carbonato de sódio	Na_2CO_3		
Hidróxido de cálcio	Ca(OH)_2	Solúvel	Cal liberada na hidratação do cimento.
Sulfato de cálcio di-hidratado	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Parcialmente solúvel	Hidratação do sulfato de cálcio do bloco cerâmico.
Sulfato de magnésio	MgSO_4	Solúvel	Bloco cerâmico-cimento, agregados, água de amassamento.
Sulfato de Cálcio	CaSO_4	Parcialmente solúvel	
Sulfato de potássio	K_2SO_4	Muito solúvel	Reação bloco cerâmico-cimento, agregados, água de amassamento.
Sulfato de sódio	Na_2SO_4		
Cloreto de cálcio	CaCl_2		Água de amassamento.
Cloreto de magnésio	MgCl_2		
Nitrato de potássio	KNO_3		Solo adubado ou contaminado.
Nitrato de sódio	NaNO_3		
Nitrato de amônio	NH_4NO_3		

5.4.4 Processo de Cristalização do Sulfato de Sódio

Chatterji e Jensen (1989 apud Salles Neto, 2010), avaliam o sulfato de sódio como um dos sais capazes de causar maiores impactos e danos aos materiais de construções porosos, fator normalmente pertinente à ocorrência de elevadas pressões de cristalização e hidratação (WINKLER e SINGER, 1972 apud SALLES NETO, 2010), motivo pelo qual é normalmente selecionado em ensaios de

degradação acelerada, para estimar a durabilidade de materiais de construção (ASTM C88, 1999 apud SALLES NETO, 2010).

Segundo Knacke e Von Erdberg (1975 apud SALLES NETO, 2010), o sistema $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}$, contém duas etapas estáveis: thenardita e mirabilita. A thenardita (Na_2SO_4) é a fase anidra, a qual precipita espontaneamente da solução em temperaturas superiores a $32,4^\circ\text{C}$. Inferiormente a esta temperatura, a fase estável é a mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), a qual ligeiramente desidrata em umidades relativas abaixo de 71% (a 20°C) para formar thenardita. A thenardita irá reidratar para mirabilita se a umidade relativa aumentar para valores superiores a 71%.

6. METODOLOGIA

O projeto experimental proposto foi estruturado buscando-se abordar os principais fatores intervenientes no mecanismo de formação de eflorescências de sulfato de sódio em diferentes traços de concreto colorido comumente usado como bases aparentes.

6.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Em termos dos objetivos propostos, esta pesquisa tem natureza descritiva, utilizando abordagem quantitativa e qualitativa com utilização de dados primários como meio para descrever características da eflorescência no concreto colorido. Para tanto, serão determinadas variáveis-chaves, a partir das quais traduzirão em números as características da eflorescência, aplicando técnicas estatísticas, ou seja: os dados primários serão obtidos por meio da realização de experimentos controlados no Laboratório de Materiais de Construção do IFTO/Campus Palmas.

O trabalho proposto é considerado um estudo de caso, pois propõe averiguar “um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real [...]” (VIEIRA, 2008, p. 32), moldando os corpos de prova para obtenção das características que se deseja conhecer (resistência à compressão, permeabilidade e velocidade do surgimento da eflorescência), a fim de determinar os fatores vinculados ao surgimento da eflorescência.

6.2 ETAPAS DE PESQUISA

Etapa I – Nível Decisório – constituída das seguintes atividades: escolha do tema; delimitação do problema e pesquisa bibliográfica.

Etapa II – Nível Construtivo – composta pelas seguintes atividades: estudo de campo (coleta de dados); construção do referencial teórico; caracterização dos materiais constituintes; preparação e ensaios de corpos de prova.

Etapa III – Nível Analítico – realizadas as seguintes atividades: análise dos dados obtidos; identificação de fatores determinantes e síntese conclusiva da pesquisa.

6.3 VARIÁVEIS DO TRABALHO

Encontram-se, a seguir relacionadas, as condições fixas, as variáveis independentes, bem como as variáveis dependentes ou aleatórias propostas no programa experimental.

6.3.1. Condições Fixas

Com o intuito de alcançar os objetivos deste trabalho, foram definidas as seguintes condições fixas: tipo de sal empregado para execução dos ensaios, pigmento, cimento utilizado, dimensões dos corpos de prova, agregados e membrana acrílica, conforme a Figura 3.

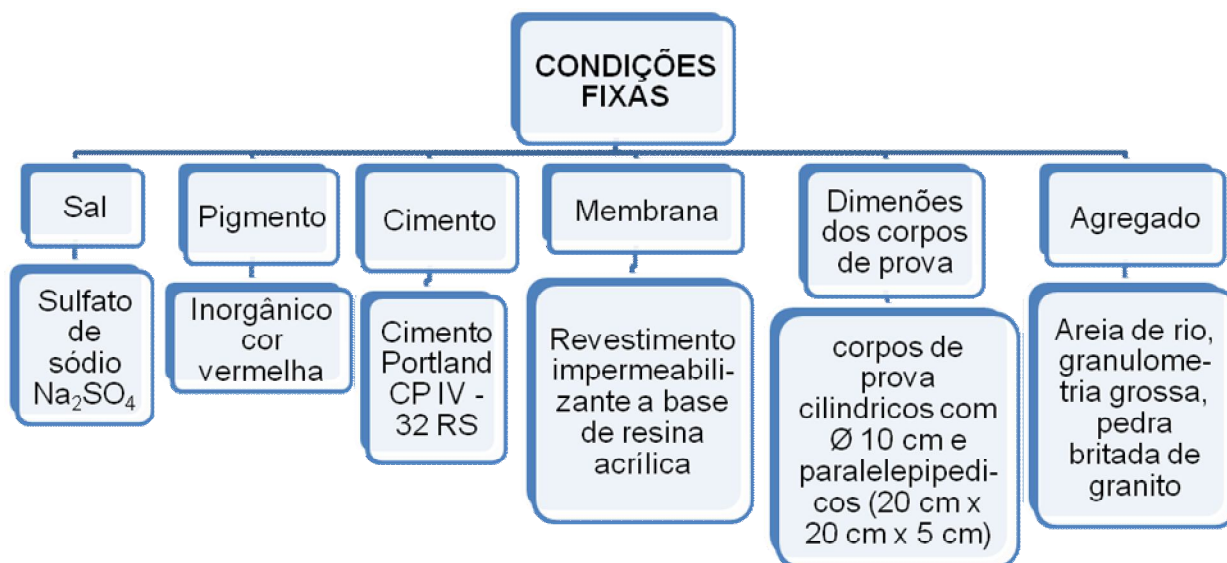


Figura 3: Condições fixas

6.3.1.1. Sal

Visto que o sulfato de sódio é o sal mais utilizado em ensaios laboratoriais devido a sua alta solubilidade, a sua pressão de cristalização e por ser capaz de gerar danos aos materiais de construção porosos, o mesmo foi escolhido para executar os procedimentos experimentais propostos pelo presente trabalho, Chatterji e Jensen (1989 apud SALLES NETO, 2010).

6.3.1.2. Pigmento e membrana acrílica

Revestimento impermeabilizante, a base de resina acrílica, comercialmente conhecido como Hidronorth Acgua, produzido pela Empresa Hidronorth.

Buscou-se, na escolha da película de impermeabilização, um produto que conciliasse a fácil aquisição, previsão de elevado desempenho e largo emprego no mercado.

O pigmento inorgânico utilizado no presente trabalho é comercialmente conhecido como Xadres®, produzido pela Empresa Lanxess. Seguindo todas as instruções de uso do produto.

6.3.1.3. Cimento e agregados

O cimento empregado na confecção das argamassas foi da marca Tocantins, produzido pela fábrica de cimento Votorantim (Grupo Votorantim), localizada em Xambioá - TO, tendo sido adquirido no comércio local da cidade de Palmas - TO, em sacos de 50 kg. A utilização desse cimento se justifica por apresentar características, que atendam às exigências necessárias ao uso (SALLES NETO, 2010).

Os agregados empregados na composição do concreto colorido foram areia lavada, proveniente do Rio Tocantinse brita nº 0, sendo adquiridas no comércio local da cidade de Palmas–TO.

6.3.2. Variáveis Dependente e Independente

Nas variáveis independentes, assim como mostra a Figura 4, a relação água/cimento está diretamente ligada à porosidade que o concreto pode apresentar, pois quanto maior o índice de vazios maior a possibilidade do surgimento da eflorescência.

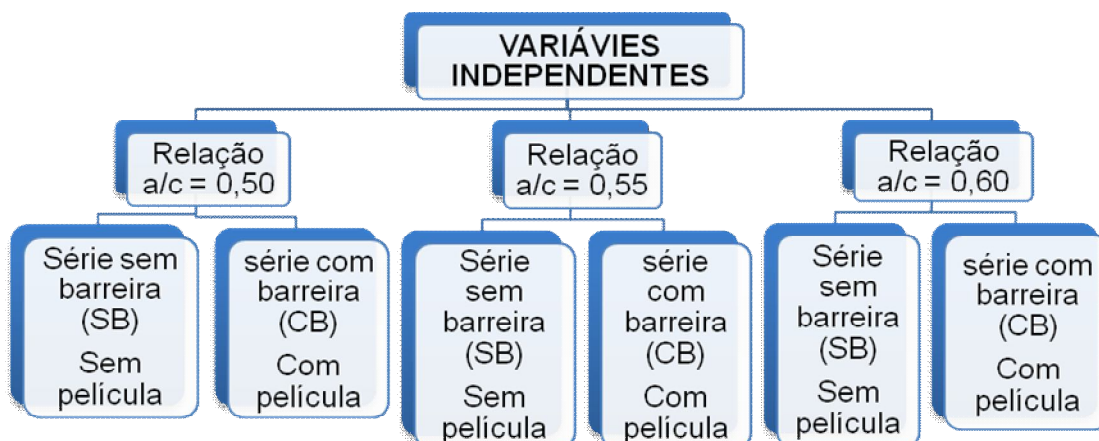


Figura 4: Variáveis independentes

Já as variáveis dependentes estão relacionadas à velocidade de formação de eflorescência, absorção de água na qual a relação a/c pode afetar diretamente sua porosidade e consequentemente sua resistência à compressão, conforme a Figura 5.

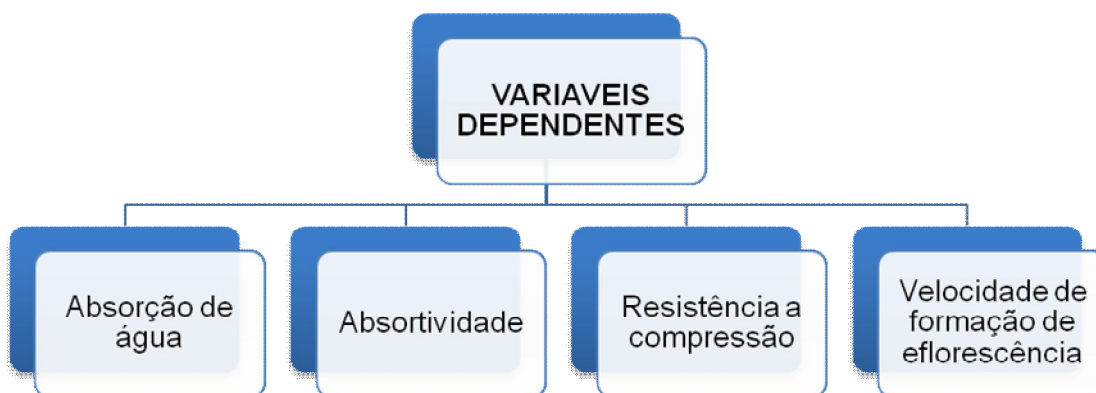


Figura 5: Variáveis dependentes.

6.3.3 Dosagem

A fim de avaliar a variação de formação de depósitos salinos em concreto colorido, sob diferentes condições de porosidade, foram confeccionados três diferentes traços variando sua relação a/c em 0,50, 0,55, 0,60, onde os materiais (agregados) foram submetidos a ensaios de caracterização, dados necessários para dosagem segundo o método norma (ACI, 1991), para se chegar aos traços expostos na Tabela 5.

Após a obtenção dos materiais empregados na confecção dos traços foram moldados 18 corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 10 cm e 18 corpos de prova paralelepípedicos com dimensões de 20 cm x 20 cm x 5 cm. Em seguida os corpos de prova foram moldados seguindo as recomendações da NBR 5738 (1994).

Tabela 5: Determinação dos traços

Traço	Relação a/c	Composição dos traços
1	0,50	1: 1,44: 2,33 (areia, cimento, brita) Teor de pigmento 0,6 % - Slump 70 mm
2	0,55	1: 1,67: 2,56 (areia, cimento, brita) Teor de pigmento 0,6 % - Slump 70 mm
3	0,60	1: 1,91: 2,78 (areia, cimento, brita) Teor de pigmento 0,6 % - Slump 70 mm

6.3.4 Ciclos de Exposição

Após completarem 28 dias de idade, foi aplicada uma camada de resina epóxi nas laterais dos CP's buscando orientar o fluxo da solução salina para sua superfície observada na Figura 6. Após 72 horas, os corpos de prova da série CB (com película de barreira) receberam uma impermeabilização acrílica segundo as recomendações do fabricante. Decorridas 72 horas desta aplicação, foi novamente feita a configuração da superfície dos CP's.



Figura 6: Aplicação de adesivo epóxi no corpo de prova para orientar o fluxo da solução

Após os procedimentos descritos anteriormente, foram iniciados os ciclos de molhagem/secagem conforme ilustra na Figura 7. As amostras foram então posicionadas, em grupos de nove, sobre suportes de vidros. A solução na bandeja foi reabastecida ao longo dos procedimentos de forma a ser mantidas, durante a exposição, uma lamina de 3 mm em suas faces laterais. Os corpos de prova foram submetidos a 20 ciclos de exposição em solução saturada de Na_2SO_4 por 24 horas, sendo feita a secagem em estufa a 55°C até constância de massa após cada ciclo. Posteriormente seguiu-se com a retirada da estufa, para que cada superfície tivesse sua superfície registrada assim que atingisse temperatura ambiente.

