



**ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DO TIPO DE CIMENTO UTILIZADO
EM ARGAMASSAS DE EMBOÇO COM RELAÇÃO À FORMAÇÃO
SUPERFICIAL DE EFLORESCÊNCIA**

CURITIBA
2020



ELTON TIAGO NEUMANN DA SILVA
LUIZA DE PAULA SOARES GRECA
NICOLE DA SILVA BARBOSA

**ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DO TIPO DE CIMENTO UTILIZADO
EM ARGAMASSAS DE EMBOÇO COM RELAÇÃO À FORMAÇÃO
SUPERFICIAL DE EFLORESCÊNCIA**

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

Orientador: Prof. Msc. Luís César De Luca.

CURITIBA
2020

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Msc. Luís César De Luca pela orientação e desenvolvimento deste trabalho.

À Prof. Dr^a Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa pela confiança, orientação e suporte para realização deste estudo.

À Engenheira Civil Ana Carolina Schreiner pela orientação na execução das amostras e do ensaio acelerado de eflorescência.

Ao Msc. em Ciência da Computação Renan Domingos Merlin Greca pelo desenvolvimento do programa para o levantamento quantitativo das eflorescências nas pastilhas de argamassas.

Ao Laboratório Central do Estado (LACEN) da Pontifícia Universidade Católica do Paraná sob a coordenação do Prof. Dr. Paulo Cesar Soares Junior pela realização dos ensaios DRX e de microscopia eletrônica.

Ao Laboratório de Tecnologia de Argamassas (LATECA) do Departamento de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná por ter cedido o espaço e equipamentos para execução das amostras.

RESUMO

As estruturas cimentícias das edificações estão sujeitas a várias manifestações patológicas, sendo a eflorescência uma das mais encontradas. Esta formação causa prejuízos estéticos, econômicos e ambientais às construções. Desta forma, é de elevada importância realizar estudos para minimizar ou eliminar a formação deste fenômeno. Este trabalho objetivou analisar a interferência do tipo de cimento utilizado em argamassas de emboço no surgimento de eflorescências. Para tanto, foi desenvolvido um programa experimental com a execução de pastilhas de argamassas com os cimentos CP II F 32, CP III 40 RS e CP IV 32, as quais foram expostas ao ensaio acelerado de eflorescência e à comparação quantitativa desta formação através de programa de pontos de pixel. Para análise qualitativa dos cristais formados no material de eflorescência foram realizados ensaios de difração de raio X e microscopia eletrônica por varredura. Ao final dos testes, com o ensaio de DRX foi observada a presença de carbonato de cálcio no material esbranquiçado de eflorescência formado nas pastilhas, porém nas compostas pelos cimentos CP III 40 RS e CP IV 32 apresentaram menor área desta formação. No ensaio de microscopia eletrônica observou-se os cristais resultantes do processo de hidratação do cimento (Hidróxido de Cálcio, Silicato de Cálcio Hidratado) e a presença do Carbonato de Cálcio no material de eflorescência (sendo este visível somente na pastilha composta com o cimento CP II F 32).

Palavras chave: Eflorescência, argamassa, cimento Portland composto com Fíler, cimento Portland de alto forno, cimento Portland pozolânico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática do processo de fabricação do cimento Portland (GOBBO, 2009, p. 08).....	19
Figura 2. Desenho esquemático da produção de escória de alto forno (CELLA <i>et al.</i> , 1999 <i>apud</i> GOBBO <i>et al.</i> , 2009, p. 16)	21
Figura 3. Teor de Hidróxido de Cálcio (MEHTA e MONTEIRO, 2008, p. 241).....	27
Figura 4. Eflorescência: cristalização dos sais solúveis na superfície da argamassa (FERREIRA, 2010, p. 94)	38
Figura 5. Difração de raios X e equação de Bragg	51
Figura 6. Fluxograma do programa experimental (OS AUTORES, 2019).....	53
Figura 7. Linha Cronológica. Os autores (2019)	55
Figura 8. Pastilhas (OS AUTORES, 2019).....	57
Figura 9. Separação e pesagem dos materiais. Os autores (2018)	58
Figura 10. Mistura dos materiais. Os autores (2018).....	59
Figura 11. Moldagem dos corpos de prova. Os autores (2018).....	60
Figura 12. Pastilhas prontas para secagem. Os autores (2018).....	60
Figura 13. Lixamento e aplicação de selante. Os autores (2018)	61
Figura 14. Ensaio acelerado de eflorescência – tentativa do ensaio do “POTE”. Os autores (2018).....	62
Figura 15. Ensaio acelerado de eflorescência - ensaio do "COPO". Os autores (2018)	63
Figura 16. Ensaio acelerado de eflorescência - ensaio do "COPO". Os autores (2018)	64
Figura 17. Tratamento das Imagens - CP II F 32. Os autores (2018).....	65
Figura 18. Tratamento das Imagens - CP III 40 RS. Os autores (2018)	66
Figura 19. Tratamento das Imagens - CP IV 32. Os autores (2018)...	66

Figura 20. Aparelho difratômetro de Raio X. Os autores (2019)	67
Figura 21. Testemunhos para visualização microscópica. Os autores (2019).....	70
Figura 22. Equipamento utilizado para recobrimento com deposição metálica sobre as amostras não condutoras. Fonte: Os autores (2019).....	70
Figura 23. Microscópio eletrônico por varredura (MEV). Os autores (2019).....	71
Figura 24. Quantificação da área de eflorescência. Os autores (2019)	72
Figura 25. Difratoograma pastilha 2 – CP II F 32. Os autores (2019)..	75
Figura 26. Difratoograma pastilha 4 – CP III 40 RS. Os autores (2019)	75
Figura 27. Difratoograma da pastilha 5 – CP IV 32. Os autores (2019)	76
Figura 28. Micrografia do material da eflorescência da pastilha 1 – CP II F 32. Os autores (2019).....	77
Figura 29. Micrografia do material da eflorescência da pastilha 3 – CP III 40 RS. Os autores (2019).....	78
Figura 30. Micrografia do material da eflorescência da pastilha 6 – CP IV 32. Os autores (2019)	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa) (NBR 16697:2018, p.5).	20
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 01. Natureza química das eflorescências (BAUER, 1994).....	42
Quadro 02. Traço utilizado para confecção das pastilhas de argamassas (OS AUTORES, 2019)	57
Quadro 03. Amostras do ensaio de DRX (OS AUTORES, 2019)	68

LISTA DE SIGLAS

ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland

DRX - Difração de Raio X

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	3
RESUMO	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS.....	7
LISTA DE QUADROS	7
LISTA DE SIGLAS.....	7
SUMÁRIO.....	8
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	12
1.2. OBJETIVO GERAL	12
1.3. HIPÓTESE.....	12
1.4. JUSTIFICATIVA.....	12
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	14
1.6. LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	15
1.7. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1. CIMENTO.....	17
2.1.1. Adições.....	19
2.1.1.1. Gesso	20
2.1.1.2. Escória	21
2.1.1.3. Pozolanas	22
2.1.1.4. Materiais carbonáticos.....	23
2.1.2. Cimento Portland composto com Fíler	23
2.1.3. Cimento Portland de Alto Forno	23
2.1.4. Cimento Portland Pozolânico.....	24
2.1.5. Reação de Hidratação do Cimento	24
2.1.6. Reações Cimentícias da Escória de Alto Forno	25
2.1.7. Reação Pozolânica.....	26

2.1.8.	Reações de Cal	28
2.2.	ARGAMASSA.....	29
2.2.1.	Funções e propriedades das argamassas de revestimento	30
2.2.1.1.	Propriedade de trabalhabilidade	31
2.2.1.2.	Propriedade de plasticidade.....	31
2.2.1.3.	Propriedade de consistência	32
2.2.1.4.	Propriedade retenção de água.....	32
2.2.1.5.	Propriedade de retração	33
2.2.1.6.	Propriedade de aderência.....	33
2.2.1.7.	Capacidade de deformação.....	33
2.2.1.8.	Propriedade de permeabilidade	34
2.2.1.9.	Propriedade de resistência mecânica	34
2.2.2.	Mecanismos de Transporte de Umidade nos Materiais	35
2.2.3.	Classificação dos Revestimentos	35
2.2.3.1.	Chapisco	36
2.2.3.2.	Emboço.....	36
2.2.3.3.	Reboco	37
2.2.3.4.	Massa Única	37
2.2.3.5.	Acabamento Decorativo	38
2.3.	EFLORESCÊNCIA.....	38
2.3.1.	Tipos de Eflorescências.....	40
2.3.2.	Causas.....	43
2.3.3.	Precauções para evitar a Eflorescência	44
2.4.	CARBONATAÇÃO	45
2.5.	ENSAIOS DE AVALIAÇÃO	47
2.5.1.	Ensaio Acelerado de Eflorescência	47
2.5.2.	Ensaio de Levantamento de Áreas e Percentual de Eflorescência	
	49	
2.5.3.	Ensaio de Difração de Raio-X.....	50
2.5.4.	Ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura.....	51

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	53
3.1 LINHA CRONOLÓGICA DO EXPERIMENTO	54
3.1. MATERIAIS E MÉTODOS	55
3.1.1. Características dos Materiais Empregados.....	56
3.1.2. Métodos	56
3.1.2.1. Moldagem das Pastilhas	56
3.1.2.2. Ensaio Acelerado de Eflorescência	61
3.1.2.3. Levantamento das Áreas e Percentuais de Eflorescências	65
3.1.2.4. Ensaio de Difração de Raio X	67
3.1.2.5. Ensaio de Microscopia Eletrônica por Varredura	69
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	72
4.1. ÁREA E PERCENTUAL DE EFLORESCÊNCIA.....	72
4.2. ENSAIO DE DIFRAÇÃO DE RAIO-X.....	74
4.3. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	77
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	80
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
5.2. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	82

1.INTRODUÇÃO

O presente estudo tem como temática principal analisar a formação de eflorescência em argamassas de emboço compostas por três tipos de cimento e as possíveis interferências decorrentes das diferentes composições e reações químicas após hidratação do material.

As edificações estão sujeitas a manifestações patológicas durante sua vida útil. Esses problemas são desencadeados por alguns motivos: falhas em projetos, ineficiência nos métodos construtivos de execução e demolição, cargas excessivas, condições de exposição e ausência de manutenção preventiva (VIEGAS, 2008).

A fachada de um edifício é o elemento mais afetado pela deficiência em manutenções preventivas, principalmente quando ela é projetada e construída sob parâmetros de desempenho e durabilidade ineficazes, e executada fora das normas vigentes (VIEGAS, 2008).

Uma das manifestações patológicas comuns em fachadas é a eflorescência. De acordo com Bauer (1997), as eflorescências são depósitos de sais na superfície de alvenarias e/ou revestimentos provenientes da percolação dos sais solúveis.

De acordo com Moraes e Resende (2000), a eflorescência em geral é causada pela combinação de alguns fatores, como: a existência de água nos materiais da fachada, pressão hidrostática ou evaporação de sais solúveis nas argamassas de emboço e de assentamento de revestimentos e alvenarias.

A eflorescência surge devido a um processo químico entre o cimento utilizado na argamassa e a água, resultando em uma base de solubilidade média através da formação de até 30% do hidróxido de cálcio, dependendo do tipo de cimento utilizado (YAZIGI, 2009).

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

O tipo de cimento utilizado na composição da argamassa de emboço influencia na formação de eflorescência?

1.2. OBJETIVO GERAL

Analisar a interferência do tipo de cimento utilizado em argamassas de emboço no surgimento de eflorescências, através de suas características físicas, da sua quantificação visual e computacional, e da composição química destas manifestações patológicas.

1.3. HIPÓTESE

Pressupõe-se que há uma maior quantidade de formação de eflorescência nas argamassas compostas com cimento Portland composto com fíler em comparação com o cimento Portland pozolânico e cimento Portland de alto forno, em função de suas composições e reações químicas após hidratação.

1.4. JUSTIFICATIVA

As edificações são suportes físicos para a realização direta ou indireta de todas as atividades produtivas e possuem um valor social fundamental.

Contudo, elas apresentam uma característica que as diferenciam de outros produtos: elas são construídas para atender seus usuários durante muitos anos e, ao longo deste tempo, devem apresentar condições adequadas ao uso que se destinam, resistindo aos agentes ambientais e de uso que alterem suas propriedades técnicas iniciais (NBR 5674:2012).

Desde a década de 60, em países desenvolvidos, a definição de desempenho de uma construção está associada ao comportamento da mesma quando está em utilização. O edifício é um produto que deve apresentar determinadas características que o capacitem a cumprir os objetivos e as atribuições para os quais foi projetado, quando submetido a determinadas condições de exposição e de uso. Tal conceito se aplica de maneira ampla na indústria da construção, focando quase sempre no desempenho-alvo requerido para os processos de negócio e no atendimento às necessidades dos usuários ao longo do ciclo de vida das construções (BORGES, 2008).

As edificações apresentam variados tipos de manifestações patológicas, uma delas é a eflorescência. De acordo com Burin (2009), o aparecimento de manifestações patológicas em fachadas ocorre devido à ausência de projetos, à falta de controle de qualidade de materiais, mão de obra ineficiente e curto prazo no cronograma de obras.

De acordo com Silva (2011), os contínuos retrabalhos ocasionados pela eflorescência em fachadas prediais, resultam na geração de resíduos da construção civil quando reparados em seus estados mais críticos.

Neste caso, as perdas geradas englobam desperdícios de materiais e geração de custos adicionais à tarefa de retrabalho, gerando resíduos mais conhecidos como entulhos (CAMENAR & SCHEID, 2016).

A argamassa é um produto muito utilizado na indústria da construção civil, tanto em novas construções como na recuperação e reabilitação de edificações existentes. Devido ao seu elevado consumo e aspecto técnico e econômico, é de extrema importância a utilização de medidas a fim de reduzir o

impacto ambiental das argamassas, aumentando a sua sustentabilidade (FARIA, 2012).

A utilização de cimentos que contêm adições contribui consideravelmente para a economia e diretamente para o meio ambiente. Os cimentos compostos têm menor consumo de clínquer, mantendo ou aumentando a resistência mecânica e melhorando a durabilidade do material. Os materiais pozolânicos são energeticamente mais econômicos que o clínquer do cimento Portland. O uso de pozolanas gera implicações ecológicas, contribuindo com o aproveitamento dos resíduos industriais poluidores, como é o caso das cinzas volantes transportadas pelos gases de exaustão das termelétricas, da microssilica oriunda das indústrias de ferro-silício e silício metálico. (ZAMPIERI, 1989).

De acordo com Torres (2007), a utilização de argamassas corretas acarreta em reduções com gastos em recuperação e manutenções prediais.

Assim, deve-se existir a conscientização dos envolvidos no processo construtivo, visando um desenvolvimento mais sustentável, através da redução o impacto entorno da obra e dos custos de construção, gerado pela diminuição de desperdício de matéria-prima (SILVA, 2011).

O presente trabalho visa reforçar a partir dos experimentos e seus resultados, que a utilização de materiais adequados na composição de argamassas de emboço reduz a formação de eflorescência trazendo melhorias significativas aos processos construtivos.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia utilizada neste trabalho é a pesquisa experimental. De acordo com Gil (2007), este modelo de pesquisa tem como objetivo submeter um

objeto de estudo a variáveis capazes de influenciá-lo, e estabelecer as formas de controle e de análise dos resultados que estas variáveis produzem sobre o objeto.

A abordagem adotada para esta pesquisa é quantitativa e qualitativa, com a finalidade de definir os materiais, examiná-los em laboratório, e levantar as áreas de eflorescências, bem como analisar os resultados obtidos.

O programa experimental foi constituído basicamente das seguintes etapas:

- a) Determinar os materiais utilizados na pesquisa: areia, cal, pó xadrez, água, cimento Portland comum com fíler, cimento Portland com escória de alto forno e cimento Portland pozolânico;
- b) Definir o traço utilizado para montagem das pastilhas de argamassa;
- c) Montar as pastilhas;
- d) Executar o ensaio acelerado de eflorescência, com o objetivo de estimular em pouco tempo a formação deste fenômeno nas pastilhas;
- e) Registrar imagens para levantamento da área de eflorescência em cada pastilha;
- f) Realizar o ensaio de DRX (Difração de raio X) com o objetivo de identificar os tipos de materiais cristalinos encontrados;
- g) Executar o ensaio de microscopia eletrônica, para visualização dos cristais formados nas pastilhas;
- h) Analisar os resultados obtidos.

1.6. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

As limitações desta pesquisa são:

- a) O estudo consiste em testar apenas três tipos de cimento: cimento Portland composto com fíler, cimento Portland pozolânico e

cimento Portland de alto forno. Outros tipos de cimento não fazem parte desta pesquisa;

- b) Variáveis como intempéries e questões relativas às resistências mecânicas de aderência à tração, resistência à compressão e permeabilidade não estão incluídas nestes estudos;
- c) A formação da eflorescência foi analisada em apenas uma idade para os 3 (três) tipos de cimento.
- d) As pastilhas foram constituídas somente por argamassa, sem acrescentar materiais cerâmicos ou pinturas;

1.7. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Esta pesquisa é dividida em 5 capítulos, onde serão abordados assuntos pertinentes ao desenvolvimento do estudo e análise dos resultados obtidos.

O **capítulo 1** apresenta os parâmetros para o desenvolvimento deste trabalho, descrevendo: os objetivos, o problema de pesquisa, as justificativas e os procedimentos metodológicos adotados.

