

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**ANÁLISE COMPARATIVA DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE
DURABILIDADE DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO MISTAS E
ADITIVADAS**

Autora: Alessandra Tolentino Souza
Orientador: Prof. Dr. White José dos Santos

Belo Horizonte
Março/2019

Alessandra Tolentino Souza

**" ANÁLISE COMPARATIVA DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE
DURABILIDADE DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO MISTAS E
ADITIVADAS "**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Tecnologia na Construção Civil. Linha de pesquisa: Materiais de Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. White José dos Santos

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2019

ALESSANDRA TOLENTINO SOUZA

"ANÁLISE COMPARATIVA DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE DURABILIDADE DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO MISTAS E ADITIVADAS"

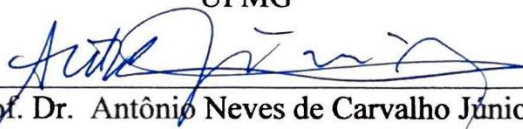
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo Mestrado em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 21 de março de 2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. White José dos Santos
Orientador
UFMG



Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior
UFMG



Profa. Dra. Maria Teresa Gomes Barbosa
UFJF

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Professor orientador White José dos Santos por sempre impulsionar e fomentar a minha pesquisa, por sempre me fazer querer encontrar uma justificativa para tudo e não simplesmente aceitar as situações. Agradeço a ele também por ouvir as minhas especulações e aflições quando tudo parecia dar errado. Agradeço ao meu companheiro, Lucas, por entender que eu devia dedicar tempo para essa pesquisa acontecer, e não só entender, como participar efetivamente comigo na busca de soluções e materiais diversos para a realização do trabalho. Agradeço aos alunos de Iniciação Científica, Catharina, Gabriel e Henrique, que dispuseram do seu tempo, de forma voluntária, para contribuir com a concretização deste trabalho. Agradeço os técnicos do Laboratório de Concreto da UFMG, Ricardo e Edérson, por sempre me ajudarem quando solicitado. Agradeço à empresa fornecedora dos aditivos utilizados, que dentre várias contatadas foi a única que se dispôs em ajudar com a pesquisa, fornecendo não só as amostras que fossem necessárias, mas também todo o conhecimento do Eng. Responsável. Agradeço à minha família por sempre estimular o meu estudo e compreender o tempo que eu deveria dispor para o laboratório. Agradeço à Deus por me dar força e fé em momentos difíceis. A todos que de alguma forma participaram dessa etapa, tenham minha gratidão, sem vocês essa pesquisa não se concretizaria.

RESUMO

SOUZA, Alessandra Tolentino. Universidade Federal de Minas Gerais, Março de 2019. **Análise comparativa de propriedades mecânicas e de durabilidade de argamassas de revestimento mistas e aditivadas.** Orientador: White José dos Santos.

Este estudo teve por finalidade analisar a influência de um conjunto de aditivos, usando como referência a argamassa mista de cal, para estabelecer uma proporção adequada de aditivos que forneça propriedades satisfatórias assim como a argamassa mista. Para atingir o objetivo, foi dosado um traço de argamassa mista utilizando areia natural, cimento CP II-F 32 e cal CHI, conforme a metodologia de SANTOS (2014). A seguir, tomando como base o traço misto, foi dosado o traço aditivado retirando a cal e adicionando diferentes proporções dos aditivos: retentor de água (R), incorporador de ar (I) e plastificante (P), conforme estabelecido pela metodologia SIMPLEX. Com os traços estabelecidos, foram realizados testes de consistência, densidade no estado fresco e endurecido, retenção de água, módulo de elasticidade, resistência à tração na flexão, à compressão, e de aderência à tração, absorção de água por imersão e por capilaridade, porosidade, ensaio de envelhecimento adaptado e análise da microestrutura através de microscópio digital. Ao fim deste estudo, ficou evidenciado que: o ar incorporado teórico e a porosidade total foram diretamente influenciados pelo aumento do I; a densidade no estado fresco e endurecido, e a porosidade aberta foram inversamente influenciadas por I, e diretamente por P; a resistência de aderência da argamassa aditivada (50%P + 50%R) apresentou resultado equiparado ao da argamassa mista, ressalta-se que apenas o uso do incorporador de ar ou do plastificante apresentou resultado insatisfatório; as resistências mecânicas foram diretamente influenciadas pelo uso do P; e o aumento do custo dos materiais das argamassas aditivadas ficou diretamente relacionado com o maior teor de R, mesmo assim foi mais barato que o custo de materiais da argamassa mista com cal. Constatou-se, por fim, a possibilidade (técnica e econômica) de substituir a argamassa mista por um traço de argamassa aditivado (50%P + 50%R) tão eficiente quanto a argamassa mista estudada.

Palavras Chave: Argamassa de revestimento, Cal, Incorporador de ar, Plastificante, Retentor de água, Dosagem.

ABSTRACT

SOUZA, Alessandra Tolentino. Federal University of Minas Gerais, March 2019. **Comparative analysis of mechanical properties and durability, between hydraulic lime mortar coating and additive mortar coating.** Adviser: White José dos Santos.

The purpose of this study was to analyze the influence of a set of additives in mortar coating, using mixed lime mortar as reference. To achieve this objective an adequate proportion of mortar was dosed, using natural sand, CP II-F 32 cement and CH I hydraulic lime, via SANTOS (2014) methodology. Afterwards, based on the hydraulic lime proportion the additive mortar proportion was dosed, adding different proportions of additives: water retainer (R), air entraining agent (I) and plasticizer (P), as established by SIMPLEX methodology. With the appropriate proportions some tests were conducted: consistency, density in the fresh and hardened state, water retention, modulus of elasticity, tensile strength in flexion, compression, adherence, water absorption by immersion and by capillarity, porosity, adapted aging test, and analysis of the microstructure through a digital microscope. At the end of this study, it was evidenced that: entrained air and total porosity were directly influenced by the increase of the air entraining agent; the density in fresh and hardened state and open porosity were inversely influenced by the air entraining, and directly by the plasticizer; using only air entraining or plasticizer presented an unsatisfactory adherence's result, the highest result were with 50%P + 50%R, being this result as high as the one of mixed mortar; the mechanical resistance were directly influenced by the use of plasticizer; and the cost of materials were directly influenced by water retainer, however it was cheaper than mixed mortar's cost of materials. In the end, it was verified the possibility (technical and economical) of replacing the mixed mortar with the additive mortar (50%P + 50%R) as efficient as the mixed mortar studied.

Keywords: Mortar coating, Hydraulic lime, Air entraining agent, Plasticizer, Water retainer, Dosage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Descrição dos diferentes f-parâmetros de acordo com a forma da partícula. .	7
Figura 2.2 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	7
Figura 2.3 - Mecanismo de incorporação de ar na pasta de cimento.....	19
Figura 2.4 - Estrutura química de éteres de celulose: a) HPMC b) HEMC c) HEC. Posições de substituição podem variar.	22
Figura 2.5 - Famílias de redutores de água: a) formaldeído sulfonato de melamina; b) formaldeído sulfonato de naftlaneno; c) lignosulfonato de alta pureza e d) policarboxilato-poliésteres.....	26
Figura 2.6 - Revestimentos argamassados para parede: (a) emboço+ reboco+ pintura (sistema convencional); (b) camada única+ pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM).	31
Figura 2.7 - Fluxograma do método de dosagem de SANTOS (2014).....	43
Figura 2.8 - Sistema de coordenadas Simplex de três componentes	46
Figura 2.9 - Isorespostas de experimento realizado em modelo cúbico especial.....	47
Figura 3.1 - Formas de ruptura em um sistema de revestimento com chapisco	55
Figura 4.1 - Pontos na dosagem SIMPLEX.	62
Figura 4.2 - (a) Acréscimo do consumo de água após o ajuste (b) Resultados relação água/cimento em massa das argamassas aditivadas.....	67
Figura 4.3 - Resultados consistência das argamassas aditivadas no (a) ajuste, (b) na moldagem e (c) porcentagem de acréscimo de consistência entre o ajuste e a moldagem.	68
Figura 4.4 - Resultados retenção de água das argamassas aditivadas.	71
Figura 4.5 – Análise da retenção ao longo do tempo.....	73
Figura 4.6 - Consistência referente a variação da concentração dos polímeros utilizados para avaliar a retenção.....	74
Figura 4.7 - Avaliação da retenção de água com a variação da concentração dos polímeros.	75
Figura 4.8 - Resultados densidade no estado fresco das argamassas aditivadas.	76
Figura 4.9 - Resultados ar incorporado teórico das argamassas aditivadas.	77
Figura 4.10 - Resultados densidade no estado endurecido das argamassas aditivadas.	78
Figura 4.11 – Resultados (a) porosidade aberta e (b) porosidade teórica das argamassas aditivadas.....	80
Figura 4.12 - Resultados absorção por imersão das argamassas aditivadas.	82
Figura 4.13 - Dispersão dos dados da absorção por imersão.....	83

Figura 4.14 - Resultados coeficiente de capilaridade ($\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$) das argamassas aditivadas.....	83
Figura 4.15 - Comportamento da absorção por capilaridade com a evolução do tempo..	84
Figura 4.16 - Dispersão de dados da absorção por capilaridade das argamassas estudadas.	86
Figura 4.17 - Resultados de aderência à tração das argamassas aditivadas.	87
Figura 4.18 - Resultados (a) tração na flexão das argamassas aditivadas e (b) tração na flexão de corpos de provas envelhecidos em 10 ciclos molhagem secagem.....	90
Figura 4.19 - Resultados (a) compressão das argamassas aditivadas e (b) compressão de corpos de provas envelhecidos em 10 ciclos de molhagem e secagem.	92
Figura 4.20 - Relação encontrada entre as resistências à tração na flexão e à compressão.....	93
Figura 4.21 - Resultados módulo de elasticidade das argamassas aditivadas.	94
Figura 4.22 - Dispersão dos dados apresentados para o módulo de elasticidade.	95
Figura 4.23 - Imagem de microscópico óptico do traço de argamassa mista.....	96
Figura 4.24 - Imagens de microscópico óptico dos traços aditivados.	97
Figura 4.25 - Resultados custo das argamassas aditivadas.	99
Figura 5.1 – Seleção das propriedades limitantes no MINITAB: (a) Response Optimizer e (b) Response Optimizer Setup.	101
Figura 5.2 - Resultado gerados para otimização do traço via SIMPLEX-MINITAB.	103

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Curva granulométrica do agregado miúdo utilizado.	59
Gráfico 4.2 - Composição dos constituintes de cada traço em percentagem.....	62
Gráfico 4.3 - Proporções de aditivos utilizadas conforme estabelecido pelo SIMPLEX. ..	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Métodos de lavra de areia e tipos de Depósito Mineral	6
Tabela 2.2 - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material	8
Tabela 2.3 - Relações de Cimentos Brasileiros e Internacionais	12
Tabela 2.4 - Influência do tipo de cimento nas propriedades das pastas, argamassas ou concretos.	14
Tabela 2.5 - Exigências químicas e físicas da cal hidratada.....	16
Tabela 2.6 - Classificação Europeia das cales	16
Tabela 2.7 - Influência do redutor de água na incorporação de ar.....	27
Tabela 2.8 - Resultado de aderência médio do chapisco em relação ao processo de cura	33
Tabela 2.9 - Recomendações de traços de argamassa por camada	35
Tabela 2.10 - Critérios para serem avaliados para uma boa execução de revestimentos	37
Tabela 2.11 - Ranking proposto da importância das patologias em revestimentos argamassados.....	38
Tabela 2.12 - Critérios para avaliar a suscetibilidade da argamassa de revestimento fissurar	40
Tabela 2.13 - Limites das propriedades das argamassas para reboco	45
Tabela 3.1 - Ensaio realizado no programa experimental	49
Tabela 4.1 - Traço estabelecido para a argamassa mista.	61
Tabela 4.2 - Características dos aditivos utilizados.	63
Tabela 4.3 – Traços das argamassas aditivadas.....	64
Tabela 4.4 - Resultados das propriedades no estado fresco.....	65
Tabela 4.5 - Resultados dos índices físicos.....	65
Tabela 4.6 - Resultados das propriedades mecânicas e do custo dos materiais.	66
Tabela 5.1 - Valores limitantes para alcançar o traço ideal.....	102
Tabela 5.2 - Resultados encontrados para o traço ideal via SIMPLEX – MINITAB em comparação com o traço T3 e o T0.....	104

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 – Calcinação da Cal.....	15
Equação 2.2 – Hidratação da Cal.....	15
Equação 2.3 – Carbonatação da Cal.....	15
Equação 2.4 - Cálculo do consumo de areia, SANTOS (2014)	42
Equação 2.5 - Cálculo do consumo de aglomerante, SANTOS (2014)	43
Equação 2.6 - Cálculo do consumo de aglomerante mínimo.....	43
Equação 2.7 - Valor limite estabelecido com nível de confiança amostral.....	44
Equação 3.1 - Densidade de massa no estado fresco.....	49
Equação 3.2 - Cálculo do teor de ar incorporado.....	49
Equação 3.3 - Cálculo do teor de ar incorporado.....	49
Equação 3.4 - Cálculo de teor de ar incorporado pela norma EN 1015-7:1998.....	50
Equação 3.5 - Cálculo da densidade no estado endurecido.....	51
Equação 3.6 - Cálculo do módulo de elasticidade dinâmico.....	51
Equação 3.7 - Cálculo da resistência à tração na flexão.....	51
Equação 3.8 - Cálculo da resistência à compressão axial.....	52
Equação 3.9 - Cálculo da resistência de aderência à tração.....	53
Equação 3.10 - Cálculo da absorção por capilaridade.....	54
Equação 3.11 - Coeficiente de capilaridade.....	54
Equação 3.12 - Cálculo da Absorção por imersão.....	55
Equação 3.13 - Cálculo da porosidade.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI – American Concrete Association
ARI – Alta Resistência Inicial
ASTM – American Society for Testing and Materials
BS – British Adopted
CH – Cal Hidratada
CM – Carboximetil celulose
CP – Cimento Portland
DIN - DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG
DS – Grau de substituição Molas
EN - European Standard
HEC – Hidroxietil celulose
HEMC/ MHEC – Hidroxietil Metil Celulose
HPC – Hidroxipropil Celulose
HPMC/MPC – Hidroxipropil Metil Celulose
IAR – Incorporador de Ar
ISO – International Organization for Standardization
LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MC – Metil Celulose
MS – Razão de Substituição Molar
MSFC – Formaldeído-sulfonado de melamina
NSFC – Formaldeído- sulfonato de Naftaleno
RDM – Revestimento Decorativo Monocamada

LISTA DE SÍMBOLOS

- E_d – Módulo de Elasticidade Dinâmico (GPa);
- L – Comprimento do corpo de prova (m);
- F – Frequência de ressonância longitudinal (Hertz);
- P – Peso volumétrico (N/m^3);
- g – Aceleração da gravidade (m/s^2);
- R_t – Resistência à tração na flexão (MPa);
- F_t – Carga aplicada no centro do prisma (N);
- l – Distância entre os suportes (mm);
- R_c – Resistência à compressão (MPa);
- F_c – Carga máxima aplicada (N);
- C_{areia} – Consumo de areia (%);
- γ_u – Massa Específica Unitária do Agregado Miúdo compactado (g/cm^3);
- γ_r – Massa Específica real do agregado miúdo (g/cm^3);
- $C_{aglomerante}$ – Consumo de aglomerante (%);
- $C_{cimento}$ – Consumo de cimento (%);
- C_{cal} – Consumo de cal (%);
- $C_{água}$ – Consumo de água (%);
- Z – Valor do 2º aglomerante estudado em relação ao 5% mínimo (%);
- F_d – Limite de dosagem de uma propriedade;
- F_k – Limite característico de dosagem de uma propriedade;
- n – Número de amostras;
- S – Desvio padrão amostral;
- df – Densidade de massa no estado fresco (g/cm^3);
- M_c – Massa do recipiente preenchido com argamassa (g);
- M_v – Massa do recipiente vazio (g);
- V_r – Volume do recipiente (cm^3);
- A_i – Teor de ar incorporado (%);
- dt – Densidade teórica (g/cm^3);
- m_i – Massa seca de cada componente mais a massa da água (g);
- γ_i – Massa específica de cada componente da argamassa (g/cm^3);
- V_{m1} – Volume inicial (ml);
- V_{mf} – Volume final (ml);
- γ – Densidade de massa no estado endurecido (Kg/m^3);
- R_a – Resistência de aderência à tração (MPa);

P – Carga de ruptura (N);

a – Área do corpo de prova (mm^2);

C – Absorção de água por capilaridade (g/cm^3);

A – Massa do corpo de prova em contato com uma das faces na água, em determinado tempo (g);

S – Área da seção transversal (cm^2);

C_c – Coeficiente de capilaridade ($\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$);

M90 – Massa do corpo de prova a 90 minutos do início do ensaios (g);

M10 – Massa do corpo de prova a 10 minutos do início do ensaio (g);

A_{im} – Absorção de água por imersão (%);

M_{sat} – Massa corpo de prova saturado superfície seca (g);

M_{seca} – Massa corpo de prova seco (g);

P – Porosidade (%);

M_{sub} – Massa do corpo de prova submerso (g);

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE GRÁFICOS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE EQUAÇÕES	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
1. Introdução	1
1.1 Considerações iniciais.....	1
1.2 Justificativa	3
1.3 Objetivos	4
1.4 Limitação da Pesquisa	4
1.5 Estrutura da Pesquisa	5
2. Revisão Bibliográfica.....	6
2.1 Agregado para Argamassas.....	6
2.2 Aglomerantes.....	10
2.2.1 Cimento	10
2.2.2 Cal	14
2.3 Aditivos	17
2.3.1 Incorporador de ar.....	18
2.3.2 Retentor de água	21
2.3.3 Redutores de água (Plastificante/ Superplastificante)	25
2.4 Água de Amassamento	29
2.5 Argamassas de Revestimento.....	29
2.5.1 Tipos de argamassa.....	30
2.5.2 Execução e Cura.....	32
2.5.3 Propriedades.....	35
2.6 Patologias	37
2.6.1 Considerações Iniciais	37
2.6.2 Manchas	39
2.6.3 Fissuras/ Trincas.....	39
2.6.4 Eflorescências.....	40
2.6.5 Vesículas	41

2.6.6	Descolamento/ Desplacamento.....	41
2.7	Metodologia de Dosagem de Argamassas de Revestimento.....	42
2.7.1	Dosagem de argamassas mistas de revestimento por SANTOS (2014)	42
2.7.2	Dosagem Simplex.....	45
3.	Materiais e Programa Experimental	48
3.1	Considerações Iniciais	48
3.2	Materiais	48
3.3	Programa experimental.....	48
3.4	Ensaio.....	49
3.4.1	Consistência	49
3.4.2	Densidade de massa no estado fresco	50
3.4.3	Teor de ar incorporado.....	50
3.4.4	Retenção de água.....	51
3.4.5	Densidade de massa no estado endurecido.....	52
3.4.6	Módulo de elasticidade dinâmico	52
3.4.7	Resistência à tração na flexão	53
3.4.8	Resistência à compressão axial	53
3.4.9	Resistência de aderência à tração	54
3.4.10	Ensaio de absorção por capilaridade	55
3.4.11	Ensaio de absorção por imersão e porosidade	56
3.4.12	Ensaio de envelhecimento acelerado.....	57
3.4.13	Análise de microestrutura por microscópio digital.....	58
4.	Resultados	59
4.1	Considerações Iniciais e ajustes das argamassas	59
4.1.1	Ajustes da argamassa mista	59
4.1.2	Ajuste das argamassas aditivadas	61
4.2	Análise dos efeitos nas propriedades e no custo dos materiais.....	64
4.2.1	Relação água/cimento	66
4.2.2	Consistência	67
4.2.3	Retenção de água.....	70
4.2.4	Densidade no estado fresco.....	75
4.2.1	Ar incorporado teórico.....	77
4.2.2	Densidade no estado endurecido.....	78
4.2.3	Porosidade aberta/ Porosidade teórica	79
4.2.4	Absorção por imersão	81
4.2.5	Absorção por Capilaridade.....	83
4.2.6	Resistência de aderência à tração	86

4.2.7	Resistência à tração na flexão	89
4.2.8	Resistência à compressão	91
4.2.9	Módulo de elasticidade	93
4.2.10	Análise com microscópio digital.....	95
4.2.11	Custo dos materiais	99
5.	Obtenção do traço ideal via SIMPLEX	101
6.	Conclusão	105
6.1	Considerações iniciais.....	105
6.2	Dosagem traço misto e traço aditivado	105
6.3	Análise da influência da cal e dos aditivos nas propriedades e no custo dos materiais das argamassas	105
6.4	Traço ideal de substituição.....	112
6.5	Sugestões para trabalhos futuros.....	112
	Referências Bibliográficas	114

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O desempenho da argamassa pode ser associado as características reológicas: em função da natureza mineralógica e granulométrica do agregado (MENG, LU, *et al.*, 2012); acabamento final (FARIA, SANTOS e AUBERT, 2015); resistência mecânica oriunda dos materiais empregados (PAN e WENG, 2012); e (PENG, HU e DING, 2009), quantidade de água na mistura (HWANG e KO, 2008) e estrutura porosa da mesma (XU, FENG, *et al.*, 2015).

Argamassas mistas com cal são amplamente utilizadas devido às suas propriedades plastificantes, retentoras de água, resistência a penetração da água, resiliência para absorver pequenas deformações, reconstrução autógena de fissuras e melhora de adesão dos elementos (CARASEK, 2007) e (GUIMARÃES, 2002). Contudo, a cal virgem ainda é usada em algumas regiões do Brasil, e para ser utilizada deve sofrer o processo de hidratação, cal e areia fina descansando por no mínimo 16h. Este procedimento libera muito calor (AOKI, 2009), temperaturas podem chegar até 300°C. Além de ser um produto altamente cáustico, o processo de hidratação da cal pode gerar irritação nos olhos e na pele (SNOW e TORNEY, 2014), ressecamento das mãos e inalação do pó pelos trabalhadores, devido à dispersão no ar (OLIVEIRA, BECK, *et al.*, 2015).

Indústrias de argamassas pré-fabricadas tem utilizado vários tipos de aditivos. O seu emprego melhora as características da argamassa tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Porém, o aditivo pode ter efeito secundário na argamassa, como a incorporação de ar, e por isso deve ser estudado com cuidado (PAIVA, SILVA, *et al.*, 2006). Além de existir pouca informação dos fabricantes de como os aditivos interferem nas propriedades dos revestimentos (DAFICO, FERRO e CAVALCANTE, 2004).

Tem-se o uso de retentores de água como solução para melhorar a capacidade de retenção de água das argamassas de revestimento e assentamento, aumentar a aderência, aumentar a coesão, melhorar a trabalhabilidade e melhorar o processo de hidratação do cimento (PAIVA, SILVA, *et al.*, 2006), (PAIVA, ESTEVES, *et al.*, 2009), (AFRIDI, OHAMA, *et al.*, 1995), (KNAPEN e GEMERT,

2009) e (KIM e -J.KANG, 2015). Os aditivos superplastificantes melhoram características mecânicas e a impermeabilidade do revestimento (WU, TAO, *et al.*, 2015), reduz porosidade, absorção por capilaridade, absorção por imersão e acelera o tempo de pega (KHUDHAIR, YOUNI e ELHARFI, 2017) e (WETZEL e AREND, 2015). E os aditivos incorporadores de ar melhoram a consistência, a coesão (BARABANSHCHIKOV e KOMARINSKIY, 2014), reduzem a relação água/cimento, e devido a maior concentração de poros podem apresentar queda na resistência (DAFICO, FERRO e CAVALCANTE, 2004). Contudo, a influência da combinação dos aditivos nas propriedades ainda é pouco estudada.

Atualmente, por razões econômicas e ambientais, cresceu-se a preocupação com a durabilidade e a vida útil dos edifícios. Sendo o revestimento argamassado responsável pela performance e durabilidade das fachadas, além de ser grande parte do custo do acabamento, é importante a fiscalização dessa etapa, visto também que a aplicação manual não possui resultados uniformes (LORDSLEEN JR. e MAORAIS, 2015). Um dos principais fatores de degradação de revestimentos mistos cal e cimento é devido a sua elevada capacidade de absorção (DAFICO, FERRO e CAVALCANTE, 2004). Assim sendo, a baixa permeabilidade de argamassas de cimento à água, sais, sulfatos ou qualquer substância danosa, associa-se a maior durabilidade do revestimento (SICAKOVA, DRAGANOVSKA e KOVAC, 2017). O diagnóstico correto da edificação é muito importante (TORRES, VEIGA e FREITAS, 2014), deve-se averiguar quais das patologias, eflorescências, vesículas, bolores, descolamentos ou fissuras (BAUER, 2005) apresentam-se na estrutura. Relata-se que as principais ocorrências em revestimentos são as fissuras e descolamentos (ABREU, LEITAO e LUCAS, 2004). As patologias podem ocorrer devido ao material utilizado de forma inadequada, a revestimentos realizados inadequadamente, além de fatores naturais como dilatação e encolhimento (RAVINDRARAJAH e MANSOUR, 2009) e (ALVES e RACHID, 2016). O design inapropriado de um revestimento pode gerar riscos tanto econômicos quanto humanos (ABREU, LEITAO e LUCAS, 2004).

Com o intuito de avaliar alternativas a utilização da cal, mas visando um resultado de aderência do revestimento igualmente satisfatório e uma durabilidade satisfatória, este estudo tem por finalidade substituir a cal por um conjunto de aditivos, como o retentor de água, que melhora coesão, trabalhabilidade e ajuda no

processo de hidratação do cimento (PAIVA, ESTEVES, *et al.*, 2009). Logo, serão estudadas as propriedades do revestimento para validação e como os aditivos afetam essas propriedades.

1.2 JUSTIFICATIVA

Como verificado por vários estudos, a argamassa mista cal e cimento apresenta as características mais satisfatórias para um revestimento argamassado, pois a cal hidratada na constituição fornece uma maior retenção de água, melhor trabalhabilidade, maior resiliência, melhora a adesão e a pasta preenche mais satisfatoriamente todo o substrato (CARASEK, 2007) e (GUIMARÃES, 2002). Contudo, quando a cal não é de boa qualidade ou não respeita-se o tempo de carbonatação da mesma para realizar o acabamento, o revestimento pode ficar comprometido com o aparecimento, por exemplo de vesículas (BAUER, 2005). Além de alguns casos de finalização ser aconselhável esperar os 28 dias de cura da cal para terminar as reações de carbonatação do revestimento (CAMPOS, 2012) e, muitas vezes, o período de entrega do empreendimento não permite esperar tanto tempo para dar continuidade ao trabalho. Quando utiliza-se a cal virgem deve-se realizar o procedimento de hidratação, mas a reação de hidratação libera muito calor e a cal hidratada gera ressecamento e irritação dos olhos e vias nasais (SNOW e TORNEY, 2014). Com isso, muitos trabalhadores tem receio de trabalhar com a cal, sendo pela associação com o processo de hidratação da cal ou pelo alto teor cáustico do material.

Com isso, procura-se realizar um estudo em que a cal do revestimento argamassado possa ser substituída por um conjunto de aditivos que possam fornecer características semelhantes de aderência, trabalhabilidade e durabilidade. Como já relatado, possuem vários aditivos para argamassas no mercado, mas a sua influência sobre as várias características do revestimento ainda são pouco estudadas, ainda mais quando utilizados em conjunto com outros aditivos. Por isso pretende-se estudar como se comportam os aditivos retentores de água, incorporadores de ar e plastificantes.

1.3 OBJETIVOS

Objetiva-se estudar as propriedades mecânicas (resistência de aderência, resistência à compressão e resistência à tração na flexão) e de durabilidade (fissuração, porosidade, capilaridade, envelhecimento acelerado) de argamassas de revestimento constituídas com cal e argamassas de revestimento com aditivos de forma a definir proporções adequadas dos aditivos, em prol de argamassas de boa qualidade.

Para alcançar o objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- ❖ Dosar um traço ideal de um revestimento argamassado misto cal e cimento com base na metodologia de Santos (2014);
- ❖ Dosar através do Método Simplex proporções de aditivos (incorporador de ar, retentor de água e plastificante) para avaliar as propriedades requeridas conforme normalização em substituição ao uso da cal hidratada;
- ❖ Analisar os efeitos de cada conjunto de concentrações de aditivos e cal nas propriedades das argamassas;
- ❖ Realizar uma comparação da viabilidade de custo da aquisição de um revestimento misto cal e cimento e do revestimento aditivado encontrado como ideal.

1.4 LIMITAÇÃO DA PESQUISA

Os experimentos propostos no presente trabalho serão realizados apenas com um tipo de cimento (CPII-F 32), um tipo de cal (CHI), um tipo de agregado (areia natural lavada), e uma base química e marca de cada aditivo (incorporador de ar, retentor de água e superplastificante). Apesar da pesquisa de mercado realizada, todos experimentos serão feitos com produtos de apenas uma marca, adquiridos na grande região de Belo Horizonte, devido a logística disponível para realização da pesquisa. Além dos testes realizados serem feitos mediante a disponibilidade de equipamentos e disponibilidade de pessoal da Universidade Federal de Minas Gerais.

1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA

Este trabalho foi dividido em cinco capítulos conforme a seguir:

- ❖ Capítulo 1: Apresenta introdução do tema, bem como motivações, objetivos e limitações da pesquisa;
- ❖ Capítulo 2: Apresenta a revisão bibliográfica realizada sobre o tema, abordando: Agregados, aglomerantes e aditivos para argamassa; Argamassas de revestimento: formas, execução, cura e patologias; Metodologias de dosagem de argamassas com enfoque nas metodologias de SANTOS (2014) e SIMPLEX;
- ❖ Capítulo 3: Saliencia os materiais a serem utilizados na pesquisa, além dos métodos utilizados para caracterização das argamassas, tanto a argamassa mista quanto a aditivada;
- ❖ Capítulo 4: Registra os resultados obtidos neste trabalho;
- ❖ Capítulo 5: Demonstra como foi realizada a obtenção do traço ideal aditivado, realizando um breve comparativo com o traço misto;
- ❖ Capítulo 6: Conclui o presente estudo estabelecendo de forma geral as principais observações obtidas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AGREGADO PARA ARGAMASSAS

Os agregados para argamassa, mais conhecidos como areia, são os agregados miúdos, passantes na peneira 4,75 mm e retidos na peneira 150 μm (ABNT NBR 7211:2005). A areia natural pode ser obtida através de leitos de rios e planícies aluviais, além da extração através de rochas cristalinas e rochas sedimentares. As areias artificiais podem ser obtidas através da britagem de rochas. Vale ressaltar que areias de praia não são adequadas para a construção civil devido à concentração elevada de sais presentes (ANEPAC, 2017).