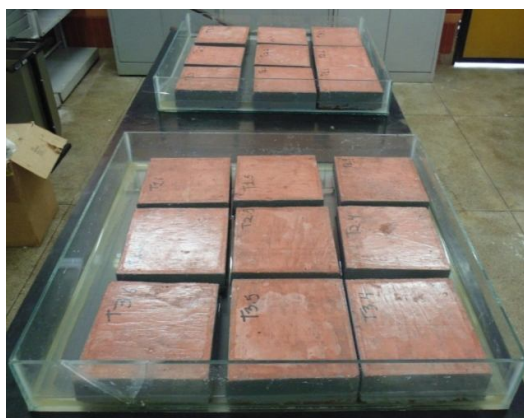


Figura 7: Ciclo de exposição dos corpos de prova

Na Tabela 6 encontra-se a identificação dos corpos de prova confeccionados para o procedimento experimental.

Tabela 6: Relação dos corpos de prova.

Nº	Identificação	Relação a/c	Presença de película acrílica	Meio de exposição no ciclo
1	SBT1A	0,50	Não	Solução saturada de Na ₂ SO ₄
2	SBT1B		Não	
3	SBT1C		Não	
4	CBT1D		Sim	
5	CBT1E		Sim	
6	CBT1F		Sim	
7	SBT2A	0,55	Não	
8	SBT2B		Não	
9	SBT2C		Não	
10	CBT2D		Sim	
11	CBT2E		Sim	
12	CBT2F		Sim	
13	SBT3A	0,60	Não	
14	SBT3B		Não	
15	SBT3C		Não	
16	CBT3D		Sim	
17	CBT3E		Sim	
18	CBT3F		Sim	

As normas brasileiras, ainda não abordam as fluorescências na indústria da construção civil, portanto, as citações normativas existentes são internacionais.

Com isso, o método utilizado para provocar a incidência de eflorescências foi a união de dois métodos semelhantes. O de bandeja aberta, ao qual uma das faces encontra-se em contato com a solução salina armazenada, onde é aspirada por capilaridade e se evapora livremente pelas superfícies descobertas, segundo a ASTM INTERNATIONAL C67 (2003 apud SALLES NETO, 2010). E a de secagem orientada, que diferencia desta última pela obstrução da evaporação nas faces do corpo de prova, com restrição da face oposta à sucção, conforme a UNE 67029 (1995 apud SALLES NETO, 2010).

As imagens registradas foram analisadas com o emprego do software AutoCAD®. Neste, eram determinadas as regiões eflorescidas de cada amostra, e quantificadas sua área em relação à área total da amostra. Assim será determinada a velocidade do surgimento da eflorescência com a tangente da correlação de área eflorescida pelo ciclo de exposição, conforme Salles Neto (2010).

7. RESULTADOS E DISCURSÕES

7.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E AGREGADOS

Estes materiais foram escolhidos por serem comumente utilizados em concretos e facilmente adquiridos na região onde foi realizada a pesquisa. O agregado miúdo empregado foi areia natural, proveniente do Rio Tocantins com as características mencionadas na Tabela 7, percentual retido acumulado na Tabela 8 e curva granulométrica na Figura 8.

Tabela 7: Características do agregado miúdo

Caracterizações Determinadas	Métodos de Ensaios	Referências de Normas	Resultados Obtidos
Modulo de Finura	ABNT NBR NM 248/2003		2,66
Dimensão Máx. Característica	ABNT NBR NM 248/2003		4,8 mm
Massa Unitária	ABNT NBR 7251/1982		1,63
Massa Específica	ABNT NBR 9776/1987		2,63
Torrões de Argilas e Materiais Friáveis	ABNT NBR 7218/1987	< 3%	0,10 %
Teor de Materiais Pulverulento	ABNT NBR NM 46	< 3% ¹ < 5% ²	2,3 %

¹ Concreto submetido a desgaste superficial.

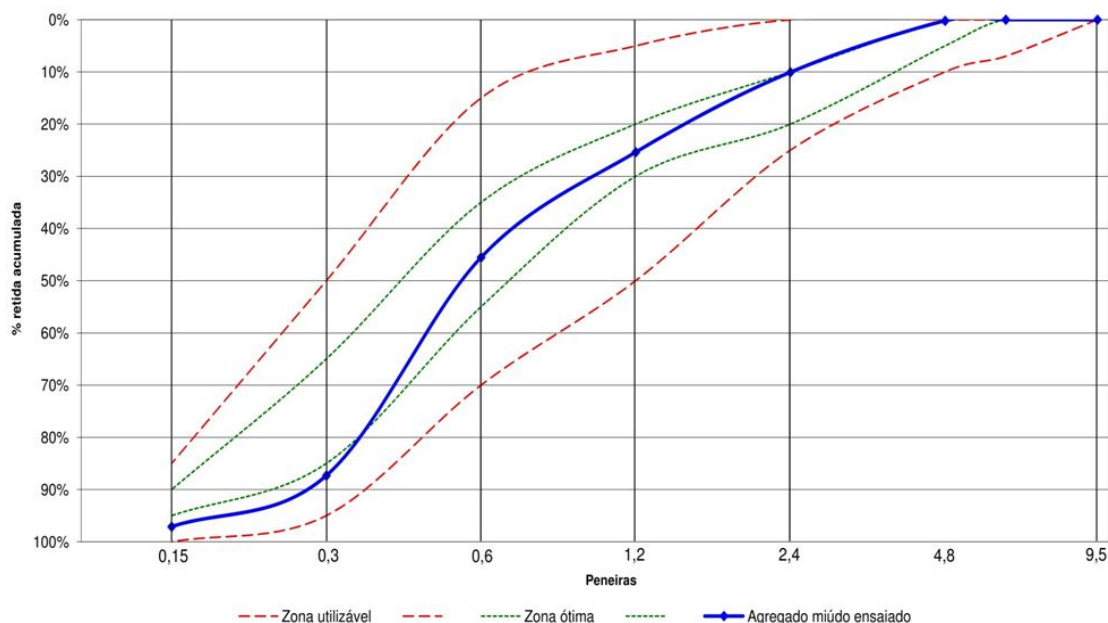
² Concretos protegidos do desgaste superficial.

De acordo com os dados da caracterização do agregado miúdo ilustrados na Tabela 7, o modulo de finura obtido foi de 2,66, resultado que esta entre os limites da zona ótima. A dimensão máxima característica do agregado miúdo foi de 4,8 mm, massa unitária do material foi de 1,63 kg/dm³, massa específica equivaler a 2,63 g/cm³, torrões de argila e materiais friáveis consistir em 0,1% resultado valido, pois a norma estabelece percentual menor que 3% e já o teor de materiais pulverulento resultou em 2,3%, dado aceitável pela norma, que coloca para concreto submetido a desgaste superficial menor que 3% e para concreto protegido do desgaste superficial menor que 5%.

Tabela 8: Composição granulométrica do agregado miúdo

Peneiras	Porcentagem retida acumulada média
	Areia MF = 2,66
4,75	0,20%
2,36	10,05%
1,18	25,14%
0,6	45,30%
0,3	86,68%
0,15	96,61%
< 0,15	99,49%

A massa retida acumulada nas peneiras 4,75 mm a 0,6 mm está no limite superior da zona ótima, já as peneiras, 0,3 e 0,15 está com percentual na zona utilizável.

**Figura 8:** Granulométrica do agregado miúdo empregado na confecção do concreto colorido

Como podem ser observados na distribuição granulométrica, os percentuais retidos acumulados estão dentro dos limites da zona ótima com exceção as peneiras 0,3 e 0,15 mm que estão na zona utilizável.

Já o agregado graúdo usado equivale à brita nº 0 com propriedades informadas na Tabela 9, material retido acumulado na Tabela 10 e curva granulométrica, indicada na Figura 10.

Tabela 9: Características do agregado graúdo

Caracterizações Determinadas	Métodos de Ensaio	Resultados Obtidos
Modulo de Finura	ABNT NBR NM 248/2003	5,73
Dimensão Máx. Característica	ABNT NBR NM 248/2003	12,5
Massa Unitária	ABNT NBR 7251/1982	1,57
Massa Específica	ABNT NBR 9776/1987	2,61

Com os ensaios de caracterização do agregado graúdo obteve os resultados de módulo de finura que foi de 5,73, dimensão máxima de 12,5 mm, massa unitária de 1,57 kg/dm³ e massa específica de 2,61 g/cm³.

Tabela 10: Composição granulométrica do agregado graúdo

Peneiras	Porcentagem retida acumulada média
	Brita nº 0 MF = 5,73
12,5	2,23%
9,5	28,09%
6,3	71,17%
4,75	90,78%
4,00	94,75%
< 4,00	99,98%

Como podem ser observados na distribuição granulométrica do agregado graúdo, os percentuais retidos acumulados permaneceram entre as zonas 4,75/12,5 e 9,5/25, o qual também pode ser analisado através da Figura 9.

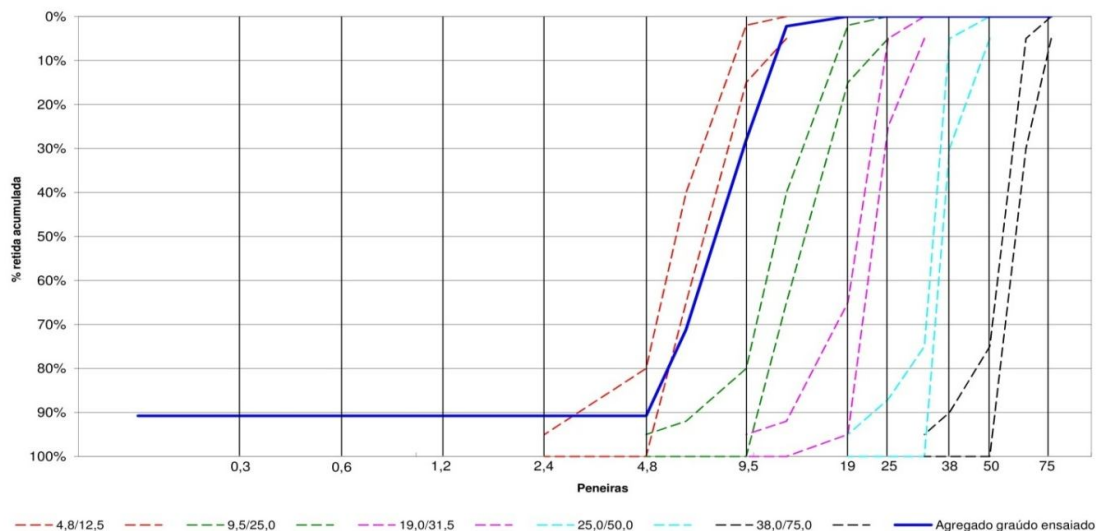


Figura 9: Granulométrica do agregado graúdo empregado na confecção do concreto colorido

7.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA

7.2.1 Absorção de água por imersão

A seguir serão apresentados os resultados obtidos durante o ensaio de absorção de água por imersão, ilustrado na Tabela 11.

Tabela 11: Absorção de água por imersão

Relação a/c	CP1	CP2	CP3	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
0,5	5,20%	5,27%	5,74%	5,40%	0,003	5,4%
0,55	5,94%	5,97%	5,53%	5,81%	0,002	4,2%
0,6	6,08%	6,29%	6,00%	6,12%	0,002	2,5%

Os resultados indicam que os corpos de prova com menor relação a/c tiveram um índice de absorção de água menor, conforme já era esperado, devido a menor porosidade. O desvio padrão das amostras com maior relação a/c permite determinar que os dados aproximem-se mais da média e dos coeficientes de variações, os quais se apresentaram menores. A Figura 10 apresenta a média dos dados obtidos.

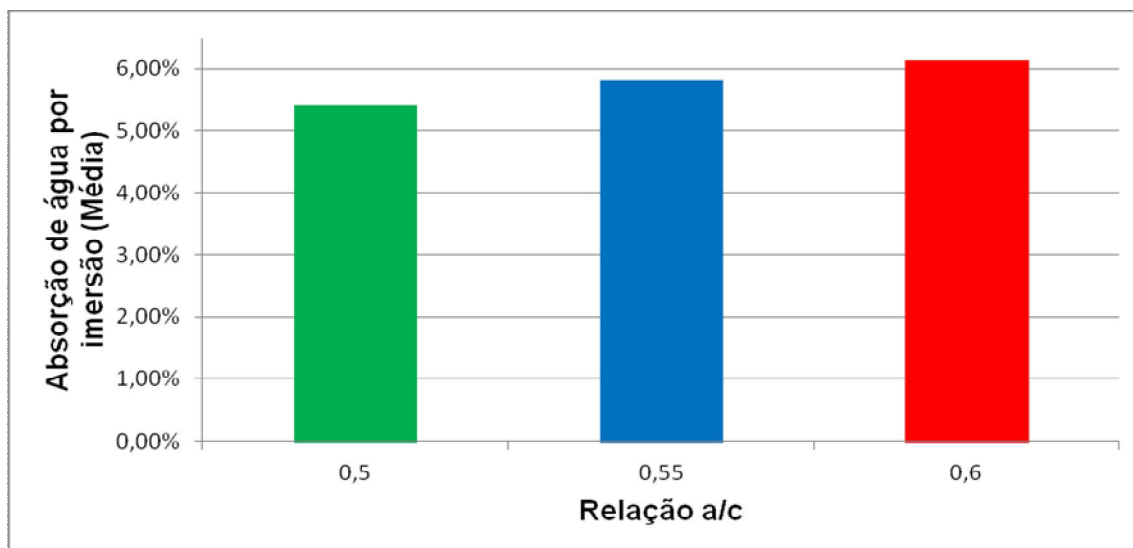


Figura 10: Absorção de água por imersão (%) dos traços do procedimento experimental

De acordo com a figura ilustrada acima, pode ser observado que com o aumento da relação a/c acarreta no acréscimo da absorção de água, que o traço com menor relação a/c 0,55 teve 5,40% de absorção e quanto o de maior relação a/c 0,60 absorveu 6,12%.