O **capítulo 2** trata a respeito da fundamentação teórica, onde serão apresentadas referências importantes sobre cimento, argamassa, eflorescência, carbonatação, a fim de explicar como a eflorescência se desenvolve.

O **capítulo 3** descreve o programa experimental onde serão demonstrados os trabalhos realizados em laboratório e os métodos dos ensaios adotados.

O **capítulo 4** relata a apresentação e análise dos resultados obtidos.

O **capítulo 5** apresenta as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para fundamentar esta pesquisa, neste capítulo serão abordados alguns assuntos importantes como: cimento, argamassa, eflorescências, carbonatação, ensaio acelerado de eflorescência, ensaio DRX e ensaio de microscopia eletrônica, respectivamente.

2.1. CIMENTO

Atualmente o cimento Portland é o material estrutural mais importante e utilizado na construção civil. Sua descoberta ocorreu no fim do século XIX e no XX tornou-se o segundo material mais consumido pelo homem. O cimento revolucionou a arte de projetar e construir, influenciando diretamente na evolução das civilizações ao longo da história da humanidade (HELENE; ANDRADE, 2010).

No Brasil, o primeiro cimento foi produzido em 1892 pelo Engenheiro Louis Nobrega por um período de aproximadamente 3 meses. Após a primeira produção, houve outras tentativas de fabricação, porém sem sucesso. Somente 34 anos depois foi inaugurada a Companhia Brasileira de Cimento Portland no ano de 1926 na Cidade de Perus, no Estado de São Paulo. O ano da inauguração da Companhia foi um marco para a Indústria Brasileira de Cimento. Neste período, o Brasil produzia cerca de 13 mil toneladas de cimento por ano e importava 400 mil toneladas. Em 1929, a produção aumentou para 96 mil toneladas (MASSUCATO, 2005).

A produção e o consumo do cimento no país vêm crescendo progressivamente. De acordo com SNIC (Sindicado Nacional da Indústria do Cimento, 2019), o Brasil ficou em primeiro lugar num levantamento feito entre

os países da América Latina em 2010, com crescimento de 14,8% em relação a 2009, chegando a 59,1 milhões de toneladas de cimento.

No período entre janeiro e novembro de 2019, as vendas acumuladas de cimento chegaram a um montante de 50,5 milhões de toneladas, mostrando um acréscimo de 3,6% sobre o mesmo período do ano anterior (SNIC, 2019).

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland, este material é composto por pós muito finos com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que sob ação de água sofre reação química, tornando-se uma pasta endurecida que adquire uma elevada resistência e durabilidade. Este material misturado com água, areia, pedra britada, pó de pedra e/ou outros materiais, resulta em concretos e argamassas utilizados na construção civil.

Conforme menciona NBR 16697:2018, o cimento é um aglomerante hidráulico constituído pela moagem de clínquer Portland com adição de sulfato de cálcio em quantidades necessárias. No processo de moagem pode ser adicionado material pozzolânico, escória granulada de alto forno e material carbonático em sua mistura.

O clínquer é composto por calcário e argila, estas matérias-primas são obtidas em jazidas próximas às fábricas de cimento. O processo de fabricação acontece em algumas etapas: primeiramente a rocha calcária é britada e moída e, em seguida, misturada em proporções adequadas com argila fragmentada. Essa mistura passa por um forno cuja temperatura pode alcançar 1450 °C e esse calor intenso a transforma em um novo material, denominado clínquer, que se apresenta em forma de pelotas. Por fim, ele é resfriado e finamente moído, tornando-se pó (ABCP, 2002).

De acordo com Gobbo (2009) o processo de fabricação do cimento acontece em 12 passos conforme a Figura 1, sendo: (1) mineração; (2) britagem; (3) pré-homogenização; (4) moagem; (5) silos de farinha; (6) pré aquecedor; (7) forno rotativo; (8) resfriador; (9) depósito de clínquer e gesso; (10) moinho de clínquer e adições; (11) silo de estoque de cimento; e (12) despacho.

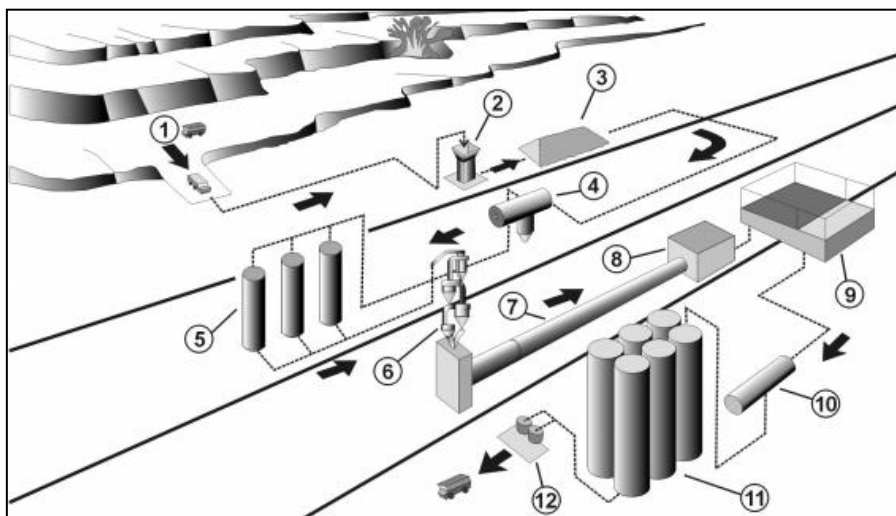


Figura 1. Representação esquemática do processo de fabricação do cimento Portland (GOBBO, 2009, p. 08)

2.1.1. Adições

O principal componente existente em todos os tipos de cimento portland é o clínquer. A proporção de adição é bem definida de acordo com o plano de qualidade, normas e especificações vigentes. Normalmente são as adições que definem os diferentes tipos de cimento. Dentre os mais utilizados no Brasil estão: o cimento portland comum, o cimento portland composto, o cimento portland de alto forno e o cimento portland pozolânico.

Os materiais adicionados ao cimento têm sua porcentagem limitada, pois o principal material da sua composição é o clínquer devido sua alta capacidade de reação química e aglomerante. De acordo com a NBR 16697:2018, essas proporções são definidas conforme a Tabela 1.

Designação normalizada		Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
Cimento Portland comum		CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC	95 - 100	0 - 5		
		CP I-S			90 - 94	0	0	6 - 10
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno		CP II - E			51 - 94	6 - 34	0	0 - 15
Cimento Portland composto com material pozolânico		CP II - Z			71 - 94	0	6 - 14	0 - 15
Cimento Portland composto com material carbonático		CP II - F			75 - 89	0	0	11 - 25
Cimento Portland de alto forno		CP III			25 - 65	35 - 75	0	0 - 10
Cimento Portland pozolânico		CP IV			45 - 85	0	15 - 50	0 - 10
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V ^a	ARI		90 - 100	0	0	0 - 10
Cimento Portland Branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40		75 - 100	-	-	0 - 25
	Não estrutural		-	-	50 - 74	-	-	26 - 50
^a No caso de cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V-ARI RS), podem ser adicionadas escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozolânicos								

Tabela 1. Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa) (NBR 16697:2018, p.5).

2.1.1.1. Gesso

O gesso, conhecido também como gipsita, é um material aglomerante, cuja composição é de sulfatos de cálcio hemi-hidratados e anidros. Ele é obtido através da calcinação da gipsita natural, formada por sulfato de cálcio bi-hidratado e de impurezas como sílica, alumina, óxido de ferro, carbonatos de cálcio e magnésio. A produção do gesso é realizada em fornos onde a temperatura e o tempo de aquecimento são monitorados. As impurezas podem variar até um limite de 6% do material (MILITO, 2007).

O gesso é utilizado como adição ao cimento e sua função básica é controlar o início de endurecimento do clínquer moído, quando em contato com a água. A ausência do gesso na composição do cimento causaria o endurecimento da mistura quase que instantaneamente, o que o inviabilizaria na utilização em

obras. Desta forma, todos os tipos de cimento possuem esta adição, e a proporção adotada em geral é de 3% de gesso para 97% de clínquer. (ABCP, 2002).

2.1.1.2. Escória

As escórias de alto forno são semelhantes a grãos de areia e são obtidas nas indústrias siderúrgicas e na produção de ferro-gusa. Antigamente, as escórias de alto forno eram descartadas, pois a princípio não tinham muita utilidade, até serem identificadas como um material com propriedade ligante hidráulico e muito resistente, que reage na presença de água e desenvolve características aglomerantes muito semelhantes com o comportamento do clínquer. Com essa descoberta, a escória de alto forno começou a ser utilizada na composição do cimento e, com o tempo, observou-se melhorias como maior durabilidade e resistência final do material (ABCP, 2002).

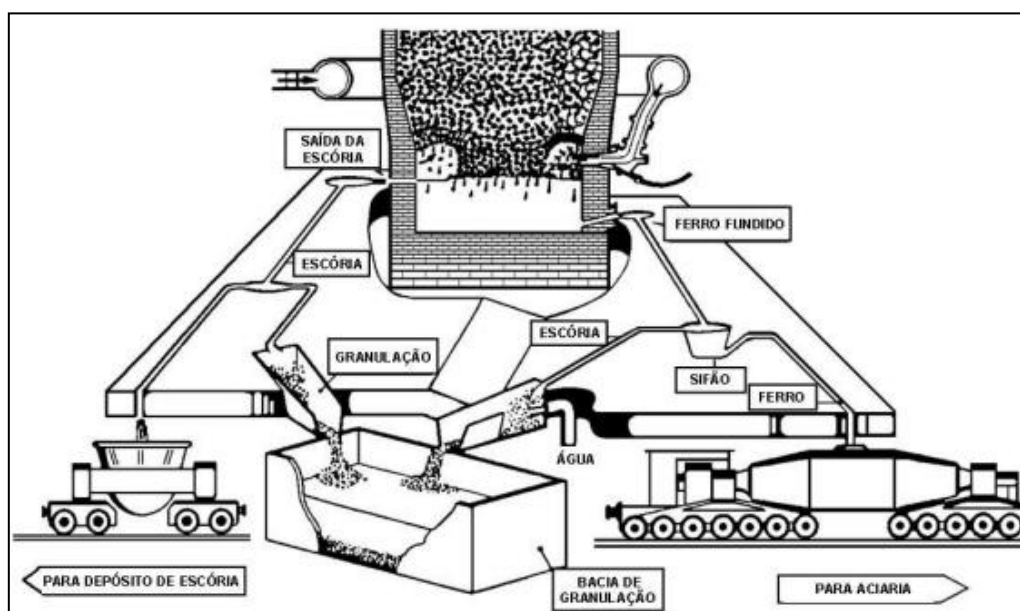


Figura 2. Desenho esquemático da produção de escória de alto forno (CELLA *et al.*, 1999 *apud* GOBBO *et al.*, 2009, p. 16)

A formação de escória ocorre em temperaturas entre 1.350 e 1.550°C, acomodando-se sobre o ferro fundido. Após deixar o alto forno, ela é fragmentada e rapidamente direcionada ao processo de granulação por resfriamento, finalizando a sua produção com a inserção em tanques com água, como mostra a Figura 2 (MALHOTRA; METHA *et al.*, 1996 *apud* GOBBO *et al.*, 2009).

2.1.1.3. Pozolanas

De acordo com Montanheiro *et al.* (2003), as pozolanas são substâncias naturais ou artificiais, de composição silicosa ou silico-aluminosa que, apesar de não terem propriedades cimentícias por si só, quando reagem com hidróxido de cálcio na presença de umidade e à temperatura ambiente, resultam em compostos com propriedades cimentícias.

A principal propriedade da pozolana é de reagir e combinar com o hidróxido de cálcio formando compostos estáveis de poder aglomerante, como silicatos e aluminatos de cálcio hidratados. Na composição, a pozolana é utilizada como substituição parcial do cimento, reagindo com o hidróxido de cálcio (liberado pela hidratação dos silicatos no cimento Portland), tornando-se uma mistura rica de silicatos de cálcio hidratado, que são os produtos mais estáveis do cimento hidratado (OLIVEIRA & BARBOSA, 2005).

Em geral, todos os materiais pozolânicos apresentam menor teor de óxido de cálcio comparado ao cimento Portland comum. Por conseguinte, ao se misturar com o clínquer e a gipsita, os compostos produzidos após a hidratação serão diferentes, influenciando a microestrutura gerada (ABRÃO, 2019).

2.1.1.4. Materiais carbonáticos

Os materiais carbonáticos são basicamente rochas moídas ricas em carbonato de cálcio. Essa adição é utilizada em concretos e argamassas com o intuito de tornar o material mais trabalhável, visto que os grãos desse elemento moído possuem dimensões capazes de se alojar entre os grãos dos demais componentes do cimento, atuando como um lubrificante (ABCP, 2002).

2.1.2. Cimento Portland composto com Fíler

O cimento Portland composto com fíler é um aglomerante hidráulico. O fíler é um material finamente dividido e composto, em sua maior parcela de carbonato de cálcio, adicionado durante a moagem do cimento Portland. A proporção deste material é de 11% a 25% em relação à massa total do aglomerante (NBR 16697:2018).

2.1.3. Cimento Portland de Alto Forno

O cimento Portland de alto forno é um ligante hidráulico, obtido através da mistura homogênea de clínquer e uma proporção de 35% a 75% de escória. Este produto é proveniente de rejeitos do processo de fundição de indústrias de produção do aço. (NBR 16697:2018).

O resultado é de um cimento com propriedades de maior durabilidade, impermeabilidade e baixo calor de hidratação (ABCP, 2002).

2.1.4. Cimento Portland Pozolânico

O cimento portland pozolânico é um aglomerante hidráulico adquirido através da mistura homogênea de clínquer e materiais pozolânicos (sílico aluminoso), moídos em conjunto ou separadamente. A proporção desses materiais deve ser entre 15% e 50% da massa total de aglomerante (NBR 16697:2018).

2.1.5. Reação de Hidratação do Cimento

Conforme Senff *et al.* (2005), os principais compostos do clínquer são o silicato tricálcico (C_3S), o silicato dicálcico (C_2S), o aluminato de cálcio (C_3A) e o ferro aluminato tetracálcico (C_4AF).

Segundo os autores acima, quando o clínquer do cimento é colocado em contato com a água, surgem numerosas fases hidratadas em função das reações químicas. Os principais produtos formados são: os silicatos de cálcio hidratado (Tobermolita, C-S-H), os hidróxidos de cálcio (Portlandita, C-H) e os sulfoaluminatos de cálcio hidratado (Etringita).

Conforme os mesmos autores, a gipsita é adicionada ao cimento para retardar a pega imediata. Ela reage com os aluminatos do cimento formando a etringita, que é um composto cristalino formado nos primeiros estágios de hidratação do cimento, com aspecto de pequenas agulhas prismáticas e que contribui para reduzir a velocidade de hidratação dos aluminatos.

Com o avanço da hidratação do cimento, há a formação de grandes cristais prismáticos de hidróxidos de cálcio e de pequenos cristais fibrilares que são os silicatos de cálcio hidratados, que iniciam o preenchimento dos espaços

vazios ocupados pela água e pelas partículas de cimento em dissolução. Após alguns dias de hidratação, dependendo da quantidade de alumina-sulfato do cimento, a etringita pode perder a estabilidade e decompor-se, formando o monossulfato hidratado, com formato de placas hexagonais. Este formato é também característico dos aluminatos de cálcio hidratado, que se formam em pastas de cimentos hidratadas com alto teor de aluminato tricálcico ou com baixo teor de sulfatos (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

2.1.6. Reações Cimentícias da Escória de Alto Forno

Conforme Mehta e Monteiro (2008), a escória de alto forno é um produto não metálico sendo composto principalmente de silicatos, aluminos silicatos de cálcio e outras bases. Em comparação com as pozolanas, a escória finamente moída possui propriedades auto cimentantes, não necessitando do hidróxido de cálcio para a formação de compostos como o silicato de cálcio hidratado.

Ainda conforme os autores citados, quando a escória hidrata por si só, as taxas de formação de produtos cimentantes e suas quantidades não são suficientes para o uso do material com finalidades estruturais. Quando combinada com o cimento Portland, com a presença de hidróxido de cálcio e gesso, a hidratação da escória é acelerada. Durante a hidratação do cimento com escória de alto forno, este produz o hidróxido de cálcio que em parte é consumido pela escória que o compõe.

2.1.7. Reação Pozolânica

A microestrutura das pastas de cimentos de alto forno e pozolânico endurecidas possui similaridade com relação às suas características de hidratação e propriedades (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Conforme os autores supracitados, a reação pozolânica compreende-se pela reação entre o hidróxido de cálcio e as pozolanas. A importância técnica dos cimentos pozolânicos e de alto forno se dão, principalmente, devido a três características dessa reação, sendo elas:

- a)** Lentidão no desenvolvimento da resistência e da taxa de liberação de calor;
- b)** Durabilidade da pasta de cimento frente a meios agressivos, uma vez que o hidróxido de cálcio é consumido ao invés de ser produzido;
- c)** Melhoria na resistência e na impermeabilidade da argamassa de cimento e do concreto, em função da eficácia do preenchimento dos grandes espaços capilares, devido ao arranjo do tamanho dos poros.

Ainda conforme Mehta e Monteiro (2008), a Figura 3 demonstra a reação pozolânica: inicialmente no processo de cura, há um aumento do teor de hidróxido de cálcio do cimento devido à hidratação do cimento Portland, porém com o progresso da reação pozolânica começa haver a redução deste teor. Conforme as condições de cura, os teores de hidróxido de cálcio podem ser muito baixos, de 2 a 3%, em cimentos Portland de alto forno com 60% ou mais de escória. No cimento Portland pozolânico, devido à taxa de pozolana estar restrita ao intervalo de 20 a 40%, este contém maiores quantidades de hidróxido de cálcio.