A diferenciação da origem da areia está relacionada ao seu depósito mineral e com o método de obtenção da mesma, que pode ser por desmonte hidráulico, escarificação ou dragagem, de acordo com a Tabela 2.1. O desmonte hidráulico consiste em degradar a areia com jatos de água em alta pressão e a dragagem é feita através de bombas de sucção em barcaças flutuadoras. (ANEPAC, 2017). A areia proveniente de processos industriais como argila expandida é classificada em artificial, a areia proveniente de processos naturais de leito de rios ou de cava é classificada como natural de acordo com a ABNT NBR 9935:2011, e a areia reciclada é proveniente de britagem de resíduos de construção e demolição (SBRIGHI NETO, 2011). As areias naturais são predominantemente constituídas de quartzo e as areias artificiais pela britagem de rocha calcária ou dolomítica (CARASEK, 2010).

Tabela 2.1 - Métodos de lavra de areia e tipos de Depósito Mineral

Método	Depósitos Minerais	Situação
Dragagem	Sedimentos Inconsolidados quaternários	Leito de rio
		Cava submersa (Leito desviado de rio)
Desmonte Hidráulico	Planícies fluviais, coberturas e sedimentos inconsolidados quaternários	Cava seca (Leito desviado de rio)
	Rochas sedimentares cenozoicas	Cava seca
	Mantos de alteração de rochas pré-cambrianas	

Fonte: ANEPAC, (2017).

Os agregados podem ser classificados através da sua forma, que pode ser calculada de acordo com os diferentes f-parâmetros apresentados na Figura 2.1 e classificados como, muito alongado ($0 \leq f\text{-valor} < 0,25$), alongado ($0,25 \leq f\text{-valor} < 0,50$), cubico ($0,50 \leq f\text{-valor} < 0,75$) e circular ($0,75 \leq f\text{-valor} \leq 1$) (WESTERHOLM,

LAGERBLAD, *et al.*, 2008). Os agregados britados possuem uma forma angulosa e uma aspereza maior, ao contrário dos agregados naturais que são conhecidos pela sua forma arredondada e textura lisa (SBRIGHI NETO, 2011).

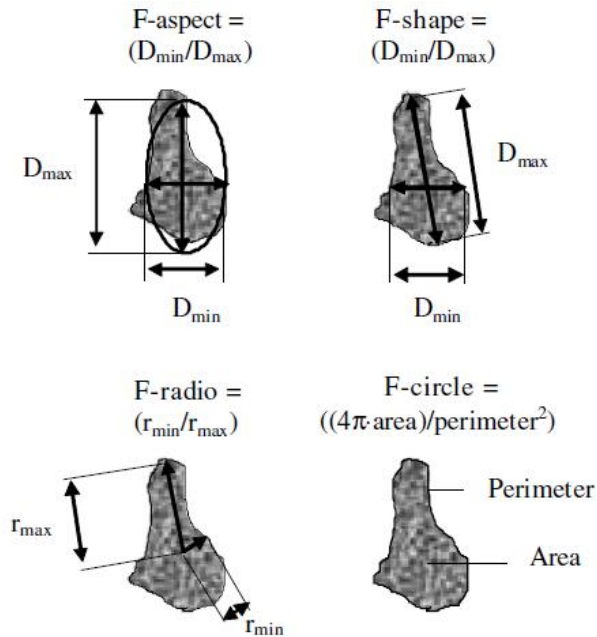


Figura 2.1 - Descrição dos diferentes f-parâmetros de acordo com a forma da partícula.
Fonte: WESTERHOLM, LAGERBLAD, *et al.*, (2008).

A areia também pode ser agrupada através da classificação granulométrica que estabelece o agregado como contínuo, possui uma curva com um coeficiente angular relativamente constante, descontínuo, não possui todos os diâmetro característico em sua curva, ou uniforme, onde todos os diâmetros do agregado presente são constantes (CARASEK, 2010), conforme a Figura 2.2.

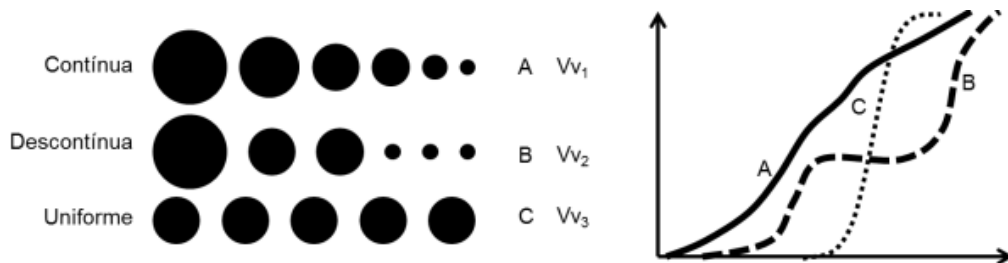


Figura 2.2 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo.
Fonte: CARASEK, (2007).

O agregado miúdo para ser utilizado não pode ultrapassar a quantidade máxima de materiais deletérios em sua constituição conforme a Tabela 2.2 e sua curva granulométrica deve estar dentro da zona ótima ou utilizável como estabelece a ABNT NBR 7211:2005, caso contrário pode ser prejudicial ao concreto/

argamassa devido a sua trabalhabilidade ou mesmo ao custo (SBRIGHI NETO, 2011). Ainda deve-se levar em conta a dimensão máxima característica do agregado para cada aplicação (chapisco < 4,80mm, Emboço < 2,40mm, Camada única e reboco < 1,20mm) e a escolha de uma granulometria contínua (BAUER e SOUSA, 2005).

Tabela 2.2 - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado miúdo (%)
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218		3,0
Materiais carbonosos ¹	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento)	ABNTNBR NM 46	Concreto submetido a desgaste superficial	3,0
		Concretos protegidos do desgaste superficial	5,0
Impurezas orgânicas ²	ABNT NBR 7221	Diferença máxima aceitável entre os resultados de resistência à compressão comparativos	10,0

¹ Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante a apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação dos materiais carbonosos (ASTM C 123).

² Quando a coloração da solução obtida no ensaio for mais escura do que a solução-padrão, a utilização do agregado miúdo deve ser estabelecida pelo ensaio previsto na ABNT NBR 7221.

Fonte: ABNT NBR 7211, (2005).

Levando em consideração todas as especificações e propriedades do agregado, ele deve ser escolhido com cautela pois é responsável por 60% a 80% do consumo de materiais da argamassa (CARASEK, 2010) e (REICHEL, HOCHBERG e KÖPKE, 2004). E deve ser caracterizado por meio da massa unitária solta ((ABNT NBR NM 45, 2006), (BS 812-2, 1995) ou (BS EN 1097-3, 1998)), massa específica (ABNT NBR NM 52, 2009) e curva granulométrica ((ABNT NBR NM 248, 2003), (BS 812-103:1, 1985), (BS EN 933.2, 1996) ou (ASTM C 136-06)).

Agregados podem diferir em forma, textura, granulometria e origem, sendo que todas essas características podem influenciar nas propriedades da argamassa no estado endurecido e no estado fresco (HAACH, VASCONCELOS e LOURENÇO, 2011).

Areias britadas, geralmente possuem maior teor de finos devido ao seu beneficiamento que gera cerca de 10% a 20% dos finos presentes, com isso argamassas com areia britada demandam maior quantidade de água para sua

mistura, ou seja, apresentam menor trabalhabilidade para a mesma relação de água se comparada a argamassa de areia natural, o que pode ser relacionado também a maior angulosidade dos grãos (CARASEK, ARAUJO, *et al.*, 2016) e (WESTERHOLM, LAGERBLAD, *et al.*, 2008). Outro fator a se realçar é que areias naturais são menos porosas que areias artificiais, podendo ter sua porosidade entre 42% a 55%. Porém, areias britadas tem a vantagem de possuir menor variabilidade de seus constituintes e propriedades (CARASEK, ARAUJO, *et al.*, 2016).

A forma do agregado está diretamente relacionada ao grau de empacotamento das partículas, quanto mais esférico o grão maior o empacotamento. As partículas mais esféricas tendem a rolar umas sobre as outras em um movimento denominado como “rolling friction” que favorece a consistência. Além da menor necessidade de preencher vazios com água de amassamento favorecendo um maior índice de consistência. As areias naturais, menos porosas, favorecem uma argamassa mais densa, que gera um maior espalhamento no movimento da flow-table, ou seja, maior empacotamento gera consistência mais fluida (CARASEK, ARAUJO, *et al.*, 2016).

A relação de maior teor de finos também está presente comparativamente entre areia fina e areia grossa, onde a areia fina necessita de maior quantidade de água para uma mesma consistência, devido a sua maior superfície específica. O aumento de água está intimamente ligado à maior quantidade de poros no estado endurecido e conseqüente à queda de resistência (HAACH, VASCONCELOS e LOURENÇO, 2011). Granulometrias que possuem uma curva granulométrica bem graduada proporcionam um melhor empacotamento das partículas devido ao seu menor coeficiente de vazios (HADDAD, COSTA, *et al.*, 2016).

Argamassas tem sua aderência e área de contato argamassa/substrato (PENG, HU e DING, 2009) melhorada quando utilizam agregado de textura mais áspera e angulosos (NEVILLE e BROOKS, 2013), com granulometria contínua.

Vale ressaltar que argamassas altamente porosas, podem ser consideradas como vazios sem resistência e estão inversamente relacionadas com a resistência a compressão e resistência à tração na flexão (NEVILLE e BROOKS, 2013). Sendo conhecido, que a resistência a compressão e à tração na flexão variam inversamente proporcional a relação água/cimento, de acordo com a lei

generalizada de Abrahms (HAACH, VASCONCELOS e LOURENÇO, 2011). Quanto maior o módulo de elasticidade, inversamente proporcional a porosidade, maior a rigidez da argamassa, sendo que a argamassa deve ter rigidez suficiente para resistir aos esforços solicitantes, porém caso seja muito rígida o revestimento perde sua deformabilidade, o que pode gerar fissuração (HADDAD, COSTA, *et al.*, 2016).

Argamassas com grãos mais porosos, mais angulosos e menos esféricos estão diretamente relacionadas com a incorporação de ar e inversamente relacionados a massa unitária. A massa unitária consiste no parâmetro mais importante para medir a demanda de água da argamassa, sendo que é de fácil mensuração e leva em conta todos os fatores relacionados com a porosidade do agregado, forma, curva granulométrica, teor de finos, dentre outros fatores. Sendo, que quanto maior a massa unitária maior o índice de consistência (CARASEK, ARAUJO, *et al.*, 2016) e maior a resistência no estado endurecido (PENG, HU e DING, 2009).

2.2 AGLOMERANTES

Os aglomerantes podem ser classificados em hidráulicos, que ganham resistência em contato com a água, ou aéreos, que ganham resistência por reações de hidratação ou pela carbonatação com o CO₂, porém pastas somente com aglomerantes aéreos reduzem a resistência à água e a durabilidade do revestimento (GULBE, VITINA e SETINA, 2017).

As argamassas podem ser classificadas de acordo com seu aglomerante em aérea, argamassa de cal, ou hidráulica, argamassa de cimento, e de acordo com o número de aglomerantes em simples ou mista (ABNT NBR 13530, 1995).

2.2.1 Cimento

O cimento é um material muito versátil empregado na construção civil e isso explica o grande consumo mundial deste material, estima-se atingir cinco bilhões de toneladas/ano em 2050 de acordo com a Agência Internacional de Energia (BATTAGIN, 2011). Essa versatilidade deve-se à características como

trabalhabilidade, moldabilidade, durabilidade, resistência ao fogo e à cargas mecânicas (ABCP, 2002).

O Cimento surgiu em 1824, com o construtor inglês Joseph Aspdin, através da queima de pedras calcárias com argila e posterior moagem, assim foi patenteado o Cimento Portland (BATTAGIN, 2011) e (NEVILLE e BROOKS, 2013). Atualmente, o cimento é obtido pela moagem do clínquer Portland com adição de sulfato de cálcio, podendo ser adicionada, após a moagem e durante a mistura, materiais pozolânicos, escórias de alto forno e/ou matérias carbonáticas (ABNT NBR 5732, 1991).

O clínquer, principal constituinte do Cimento Portland, é obtido através da calcinação de uma mistura de calcário, argila e corretivos químicos necessários, a uma temperatura aproximada de 1450°C. O cimento é produzido através da moagem do clínquer com o sulfato de cálcio na proporção de 3% a 5% (BATTAGIN, 2011). A Tabela 2.3 apresenta os diversos tipos de Cimento existentes no Brasil, relacionando com os cimentos existentes internacionalmente, sendo que deve-se atentar ao teor de cada constituinte do cimento para estabelecer uma relação precisa.

O Cimento Portland pode sofrer diversas adições durante a sua produção. O gesso é adicionado em pequenas quantidades em todos os tipos de cimento para evitar o enrijecimento instantâneo da pasta de cimento. A escória de alto forno pode ser adicionada durante a moagem do clínquer, melhorando a resistência final e a durabilidade. Os materiais pozolânicos também configuram como ligante hidráulico, igual à escória de alto forno, porém precisam de contato com a água e com o clínquer para adquirirem essa propriedade, além de favorecer uma argamassa mais impermeável. Os materiais carbonáticos, conhecidos como fíler, podem ser adicionados para melhorar a trabalhabilidade da argamassa (ABCP, 2002).

Tabela 2.3 - Relações de Cimentos Brasileiros e Internacionais

Cimento Americano		Britânico		Cimento Europeu (EN-197-1) / (BS 8500-1)	Cimento Brasileiro	
Norma	Tipo	Norma	Tipo	Tipo	Norma	Tipo
ASTM C150	I	BS 12	Portland Comum	CEM I	ABNT NBR 5732:1991	CPI / CPI-S
ASTM C150	II	-	-	CEM II B-S CEM II/A-L	ABNT NBR 11578:1991	CPII-F
ASTM C150	III	BS 12	Portland de Alta Resistência Inicial	CEM IIA CEM I (Classe R de compressão)	ABNT NBR 5733:1991	CPV-ARI
ASTM C150	IV	BS 1370	Portland de Baixo Calor de Hidratação	-	ABNT NBR 13116:1994	BC (Baixo calor de hidratação)
ASTM C150	V	BS 4027	Portland Resistente a Sulfatos	-	ABNT NBR 5737:1992	RS (Resistente à sulfatos)
ASTM C595	IS / S I(SM)	BS 146	Portland de Alto Forno	CEM II B-V	ABNT NBR 5735:1991	CPIII
ASTM C595	IP / P I(PM)	BS 6588 BS 3892	Portland Pozolânico	CEM IV/A (Pozolona entre 15% e 35%) CEM IV/B (Pozolana entre 16 a 50%)	ABNT NBR 5736:1991	CPIV
ASTM C595	IS (com menor teor de escória)	BS 146	Portland de Alto Forno	CEM/II A-S (escória entre 6% e 20%) CEM II/ B-S (teor de escória entre 21% e 34%)	ABNT NBR 11578:1991	CPII-E
ASTM C596	IP (com menor teor de pozolana)	BS 6588 BS 3892	Portland Pozolânico	CEM II/A-P CEM II/A-V CEM II/A-Q CEM II/A-T	ABNT NBR 1157:1991	CPII-Z
-	-	BS 12	Portland Branco	CEM IIIA	ABNT NBR 12989:1993	CPB

Fonte: NEVILLE e BROOKS, (2013) e BATTAGIN, (2011) modificado.

De acordo com Medeiros (2011) os cimentos podem ser divididos de acordo com seu uso mais adequado:

- Cimento Portland Comum (CP I e CPI –S) são utilizados para construções onde não haja exposições a agentes químicos e não sejam exigidas nenhuma propriedade especial do concreto;
- O Cimento Portland com adição de escória (CP II-E) pode produzir um concreto com resistência mais elevada que o Cimento Portland comum;
- O Cimento Portland pozolânico (CP II-Z) pode ser utilizado para produzir argamassas, concreto simples, armado ou protendido, elementos pré-moldados.

- Pode ser utilizado em obras que sofram ataques de agentes agressivos, como o sulfato, devido à maior impermeabilidade gerada pela adição de pozolana;
- O Cimento Portland com adição de fíler calcário (CP II-F) é recomendado para argamassas armadas, de assentamento, de revestimento, pisos e pavimentos de concreto, estruturas simples de concreto armado/ protendido;
 - O Cimento Portland CP III difere pela adição de escória de alto forno na proporção de 35% a 70%, é recomendável em obras de barragens, pilares, obras em ambiente agressivo, esgotos, fundações;
 - O Cimento Portland CP IV, com adição de pozolana entre 15% a 50%, é indicado para obras expostas a água e ambientes agressivos, concretos simples/ armado/ protendido, pré-moldados e argamassas;
 - O Cimento Portland de alta resistência inicial CP V-ARI é recomendável para todas as finalidades que exigem resistência alta no tempo inicial;

CARVALHO Jr. (2005) salienta que o cimento CP V não é recomendado para a utilização em argamassas de revestimento devido a sua elevada finura, o que pode facilmente levar a fissuração. Cimentos mais finos podem desenvolver resistências maiores nas primeiras idades, o que pode favorecer a resistência de aderência. Contudo, os cimentos mais finos tem um maior calor de hidratação, além da necessidade maior de água para a mesma trabalhabilidade, com isso o risco de fissuração por retração térmica ou hidráulica também aumenta (BAUER e SOUSA, 2005). A finura do cimento pode ser avaliada através do método de Blaine ((ABNT NBR NM 76, 1998) ou (ASTM C 204-05)) ou através do resíduo na peneira 200 (ABNT NBR 11579, 1991). Cimentos com maiores valores de Blaine, mais finos, ou com curva granulométrica mais fechada necessitam de maior quantidade de água para a mesma trabalhabilidade (BATTAGIN, 2011).

A resistência a compressão do cimento é determinada através de uma pasta de argamassa e pode ser realizada conforme a norma BS EN 196-1:2005, com corpos de prova prismáticos; ou a norma ASTM C 109-05, com traço 1:2,75 cimento e areia, relação água/ cimento de 0,485 e corpos prismáticos; ou a norma brasileira ABNT NBR 7215: 1997 com corpos de prova cilíndricos, relação água cimento de 0,48 e traço cimento: areia de 1:3 (NEVILLE e BROOKS, 2013). O aumento do teor de cimento aumenta diretamente a resistência de aderência, contudo pode

acarretar em revestimentos pouco deformáveis podendo ocorrer fissuras ou até deslocamentos no revestimento devido a esse fator (BAUER e SOUSA, 2005).

Para as argamassas é importante avaliar a expansibilidade do cimento, e determinar o teor de CaO e MgO livres, pois pode acarretar na desagregação ou deslocamento do revestimento. A expansibilidade pode estar relacionada com a presença de cal livre, magnésio e sulfato de cálcio, os cimentos que apresentem essa característica são classificados como expansivos (NEVILLE e BROOKS, 2013).

O cimento é o principal composto responsável pelo produto final desejado da argamassa. As características vão depender da qualidade e da proporção dos materiais utilizados (ABCP, 2002). A Tabela 2.4 apresenta a influência dos tipos do cimento nas propriedades da argamassa.

Tabela 2.4 - Influência do tipo de cimento nas propriedades das pastas, argamassas ou concretos.

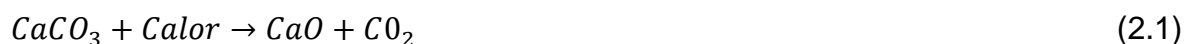
Influência	Tipos de Cimentos			
	CP I/ CP I-S/ CP II	CP III	CP IV	CP V-ARI
Resistência à Compressão	Padrão	Menor nos primeiros dias e Maior no fim da cura	Menor nos primeiros dias e Maior no fim da cura	Muito maior nos primeiros dias
Calor de hidratação	Padrão	Menor	Menor	Maior
Impermeabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão
Resistência à agentes agressivos	Padrão	Maior	Maior	Menor
Durabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão

Fonte: BATTAGIN, (2011).

2.2.2 Cal

A argamassa de cal é o tipo de revestimento argamassado mais antigo, com registros do seu uso a mais de 10.000 anos em regiões como Índia, Itália, Grécia e Egito (CARRAN, HUGHES, *et al.*, 2012), de fato podendo ser encontrada em estruturas datadas de mais de 2 000 anos ainda atendendo efetivamente as suas funções (SNOW e TORNEY, 2014). Sua utilização sofreu sua maior disseminação no primeiro milênio depois de Cristo com a utilização desse material pelos gregos e romanos (CARRAN, HUGHES, *et al.*, 2012), sendo altamente popular até o século 20, onde sua utilização foi substituída pelo Cimento Portland (SNOW e TORNEY, 2014) e (CARRAN, HUGHES, *et al.*, 2012).

O ciclo de produção da cal divide-se em três etapas: Calcinação, Hidratação e Carbonatação. A calcinação, Equação 2.1, consiste da queima da rocha calcária a uma temperatura aproximada de 850°C/900°C, produzindo um material altamente reativo conhecido como cal virgem “quicklime” (CaO). A segunda etapa, Equação 2.2, hidratação, ou mais conhecida internacionalmente como “slaking”, consiste em adicionar água a cal virgem, uma reação altamente exotérmica que produz o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) e/ou o hidróxido de magnésio (Mg(OH)₂) (BOYNTON, 1980) e (SNOW e TORNEY, 2014), o calor elevado liberado pela reação gera forças de expansão na cal transformando-a em pó (BAUER e SOUSA, 2005). No Brasil, a hidratação, em obra, é feita através da mistura de cal, areia fina e água (massa branca) descansando por no mínimo 16h. Finalmente, a carbonatação, Equação 2.3, ocorre após a aplicação do revestimento, onde o hidróxido de cálcio reage com o dióxido de carbono (CO₂) retornando a sua forma inicial, o carbonato de cálcio (CaCO₃) (BOYNTON, 1980) e (SNOW e TORNEY, 2014).



Os tipos de cales encontradas no Brasil, dividem-se em três grupos relacionados com o teor de óxidos de cálcio/ teor de óxidos totais, sendo cálcica (90% a 100%), magnésiana (65% a 89%) e dolomítica (58% a 64%) (BAUER e SOUSA, 2005). A ABNT NBR 7175:2003, classifica as cales hidratadas em CH I, CH II e CH III, de acordo com o teor de hidratação sendo a CH I com menor teor de óxidos não hidratados. As exigências químicas e físicas são abordadas na Tabela 2.5 (ABNT NBR 7175, 2003) sendo a classificação semelhante à ASTM C206-3.

As cales ainda podem ser classificadas conforme norma europeia BS EN 459:2010, conforme a Tabela 2.6, que separam as cales aéreas e hidráulicas, quanto maior o número associado ao nome da cal maior seu teor hidráulico. As cales hidráulicas naturais podem ter adições de calcários argilosos ou silicosos e endurecem quando misturadas com a água e em contato com o ar. A Cal formulada pode consistir de cal aérea ou hidráulica com a adição de material pozolânico. A cal hidráulica é a cal com adição de cimento, escória de alto forno, fíler ou o material mais adequado.

Tabela 2.5 - Exigências químicas e físicas da cal hidratada.

Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Anidrido carbônico (CO ₂)	Na fábrica	≤ 5%	≤ 5%	≤ 13%
	No depósito	≤ 7%	≤ 7%	≤ 15%
Óxidos de cálcio de magnésio não hidratado calculado (CaO+MgO)		≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Óxidos totais na base de não voláteis (CaO+MgOt)		≥ 90%	≥ 88%	≥ 88%
Finura (% retida acumulada)	Peneira 0,6mm	≤ 0,5%	≤ 0,5%	≤ 0,5%
	Peneira 0,075mm	≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Retenção de água		≥ 75%	≥ 75%	≥ 70%
Incorporação de areia		≥ 3	≥ 2,5	≥ 2,2
Estabilidade		Ausência de cavidades ou protuberâncias		
Plasticidade		≥ 110	≥ 110	≥ 110

Fonte: ABNT NBR 7175, (2003).

Tabela 2.6 - Classificação Europeia das cales

Tipo	Família	Tipo
Cal aérea	Calcítica	CL90, CL80, CL70
	Dolomítica	DL90, DL85, DL80
Cal com propriedades Hidráulicas	Cal hidráulica natural	NHL2, NHL3.5, NHL5
	Cal hidráulica	HL2, HL3.5, HL5
	Cal hidráulica formulada	FL2, FL3.5, FL5

Fonte: BS EN 459, (2010).

A qualidade da cal está relacionada com a fabricação, controle do minério e mecanismo de hidratação, até a estocagem. Por isso, é importante avaliar o selo de qualidade e o período de validade associado ao produto (PAIVA, GOMES e OLIVEIRA, 2007).

O uso da cal virgem, demanda controle e equipamentos necessários para o manuseio de substâncias perigosas, visto que é um produto altamente cáustico, pode irritar os olhos e a pele, e o processo de hidratação da cal pode chegar até 360 °C em tanques abertos e 450 °C em caixas fechadas (BAUER, 2000). Equipamentos recomendados para o manuseio de qualquer tipo de cal são luvas e máscaras. Especialmente para trabalhadores que participam do processo de hidratação da cal deve-se utilizar óculos. Vale ressaltar que o processo deve ser realizado em um ambiente aberto e com acesso a água abundante para casos de queimaduras (SNOW e TORNEY, 2014). Com isso, muitos trabalhadores tem receio de trabalhar com a cal, sendo pela associação com o processo de hidratação da cal ou pelo alto teor cáustico do material.

As argamassas geralmente possuem a adição de cal para melhorar: a trabalhabilidade, a retenção de água (SIMINA, MOLNAR, *et al.*, 2012),

(IZAGUIRRE, LANAS e ÁLVAREZ, 2009), e tornar o revestimento mais resiliente, pois o menor módulo de elasticidade associado a incorporação da cal possibilita o revestimento absorver melhor o acomodamento da estrutura (PAIVA, GOMES e OLIVEIRA, 2007), (SNOW e TORNEY, 2014) e (SIMINA, MOLNAR, *et al.*, 2012).

As argamassas mista, com cal, necessitam de maior quantidade de água para alcançar uma mesma trabalhabilidade que uma argamassa de cimento, o que está relacionado ao menor tamanho das partículas da cal e conseqüente a maior área superficial (HAACH, VASCONCELOS e LOURENÇO, 2011).

Quanto maior a adição de cal, em substituição ao cimento, maior a queda de resistência (PAIVA, GOMES e OLIVEIRA, 2007), (HAACH, VASCONCELOS e LOURENÇO, 2011), menor a densidade, maior a quantidade de poros (GULBE, VITINA e SETINA, 2017), que está intimamente ligada a queda de resistência e ao aumento da permeabilidade à água (THIRUMALINI, RAVI e RAJESHCH, 2017).

Vale ressaltar que a adição de cal reduz a porosidade e a absorção de água até um determinado limite (SILVA e CAMPITELI, 2006), devido a deposição da calcita, carbonato de cálcio, pelo mecanismo de carbonatação, Equação 2.3. Que relaciona-se também ao ganho de resistência da cal. Contudo, se os poros da argamassa estão completamente saturados o mecanismo de carbonatação, e portanto a cura da cal, é impedido de acontecer (SIMINA, MOLNAR, *et al.*, 2012) e (GUIMARÃES, 2002).

Além dessas características, ainda pode ressaltar a alcalinidade da cal (pH maior que 11), que torna o meio mais asséptico, e a cor mais clara do revestimento, associada a incorporação da cal, torna o revestimento mais reflexivo transmitindo menor calor e diminuindo a iluminação artificial (PAIVA, GOMES e OLIVEIRA, 2007).

2.3 ADITIVOS

A utilização dos aditivos é mais antiga quanto o uso do Cimento Portland, relatos apresentam que os romanos utilizavam claras, banha, leite, dentre outros aditivos naturais para melhorar a trabalhabilidade das argamassas (COUTINHO, 1997). Após o surgimento do Cimento Portland que os aditivos químicos foram evoluir (HARTMANN, JEKNAVORIAN, *et al.*, 2011).

Atualmente, os aditivos químicos são produtos adicionados à argamassa com o intuito de melhorar alguma propriedade, no estado fresco ou endurecido (ABNT NBR 13529, 1995). A proporção de aditivo geralmente varia entre 0,05% e 5% em relação a massa do cimento (HARTMANN, JEKNAVORIAN, *et al.*, 2011). Porém, mesmo os aditivos sendo utilizados com o intuito de melhorar as propriedades, eles não terão nenhum benefício caso sejam empregados com materiais inadequados e mão de obra desqualificada (OZTURK e BARADAN, 2011).

A ABNT NBR 13529:1995 cita quatro tipos de aditivos importantes para argamassas, dentre eles estão: o incorporador de ar, que estabiliza as bolhas de ar incorporadas na estrutura; o redutor de água, que reduz a quantidade de água para uma mesma trabalhabilidade; e o retentor de água, que confere capacidade de reter água frente ao substrato e ao meio ambiente. Os aditivos mais utilizados são os superplastificantes, incorporadores de ar e retentores de água (SEABRA, LABRINCHA e FERREIRA, 2007), acerca dos quais esse estudo terá enfoque.

HARTMANN, JEKNAVORIAN, *et al.* (2011), recomendam a adição de aditivos químicos líquidos previamente a parte da água de amassamento, preferencialmente depois de um tempo de mistura do cimento com a água. Caso, utilize-se mais de um aditivo, eles não podem ser misturados uns aos outros antes da mistura na pasta, devendo ser adicionados um de cada vez.

Ao se utilizar os aditivos, ou mesmo combinações deles deve-se tomar cuidado pois podem ter efeitos secundários nas propriedades das argamassas, além de nem sempre os fabricantes fornecerem as informações necessárias do impacto dos aditivos nas propriedades (DAFICO, FERRO e CAVALCANTE, 2004) e (PAIVA, SILVA, *et al.*, 2006).

2.3.1 Incorporador de ar

O incorporador de ar é o aditivo mais utilizado para argamassas de revestimento (CARASEK, 2010). Seu surgimento foi por volta de 1930, com o intuito de diminuir os danos gerados pelos ciclos gelo e degelo de países mais frios (ACI 116-R, 2000).