7.2.2 Absorção de água por capilaridade

Este ensaio foi realizado conforme a NBR 9779 (1987) e seus resultados foram apresentados na Figura 11.

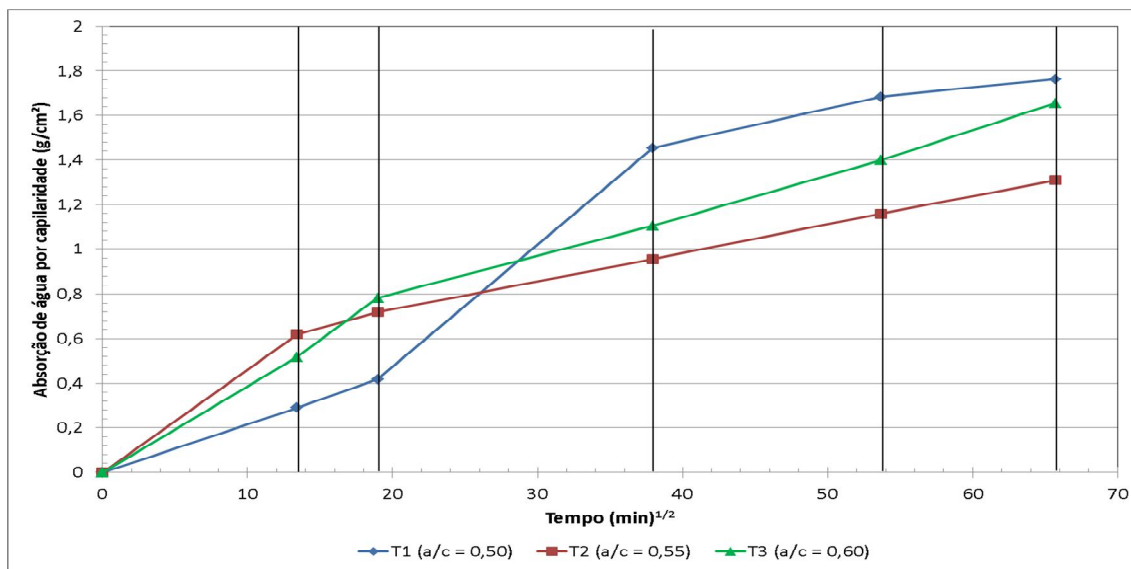


Figura 11: Absorção de água por capilaridade (g/cm²) dos corpos de prova

Os resultados indicam que o traço com menor relação a/c teve maior absorção por capilaridade, podendo afirmar que no tempo de 19 (min)^{1/2} os com relação a/c maiores tiveram uma maior absorção por capilaridade e após esse tempo os corpos de prova com relação a/c igual a 0,5 teve um maior aumento em relação aos outros fatores.

7.2.3 Absortividade

A seguir são apresentados os resultados de absortividade das amostras, que é o volume de água que penetra por unidade de área e tempo.

A Figura 12 mostra os resultados da Absortividade para os corpos de prova com relação a/c=0,50.

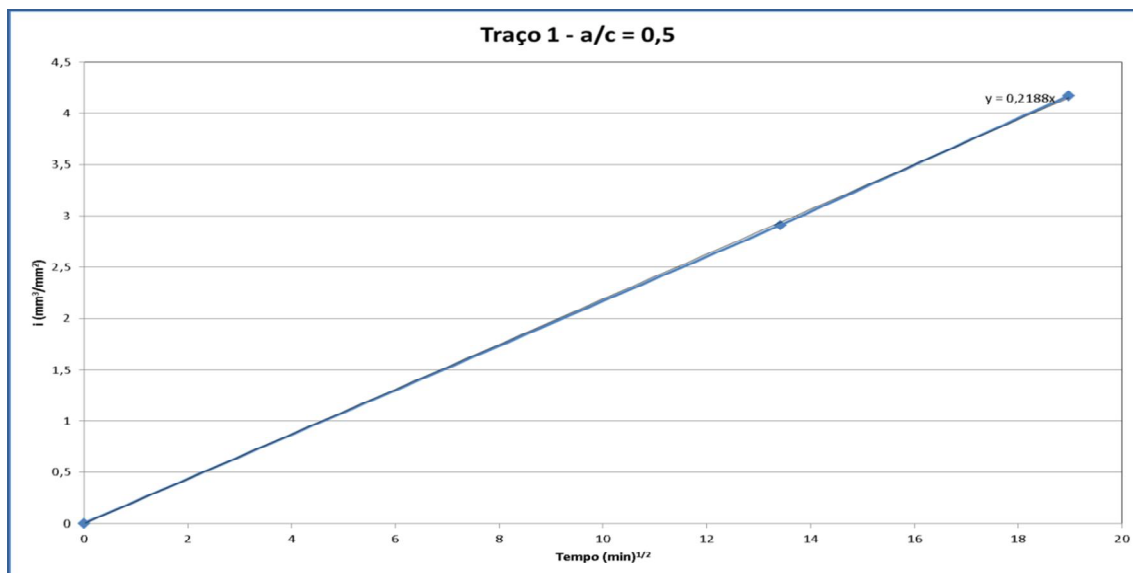


Figura 12: Absortividade ($\text{mm}^3/\text{mm}^2 \cdot t^{1/2}$) dos corpos de prova com relação $a/c=0,5$

A absortividade das amostras com $a/c=0,50$ pode ser relacionada com a tangente da reta, pois os dados estão bem próximos da reta.

Figura 13 mostra os resultados da Absortividade para os corpos-de-prova com relação $a/c=0,55$.

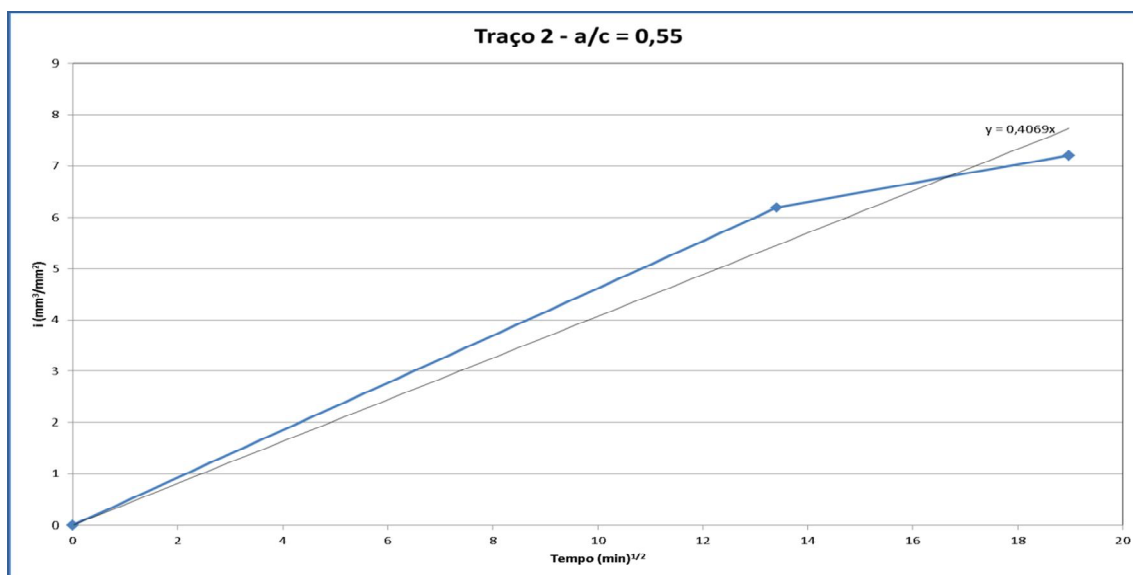


Figura 13: Absortividade ($\text{mm}^3/\text{mm}^2 \cdot t^{1/2}$) dos corpos de prova com relação $a/c=0,55$

As amostras com $a/c=0,55$ obtiveram resultados de absortividade não muito próximos da tangente, com isto não foi possível relacioná-los com a função.

A Figura 14 mostra os resultados da Absortividade para os corpos de prova com relação $a/c=0,60$.

Conforme o apresentado nas figuras da absortividade dos traços, pode-se determinar que a diminuição da relação a/c acarretou numa menor absortividade do traço.

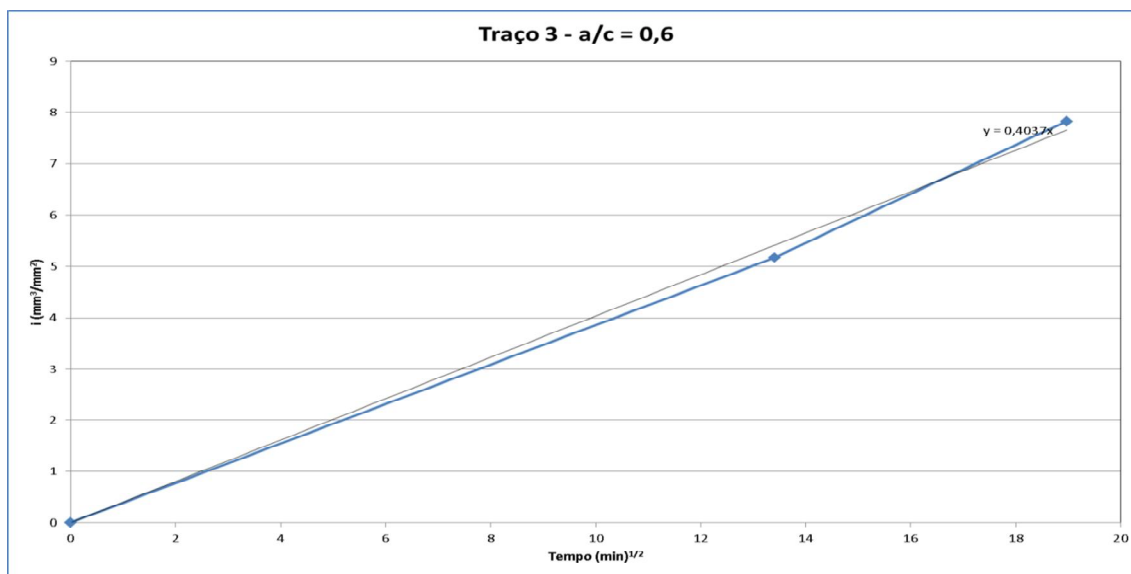


Figura 14: Absortividade ($\text{mm}^3/\text{mm}^2 \cdot \text{t}^{1/2}$) dos corpos de prova com relação $a/c=0,60$

Na absortividade das amostras com relação $a/c=0,60$ foi possível relacionar com a equação, pois os dados estão próximos do alinhamento da mesma.

7.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados do ensaio de resistência à compressão e suas análises estatísticas estão relacionados na tabela 12.

Tabela 12: Caracterização dos concretos coloridos empregados – estado endurecido

Propriedade	Método de ensaio	Concreto colorido (média da resistência)		Desvio padrão	Coeficiente de variação
Resistência à compressão	NBR 5738 (2003b)	Traço 1	41,1	3,4	8,3%
		Traço 2	37,9	2,5	6,7%
		Traço 3	33,7	2,2	6,5%

De acordo com os resultados obtidos, como já previstos, os traços com menor relação a/c resultaram em um concreto com maior resistência. Conforme os dados da Tabela 12, também se pode analisar o desvio padrão das amostras dos traços com maior relação a/c. Contudo, resultou em dados mais próximos da média e os desvios relativamente à média atingiram porcentagens menores. A Figura 15 ilustra a determinação da resistência à compressão com o rompimento do CP.



Figura 15: Determinação da resistência à compressão

Os rompimentos dos corpos de prova foram numa prensa hidráulica manual modelo MK 2930, utilizando neoprene como capeamento. Algumas amostras do traço com menor relação a/c tiveram rupturas bruscas devido a elevada resistência da pasta de cimento.

7.4 VELOCIDADE DO SURGIMENTO DA EFLORESCÊNCIA

A seguir são apresentados os resultados da velocidade de formação da eflorescência. A Figura 16 mostra os dados das amostras sem película de barreira.

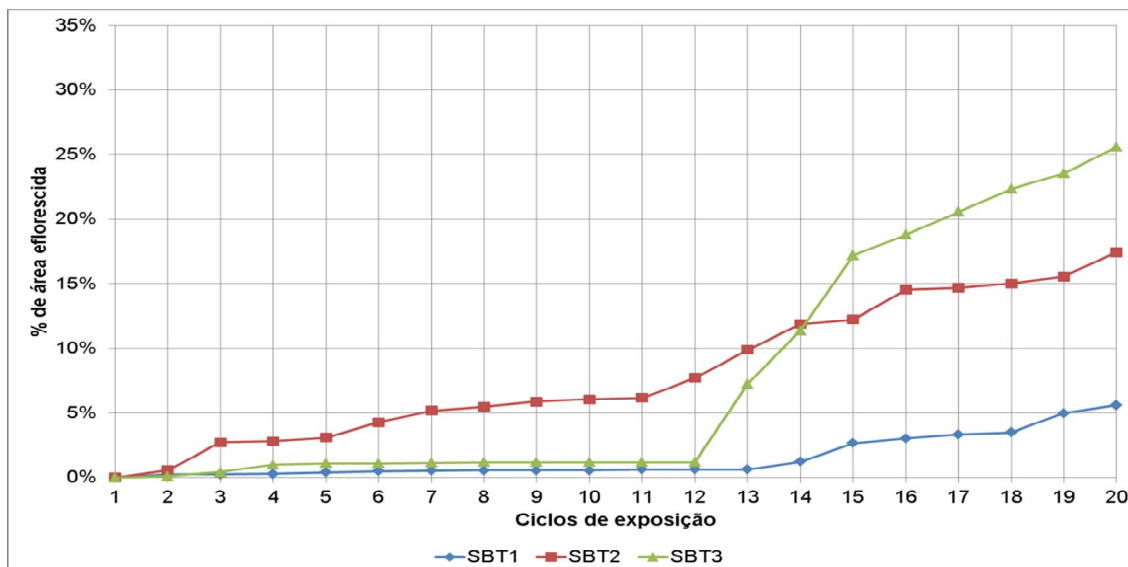


Figura 16: Velocidade de formação da eflorescência (média) dos corpos de prova sem barreira

Pode ser analisado na Figura 16 que até o 12º ciclo os traços 1 e 2 tiveram pequeno aumento ao decorrer dos ciclos, só ocorrendo acréscimo a partir do mesmo, e o traço 3 a partir do 2º ciclo já começou a aumentar o percentual de área eflorescida. No 14º ciclo de exposição o traço 2 ultrapassou o percentual de área eflorescida do traço 3, resultando num maior percentual de eflorescência, cerca de 26%. A Figura 17 ilustra os resultados da velocidade de formação da eflorescência dos corpos de prova com película de barreira.