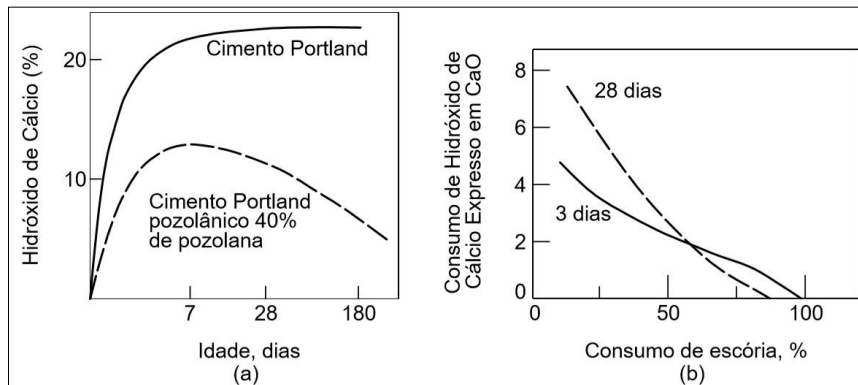
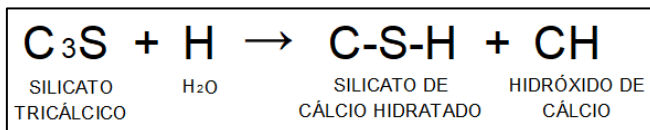
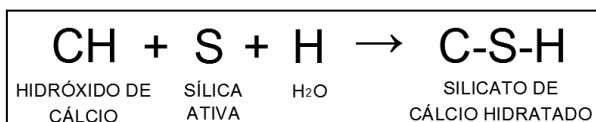


Figura 3. Teor de Hidróxido de Cálcio (MEHTA e MONTEIRO, 2008, p. 241)

Conforme Montanheiro *et al.* (2003), a hidratação do cimento Portland produz hidróxido de cálcio. Segue abaixo reação de hidratação tomando-se como exemplo o Silicato Tricálcico (C_3S):



Onde $C = CaO$ (Cal virgem), $S = SiO_2$ (Sílica Ativa) e $H = H_2O$ (água), que é a notação adotada pela indústria do cimento. A reação pozolânica ocorre da combinação do hidróxido de cálcio formado com os componentes reagentes do material pozolânico. Abaixo, tem-se como exemplo a reação pozolânica com a sílica, principal elemento ativo de um material pozolânico. A reação consome o hidróxido de cálcio formando o silicato de cálcio hidratado:

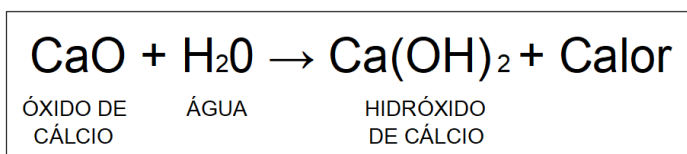


Segundo Mehta (1987) *apud* Montanheiro *et al.* (2003), observa-se que o hidróxido de cálcio é produzido pela reação de hidratação do cimento Portland, enquanto a reação pozolânica consome o hidróxido de cálcio.

2.1.8. Reações de Cal

De acordo Mello *et al.* (2007) *apud* Gonçalves (2011), a cal virgem é proveniente do processo de calcinar o calcário em fornos industriais em altas temperaturas e, a cal hidratada é obtida da reação da cal virgem com água e é usada como componente de argamassas de revestimento e assentamento.

Para trabalhar com a cal, é necessário fazer a sua extinção. Quando em contato com a água, a cal se hidrata e pulveriza, conforme a equação a seguir:



O Ca(OH)_2 , conhecido com cal hidratada, é o resultado da reação entre o óxido de cálcio e a água. A reação acontece com uma grande liberação de calor e com aumento de volume devido à reação com a água. A cal hidratada tem forma de pó seco e é constituída, basicamente, de hidróxido de cálcio (CETEM, 2018).

Guimarães (2002) *apud* Gonçalves (2011) cita que devido à reação da cal hidratada com o gás carbônico do ar e à recristalização dos hidróxidos que a compõe, a cal forma com a água e com os inertes, um material pastoso cimentando os vazios e os nichos dos blocos construtivos. Ocorre a aglomeração dos hidróxidos no processo de endurecimento da argamassa, formando cristais que aumentam em quantidade e tamanho à medida que a água se evapora. Os

agregados ficam retidos em função dos cristais que se entrelaçam como uma malha resistente.

Conforme MELO *et al.* (2007) *apud* Gonçalves (2011), a cal pode melhorar o desempenho das argamassas em relação à função de aglomerante nas propriedades de retenção de água e plasticidade em estado fresco. Devido à ótima capacidade da cal em reter água em torno de suas partículas, ela melhora o comportamento da argamassa com relação ao sistema alvenaria e revestimento, evitando que a alvenaria absorva água em excesso. A cal também colabora com a cura do cimento, pois ao reagir com o gás carbônico do ar, há a liberação da água contida em torno de suas partículas.

Casarek *et al.* (2007) *apud* Gonçalves (2011), cita que no estado endurecido destaca-se a qualidade de absorção de deformações em função das argamassas de cal apresentarem baixo módulo de elasticidade. Há o fechamento de possíveis fissuras ocorridas durante o endurecimento, melhorando a durabilidade da argamassa, devido ao processo de carbonatação da cal ocorrer lentamente.

2.2. ARGAMASSA

No Brasil, a argamassa começou a ser utilizada no primeiro século para assentamento de pedra, sendo muito empregada nas construções da época. A cal utilizada era obtida através da queima de mariscos e conchas. Também era muito utilizado óleo de baleia como aglomerante (WESTPHAL *et al.*, 2004 *apud* SILVA *et al.*, 2006).

De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 1995), a argamassa para revestimento é definida como uma mistura homogênea de agregados miúdos,

aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos ou adições com propriedades de aderência e endurecimento.

Segundo Fiorito (2009), as denominações das argamassas são em função do aglomerante empregado e são divididas em três tipos:

Argamassas de cal: apresentam condições favoráveis de endurecimento, plasticidade, elasticidade e permitem obter um acabamento esmerado, plano e regular. São utilizadas para emboço, reboco e em alguns casos para assentamento de alvenarias de vedação.

Argamassas de cimento: possuem boa resistência e possibilitam condição favorável de endurecimento. São utilizadas em alvenarias de fundações, chapisco, em revestimentos no interior de reservatórios e outras obras hidráulicas ou em pisos cimentados.

Argamassa mista: a composição do cimento com cal forma uma mistura resistente e de melhor trabalhabilidade. São utilizadas nas alvenarias (estruturais e comuns), contrapisos, no assentamento de revestimentos cerâmicos, preparo de paredes e pisos para receberem revestimentos cerâmicos aplicados com argamassa colante, e nos emboços de forros e paredes.

2.2.1. Funções e propriedades das argamassas de revestimento

De acordo Sabbatini (1984) *apud* Silva (2006), os revestimentos de argamassas possuem determinadas funções, como:

- a) Proteger as vedações e a estrutura contra ação de agentes agressivos, reduzindo a degradação precoce das estruturas e os custos com manutenção em edifícios, aumentando a durabilidade da construção;
- b) Auxiliar as vedações a cumprirem funções como: isolamento termo-acústico, estanqueidade à água e aos gases e segurança ao fogo;

- c) Valorizar as construções mantendo um padrão estético e de acabamento nos edifícios.

De acordo com Ferreira (2010), as argamassas devem possuir algumas propriedades para que possam cumprir estas funções.

2.2.1.1. Propriedade de trabalhabilidade

De acordo com Cincotto e Bolorino (1997) *apud* Ferreira (2010), trabalhabilidade é a propriedade que caracteriza a facilidade com que a argamassa no estado fresco pode ser trabalhada pelo aplicador de forma a apresentar boa aderência à base e o acabamento superficial especificado.

2.2.1.2. Propriedade de plasticidade

Guimarães (2002) *apud* Ferreira (2010), expressa a possibilidade de partículas se deslocarem uma em relação à outra, mantendo-se ainda dentro da esfera de atração. Esta propriedade se caracteriza pela facilidade da argamassa em deslizar e ser espalhada, sem ocorrer segregação dos materiais constituintes ou separação de água.

2.2.1.3. Propriedade de consistência

De acordo com Cincotto *et al.* (1995) *apud* Silva (2006), a consistência em uma argamassa é a propriedade pela qual se define a tendência a resistir a deformações no seu estado fresco. Alguns autores classificam as argamassas em *secas* (a pasta preenche os vazios entre os grãos), *plásticas* (a pasta forma uma fina película atuando como um lubrificante entre os grãos dos agregados) e *fluídas* (os grãos ficam imersos na pasta). A consistência é relacionada diretamente pelo conteúdo de água, sendo induzido pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, granulometria da areia, natureza e qualidade do aglomerante.

2.2.1.4. Propriedade retenção de água

Conforme Cincotto *et al* (1995) *apud* Ferreira (2010) é a propriedade que a argamassa em estado fresco tem em manter a trabalhabilidade e a consistência mesmo por perda de água, seja por evaporação ou absorção de algum dos materiais constituintes. A retenção de água mantém a argamassa plástica durante sua aplicação e, quando em estado endurecido, com a resistência adequada.

2.2.1.5. Propriedade de retração

Segundo Cincotto *et al.* (1995) *apud* Ferreira (2010) a retração por secagem ou hidráulica é a propriedade da argamassa no seu estado endurecido de se contrair em função da perda de água para o ambiente.

2.2.1.6. Propriedade de aderência

De acordo com Cincotto e Bolorino (1997) *apud* Ferreira (2010) a aderência é a capacidade da argamassa aderir através da penetração da mesma nos poros do substrato, resistindo aos esforços que ocorrem na interface da argamassa e à base em que foi aplicada.

2.2.1.7. Capacidade de deformação

Conforme Cruz (2008) *apud* Ferreira (2010), é a propriedade da argamassa em estado endurecido em manter seu desempenho com relação à aderência e estanqueidade. Quando submetida a esforços, a argamassa tem a capacidade de absorver possíveis deformações sem que ocorram fissuras ou rupturas. Essa propriedade está relacionada com o módulo de elasticidade da argamassa, que é em geral reduzida por elevadas dosagens de cimento.

2.2.1.8. Propriedade de permeabilidade

De acordo Cincotto *et al.* (1995) *apud* Silva (2007), a permeabilidade de uma argamassa é caracterizada pela passagem de água através do material, ocasionada por infiltração sob pressão, por capilaridade ou por difusão de vapor d'água. A permeabilidade e o vapor d'água dependem da velocidade de secagem do revestimento após um período de chuva ou da umidade de condensação interna.

Segundo Carasek (2007) *apud* Ferreira (2010), a permeabilidade tem relação com a impermeabilização dos revestimentos de fachada, evitando manifestações patológicas por infiltração de umidade, como eflorescências, bolores, mofos e descolamentos.

2.2.1.9. Propriedade de resistência mecânica

Segundo Carasek (2007) *apud* Ferreira (2010), a propriedade de resistência mecânica está relacionada à capacidade da argamassa em resistir de forma simultânea aos esforços de tração, compressão e cisalhamento. Em revestimentos, o principal problema associado a esta propriedade é a baixa resistência superficial, o que pode prejudicar na fixação das camadas de acabamento como a pintura.

2.2.2. Mecanismos de Transporte de Umidade nos Materiais

Silva (2007) expressa que a umidade nos materiais se manifesta nos componentes da construção por diversas razões. Destacam-se umidades provindas do terreno, da construção, da precipitação, da condensação e da ação oriunda de fenômenos higroscópicos.

O transporte de umidade nos materiais é o fenômeno pelo qual esse elemento (no estado líquido ou vapor), movimenta-se no interior dos poros dos materiais. Contudo, esse processo é influenciado pelo tipo e tamanho dos poros e, fissuras encontradas no revestimento. Para efetivamente ocorrer esse fenômeno, é imprescindível a presença de poros abertos ou fissuras que possibilitem a penetração das moléculas de água NAPPI (2002).

Argillés (1999) *apud* Silva (2007) menciona que o transporte de vapor de água pelo interior dos poros do material se dá pela difusão, resultante da diferença de vapor entre suas as regiões, nas quais o fluxo ocorre da maior pressão para a menor até surgir o equilíbrio entre elas. O efeito do transporte da água no interior do material ocorre por capilaridade, que é a atração que a água exerce no interior dos poros interligados.

2.2.3. Classificação dos Revestimentos

Os sistemas dos revestimentos de argamassa são constituídos de uma ou mais camadas, podendo cada uma delas ter uma função específica. Sua aplicação é feita sobre paredes ou tetos, com objetivos e aparências desejadas. Em casos específicos, atendem às exigências de conforto térmico e de proteção contra radiação e umidade (ABNT NBR 13530:1995).

Segundo Silva (2007), as argamassas são muito utilizadas na construção civil para assentamento de blocos cerâmicos, concretos e pedras. São também bastante utilizadas em revestimentos e acabamentos como chapiscos, emboços e rebocos, assim como para execução de contrapisos, pisos cimentados, entre outros.

Conforme Sabbatini (1984) *apud* Silva (2006), as denominações referentes às camadas de argamassa de revestimentos são:

2.2.3.1. Chapisco

O chapisco é executado para preparação da base, constituído de espessuras irregulares realizadas conforme necessidade da superfície do substrato. Seu objetivo é melhorar as condições de aderência da primeira camada do revestimento e é necessário, principalmente, quando a superfície é muito lisa ou com porosidade inadequada (concreto ou substrato com incompatibilidade de aderência com o revestimento) e em revestimentos externos e tetos, onde as ações têm de maior intensidade.

2.2.3.2. Emboço

O emboço é também conhecido como massa grossa e sua principal função é a de regularização de alvenaria, sendo que sua espessura média fica entre 15mm e 25mm. A aplicação é realizada diretamente sobre a base previamente preparada (com ou sem chapisco) e se remete a receber as demais camadas (reboco, cerâmica ou outro tipo de revestimento final). Desta forma, a

argamassa de emboço deve apresentar porosidade e textura superficiais compatíveis com as especificações do acabamento final previsto. Essas características são determinadas pelas técnicas de execução e granulometria dos materiais.

2.2.3.3. Reboco

O reboco é a camada destinada ao acabamento dos revestimentos de argamassa com a finalidade de constituir uma película contínua e íntegra sobre o emboço. A sua espessura máxima é de 5 mm e ele é responsável pela textura superficial final aos revestimentos de múltiplas camadas. Desta forma, é primordial que não tenha fissuras principalmente em ambientes externos. Para tanto, a argamassa deverá apresentar elevada capacidade de acomodar possíveis deformações.

2.2.3.4. Massa Única

A massa única, também conhecida como emboço paulista, é o revestimento com acabamento e pintura realizados em uma única camada. A argamassa e as técnicas utilizadas neste caso deverão cumprir as funções necessárias do emboço e reboco, ou seja, regularização e acabamento final da superfície.

2.2.3.5. Acabamento Decorativo

Conforme NBR 13529 (ABNT, 1995) há também a classificação de acabamento decorativo que se trata de revestimento de decoração utilizado sobre argamassa, tais como: pinturas, pedras naturais, tecidos, papéis, materiais cerâmicos e placas laminadas.

2.3. EFLORESCÊNCIA

A eflorescência é uma anomalia caracterizada pelo aparecimento de depósitos cristalinos, geralmente de cor branca na superfície do revestimento. Com a contribuição de umidade, os sais solúveis presentes nas argamassas, placas cerâmicas e componentes da alvenaria são transportados através dos poros do revestimento até a superfície, onde se solidificam em contato com o ar, formando os referidos depósitos, conforme pode-se analisar na Figura 4 (CHAVES, 2009).



Figura 4. Eflorescência: cristalização dos sais solúveis na superfície da argamassa (FERREIRA, 2010, p. 94)

A eflorescência e as características visuais que esta manifestação patológica apresenta como cor e esboroamento nos revestimentos, estão diretamente associadas com as composições químicas dos sais solúveis. As colorações esbranquiçadas são de sais de cálcio, potássio e sódio, e as de colorações de cor marrom ou verde, além de conter sódio, potássio e cálcio, também possuem óxido de ferro, manganês e material orgânico (GUTERRES, 2016).

O principal problema gerado pela eflorescência é estético. Contudo, o processo de cristalização de sais pode originar tensões que conduzem à degradação e ao envelhecimento dos materiais envolvidos, devido à alteração das suas propriedades físico-químicas e mecânicas (CORREIA, 2005).

De acordo com Guterres (2016), esta anomalia geralmente não causa maior problema além do mau aspecto característico desta manifestação patológica, porém, em circunstâncias mais críticas, a formação salina pode desencadear danos como: deslocamentos dos revestimentos ou pinturas, desagregações das paredes ou até colapso de elementos construtivos. O mecanismo de evolução da eflorescência é bem simples, visto que praticamente todos os procedimentos construtivos utilizam a água como um item da construção. Além da umidade proveniente de ações exteriores (chuva, condensações e água do solo), soma-se também a água que pode ficar contida no interior dos próprios materiais utilizados na concepção da edificação.