Os agente incorporadores de ar podem possuir diversos princípios ativos, dentre eles: gorduras vegetais e animais tais como seus ácidos graxos; sais provenientes da madeira, as resinas vinsol neutralizadas; detergentes sintéticos com sulfonatos ou sulfatos de alquilaril; etoxilatos de alquilaril; materiais miscelâneos como sais ácidos alcalinos, amino alcalinos de lingnosulfonatos; materiais proteicos; ou resíduos de petróleo oxigenados (HARTMANN, JEKNAVORIAN, *et al.*, 2011) e (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Os incorporadores de ar agem criando pequenas bolhas de ar na argamassa ou mesmo estabilizando-as (NEVILLE e BROOKS, 2013), (HARTMANN, JEKNAVORIAN, *et al.*, 2011), (CARASEK, 2010) e (SEABRA, LABRINCHA e FERREIRA, 2007). Todos os incorporadores de ar possuem essa característica devido à presença de agentes tenso-ativos “surfactantes”, ou seja a presença de grupos hidrofóbicos (cauda), não polar, que repelem a água e hidrofílicos (cabeça), polar, que atraem a água, conforme a Figura 2.3.

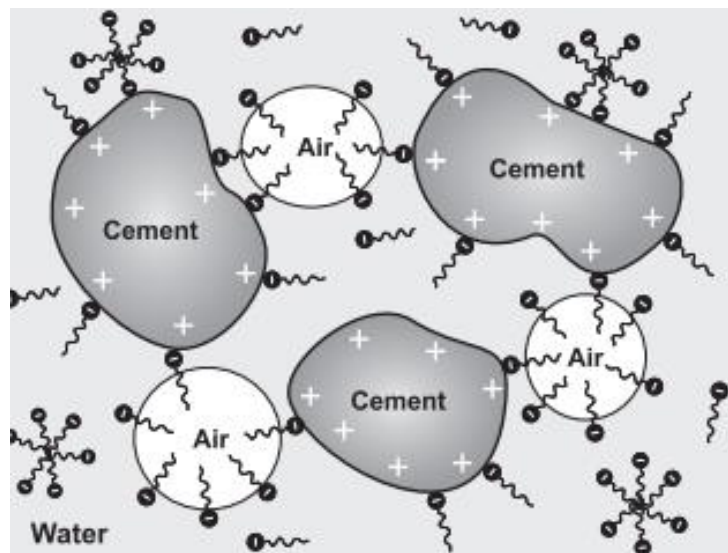


Figura 2.3 - Mecanismo de incorporação de ar na pasta de cimento.
Fonte: MEHTA e MONTEIRO, (2014).

As esferas de ar são oriundas da aglutinação da cauda com o ar (ALVES e WANDERLEY DO Ó, 2005), (NEVILLE e BROOKS, 2013). Com o aumento do teor de incorporador de ar é possível formar uma espécie de filme entre as bolhas de ar e a água evitando a coalescência, colapso, fusão de pequenas bolhas em bolhas maiores e uma melhor ancoragem das bolhas (HARTMANN, JEKNAVORIAN, *et al.*, 2011) e (MENDES, MORO, *et al.*, 2017). Vale ressaltar que as bolhas de ar são formadas durante o processo de mistura e a utilização do incorporador de ar serve

para estabilizá-las, aumentar a dosagem do incorporador de ar significa um aumento das bolhas finas até um certo limite, caso esse limite seja passado acarretará em aumento do tamanho das bolhas que pode ser danoso a estabilidade do ar incorporado (RATH, OUCHI, *et al.*, 2017).

A dosagem desse aditivo pode variar entre 0,05% e 0,3%, conforme o fabricante (HARTMANN, JEKNAVORIAN, *et al.*, 2011), deve-se atentar a esses limites para não acarretar em efeitos prejudiciais ao revestimento. É importante misturar essa quantidade em parte da água de amassamento para garantir uma dispersão mais uniforme do aditivo (NEVILLE e BROOKS, 2013). Caso o aditivo seja utilizado combinado com outro tipo de aditivo, esses devem ser adicionados separadamente, pois a interação desses aditivos podem interferir na eficiência de cada um. Por exemplo, é recomendável a utilização de um superplastificante em um primeiro processo da mistura e logo depois o uso do incorporador de ar (RATH, OUCHI, *et al.*, 2017), pois uma mistura mais trabalhável retém mais ar. O tempo de mistura é outro fator importante, caso seja curto a dispersão das bolhas geradas não será uniforme, e se for longo ocorrerá uma expulsão do ar incorporado (NEVILLE e BROOKS, 2013).

A incorporação de ar nas argamassas favorece o ganho de trabalhabilidade da mistura, queda da densidade (ROMANO, TORRES e PILEGGI, 2015) e (SEABRA, LABRINCHA e FERREIRA, 2007), retarda as reações de hidratação do cimento, devido à obstrução parcial ocasionada pelo incorporador de ar (IAR), o que causa redução do pico de temperatura, favorecendo a não ocorrência de fissuração por retração térmica (MENDES, MORO, *et al.*, 2017).

O teor de ar incorporado influencia diretamente na porosidade, aumenta a quantidade dos poros, o tamanho, a dispersão e pode deixar a superfície frágil e pulverulenta (MENDES, MORO, *et al.*, 2017). Esse alto teor de poros agem como ponto de concentração de tensão, facilitando a ruptura (ROMANO, TORRES e PILEGGI, 2015). Com isso, o aumento da porosidade é inversamente proporcional à resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade, pois a estrutura se torna mais deformável (MENDES, MORO, *et al.*, 2017) e (ROMANO, TORRES e PILEGGI, 2015). RATH, OUCHI, *et al.* (2017), estabelecem que o tamanho crítico de bolhas de ar é por volta de 500

µm, bolhas acima desse tamanho são instáveis e podem facilmente escapar ou unir-se em bolhas maiores.

ROMANO, TORRES e PILEGGI (2015), apresentaram que apesar do aumento da porosidade com o uso do IAR, argamassas sem a utilização do aditivo apresentaram teores mais elevados de porosidade, sendo o aditivo benéfico até certo teor. CARASEK (2010), estabelece que argamassas com teores de porosidade até 20% favorecem a aderência, devido ao melhor acomodamento da argamassa no substrato, ou seja maior extensão de ligação. Porém, testes de aderência realizados por ROMANO, TORRES e PILEGGI (2015) apresentaram relações inversas entre a porosidade e a resistência de aderência, enquanto outros testes a aderência não variou consideravelmente (LENART, 2013). Com isso, a porosidade deve ser controlada com cuidado.

As bolhas de ar incorporadas na estrutura podem ter um efeito favorável na durabilidade, pois obstruem os capilares tornando-o mais impermeável ao ar e a água (RESENDE, 2010) e (LENART, 2013). Vale ressaltar que os efeitos de superdosagem são negativos para toda a estrutura (MENDES, MORO, *et al.*, 2017) e (OZTURK e BARADAN, 2011).

2.3.2 Retentor de água

Os aditivos retentores de água são comumente utilizados em argamassas para reter água durante o processo de desidratação causado pela sucção do substrato ou durante a evaporação para a atmosfera (PAIVA, SILVA, *et al.*, 2006), fenômeno que pode acarretar em hidratação insuficiente dos componentes cimentícios, decaindo as propriedades mecânicas da argamassa (PATURAL, MARCHAL, *et al.*, 2011).

O princípio ativo mais utilizado e conhecido para a finalidade de retenção de água são os produtos de celulose (PATURAL, MARCHAL, *et al.*, 2011), mas algumas pesquisas abordam outros compostos como: Polímero superabsorvente (SAP), grupo de materiais poliméricos que possuem a capacidade de reter parte da água circundante em sua estrutura que durante o processo de cura liberam gradualmente a água resultando em poros esféricos (PAIVA, ESTEVES, *et al.*, 2009); éter guar; éter de amido (CAPPELLARI, DAUBRESSE e CHAOUICHE,

2013); gomas naturais; bentonita; e fumo de sílica. Podem apresentar-se na forma líquida ou em pó (KHAYAT, 1998).

Celulose é um polissacarídeo insolúvel em água devido a fortes interações via hidrogênio. Para torná-lo solúvel, é realizada a eterificação, substituição de grupos hidroxilas por grupos hidroxi-alquilo (CAPPELLARI, DAUBRESSE e CHAOUICHE, 2013), resultando em produtos como hidroxipropil metil celulose (HPMC/ MHPC), hidroxietil metil celulose (HEMC/ MHEC) (PAIVA, ESTEVES, *et al.*, 2009) e (PAIVA, SILVA, *et al.*, 2006), hidroxietil celulose (HEC), representados na Figura 2.4 podendo variar os locais de substituição, hidroxipropil celulose (HPC), metil celulose (MC) ou carboximetil celulose (CM) (DO Ó e SALLES, 2006). O processo de substituição torna o composto insolúvel em um polímero solúvel em água (CAPPELLARI, DAUBRESSE e CHAOUICHE, 2013). Na Europa, os retentores de água mais utilizados são os HEMC e HPMC, e o HEC geralmente utilizado na América do Sul (POURCHEZ, GROSSEAU, *et al.*, 2006).

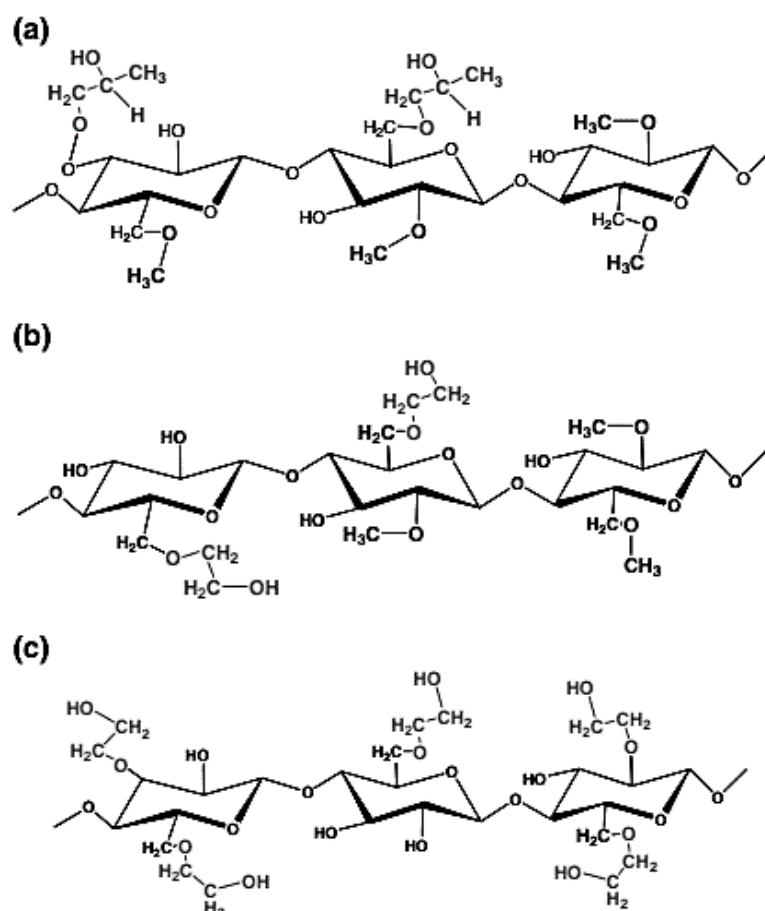


Figura 2.4 - Estrutura química de éteres de celulose: a) HPMC b) HEMC c) HEC. Posições de substituição podem variar. Fonte: PATURAL, MARCHAL, *et al.*, (2011).

Alguns parâmetros importantes, que diferenciam os éteres de celulose dentro de cada tipo, e que devem ser informados pelo fabricante são: a viscosidade, a razão de substituição molar (MS) e o grau de substituição (DS). DS é o parâmetro que mede a média de grupos hidroxilas que foram substituídos, podendo variar de 0 a 3. E MS é o parâmetro que mede a razão molar entre os grupos laterais alcoxi e a cadeia principal de celulose (CAPPELLARI, DAUBRESSE e CHAOUICHE, 2013). Os éteres de celulose também podem ser analisados pela massa molar e pela natureza e quantidade dos grupos de substituição (POURCHEZ, GROSSEAU, *et al.*, 2006).

Os éteres de celulose podem agir de acordo com três categorias, segundo KHAYAT, (1998):

- ❖ Adsorção: as moléculas poliméricas adsorvem e fixam-se em parte da água do sistema, devido à natureza hidrofílica do polímero, expandindo-se e aumentando a viscosidade da água;
- ❖ Associação: surgimento de força de atração entre moléculas adjacentes da cadeia polimérica, formando um gel, restringindo a locomoção da água e aumentando a viscosidade;
- ❖ Entrelaçamento: sob baixas tensões cisalhantes e em altas concentrações do polímero, as cadeias poliméricas podem se entrelaçar, resultando em aumento da viscosidade. Contudo, com maiores tensões cisalhantes o entrelaçamento pode se desfazer resultando em fluidificação;

As categorias de ação dos éteres de celulose resultam sempre em aumento da viscosidade, com isso indica-se a utilização dos retentores de água concomitantemente com redutores de água, para assegurar a trabalhabilidade (PAIVA, ESTEVES, *et al.*, 2009). O fator água/cimento recomendado para compostos com retentores de água deve ser maior que 0.40 (KHAYAT, 1998).

A adição de retentores de água diminui o abatimento da argamassa (SEABRA, LABRINCHA e FERREIRA, 2007), reduz a água livre da mistura aumentando a viscosidade (PAIVA, SILVA, *et al.*, 2006), sendo o teor de aditivo incorporado proporcional ao impacto da propriedade na argamassa (PIERRE, PERROT e GUEVEL, 2015). O aumento na viscosidade e na retenção de água também está associado ao aumento da massa molar do composto (PATURAL, MARCHAL, *et al.*, 2011) e (DO Ó e SALLES, 2006).

POURCHEZ, RUOT, *et al.*, (2010) e OLIVEIRA, CORRÊA, *et al.*, (2015) apresentaram que o MHPC possui elevada propriedade de retenção de água e que é capaz de reter água mesmo em condições adversas como temperaturas a 40°C sujeitos a ventilação. Sendo a retenção maior quanto maior for a dosagem do retentor.

Os éteres de celulose são bem conhecidos pela incorporação de ar na mistura (PAIVA, SILVA, *et al.*, 2006), devido a suas propriedades surfactantes, sendo a química do composto influência direta na estrutura porosa (POURCHEZ, RUOT, *et al.*, 2010). Quanto mais a mistura incorpora ar, mais aumenta a capacidade de retenção de água (CAPPELLARI, DAUBRESSE e CHAUCHE, 2013), com o aumento do ar incorporado, menor a densidade (IZAGUIRRE, LANAS e ÁLVAREZ, 2011) e menor a resistência da argamassa, pois poros enfraquecem o material. Cura em condições adversas, também são relatadas como motivo de enfraquecimento do revestimento (PAIVA, ESTEVES, *et al.*, 2009). Contudo, a resistência mecânica no estado endurecido não é uma propriedade primordial no caso das argamassas de revestimento (CAPPELLARI, DAUBRESSE e CHAUCHE, 2013).

O menor módulo elástico também está associado ao aumento do ar incorporado (CAPPELLARI, DAUBRESSE e CHAUCHE, 2013) e pode ser bastante favorável na redução de patologias devido a deformações estruturais ou por recalques (OLIVEIRA, CORRÊA, *et al.*, 2015).

O retentor de água também afeta secundariamente retardando a pega do cimento. Pois, compostos orgânicos, como o éter de celulose, adicionados a pasta de cimento demonstram afinidade aos produtos de hidratação do cimento (HUA, GUO e WEI, 2012).

De modo geral, os éteres de celulose trazem maior retenção de água, menor absorção de água por capilaridade, alta permeabilidade do vapor de água (POURCHEZ, RUOT, *et al.*, 2010) e resistência ao ciclo gelo e degelo (IZAGUIRRE, LANAS e ÁLVAREZ, 2011). Acredita-se que a redução da absorção de água é devido a obstrução da rede capilar por pequenos poros incorporados (IZAGUIRRE, LANAS e ÁLVAREZ, 2011)

Vale ressaltar que os efeitos dos aditivos retentores de água podem ser diferentes em argamassas de cal e em argamassas de cimento (CAPPELLARI, DAUBRESSE e CHAOUICHE, 2013). Nas argamassas de cal, o excesso de água ou a água retida, pode impedir o CO₂ de penetrar na argamassa, retardando o processo de carbonatação (POURCHEZ, RUOT, *et al.*, 2010).

2.3.3 Redutores de água (Plastificante/ Superplastificante)

Os redutores de água/plastificantes são os aditivo mais utilizados na confecção de concretos, melhorando as características reológicas através da dispersão das partículas de cimento (LEI e PLANK, 2012). Caso, necessita-se de uma capacidade dispersante maior, sem afetar consideravelmente as reações de hidratação do cimento, utiliza-se o superplastificante (SPIRATOS, PAGÉ, *et al.*, 2003).

As principais razões para utilização desse material são diminuir a emissão de CO₂, diminuindo o gasto de cimento Portland, e melhorar a performance do compósito cimentício (WETZEL e AREND, 2015). Podendo ser resumidas em: melhora na trabalhabilidade, melhora no comportamento mecânico devido a menor relação água/cimento, e produto final mais barato devido à otimização da utilização do cimento. (PUERTAS, SANTOS, *et al.*, 2005).

O primeiro tipo de plastificante, introduzido em 1960, foi a base de lignosulfonato, resíduo proveniente da polpa da celulose. O Japão e a Alemanha introduziram os superplastificantes, por volta de 1960, a base de formaldeído-sulfonatos de naftaleno (NSFC) e melamina (MSFC), possibilitando a redução de até cerca de 40% da água. Em 1990, foi introduzida a nova geração de superplastificantes, os policarboxilatos-poliéteres (HARTMANN, JEKNAVORIAN, *et al.*, 2011). Esses aditivos são enquadrados conforme a EN 934-2.

A ABNT NBR 11768:2011 e HARTMANN, JEKNAVORIAN, *et al.*, (2011) dividem os aditivos em:

- Redutores de água/plastificantes: que possuem em sua composição lignosulfonatos, sais de ácidos carboxílicos e polissacarídeos, composição química apresentada na Figura 2.55 “c”;

- Alta redução de água/ Superplastificantes Tipo I: contém sais condensados de naftaleno sulfonato ou melamina sulfonato, obtidos através de polimerização, composição química apresentada na Figura 2.55 “b” e “a”, respectivamente;
- Alta redução de água/ Superplastificante Tipo II: a base de policarboxilato - poliésteres, estrutura química genérica apresentada na Figura 2.55 “d”, podendo ser apresentado de maneiras diferentes. Sendo que, o mecanismo de dispersão pode ser controlado pela mudança do comprimento da cadeia;

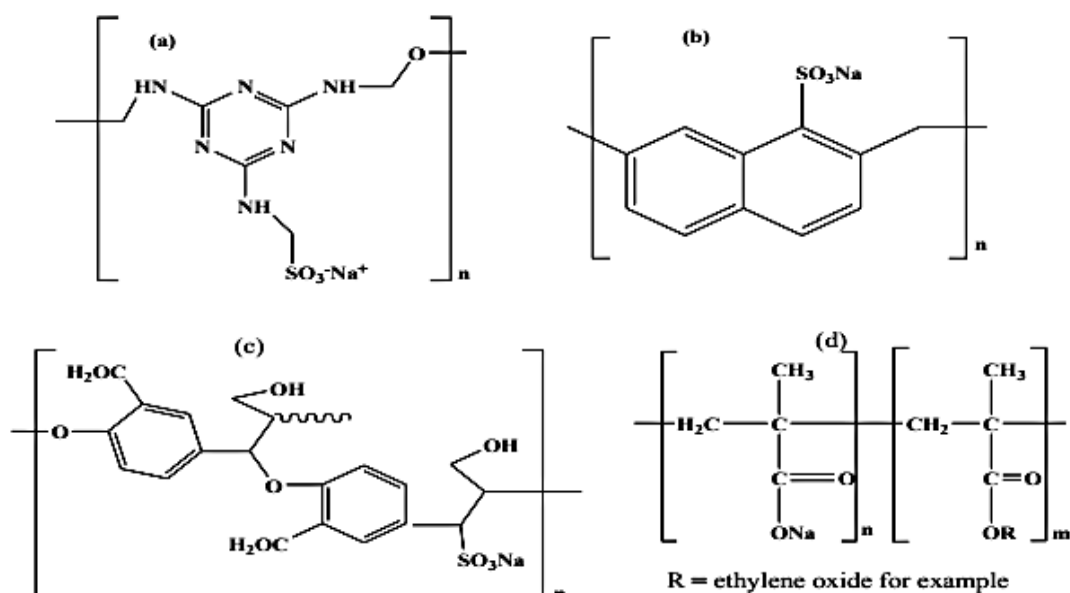


Figura 2.5 - Famílias de redutores de água: a) formaldeído sulfonato de melamina; b) formaldeído sulfonato de naftaleno; c) lignosulfonato de alta pureza e d) policarboxilato-poliésteres.

Fonte: KHUDHAIR, ELYOUBI e ELHARFI, (2018).

Os aditivos possuem propriedade dispersante pois superam as forças de van der Waals entre as partículas através de uma forte força repulsiva, eletrostática ou estérica, na interface superfície/líquido, liberando a água aprisionada (SPIRATOS, PAGÉ, *et al.*, 2003). Os aditivos plastificantes agem principalmente por forças eletrostáticas e os superplastificantes por forças estéricas, sendo as forças estéricas mais fortes que as forças eletrostáticas. Alguns aditivos, como o lignosulfonato ou policarboxilato, ainda aumentam a tensão superficial da água, aumentando o efeito na consistência e incorporando ar (HARTMANN, JEKNAVORIAN, *et al.*, 2011) (WETZEL e AREND, 2015) e (ŁAŻNIEWSKA-PIEKARCZYK e SZWABOWSKI, 2015). A EN 480-1 estabelece que as misturas podem chegar a mais de 13% de ar incorporado (ŁAŻNIEWSKA-PIEKARCZYK, MIERA e SZWABOWSKI, 2017). Em alguns casos necessita-se utilizar o

desincorporador de ar para não afetar negativamente as propriedades do concreto, a Tabela 2.7 mostra o impacto de cada redutor de água na incorporação de ar (MOSQUET, 2003).

Tabela 2.7 - Influência do redutor de água na incorporação de ar

Tipo de Redutor de água	Lignosulfonato	Naftaleno	Melamina	Nova geração	
				Policarboxilato	Aminofosfonatos polioxuetileno
Quantidade de ar incorporado	++	+	0	++	++

Fonte: MOSQUET, (2003).

Para uma melhor distribuição do aditivo ao incorporar na massa, ele deve ser previamente diluído em parte da água (BOUKENDAKDJI, DEBIEB, *et al.*, 2016). Além de alguns compostos apresentaram melhor trabalhabilidade quando adicionados posteriormente à adição da água, por volta de 1 minuto depois (CHIOCCHIO e PAOLINI, 1985). Contudo, essa adição tardia não é sensível para superplastificantes a base de policarboxilatos e lignosulfonatos (GOLCASZEWSKI e SZWABOWSKI, 2004) e (HANEHARA e YAMADA, 1999).

Ao utilizar combinações de aditivos, deve-se atentar a incompatibilidade dos mesmos e/ou aos efeitos colaterais. Retentores de água a base de celulose devem ser utilizados com superplastificantes, por exemplo, a base de melamina, pois são incompatíveis com o naftaleno. Além, da demanda de superplastificante aumentar com o aumento da dosagem de um retentor de água (KHAYAT, 1998). Ressalta-se ainda que a adição de um superplastificante antes da adição de um retentor de água resulta em um sistema poroso mais eficiente (KHAYAT, 1995). Com a seleção adequada do tipo de retentor e superplastificante, além da dosagem devida, é possível chegar a um composto com características altamente satisfatórias (KHAYAT, 1998) e (LACHEMIA, HOSSAINA, *et al.*, 2004).

Os redutores de água são amplamente conhecidos pelo o que seu próprio nome se refere, sendo que os plastificantes possuem capacidade de reduzir de 5% a 10% da água, e os superplastificantes reduzem de 15% até 40% da água de constituição (HARTMANN, JEKNAVORIAN, *et al.*, 2011). Quando a relação água/cimento é mantida, é possível aumentar consideravelmente a trabalhabilidade, sendo possível, também, aumentar o slump com reduções de 2% de água (SEABRA, LABRINCHA e FERREIRA, 2007). O concreto além de ficar

mais fluído fica mais resistente a exsudação e a segregação (PUERTAS, SANTOS, *et al.*, 2005).

A maioria dos redutores de água retardam as reações de hidratação do cimento, conseqüentemente diminuem a resistência inicial e diminuem o calor de hidratação liberado (PUERTAS, SANTOS, *et al.*, 2005) e (OZTURK e BARADAN, 2011). Sendo que a adição tardia do aditivo pode retardar ainda mais as reações de hidratação (HANEHARA e YAMADA, 1999). No caso dos policarboxilatos o retardo é devido a adsorção do aditivo nas partículas do cimento (CHEUNG, JEKNAVORIAN, *et al.*, 2011).

A maioria dos redutores de água gera incorporação de ar, principalmente a nova geração de superplastificantes. De uma forma geral todos os compostos orgânicos podem aumentar o teor de ar incorporado. Porém, para assegurar a durabilidade, o concreto/argamassa deve possuir uma estrutura porosa adequada (ŁAŻNIEWSKA-PIEKARCZYK, MIERA e SZWABOWSKI, 2017). Aditivos a base de naftaleno e lignosulfonato apresentam uma melhor estabilização do ar incorporado (ŁAŻNIEWSKA-PIEKARCZYK e SZWABOWSKI, 2015) e aditivos a base de policarboxilato modificam a estrutura porosa, induzindo um refinamento no tamanho dos poros (PUERTAS, SANTOS, *et al.*, 2005). Ressaltando que o aumento do fator água cimento também está associado ao aumento do ar incorporado.

De uma forma geral, a densidade aumenta e a porosidade diminui, melhorando a resistência mecânica, diminuindo a absorção por capilaridade e por imersão (KHUDHAIR, ELYOUBI e ELHARFI, 2018) e melhorando a durabilidade (KHUDHAIR, YOUBI e ELHARFI, 2017), (CHEUNG, JEKNAVORIAN, *et al.*, 2011) e (WETZEL e AREND, 2015).

Deve-se atentar aos efeitos de sobre dosagem, pois valores acima do ponto de saturação podem gerar efeitos negativos como segregação e a inibição da formação dos produtos de hidratação do cimentos, acarretando em queda na resistência mecânica (KHUDHAIR, ELYOUBI e ELHARFI, 2018) e (CHEUNG, JEKNAVORIAN, *et al.*, 2011).

2.4 ÁGUA DE AMASSAMENTO

A água tem a função de lubrificar as partículas da argamassa melhorando a trabalhabilidade, além de ser responsável pelas reações químicas de hidratação do cimento, associadas ao ganho de resistência e durabilidade (BASTOS, 2006). A ABNT NBR 15900-1:2009 estabelece que a água de abastecimento público é adequada para ser utilizada na pasta de concreto/ argamassa e não necessita ser ensaiada, qualquer outra fonte de água diferente desta deve ser ensaiada e seguir os padrões pertinentes da norma. Somente a água de esgoto ou a água de esgoto tratado não é adequada para o uso. As normas ABNT NBR 15900:2009, EN 1008:2002 e a ISO 12439:2010 estabelecem critérios bem similares sobre a classificação do uso da água para o concreto, diferindo em alguns aspectos adaptados para cada região (ISAIA, 2011). No geral, qualquer água com pH entre 6,0 e 8,0, sem ser salobra é adequada para a utilização (NEVILLE e BROOKS, 2013).

A relação água/cimento empregada está intimamente relacionada a trabalhabilidade que se deseja alcançar. O aumento do fator água/cimento (a/c) significa que existe mais água entre as partículas, e quando a argamassa endurecer essa água se tornará vazios na estrutura, aumentando a porosidade, diminuindo a resistência a compressão e diminuindo o módulo de elasticidade (HAACH, VASCONCELOS e LOURENÇO, 2011).

Estudos apresentam que argamassas com pequenos teores de a/c não apresentaram água suficiente para promover a hidratação do cimento (HAACH, VASCONCELOS e LOURENÇO, 2011). Com isso, é ideal encontrar uma relação a/c que supra todas as necessidades da argamassa de revestimento.

2.5 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

A ABNT NBR 13281:2005 estabelece como argamassa: composto que possui propriedade de endurecimento e aderência, proveniente da mistura homogênea entre aglomerante, agregado miúdo e água, podendo ou não conter aditivos, dosada em obra ou em central.

A argamassa de revestimento ainda é muito utilizada, principalmente em edifícios, sendo realizada para receber o acabamento final, pintura, o revestimento cerâmico ou rochas ornamentais. Além de conferir uma estética, também é responsável por aproximadamente 30% do isolamento térmico, 50% do isolamento acústico, 70% a 100% da estanqueidade à água, resistência a desgastes superficiais e segurança ao fogo (CARASEK, CASCUDO, *et al.*, 2011) e (DO Ó e SALLES, 2006). Quando realizada de uma forma adequada o revestimento fornece uma camada resistente a intempéries tornando-a mais durável (PAIVA, ESTEVES, *et al.*, 2009).

A Cal era comumente utilizada como material obrigatório nos revestimentos de construções tradicionais, para unir e revestir as alvenarias devido a plasticidade e durabilidade incorporadas à argamassa (CAMPOS, 2012) até o começo do século 20, quando a sua utilização foi superada pelo Cimento Portland. Argamassas utilizando cal podem ser encontradas em estruturas de até 2000 anos apresentando características satisfatórias (SNOW e TORNEY, 2014), apesar de que somente a utilização da cal em revestimentos reduz a resistência a penetração da água e a durabilidade (GULBE, VITINA e SETINA, 2017). Com isso, é considerada o material tradicional de construção mais antigo utilizado. Atualmente, a cal é utilizada na construção civil com adição de cimento (SAELI, TOBALDI, *et al.*, 2017). As argamassas utilizadas em obra são, geralmente, compostas de cimento Portland, cal hidratada e areia natural, conhecida como argamassas mista, sendo esta adição para melhorar a trabalhabilidade e o acabamento (FIORITO, 2009).