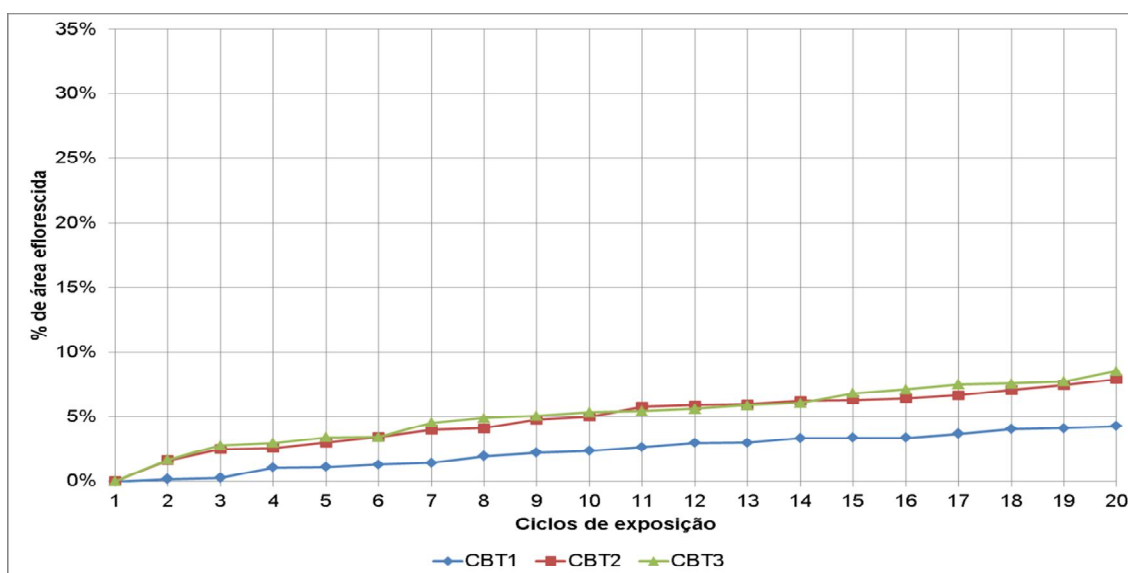


Figura 17: Velocidade de formação da eflorescência (média) dos corpos de prova com barreira

O traço 1 teve resultados menores em relação os traços 2 e 3, no entanto, os dois últimos traços estão alternando os resultados ao decorrer dos ciclos. Resultando no final dos ciclos de exposição a maior percentagem de área eflorescida no traço 2.

Do exposto, percebe-se que os corpos de prova com película de barreira apresentou uma redução na percentagem da área eflorescida e um acréscimo menos relevante ao decorrer dos ciclos de exposição, chegando ao final do 20º ciclo com percentual de no máximo 9,20% de área eflorescida. Já os sem película de barreira obteve-se um maior percentual de área eflorescida, alcançando no máximo cerca de 26% de área eflorescida, resultados já esperados.

Nas figuras 18, 19 e 20 estão os comparativos da velocidade de formação da eflorescência dos CP's com película de barreira e sem película de barreira.

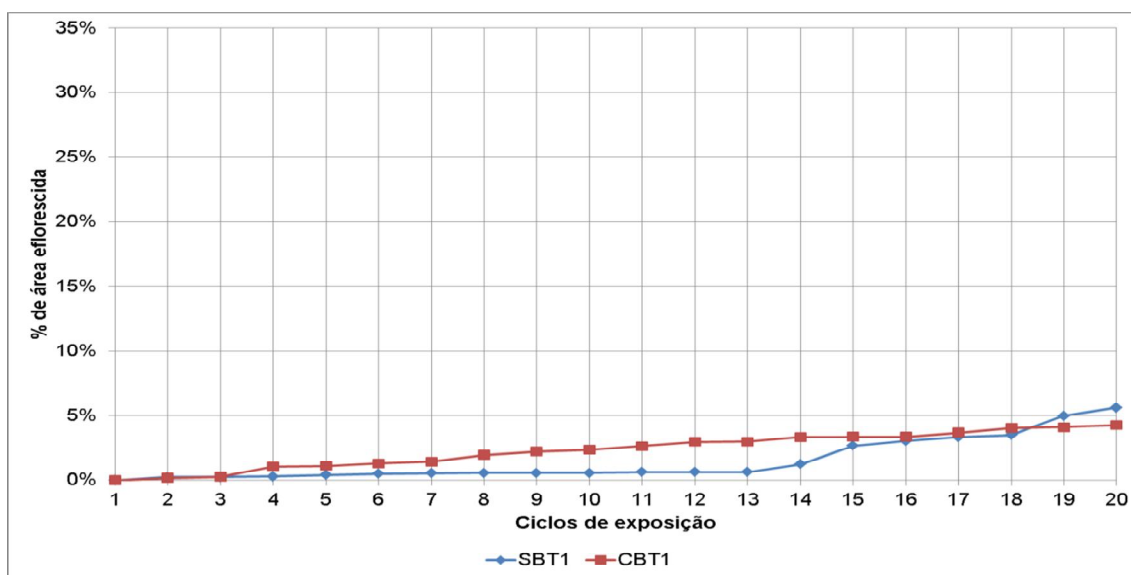


Figura 18: Velocidade de formação da eflorescência (média) dos corpos de prova: traço 1 - sem/com barreira

Segundo o exposto na Figura 18 pode-se observar que os traços 1 com e sem barreira seguiram constante até o 3º ciclo, a partir daí nota-se que o traço 1 com barreira teve um crescimento constante até aproximadamente 5%, já os traços 1 sem barreira seu crescimento pode ser notado de uma forma mais acentuada a partir do 13º ciclo, onde a percentagem de área eflorescida ultrapassa a 5%.

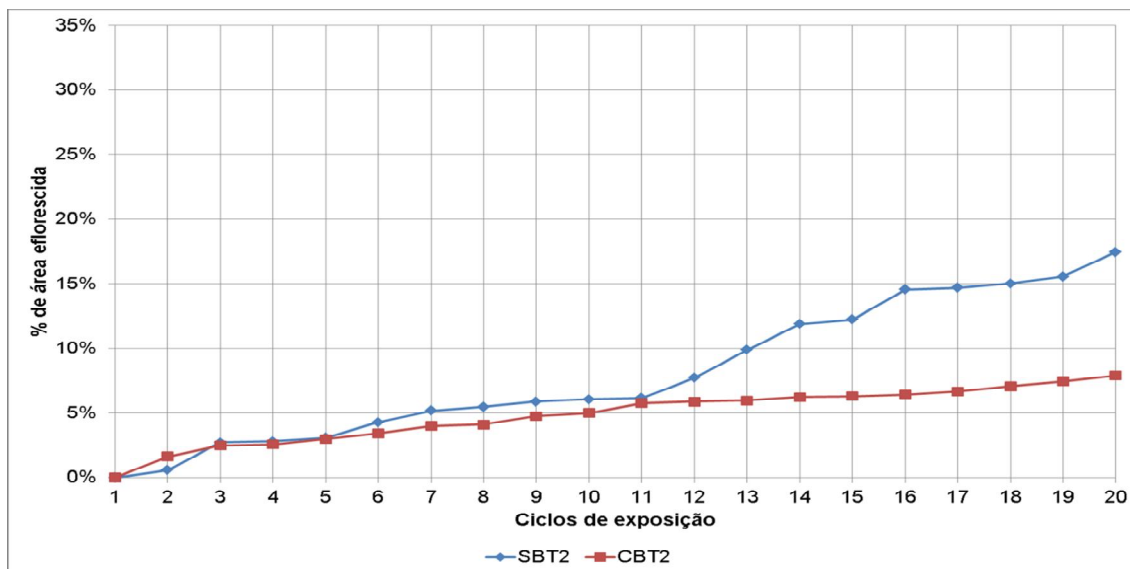


Figura 19: Velocidade de formação da eflorescência (média) dos corpos de prova: traço 2 - sem/com barreira

Observando a Figura 19, nota-se que o traço 2 tanto para os sem barreira quanto para com barreira seu crescimento começou logo nos ciclos iniciais. O traço 2 sem barreira ultrapassou o traço 2 com barreira a partir do 5º ciclo de exposição, até atingir cerca de 18% de área eflorescida, já o traço 2 com barreira teve crescimento constante até atingir no final do 20º ciclo cerca de 8,5% de área eflorescida.

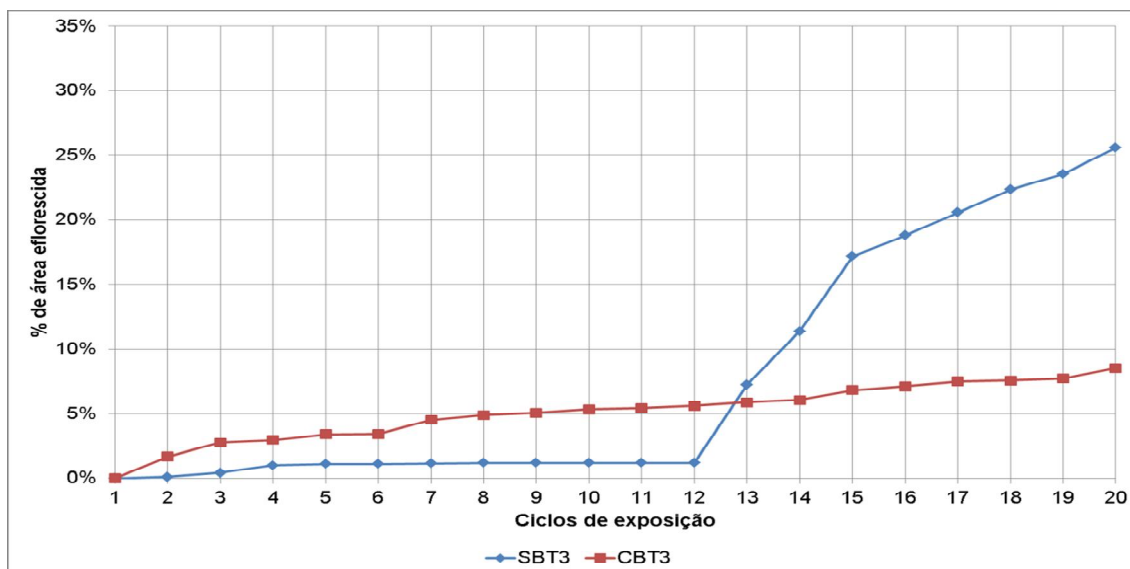


Figura 20: Velocidade de formação da eflorescência (média) dos corpos de prova: traço 3 - sem/com barreira

Como pode ser observado na Figura 20, o traço 3 com barreira permaneceu com maior percentual de área eflorescida em relação ao traço 3 sem barreira até o 12º ciclo, a partir daí o traço sem película de barreira ultrapassou o traço 3 com barreira chegando a atingir cerca de 26% de área eflorescida no final do 20º ciclo, já o com barreira atingiu cerca de até 9% no final do mesmo.

Mediante a apresentação das Figuras 18, 19 e 20 pode-se observar que os traços com barreira superaram as expectativas, pois apresentaram uma menor percentagem de área eflorescida comparado com os traços sem barreira.

Na Figura 21 estão ilustradas as médias e desvio padrão da velocidade de formação da eflorescência dos traços sem barreira e com barreira.

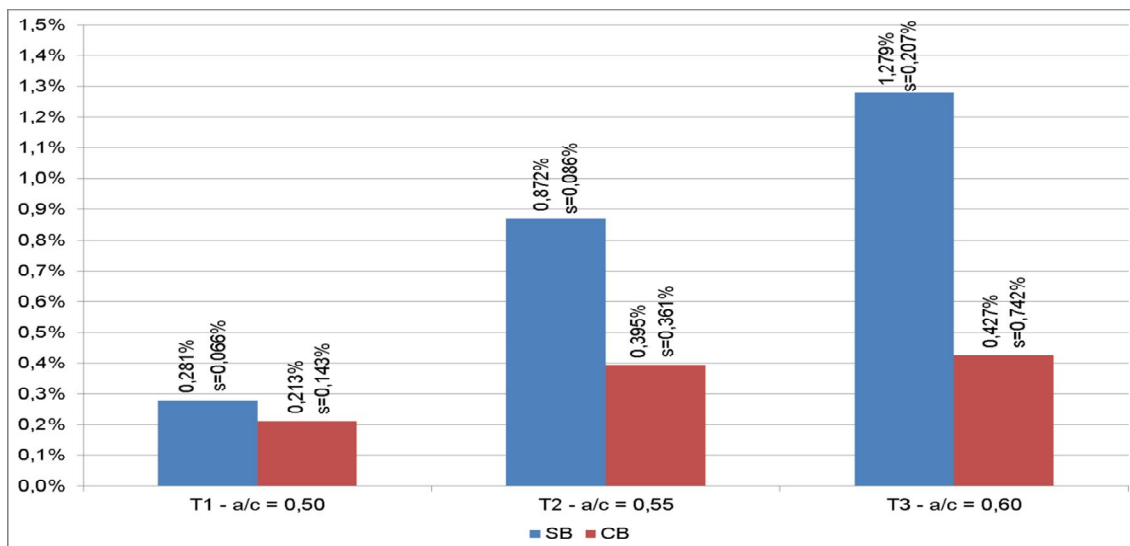


Figura 21: Média e desvio padrão da velocidade de formação da eflorescência dos corpos de prova sem/com barreira

Os resultados do traço com relação a/c 0,50 sem película de barreira estão bem próximos dos resultados com barreira, já os traços com relação a/c 0,55 e 0,60 obtiveram uma diferença maior, ilustrado na Figura 21.