Ainda conforme o autor supracitado, na superfície exposta à ação de intempéries e à alta degradação por eflorescência pode ocorrer um nítido enfraquecimento das argamassas de reboco/emboço, influenciando também na deterioração interior do material, ocasionada pela expansão dos cristais de sal. Com isso, ocorre a perda de coesão interna e, conseqüentemente, a desagregação progressiva, uma vez que os sais que chegam à superfície dos revestimentos

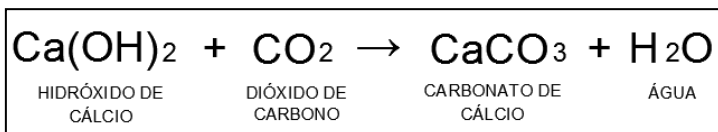
carregam consigo parte do aglomerante utilizado na composição da argamassa, alterando seu traço definido inicialmente.

2.3.1. Tipos de Eflorescências

Uemoto (1988) *apud* Figueiredo (2017), apresenta a classificação da eflorescência em três tipos:

Tipo I - É o mais comum, constituído de depósito de sal branco, pulveroso e de alta solubilidade em água. Geralmente, ele é encontrado em superfícies de alvenaria aparente ou revestidas com argamassa e em juntas de elementos cerâmicos e de azulejos. Os sulfatos de sódio e de potássio são os principais sais encontrados neste caso, e são provenientes de tijolos, de cimentos, da reação química tijolo-cimento, da água da constituição de argamassas, dos agregados e dos solos adensados ou contaminados por produtos químicos e da poluição do ar.

Tipo II - é o menos comum e constitui-se de um depósito de material esbranquiçado e escorrido, com forte aderência e pouca solubilidade em água. As formações destes sais geralmente ocorrem em regiões de superfícies de concreto ou alvenarias e são basicamente formadas de carbonato de cálcio, cuja reação se dá da seguinte forma:



Ainda de acordo com Uemoto (1988) *apud* Figueiredo (2017), durante a reação de hidratação do cimento ocorre a formação de hidróxido de cálcio, que em contato com águas de chuvas ou de infiltrações, dilui-se e deposita-se na superfície de fachadas. Com a evaporação da água ocorre o contato o gás carbônico do ar, e o hidróxido de cálcio se transforma em carbonato de cálcio que é um sal de baixa solubilidade em água.

O autor ainda cita que quando é utilizada argamassa mista com elevado nível de cal não hidratada e, ela entra em contato com a água, esta cal será diluída e irá se carbonatar, ficando o sal depositado na superfície da fachada. Este é um problema estético de difícil eliminação, porém normalmente não causa problemas de estabilidade para a alvenaria.

Tipo III – este fenômeno não ocorre com frequência e se apresenta como depósito de sal em juntas de alvenaria aparente e que estão fissuradas.

Conforme Uemoto (1988) *apud* Figueiredo (2017), os sais solúveis do cimento são fontes de geração de eflorescência. Na hidratação dos cimentos compostos com alto nível de álcalis (Na_2O e K_2O), estes podem se transformar em carbonato de sódio e de potássio, que apresentam alta solubilidade em água. Outra reação possível é a que ocorre entre o cimento da argamassa que possui em sua composição hidróxidos de sódio e de potássio, e nos tijolos cerâmicos com a presença de sulfato de cálcio, transformando-se em sulfatos de sódio e de potássio.

De acordo com Bauer (1994), os sais mais comuns em eflorescências, as fontes de seus surgimentos e a suas solubilidades em água são indicados no Quadro 1.

Quadro 1. Natureza química das eflorescências.

Composição Química	Fonte Provável	Solubilidade em água
Carbonato de cálcio	Carbonatação da cal lixiviada da argamassa ou concreto e de argamassa de cal não carbonatada	Pouco solúvel
Carbonato de magnésio	Carbonatação da cal lixiviada de argamassa de cal não carbonatada	Pouco solúvel
Carbonato de potássio	Carbonatação dos hidróxidos alcalinos de cimentos com elevado teor de álcalis	Muito solúvel
Carbonato de sódio	Carbonatação dos hidróxidos alcalinos de cimentos com elevado teor de álcalis	Muito solúvel
Hidróxido de cálcio	Cal liberada na hidratação do cimento	Solúvel
Sulfato de Cálcio Desidratado	Hidratação do sulfato de cálcio do tijolo	Parcialmente solúvel
Sulfato de Magnésio	Tijolo, água de amassamento	Solúvel
Sulfato de cálcio	Tijolo, água de amassamento	Parcialmente solúvel
Sulfato de potássio	Reação tijolo-cimento, agregados, água de amassamento	Muito solúvel
Sulfato de sódio	Reação tijolo-cimento agregados, água de amassamento	Muito solúvel
Cloreto de cálcio	Água de amassamento	Muito solúvel
Cloreto de magnésio	Água de amassamento	Muito solúvel
Nitrato de potássio	Solo adubado ou contaminado	Muito solúvel
Nitrato de sódio	Solo adubado ou contaminado	Muito solúvel
Nitrato de amônia	Solo adubado ou contaminado	Muito solúvel
Cloreto de Alumínio	Limpeza com ácido muriático	Solúvel
Cloreto de Ferro	Limpeza com ácido muriático	Solúvel

Fonte: Bauer (1994, p. 922)

2.3.2. Causas

De acordo com Bianchin (1999), o problema da eflorescência tem relação com a umidade da edificação, classificada por trabalho realizado pelo Departamento de Construção da Escola de Arquitetura da Universidade de Valladolid:

- a)** Umidade da obra: está relacionada à água dos processos construtivos, em que os elementos e componentes da edificação não secaram completamente antes da ocupação da obra;
- b)** Umidade de infiltração: ocorre pela penetração da água nos elementos construtivos através de fissuras, trincas, rachaduras e juntas com vedação inadequada, devido à ação dos ventos e das chuvas;
- c)** Umidade ascensional: ocorre pela percolação da água nos materiais através de capilares e/ou poros. Para que o processo da absorção ocorra há necessidade da simultaneidade da ação de forças internas de tensão superficial, da capilaridade do material e da umidade externa;
- d)** Umidade por condensação: ocorre quando o ar atinge temperatura de orvalho sobre superfícies frias. Assim, a umidade fica depositada na superfície dos revestimentos e penetra nos poros dos materiais da edificação;
- e)** Umidade acidental: é quando ocorre algum vazamento de instalação hidráulica, por exemplo.

Conforme Campante (2001), os sais solúveis das argamassas e concretos existentes em grandes quantidades no cimento Portland representam

importantes fontes de eflorescências, possivelmente as mais comuns nos sistemas de revestimentos cerâmicos de fachadas.

2.3.3. Precauções para evitar a Eflorescência

Segundo Yazigi (2009), na reação de hidratação do cimento comum resulta em uma pasta que possui o hidróxido de cálcio livre entre os seus componentes, que em função das dimensões dos poros, os íons solubilizados migram até a superfície onde ocorre o contato com o ar atmosférico que contém o dióxido de carbono (CO_2). Assim, a eflorescência surge, quando o dióxido de carbono (CO_2) reage com o hidróxido de cálcio, formando o carbonato de cálcio, o qual é um sal insolúvel, esbranquiçado, de difícil remoção. Para este processo não ocorrer, deve-se impedir a reação que forma o sal insolúvel.

Ainda conforme Yazigi (2009), assim, deve-se fixar o hidróxido de cálcio na argamassa, adicionando-se pozolana ou escória de alto forno ao cimento, para que quando ocorra a formação do hidróxido de cálcio, ele seja consumido por meio de uma reação química complementar.

A eflorescência ocorre a partir de três fatores que devem coexistir e que são de mesma importância: o teor de sais solúveis presentes nos materiais ou nos componentes, a existência de água, e a pressão hidrostática ou evaporação fazendo com que a solução migre para a superfície. Se não houver um destes fatores, não ocorrerá a manifestação (UEMOTO, 1988 *apud* SEGAT, 2005).

Yasigi (2009) cita que o fenômeno de eflorescência pode ser evitado, tomando-se os seguintes cuidados:

- a) Evitar a formação de substâncias solúveis em água ou produtos expansivos utilizando tijolos com baixo teor de sulfatos;

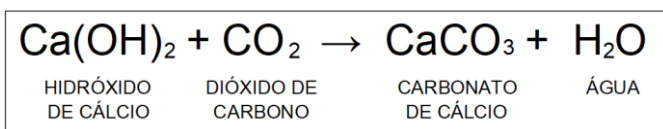
- b) Executar pintura impermeabilizante em paredes de alvenaria aparente, com o objetivo de diminuir a absorção de água de chuva pelo tijolo;
- c) Utilizar materiais e componentes com baixo teor de sais solúveis;
- d) Molhar os tijolos com água, sem encharcá-los, para evitar que absorvam a água da argamassa durante a execução da alvenaria, evitando o aparecimento de eflorescências;
- e) Proteger as alvenarias concluídas de chuvas, a fim de evitar ao máximo que as mesmas absorvam água;
- f) Fazer a impermeabilização de baldrame, evitando infiltração por umidade ascendente do terreno;
- g) Utilizar argamassa mista de cimento, cal e areia, de modo a evitar a reação tijolo-cimento;
- h) Utilizar cimentos que consomem hidróxido de cálcio durante o processo de hidratação, tais como cimento Portland pozolânico e cimento Portland de alto forno.

2.4. CARBONATAÇÃO

De acordo com Costa e Pacheco (2013), a cal hidratada é um material importante utilizado em argamassa na construção civil, trazendo vantagens como durabilidade e trabalhabilidade. Mas apresenta desvantagens como endurecimento lento e falta de exigências mais efetivas de qualidade na norma brasileira, a NBR 7175.

Ainda de acordo com as autoras citadas, a carbonatação da cal ocorre da reação do hidróxido de cálcio com o gás carbônico, transformando o

hidróxido em carbonato de cálcio. Da mesma forma, esta reação também ocorre com o hidróxido de magnésio, que é outro componente da cal hidratada.



Conforme as autoras, a cal é definida como um aglomerante aéreo, em função da reação com o anidrido carbônico, formando um material sólido e rígido. Nas argamassas mistas, de cimento, cal e areia, ocorre a hidratação do cimento e a carbonatação da cal, que são dois processos diferentes na fase de endurecimento.

O processo de hidratação do cimento é o principal responsável para o endurecimento da argamassa, e o mecanismo de carbonatação influencia alterando a hidratação do clínquer.

Moorehead (1986) *apud* Costa e Pacheco (2013), citam alguns dos fatores que interferem na reação de carbonatação, tais como: a umidade, a concentração de gás carbônico e a temperatura do gás. Todos os fatores intervenientes na taxa de carbonatação da cal são devido à capacidade de penetração do gás carbônico na argamassa. A reação depende ainda da presença de água para a dissolução e transporte do CO_2 .

Conforme Costa e Pacheco (2013), a carbonatação é controlada pelos processos principais de difusão do anidrido carbônico no interior dos poros da argamassa e da reação química entre o gás carbônico dissolvido e o hidróxido de cálcio. Como o carbonato formado da reação apresenta maior volume que o hidróxido, com o tempo a argamassa ficará mais impermeável, dificultando a difusão do anidrido carbônico e reduzindo a taxa de carbonatação.

De acordo com DHEILLY *et al.* (2002) *apud* Costa e Pacheco (2013), quanto maior a temperatura, menor é a taxa de carbonatação, pois há menor solubilidade do gás carbônico na água e menor absorção de água pela cal, sendo

a temperatura recomendada entre 10° C e 20°C. Com relação à umidade e à porcentagem de gás carbônico, quanto maior a porcentagem destas variáveis maior é a taxa de carbonatação.

2.5. ENSAIOS DE AVALIAÇÃO

A seguir são descritos os ensaios executados durante o programa experimental para as etapas de obtenção de resultados e avaliação dos mesmos.

2.5.1. Ensaio Acelerado de Eflorescência

Conforme Aberle (2007) *apud* Bem (2019) cita que não há consenso sobre a melhor metodologia para avaliar a formação de eflorescência em estruturas cimentícias.

Segundo BEM (2019) no teste preliminar que serviu como referência para execução de seu trabalho foi utilizado o traço muito comum em campo para emboço externo: 1:0,5:7 (cimento:cal:areia) em massa, sendo equivalente a 1:1:6 em volume. A quantidade de água foi ajustada para conseguir no ensaio de consistência um valor de 260 mm. Assim, a relação água/materiais secos final foi de 0,149 e de água/finos de 0,85. A mistura foi realizada com misturador mecânico, seguindo o procedimento da NBR 13.276 (2016).

Ainda conforme Bem, foi utilizado o cimento CPV-ARI que possui uma coloração clara resultando em uma argamassa final com cor cinza claro, que dificultaria a visualização das eflorescências formadas. Assim, o autor optou pela

utilização de 6% de pó xadrez sobre o peso do cimento, sendo este percentual inferior ao limite máximo recomendado pelo fabricante.

Com este traço, Bem moldou 24 pastilhas de 50x50x25 mm e por não haver consenso na literatura consultada sobre a dimensão ideal, ele optou pela escolha de 50 x 50 mm, pois dimensões menores poderiam dificultar a visualização da eflorescência. A espessura de 25 mm foi escolhida com base na NBR 13749:2013, que limita a espessura do revestimento externo entre 20 e 30 mm. O autor cita que escolheu o valor intermediário.

O adensamento das pastilhas foi realizado com soquete padrão utilizado para o ensaio de mesa de consistência com dez golpes. Após 24 horas as pastilhas foram mantidas em câmara úmida por sete dias ($T = 22 \pm 2^\circ$ e $UR \geq 95\%$). Como não foi possível encontrar na literatura um consenso com relação ao prazo de cura necessário para início do teste acelerado de eflorescência, o autor optou por iniciar com sete dias após a desforma, em função de ter utilizado o cimento do tipo CPV-ARI, em que 80% das reações ocorrem antes de completar este prazo. Após a desforma, as pastilhas foram lixadas nas faces superiores e inferiores para remover o acabamento vitrificado devido ao uso de forma metálica. Ainda suas laterais foram seladas com silicone neutro, para que, durante os experimentos, o fluxo de água fosse unidirecional e de forma a evitar perdas de sais pelas superfícies laterais das pastilhas. O autor escolheu oito metodologias diferentes para análise da formação acelerada da eflorescência num prazo de 28 dias.

Bem (2019) cita que foi observado que o ensaio acelerado não necessitaria prolongar-se além de 28 dias, visto que, em sua maioria, nos primeiros 14 dias ocorreu a formação do fenômeno.

Conforme cita o autor, foram escolhidas três condições de ensaio dentre as oito testadas no estudo preliminar por conseguirem melhor acelerar o aparecimento da eflorescência., que foram: COPO, POTE e A+C (Ar+Calor):

- I. Imersão de 5 mm das pastilhas em água destilada com regime cíclico de temperatura: ambiente a 22°C por 14 horas e exposição à radiação UV por 10h, a aproximada 40°C (condição “III” do teste preliminar) – “A+C”;
- II. Fixação de copos de isopor sem fundo na face superior das pastilhas, sendo estes copos preenchidos com uma altura de água de 80 mm (condição “V” do teste preliminar) – “COPO”;
- III. Pastilhas fixadas lateralmente a um pote plástico e este pote preenchido com 150 mm de água (condição “VIII” do teste preliminar”) – “POTE” (BEM, 2019)

Dos três ensaios, os do “POTE” e “COPO” foram os que apresentaram maior área de eflorescência nas pastilhas, seguidos pelo ensaio “AR + CALOR”. Provavelmente, nos dois primeiros, houve a lixiviação com o deslocamento dos sais, em função da pressão de água.

Ainda conforme o autor, dentre os ensaios do “COPO” e do “POTE”, no ensaio do “COPO” ocorreu uma distribuição da eflorescência de forma mais regular na superfície da pastilha, em função desta estar na horizontal.

2.5.2. Ensaio de Levantamento de Áreas e Percentual de Eflorescência

Após 28 dias de ensaio acelerado de eflorescência, as pastilhas foram retiradas da água, ficando 48 horas para secagem. Após o tempo de secagem, foram fotografadas sem flash uma a uma a 10 cm de distância, e as imagens foram utilizadas para a quantificação da eflorescência através do software MATLAB através de uma análise gráfica. (WENG *et al.*, 2013 *apud* BEM, 2019).

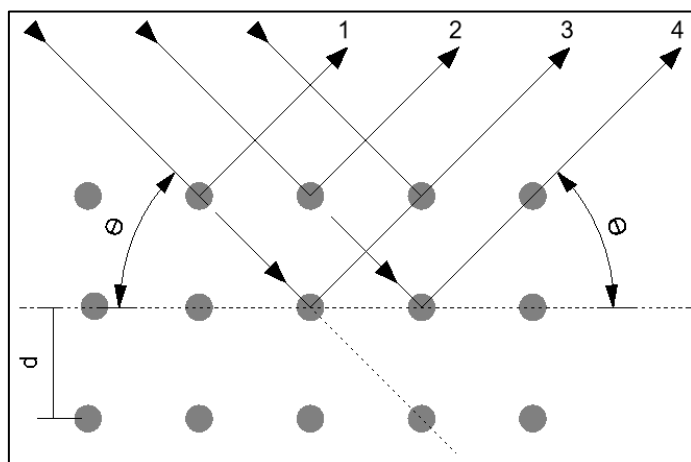
2.5.3. Ensaio de Difração de Raio-X

Para se avaliar e estudar as propriedades de materiais, é imprescindível que a caracterização dos mesmos seja feita, pois cada material pode variar de acordo com o arranjo cristalino dos átomos que o compõe. Ao analisarmos as amostras também é fundamental saber quais os materiais presentes nelas, além de suas composições físicas e químicas (BLEICHER; SASAKI, 2000).