2.5.1 Tipos de argamassa

O revestimento argamassado pode ser configurado de diversas maneiras e em diversas camadas como apresentados na Figura 2.6. CARASEK (2010) apresenta os tipos de argamassa como:

- Chapisco: preparo da base, camada com finalidade de melhorar a aderência e uniformizar a absorção do substrato;
- Emboço: camada responsável por uniformizar e regularizar a superfície, que seja apta a receber outra camada, como o reboco, ou o revestimento cerâmico;

- Reboco: camada que cobre o emboço, podendo ser o acabamento final ou que permita receber pintura;
- Camada única: também conhecida como massa única ou reboco paulista, consiste em um revestimento de um único tipo de argamassa que seja capaz de receber a pintura;
- Argamassa técnica decorativa (ATD): também conhecido como monocapa, é uma argamassa de origem industrializada muito utilizada na Europa. Este revestimento é uma única camada capaz de atuar como camada de regularização e função decorativa (ABNT NBR 16648:2018);

BAUER (2005), ainda realiza uma subdivisão do chapisco em: Chapisco convencional, argamassa fluída de cimento e areia média-grossa, traço 1:3 (cimento: areia) em volume; Chapisco modificado com polímeros, que é semelhante ao convencional, porém adiciona-se polímeros à água de mistura; Chapisco rolado, que é semelhante ao chapisco modificado, porém com utilização de areia média-fina e aplicado com rolo de pintura; e Chapisco industrializado, geralmente aplicado em estruturas de concreto, é uma argamassa industrializada e deve ser aplicado com desempenadeira dentada com filetes de não mais que 5 mm de altura, processo similar ao de aplicação da argamassa colante.

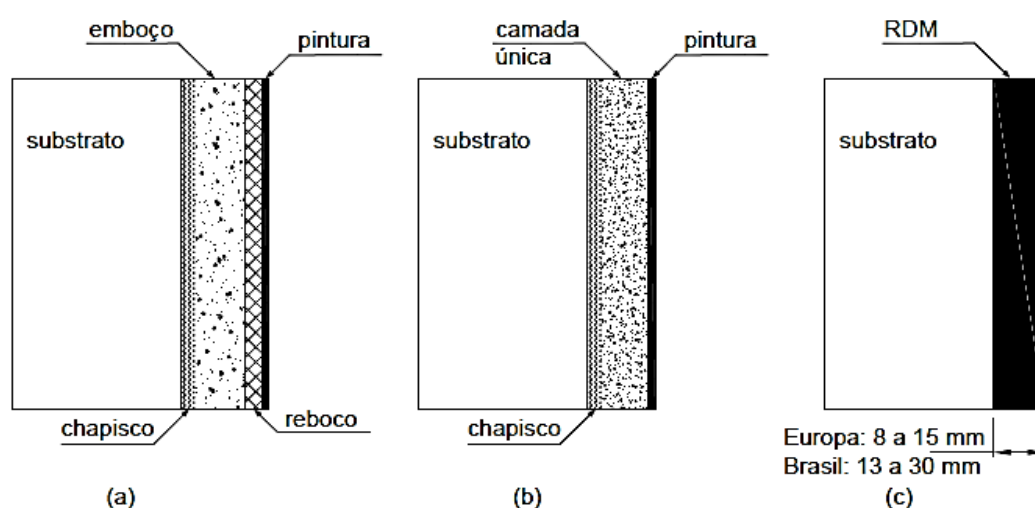


Figura 2.6 - Revestimentos argamassados para parede: (a) emboço+ reboco+ pintura (sistema convencional); (b) camada única+ pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM).

Fonte: CARASEK, (2007).

2.5.2 Execução e Cura

A ABNT NBR 7200:1998 estabelece as diretrizes de uma boa execução do revestimento, sendo que esta etapa é a principal causa de aparecimento de futuras patologias no revestimento. No caso de preparo da argamassa em obra, esta deve conter no mínimo compartimentos separados para estoque do material, peneiras, métodos adequados para medir os componentes da argamassa, um misturador e ponto de água próximo ao misturador. Caso venha-se a utilizar cal virgem no revestimento, deve ser feito o processo de maturação com no mínimo uma semana antes de começar a execução da argamassa, se for utilizada a pasta de cal hidratada a maturação recomendada é de 16h, no mínimo, e caso utilize-se a mistura cal, areia e posteriormente água (“massa branca”), com consistência seca, a maturação mínima também é de 16h. As cales com garantia de 0% de óxidos não hidratados na sua constituição podem ser dosadas normalmente sem a necessidade de maturação.

A mistura da argamassa deve ser feita com um misturador mecanizado, uma haste para misturar acoplada à furadeira, uma betoneira ou um misturador de eixo horizontal, e o tempo não deve ser inferior a 3 minutos e não deve ser superior a 5 minutos. Em casos adversos, é permitida a mistura por processo manual com enxada ou colher de pedreiro, no processo manual deve-se preparar volumes inferiores a 0,05 m³ de cada vez. O volume de produção, tanto mecanizado quanto manual, deve ser controlado para que a argamassa seja utilizada no máximo em 2h e 30 minutos, caso as condições climáticas sejam adversas, temperaturas acima de 30°C ou umidade relativa do ar inferior a 50%, o tempo deve ser de no máximo 1h e 30 minutos (ABNT NBR 7200:1998) e (CARVALHO JUNIOR, 2005).

Para execução de qualquer etapa do revestimento, devem ser respeitados os tempos de cura da base. Sendo que para aplicação de chapisco em estruturas de concreto e alvenarias armadas estruturais a cura é de 28 dias, alvenarias não armadas estruturais e alvenaria sem função estrutural são 14 dias. Para a aplicação do emboço ou da camada única no chapisco, são 2 dias em casos de climas secos, caso contrário são 3 dias. Para a realização do reboco no emboço, deve-se esperar 21 dias no caso de emboço feito com argamassa de cal e 7 dias para argamassas

mistas ou de cimento. Para realizar o acabamento decorativo, são 21 dias de cura do reboco ou camada única (ABNT NBR 7200:1998).

As argamassas não devem ser aplicadas em temperaturas inferiores a 5°C e caso as temperaturas sejam superiores a 30°C, umidade relativa do ar baixa ou mesmo em situações de ventos fortes deve ser feita a cura úmida por aspersão de água intermitentemente por no mínimo 24h (ABNT NBR 7200:1998). A cura é extremamente importante para a aderência do revestimento, estudo apresentado por CAVANI e OLIVEIRA (2002) mostrado na Tabela 2.8 salienta a diferença do resultado de aderência para chapisco com diversas formas de cura.

Tabela 2.8 - Resultado de aderência médio do chapisco em relação ao processo de cura

Condição de cura	Resistência de aderência a tração média (MPa)
Nenhuma	0,13
Molhado 1 vez por dia por 3 dias	0,44
Molhado 2 vezes por dia por 3 dias	1,00
Molhado 3 vezes por dia por 3 dias	0,81

Fonte: CAVANI e OLIVEIRA, (2002).

A limpeza da base deve ser feita previamente a execução do revestimento de maneira adequada, pois a limpeza incorreta é grande causadora de patologias. A limpeza deve ser feita descendo o balancim para não contaminar a superfície previamente limpa (CEOTTO, BANDUK e NAKAKURA, 2005). Deve-se retirar quaisquer pontas de ferro que sobressaiam da superfície, caso não seja possível devem ser lixados rente à superfície e tratados com tinta anticorrosiva (ABCP, 2003). As depressões devem ser corrigidas, sendo que depressões menores que 50 mm podem ser somente preenchidas com argamassa utilizada no emboço, e as maiores que 50 mm devem ser reforçadas com tela metálica galvanizada e duas camadas de argamassa (ABNT NBR 7200:1998).

Antes de efetuar qualquer lavagem, a superfície deve ser saturada com água limpa. Existem diversas formas de limpeza, conforme a necessidade, dentre elas: escovação enérgica da superfície com escova de aço ou vassoura piaçava, seguida por lavagem com mangueira pressurizada, podendo a lavagem ser feita com acréscimo de desengordurante ou soluções, e ser realizado um jateamento de areia. Lembrando que deve-se remover a poeira caso seja feito o jateamento e deve-se esperar a superfície secar após a lavagem (CEOTTO, BANDUK e NAKAKURA, 2005). Após a limpeza, o substrato deve estar totalmente isento de

qualquer sujeira, pó, graxa, óleos, eflorescências, ou qualquer outro material que venha a ser danoso para o revestimento (ABNT NBR 7200:1998).

A ABNT NBR 7200:1998 ressalta que em qualquer lugar da base do revestimento que tenha mudança de material devem ser utilizadas telas capazes de suportar as possíveis movimentações ou serem previstas juntas de movimentação.

Após a devida limpeza da superfície segue-se para a execução com a aplicação do chapisco. Deve-se molhar toda a superfície sem saturá-la. O chapisco convencional, em consistência fluída, deve ser lançado vigorosamente com a colher de pedreiro, tomando cuidado de não cobrir completamente a base (ABCP, 2003) e (FIORITO, 2009). As outras formas de aplicação do chapisco foram citadas na Seção Tipos de argamassa.

Deve-se mapear a estrutura, com o auxílio de taliscas, para verificar a espessura de emboço, planeza e o prumo necessário, caso a camada necessária para o prumo adequado seja superior a 25 mm deve ser realizada uma camada de regularização com o mesmo material utilizado no emboço. A argamassa deve ser chapada, apertada e após esperar o tempo adequado sarrafeada, além de utilizar-se uma tela metálica de reforço. Se a camada for menor que 25 mm segue-se com a aplicação do emboço, sendo a espessura especificada em projeto, e a mesma maneira de aplicação salientada para a camada de regularização (FIORITO, 2009).

Para o reboco, serão realizadas todas as mesmas etapas do emboço, mas após o sarrafeamento segue-se para o desempeno e feltramento, respeitando o tempo de aplicação de cada etapa. Após a cura do reboco pode-se aplicar a pintura ou a finalização projetada. Como esta etapa é a superfície final do revestimento, ela não deve apresentar fissuras (CARVALHO JUNIOR, 1999).

Esses procedimentos sofrem grande variação devido à força de lançamento, pressão no desempeno e sarrafeamento, e a localização do operador. Com isso, é importante treinar a mão de obra para realizar o trabalho com uma menor variabilidade (CARASEK, CASCUDO, *et al.*, 2011).

Na Tabela 2.9, seguem algumas recomendações de traços que podem ser adotados, de acordo com as fontes, para cada camada realizada, ou pode-se adotar recomendações do fabricante de cimento ou aditivo, no caso de argamassas

aditivadas, ou mesmo pode-se seguir com um processo de dosagem para realização do revestimento.

Tabela 2.9 - Recomendações de traços de argamassa por camada

Camada	Localização	Traço em volume	Fonte
Chapisco convencional	Não Especificado	1:3 (cimento: areia média-grossa)	(BAUER, 2005) e (ABCP, 2003)
		1: 2 (cimento: areia)	(CAVANI e OLIVEIRA, 2002)
		1:5 (cimento: areia grossa)	(ABCP, 2003)
Chapisco polimérico	Não Especificado	1:3 (cimento: areia média-grossa)	(BAUER, 2005)
Chapisco rolado	Não Especificado	1:3 (cimento: areia média-fina)	
Emboço	Interno	1:5 (cal: areia lavada média) = massa branca	(CARVALHO Jr, 1999)
		1:8 (cimento: massa branca)	
		1:2:8 (cimento: cal*: areia lavada média)	
	Externo	1:4 (cal: areia lavada média) =massa branca	
		1:6 (cimento: massa branca)	
		1:1:6 (cimento: cal*: areia lavada média)	
Não Especificado	1: 2: 9 (cimento: cal*: areia média)	(NBR 7200:1982)	
	1: 1: 7 (cimento: cal hidratada: areia média)	(ANSI-	
	1: 0,5: 5 (cimento: cal*: areia média)	A108.1:1995)	
Reboco ou massa única	Interno	1:5 (cal: areia lavada fina) =massa branca	(CARVALHO Jr, 1999)
		1:10 (cimento: massa branca)	
		1:2:10 (cimento: cal*: areia lavada fina)	
	Externo	1:5 (cal: areia lavada fina) = massa branca e	
1:8 (cimento: massa branca)			
		1:2:8 (cimento: cal*: areia lavada fina)	

*Cal aditivada e com 0% de óxidos não hidratados.

2.5.3 Propriedades

Algumas propriedades das argamassas de revestimento são importantes para o seu bom funcionamento, sendo citadas por CARASEK (2010) a trabalhabilidade, a aderência, a permeabilidade à água, a resistência mecânica e a capacidade de absorver deformações.

A trabalhabilidade é importante, principalmente para o emprego em obra, dependendo de sua aplicabilidade. Sendo assim, a trabalhabilidade será diferente se for aplicada manualmente ou mecanicamente e dependendo da camada realizada, como o chapisco que precisa ser uma argamassa mais fluida. Caso a argamassa não tenha a trabalhabilidade adequada o operador não conseguirá empregá-la da forma devida, podendo prejudicar a aderência (CARASEK, 2010).

A capacidade de absorver deformações da argamassa está associada ao Módulo de elasticidade Dinâmico (E_d), sendo que a argamassa deve possuir

módulo suficiente que resista aos esforços da parede e do revestimento, como por exemplo a dilatação térmica, mas ao mesmo tempo não deve ser muito rija, pois pode fissurar todo o revestimento. Essa característica pode ser aprimorada com a incorporação de ar devida, tornando-a uma argamassa mais deformável (HADDAD, COSTA, *et al.*, 2016)

A retenção da água de uma argamassa de revestimento é importante, principalmente em climas quentes onde a ABNT NBR 7200:1998 recomenda cura intermitente por 24h, e é de conhecimento que muitas obras não realizam esse processo. Com isso, a argamassa de revestimento deve ter capacidade de reter água para poder realizar o processo de ganho de resistência, pela hidratação dos compostos cimentícios, pois quando ela entra em contato com o substrato a perda de água é muito intensa e a perda pode ser ainda maior devido a evaporação para o meio ambiente (SILVA, CARASEK, *et al.*, 2011).

A absorção de água é muito importante, visto que os revestimentos são higroscópicos e sofrem influência da umidade do ar, solo úmido ou infiltrações. Caso a absorção seja demasiado elevada pode danificar a estrutura gerando eflorescências ou outras patologias (ARANDIGOYEN M, 2005) e (SALOMÃO e BAUER, 2014). Contudo, a argamassa ainda deve permitir o transporte de água de constituição para o substrato, contribuindo com o ganho de resistência de aderência (PAES, BAUER, *et al.*, 2014).

A propriedade de aderência das argamassas de revestimento é uma das mais importantes, pois sua deficiência pode gerar descolamentos, dentre outras patologias, podendo ter prejuízos econômicos e até humanos (MOTA, SILVA, *et al.*, 2009) e (CARASEK, 2007). A aderência é um mecanismo gerado principalmente através do intertravamento da etringita, substância proveniente da hidratação do cimento, no poros do substrato, (CARASEK, 1996). Ressalta-se que a deficiência de absorção do substrato, areias muito finas, ou mesmo a inexistência do chapisco podem prejudicar sensivelmente a aderência da argamassa (MOTA, SILVA, *et al.*, 2009) e (PAES, BAUER, *et al.*, 2014).

2.6 PATOLOGIAS

2.6.1 Considerações Iniciais

Os revestimentos argamassados e as impermeabilizações são uma das partes da edificação que mais apresentam patologias (SANTOS, DARDENGO, *et al.*, 2014). Os revestimento danificados afetam a integridade da edificação, com a consequente desvalorização do imóvel, e a segurança da população (MAIA NETO, SILVA e CARVALHO JUNIOR, 1999). Com isso, a preocupação com a durabilidade cresce, por questões econômicas e ambientais (SOUZA, BAUER, *et al.*, 2016).

A degradação pode ocorrer devido à combinação de fatores como: sol, chuva, poluentes, vento e/ou agentes biológicos (GASPAR e BRITO, 2008). Porém, pode ser devido ao processo construtivo em uma ou mais das etapas: planejamento, projeto, execução, escolha dos materiais, utilização e manutenção (SOUZA, BAUER, *et al.*, 2016). Através dessa última classificação as patologias podem ser divididas em: patologias endógenas, que ocorrem devido à falta de manutenção; patologias de execução, que acontecem devido a erros construtivos; e patologias congênitas, devido a erros de projeto (SANTOS, DARDENGO, *et al.*, 2014). A Tabela 2.10 apresenta critérios a serem avaliados em cada etapa de execução do revestimento argamassado para evitar o aparecimento de futuras patologias.

Tabela 2.10 - Critérios para serem avaliados para uma boa execução de revestimentos

Sistema	Etapa do processo	Critério
Revestimentos	Planejamento	Avaliação do tipo de revestimento em relação a: contato com água, insolação, coeficiente de dilatação e manutenção.
	Projeto	Detalhamento do revestimento e propriedades (químicas e mecânicas) necessárias, tais como: juntas de dilatação, espessura, cobertura.
	Materiais	Definição de argamassas, revestimentos em função dos agentes agressivos e da mão de obra disponível.
	Execução	Treinamento da mão de obra.
		Especificação do procedimento de execução Construção segundo procedimentos normativos e dos fornecedores.
Uso	Detalhamento do manual do usuário sobre as características dos materiais	

Fonte: SANTOS, DARDENGO, *et al.*, (2014).

As manifestações patológicas podem iniciar pela presença de manchas, aumentando as áreas afetadas e a gravidade, aparecimento de fissuras concomitantemente com as manchas ou posteriormente, seguindo pela ocorrência de diversas patologias, até a perda de aderência do revestimento. Sendo, que a perda de aderência do revestimento está associada ao seu estado limite e ao fim da sua durabilidade. Mesmo as manchas e as fissuras não sendo fatores de alta gravidade, elas colaboram para a redução do tempo de vida do revestimento (GASPAR e BRITO, 2010). Os autores GASPAR e BRITO (2008) apresentam uma classificação das patologias de acordo com o grau de severidade, apresentada na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 - Ranking proposto da importância das patologias em revestimentos argamassados.

Nível de Condição	Caracterização do defeito
0 (melhor condição)	Nenhuma degradação visível.
1 (boa condição, área afetada < 5%)	Manchas na Superfície.
	Microfissuras visíveis por capilaridade.
2 (pequena degradação, área afetada entre 5-10%)	Pequenas fissuras.
	Presença localizada de fungos.
	Possíveis Infiltrações
	Pequenos sinais de eflorescências.
	Pequenas manchas úmidas.
3 (degradação ampla, área afetada entre 11-30%)	Fissuras localizadas visíveis a olho nu.
	Beiradas ou quinas danificadas.
	Infiltrações localizadas.
	Eflorescências.
	Superfícies danificadas pela cor e textura.
4 (pior condição, área afetada > 30%)	Trincas em grandes áreas.
	Superfície lascando ou pulverulenta.
	Infiltração generalizada e dano à superfície.
	Aço quebrado e corroído.
	Perda de adesão entre as camadas.
	Destacamento/ Desplacamento.

Fonte: GASPAR e BRITO, (2008).

Para assegurar a durabilidade do revestimento, deve-se ficar atento a durabilidade do material empregado sob diferentes agentes deletérios e garantir a manutenção periódica, evitando o fim da vida útil precocemente (SANTOS, DARDENGO, *et al.*, 2014). A norma ISO 15686:2011 “Buildings and constructed assets - Service life planning” estabelece diversos fatores para assegurar e melhor compreender a vida útil de uma edificação, possuindo ao todo 13 partes. Sendo que, por exemplo, a ISO 15686-1:2011 estabelece princípios para garantir a vida útil na fase de produção, e a parte 2 apresenta métodos para estimar a vida útil, dentre outros tópicos.

A maioria dos tratamentos aconselháveis para as patologias consiste em tratar a causa seguida da realização de um novo revestimento, caso este esteja comprometido (CARVALHO JUNIOR, 2012).

2.6.2 Manchas

As manchas podem ser de diversas cores: a marrom é devido à ferrugem, a preta ou verde é devido a presença de microrganismos, algas e mofos (BAUER, 2005). As manchas podem, também, ser devido a sujidades carregadas pelo fluxo da chuva no revestimento, sendo esse fator intitulado como a maior causa do surgimento de manchas nas fachadas (CHEW e TAN, 2003). Quando a umidade geradora das manchas não é proveniente das chuvas, pode ser proveniente de sistemas de impermeabilização ineficientes (MAIA NETO, SILVA e CARVALHO JUNIOR, 1999).

2.6.3 Fissuras/ Trincas

As fissuras patológicas são aquelas visíveis a olho nu posicionado a uma distância maior que um metro, ou que possibilitem a penetração de água na estrutura (CEOTTO, BANDUK e NAKAKURA, 2005). As fissuras podem ter diversas causas como retração térmica, retração por secagem ou devido a ações externas (SILVA, SOARES, *et al.*, 2015).

As fissuras podem ser mapeadas, geralmente se cruzam em 90°, salientando a retração sofrida pela argamassa (CARASEK e CASCUDO, 2007), que pode ser devido ao elevado teor de finos, grande quantidade de água de amassamento, condições térmicas ambientais, molhagem deficiente, entre outros fatores. Se a causa não for o revestimento, pode ser devido a esforços que a estrutura não esteja suportando (BAUER, 2005). As fissuras também podem ter sua origem na reação de hidratação retardada da cal, reação do cimento com sulfato ou a presença de argilo-minerais expansivos (CARVALHO JUNIOR, 2012). As trincas são consideradas fissuras em estágios mais avançados.

A fissuração pode ser avaliada conforme critérios estabelecidos na Tabela 2.12. Outro critério que pode ser adotado é o da ductilidade, que relaciona a tração na flexão e a resistência a compressão (R_t/R_c), criado pelo Laboratório Nacional

de Engenharia Civil (LNEC). Sendo que, quanto mais próximo o resultado de um, maior é a capacidade de o revestimento absorver deformações sem fissurar, ou seja mais dúctil. Porém, os fatores que podem influenciar a fissuração são tão diversos que é difícil analisar essa patologia devido a uma característica do revestimento (OLIVEIRA, BAUER e SANTOS, 2017).

Tabela 2.12 - Critérios para avaliar a suscetibilidade da argamassa de revestimento fissurar

Características (28 dias)	Critérios de classificação quanto à fissuração		
	Baixa suscetibilidade	Média Suscetibilidade	Alta Suscetibilidade
Retração por secagem - (mm/m)	$D/I \leq 0,7$	$0,7 < D/I < 1,2$	$D/I \geq 1,2$
Módulo de Elasticidade - (MPa)	$E \leq 7000$	$7000 < E < 12000$	$E \geq 12000$
Módulo de Elasticidade/Resistência à tração na flexão - (E/Rt)	$E/Rt \leq 2500$	$2500 < E/Rt < 3500$	$E/Rt \geq 3500$

Fonte: CSTB, (1993).

As fissuras devido a composição de materiais, geralmente apresentam-se nas primeiras horas, sendo essas fissuras relacionadas com o estado fresco da mistura. Não se aconselha medir com propriedades do estado endurecido (LOBO e OLIVARES, 2007) e (NARCISO DA SILVA e GOMES, 2009).

2.6.4 Eflorescências

A eflorescência geralmente apresenta-se na forma de um líquido branco esbranquiçado escorrido pelo revestimento, que pode desagregar ou contribuir com a perda de aderência do revestimento (MAIA NETO, SILVA e CARVALHO JUNIOR, 1999). Sua ocorrência acontece devido a deposição de, principalmente, sais alcalinos-terrosos (cálcio e magnésio) e sais de metais alcalinos (sódio e potássio) no substrato. Os sais podem ser proveniente de substâncias solúveis na constituição da argamassa, ou do solo, carreadas por capilaridade através dos poros (FIORITO, 2009). Assim, são fundamentais três fatores para a ocorrência da eflorescência: o teor de sais solúveis, a presença de água e a pressão hidrostática (BAUER, 2005) e (FIORITO, 2009).

2.6.5 Vesículas

As vesículas são empolamentos ou “estouros” no revestimento e podem ser brancas, devido à presença de óxido de cálcio não hidratado, pretas ou vermelhas, devido à baixa qualidade da areia com contaminantes como pirita, matéria orgânica ou presença ferruginosa (MAIA NETO, SILVA e CARVALHO JUNIOR, 1999).

2.6.6 Descolamento/ Desplacamento

Os descolamentos ou deslocamentos são classificados como o fim da vida útil do revestimento (GASPAR e BRITO, 2010) e podem ser classificados em descolamentos com empolamento, descolamento em placa e descolamento com pulverulência (BAUER, 2005).

Os descolamentos por empolamento ocorrem devido à presença de cal não hidratada no revestimento, que posteriormente à execução do revestimento hidrata-se expandindo (BAUER, 2005).

Os descolamentos em placa geralmente ocorrem entre o emboço e o chapisco. Eles podem ocorrer devido à falta de aderência causada por uma areia muito fina, uma superfície muito lisa, uma espessura de revestimento maior do que o recomendado pela ABNT NBR 7200:1998 (BAUER, 2005), uma argamassa muito rija, ausência de chapisco, uma superfície com desmoldante a base de óleo, que impede a penetração da pasta nos poros do substrato ou mesmo devido a limpeza inadequada do substrato (CARASEK e CASCUDO, 2007).

Os descolamentos com pulverulência caracterizam-se pelo destacamento da camada de tinta e desagregação do reboco. Essa patologia pode ocorrer devido ao tempo insuficiente de carbonatação da cal e o não cumprimento do tempo mínimo de 30 dias para a realização da pintura, à argamassas com pouco aglomerante que não possuem a capacidade de garantir a aderência, à molhagem ineficiente da base, ou quando a argamassa industrializada possui mais água que o recomendado pelo fabricante ou foi utilizada depois do tempo de sua validade (BAUER, 2005).

Os descolamentos podem ser detectados pelo som cavo que o revestimento produz quando percutido por uma ferramenta (CARASEK e CASCUDO, 2007).

2.7 METODOLOGIA DE DOSAGEM DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

Dosagem significa quantificar qual a quantidade de material necessário para atingir determinadas características, com isso diminuindo a variabilidade e alcançando um traço mais adequado. Atualmente, existem diversas metodologias de dosagens: como a de SELMO E HELENE (1991), com foco em revestimento misto de fachada que dosa o teor de água e material plastificante avaliando as fissuras, a aderência, a permeabilidade, dentre outras propriedades; LARA, NASCIMENTO, *et al.* (1995) estabeleceu o método de dosagem de argamassas através de traços preliminares estabelecidos pelos autores, avaliando o consumo máximo de finos e água para atingir a consistência de (260 ± 10) mm; CARNEIRO e CINCOTO (1999) que baseiam-se na curva granulométrica do agregado miúdo para avaliar a substituição do cimento por finos inertes sem alterar a quantidade de água na mistura; e LI e KWAN (2011) estabeleceram um método de dosagem que é capaz de determinar a quantidade de cimento necessária para uma determinada quantidade de Superplastificante com várias combinações da relação água/cimento e cimento/agregado.

Este capítulo terá enfoque nas metodologias de dosagem que serão utilizadas como base para prosseguir os estudos desejados, a metodologia de SANTOS (2014) e a metodologia Simplex.

2.7.1 Dosagem de argamassas mistas de revestimento por SANTOS (2014)

SANTOS (2014) desenvolveu uma metodologia de dosagem com base experimental para argamassas de assentamento e revestimento, a diferenciação dos dois métodos é pelo padrão característico de cada uma, definido por norma. Neste estudo, será focada a dosagem para argamassas de revestimento externo, conforme as etapas a seguir e a Figura 2.7.

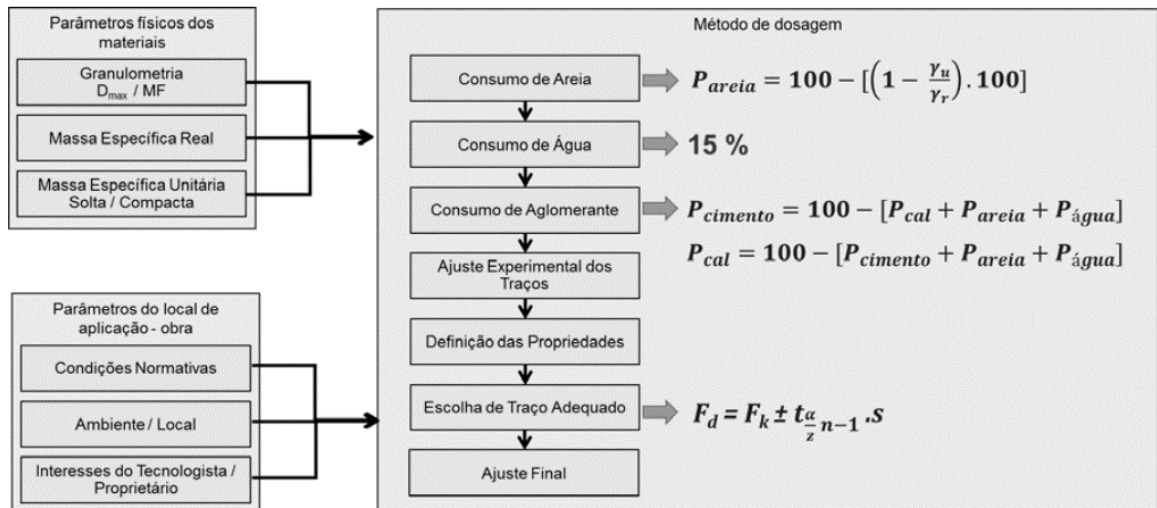


Figura 2.7 - Fluxograma do método de dosagem de SANTOS (2014).
Fonte: SANTOS, ALVARENGA, *et al.* (2018).

❖ Primeira etapa: Cálculo do consumo de areia

O consumo de areia é obtido através do volume de vazios gerado pelo agregado e pode ser calculado pela Equação 2.4. A massa específica compactada da areia é aproximadamente 15% maior que a massa específica unitária solta (SANTOS, 2014).

$$C_{\text{areia}} = 100 - \left[\left(1 - \frac{\gamma_u}{\gamma_r} \right) * 100 \right] \quad (2.4)$$

Sendo: C_{areia} = Consumo de areia em %;

γ_u = massa específica unitária do agregado miúdo compactado em g/cm³;

γ_r = massa específica real do agregado miúdo em g/cm³;

❖ Segunda Etapa: Cálculo do consumo de água

O consumo de água é estabelecido de forma experimental, sendo que os corpos de prova para teste serão moldados com quantidade inicial de 15% de água e será realizado o teste de consistência pela Flow Table conforme a ABNT NBR 13276: 2005. A consistência ideal que deverá ser alcançada, chegando assim na quantidade de água ideal, é de (260± 10) mm. Sendo que, o incremento de água deve ser feito de forma moderada, verificando a exsudação, falta de coesão do material ou coesão excessiva e aspereza elevada.

Ressalta-se que com o ajuste da quantidade de água, todos os outros componentes também devem ser ajustados.