Analisando o desvio padrão, todos os traços resultaram em dados próximos da média.

Já a Figura 22 refere-se à correlação da velocidade média de formação da eflorescência e absorção de água média dos CP's sem e com película de barreira.

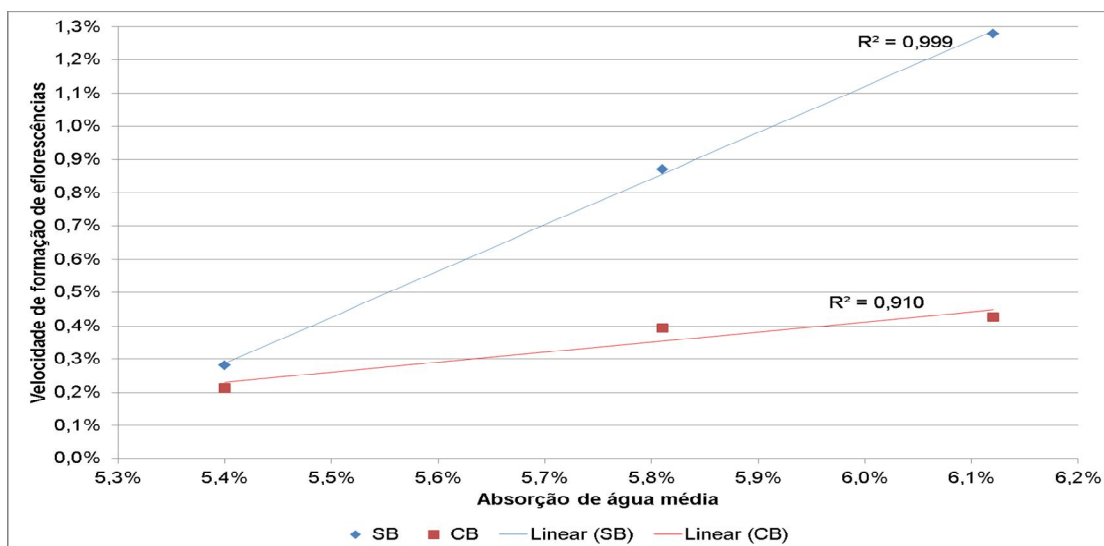


Figura 22: Correlação da velocidade de formação da eflorescência e absorção de água (média)

A Figura 22 permite determinar que as variáveis sejam diretamente relacionadas, ou seja, o aumento da absorção de água acarreta no aumento da velocidade de formação da eflorescência. A regressão obtida apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 99,9% da variação da velocidade dos corpos de prova sem película protetora, já para os corpos de prova com película de barreira foi observado um menor desvio relativo à média com 91%.

Com isso, chegou-se a seguinte análise, que tanto as amostras das séries sem barreira quanto às com barreiras os resultados se aproximaram da reta linear.

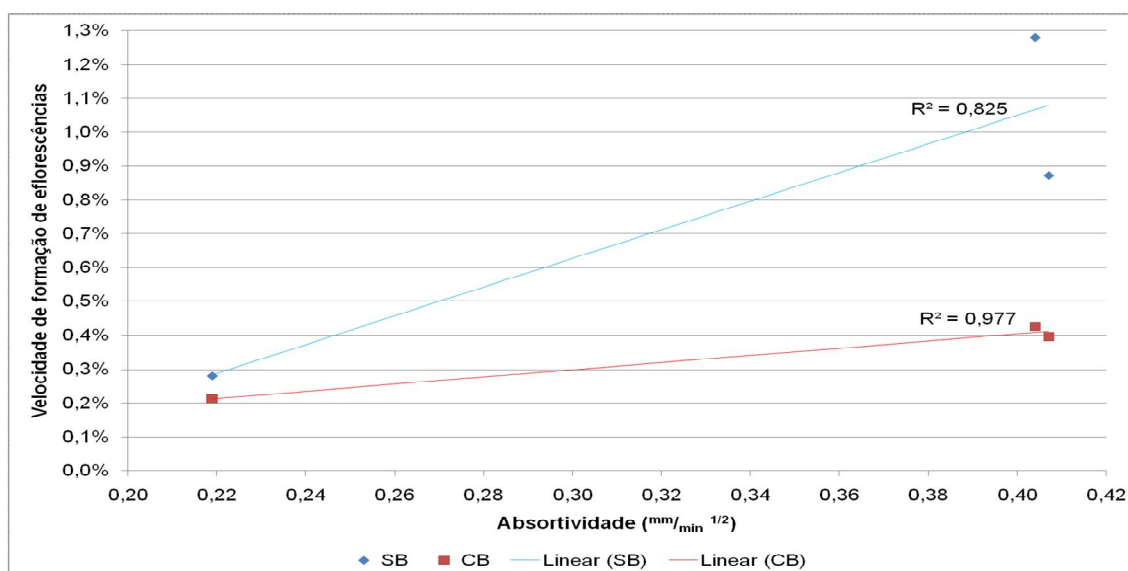


Figura 23: Correlação da velocidade média de formação da eflorescência e absortividade

De acordo com os dados da Figura 23 a velocidade de formação da eflorescência das séries sem barreira não podem ser relacionadas com a absorvibilidade, pois não têm uma uniformidade dos resultados no decorrer da reta linear.

Já na Figura 24, é apresentado o gráfico da relação entre a velocidade de formação da eflorescência e a resistência média à compressão.

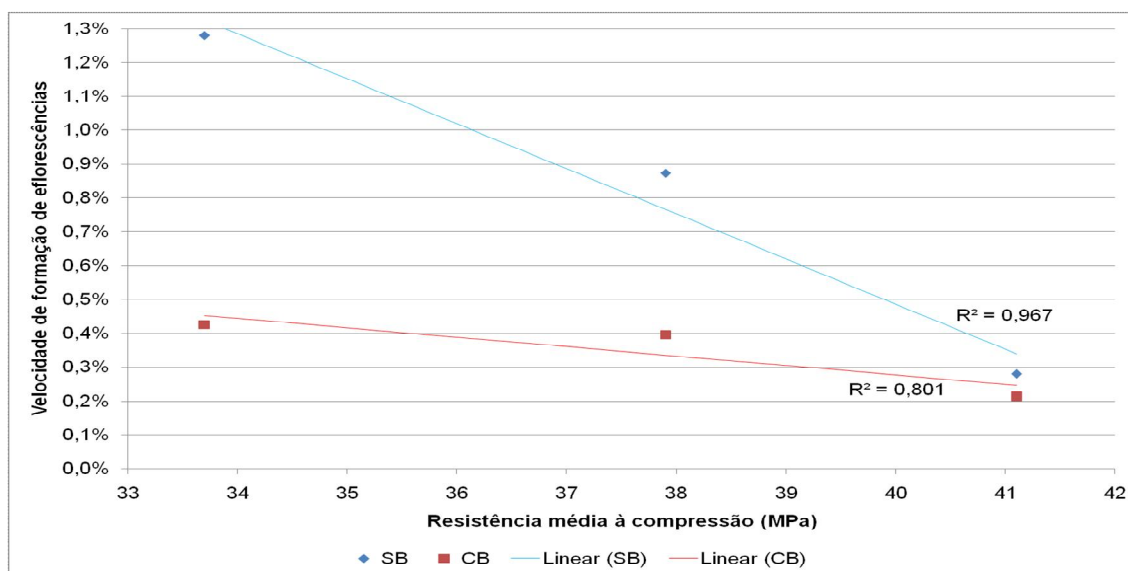


Figura 24: Correlação da velocidade média de formação da eflorescência e a resistência média à compressão

De acordo com a Figura 24 a velocidade da formação da eflorescência e a resistência à compressão estão inversamente relacionadas, pois o aumento da resistência à compressão diminui a velocidade de formação da patologia. Portanto, a velocidade da manifestação patológica pode ser relacionada com a resistência à compressão do material concreto.

A aplicação da película de barreira não evitou, mas resultou na redução do surgimento da patologia eflorescência, como ilustrada na Figura 26. Outra vantagem da película de barreira é a maior durabilidade da cor onde evitou a perda de coloração, conforme ilustrado na Figura 25.



Figura 25: Coloração dos corpos de prova das séries SB e CB

A perda de coloração é nítida nos corpos de prova sem película de barreira, como ilustrado na Figura 25, assim também pode ser percebido que nos corpos de prova com película de barreira minimizou, mas não evitou a formação da eflorescência entre a película de barreira e o substrato.

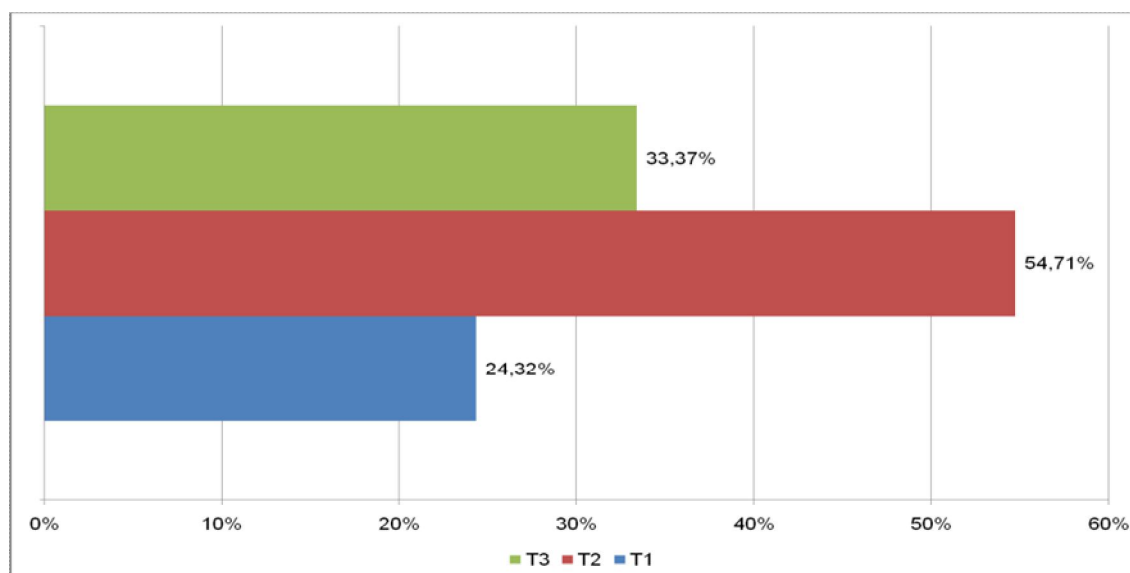


Figura 26: Redução da velocidade de formação de eflorescências pela adoção da película de barreira

Neste gráfico, pode-se analisar que os resultados indicam uma redução em todos os traços com película de barreira. O traço 1 obteve uma menor redução na variação dos resultados devido à menor diferença da velocidade do surgimento da eflorescência entre as séries. Já os traços 2 e 3 tiveram uma redução mais relevante, nestes traços, pode-se observar que a velocidade de formação de eflorescência nas séries com barreira foi menor que a velocidade de formação de eflorescência nas séries sem barreira.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1 CONCLUSÃO

A realização desta pesquisa teve como principal conclusão que o fenômeno de formação de eflorescência em concreto colorido, com cimento Portland CP IV com a utilização de pigmento inorgânico, têm sua velocidade influenciada pela absorção de água, absortividade e resistência à compressão. Constatou-se também que a presença da película de barreira reduziu, mas não impediu a formação de eflorescência.

O surgimento da eflorescência, por sua vez, está correlacionando com a absorção de água na qual se pode observar uma relação diretamente proporcional. Com isso, através dos resultados obtidos foi possível analisar um aumento na absorção de água na qual acarretou em um aumento na formação da eflorescência.

As séries sem película de barreira não obteve resultado satisfatório para a correlação da absortividade com a velocidade da formação da eflorescência devido a erros em relação à reta linear.

A resistência à compressão e a velocidade de formação da eflorescência é inversamente relacionadas, ou seja, quanto maior a resistência menor é a velocidade de formação da patologia. Assim também os resultados indicam que há correlação entre essas variáveis.

O emprego da película de barreira não só mitigou o surgimento da eflorescência como também possibilitou uma coloração mais duradoura, fazendo com que o concreto aparente não perdesse a sua função estética.

No que diz respeito à influência da relação a/c sobre o comportamento do fenômeno de formação da eflorescência, verificou-se que tanto para a série sem barreira quanto para série com barreira foram apresentadas variações significativas em seus desempenhos para os diferentes fatores a/c.

8.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Baseado no estudo desenvolvido sugere-se a continuação da pesquisa por meios de assuntos listados a seguir:

- Analisar o fenômeno de formação da eflorescência para diversas relações a/c.
- Realizar um estudo utilizando telhas de concreto colorido empregando película de proteção.
- Avaliar a influência no mecanismo da eflorescência em concreto colorido utilizando aditivos impermeabilizantes.
- Realizar uma pesquisa utilizando outros tipos de cimentos na formulação do concreto colorido para verificar a influência na formação da eflorescência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, C. A. **Concreto de cimento Portland branco estrutural: análise da adição de pigmentos quanto à resistência à compressão**. Dissertação (Mestrado Profissional), 2006. Escola de Engenharia. Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Pg. 84.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM INTERNATIONAL C67**: Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile. West Conshohocken, United States, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.

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

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003 a.

_____. **NBR 7218**: Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo controle e

recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006b.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 5738**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2003b.

CORSINI, R. Paleta de cores: com pigmentos especiais, concreto pode ganhar diversas cores para fins estruturais. In: **Téchnenr**. 172. São Paulo: PINI, 2011. p. 50-53.