Segundo Santos (2006), uma das maneiras para a caracterização de materiais é executada através da difração de raios X (DRX), que é uma metodologia onde são emitidos feixes de raios X incidindo diretamente na amostra. Em virtude da disposição dos átomos, a própria rede cristalina do material difrata os raios incididos em várias direções específicas.

Como cada estrutura cristalina possui padrões característicos, durante a análise do comportamento dos raios, medindo as angulações e as intensidades dos feixes que são difratados, pode-se chegar à determinação do tipo de estrutura cristalina do material analisado com a utilização de um banco de dados de difratogramas conhecido (SANTOS, 2006).

Segundo Moderna e Gleb Wataghin (2019), levando em consideração dois ou mais planos cristalinos de uma estrutura, a diferença do caminho que é percorrido pelos raios X e o comprimento de onda da radiação incidente são fatores determinantes para que possa ocorrer a difração de raio X. Essa condição pela lei de Bragg é expressa como sendo $n \lambda = 2 d \sin \Theta$, onde “n” é representado por um número inteiro (ordem de difração), λ correspondendo ao comprimento de onda da radiação incidente, “d” refere-se à distância interplanar para o conjunto de planos hkl (índice de Miller) para a estrutura cristalina ao ângulo de incidência dos raios X (medida entre os planos cristalinos e o feixe incidente). A Figura 5 representa tais variáveis esquematicamente:



EQUAÇÃO DA LEI DE BRAGG

$$n \lambda = 2 d \sin \theta$$

Figura 5. Difração de raios X e equação de Bragg
MODIFICADO DE MODERNA E GLEB WATAGHIN (2019)

A intensidade do raio difratado depende do número de elétrons e átomos, estes são distribuídos de tal forma no espaço que fazem com que a densidade de elétrons e átomos seja diferente em vários planos de uma mesma estrutura cristalina, tendo como consequência diferentes intensidades dos raios difratados para os diversos planos cristalinos presentes na estrutura (SANTOS, 2006).

2.5.4. Ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura

A função principal de qualquer microscópio é tornar visível o que é muito pequeno a olho nu. A lupa do microscópio óptico utiliza a luz ultravioleta para iluminar o objeto a ser observado, sendo a forma mais usual de observação de objetos. Os efeitos ocorridos de difração relativos ao comprimento de onda da radiação incidente é o que limita a resolução máxima dos microscópios ópticos, logo os convencionais limitam-se a um aumento máximo de 2.000 vezes, sendo imperceptíveis detalhes menores que este valor de ampliação. Para aumentar a

resolução de visualização, é possível a utilização de uma fonte de iluminação do objeto, cujo comprimento de onda é menor que a luz visível (KESRENBACHK, 1994).

Para solucionar este problema de resolução concernente à fonte de luz branca, o microscópio eletrônico de varredura (MEV) ao invés de utilizar fótons, como é usual em um microscópio óptico convencional, utiliza feixe de elétrons (KESRENBACHK, 1994).

O MEV é um dos instrumentos mais versáteis para a observação e análise de características da microestrutura de objetos sólidos. A alta resolução que pode ser obtida por esses aparelhos é a principal razão de sua utilidade. Os valores de resolução são da ordem de dois a cinco nanômetros para instrumentos comerciais, podendo chegar a resoluções melhores que um nanômetro com instrumentos de pesquisa avançada (NAGATANI *et al.* 1987).

Para Dedavid (2007), o princípio do MEV consiste em empregar um feixe de elétrons com pequeno diâmetro para sondar a superfície da amostra, ponto a ponto da mesma, percorrendo linhas sucessivas e transmitindo o sinal do detector para uma tela catódica, na qual a varredura está sincronizada com aquela do feixe incidente. Através de um sistema de bobinas de deflexão é possível seguir o feixe de modo a percorrer toda a superfície da amostra por malhas retangulares. Da interação do feixe incidente com a superfície da amostra resulta o sinal de imagem. Com o sinal captado pelo detector, é possível fazer a observação do objeto através da modulação do brilho do monitor. Pela alta tensão que é criada entre o filamento e o ânodo, o feixe é acelerado e em seguida focalizado ao longo da amostra por três lentes eletromagnéticas que possuem um spot menor que 4 nm. Desta forma, interagindo com a amostra que está produzindo elétrons e fótons coletados por detectores adequados, os mesmos podem ser convertidos para sinal de vídeo.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Com o intuito de esclarecer o problema de pesquisa, foi realizado um programa experimental seguindo metodologias e passos os quais estão descritos a seguir.

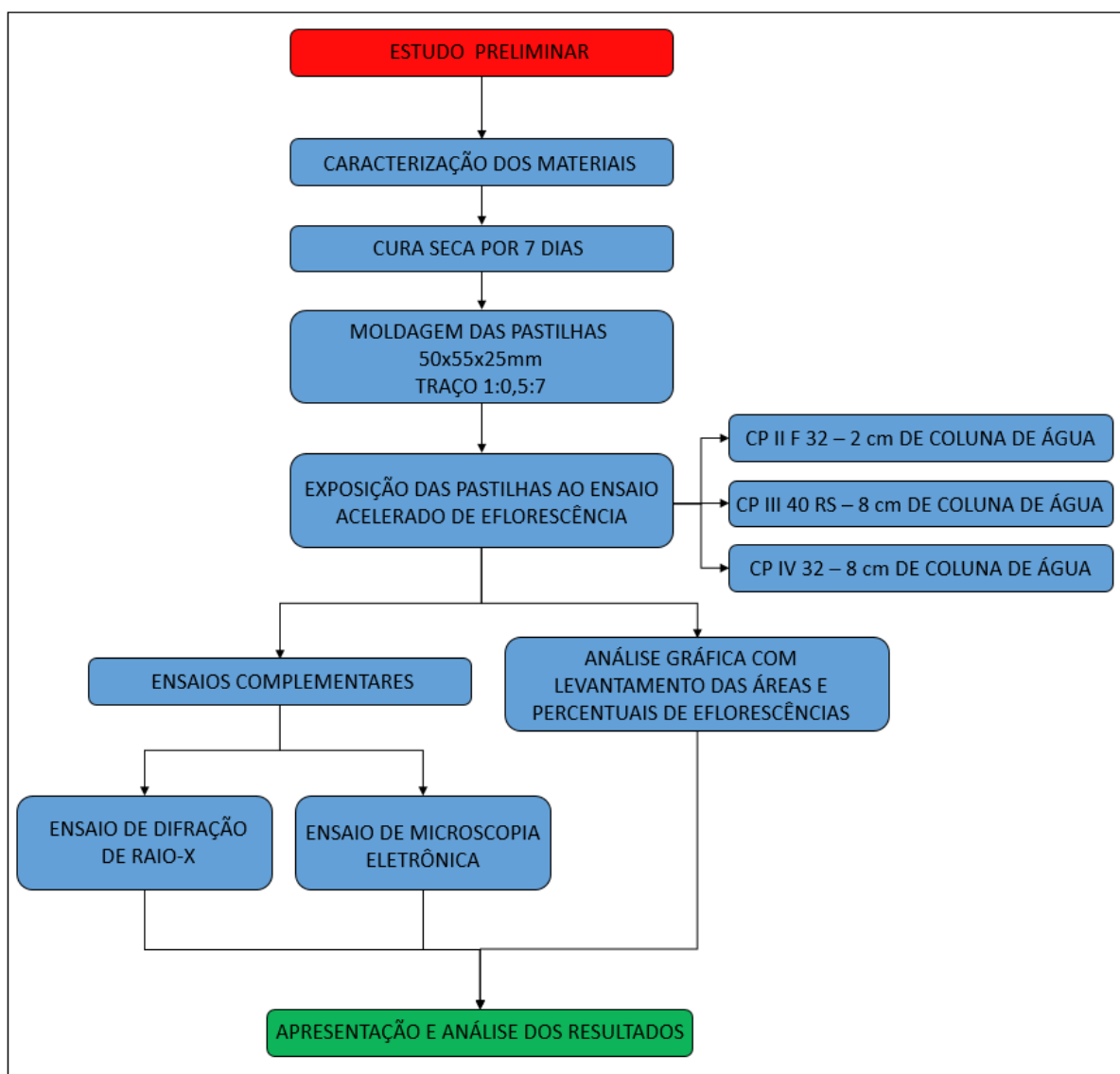


Figura 6. Fluxograma do programa experimental (OS AUTORES, 2019)

Neste programa foram executadas três amostras de argamassa de emboço, cada uma das amostras com um tipo de cimento: a primeira amostra

com cimento CP II F 32, a segunda amostra com cimento CP III 40 RS e a terceira amostra com cimento CP IV 32. Foram moldadas quatro pastilhas com cada uma das amostras, totalizando 12 unidades. Deste total, duas pastilhas de cada tipo de cimento foram submetidas ao ensaio acelerado de eflorescência e, com base na análise das pastilhas expostas a tais circunstâncias, foi executado o levantamento das áreas e percentuais desta formação, o ensaio de DRX e a microscopia eletrônica de varredura (MEV). Todas as etapas do programa experimental estão exemplificadas no fluxograma da Figura 6.

3.1 LINHA CRONOLÓGICA DO EXPERIMENTO

Concluído o programa experimental, foi determinada uma linha cronológica que mostra as datas de cada etapa do trabalho, bem como a quantidade de dias corridos para cada ciclo de ensaios. Esta linha cronológica nos fornece um resumo geral sobre todo o processo experimental e é representada na Figura 7.

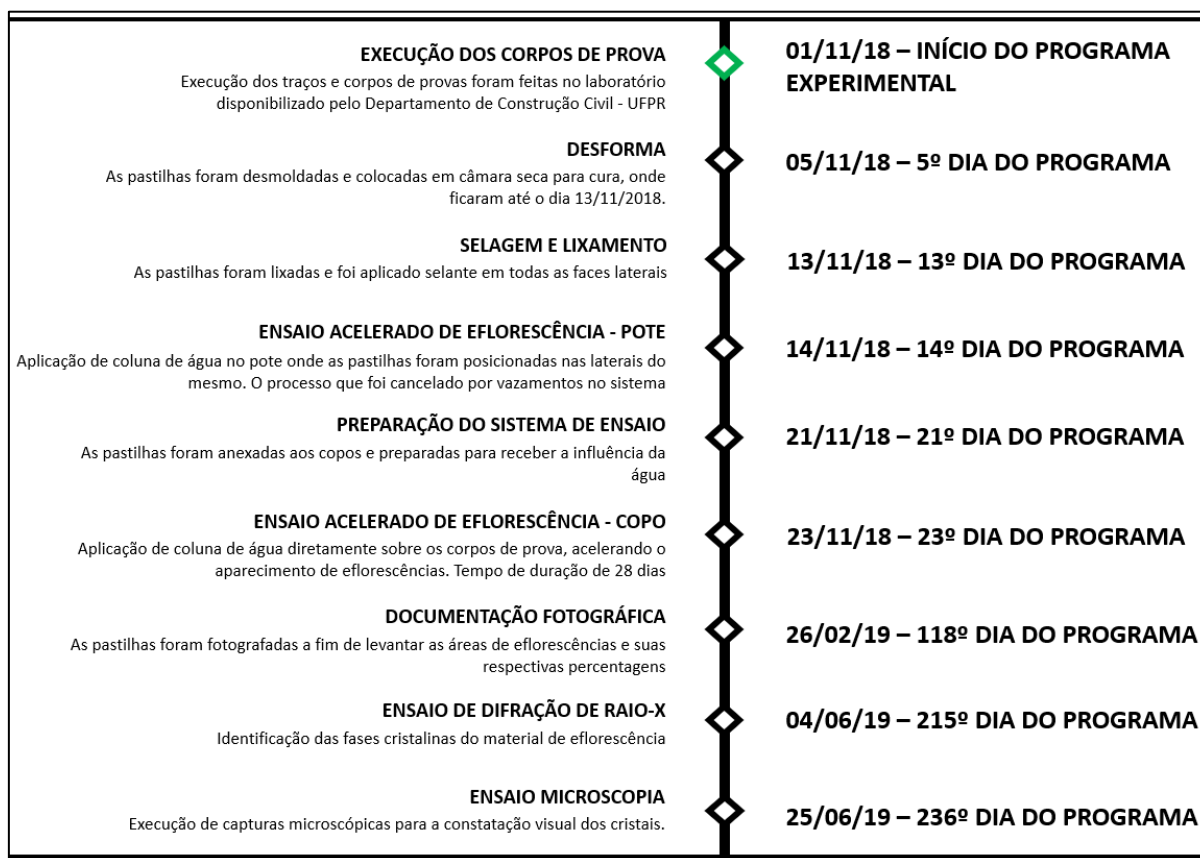


Figura 7. Linha Cronológica. Os autores (2019)

3.1. MATERIAIS E MÉTODOS

Abaixo estão descritos todos os materiais empregados no programa experimental, bem como as suas características, e a descrição das metodologias utilizadas durante a execução do programa.

3.1.1. Características dos Materiais Empregados

Os materiais empregados no programa experimental para a confecção das pastilhas de argamassas de emboço foram: cal hidratada CH-III, areia média, pó xadrez, água e os cimentos CP II F 32, CP III 40 RS e CP IV 32.

3.1.2. Métodos

A seguir apresenta-se um roteiro descritivo da elaboração do programa experimental.

3.1.2.1. Moldagem das Pastilhas

Para verificar se a formação da eflorescência nas argamassas tem relação com o tipo de cimento utilizado em suas composições, foram executadas 12 pastilhas com dimensões de 55x50x20 mm, sendo quatro amostras para cada tipo de cimento (CP II F 32, CP III 40 RS e CP IV 32), conforme Figura 8. Foram moldadas 12 (doze) pastilhas com o intuito de realizar primeiramente o ensaio do “POTE” com metade delas e, caso ocorresse algum problema no processo, utilizar-se-ia as outras seis na metodologia do “COPO”.

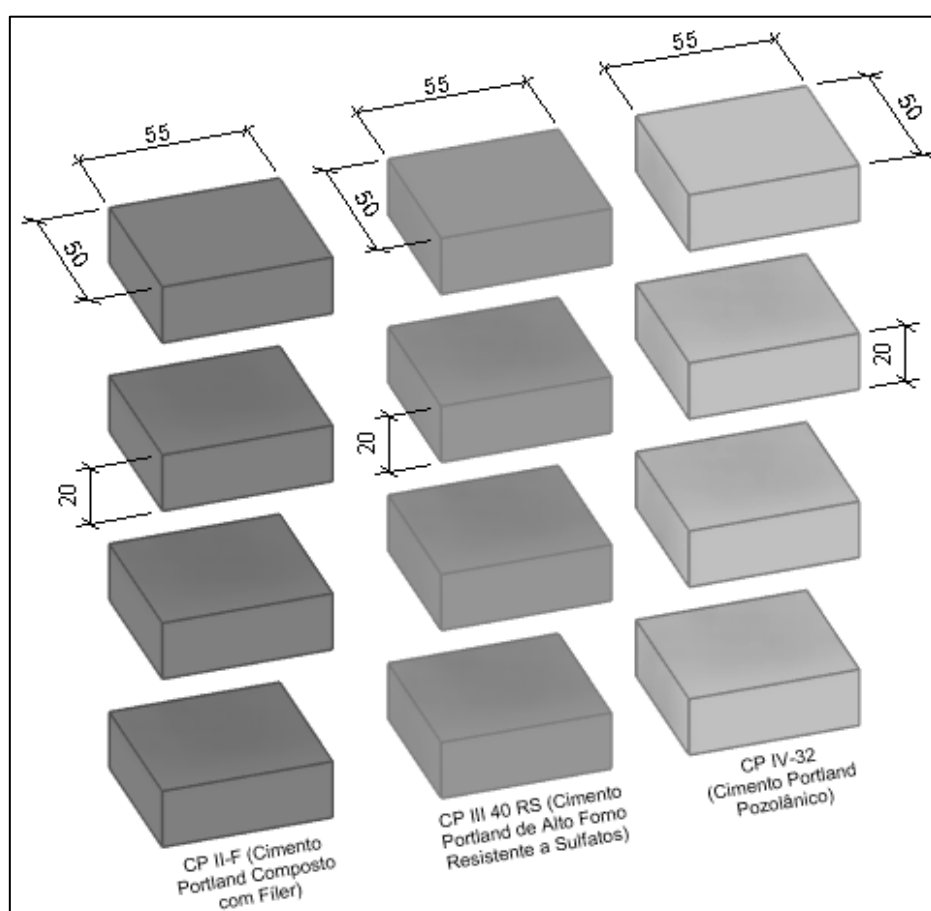


Figura 8. Pastilhas (OS AUTORES, 2019)

O traço utilizado foi o de 1:0,5:7 (cimento:cal:areia) em massa e foi adicionado pó xadrez à mistura para proporcionar uma coloração escura à argamassa, facilitando a visualização de prováveis aparições de eflorescências após a realização do ensaio acelerado. Esse traço foi utilizado por ser muito comum em campo para emboço externo. O traço das argamassas já com a adição do pó xadrez é detalhado no Quadro 2.

Quadro 2. Traço utilizado para confecção das pastilhas de argamassas.