❖ Terceira Etapa: Cálculo do consumo de Aglomerante

O vazio deixado pelo agregado miúdo pode ser associado pelo restante de espaço que o agregado deixa na estrutura ($100 - C_{\text{areia}}$), porém esses vazios podem ser preenchidos por além do aglomerante, pelos aditivos e adições, e pelo ar incorporado. Aconselha-se adotar 0% de ar para início dos cálculos, e a inexistência de adições e aditivos cancelam estes fatores. A Equação 2.5 salienta o cálculo do consumo de aglomerante ($C_{\text{cal}} + C_{\text{cimento}}$).

$$C_{\text{Aglomerante}} = C_{\text{cimento}} + C_{\text{cal}} = 100 - (C_{\text{areia}} + C_{\text{água}}) \quad (2.5)$$

Sendo: $C_{\text{aglomerante}}$ = Consumo do aglomerante em %;

C_{cimento} = Consumo de cimento em %;

C_{cal} = Consumo de cal em %;

C_{areia} = Consumo de areia em %;

$C_{\text{água}}$ = Consumo de água em %;

Quando o único aglomerante da argamassa é o cimento o cálculo é bem intuitivo. Porém, quando existe cimento e cal na argamassa é preciso estabelecer o consumo dos aglomerantes a partir do método dos pontos extremos, estabelecendo o ponto máximo, médio e mínimo. De acordo com a literatura, deve-se ter um teor mínimo de 5% dos aglomerantes para argamassas mistas, conforme a Equação 2.6 é possível extrair a quantidade do outro aglomerante estudado. Sendo assim, é possível extrair o valor mínimo e máximo ($100-Z$) (SANTOS, ALVARENGA, *et al.*, 2018).

$$Z = 100 - C_{\text{areia}} - 5 - 15 \quad (2.6)$$

Os traços iniciais deverão ser moldados e ensaiados, onde o traço ideal deverá ser escolhido através da curva de tendência estabelecida com os pontos extremos e a conformidade com os limites das propriedades estabelecidos pela ABNT NBR 13281: 2005, no caso de argamassas de revestimento, mostrados na Tabela 2.13. O traço deve avaliar pelo menos 3 propriedades, sendo elas as mais importantes para a devida utilização da argamassa. Entre essas propriedades podem ser: consistência, coesão, retenção de água, tração na flexão, aderência à tração, compressão, porosidade e absorção. Indicam-se a resistência à tração na flexão, potencial de aderência à tração, consistência e coesão como

propriedades mínimas para análise, sendo que as duas últimas são avaliadas no consumo de água.

Tabela 2.13 - Limites das propriedades das argamassas para reboco

Propriedades	Limite
Compressão (P4-P5-P6)	$\geq 4,0$ MPa
Tração na flexão (R4-R5-R6)	$\geq 2,0$ MPa
Tração por aderência (A3)	$\geq 0,30$ MPa
Coefficiente de Capilaridade (C4-C3-C2-C1)	$\leq 7,0$ g/dm ² .min ^{1/2}
Consistência - Flow Table	= 260 +- 10 mm
Densidade de massa no estado fresco (D4-D5-D6)	≥ 1600 Kg/m ³
Densidade de massa no estado endurecido (M4-M5-M6)	≥ 1400 Kg/m ³

Fonte: NBR 13281:2005 e SANTOS, (2014).

Ao inserir os limites das propriedades para o traço ideal, é aconselhável adotar um intervalo de confiança de 95% relacionado com o número de corpos de prova utilizado nos experimentos preliminares, buscando um valor mínimo ou máximo de acordo com a Equação 2.7. Assim, encontra-se o traço ideal para a argamassa mista para reboco.

$$F_d = F_k \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} * S \quad (2.7)$$

Sendo: F_d = Limite de dosagem de uma propriedade;

F_k = Limite característico de dosagem de uma propriedade;

$t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$ = Valor tabelado pela distribuição t-student para um nível de confiança de 95%;

n = Número de amostras;

S = Desvio padrão amostral;

2.7.2 Dosagem Simplex

A dosagem via Simplex é um experimento de misturas em que os ingredientes da mistura são os fatores, geralmente são três fatores que inserem-se em um gráfico tridimensional relacionados com a característica inserida. Os vértices correspondem a misturas puras, as bordas a misturas binárias, e o centroide do triângulo corresponde à misturas de igual proporção (MYERS e MONTGOMERY, 1995). A Figura 2.8 demonstra o sistema de coordenadas em rede Simplex. Muitas vezes para estabelecer uma dosagem Simplex é necessário estabelecer limites inferiores e/ou superiores devido a restrições dos componentes.

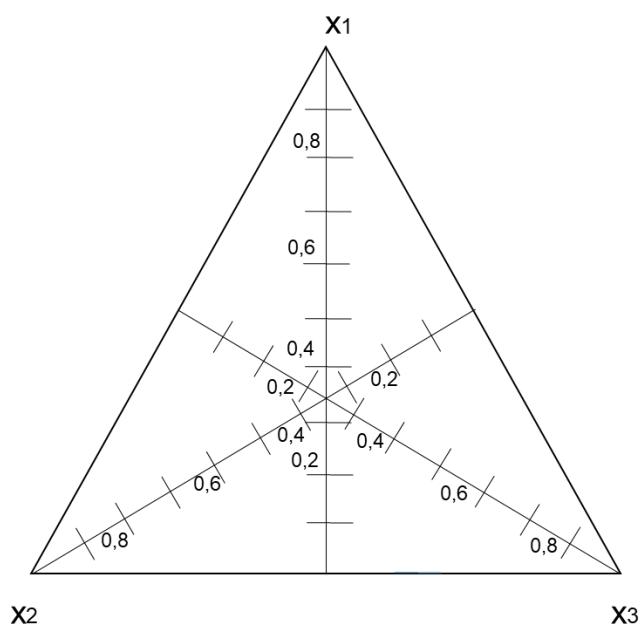


Figura 2.8 - Sistema de coordenadas Simplex de três componentes
Fonte: MYERS e MONTGOMERY, (1995).

Para a modelagem de mistura, pode-se adotar diversas formas de design relacionadas com a quantidade de pontos disponíveis, sendo que a posição dos pontos pode variar de acordo com o modelo estabelecido de acordo com MINITAB (2018).

- Simplex- centroid: 7 pontos, aceita o ajuste de até uma equação quadrática;
- Simplex-lattice 1: 3 pontos, aceita o ajuste de uma equação linear;
- Simplex-lattice 2: 6 pontos, aceita o ajuste de até uma equação quadrática;
- Simplex-lattice 3: 10 pontos, aceita o ajuste de até uma equação cúbica completa;
- Simplex-lattice aumentado 1: 7 pontos, aceita ajuste de até um modelo quadrático;
- Simplex-lattice aumentado 2: 10 pontos, aceita ajuste de até um modelo cúbico especial;
- Simplex-lattice aumentado 3: 13 pontos, aceita ajuste de até um modelo cúbico completo;

Vale ressaltar, que quanto mais pontos, principalmente combinações entre os três componentes, mais precisa será a aproximação. Através do gráfico traçado com o auxílio de um software ou manualmente é possível extrair o traço dentro do limite desejado, ou seja o traço ideal. Lembrando que para traçar o gráfico é

necessário estabelecer quais são os pontos da mistura e realizar os ensaios das propriedades limitadoras. A Figura 2.9 ilustra a resposta de uma experimentação pelo método Simplex.

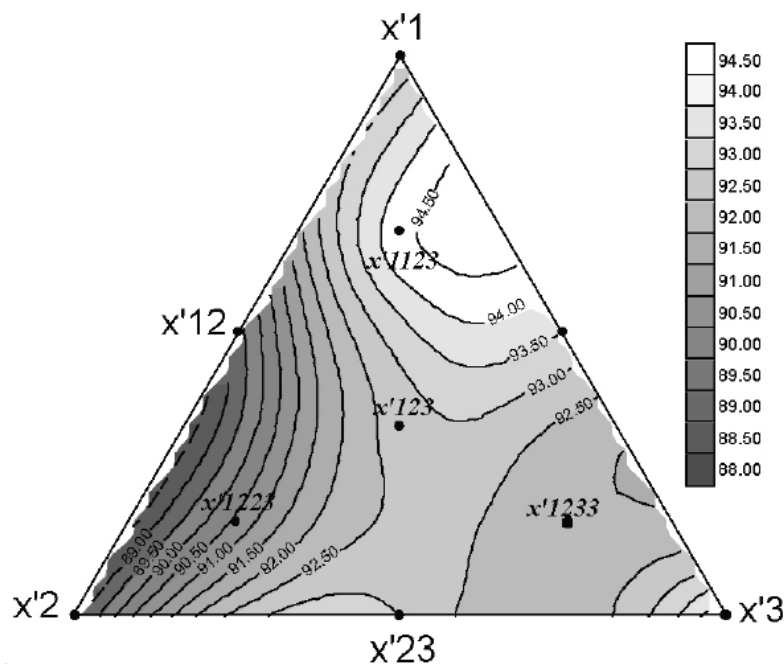


Figura 2.9 - Isorespostas de experimento realizado em modelo cúbico especial.
Fonte: BAHIANSE, MANHÃES, *et al.*, 2008.

Estudos como o de BAHIANSE, MANHÃES, *et al.* (2008) e DESTEFANI e HOLANDA (2011) apresentaram a utilização da rede simplex para dosar os seus experimentos, obtendo resultados satisfatórios que possibilitam analisar várias proporções dos componentes e como eles influenciam nas propriedades. Através dessas pesquisas percebe-se que o método é conveniente para analisar proporcionamento de materiais com uma boa acurácia.

3. MATERIAIS E PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo apresenta os materiais e ensaios realizados para encontrar um traço de argamassa de revestimento externo aditivada que seja igualmente satisfatório a um traço ideal encontrado para a argamassa de revestimento externo mista. Sendo assim, também apresenta uma metodologia para dosar aditivos (incorporador de ar, retentor de água e plastificante) em argamassas relacionando com as características desejadas.

3.2 MATERIAIS

Nesta pesquisa utilizou-se: Cimento Portland CP II F-32 por ser um cimento recomendado para revestimento e não possuir adições reagentes; Cal Aditivada CH I por ser amplamente comercializada e possuir garantia do fabricante de possuir 0% de óxidos não hidratados; Aditivo incorporador de ar capaz de estabilizar o ar incorporado na mistura; Aditivo retentor de água para reter água necessária para a hidratação dos compostos cimentícios frente a sucção do substrato e evaporação para o meio ambiente; Aditivo Plastificante para deixar a mistura mais flúida sem utilizar grande quantidade de água, lembrando que serão avaliadas as combinações de proporções dos aditivos estudados; e Areia natural lavada proveniente de leito de rio passante na peneira 2,4 mm. A água utilizada foi proveniente da rede de abastecimento público de Belo Horizonte-Minas Gerais, conforme adequação a norma ABNT NBR 15900-1:2009.

3.3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O trabalho foi dividido em três etapas, sendo que inicialmente encontrou-se um traço ideal de argamassa mista através do método de dosagem estabelecido por SANTOS (2014) para ser um traço satisfatório com o intuito de estabelecer o comparativo com o traço aditivado. Na segunda etapa, foi realizada a dosagem da argamassa de cimento aditivada pelo método SIMPLEX e foram realizados os ensaios, relacionados na Tabela 3.1, para caracterizar os traços escolhidos. Na

etapa final foram feitas correlações, pela metodologia Simplex, para caracterizar os traços através das propriedades limitantes e encontrar um traço ideal. Além da comparação das características das argamassas mistas e aditivadas, foi feito um estudo para verificar a viabilidade econômica do emprego dessa metodologia.

A dosagem foi realizada em ambiente de laboratório, na betoneira, que foi previamente limpa antes da mistura de cada traço. Misturou-se, primeiro, os materiais secos (aglomerante e agregado) por 30 segundos, a seguir inseriu-se a água e depois cada aditivo determinado pela composição, individualmente e previamente diluído em água, estabelecendo a ordem determinada (retentor de água, plastificante e incorporador de ar). A mistura procedeu até completar o tempo total de 3 minutos e 30 segundos. O material foi utilizado logo após o fim da mistura para os ensaios no estado fresco, aplicação da argamassa no chapisco, previamente realizado nos prismas, e moldagem dos corpos de prova que ficaram em cura por 28 dias em ambiente de laboratório para realização dos testes de índices físicos e propriedades mecânicas.

Tabela 3.1 - Ensaio realizados no programa experimental

Ensaio	Idade (dias)	Nº CPs	Referência
Consistência	0	3	ABNT NBR 13276:2005
Densidade de massa no estado fresco	0	3	ABNT NBR 13278:2005
Teor de ar Incorporado	0	3	ABNT NBR 13278:2005
Retenção de água	0	2	ABNT NBR 13277:1995
Massa específica no estado endurecido	28	6	ABNT NBR 13280:2005
Absorção de água por imersão	28	6	ABNT NBR 9778:2005
Porosidade	28	6	ABNT NBR 9778:2005
Absorção de água por capilaridade	28	6	ABNT NBR 9779:2012
Módulo de elasticidade dinâmico por ressonância forçada	28	1	ASTM C215:2008
Resistência de Aderência à Tração	28	3	ABNT NBR 13528:2010
Resistência à Compressão	28	6	ABNT NBR 13279:2005
Resistência à Tração na flexão	28	3	ABNT NBR 13279:2005
Envelhecimento Acelerado	28	3	ABNT NBR 15575-4:2013 adaptado
Imagens de Microscópio digital – 1000X	28	3	-

3.4 ENSAIOS

3.4.1 Consistência

O ensaio de consistência foi realizado conforme a ABNT NBR 13276:2005. A norma estabelece que a superfície, flow table, deve ser previamente limpa e

secada, o molde de tronco deverá ser posicionado em cima da mesa de forma centralizada.

A argamassa deverá ser colocada em três etapas no molde e cada camada sofrerá um adensamento de 15, 10, e 5 golpes respectivamente. O topo deve ser rasado e logo depois remove-se o molde. Deverão ser realizadas 30 quedas com o auxílio da manivela, sendo uma por segundo. Deverão ser feitas três medidas, com paquímetro, do espalhamento da mistura, o índice de consistência será obtido pela média das três medidas. Para argamassas de revestimento a consistência indicada é de (260 ± 10) mm (SANTOS, 2014).

A norma Europeia EN1015-3:1999 apresenta metodologia semelhante, sendo que a argamassa deve ser dividida em duas camadas, compactadas 10 vezes cada uma. Após rasada a argamassa, é permitido um período de 15 segundos para a argamassa se acomodar, só então o molde é retirado e são realizados 15 golpes, sendo um golpe por segundo. O diâmetro do espalhamento é obtido através da média de dois diâmetros medidos perpendicularmente.

3.4.2 Densidade de massa no estado fresco

A densidade da argamassa no estado fresco é medida conforme a ABNT NBR 13278:2005, semelhante a norma europeia EN 1015-6:1998. Nesse ensaio, para argamassas ditas fluídas, a densidade é medida através do preenchimento completo do molde do corpo de prova e calculado conforme a Equação 3.1. A precisão da balança utilizada deve ser de no mínimo 0,1 g.

$$df = \left(\frac{M_c - M_v}{V_r} \right) \quad (3.1)$$

Sendo: df = Densidade de massa no estado fresco (g/cm^3);
 M_c = Massa do recipiente preenchido com argamassa (g);
 M_v = Massa do recipiente vazio (g);
 V_r = Volume do recipiente (cm^3);

3.4.3 Teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado é calculado através da mesma norma para o cálculo da densidade de massa no estado fresco, a ABNT NBR 13278:2005. Após, o cálculo da densidade no estado fresco é possível realizar o cálculo do teor de ar

incorporado através da Equação 3.2 e Equação 3.3. O valor do teor de ar incorporado deve ser arredondado para um número inteiro

$$A_i = 100 * \left(1 - \frac{df}{dt}\right) \quad (3.2)$$

$$dt = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\gamma_i}} \quad (3.3)$$

Sendo: A_i = Teor de ar incorporado (%);
 df = Densidade de massa no estado fresco (g/cm^3);
 dt = Valor da densidade teórica (g/cm^3);
 m_i = Massa seca de cada componente mais a massa da água (g);
 γ_i = Massa específica de cada componente da argamassa (g/cm^3);

A norma europeia EN 1015-7:1998, estabelece uma outra maneira para medir o teor de ar incorporado, sendo aplicado para argamassas com teores acima de 20%. O método consiste em preencher um béquer graduado de 500 ml com aproximadamente 200 ml de argamassa fresca, o béquer deve ser agitado para nivelar a argamassa, o volume inicial (V_1) deve ser anotado. Uma mistura de 60% de álcool etílico e 40% de água deve ser adicionada no béquer até a marca de 500 ml. Uma borracha é inserida na boca do béquer de forma a tampá-lo e deve-se invertê-lo 20 vezes. A mistura deve descansar por 5 minutos e segue-se com a medida do nível final (V_{mf}). O cálculo é realizado conforme a Equação 3.4 e devem ser realizadas duas medidas, onde o resultado será a média e deverá ser expresso com uma casa decimal.

$$A_i = \frac{(500 - V_{mf})}{V_{m1}} \quad (3.4)$$

Neste estudo, foi adotada a norma Brasileira para a medição do teor de ar incorporado.

3.4.4 Retenção de água

A retenção de água foi calculada conforme a norma brasileira ABNT NBR 13277:1995, que quantifica a água retida na argamassa após a sucção por discos de filtro de papel posicionados na argamassa fresca sob um peso padronizado por 2 minutos, as massas foram medidas com uma balança de precisão de 0,01g.

O ensaio de retenção de água possui, ainda, duas formas normalizadas internacionais, a ASTM C1506:2016 e a DIN 18555-7:1987. De acordo com estudos

de PATURAL, MARCHAL, *et al.* (2011) e POURCHEZ, RUOT, *et al.* (2010), os dois métodos levam a resultados bastante semelhantes, chegando a uma curva de aproximação dos dois métodos com r^2 de 0,97. O método estabelecido pela ASTM C1506: é realizado através de equipamento pressurizado e o método de DIN 18555 é realizado através da inserção de argamassa em um molde com filtros, porém sem a inserção de peso, semelhante a ABNT NBR 13277:2005.

No caso de utilização do método da ASMT C1506, a argamassa pode ser classificada pela sua retenção de água (WR) em (NF DTU 26.1:2008.):

- WR (%) < 86% Baixa retenção de água;
- 86% < WR (%) < 94% Retenção de água intermediária;
- WR (%) > 94% Forte retenção de água;

3.4.5 Densidade de massa no estado endurecido

A densidade de massa no estado endurecido (γ) é calculada conforme a ABNT NBR 13280:2005, através da Equação 3.5 onde o volume é especificado pelo volume do corpo de prova (m^3) e a massa medida em uma balança (Kg) com precisão de 0,1g. A BS EN 1015-10:1999 estabelece método semelhante, contudo o volume é calculado através da massa saturada menos a massa imersa, através de uma balança hidrostática, e a relação é entre a massa seca e o volume.

$$\gamma = \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}} \quad (3.5)$$

3.4.6 Módulo de elasticidade dinâmico

O módulo de elasticidade foi determinado através do método de ressonância forçada, conforme a norma ASTM C215:2008, com o equipamento de Frequência ressonante MKII Erudita do laboratório de Caracterização de materiais de Construção civil e Mecânica da UFMG, em corpos de prova de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. O resultado do módulo pode ser calculado pela Equação 3.6.

$$E_d = \left(4 * L^2 * F^2 * \frac{P}{g} \right) * 10^{-6} \quad (3.6)$$

Sendo: E_d = Módulo de elasticidade dinâmico (GPa);

L = Comprimento do corpo de prova (m);

F = Frequência de ressonância longitudinal (Hertz);

P = Peso volumétrico (N/m^3);

g = Aceleração da gravidade (m/s^2);

3.4.7 Resistência à tração na flexão

O ensaio foi realizado conforme a ABNT NBR 13279:2005. Foram moldados 3 corpos de prova prismáticos de 4cm x 4 cm x 16 cm que foram rompidos aos 28 dias por uma prensa EMIC DL 30.000 N do Laboratório de Materiais do CEFET-MG. Os corpos de prova foram posicionados em dispositivo semelhante a uma viga bi apoiada com carga pontual, sendo que a superfície rasada não deve estar em contato com a superfície de aplicação de carga e nem a de apoio. Aplicou-se a carga de (50 ± 10) N/s até a ruptura do corpo de prova. Sendo possível calcular a resistência à tração na flexão conforme a Equação 3.7.

$$R_t = \left(\frac{1,5 * F_t * l}{40^3} \right) \quad (3.7)$$

Sendo: R_t = Resistência à tração na flexão (MPa);
 F_t = Carga aplicada no centro do prisma (N);
 l = Distância entre os suportes (mm);

O procedimento adotado pela norma Brasileira ABNT NBR 13279:2005 é semelhante a norma britânica BS EN 1015-11:1999, porém a diferença está na moldagem dos corpos de prova. A norma britânica estabelece que, quando a cal for menos de 50% do aglomerante na argamassa, a moldagem deve ser feita em duas camadas com adensamento através de 25 quedas em cada camada, e a norma brasileira estabelece o adensamento com 30 quedas.

3.4.8 Resistência à compressão axial

Para o ensaio de resistência à compressão axial utiliza-se a ABNT NBR 13279:2005, que estabelece que para o ensaio serão utilizadas as metades rompidas no ensaio de tração na flexão, mencionados no item 3.4.7, posicionadas no equipamento de ensaio de compressão de argamassas. Da mesma forma, a superfície rasada não deve estar em contato com o apoio e nem com a carga. Foi aplicada uma carga de (500 ± 50) N/s até o rompimento do corpo de prova pela mesma prensa EMIC DL 30.000N utilizada na tração na flexão, do Laboratório de

Materiais do CEFET-MG, aos 28 dias, após o rompimento na flexão. A resistência à compressão pode ser calculada através da Equação 3.8.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (3.8)$$

Sendo: R_c = Resistência à compressão axial (MPa);
 F_c = Carga máxima aplicada (N);
1600 = Área da seção quadrada do corpo de prova de 40mm x 40mm (mm²);

Novamente, a norma ABNT NBR 13279:2005 é semelhante a norma britânica BS EN 1015-11:1999 na forma de realização do ensaio, diferindo apenas na moldagem do corpo de prova.

3.4.9 Resistência de aderência à tração

A ABNT NBR 13528:2010 determina que para começar o ensaio de aderência à tração o revestimento deve ter idade mínima de 28 dias para argamassas mistas e de cimento, e 56 dias para argamassas de cal. O ensaio deve conter corpos de prova realizados de forma aleatória, de forma a conter juntas e blocos. Após a cura da superfície é realizado o corte para aplicação das pastilhas. O corte deve ser realizado de 1mm a 5 mm do substrato com ferramenta copo, de forma ortogonal a superfície. Os raios de corte devem ser medido.

Antes de realizar a colagem das pastilhas com cola epóxi, a superfície deve ser limpa. A cola não pode ultrapassar 5 mm de espessura e é permitido utilizar apoios, para garantir que as pastilhas permaneçam no lugar, durante o tempo de secagem. Após a secagem da cola, estabelecido pelo fornecedor do produto, prossegue-se para o arrancamento com o auxílio do dinamômetro de tração aferido. Nesta pesquisa, utilizou-se o Pull-off tester Z16 - DYNA Proceq.

As formas de ruptura são apresentadas na Figura 3.1 e devem ser registradas. As rupturas do tipo "A", "E" e "C" são do tipo coesiva e os valores não são muito preocupantes, ao menos que sejam muito inferiores. A ruptura do tipo E demonstra que a camada de argamassa é a mais frágil e, caso sejam valores baixos, pode ser indício de pulverulência. Caso ocorra ruptura do Tipo G, o resultado deve ser ignorado pois foi problema de colagem da pastilha (CARASEK, 2007).

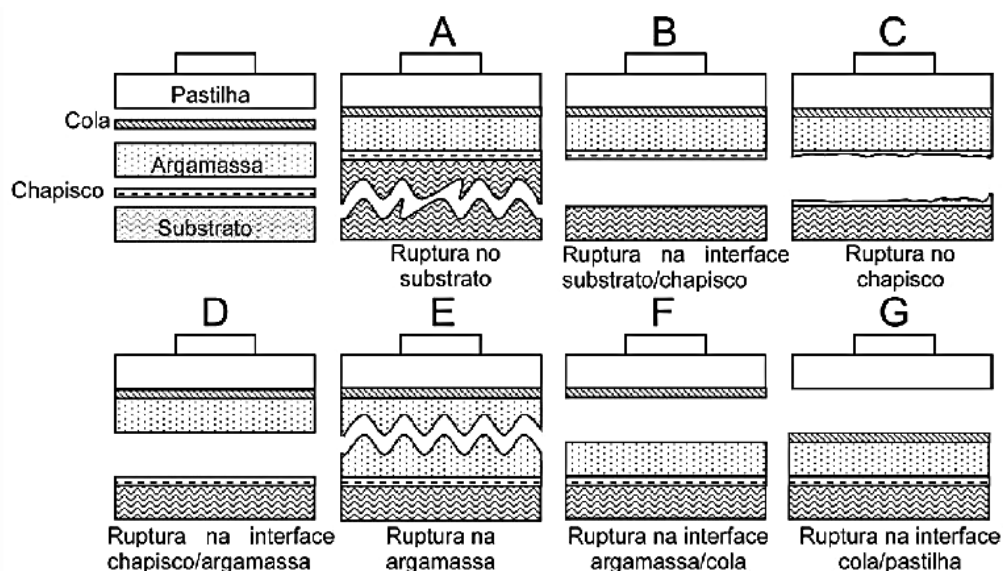


Figura 3.1 - Formas de ruptura em um sistema de revestimento com chapisco
Fonte: ABNT NBR 13528, (2010).

A resistência de aderência à tração pode ser calculada conforme a Equação 3.9, onde a área é a área do corte e é calculada através das médias dos raios medidos.

$$Ra = \frac{P}{a} \quad (3.9)$$

Sendo: Ra = Resistência de aderência à tração (MPa);
P = Carga de ruptura (N);
a = Área do corpo de prova (mm²);

Para aprovação do revestimento, no caso de revestimento externo, pelo menos oito de cada doze corpos de prova devem apresentar valores de aderência superiores a 0,30 MPa e para revestimentos internos, somente aqueles que sejam base para pintura, valores acima de 0,20 MPa (CEOTTO, BANDUK e NAKAKURA, 2005).

A norma europeia EN 1015-12:2016 é realizada de forma similar a norma brasileira, porém preconiza o ensaio de 5 corpos de prova por amostra.

3.4.10 Ensaio de absorção por capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade foi realizado conforme a ABNT NBR 9779:2012. Foram feitos 6 corpos de prova, de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Sendo que os corpos de prova, após secagem em estufa a $(100 \pm 5) ^\circ\text{C}$, foram

colocados em um recipiente, sobre suportes, com 5 mm de água da face inferior. A massa do corpo de prova, enxugada com pano úmido, foi medida com 10 min., 90 min., 3h, 6h, 12h, 24h e 72h do início do ensaio, utilizando uma balança com 0,01g de precisão. O cálculo da absorção pode ser realizado pela Equação 3.10 e do coeficiente de capilaridade pela Equação 3.11.

$$C = \frac{(A-B)}{S} \quad (3.10)$$

Sendo: C = Absorção de água por capilaridade (g/cm³);

A = Massa do corpo de prova em contato com uma das faces na água, em determinado tempo (g);

S = Área da seção transversal (cm²);

$$C_c = M_{90} - M_{10} \quad (3.11)$$

Sendo: C_c = Coeficiente de capilaridade (g/dm².min^{1/2});

M₉₀ = Massa do corpo de prova a 90 minutos do início do ensaio;

M₁₀ = Massa do corpo de prova a 10 minutos do início do ensaio;

A norma EN 1015-18:2002 calcula a absorção por capilaridade de forma semelhante, contudo o corpo de prova utilizado é prismático e ao fim do período de cura ele é selado e partido ao meio, sendo que a superfície de ruptura deve ser mergulhada na água de altura de 5 a 10 mm de sua face inferior. Os períodos de medida também diferem, sendo 10 minutos e 90 minutos somente.

3.4.11 Ensaio de absorção por imersão e porosidade

O ensaio deve ser realizado conforme a ABNT NBR 9778:2005. Os seis corpos de prova, 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, após submetidos ao período de cura foram secos em estufa à temperatura de (105 ± 5) °C e resfriados à temperatura ambiente, a massa seca foi medida em balança com precisão de 0,01 g. A amostra foi imersa em água gradualmente, nas primeiras 4h submerge 1/3 do volume, 8h submerge 2/3 do volume e com 12h completa a submersão. A massa do corpo de prova com superfície seca e a massa submersa foram medidas, com balança de precisão de 0,01 g, com 24h, 48h e 72h. A absorção por imersão em temperatura ambiente foi calculada através da Equação 3.12 e o índice de vazios com a Equação 3.13.

$$A_{im} = \left(\frac{M_{sat} - M_{seca}}{M_{seca}} \right) * 100 \quad (3.12)$$

Sendo: A_{im} = Absorção de água por imersão (%);
 M_{sat} = Massa corpo de prova saturado superfície seca (g);
 M_{seca} = Massa do corpo de prova seco (g);

$$P = \left(\frac{M_{sat} - M_{seco}}{M_{seco} - M_{sub}} \right) \quad (3.13)$$

Sendo: P = Porosidade (%);
 M_{sat} = Massa corpo de prova saturado superfície seca (g);
 M_{sub} = Massa do corpo de prova submerso (g);

A absorção por imersão e a porosidade também podem ser medidas pela ASTM C642-13:2013, de forma semelhante a ABNT NBR 9778:2005, contudo a norma internacional não estabelece a submersão gradual do corpo de prova.

3.4.12 Ensaio de envelhecimento acelerado

O Ensaio de envelhecimento acelerado será realizado conforme a norma ABNT NBR 15575-4:2013. O corpo de prova deve ser submetido a 10 ciclos de choque térmico: mantê-lo por 1h a $(80 \pm 3) ^\circ\text{C}$ e imediatamente após esse período resfriar a face exterior através de aspersão de água até atingir a temperatura de $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$, quando o corpo de prova retornará a aquecer e será iniciado um novo ciclo.

Durante a realização dos ciclos deve-se observar o surgimento de qualquer patologia, como fissuras ou descolamentos. Além de ser registrado o deslocamento horizontal após 45 min. de estabilização da temperatura em 80°C e após o resfriamento.