ACI Committee 211, “**Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)**,” American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1991, 38p. Also ACI Manual of Concrete Practice.

FUSCO, P. B. – **Tecnologia do concreto estrutural**: tópicos aplicados – 1º ed. São Paulo: Editora Pini, 2008 – pg. 24.

KULISCH, D. **Ataque por sulfatos em estruturas de concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso, 2011. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, SC.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. - **CONCRETO: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 1º ed. São Paulo: Editora IBRACON, 2008. 1v. 674p.

RIBEIRO, C. C., PINTO, J. D. S., STARLING, T. - **Materiais de Construção Civil** – 2º Ed. Belo Horizonte: Editora UFMG; Escola de Engenharia da UFMG, 2002– pg. 36-37.

RIBEIRO, R.M. - **Concreto aparente: uma contribuição para a construção sustentável** - Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG, 2010.

SALLES NETO, M.. **Estudo do mecanismo de formação de florescências em revestimentos de argamassa aplicados a substrato cerâmico e o efeito de barreira**. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil), 2010, 237f. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Brasília, Brasília.

SILVA, I. T. S. **Identificação dos fatores que provocam eflorescência nas construções em Angicos/RN** – Angicos, RN: UFERSA, 2011. p. 11.

SILVA, P. F. A. – **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana** – 1º ed. São Paulo: Editora Pini, 1995 – pg. 40.

SOUZA, T. B. **Análise de eflorescências em concretos coloridos produzidos com cimento Portland branco e cinza e pigmentos orgânicos, inorgânicos e corantes** – Caruaru, PE:FACEPE, 2012.

PIOVESAN, A. Z. **Estudo sobre a influência da adição de pigmentos em propriedades de durabilidade e na cromaticidade do concreto de cimento Portland branco**. Dissertação (mestrado), 2009. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre, RS.

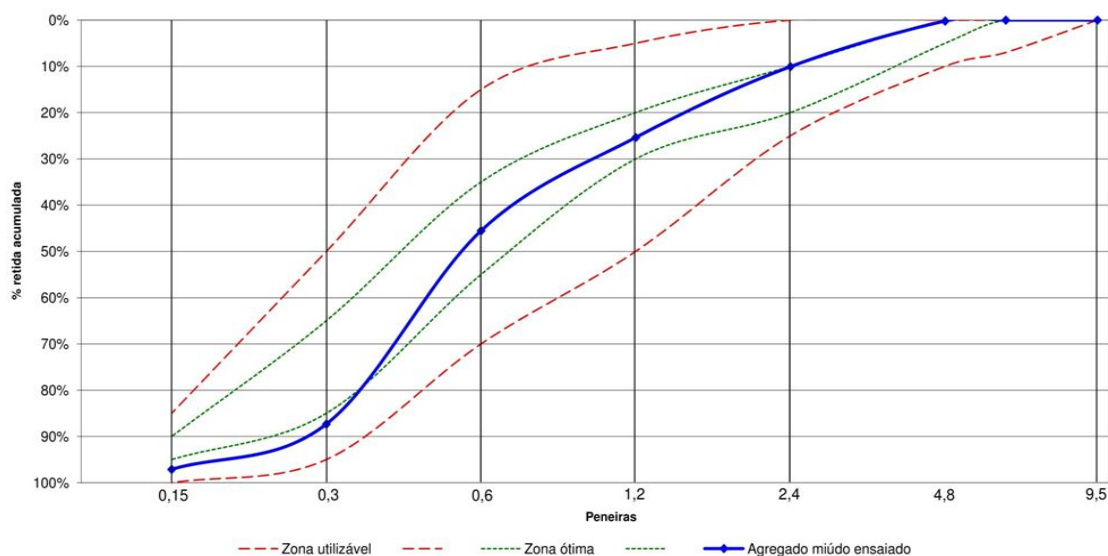
WATANABE, P. S. **Concretos especiais – propriedades, Materiais e aplicações** – Bauru, SP: UNESP, 2008.

APÊNDICE A - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO (NBRNM248/2003)

Peneiras	1ª Determinação			2ª Determinação			% Retida Individual	% Retida Acumulada
	Massa Retida (g)	% Retida Individual	% Retida Acumulada	Massa Retida (g)	% Retida Individual	% Retida Acumulada		
9,50 mm	0,0	0,0%	0,0%	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6,30 mm	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4,80 mm	0,7	0,1%	0,1%	1,3	0,3%	0,3%	0,2%	0,2%
2,40 mm	49,0	9,8%	9,9%	49,5	9,9%	10,2%	9,9%	10,1%
1,20 mm	75,2	15,0%	25,0%	78,0	15,6%	25,8%	15,3%	25,4%
0,60 mm	105,6	21,1%	46,1%	96,0	19,2%	45,0%	20,2%	45,5%
0,30 mm	199,1	39,8%	85,9%	218,9	43,8%	88,7%	41,8%	87,3%
0,15 mm	57,5	11,5%	97,4%	40,3	8,1%	96,8%	9,8%	97,1%
Fundo	14,3	2,9%	100,3%	14,5	2,9%	99,7%	2,9%	100,0%
Total	501,4	100,3%	364,8%	498,5	99,7%	366,4%	100,0%	365,6%
Dif. Amost.	0,3%	OK		0,3%	OK		Validação:OK	
Módulo de finura	2,65			2,67			Validação:OK	

Modulo de finura médio: 2,66

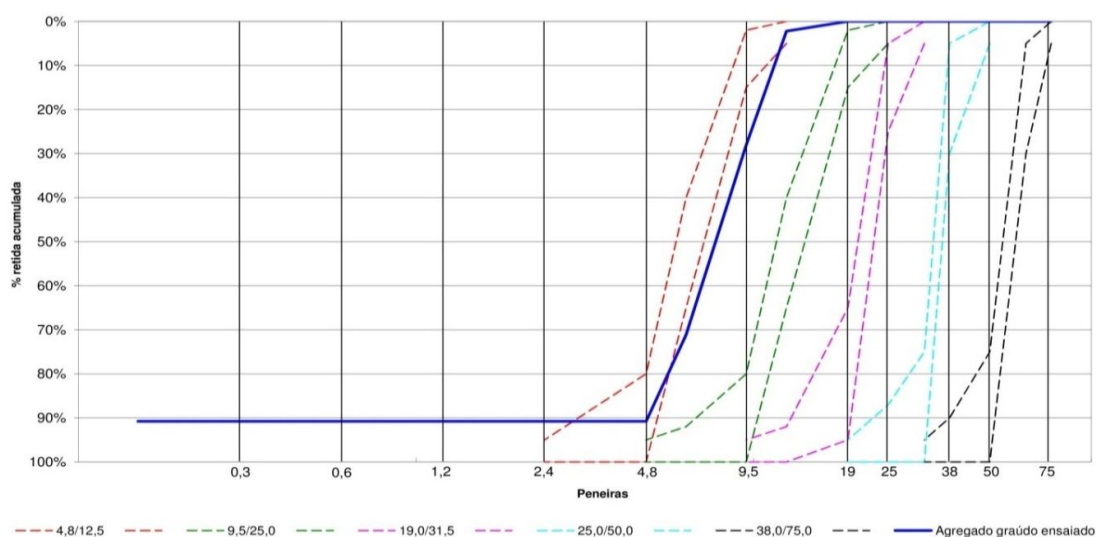
Dimensão máxima característica: 4,8 mm



APÊNDICE B - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO (NBRNM248/2003)

Peneiras	1ª Determinação			2ª Determinação			% Retida Individual	% Retida Acumulada
	Massa Retida (g)	% Retida Individual	% Retida Acumulada	Massa Retida (g)	% Retida Individual	% Retida Acumulada		
76,00 mm	0,0	0,0%	0,0%	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
64,00 mm	0,0	0,0%	0,0%	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
50,00 mm	0,0	0,0%	0,0%	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
38,00 mm	0,0	0,0%	0,0%	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
25,00 mm	0,0	0,0%	0,0%	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
19,00 mm	0,0	0,0%	0,0%	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
12,50 mm	111,4	2,2%	2,2%	111,4	2,2%	2,2%	2,2%	2,2%
9,50 mm	1293,0	25,9%	28,1%	1293,0	25,9%	28,1%	25,9%	28,1%
6,30 mm	2153,9	43,1%	71,2%	2153,9	43,1%	71,2%	43,1%	71,2%
4,80 mm	980,5	19,6%	90,8%	980,5	19,6%	90,8%	19,6%	90,8%
2,40 mm	0,0	0,0%	90,8%	0,0	0,0%	90,8%	0,0%	90,8%
1,20 mm	0,0	0,0%	90,8%	0,0	0,0%	90,8%	0,0%	90,8%
0,60 mm	0,0	0,0%	90,8%	0,0	0,0%	90,8%	0,0%	90,8%
0,30 mm	0,0	0,0%	90,8%	0,0	0,0%	90,8%	0,0%	90,8%
0,15 mm	0,0	0,0%	90,8%	0,0	0,0%	90,8%	0,0%	90,8%
Fundo	459,9	92,0%	100%	459,9	92,0%	100%	92,0%	100%
Total	4998,7	100,0%	746%	4998,7	100,0%	746%	100,0%	746%
Dif. Amost.	0,0%	OK		0,0%	OK		Validação:OK	
Módulo de finura	5,73			5,73			Validação:OK	

Modulo de finura médio:	5,73
Dimensão máxima característica:	12,5 mm



APÊNDICE C - Ensaio de caracterização do concreto – absorção de água por capilaridade (NBR 9779, 1995)

Tabela 13: Absorção de água por capilaridade – resultados individuais

Traço	a/c	CP	Absorção de água por capilaridade, em g/cm ²				
			Após 3h	Após 6h	Após 24h	Após 48h	Após 72h
			180 min	360 min	1440 min	2880 min	4320 min
T1	0,50	1	0,34	0,46	0,85	1,05	1,14
T1	0,50	2	0,24	0,38	2,05	2,23	2,31
T1	0,50	3	0,29	0,41	1,46	1,77	1,84
Coeficiente de variação (%)			16,21	9,24	41,50	35,21	33,27
T2	0,55	1	0,93	1,17	1,33	1,73	1,86
T2	0,55	2	0,36	0,52	1,04	1,38	1,57
T2	0,55	3	0,26	0,66	0,94	1,10	1,54
Coeficiente de variação (%)			70,09	43,58	18,04	22,52	10,77
T3	0,60	1	0,93	0,96	1,10	1,17	1,30
T3	0,60	2	0,65	0,80	0,94	1,20	1,37
T3	0,60	3	0,29	0,41	0,82	1,10	1,25
Coeficiente de variação (%)			51,95	39,37	14,81	4,52	4,78

Tabela 14: Absorção de água por capilaridade – médias dos CP's

Traço	a/c	Absorção de água por capilaridade, em g/cm ² - média.				
		Após 3h	Após 6h	Após 24h	Após 48h	Após 72h
		180 min	360 min	1440 min	2880 min	4320 min
T1	0,50	0,29	0,42	1,45	1,68	1,76
T2	0,55	0,62	0,72	0,95	1,16	1,31
T3	0,60	0,52	0,78	1,10	1,40	1,66

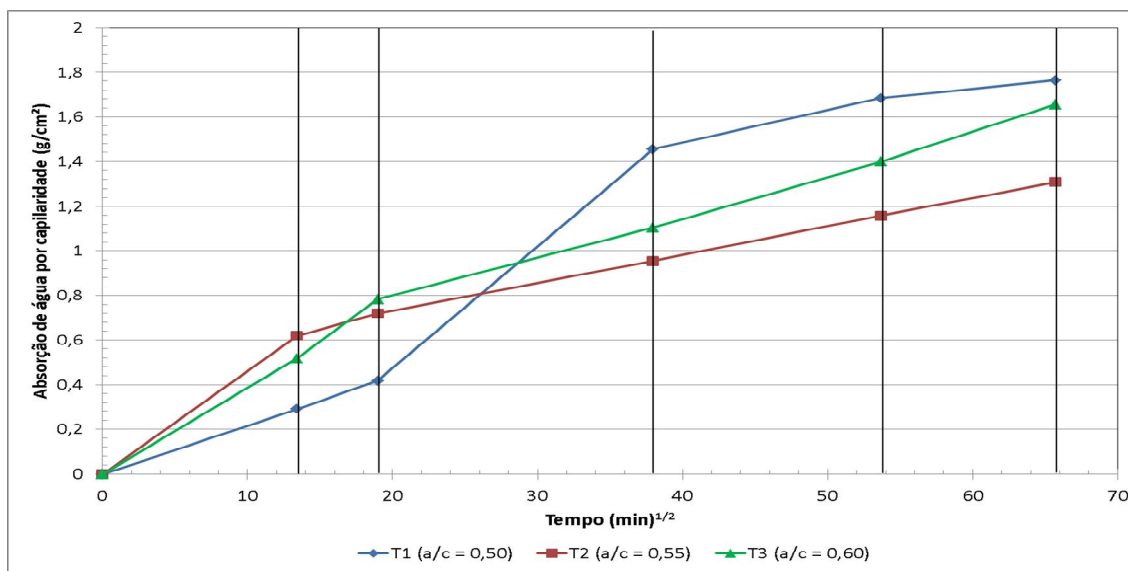


Figura 27: Absorção de água por capilaridade (média) – traços T1,T2 e T3

APÊNDICE D - Evolução do surgimento da eflorescência ao longo dos ciclos de exposição

Tabela 15: Ciclos de exposição – área eflorescida (sem película de barreira, SB)