Traço Utilizado para Confecção das Pastilhas de Argamassas		
Material	Massa (g)	Porcentagem de Material (%)
Cimento	90 g	10,18
Cal CH-III	45 g	5,00
Areia média	630 g	71,23
Água	114 g	12,89

Pó xadrez	5,4 g	0,61
Total:	884,4g	100%

Fonte: Os autores (2018)

A execução das amostras e a moldagem das pastilhas foram feitas no Laboratório de Tecnologia de Argamassas (LATECA) do Departamento de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, na data de 1º de novembro de 2018. As amostras foram realizadas com referência à qualificação da dissertação de mestrado do Bem de 2018, concluída em 2019.

Foram utilizados os aparelhos disponíveis no laboratório, onde cada material para a execução das amostras de argamassas foi separado em beckers e pesados através da balança de precisão MARK M5202 – 5,2 kg. A Figura 9 mostra a etapa de separação e pesagem dos materiais.



Figura 9. Separação e pesagem dos materiais. Os autores (2018)

Após a separação e pesagem dos materiais, iniciou-se o processo de mistura utilizando uma argamassadeira, seguindo como referência a NBR 13276:2016. Todos os componentes secos foram inseridos na máquina e misturados pelo período de um minuto para homogeneização em velocidade lenta.

Ao término da mistura a seco foi adicionada água e o processo foi repetido por mais um minuto, conforme a Figura 10.



Figura 10. Mistura dos materiais. Os autores (2018)

Durante a mistura úmida, foi feita uma parada para a raspagem do material preso nas paredes do recipiente e, posteriormente, foi misturado por mais 30 segundos, obtendo a mistura total da argamassa pronta para ser moldada para a execução dos corpos de prova.

Para a moldagem das pastilhas, foi elaborada uma fôrma de madeira revestida com papel contact e untada com uma leve camada de desmoldante em toda a superfície interna e o fundo, para facilitar o processo de desforma. A fôrma com formato retangular era totalmente desmontável e continha capacidade para até 12 pastilhas, facilitando a moldagem, o transporte e o armazenamento.

As pastilhas foram moldadas na forma em uma única camada adensada através de dez golpes com soquete metálico, conforme menciona a NBR 13276 (2016). A Figura 11 mostra o processo de moldagem.

Depois de adensadas, as pastilhas foram rasadas com uma régua, fazendo com que o nível da argamassa ficasse rente ao topo da fôrma, dando acabamento com o cuidado de não aplicar nenhuma força sobre a argamassa

depois do adensamento para evitar a criação de corpos de prova com densidades diferentes.



Figura 11. Moldagem dos corpos de prova. Os autores (2018)

Concluída a moldagem das argamassas na fôrma cada pastilha foi identificada devidamente e o conjunto foi coberto com filme plástico e deixado em repouso para a secagem conforme Figura 12.



Figura 12. Pastilhas prontas para secagem. Os autores (2018)

Com cinco dias de idade, as pastilhas foram desmoldadas e colocadas em câmara seca, por um período de nove dias. Como não há normalização para o

ensaio acelerado de eflorescência, o período de cura foi definido em função do tempo mínimo de cura do emboço ser de sete dias. A temperatura da câmara seca foi de 24,8 ° C, e a umidade foi de 50,8 %.

Com 13 dias de idade, as pastilhas foram retiradas da câmara seca, lixadas e foi aplicado selante em suas laterais conforme Figura 13. Este processo foi realizado com o intuito de centralizar a passagem de água para as faces superiores e inferiores das pastilhas. Após este procedimento, os corpos de prova ficaram em descanso por um dia para a secagem do selante.



Figura 13. Lixamento e aplicação de selante. Os autores (2018)

3.1.2.2. Ensaio Acelerado de Eflorescência

Todas as etapas do ensaio foram realizadas com as mesmas idades das pastilhas, para que somente os três cimentos fossem as variáveis e pudessem ser comparados.

Com 14 dias de idade, foi iniciado o ensaio do “POTE”: duas pastilhas de cada tipo de cimento foram fixadas com cola termoplástica nas laterais dos potes plásticos a uma altura de 5 cm do fundo dos recipientes. Em seguida, os potes foram preenchidos com água até a altura de 15 cm a partir do centro das

pastilhas. Este ensaio apresentou problemas de vazamento pelas laterais das pastilhas, não tendo sucesso nas tentativas de estanqueidade. Portanto, essa metodologia foi abortada. A Figura 14 mostra a tentativa do ensaio do “POTE”.



Figura 14. Ensaio acelerado de eflorescência – tentativa do ensaio do “POTE”. Os autores (2018)

Em função do ocorrido, os testes foram alterados para a realização do ensaio do “COPO” com 21 dias de idade das pastilhas. Foi executado um orifício de aproximadamente 1 cm de diâmetro no fundo do copo de isopor e, fixada a pastilha com cola termoplástica na parte inferior do recipiente. Foi aplicado silicone nas laterais das pastilhas em contato com o copo a fim de melhorar a vedação. Sob este copo, foi fixado outro de isopor com uma janela de visualização para verificação de passagem de água pela pastilha. No total, foram executados seis sistemas de ensaio do “COPO”, sendo dois para cada tipo de pastilha, conforme mostra a Figura 15. Foram esperados dois dias para a secagem da cola e do silicone.



Figura 15. Ensaio acelerado de eflorescência - ensaio do "COPO". Os autores (2018)

Com 23 dias de idade das pastilhas, foi iniciado o ensaio acelerado de eflorescência que consistiu em aplicar uma coluna de água destilada diretamente sobre os corpos de prova para a passagem da água através da argamassa para acelerar o aparecimento de eflorescências. Alguns copos foram preenchidos com coluna de água de 2 cm de altura e, outros, de 8 cm, pois, para a efetividade do ensaio, a pressão de água não poderia ser capaz de provocar gotejamento, mas deveria apenas umedecer os corpos de prova. As pastilhas que receberam coluna de água de 2 cm foram as executadas com CP II F 32 e as moldadas com CP III 40 RS e CP IV 32 receberam 8 cm de coluna de água cada. O controle da pressão de água para verificar se não estava passando líquido pelos corpos de prova, era feito através das janelas de visualização dos copos inferiores, conforme Figura 16.

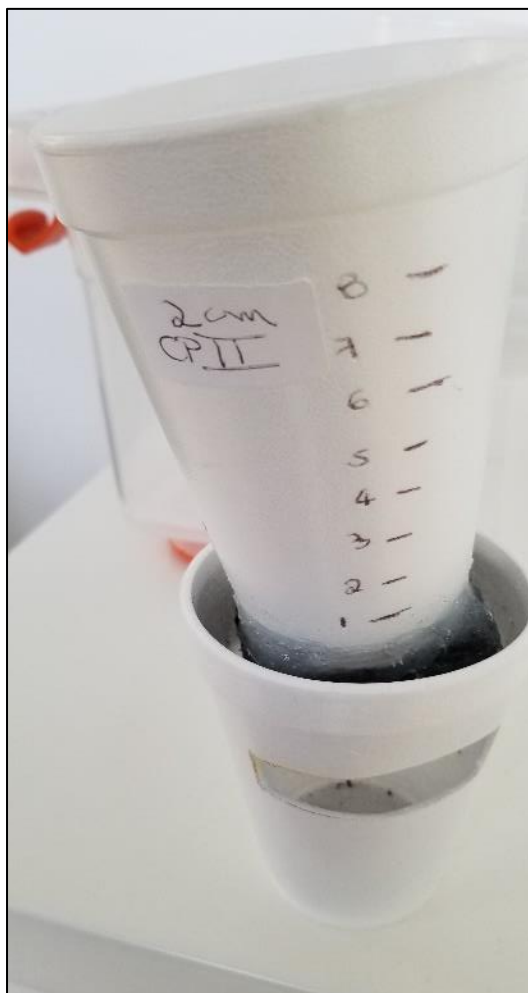


Figura 16. Ensaio acelerado de efluorescência - ensaio do "COPO". Os autores (2018)

Aos 51 dias de idade, as pastilhas foram retiradas da água e deixadas em temperatura ambiente até a idade de 118 dias para serem fotografadas, a fim de identificar as áreas de efluorescências e suas respectivas percentagens.

As pastilhas ficaram no ensaio acelerado de efluorescência em contato com água por 28 dias. Neste período já foi possível visualizar a formação do fenômeno em todas as pastilhas. Depois, elas foram retiradas e colocadas em espaço fechado em condições ambientais normais por 63 dias. Este último período foi definido para que pudessem ocorrer todas as reações químicas e físicas das diferentes composições do cimento.

3.1.2.3. Levantamento das Áreas e Percentuais de Eflorescências

Para a quantificação das áreas e dos percentuais de eflorescências, um programa foi criado para esta finalidade.

As pastilhas foram fotografadas em fundo de cor branca sem uso de flash à distância aproximada de 10 cm, sem formação de sombras. As imagens foram recortadas para observar somente a área das pastilhas e analisar manualmente os valores de alguns pixels (unidade mínima da imagem). Cada pixel tem certo valor numérico que representa a cor para verificar qual o limite de valor que seria considerado branco ao invés de preto. Os valores mais baixos são considerados preto e valores mais altos são considerados brancos. O programa percorreu cada pixel da imagem e verificou se estava maior ou menor que este limiar. As Figuras 17, 18 e 19 mostram a comparação das fotografias originais das pastilhas com as imagens tratadas para levantamento das áreas. Os resultados destas análises foram obtidos em 09 de março de 2019.

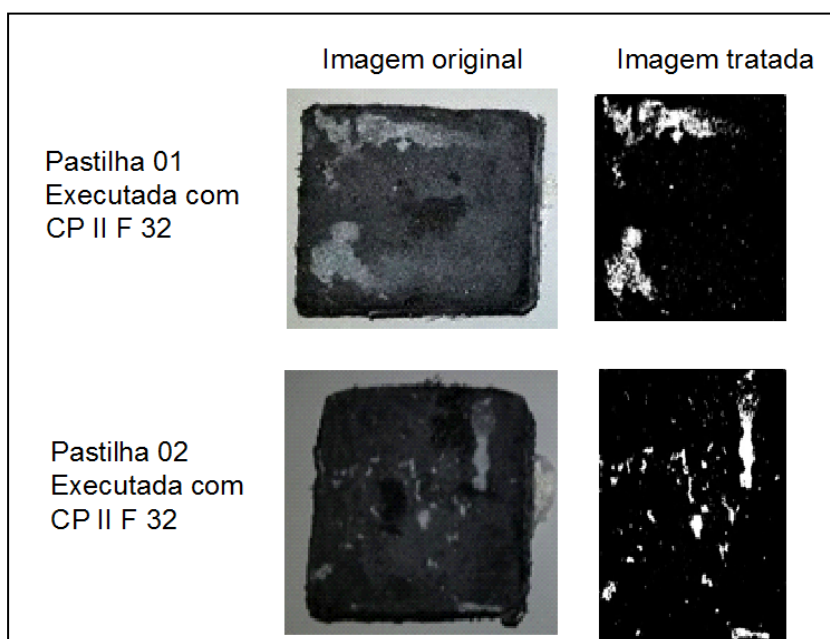


Figura 17. Tratamento das Imagens - CP II F 32. Os autores (2018)

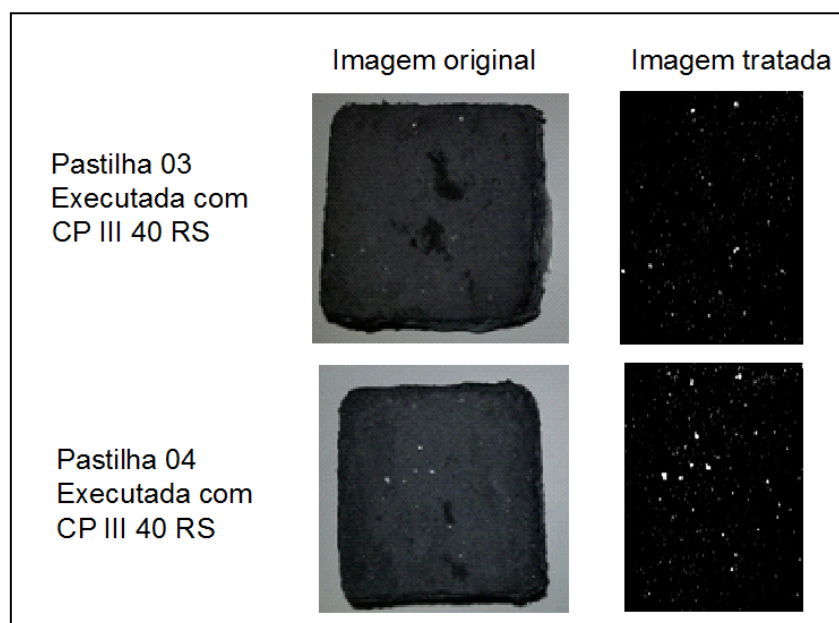


Figura 18. Tratamento das Imagens - CP III 40 RS. Os autores (2018)

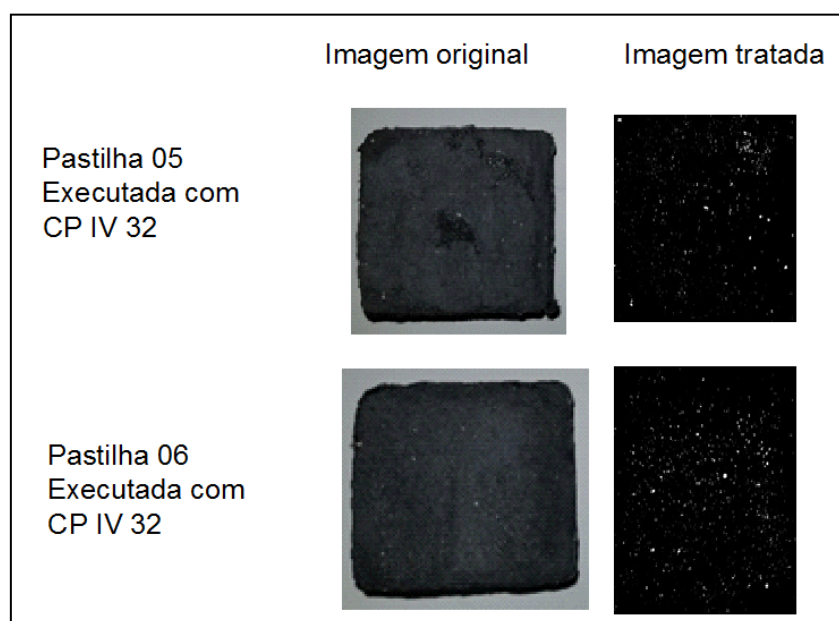


Figura 19. Tratamento das Imagens - CP IV 32. Os autores (2018)

3.1.2.4. Ensaio de Difração de Raio X

Aos 215 dias de idade das pastilhas, foi realizado o ensaio de difração de raio X (DRX) para a identificação das fases cristalinas do material de eflorescência (esbranquiçado) no laboratório Central do Estado (LACEN), localizado no campus da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, através do difratômetro de raio X, Shimatzu Co., modelo XDR-7000, conforme Figura 20. Este ensaio poderia ter sido realizado logo após o ensaio fotográfico, porém houve dificuldade em conseguir um laboratório para execução do mesmo.



Figura 20. Aparelho difratômetro de Raio X. Os autores (2019)

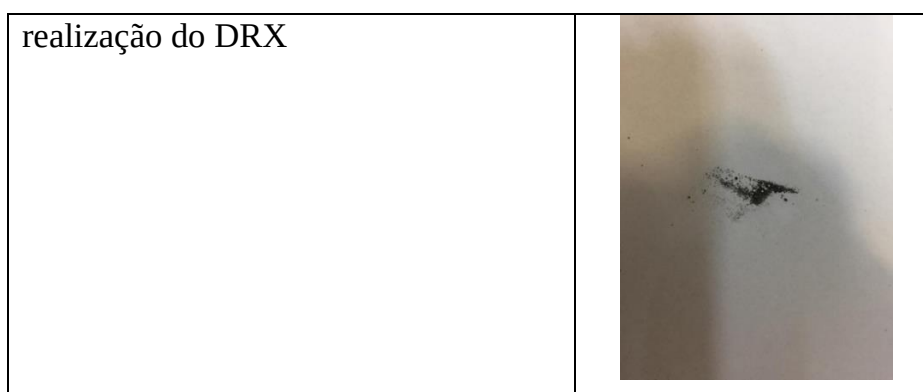
As varreduras foram realizadas com velocidade angular de $0,01^\circ/\text{minuto}$ e analisadas no intervalo de ângulos de Bragg de 15° a 70° .

As amostras foram preparadas conforme o Quadro 3 através da raspagem do material de eflorescência das pastilhas e o material resultante

colocado entre duas lâminas de vidro, sendo realizado um ensaio para cada tipo de cimento.

Quadro 3: Amostras do ensaio de DRX

DESCRIÇÃO	PREPARAÇÃO DA AMOSTRA PARA ENSAIO
Amostra do material raspado da pastilha 2 – CP II F 32 para realização do DRX	
Amostra do material raspado da pastilha 4 – CP III 40 RS para realização do DRX	
Amostra do material raspado da pastilha 5 – CP IV 32 para a	



Fonte: Os autores (2019)

3.1.2.5. Ensaio de Microscopia Eletrônica por Varredura

O ensaio de microscopia eletrônica por varredura foi realizado quando as pastilhas possuíam 236 dias de idade, para a constatação visual das estruturas cristalinas que se formaram pelas reações químicas e físicas ao longo do programa experimental. Assim como o ensaio de DRX, a visualização microscópica foi realizada no laboratório Central do Estado (LACEN). A realização deste ensaio ocorreu na sequência do ensaio de difração de raio X, em função da disponibilidade do laboratório.