Artigos internacionais, (IZAGUIRRE, LANAS e ÁLVAREZ, 2011), (CAO e CHUNG, 2002) e (FU, CAI e WU, 2011), avaliam a durabilidade da argamassa através de ensaios de ciclo gelo e degelo. Contudo, em países como o Brasil, o gelo e degelo não tem impacto tão significativo como altas temperaturas, umidade, agentes biológicos e radiação ultravioleta (OLIVEIRA, FONTENELLE e MITIDIARI FILHO, 2014) e (SENTENA, KAZMIERCZAK e KREIN, 2018). As fachadas são constantemente aquecidas por altas temperaturas e resfriadas pelas chuvas, com isso o método mais pertinente para avaliação do envelhecimento acelerado é através do choque térmico, proposto pela ABNT NBR 15575-4:2013.

Devido a logística dos ensaios e a grande quantidade de traços analisados, foi feito um ensaio preliminar adaptado, onde foram submetidos os corpos de prova prismáticos ao ciclo térmico através do aquecimento por estufa a $(80 \pm 5) ^\circ\text{C}$, e resfriamento pela aspersão de água até o equilíbrio com o meio ambiente através do controle tátil. Nesta primeira etapa, foram analisadas todas as anomalias que surgiram a cada ciclo e ao fim dos 10 ciclos foram avaliadas a tração e a compressão.

Ao fim da primeira etapa de análise de resultados de todos os ensaios, foi feita uma parede com os revestimento referências (com cal), revestimento com a dosagem apenas de plastificante e o revestimento com a dosagem dos três aditivos com o comportamento mais satisfatório comparado com o revestimento com a cal e com os parâmetros da ABNT NBR 13281:2005, onde foi avaliado através da ABNT NBR 15574-4:2013.

3.4.13 Análise de microestrutura por microscópio digital

A análise visual através de lupa ou microscópio digital, com aproximação de até 1000 vezes, permite avaliar melhor a estrutura do revestimento, salientando a quantidade, dispersão e tamanho de poros, dentre outras características. Com isso, avaliou-se sobre a qualidade da argamassa estudada.

4. RESULTADOS

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS E AJUSTES DAS ARGAMASSAS

Primeiramente, foi feita uma análise do agregado utilizado para a posterior realização dos métodos. O agregado utilizado para argamassa foi uma areia natural fina, lavada e ensacada comercializada no mercado. Como sua granulometria encontrava-se mais elevada do que a desejada, procedeu-se para o peneiramento e a seguir caracterizou-se o material.

O agregado pode ser classificado como areia fina com diâmetro máximo de 2,4 mm com boa graduação, de acordo com o Gráfico 4.1, situado no limiar da zona utilizável inferior. Possui massa unitária solta e massa específica respectivamente de 1,282 g/cm³ e 2,584 g/cm³, e módulo de finura de 1.99, módulo este que estaria de acordo para a utilização em revestimento interno e externo (LARA, NASCIMENTO, *et al.*, 1995). O agregado utilizado é natural proveniente de rio e possui origem quartzosa, adequado para a utilização no emboço (BAUER e SOUSA, 2005).

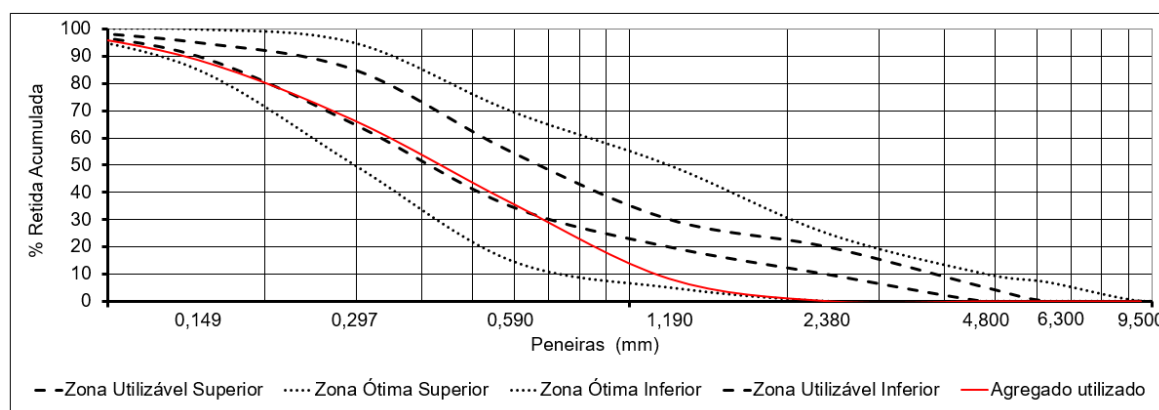


Gráfico 4.1 - Curva granulométrica do agregado miúdo utilizado.

A densidade da cal e a densidade do cimento utilizadas foram respectivamente 2,8 g/cm³ e 3,1 g/cm³ e as massas unitárias foram 0,8 g/cm³ e 1,7 g/cm³ respectivamente, conforme dados dos fornecedores.

4.1.1 Ajustes da argamassa mista

A seguir à caracterização dos materiais foi realizada a dosagem da argamassa mista. Através da metodologia de SANTOS (2014), calculou-se o traço

base da argamassa de revestimento mista. Onde seguiu-se as etapas determinadas abaixo:

- Primeira etapa:

Quantificou-se o agregado utilizado através da relação expressa na Equação 2.4 do item 2.7.1 entre a massa unitária e a massa específica do agregado utilizado (respectivamente $1,282 \text{ g/cm}^3$ e $2,584 \text{ g/cm}^3$). Contudo, como mencionado obteve-se a massa unitária solta, então este valor foi majorado em 15% para os cálculos, como o método sugere. Com isso, obteve-se que seria necessário 56% de agregado na constituição da argamassa.

- Segunda etapa:

De acordo com o método, é razoável estabelecer um valor inicial da água em 15% para proceder os ajustes pela consistência. Contudo, como trabalhamos com aditivos e estamos estudando a sua influência, prezou-se por iniciar em uma proporção menor, 13%, para garantir que todos valores ficariam dentro do limite estabelecido para a consistência pelo método Flow-Table de $260 \pm 10 \text{ mm}$. A água deve ser adicionada aos poucos para alcançar a consistência desejada, sendo que após os ajustes encontrou-se o valor de 18% como a quantidade de água adequada para a argamassa mista em estudo. Este valor é coerente por se ter um areia mais fina, com maior área de molhagem, logo demandando mais água.

- Terceira etapa:

A seguir, procedeu-se para o cálculo do aglomerante, conforme a Equação 2.5, como seria utilizada uma argamassa mista, o cimento e a cal são incógnitas da equação. Variou-se a proporção de cimento e cal buscando alcançar um traço adequado definido previamente pela metodologia de SANTOS (2014) que também fosse semelhante aos traços comumente utilizados em campo. Com isso, obteve-se o resultado presente na Tabela 4.1. Devido as características do agregado e a metodologia a proporção de 1:1:4,5 foi a mais próxima encontrada. O resultado apresentado ficou semelhante ao Traço 3 proposto por SANTOS (2014) (17,05% de cimento, 7,50% de cal, 61,45% de areia e 14% de água), Traço 5 SANTOS (2011) e ASTM C 270:2003, em volume de 1:1:4,5 (cimento:cal:areia). Com isso obteve-se o primeiro traço estudado, o traço referência de argamassa mista (T0).

Tabela 4.1 - Traço estabelecido para a argamassa mista.

Cimento	Cal	Areia	Água
Porcentagem de materiais			
16,94%	8,62%	56,33%	18,10%
Massa			
1,00	0,51	3,33	1,07
Volume			
1,00	1,08	4,41	1,82

Ressalta-se que, de acordo com estudo de SANTOS (2014), a relação aglomerante/agregado dos traços utilizados de argamassa são de geralmente 1/3, e o encontrado neste estudo foi de 2/4,5, maior do que o valor usual. Sendo assim, o maior teor de aglomerante pode vir a influenciar no ganho de resistência mecânica, o que aproximará mais dos valores das propriedades mecânicas das argamassas sem cal. Deve-se, contudo observar também o aumento da retração destas argamassas mistas devido ao maior teor de finos, sobretudo por serem finos aglomerantes.

4.1.2 Ajuste das argamassas aditivadas

Com a argamassa mista dosada, buscou-se estabelecer um traço aditivado em que a quantidade de cimento mantivesse a mesma e pudéssemos avaliar a influência da cal em comparação a uma argamassa aditivada, como observado no

Gráfico 4.2. Os demais traços (T1-T10) foram estabelecidos através da combinação de aditivos estabelecida pela metodologia Simplex, sendo 10 pontos escolhidos para serem ajustados até com o modelo cúbico especial. Onde, procurou-se manter uma proporção similar dos constituintes do traço referência (T0 - com cal). As proporções são estabelecidas pelo Simplex, somando um total de 100%. Os pontos adotados estão expressos na Figura 4.1 e as proporções no Gráfico 4.3.

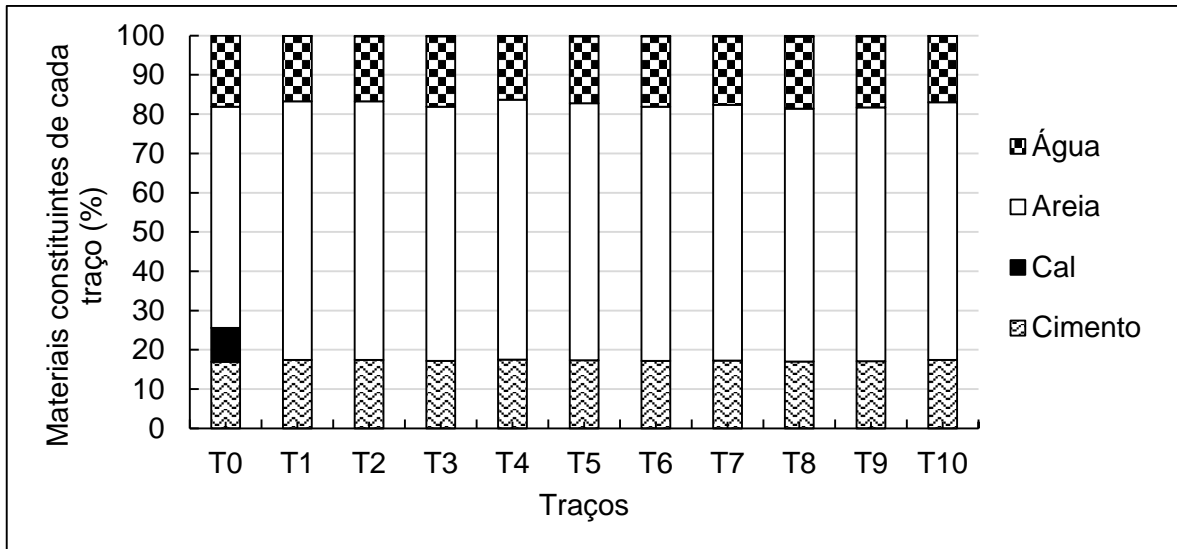


Gráfico 4.2 - Composição dos constituintes de cada traço em porcentagem.

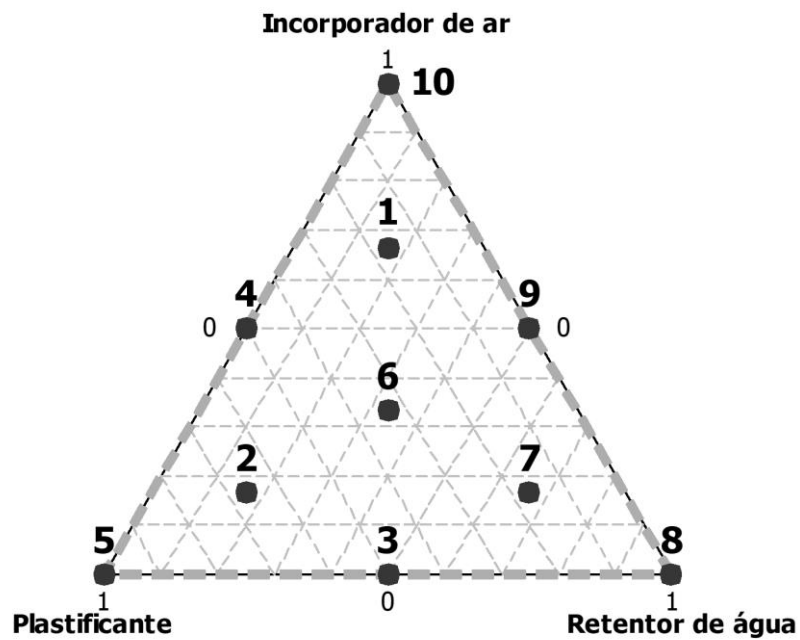


Figura 4.1 - Pontos na dosagem SIMPLEX.

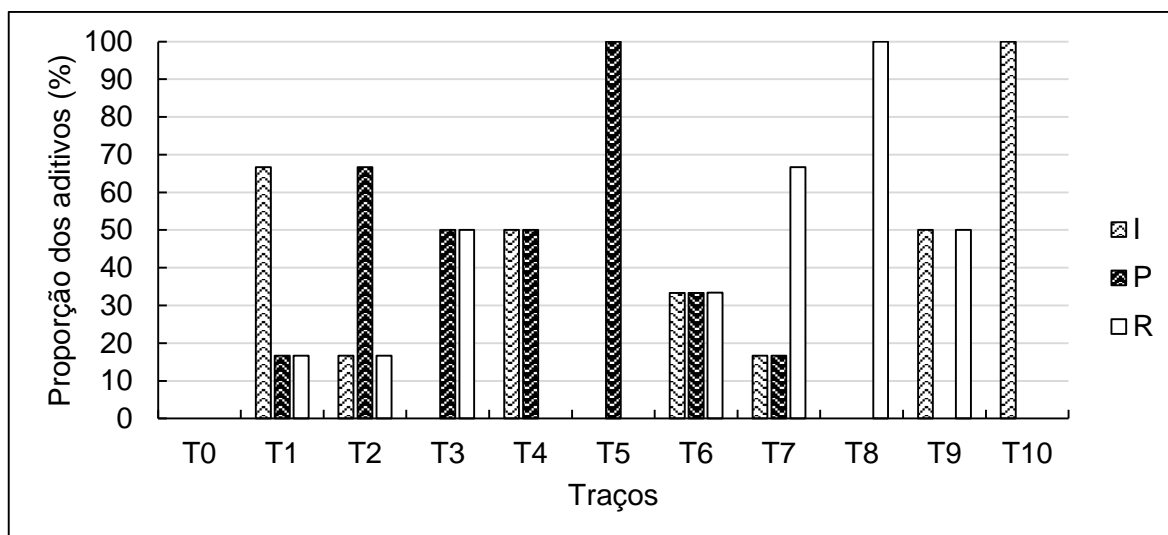


Gráfico 4.3 - Proporções de aditivos utilizadas conforme estabelecido pelo SIMPLEX.

Para saber a quantidade de aditivo utilizado no traço, utilizou-se a proporção dos aditivos encontradas no simplex e multiplicou-se pela porcentagem máxima de aditivo em relação a massa de cimento recomendada pelo fabricante para o incorporador de ar (I), plastificante (P) e o retentor de água (R). Os dados referentes aos aditivos utilizados encontram-se na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Características dos aditivos utilizados.

Aditivos	Densidade (Kg/l)	Máxima (%)*	Base química
I	1,00	0,5%	Resinas naturais
P	1,18	1,0%	Lignosulfonato
R	1,00	1,5%	Polímero acrílico

* Utilização em relação a massa do cimento

Através da relação estabelecida e as proporções dos aditivos foi possível chegar nos 10 traços utilizados para analisar a influência da combinação de aditivos na argamassa, conforme a Tabela 4.3. Ressalta-se que as argamassas aditivadas também passaram pelo mesmo processo de ajuste de água que a argamassa mista, partindo de um princípio de 13% e aumentando até alcançar a consistência desejada de 260 ± 10 m, obtendo a relação de água apresentada na Tabela 4.3.

Com a adoção deste traço observou-se que a relação comumente adotada de aglomerante/agregado de 1/3 (SANTOS, 2014) diminui para 1/5, ou seja, os traços aditivados possuem menos aglomerante do que a argamassa mista e tenderiam a ter uma resistência menor, contudo é sabido (CARASEK, 2010) que a presença de cal reduz a resistência mecânica.

Tabela 4.3 – Traços das argamassas aditivadas.

Nomenclatura		Traços	Cimento	Areia	I	P	R	Água
T1	67I17P17R	Massa	1,000	3,771	0,004	0,002	0,003	0,949
		Volume		5,000	0,006	0,003	0,005	1,614
T2	17I67P17R	Massa		3,771	0,001	0,007	0,003	0,947
		Volume		5,000	0,002	0,010	0,005	1,610
T3	50P50R	Massa		3,771	0,000	0,005	0,008	1,041
		Volume		5,000	0,000	0,008	0,014	1,769
T4	50I50P	Massa		3,771	0,003	0,005	0,000	0,921
		Volume		5,000	0,005	0,008	0,000	1,566
T5	100P	Massa		3,771	0,000	0,011	0,000	0,981
		Volume		5,000	0,000	0,015	0,000	1,668
T6	33I33P33R	Massa		3,771	0,002	0,004	0,005	1,048
		Volume		5,000	0,003	0,005	0,009	1,781
T7	17I17P67R	Massa		3,771	0,001	0,002	0,011	1,008
		Volume		5,000	0,002	0,003	0,018	1,714
T8	100R	Massa		3,771	0,000	0,000	0,016	1,076
		Volume		5,000	0,000	0,000	0,027	1,830
T9	50I50R	Massa		3,771	0,003	0,000	0,008	1,057
		Volume		5,000	0,005	0,000	0,014	1,796
T10	100I	Massa		3,771	0,005	0,000	0,000	0,970
		Volume		5,000	0,009	0,000	0,000	1,648

OBS: I – Incorporador de ar.
P – Plastificante
R – Retentor de água.

4.2 ANÁLISE DOS EFEITOS NAS PROPRIEDADES E NO CUSTO DOS MATERIAIS

Os resultados dos ensaios estão apresentados na Tabela 4.4, Tabela 4.5 e

Tabela 4.6. Com isso, foram montados os diagramas de fase (SIMPLEX) para facilitar a análise dos resultados, verificando a influência dos aditivos, quando combinados ou não, nas propriedades. Cada propriedade será analisada individualmente no próximo tópico.

Tabela 4.4 - Resultados das propriedades no estado fresco.

Traços*	Água/ Cimento	Consistência no ajuste (mm)	Consistência na moldagem (mm)	Densidade fresco (g/cm ³)	Retenção de água (%)	Ar incorporado teórico (%)
T0	1,07	241	212	2,01	93,31	2,64
T1	0,95	249	231	1,71	88,05	18,30
T2	0,95	256	212	1,94	88,21	7,45
T3	1,04	271	283	1,92	88,51	9,50
T4	0,92	248	210	1,71	91,19	17,77
T5	0,98	255	213	1,93	91,81	8,39
T6	1,05	261	265	1,80	86,81	15,63
T7	1,01	265	240	1,86	90,29	12,18
T8	1,08	255	285	1,84	85,07	14,11
T9	1,06	258	233	1,77	96,35	17,08
T10	0,97	253	228	1,62	90,02	22,55

* I – Incorporador de ar; P – Plastificante; R – Retentor de água.

T0- REF (Cal); T1 – 67I17P17R; T2 – 17I67P17R; T3 – 50P50R; T4 – 50I50R; T5 – 100P;
T6 – 33I33P33R; T7 – 17I17P67R; T8 – 100R; T9 – 50I50R; T10 – 100I.

Tabela 4.5 - Resultados dos índices físicos.

Traços*	Densidade endurecido (g/cm ³)	Absorção por imersão (%)	Porosidade aberta (%)	Porosidade teórica (%)	Coefficiente de Capilaridade (g)
T0	1,75	16,70	29,06	15,19	6,50
T1	1,56	15,70	23,77	25,60	4,24
T2	1,79	15,07	26,06	14,20	6,32
T3	1,79	15,81	27,12	15,89	5,78
T4	1,59	15,26	23,70	23,56	3,00
T5	1,74	15,24	26,24	17,10	3,92
T6	1,66	16,88	26,87	22,14	8,61
T7	1,64	16,16	26,14	22,33	4,34
T8	1,67	16,85	27,40	21,83	3,51
T9	1,61	16,88	26,47	24,40	4,02
T10	1,51	16,12	23,32	27,80	1,33

* I – Incorporador de ar; P – Plastificante; R – Retentor de água.

T0- REF (Cal); T1 – 67I17P17R; T2 – 17I67P17R; T3 – 50P50R; T4 – 50I50R; T5 – 100P;
T6 – 33I33P33R; T7 – 17I17P67R; T8 – 100R; T9 – 50I50R; T10 – 100I.

Tabela 4.6 - Resultados das propriedades mecânicas e do custo dos materiais.

Traços *	Módulo de Elasticidade (GPa)	Aderência (MPa)	Tração na flexão (MPa)	Tração na flexão ** (MPa)	Compressão (MPa)	Compressão ** (MPa)	Custo (R\$/m ³)
T0	24,33	0,57	3,57	3,85	16,85	16,55	480,68
T1	18,32	0,28	2,73	2,69	8,87	8,56	432,80
T2	19,96	0,32	3,68	3,51	15,37	15,06	434,65
T3	21,11	0,59	3,52	3,31	13,45	12,32	437,16
T4	20,75	0,35	2,83	3,10	11,68	10,24	429,21
T5	28,09	0,25	2,71	3,28	12,29	13,11	421,34
T6	20,78	0,40	2,75	2,51	10,61	8,96	426,91
T7	18,47	0,40	2,53	2,37	10,48	9,25	450,06
T8	20,53	0,35	2,01	1,87	8,04	6,44	45607
T9	20,10	0,24	2,09	2,52	9,01	8,54	433,31
T10	19,54	0,16	1,98	2,07	7,15	6,55	420,16

* I – Incorporador de ar; P – Plastificante; R – Retentor de água.

T0- REF (Cal); T1 – 67I17P17R; T2 – 17I67P17R; T3 – 50P50R; T4 – 50I50R; T5 – 100P;

T6 – 33I33P33R; T7 – 17I17P67R; T8 – 100R; T9 – 50I50R; T10 – 100I.

** Referente ao ensaio nos corpos de prova envelhecidos.

4.2.1 Relação água/cimento

Após os ajustes realizados através das consistências, em que todos os traços partiram de uma proporção inicial de 13%, chegou-se no resultados de proporção água/cimento apresentados na Figura 4.2 (b). Partindo do pressuposto que todas as argamassas possuem a mesma consistência, observa-se uma maior necessidade de água quanto maior a proporção de retentor de água, conforme a Figura 4.2 (a), e uma menor quantidade de água se faz necessária para atingir a consistência desejada em uma proporção relativamente igual de incorporador de ar e plastificante. Observa-se, também, que os aditivos plastificante e incorporador de ar possuem efeitos semelhantes em relação a água necessária para uma determinada consistência. No mercado, alguns plastificantes comercializados possuem base química estabelecidas de incorporadores de ar, corroborando que a atuação de ambos é semelhante na plasticidade (QUARTZOLIT, 2018).

Ou seja, os resultados apresentados na Figura 4.2 são esperados, visto que o retentor de água aprisiona parte da água para liberá-la posteriormente e o incorporador de ar e o plastificante favorecem a trabalhabilidade (ROMANO,

TORRES e PILEGGI, 2015), (SEABRA, LABRINCHA e FERREIRA, 2007) e (PUERTAS, SANTOS, *et al.*, 2005).

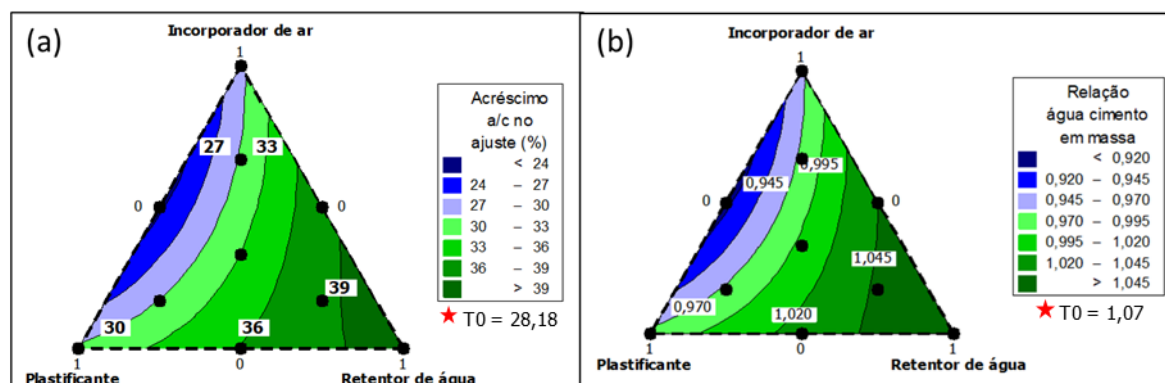


Figura 4.2 - (a) Acréscimo do consumo de água após o ajuste (b) Resultados relação água/cimento em massa das argamassas aditivadas.

Os resultados apresentados foram relativamente próximos, e quando comparados com o traço utilizado com cal ($a/c=1,07$) apenas o traço com 100% de retentor de água apresentou relação maior do que o traço referência (maior em 0,74%). Tanto o retentor de água como a cal necessitam de uma maior quantidade de água de amassamento para alcançar uma mesma trabalhabilidade. Para a cal, o aumento de água está associado à maior área específica, aparecendo tensões superficiais que tendem a manter a água adsorvida na partícula (HAACH, VASCONCELOS e LOURENÇO, 2011). De acordo com PAIVA, SILVA, *et al.* (2006), o retentor de água atua aprisionando parte da água livre e diminuindo a sua consistência, com isso a quantidade de água necessária para a mesma consistência deve ser maior, conforme o apresentado.

4.2.2 Consistência

A Figura 4.3 apresenta os resultados obtidos para a consistência das argamassas, sendo que a primeira imagem refere-se a consistência alcançada no ajuste da quantidade de água necessária para cada traço conforme a metodologia de SANTOS (2014), previamente realizado à moldagem, em argamassadeira de eixo vertical.

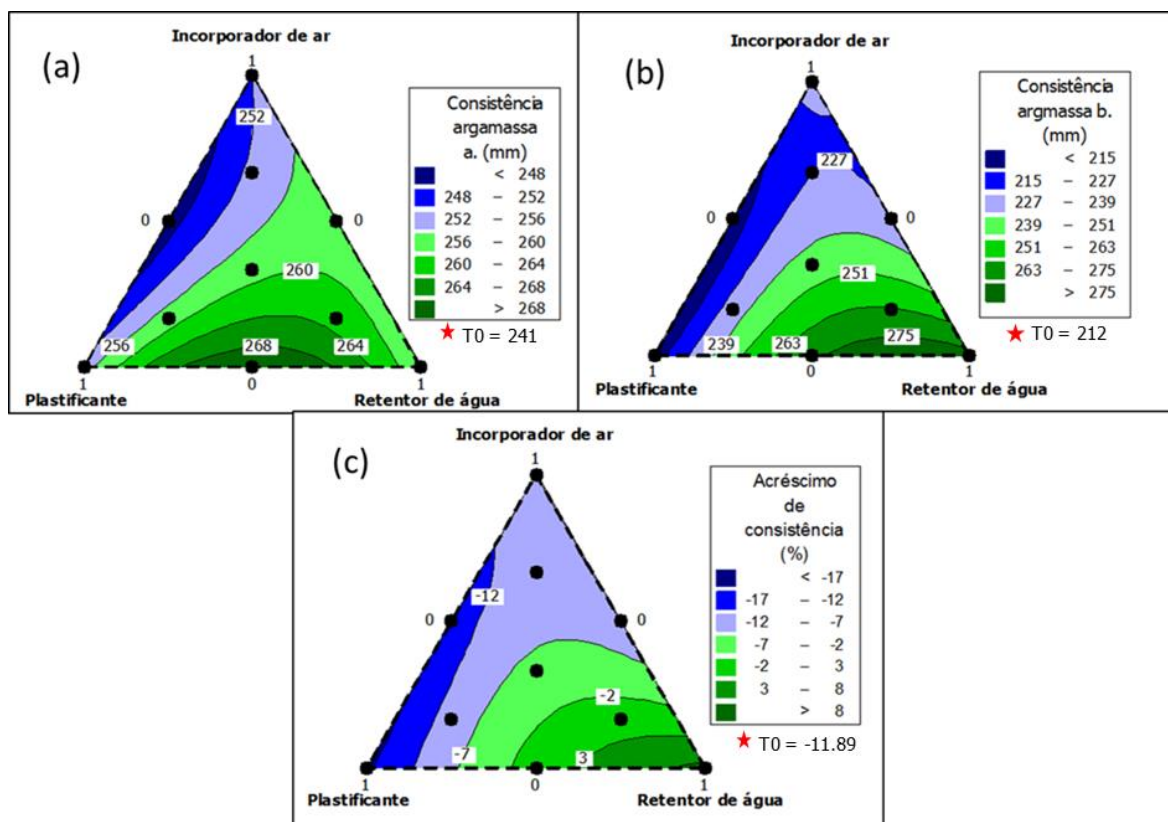


Figura 4.3 - Resultados consistência das argamassas aditivadas no (a) ajuste, (b) na moldagem e (c) porcentagem de acréscimo de consistência entre o ajuste e a moldagem.

É possível observar na Figura 4.3 (a) que todos os traços estudados ficaram dentro do limite estabelecido como ideal para uma argamassa de revestimento, sendo que a composição que apresentou maior espalhamento foi a de 50% de plastificante e de 50% de retentor de água, resultado este que pode ter sido devido a maior necessidade de água para alcançar a trabalhabilidade, visualmente, do que os outros traços o que resultou em um maior espalhamento. Contudo, as argamassas com plastificante, e principalmente com incorporador de ar, visualmente apresentavam-se mais trabalháveis com as quantidade iniciais de água estabelecidas, contudo apresentaram menores consistências.

De acordo com BAUER, SOUSA e GUIMARÃES (2005), o ar incorporado na mistura é capaz de absorver os impactos gerados na mesa de consistência apresentando menores consistência para uma mesma trabalhabilidade. O que para o autor configura uma falha no método da mesa de consistência, apesar de amplamente utilizado. O autor ressalta que o maior problema é a não correspondências de resultados entre valores que caracterizam a mesma trabalhabilidade.

Ao moldar os corpos de prova para a realização dos ensaios subsequentes optou-se por utilizar a betoneira para produzir as argamassas, similar ao comumente realizado em obra. Nos ajustes, foi utilizada uma argamassadeira de mesa de eixo vertical para a confecção das argamassas. Os tempos e sequências de incorporação dos materiais permaneceram os mesmos, alterando somente o método de mistura.