Ciclo	% de Área Eflorescida								
	SBT1A	SBT1B	SBT1C	SBT2A	SBT2B	SBT2C	SBT3A	SBT3B	SBT3C
1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2	0,10%	0,00%	0,57%	0,07%	0,18%	1,43%	0,00%	0,28%	0,00%
3	0,10%	0,01%	0,57%	1,13%	1,48%	5,57%	0,00%	0,75%	0,46%
4	0,11%	0,06%	0,65%	1,27%	1,54%	5,60%	0,11%	0,78%	2,05%
5	0,11%	0,14%	0,91%	1,27%	1,72%	6,30%	0,12%	1,11%	2,05%
6	0,17%	0,20%	1,06%	4,14%	1,72%	7,00%	0,15%	1,11%	2,05%
7	0,18%	0,30%	1,06%	4,14%	1,72%	9,68%	0,19%	1,17%	2,05%
8	0,20%	0,37%	1,06%	4,69%	1,72%	10,03%	0,19%	1,29%	2,05%
9	0,22%	0,37%	1,06%	5,04%	2,52%	10,03%	0,20%	1,29%	2,05%
10	0,22%	0,37%	1,06%	5,12%	2,85%	10,22%	0,22%	1,29%	2,05%
11	0,22%	0,37%	1,25%	5,37%	2,85%	10,25%	0,24%	1,29%	2,05%
12	0,23%	0,37%	1,25%	5,37%	3,40%	14,41%	0,25%	1,29%	2,05%
13	0,24%	0,37%	1,25%	5,37%	3,51%	20,78%	0,31%	19,42%	2,05%
14	1,38%	1,07%	1,29%	7,36%	6,56%	21,76%	4,90%	26,41%	2,82%
15	1,55%	1,20%	5,20%	7,47%	6,97%	22,32%	15,26%	33,40%	2,89%
16	1,74%	1,76%	5,63%	7,48%	13,45%	22,74%	19,32%	33,40%	3,62%
17	1,90%	2,05%	6,06%	7,68%	13,66%	22,74%	23,22%	34,34%	4,11%
18	1,90%	2,05%	6,54%	8,18%	13,72%	23,21%	27,11%	34,34%	5,55%
19	2,70%	4,68%	7,59%	8,63%	13,79%	24,29%	28,53%	34,45%	7,59%
20	2,97%	5,24%	8,64%	10,20%	17,48%	24,62%	33,70%	34,59%	8,45%

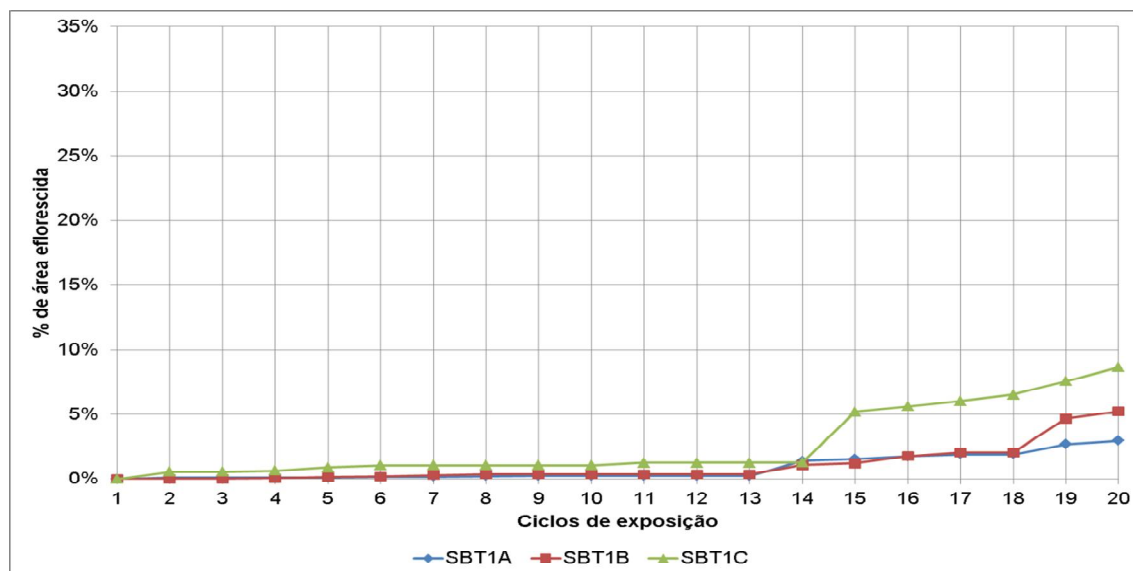


Figura 28: Velocidade de formação da eflorescência (%/ciclo) da série SBT1

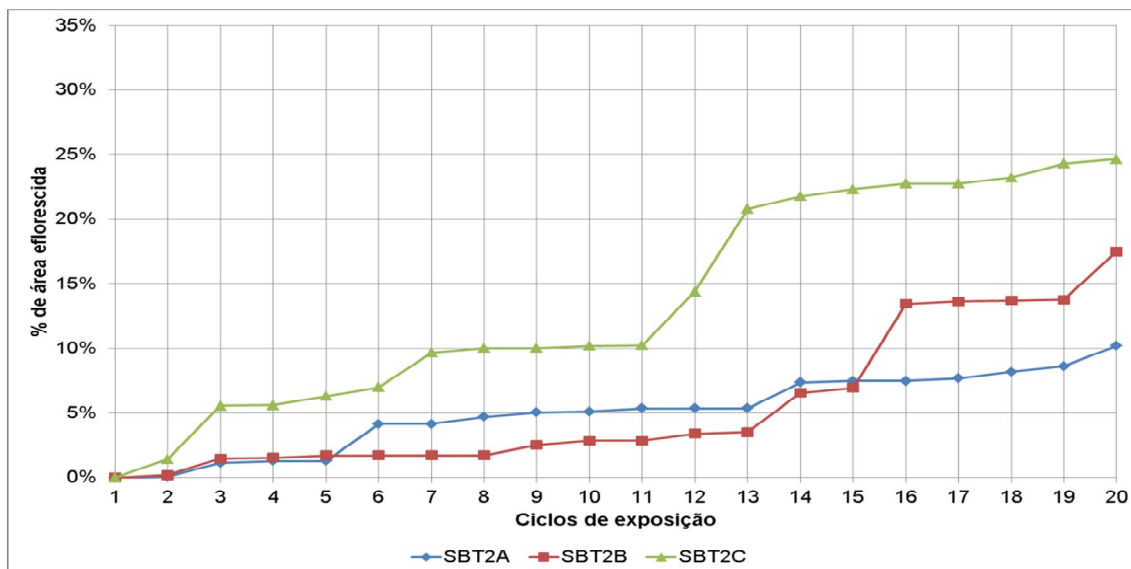


Figura 29: Velocidade de formação da eflorescência (%/ciclo) da série SBT2

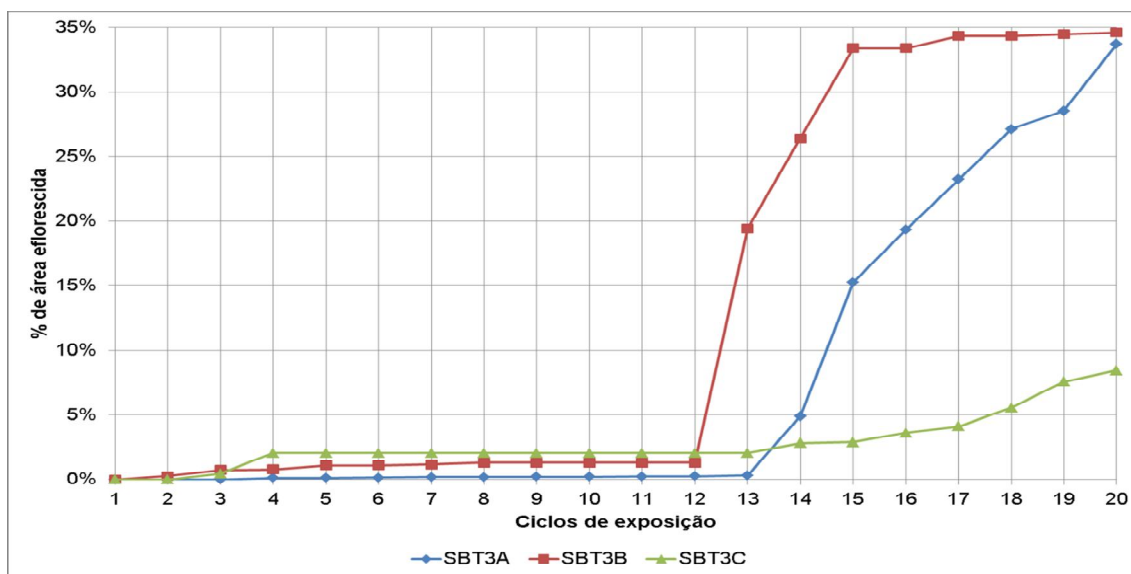


Figura 30: Velocidade de formação da eflorescência (%/ciclo) da série SBT3

Tabela 16: Média das áreas eflorescidas (sem película de barreira, SB)

Ciclo	% de Área Eflorescida - Média das Séries		
	SBT1	SBT2	SBT3
1	0,00%	0,00%	0,00%
2	0,23%	0,56%	0,09%
3	0,23%	2,73%	0,40%
4	0,27%	2,80%	0,98%
5	0,38%	3,10%	1,09%
6	0,47%	4,28%	1,10%
7	0,51%	5,18%	1,13%
8	0,54%	5,48%	1,18%
9	0,55%	5,87%	1,18%
10	0,55%	6,06%	1,19%
11	0,61%	6,16%	1,19%
12	0,61%	7,73%	1,20%
13	0,62%	9,89%	7,26%
14	1,24%	11,89%	11,38%
15	2,65%	12,25%	17,18%
16	3,04%	14,55%	18,78%
17	3,34%	14,69%	20,56%
18	3,50%	15,04%	22,33%
19	4,99%	15,57%	23,53%
20	5,62%	17,43%	25,58%

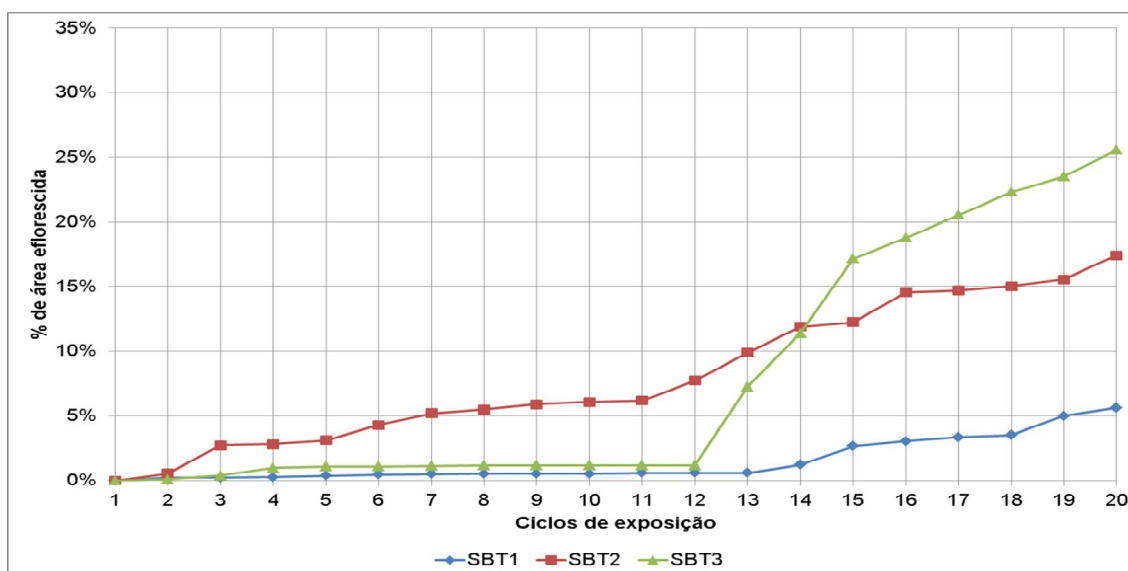
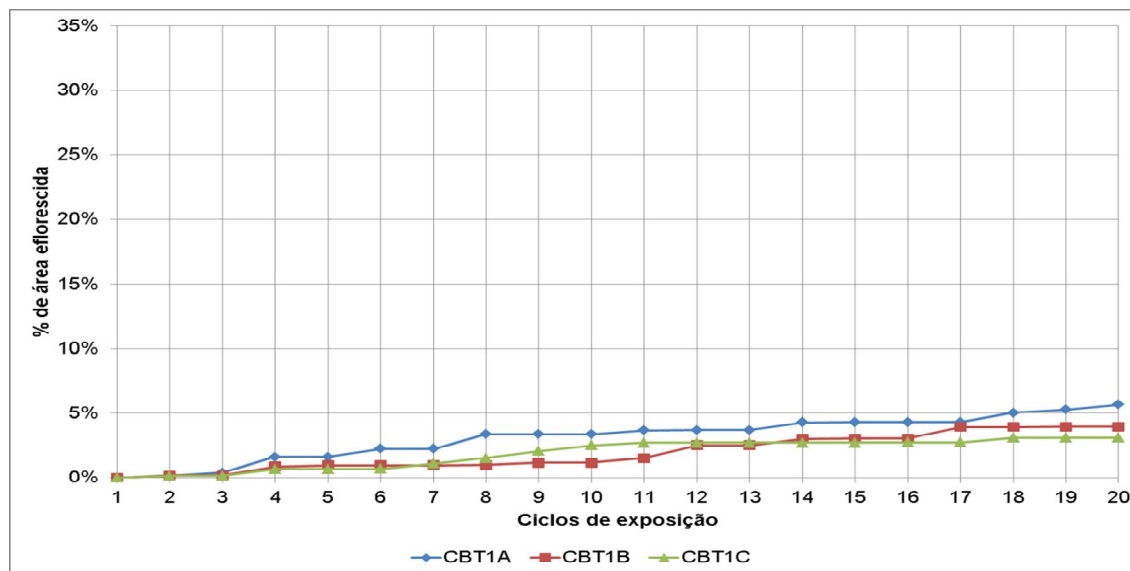
**Figura 31:** Velocidade média de formação da eflorescência (%/ciclo) da série SB

Tabela 17: Ciclos de exposição – área eflorescida (com película de barreira, CB)