Para a visualização por meio do microscópio, foi necessário adequar as amostras para tamanhos menores, as quais pudessem ser inseridos dentro da câmara do aparelho. Portanto, foram retirados testemunhos dos corpos de prova das partes que visivelmente continham material oriundo de eflorescência.

Para a extração dos testemunhos, foi utilizada uma serra de dente e foram retiradas pequenas pastilhas de dimensões quadráticas de aproximadamente 20 x 20 mm conforme exposto na Figura 21.

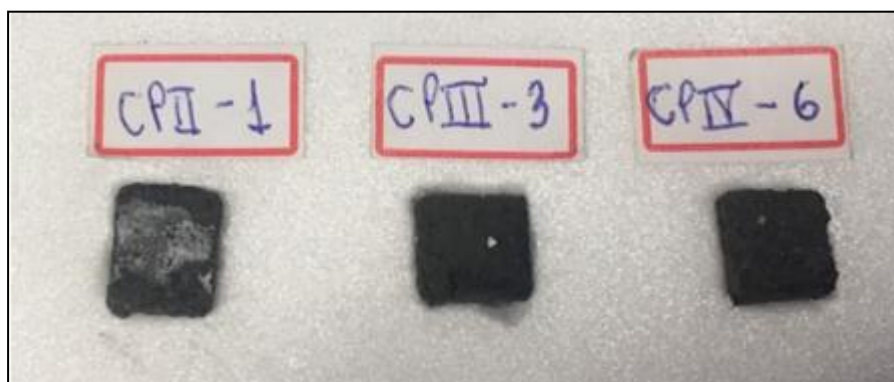


Figura 21. Testemunhos para visualização microscópica. Os autores (2019)

Devido à necessidade de interação do feixe eletrônico com a amostra, alguns elétrons são absorvidos por ela para conduzi-los ao fio terra, por isso, é preciso que as amostras sejam condutoras. Com isso, foi executada a deposição de íons metálicos em uma fina camada de ouro (Au).

Esse processo foi feito através da inserção das amostras testemunho em uma máquina específica para este fim denominada metalizador, conforme Figura 22.



Figura 22. Equipamento utilizado para recobrimento com deposição metálica sobre as amostras não condutoras. Fonte: Os autores (2019)

Após a adequação e preparação das amostras, as mesmas puderam ser inseridas no MEV conforme Figura 23. Assim, cada uma passou por um processo de vácuo para se retirar todo oxigênio presente na câmara do aparelho e, posteriormente, cada material foi analisado através de programa computacional,

onde eram escolhidas as regiões das amostras para captura, bem como a quantidade de aproximação desejada.



Figura 23. Microscópio eletrônico por varredura (MEV). Os autores (2019)

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Apresenta-se a seguir os resultados e as análises dos ensaios de área e de percentual de eflorescência, de difração de raio X e microscopia eletrônica.

4.1. ÁREA E PERCENTUAL DE EFLORESCÊNCIA

Os resultados deste ensaio foram obtidos no dia 09 de março de 2019. Para cada pastilha foram levantadas as áreas e os percentuais de eflorescência, conforme a Figura 24.

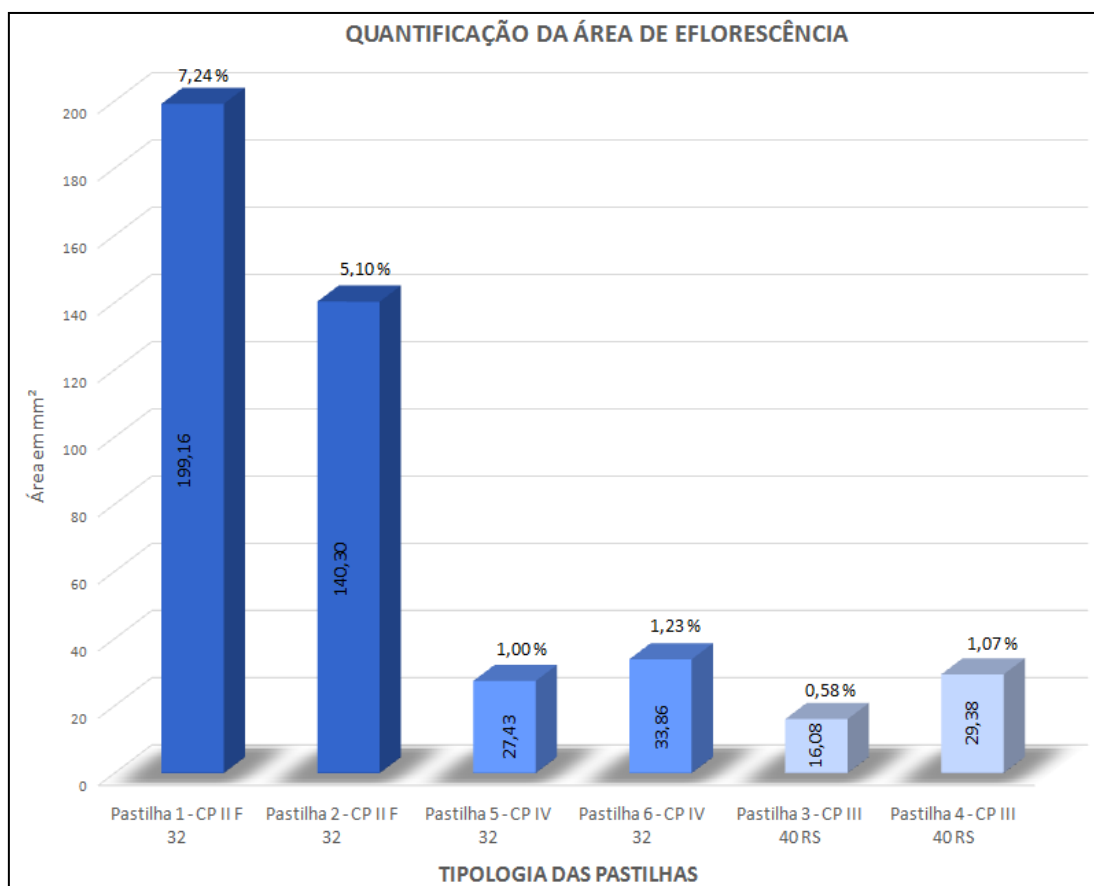


Figura 24. Quantificação da área de eflorescência. Os autores (2019)

A média aritmética da formação de eflorescência em percentual de área das pastilhas executadas com cimento CP II F 32 resultou em 6,17%; das pastilhas com cimento CP IV 32, resultou em 1,12%; e das pastilhas com cimento CP III 40 RS a média ficou em 0,83%.

Para analisar o impacto sobre a resistência dos cimentos com adições minerais, é preciso observar as amostras com mais de 52 a 60 dias de idade, pois a reação pozolânica é lenta e ocorre evolutivamente. Quanto mais C-H houver disponível e quanto mais reativa for a pozolana, haverá mais reação no início do processo, atingindo seu ápice após 52 a 60 dias. Com relação ao refinamento dos poros, este ocorre nas primeiras idades, pois trata-se de ação física, porém a reação química ocorre mais lentamente com as pozolanas. Estes fatores juntos aumentam a resistência e reduzem a porosidade do material cimentício.

Para a escória de alto forno ocorre de forma diferente. Ela hidrata de modo muito semelhante ao clínquer, como se ficasse entre a ação de hidratação do clínquer e ação pozolânica da pozolana com maior semelhança ao clínquer do que à pozolana, possuindo ação cimentante. Neste caso, nas primeiras idades da hidratação do cimento já se observa estruturas de C-S-H, mais rapidamente do que na reação pozolânica.

Em função das pastilhas serem fotografadas com idade de 118 dias, provavelmente houve a formação de dois fenômenos: a eflorescência e a carbonatação. No período entre a retirada dos corpos de prova do ensaio acelerado de eflorescência e a captura das imagens fotográficas, ocorreu também a carbonatação, que por colmatar os poros, pode ter interrompido ou até reduzido a evolução da eflorescência. Além disso, o processo de redução da umidade pela secagem natural das pastilhas também pode ter influenciado na redução desta formação.

Desta forma, as condições pelas quais as amostras ficaram no período dos 51 a 118 dias de idade podem ter favorecido na possível formação da

carbonatação. Este fenômeno ocorre quando os poros estão parcialmente saturados, o que favorece a entrada do dióxido de carbono presente no ar.

Foi possível verificar através do programa experimental a formação de eflorescência em todas as pastilhas e fazer a comparação quantitativa entre as mesmas. De acordo com o previsto, houve menor aparecimento de eflorescência nas pastilhas executadas com cimento CP IV 32 e CP III 40 RS em relação às pastilhas executadas com CP II F 32.

Nas pastilhas com CP II F 32 em relação às pastilhas com CP IV 32 houve 5,5 vezes mais formação de eflorescência e, em comparação às pastilhas CP III 40 RS, houve 7,4 vezes mais de formação de eflorescência.

Portanto, há a redução significativa na formação de eflorescência em argamassas de emboço executadas com estes cimentos, em função do consumo do hidróxido de cálcio com a formação das estruturas de silicato de cálcio hidratado, decorrente da reação pozolânica nos cimentos Portland pozolânicos e da reação de hidratação da escória de alto forno, que possui ação cimentante nos cimentos Portland de alto forno.

4.2. ENSAIO DE DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

Este ensaio foi realizado para identificar as fases cristalinas do material de eflorescência. A análise foi feita para uma pastilha de cada tipo de cimento, foi observada a predominância de carbonato de cálcio no material esbranquiçado desta manifestação patológica.

A Figura 25 mostra o resultado do difratograma do material raspado da pastilha 2 executada com cimento CP II F 32, com a predominância de picos de cristais de calcita (C) e de quartzo (Q).

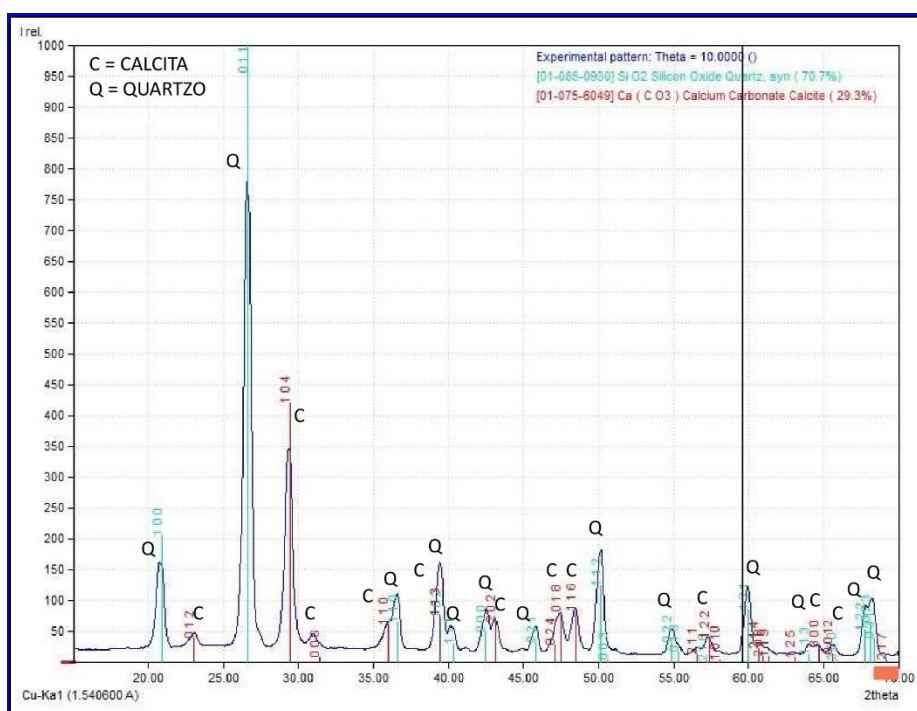


Figura 25. Difratoograma pastilha 2 – CP II F 32. Os autores (2019)

A Figura 26 mostra o resultado do difratograma do material raspado da pastilha 4 executada com cimento CP III 40 RS com a predominância de picos de cristais de calcita (C) e de quartzo (Q).

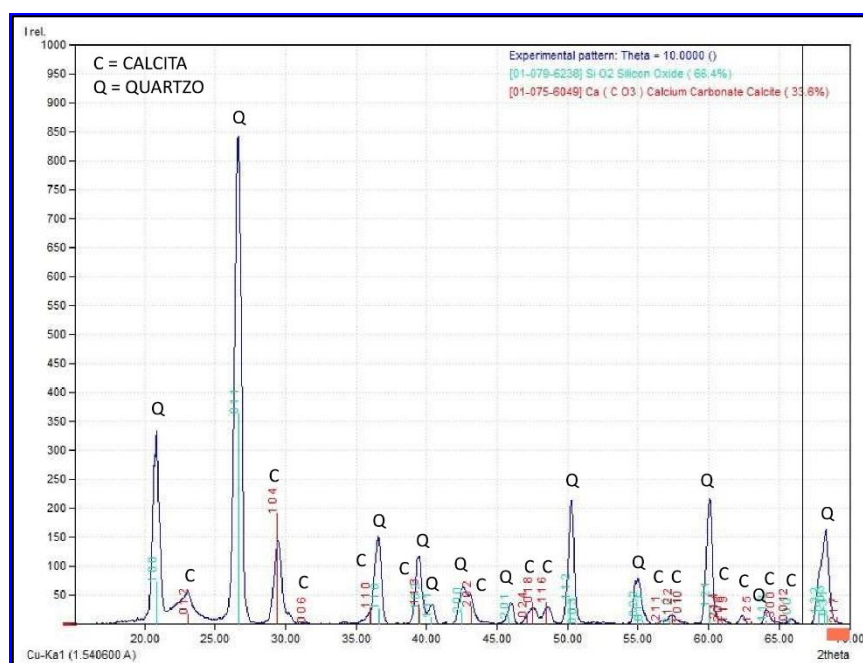


Figura 26. Difratoograma pastilha 4 – CP III 40 RS. Os autores (2019)

A Figura 27 mostra o resultado do difratograma do material raspado da pastilha 5 executada com cimento CP IV 32 com a predominância de picos de cristais de calcita (C) e de quartzo (Q).

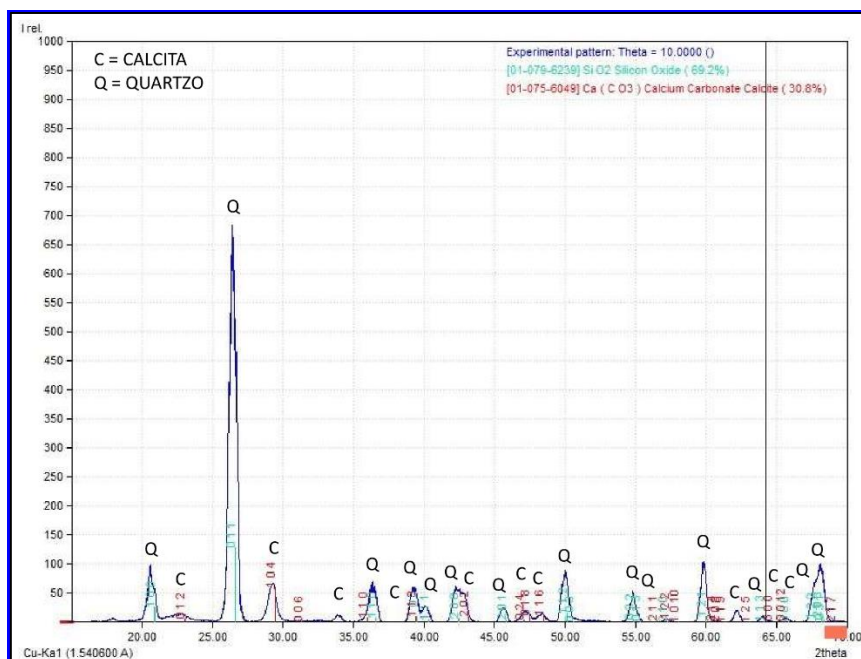


Figura 27. Difratoograma da pastilha 5 – CP IV 32. Os autores (2019)

Além do carbonato de cálcio, foi identificada a presença de Quartzo nos materiais de eflorescências das três pastilhas, proveniente da areia da argamassa oriunda da raspagem do material. A presença destes dois materiais está conforme a expectativa, confirmando a formação de eflorescência, através da formação do carbonato de cálcio.

Com este ensaio foi possível identificar os materiais predominantes das amostras raspadas das pastilhas, contudo, como houve diferenciação nos picos entre as amostras para as mesmas estruturas cristalinas, pode-se relacionar que houve redução do aparecimento de CaCO_3 nas pastilhas elaboradas com CP II F 32, CP III 40 RS e CP IV 32, consecutivamente.

4.3. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

O ensaio de microscopia eletrônica teve a finalidade de constatar visualmente os cristais formados. Todas as imagens abaixo inseridas foram capturadas com aproximação de 500 vezes.

A Figura 28 mostra a micrografia do material de eflorescência da pastilha 1 executada com cimento CP II F 32, onde foi possível verificar os cristais de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e o carbonato de cálcio (CaCO_3).

No cimento composto com filer há a formação da eflorescência decorrente da formação do hidróxido de cálcio (C-H) durante as reações de hidratação do cimento. Os sais de alta solubilidade lixiviam até a superfície das pastilhas e transformam-se em carbonato de cálcio em contato com o gás carbônico.