A consistência apresentada pelas argamassas ao serem produzidas na betoneira, Figura 4.3 (b), aumentaram sua variabilidade, não estando mais dentro do intervalo pré-estabelecido de 260 ± 10 mm. A composição com mais retentor de água e um pouco de plastificante apresentou o maior espalhamento. Contudo, de acordo com estudo de BAUER, SOUSA e GUIMARÃES (2005), as argamassas com consistências entre 190 mm e 290 mm de espalhamento pelo método *Flow-Table* ainda estariam em um intervalo adequado para a utilização como revestimento, intervalo este dentro do apresentado na moldagem. Ressalta-se que para a mão de obra especializada que utilizou a argamassa para aplicação, a consistência apesar da variação no *Flow-table* ainda estava boa para aplicação (“chapar”).

É possível observar que os gráficos de consistência, Figura 4.3 (a) e Figura 4.3 (b), continuaram com padrão semelhante, com um pequeno deslocamento dos valores de maior espalhamento para o lado com menor quantidade de plastificante e maior de retentor de água. Os traços T4 e T5, traços com maior proporção de plastificante, juntamente com o traço referência de cal, apresentaram menor consistência, reduzindo em média 12% do valor apresentado nos ajustes. Os traços T3, T7 e T8, com maior teor de retentor de água, foram os únicos que apresentaram maior espalhamento quando comparado com a consistência no ajuste, aumentando em até 8%, conforme Figura 4.3 (c).

O estudo de SILVA, BARROS e JOHN (2015) apresenta que o método de mistura tem forte influência na consistência da argamassa. Sendo que o misturador mecânico de eixo vertical apresenta maior consistência que um misturador de eixo horizontal, como por exemplo a betoneira utilizada. Este resultado está associado com o maior teor de ar incorporado pelo misturador de eixo vertical, que contribui para o maior afastamento e lubrificação das partículas. Outro fator abordado, que também pode ser associado a diferença de consistência dos dois misturadores

utilizados, é que a energia de mistura do misturador de eixo vertical é maior e consegue romper melhor os aglomerados do material. Além de o volume do misturador de eixo vertical ser menor e poder misturar todo o material como um todo pelo seu misturador planetário, o que não acontece na betoneira. Na Figura 4.3, pode-se observar que, de forma geral, todas as consistências caíram, concluindo, através do exposto, que para obter consistências maiores com menos água o misturador de eixo vertical é mais adequado que a betoneira.

Vale ressaltar que a quantidade de água não foi a mesma utilizada para todos os traços, que pretendia-se alcançar uma consistência similar para todas as argamassas alterando a quantidade de água, e isto pode ter afetado a consistência dos compostos que apresentaram maiores espalhamentos.

4.2.3 Retenção de água

A Figura 4.4 representa os resultados obtidos para o ensaio de retenção de água medidos através da absorção dos discos de papel conforme a ABNT 13277:1995. Observa-se que, maior a retenção de água, quanto menor a concentração de plastificante, excluindo os teores elevados de plastificante de aproximadamente mais de 80% em combinação com os outros aditivos. As combinações de retentor de água com plastificante e com incorporador de ar também não apresentaram resultados elevados. A combinação com a maior retenção de água apresentada não foi a da utilização individual do retentor de água, mas sim sua combinação com o incorporador de ar, sendo que o resultado mais elevado foi aproximadamente 50% de cada aditivo. Isto é explicado pois o incorporador de ar possui efeito secundário favorável à retenção de água devido as bolhas de ar de maior diâmetro que cortam a ascensão capilar, retendo a água.

Os traços com retenção de água abaixo de 86% são classificados como baixa retenção de água, caso estabelecido para o composto T8, com 100% de retentor de água (85,1%), os traços com retenção entre 86% e 94% são classificados como retenção intermediária, e os traços com mais de 94% são classificados como retenção forte, T9 (50I50R). Os demais traços, não citados, são caracterizados como retenção intermediária (NF DTU 26.1:2008). De acordo com a norma ABNT NBR 13281:2005 a retenção de água dos traços estudados estão

classificadas entre U4 e U5, ou seja, de média a alta retenção. Ressalta-se que valores de retenção superiores a 96% podem ser desfavoráveis à argamassa, visto que o substrato será incapaz de absorver a água necessária para a aderência mecânica (JANTSCH, 2015).

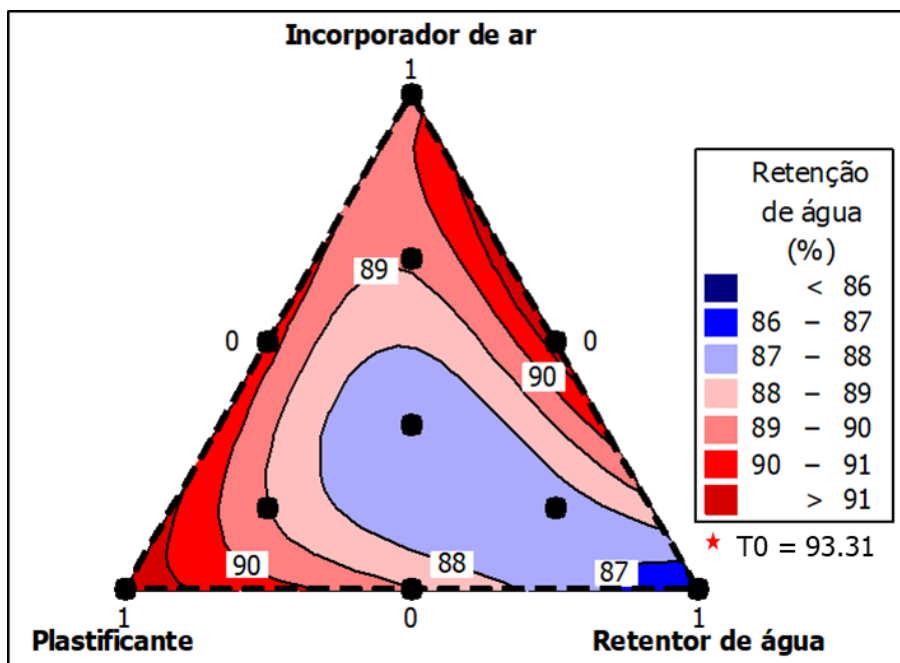


Figura 4.4 - Resultados retenção de água das argamassas aditivadas.

Quando comparados com o traço referência, com cal, o resultado de retenção (93,3%), classificado como retenção intermediária, foi apenas inferior ao resultado apresentado pelo T9, em cerca de 3,2%, e o traço referência obteve uma maior retenção que o traço T8, em aproximadamente 9,7%. Com isso vê-se que a retenção de água de uma argamassa com cal é realmente elevada (SIMINA, MOLNAR, *et al.*, 2012), mas não tão elevada quanto a combinação de incorporador e retentor de água.

Contudo, observou-se que o retentor de água, que esperava-se obter a maior retenção de água devido a suas propriedades (PAIVA, SILVA, *et al.*, 2006), não apresentou esta característica, sendo o seu resultado o menor dos apresentados. DO Ó e BAUER (2004) apresentaram que a metodologia estabelecida pela ABNT NBR 13277:1995 não é sensível para avaliar a propriedade de retenção de água, pois o confinamento e o peso gravitacional da amostra impedem a mesma de perder água, e que o método de sucção deveria ser empregado. O autor ainda estabelece que a análise da retenção não deve ser feita de uma forma pontual mas

relacionada com o tempo, de forma a ver o comportamento desta propriedade até sua estabilização.

A propriedade de retenção de água nas argamassas de revestimento é importante devido a sucção de água pelo substrato, sendo que a argamassa que perde muita água para o substrato, ou para o meio ambiente, não terá água suficiente para reagir com os compostos de hidratação, comprometendo a aderência (PAES, BAUER, *et al.*, 2014).

Contudo, apesar do questionamento por DO Ó e BAUER (2004) de que o método da ABNT NBR 13277:1995 não é adequado, observou-se que NASCIMENTO (2005) e MULLER (1999), ao utilizarem a mesma norma, obtiveram resultado similar a esta pesquisa (86% de retenção de água) com a utilização de 3% de polímero acrílico e 2,5% de polímero látex, respectivamente. FORTI (2017) e HERMANN e ROCHA (2013) realizaram seus estudos utilizando a ABNT NBR 13277:2005 analisando argamassas mistas e aditivadas, respectivamente, e obtiveram resultados inferiores para a argamassa mista (78,05%) e para a argamassa aditivada (52,5%), que os obtidos pela antiga norma neste estudo. É possível observar que até mesmo os éteres de celulose conhecidos por apresentarem elevada retenção de água em alguns estudos (CAPPELLARI, DAUBRESSE e CHAOUICHE, 2013) e (IZAGUIRRE, LANAS e ÁLVAREZ, 2011), podem apresentar baixa retenção quando varia-se o tipo de éter de celulose e o método de avaliação (POURCHEZ, RUOT, *et al.*, 2010).

Com isso, observou-se que os retentores utilizados podem apresentar diversos resultados de retenção, dependendo da norma utilizada e do tipo de retentor empregado. Além de, o resultado obtido para o traço somente com retentor de água (T8), menor resultado de retenção, não ter sido fora da realidade ou ruim, conforme previamente exposto, visto que utilizando a ABNT NBR 13277:2005 argamassas apresentaram resultados inferiores e utilizando a ABNT NBR 13277:1995, apresentaram resultados semelhantes.

4.2.3.1 Análise da retenção de água ao longo do tempo

Como o resultado de retenção de água não deu dentro do esperado, e DO Ó e BAUER (2004) mencionam que o ideal para avaliar a retenção de água seria medi-la ao longo do tempo, realizou-se a medição da retenção pelo método da

ABNT NBR 13277:1995 em diferentes tempos: logo após a mistura, 15 minutos, 30 minutos e 1 hora, os resultados são apresentados na Figura 4.5.

Observa-se que apesar dos pontos terem sido aproximados por uma equação quadrática, seria totalmente viável a aproximação por uma reta caso a medição de 1h fosse excluída. Essa medição obteve um ligeiro aumento em ambos traços, tanto no traço referência com cal quanto no traço com somente retentor (T8), explicado pelo início do enrijecimento da argamassa, visto que com 1h ela já perdeu água para o meio ambiente e encontrava-se consideravelmente seca para a avaliação, e com isso o resultado obteve ligeiro aumento.

Assim sendo, comprovou-se que a medição sem tempo de espera e com tempo de espera não variam o resultado, sendo que a argamassa com cal apresentou retenção de aproximadamente 88% e o T8 (com aditivo retentor de água) de 86%.

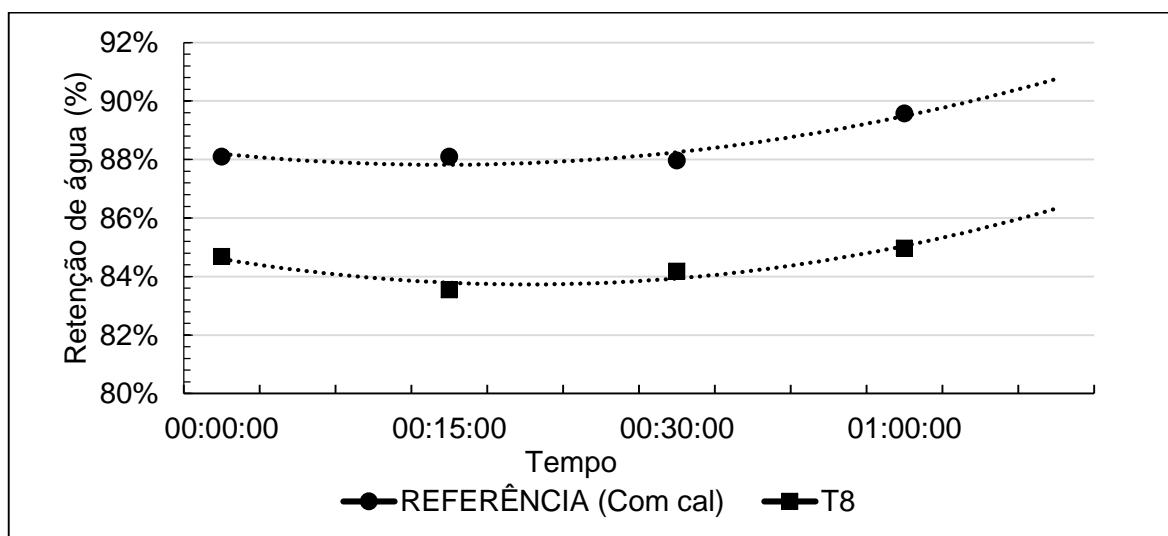


Figura 4.5 – Análise da retenção ao longo do tempo.

4.2.3.2 Análise da retenção de água com diferentes aditivos retentores

Com o intuito de avaliar a eficiência do aditivo utilizado para funcionar como retentor de água, realizou-se uma comparação entre a retenção do retentor utilizado, polímero acrílico (pA), um celulósico (HEMC) e um polímero de acetato de vinila e etileno (pAVE), sendo que também variou-se a concentração dos aditivos estudados buscando estabelecer uma consistência de 260 ± 10 mm com o mesmo traço e quantidade de água utilizada por T8 para que as variáveis fossem minimizadas. Realizou-se, também um traço cimento:areia para servir como

referência. Os resultados apresentados para a consistência dos polímeros encontram-se na Figura 4.6 e a retenção de água encontrada na Figura 4.7.

Observou-se que os aditivos utilizados como retentor tendem a diminuir a consistência da argamassa, apenas o pAVE obteve comportamento contrário, sendo que com o aumento da sua concentração a sua consistência também aumentou. O celulósico é o aditivo mais sensível, sendo que o aumento de sua concentração corrobora com uma argamassa extremamente seca, sendo por isso inviável realizar os testes com 10% e 15% de sua concentração. Para o aditivo celulósico (HEMC) obter uma consistência semelhante aos outros polímeros, com 1,5% de adição, foi necessária reduzir sua concentração para 0,25%, visto que ficou comprovada que sua utilização em concentrações elevadas não é viável. Analisando todas as concentrações com a argamassa referência, ficou visível que o retentor também contribui para uma argamassa mais fluida, exceto o celulósico em concentrações acima de 0,5%.

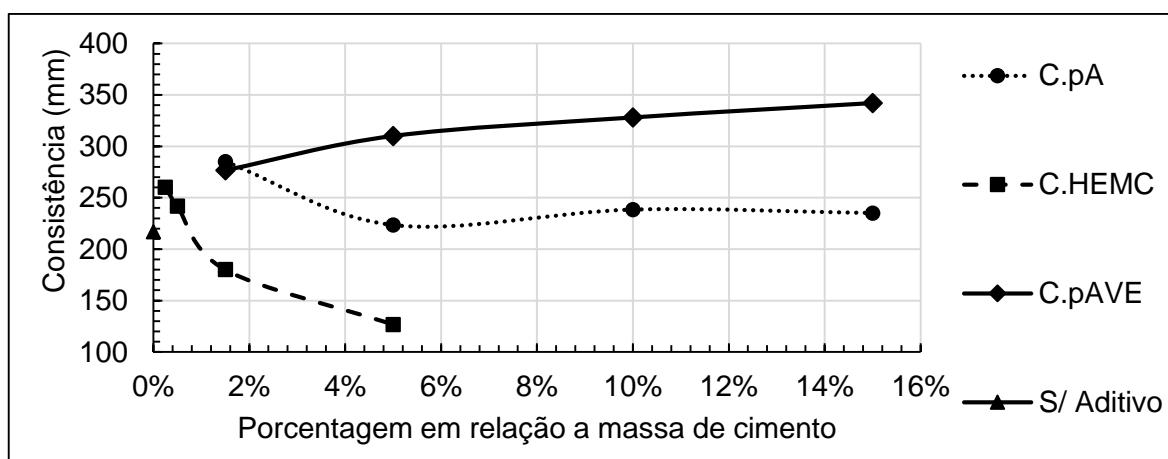


Figura 4.6 - Consistência referente a variação da concentração dos polímeros utilizados para avaliar a retenção.

Com isso, através da Figura 4.7 vê-se que, em consistências semelhantes, apenas o celulósico obteve elevada retenção (98%), sendo que para o ganho de consistência perdeu-se em retenção. Os demais polímeros analisados, pA e pAVE obtiveram retenção semelhante (86%), contudo mais elevada que o traço referência (80%), demonstrando que o polímero utilizado nessa pesquisa possui comportamento similar a outros aditivos poliméricos no mercado, e apenas o pAVE apresenta retenção elevada (95%), mas com elevadas concentrações (15%).

O Celulósico é o único aditivo que possui elevada retenção em distintas concentrações, mesmo quando possui consistência similar as demais misturas, como na concentração de 0,25%, sua retenção decai mas continua elevada. Contudo, de acordo com JANTSCH, (2015) retenções acima de 96% podem ser danosas ao mecanismo de ancoragem mecânica, pois o substrato não será capaz de sugar água necessária para a hidratação. Com isso, apesar de apresentar retenção elevada deve-se avaliar a aderência para devida validação.

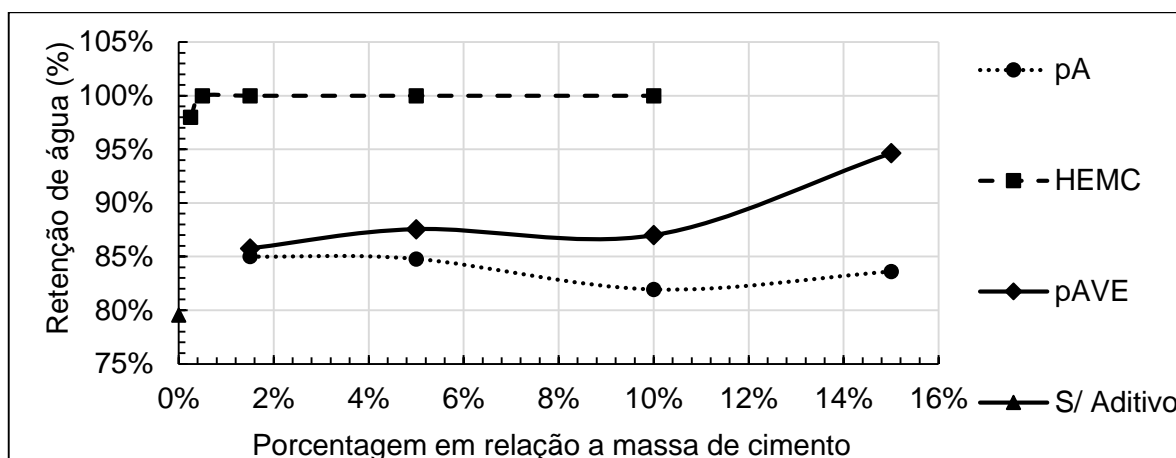


Figura 4.7 - Avaliação da retenção de água com a variação da concentração dos polímeros.

Como observou-se que os traços com retentor apresentaram retenção intermediária em concentrações utilizáveis, exceto o celulósico, e objetiva-se neste estudo uma melhora de retenção para favorecer a aderência da argamassa, prosseguiu-se com a avaliação do retentor previamente proposto no estudo, o polímero acrílico.

4.2.4 Densidade no estado fresco

A densidade das argamassas foi medida no estado fresco e os resultados apresentados estão na Figura 4.8. É possível verificar que quanto maior a proporção de aditivo incorporador de ar e menor a proporção de retentor de água e plastificante, menor a densidade no estado fresco, sendo a menor densidade alcançada no traço T10 e as maiores, T2, T3 e T5, com resultados bem próximos. Ou seja, pode-se relacionar o aumento da densidade com o aumento dos teores de plastificante, em concordância com estudos apresentados por KHUDHAIR, YOUNI e ELHARRFI (2018).

Quando os resultados das argamassas aditivadas são comparados com os resultados da argamassa mista, a argamassa mista apresenta a maior densidade no estado fresco ($2,01 \text{ g/cm}^3$), cerca de 23% maior do que T10 e cerca de 3% maior que a maior densidade apresentada pelas argamassas aditivadas.

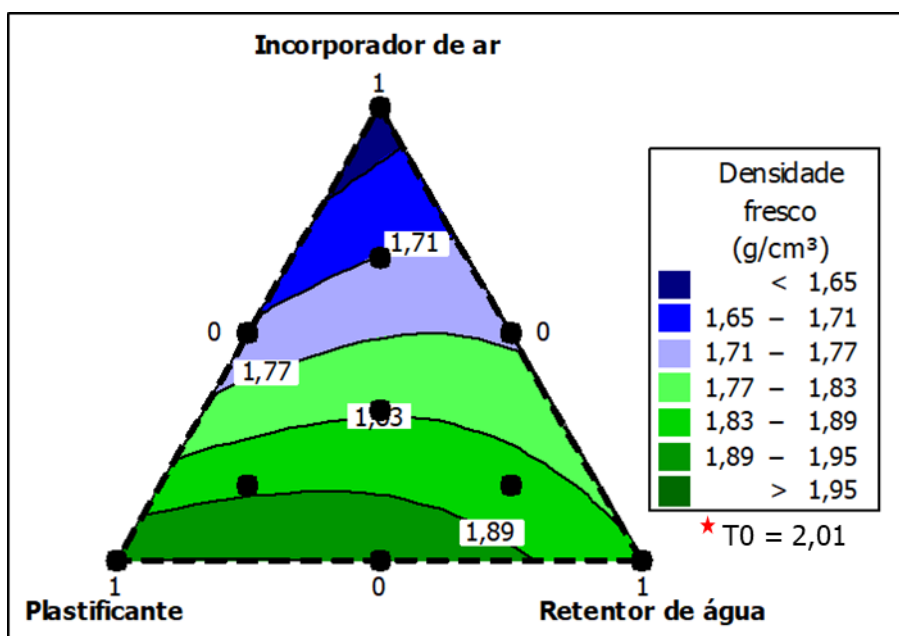


Figura 4.8 - Resultados densidade no estado fresco das argamassas aditivadas.

De acordo com SANTOS (2014), uma argamassa de revestimento, adequada para aplicação externa, deve ter densidade no estado fresco maior que $1,6 \text{ g/cm}^3$, todos os compostos estudados estão adequados neste quesito. Pode-se classificar as argamassas quanto a densidade no estado fresco conforme a ABNT NBR 13281:2005, sendo que as argamassas aditivadas teriam média densidade no estado fresco (D2-D4) e a argamassa mista teria alta densidade no estado fresco D6.

A densidade baixa no estado fresco pode ser fator importante na hora da aplicação, devido ao menor esforço para aplicação pela mão de obra, que gera uma maior produtividade no fim do dia, e a menor probabilidade de escorrimento do revestimento devido ao peso da argamassa (COSTA e PEREIRA, 2016), lembrando que a argamassa mista foi a que apresentou maior densidade.

4.2.1 Ar incorporado teórico

Devido à logística dos experimentos calculou-se o ar incorporado teórico, que estabelece a relação entre a densidade no estado fresco e a massa específica dos materiais utilizados (cimento, areia, aditivos e água), com isso obteve-se os resultados apresentados na Figura 4.9.

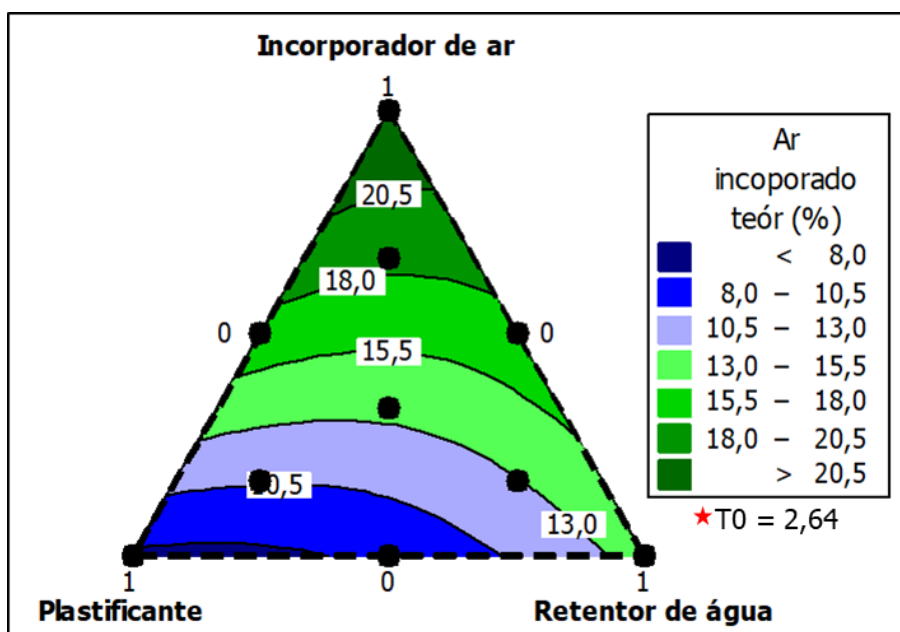


Figura 4.9 - Resultados ar incorporado teórico das argamassas aditivadas.

É possível observar que a incorporação de ar é mais elevada quanto maior for o teor de incorporador de ar presente na mistura. Lembrando, que as bolhas de ar são geradas no processo de mistura e que o aditivo age de forma a estabilizá-las (RATH, OUCHI, *et al.*, 2017). Observa-se uma incorporação de ar intermediária do retentor de água, podendo ser um efeito colateral do polímero utilizado igualmente o que acontece com os éteres de celulose (PAIVA, SILVA, *et al.*, 2006). O aditivo plastificante em maior concentração, mais uma pequena dosagem do retentor de água, foi o que incorporou menos ar. Analisando o efeito separado do plastificante é possível observar que o seu efeito colateral de incorporação de ar é o menor dos três aditivos. Estudos apresentam que a incorporação de ar pelo plastificante pode chegar a mais de 13% (ŁAŻNIEWSKA-PIEKARCZYK, MIERA e SZWABOWSKI, 2017), contudo neste estudo a incorporação de ar foi de apenas 8%.

Ao relacionar a Figura 4.9 com a Figura 4.8, percebe-se que ambas tem comportamento semelhante, pois o ar incorporado está associado a densidade no estado fresco.

Quando os resultados dos aditivos são comparados com os resultados apresentados pelo traço referência, cal, o resultado de incorporação de ar teórica pela argamassa mista (3%) foi o menor de todos apresentados, sendo que a menor incorporação apresentada pelos aditivos foi do traço T2, que foi cerca de 2,3 vezes maior que o resultado da argamassa mista. A maior incorporação de ar foi a do uso individual do incorporador de ar (23%), aproximadamente 7,6 vezes maior que o resultado da argamassa mista.

4.2.2 Densidade no estado endurecido

Os resultados da densidade no estado endurecido estão apresentados na Figura 4.10. Nesta imagem, pode-se observar que quanto maior o teor de incorporador de ar, menor a densidade, e quanto maior o teor de plastificante combinado com o retentor de água, maior a densidade.

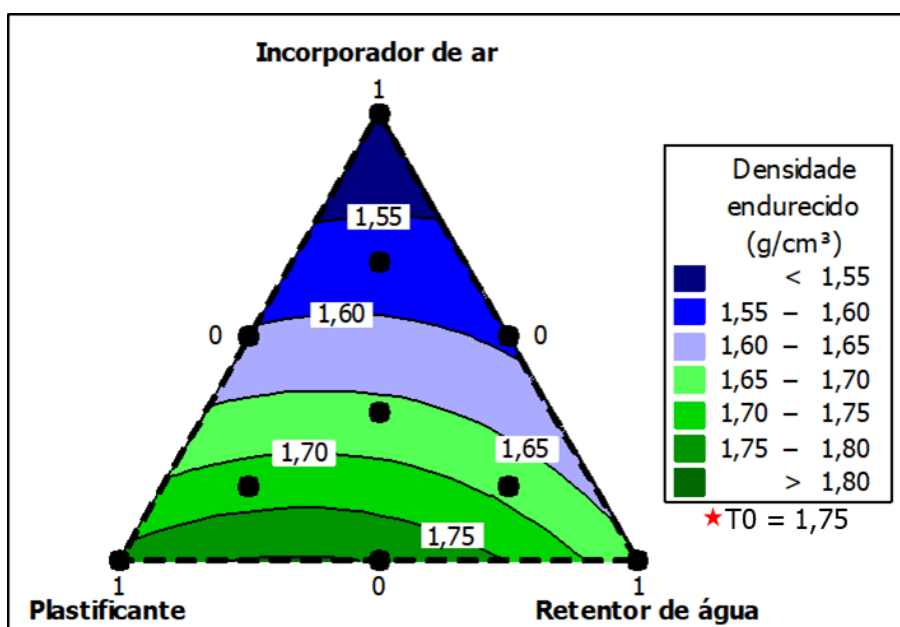


Figura 4.10 - Resultados densidade no estado endurecido das argamassas aditivadas.

Pode-se observar que os gráficos apresentados na Figura 4.8 e na Figura 4.10 são extremamente semelhantes, o que mostra como as duas propriedades são intimamente ligadas. A única variação é a saída de água no estado endurecido,

favorecendo a queda de densidade de todos os compostos (COSTA e PEREIRA, 2016), que foi em média de 8%, o que diminui o intervalo dos resultados de densidade no estado endurecido em comparação com o estado fresco. Ressalta-se que esta propriedade, como está intimamente ligada a densidade no estado fresco, também está relacionada com o teor de ar incorporado na mistura.

De acordo com a ABNT NBR 13281:2005, as argamassas podem ser classificadas como média densidade no estado endurecido (M4-M5), e de acordo com os limites de utilização indicados por SANTOS (2014), para argamassas de revestimento externo, todos os traços dosados estariam adequados pois apresentaram resultados acima do limite de 1,4 g/cm³.

Comparando os resultados obtidos para as argamassas mistas com as argamassas aditivadas, observa-se que a densidade no estado endurecido da argamassa mista (1,75 g/cm³) foi o segundo maior resultado obtido, com uma diferença de 2%, e foi cerca de 16% mais elevada do que o menor resultado T10. Em comparação com o resultado da densidade no estado fresco, a queda da densidade da argamassa mista chegou a 13%, maior redução de todas as argamassas, por isso deixou de apresentar a maior densidade no estado endurecido, podendo associar com a maior saída de água de todos os traços realizados. O traço T7, com 67% de retentor de água, apresentou queda de 12% de densidade, queda que pode ser associada a liberação parcial da água retida pelo polímero assim que os produtos de hidratação vão sofrendo reação.