Ciclo	% de Área Eflorescida								
	CBT1A	CBT1B	CBT1C	CBT2A	CBT2B	CBT2C	CBT3A	CBT3B	CBT3C
1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2	0,15%	0,20%	0,14%	0,44%	1,84%	2,63%	3,29%	0,96%	0,80%
3	0,41%	0,20%	0,14%	1,48%	2,74%	3,21%	5,49%	1,64%	1,15%
4	1,62%	0,87%	0,68%	1,48%	2,93%	3,31%	6,12%	1,65%	1,15%
5	1,62%	0,97%	0,68%	1,95%	3,29%	3,74%	6,28%	2,55%	1,39%
6	2,25%	0,97%	0,69%	2,59%	3,84%	3,84%	6,28%	2,55%	1,49%
7	2,25%	0,98%	1,11%	3,19%	4,41%	4,36%	7,64%	2,92%	3,03%
8	3,36%	0,98%	1,53%	3,32%	4,42%	4,57%	8,01%	3,39%	3,27%
9	3,36%	1,17%	2,08%	4,14%	4,71%	5,46%	8,02%	3,50%	3,71%
10	3,36%	1,17%	2,52%	4,73%	4,81%	5,46%	8,46%	3,80%	3,78%
11	3,68%	1,53%	2,72%	6,31%	4,82%	6,15%	8,46%	3,99%	3,83%
12	3,70%	2,51%	2,72%	6,46%	4,84%	6,30%	8,46%	4,50%	3,83%
13	3,70%	2,52%	2,72%	6,53%	4,92%	6,47%	9,13%	4,68%	3,83%
14	4,31%	3,02%	2,73%	7,03%	5,21%	6,47%	9,64%	4,69%	3,84%
15	4,31%	3,02%	2,73%	7,04%	5,39%	6,49%	9,73%	6,94%	3,84%
16	4,32%	3,03%	2,74%	7,41%	5,41%	6,50%	10,01%	7,53%	3,84%
17	4,32%	3,94%	2,74%	7,41%	6,13%	6,50%	10,96%	7,54%	4,01%
18	5,02%	3,95%	3,09%	8,59%	6,14%	6,52%	10,97%	7,71%	4,02%
19	5,28%	3,96%	3,10%	8,85%	6,17%	7,31%	11,04%	7,72%	4,40%
20	5,68%	3,96%	3,10%	9,62%	6,18%	7,89%	12,95%	7,94%	4,72%

**Figura 32:** Velocidade de formação da eflorescência (%/ciclo) da série CBT1

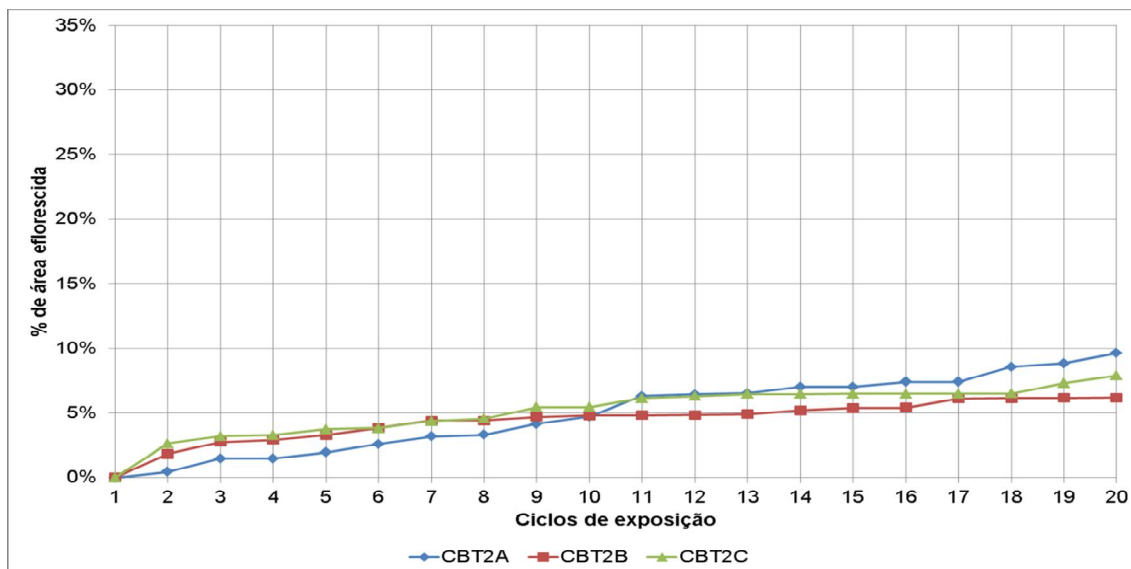


Figura 33: Velocidade de formação da eflorescência (%/ciclo) da série CBT2

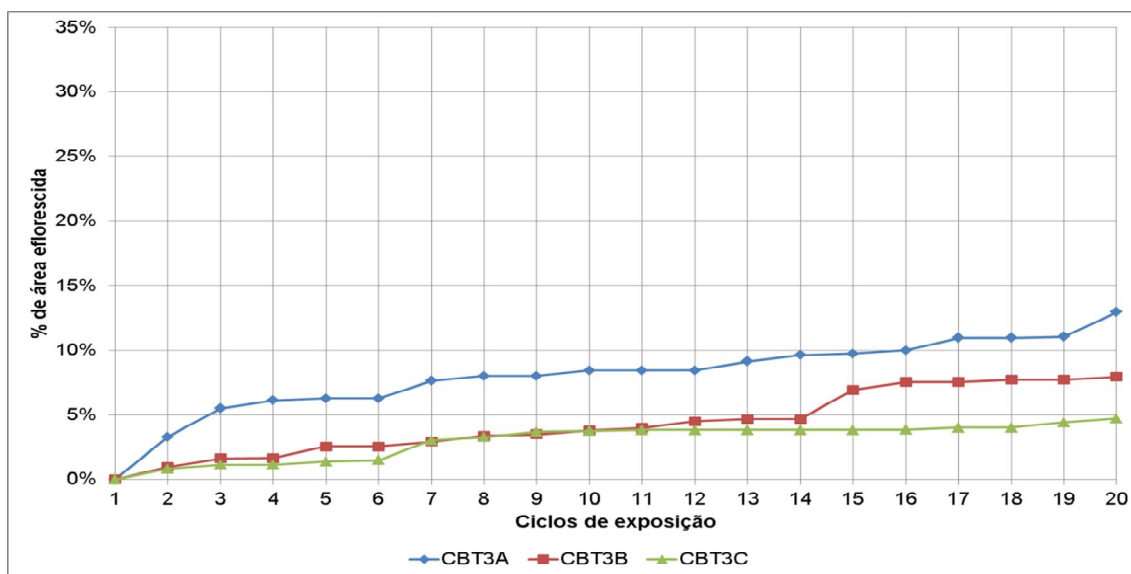
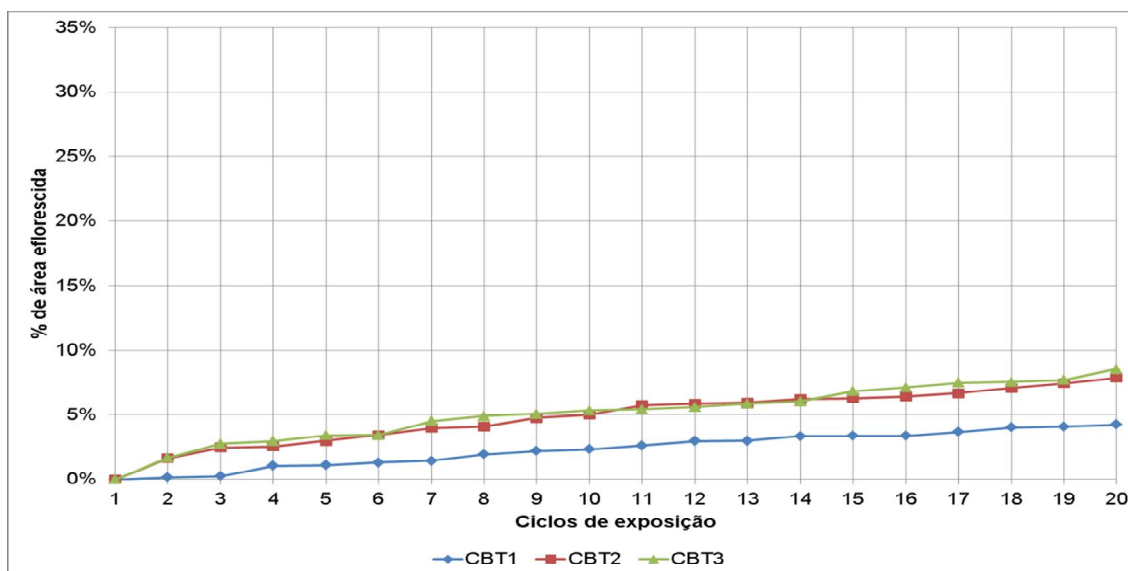


Figura 34: Velocidade de formação da eflorescência (%/ciclo) da série CBT3

Tabela 18: Média das áreas eflorescidas (com película de barreira, CB)

Ciclo	% de Área Eflorescida - Média das Séries		
	CBT1	CBT2	CBT3
1	0,00%	0,00%	0,00%
2	0,16%	1,64%	1,68%
3	0,25%	2,48%	2,76%
4	1,06%	2,57%	2,98%
5	1,09%	2,99%	3,40%
6	1,30%	3,42%	3,44%
7	1,44%	3,98%	4,53%
8	1,96%	4,10%	4,89%
9	2,20%	4,77%	5,08%
10	2,35%	5,00%	5,34%
11	2,64%	5,76%	5,43%
12	2,98%	5,87%	5,60%
13	2,98%	5,98%	5,88%
14	3,35%	6,24%	6,05%
15	3,36%	6,30%	6,84%
16	3,36%	6,44%	7,13%
17	3,67%	6,68%	7,50%
18	4,02%	7,09%	7,57%
19	4,11%	7,44%	7,72%
20	4,25%	7,90%	8,54%

**Figura 35:** Velocidade média de formação da eflorescência (%/ciclo) da série CB

APÊNDICE F – Relatório de ensaio de absorção de água por imersão

Tabela 20: Resultados da massa seca e saturada das amostras

Traço	Relação a/c	Massa seca (g) - Média			Massa saturada (g) - Média		
		CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
T1	0,5	3573,3	3573,3	3530,0	3759,1	3761,5	3732,6
T2	0,55	3463,0	3453,0	3485,0	3673,6	3670,3	3694,0
T3	0,6	3471,9	3463,5	3517,8	3678,1	3670,1	3712,5

Tabela 21: Índice de absorção de água

CP	Absorção de água por imersão (%)		
	Relação a/c		
	0,5	0,55	0,6
1	5,20	5,94	6,08
2	5,27	5,97	6,29
3	5,74	5,53	6,00
Coef. de Var.	5,4%	4,2%	2,5%

Tabela 22: Teor de umidade dos corpos de prova ao longo do tempo (%)

Traços		Tempo (min)		
		1440	2880	4320
		Tempo (min ^{1/2})		
		37,95	53,67	65,73
T1	CP1	3,62%	4,64%	5,71%
	CP2	3,96%	5,01%	5,49%
	CP3	4,46%	5,33%	5,78%
T2	CP1	4,80%	5,43%	5,65%
	CP2	4,86%	5,63%	6,00%
	CP3	4,08%	4,99%	5,58%
T3	CP1	4,58%	5,45%	6,08%
	CP2	4,60%	5,48%	6,32%
	CP3	4,43%	5,71%	5,98%

Tabela 23: Teor de umidade dos corpos de prova ao longo do tempo – média por relação a/c (%)

Relação a/c	Tempo (min)		
	1440	2880	4320
	Tempo ($\text{min}^{1/2}$)		
	37,95	53,67	65,73
0,5	4,01%	4,99%	5,66%
0,55	4,41%	5,25%	5,64%
0,6	4,71%	5,46%	5,81%

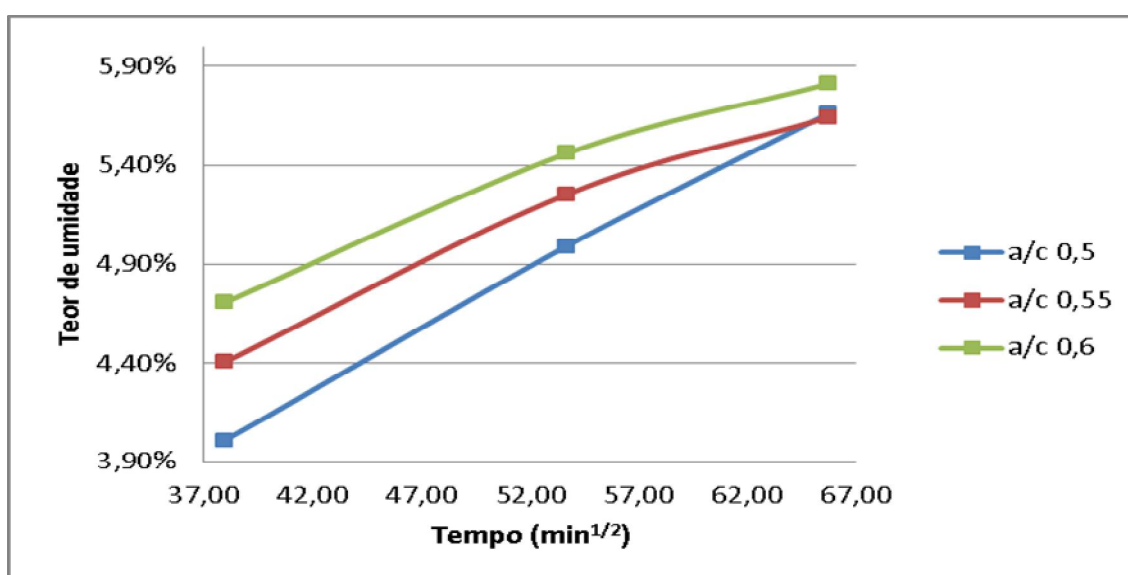


Figura 36: Absorção de água ao longo do tempo