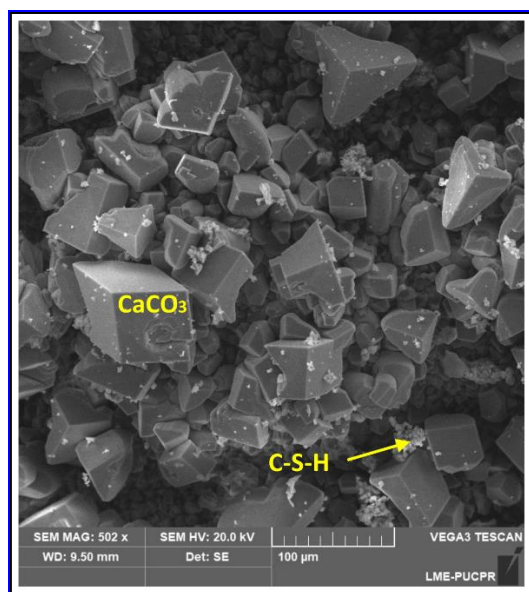


Figura 28. Micrografia do material da eflorescência da pastilha 1 – CP II F 32. Os autores (2019)

A Figura 29 mostra a micrografia do material de eflorescência da pastilha 3 executada com cimento CP III 40 RS, onde foi possível identificar os

cristais de silicato de cálcio hidratado (C-S-H). A escória de alto forno, por suas características cimentantes, forma estruturas de C-S-H mais rapidamente do que a reação pozolânica, nas primeiras idades.

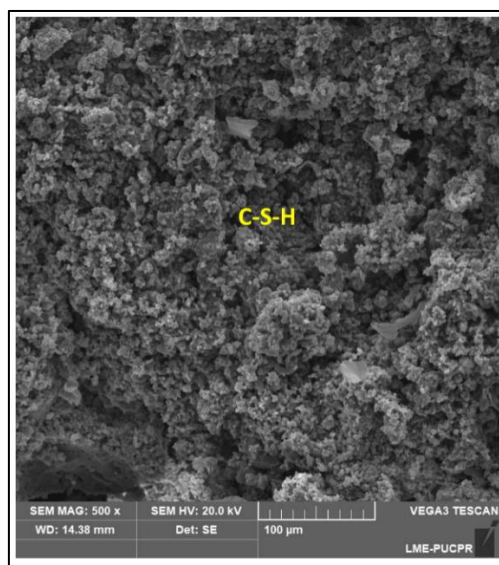


Figura 29. Micrografia do material da efluorescência da pastilha 3 – CP III 40 RS. Os autores (2019)

A Figura 30 mostra a micrografia do material de efluorescência da pastilha 6 executada com cimento CP IV 32, onde foi possível identificar os cristais de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e de hidróxido de cálcio (C-H). Não se observa a presença de carbonato de cálcio (CaCO_3) nesta pastilha, porém há a presença do hidróxido de cálcio (C-H), provavelmente lixiviado durante o ensaio acelerado de efluorescência.

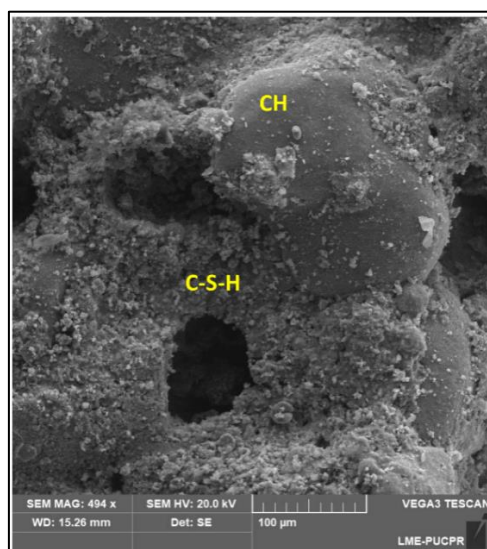


Figura 30. Micrografia do material da eflorescência da pastilha 6 – CP IV 32. Os autores (2019)

Ao observar as Figuras 29 e 30, não foi possível identificar o carbonato de cálcio nas pastilhas de CP III 40 RS e de CP IV 32, provavelmente por não haver pontos de concentração suficiente de eflorescência formados nestas pastilhas. Porém, foi possível notar nas argamassas os cristais de C-H e C-S-H. Diferentemente do CP III 40 RS, observa-se no CP IV 32 a presença de C-H em função da reação pozolânica não estar finalizada nas primeiras idades do cimento Portland pozolânico. Por consequência, o C-H pode ter sofrido lixiviação até a superfície da pastilha pela região mais porosa.

Uma outra hipótese para a explicação de poros na amostra com cimento CP IV 32, seria na escolha da região para a captura da micrografia, podendo ser uma área em exceção, não representando, necessariamente, a pastilha como um todo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente capítulo abordará as considerações finais do trabalho e a sugestão para trabalhos futuros.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que foi atingido o objetivo proposto no início desta pesquisa e que a hipótese foi corroborada, e pode-se observar que:

- a)** A hipótese foi confirmada visto que na argamassa composta com cimento Portland composto com fíler há maior quantidade de formação de eflorescência em comparação com as argamassas constituídas com o cimento Portland pozolânico e cimento Portland de alto forno. Portanto, o tipo de cimento utilizado na composição da argamassa de emboço influencia na formação de eflorescência;
- b)** O ensaio acelerado do “COPO” gerou eflorescência no período de duração de 28 dias em que as pastilhas com os três tipos de cimento estiveram em contato com água;
- c)** Foi possível a quantificação das eflorescências formadas nas pastilhas com os três tipos de cimento através do programa de quantificação de pontos de pixel, tornando esta análise não subjetiva;
- d)** As pastilhas executadas com os cimentos CP III 40 RS e CP IV 32 apresentaram menores áreas e percentuais de eflorescência, em função

da reação pozolânica e das reações cimentícias da escória de alto forno;

- e)** As pastilhas executadas com o cimento CP II F 32 apresentaram maiores áreas e percentuais, sendo 5,5 vezes acima da área e do percentual de eflorescência do que as pastilhas com cimento CP IV 32 e 7,4 vezes acima das pastilhas com o cimento CP III 40 RS;
- f)** Conforme esperado, o ensaio de DRX constatou a presença de carbonato de cálcio nos materiais esbranquiçados de eflorescência;
- g)** Através do ensaio de microscopia eletrônica observou-se na amostra da pastilha formada com o cimento CP II F 32, além das formações de hidróxido de cálcio e de silicato de cálcio hidratado, também os cristais de carbonato de cálcio. Já nas amostras das pastilhas formadas com CP III 40 RS e CP IV 32 não foi possível a visualização dos cristais de carbonato de cálcio, provavelmente por não haver pontos de concentração suficiente de eflorescência formados nas pastilhas;
- h)** Para minimizar a formação de eflorescência, os cimentos indicados na execução das argamassas de emboço devem ser os com escórias de alto forno ou com pozolanas;
- i)** Pelo ensaio de microscopia eletrônica, na amostra composta com CP II F 32 o índice de vazios é menor que na composta com CP IV 32. Entre uma das hipóteses para esse caso é em função da reação pozolânica não estar finalizada nas primeiras idades do cimento Portland pozolânico, assim, o C-H pode ter sofrido lixiviação até a superfície da pastilha pela região mais porosa. Além disso, a região escolhida para a captura da micrografia, pode não ser representativa do todo da pastilha, podendo ser uma exceção na pastilha.

5.2. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugere-se a comparação de argamassas de emboço executadas com os três tipos de cimento deste trabalho aplicadas em paredes expostas às condições ambientais de ventos, chuvas, orvalhos, verificando em situação real seus comportamentos com relação à eflorescência.

Analisar questões relativas às resistências mecânicas de aderência à tração, resistência à compressão e permeabilidade.

Verificar a formação da eflorescência em idades mais altas como 60 e 90 dias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7 ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106)

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674– Manutenção em edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276 – Argamassa para Assentamento e Revestimentos de Paredes e Tetos / Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORAMAS TÉCNICAS. **NBR 13529 – Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas**. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13530 – Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas**. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697 – Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

ABRÃO, P. C. R. A.; **O uso de Pozolanas como materiais cimentícios suplementares: Disponibilidade, Reatividade, demanda de água e indicadores ambientais**, 2019. Disponível em <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-26032019-084557/publico/PedroCesarRodriguesAlvesAbraoCorr19.pdf>. Acessado em: 14 de Outubro de 2019.

BAUER, R. J. F. **Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica**. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, 4., Porto Alegre, 1997. Anais. Porto Alegre: UFRGS, 1997. p. 389-96.

BEM, D. **Efeito da adição de pozolanas e da cal hidratada na incidência de eflorescência medida através de ensaios acelerados em argamassas**, 2019. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

BIANCHIN, A. C. **Influência do Proporcionamento dos Materiais Constituintes no Desempenho de Argamassas para Reboco de Recuperação**

de Alvenarias Contaminadas por Umidades e Sais, 1999. Disponível em <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/15991>. Acessado em: 14 de agosto de 2018.

BLEICHER, Lucas; SASAKI, 1universidade Federal do Ceará Introdução À Difração de Raios-x em Cristais Lucas Bleicher José Marcos. **INTRODUÇÃO A DIFRAÇÃO DE RAIOS-X EM CRISTAIS**. 2000. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2000.

BORGES, C. A. M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**, 2008. Disponível em <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-25092008-094741/pt-br.php>. Acessado em: 15 de agosto de 2018.

BURIN *et al.*, E. M. **Vistorias na Construção Civil: Conceitos e Métodos**. São Paulo: PINI, 2009.

CAMENAR, M. T.; SCHEID, M. **Análise do Sistema de Gestão de Resíduos da Construção Civil: Estudo de Caso no Município de Pato Branco – PR**. Dissertação de Graduação. Pato Branco – PR, 2016.

CAMPANTE, E. **Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos em fachadas**. Tese de Doutorado de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2001.

CETEM. **Tratamento de Minérios: Calcinação**. 6. ed. Brasil: Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, 2018.

CHAVES, A. M. V. A.; Patologia e Reabilitação de Revestimentos de Fachadas. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/10764/1/Tese%20Final%20ana%20chaves.pdf>. Acessado em 05 de Outubro de 2019.

CORREIA, C.; Caracterização de eflorescências, sua natureza e mecanismos de formação em fachadas revestidas com cerâmica e pedra natural. Disponível em <https://www.apfac.pt/congresso2005/comunicacoes/Paper%2039.pdf>. Acessado em 05 de Outubro de 2019.

COSTA, M. R. M. M.; PACHECO, A. P. G.; **Avaliação do potencial de carbonatação de cales hidratadas em pasta**, 2013. Disponível em https://www.researchgate.net/profile/M_Costa4/publication/323558630_Avaliacao_do_potencial_de_carbonatacao_de_cales_hidratadas_em_pasta/links/5d1c

0f7c299bf1547c92c366/Avaliacao-do-potencial-de-carbonatacao-de-cales-hidratadas-em-pasta.pdf. Acessado em 05 de Fevereiro de 2020.

DEDAVID, Berenice Anina; GOMES, Carmem Isse; MACHADO, Giovanna. **MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA: Aplicações e preparação de amostras**. 2007. 60 f. Monografia (Especialização) - Curso de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

FARIA, P.; **Argamassas Sustentáveis**. Disponível em https://run.unl.pt/bitstream/10362/9494/1/Faria_2012.pdf. Acessado em 05 de Outubro de 2019.

FERREIRA, B. B. D.; **Tipificação de Patologias em Revestimentos Argamassados**. Dissertação de Mestrado ao programa de pós-graduação em engenharia civil da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FIGUEIREDO, G. J.; **Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização: Patologias em revestimentos em Fachadas – diagnósticos, prevenção e causas**, 2017. Disponível em <http://www.biblioteca.digital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-ASVNA3>. Acessado em: 06 de julho de 2018.

FIORITO, A. J. S. **Manual de argamassas e revestimento: estudos e procedimentos de execução**. São Paulo, Ed. Pini, 1994.

GIL, A. C.; **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo, 2007.

GOBBO, L. A.; **Aplicação da Difração de Raios-X e Método de Rietveld no Estudo de Cimento Portland**, 2009. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44137/tde-23072009-144653/en.php>. Acessado em 05 de Outubro de 2019.

GONÇALVES, G. P.; **Estudo da substituição da cal hidratada por resíduo de mármore na produção de argamassa**, 2011. Disponível em <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2015/09/Gabriel-Pereira-Gon%C3%A7alves.pdf>. Acessado em 07 de Fevereiro de 2020.

GRANATO, J. E. **Apostila: Patologia das Construções**. São Paulo, 2002.

GUTERRES, P. R. C. **ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO: Estudo da Sua Utilização e do Seu Comportamento para o Tratamento e Recuperação de**

Construções Afetadas por Eflorescências. Tese Doutorado – Universidade da Beira Interior – Portugal, 2016.

HELENE, P. R L., **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado.** Tese - Escola Politécnica da Universidade. São Paulo – SP, 1993.

HOPPE, J. **Sistema cimento, cinza volante e cal hidratada: mecanismo de hidratação, microestrutura e carbonatação de concreto.** Tese de Doutorado de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2008.

KESRENBACHK, H.J.; BOTA FILHO W.J. Microscopia eletrônica transmissão e varredura. São Paulo: ABM, 1994.

KULAKOWSKI, M. P., **Contribuição ao Estudo da Carbonatação em Concretos e Argamassas Compostos com Adição de Sílica Ativa.** Tese de Doutorado - UFRGS. Porto Alegre – PR, 2002.

MASSAZZA, F, 2001. **Pozzolana and pozzolanic cements.** Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-R&lr=&id=v1JVu4iifnMC&oi=fnd&pg=PA471&dq=Pozzolana+and+pozzolanic+cements&ots=Ygx2Q5MWvT&sig=XehckT7VjvE2MH10x7BxBC8fYnI#v=onepage&q=Pozzolana%20and%20pozzolanic%20cements&f=false>. Acessado em 05 de Outubro de 2019.

MASSUCATO, C. J.; **Utilização de escória de alto-forno à carvão vegetal como adição no concreto,** 2005. Disponível em http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258498/1/Massucato_CarlosJose_M.pdf. Acessado em: 05 de Outubro de 2019.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: Pini, 2008.

MILITO, J. A.; **Avaliação do Desempenho de Aglomerante à Base de Gesso com Cimento Portland de Alto Forno e Sílica Ativa,** 2007. Disponível em <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258270>. Acessado em 14 de Outubro de 2019.

MODERNA, Laboratório de Física; GLEB WATAGHIN, Instituto de Física . **Difração de Raio X.** 2019. 1 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Unicamp, Campinas, 2019. Disponível em: <<https://sites.ifi.unicamp.br/lfmoderna/conteudos/difracao-de-raio-x/>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

MONTANHEIRO, T. J.; YAMAMOTO, J. K.; YUSHIRO, K; **Proposta de pré-qualificação pozolânica de materiais geológicos: difratometria de raio X com método alternativo**, 2003. Disponível em <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rig/article/view/8896>

MORAIS, A. F. de; RESENDE, M. de F. **Revestimento de fachadas: projeto de produção de melhoria da qualidade**. Boletim Técnico. Universidade de Pernambuco, 2000, 15p.

NAGATANI, T.; SAITO S.; SATO, M.; YAMADA, M. Development of an ultra high resolution scanning electron microscope by means of a field emission source and in-lens system. Scanning Microscopy. v.11, 901-909, 1987.

NAPPI, S. C. B., **Uma solução alternativa para prorrogação da Vida Útil dos Rebocos com Salinidade em Edifícios Históricos**. Dissertação de Doutorado - UFSC. Florianópolis – PR, 2002.

OLIVEIRA, M. P. de; BARBOSA, N. P. **Potencialidades de um caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento Portland em argamassas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n2/v10n2a34.pdf>. Acesso em 02 de Agosto de 2019.

SANTOS, Adenilson Oliveira dos. **Difração de raios-X de n-feixes na caracterização estrutural de monocristais sob a ação de temperatura e campo elétrico externo**. 2006. 118 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

SEGAT, G. T.; **Trabalho de Conclusão Curso de Mestrado Profissionalizante: Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS)**, 2005. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/10139>. Acesso em: 15 de Julho de 2018.

SENFF, L.; FOLGUERAS, M.V., HOTZA D. **Hidratação do Cimento CP V ARI – RS: influência da água nas reações de hidratação**, 2005. Disponível em <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbc/2005/artigos/49cbc-15-05>. Acesso em: 14 de Novembro de 2018.

SILVA, A. F. **Manifestações Patológicas em Fachadas com Revestimentos Argamassados**. Dissertação de Mestrado - UFSC. Florianópolis – SC, 2007.

SILVA, I. T. **Identificação dos Fatores que Provocam Eflorescência nas Construções em Angicos/RN**. Dissertação de Especialização. Angicos – RN, 2011.

SILVA, I. T. **Identificação dos Fatores que Provocam Eflorescência nas Construções**. Dissertação de Mestrado - UFPR. Curitiba – PR, 2006.

SNIC –SINDICATO NACIONAL DA INDUSTRIA DO CIMENTO. Rio de Janeiro, 2019.

TORRES, J. R. **Controle do Processo de Revestimentos cerâmicos em Fachadas de Edifícios: Estudo Multicaso**. Dissertação de Especialização. João Pessoa - PB, 2007.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. São Paulo: Pini, 2009, 606 p.

VIEGAS, M. **Recuperação Estrutural: Diagnostico e Terapia para prolongar a vida útil das obras**. Revista Concreto & Construções. São Paulo: IBRACON, 2008.

ZAMPIERI, **Mineralogia e mecanismos de ativação e reação das pozolanas de argilas calcinadas**, 1989. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós Graduação em Mineralogia e Petrologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.