4.2.3 Porosidade aberta/ Porosidade teórica

A porosidade teórica foi calculada conforme a relação entre a massa específica no estado endurecido sobre a massa específica teórica, sendo que a massa específica teórica leva em consideração a massa e a massa específica de cada componente utilizado na mistura (cimento, areia, água e aditivos). A porosidade aberta foi calculada através do ensaio estabelecido pela ABNT NBR 9778:2005, o resultado é obtido através da imersão de um corpo de prova em um determinado período de tempo, ou seja, a porosidade calculada seria superficial, aquela porosidade em que os poros estão conectados, os poros não conectados não são capazes de preencher-se de água. Os resultados alcançados tanto na

porosidade aberta quanto na porosidade teórica estão ilustrados na Figura 4.11 (a) e (b).

Primeiramente, observa-se que através do ensaio normatizado a porosidade diminui quando aumenta-se a concentração de incorporador de ar e aumenta com o aumento de retentor de água, e o plastificante possui uma porosidade intermediária, se comparada com os outros dois aditivos citados. Observa-se que os redutores de água, assim como o plastificante utilizado a base de lignosulfonato, são conhecidos por reduzir cerca de 5% a 10% da água de amassamento utilizada (HARTMANN, JEKNAVORIAN, *et al.*, 2011), com isso a quantidade de água que não foi reagida e evaporará da estrutura, resultando em poros, deveria ser menor entre os três aditivos estudados.

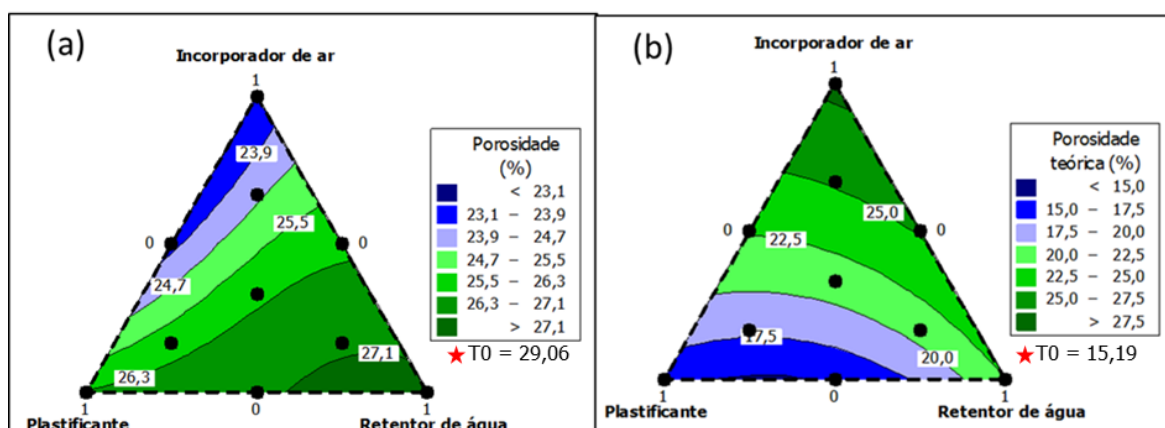


Figura 4.11 – Resultados (a) porosidade aberta e (b) porosidade teórica das argamassas aditivadas.

O incorporador de ar, devido a maior incorporação de ar, verificado na Figura 4.9, deveria apresentar maior porosidade, contudo não foi este resultado verificado. Como o aumento do teor de aditivo evita a coalescência, colapso e fusão de pequenas bolhas em maiores (HARTMANN, JEKNAVORIAN, *et al.*, 2011) e favorece a obstrução dos capilares, tornando os poros impermeáveis ao ar e água (LENART, 2013), associa-se seu uso a melhor dispersão dos poros e a não conexão entre eles. Com isso, o resultado é uma menor porosidade medida pelo ensaio normatizado, observada na Figura 4.11 (a), pois o ensaio só é capaz de medir os poros conectados que foram preenchidos pela água.

O retentor de água como observado no ensaio de ar incorporado teórico obteve uma incorporação de ar intermediária e deveria apresentar uma porosidade

intermediária. Porém, vê-se na Figura 4.11 (a) que a porosidade apresentada foi a mais elevada, e como já explicado está relacionada com a maior interligação entre os poros.

Como o resultado da porosidade com a utilização do incorporador de ar foi a inferior encontrada no ensaio normatizado, optou-se por realizar a porosidade teórica e comparar os dois resultados. Pode-se observar, que conforme o esperado, o resultado da porosidade com 100% da utilização do incorporador de ar foi o traço que alcançou a maior porosidade teórica e o traço com 100% de plastificante alcançou a menor porosidade, conforme o esperado. Observa-se que as imagens Figura 4.9, ar incorporado teórico, e Figura 4.11 (b) apresentam comportamento semelhante, diferindo apenas no aumento do teor da porosidade teórica em comparação ao ar incorporado teórico, devido a evaporação da água do estado fresco.

Com a comparação das duas porosidades medidas, pode-se observar o principal efeito do incorporador de ar, estabilizar as bolhas e evitar que se unam em bolhas maiores e interligadas.

Quando comparam-se os resultados obtidos pelos aditivos, com o resultado de porosidade obtido pela argamassa mista (29,06%), observa-se que a argamassa mista obteve a maior porosidade entre os compostos, cerca de 20% maior que o T10, associando este resultado a maior relação água/cimento do traço devido ao elevado teor de finos da cal. Mas, a porosidade teórica da argamassa mista (15%) ficou entre os menores resultados apresentados pelos aditivos, apenas 7% superior que T2. Com isso, observa-se que a cal reduz o teor de poros, mas esses poros são mais interconectados.

4.2.4 Absorção por imersão

Os resultados de absorção por imersão obtidos estão presentes na Figura 4.12. É possível observar na imagem que quanto maior o teor de plastificante menor a absorção por imersão, sendo que essa propriedade aumenta com a redução do aditivo. Quanto maior o teor de retentor de água, maior a absorção por imersão. E o incorporador de ar não influenciou sensivelmente nesta propriedade apresentando valores intermediários dos resultados gerados.

Os incorporadores de ar são conhecidos por serem mais impermeáveis ao ar e água, devido a obstrução dos capilares pelas bolhas de água, (LENART, 2013) (RESENDE, 2010), contudo no quesito absorção por imersão o aditivo teve pouca influência mesmo quando em combinação com os outros aditivos. Já os retentores de água, de acordo com POURCHEZ, ROUT *et al.* (2010), apresentam alta permeabilidade do vapor de água, e assim como o vapor de água observou-se também a elevada absorção por imersão. Já os plastificantes reduzem a absorção por imersão, assim como observado por KHUDHAIR, ELYOUBI e ELHARFI (2018), sendo o principal fator que influencia nesta propriedade, pois o decréscimo de valor está intimamente relacionado a direção do eixo do plastificante.

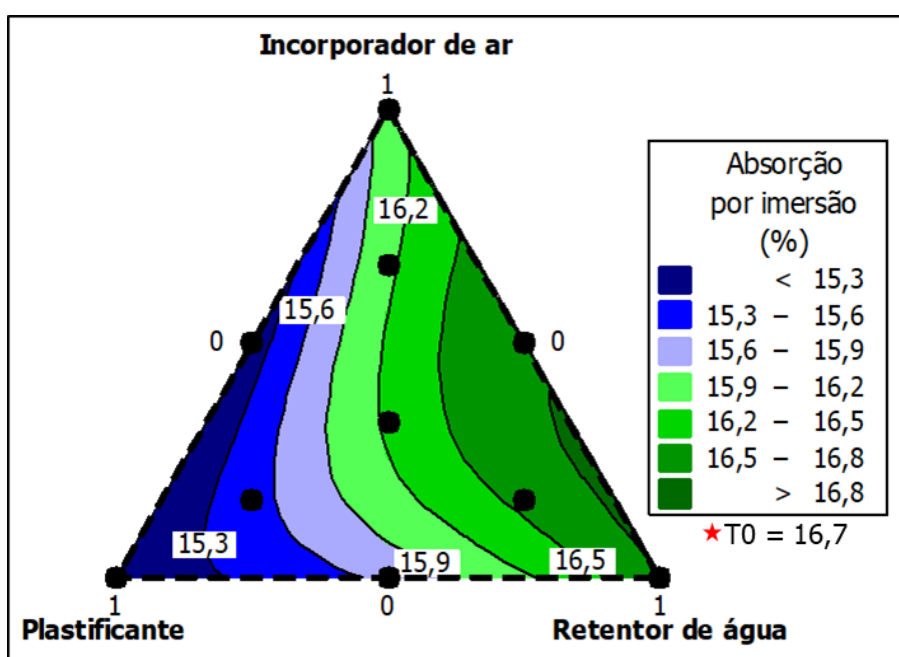


Figura 4.12 - Resultados absorção por imersão das argamassas aditivadas.

Apesar da variação, é possível ver que todos os resultados apresentaram absorção similar, conforme Figura 4.13, variando entre 14,5% e 17,5%, sendo que alguns resultados até mesmo se sobrepõem. Quando comparados com o traço referência, argamassa mista, que apresentou absorção por imersão de 16,7%, sendo inferior em apenas 1% do resultado mais elevado. Com isso, percebe-se que tanto a cal quanto os aditivos não tiveram influência nessa propriedade. Sendo assim, o valor geral médio de todas as argamassas, realizadas neste estudo, para a absorção por imersão fica em torno de 15,6%.

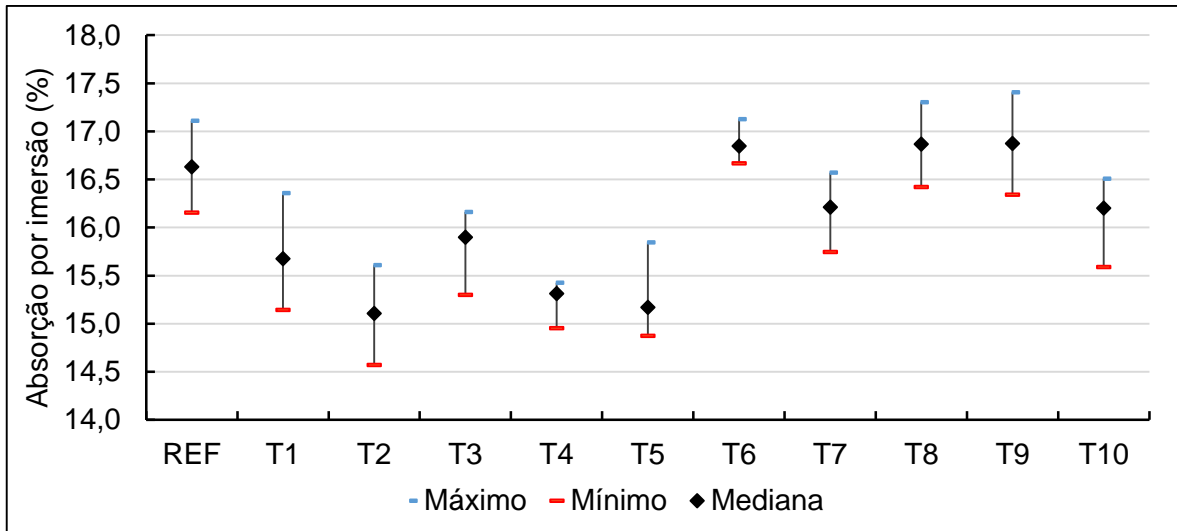


Figura 4.13 - Dispersão dos dados da absorção por imersão.

4.2.5 Absorção por Capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade foi realizado conforme a ABNT NBR 9779:2012, e os resultados estão presentes no diagramas de fases da Figura 4.14. O ensaio mede a capacidade de um corpo de prova absorver água entre 10 minutos e 90 minutos. A Figura 4.15 foi realizada com a medição de absorção durante 0 minutos até 72h após o início do ensaio.

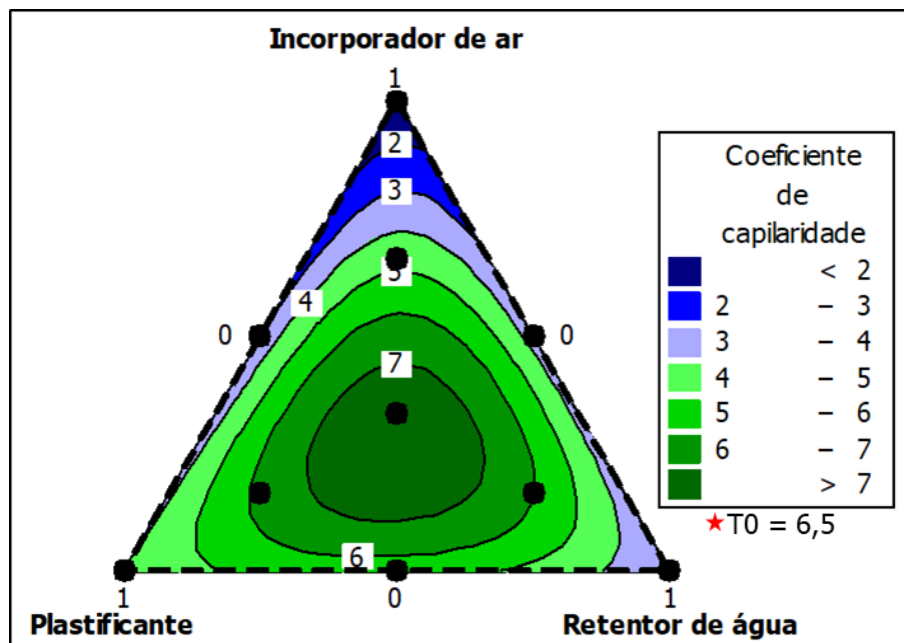


Figura 4.14 - Resultados coeficiente de capilaridade ($\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$) das argamassas aditivadas.

Pode-se observar na Figura 4.14 que esta propriedade foi que sofreu influência mais característica da combinação de aditivos. Sendo que, o incorporador de ar, quando utilizado sozinho, foi o que obteve o menor coeficiente de capilaridade, seguido do retentor de água e do plastificante. Quando combinados, igualando as proporções, maior torna-se o coeficiente de capilaridade, e os valores seguem uma proporção do seu eixo de referência levando em consideração cada um dos aditivos.

De acordo com os autores RESENDE (2010) e LENART (2013), os incorporadores de ar tem efeito favorável na estrutura obstruindo os capilares, o que pode ser observado com o menor valor de coeficiente de capilaridade alcançado pelo aditivo incorporador de ar na Figura 4.15, com a queda de sua concentração a estabilização das bolhas e obstrução dos capilares não foi tão efetiva para a redução da absorção.

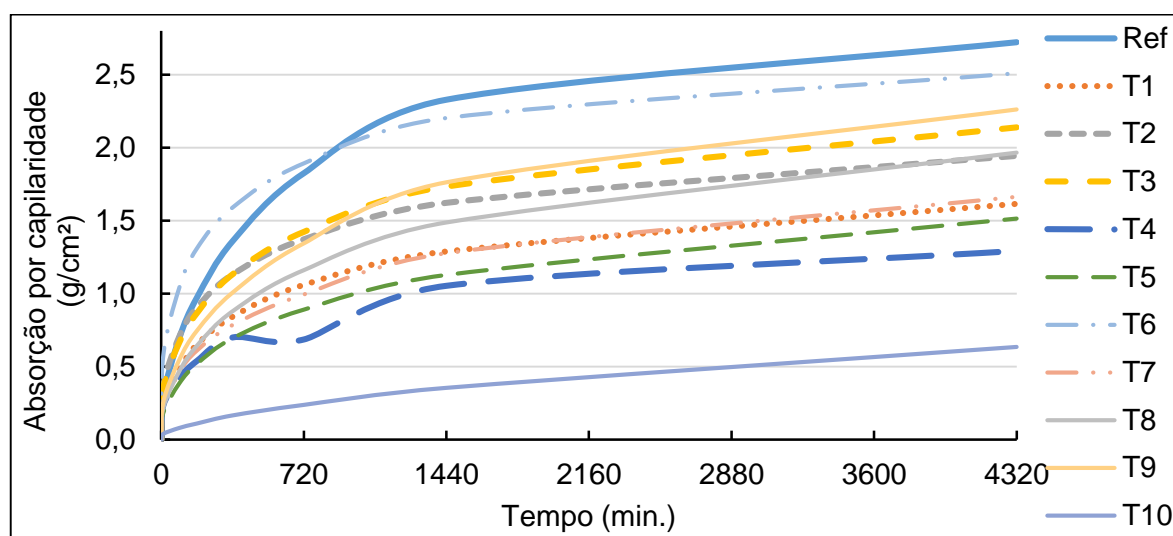


Figura 4.15 - Comportamento da absorção por capilaridade com a evolução do tempo.

Os retentores de água são conhecidos por incorporarem ligeiramente ar (IZAGUIRRE, LANAS e ÁLVAREZ, 2011), assim como observado na Figura 4.9, e com isso tem a absorção de água por capilaridade reduzida (POURCHEZ, RUOT, *et al.*, 2010), característica observada na Figura 4.15 com a utilização única do retentor. Contudo, o plastificante também é conhecido por reduzir a absorção por capilaridade, devido a densificação da estrutura (KHUDHAIR, ELYOUBI e ELHARFI, 2018).

De uma forma geral, observou-se que a combinação de aditivos (T6), e quando ligeiramente deslocada para a menor concentração de incorporador,

apresentou um efeito negativo para a absorção nos primeiros minutos e em tempos mais avançado. Esse seria um efeito colateral da combinação de aditivos, assim como KHAYAT (1998) descreveu que podem ocorrer alguns efeitos colaterais. É interessante observar que a argamassa mista no instante inicial não é a argamassa com maior absorção por capilaridade, contudo seu valor cresce mais do que as outras argamassas, sendo assim, com 72h a argamassa mista apresenta a maior absorção por capilaridade dos seus poros.

Contudo, conforme visto na Figura 4.16, as argamassas estudadas estariam classificadas com um coeficiente de capilaridade médio (C2-C3-C4) segundo a ABNT NBR 13281:2005. Apenas o traço T6 seria mais elevado (C5), que de acordo com SANTOS (2014) não seria um traço adequado para utilização em argamassa de revestimento externo (Coeficiente de capilaridade $\leq 7 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$). A argamassa mista, de referência, obteve $7,5 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$, ou seja, a argamassa mista obteve o segundo maior resultado de absorção, demonstrando que no quesito de absorção o traço com cal não é o mais adequado. Os demais traços dosados estão abaixo deste limite.

Através da Figura 4.16, pode-se observar, assim como na Figura 4.13, que os resultados obtidos se sobrepõem, e com isso a variação dos aditivos ou mesmo em comparação com a argamassa mista pode não ser significativa dependendo do traço analisado. Contudo, estes valores apresentaram grande variabilidade, o contrário da absorção por imersão, e assim pode-se perceber uma maior variação dos resultados de acordo com as proporções, sendo o T10 a menor absorção por capilaridade e o T6 a maior, corroborando para a tendência apresentada pela Figura 4.14.

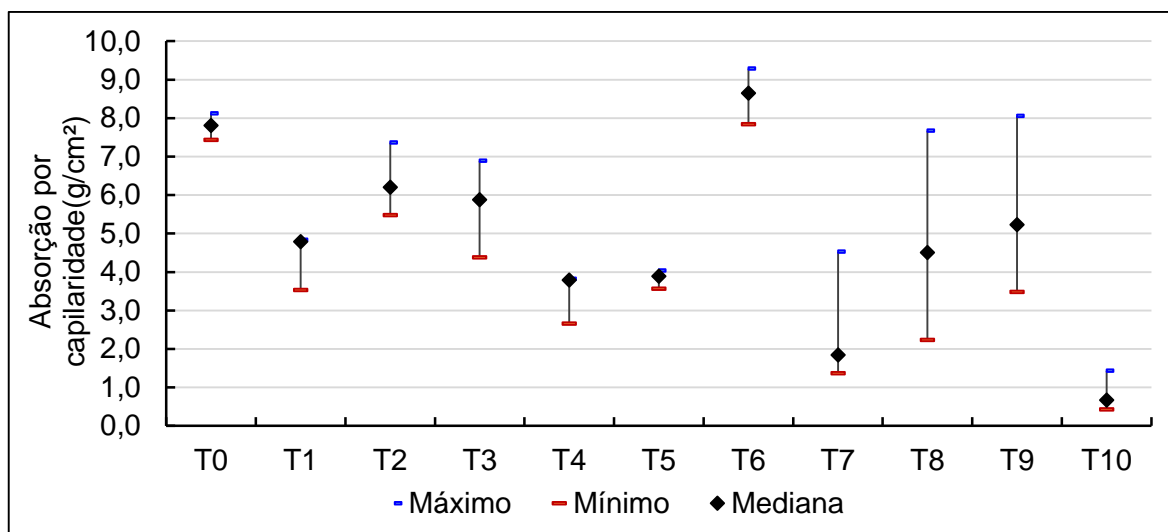


Figura 4.16 - Dispersão de dados da absorção por capilaridade das argamassas estudadas.

4.2.6 Resistência de aderência à tração

Os resultados obtidos para o ensaio de resistência de aderência à tração, realizado conforme a ABNT NBR 13528:2010, estão contidos na Figura 4.17, sendo que foi realizada uma média dos corpos de prova para cada traço. Observa-se que os valores de aderência são maiores quanto mais próximo, aproximadamente, de 40% de plastificante e 60% de retentor de água. Quando utiliza-se somente o incorporador de ar ou o aditivo plastificante observa-se que a resistência de aderência atinge seus menores valores, abaixo de 0,2 MPa de acordo com o gráfico.

Os traços com resistência de aderência inferior a 0,2 MPa não são considerados adequados para revestimento interno nem externo, os traços com valores superiores a 0,2 MPa são próprios para revestimentos internos que sejam base para pintura e àqueles superiores a 0,3 MPa são apropriados para revestimentos externos e demais tipos de revestimento (CEOTTO, BANDUK e NAKAKURA, 2005). Nota-se que os traços T2 (17I67P17R), T3 (50P50R), T6 (33I33R33P), T7 (17I17P67R), T8(100R) atingiram resistência superior a 0,2 MPa, sendo que o traço T3 foi o superior. Já o traço T10 (100I) apresentou o menor valor de resistência (0,16 MPa), confirmado que o incorporador de ar diminui os valores de aderência da argamassa.

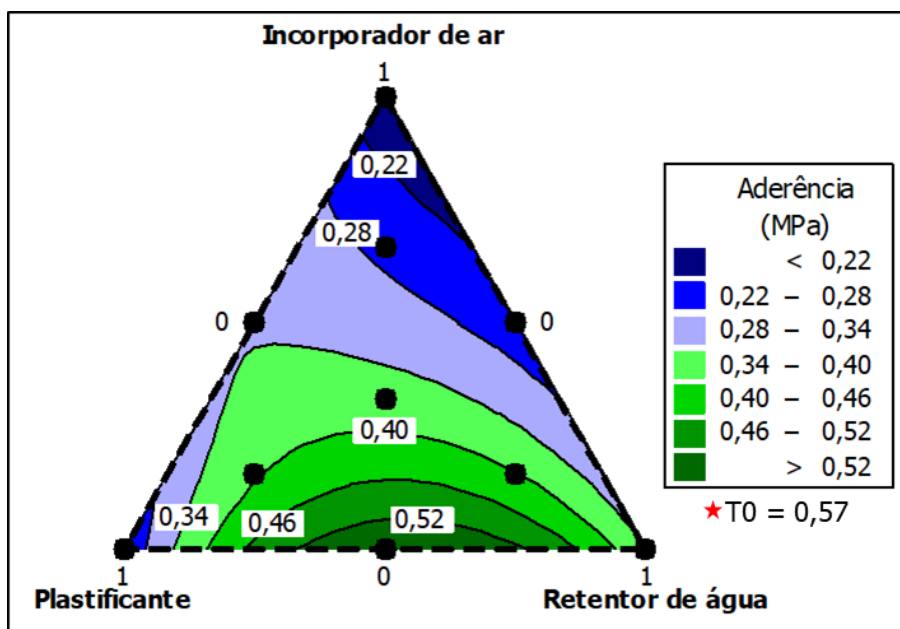


Figura 4.17 - Resultados de aderência à tração das argamassas aditivadas.

De acordo com a ABNT NBR 13281:2005, somente o T10 seria classificado como A1; T1, T5 e T9 são classificados como A2; e o restante dos traços, inclusive o traço misto de cal usado como referência com 0,57MPa de aderência, são classificados como A3. Pode-se observar que quando o traço referência é comparado com os traços aditivados ele se enquadra na região de maior aderência (>0,5 MPa), contudo seu resultado foi inferior ao apresentado pelo T3 (50P50R) em 4,3%.

Nos ensaios realizados, pode-se observar a relação inversa entre porosidade, influenciada diretamente pelo teor de ar incorporado, e a resistência à aderência, assim como notado nos testes de aderência realizados por ROMANO, TORRES e PILEGGI (2015). MENDES, MORO, *et al.* (2017) salientam que o uso de incorporador de ar pode deixar a superfície frágil e pulverulenta contribuindo para resultados inferiores de aderência. Pode-se observar, relacionando a Figura 4.9 e Figura 4.17, que teores de ar incorporado maiores que 15% podem ser danosos à aderência do revestimento aditivado, pois apresentam valores inferiores ao preconizado para revestimento externo. CINCOTTO, SILVA e CARASEK (1995), ressaltam que o teor de ar influencia na aderência dos revestimentos, e com isso os aditivos incorporadores de ar devem ser utilizados com cuidado. A baixa aderência associada a argamassa com incorporador de ar pode ser associada ao fato das microbolhas tornarem-se barreiras à passagem do aglomerante para o

substrato, processo de aderência mecânica, além da reduzida superfície de contato entre a argamassa e o substrato devido às bolhas de ar (CARASEK, CASCUDO e SCARTEZINI, 2001).

No estudo de CARVALHO JUNIOR (2005), observou-se que a base de aplicação, ou o tipo de substrato possuem influência direta na aderência. O resultado do reboco pronto, reboco com utilização de incorporador de ar, com aplicação em bloco de concreto e base úmida, da mesma forma realizada neste estudo, ficou em torno de 0,20 MPa, e para a argamassa mista com cal o resultado ficou em torno de 0,43 MPa. Neste estudo, os resultados da argamassa com incorporador de ar e da argamassa mista ficaram em torno de 0,16 MPa e 0,57 MPa, respectivamente, apresentando resultados semelhantes ao estudo mencionado. Observou-se que apesar do resultado inferior da argamassa aditivada com incorporador de ar, o resultado ainda é superior do que o da argamassa simples, cimento e areia, mencionado por CARVALHO JUNIOR (2005), e que a realização e limpeza adequada do substrato influenciam diretamente nesta propriedade. Sendo assim, se a base não for realizada como feita neste estudo, a aderência tende a ser inferior (CARVALHO JUNIOR, 2005).

A relação inversamente proporcional observada entre o ar incorporado e a aderência, Figura 4.9 e Figura 4.17, não manteve-se em teores altos de plastificante, ou na sua utilização individualizada. Apesar, de possuir o menor teor de ar incorporado teórico, ele apresentou baixa aderência. Através do estudo apresentado por SOUZA, RICCIO, *et al.* (2018), que analisa a influência do aditivo plastificante na aderência da argamassa de revestimento e ainda compara com a argamassa mista, foi possível observar que na falta da cura ou molhagem adequada do substrato, condições normalmente empregadas em obras, as aderências são bem inferiores aos limites estabelecidos como adequado para revestimento externo. Além da condição de exposição ao sol afetar diretamente a propriedade, sendo que aquele revestimento que sofre maior incidência do sol perderá mais água por evaporação. A queda de resistência de aderência, apresentada por SOUZA, RICCIO, *et al.* (2018), pelos revestimentos que substituíram a cal por plastificante foi associada, assim como neste estudo, à perda de água necessária para hidratar os compostos do cimento e promover a aderência mecânica com o substrato, tanto pela sucção quanto pela evaporação, visto que o

aditivo plastificante plastifica a argamassa reduzindo a quantidade de água da mistura. Sendo que, os resultados ficaram abaixo de 0,2 MPa, e apenas o traço com plastificante que sofreu menor influência do sol, obteve um valor acima de 0,3 MPa, quando comparado com o traço de mesma composição (SOUZA, RICCIO, *et al.*, 2018).

Nesta pesquisa, realizou-se a pré-molhagem do substrato e a cura em ambiente de laboratório, sem molhagem posterior, e não submeteu-se os corpos de prova ao sol. Percebeu-se que o revestimento com somente plastificante não alcançou aderência adequada (0,25 MPa) para um revestimento externo (> 0,3 MPa), apresentando resultado bem abaixo quando comparados com a argamassa mista, porém mais elevado do que quando utilizou-se somente o incorporador de ar. Conforme os resultados e referência (SOUZA, RICCIO, *et al.*, 2018) percebe-se que é primordial a pré-molhagem do substrato e a molhagem do revestimento por pelo menos três dias após aplicação do revestimentos argamassado, principalmente em ambientes com temperatura acima de 30 °C e/ou umidade relativa do ar baixa. Deste modo, contribui-se para a plena hidratação dos compósitos cimentícios e para diminuir a retração térmica.

Com a análise desta propriedade, é possível perceber que é plausível obter uma argamassa com aderência elevada utilizando uma combinação adequada de aditivos e realizando o preparo do substrato e cura apropriada. A substituição da cal pela utilização somente do plastificante, como observado no estudo de SOUZA, RICCIO, *et al.* (2018) e nesta análise, não é adequada. Assim como a utilização somente do incorporador de ar, com o intuito de plastificar a mistura, não é adequada como também foi observado por CARVALHO JUNIOR, (2005).

4.2.7 Resistência à tração na flexão

O ensaio de tração na flexão, realizado conforme a ABNT NBR 13279:2005, apresentou os resultados contidos no diagrama de fases da Figura 4.18 (a). Observa-se a maximização da resistência à tração na flexão com o aumento do teor de plastificante, sendo que quando combinados somente os aditivos incorporadores de ar e retentor de água obteve-se os menores resultados e quando

combinado o plastificante com o retentor de água obteve-se os maiores resultados, assim como na aderência apresentada na Figura 4.17.

O plastificante é conhecido por diminuir a porosidade e aumentar a resistência mecânica (KHUDHAIR, ELYOUBI e ELHARFI, 2018), assim como os resultados obtidos na Figura 4.11 e na Figura 4.18 (a), respectivamente. Contudo, observou-se que a combinação do plastificante com o retentor de água foi favorável, pois parte da água retida pelo retentor pode ter reagido na hidratação dos compostos do cimento favorecendo o ganho de resistência da combinação, além da porosidade inferior observada. Os resultados inferiores apresentados pelo incorporador de ar estão associados a alta porosidade do traço, sendo que os poros são localidades para acúmulo de tensões e consequente enfraquecimento do material (PAIVA, ESTEVES, *et al.*, 2009).

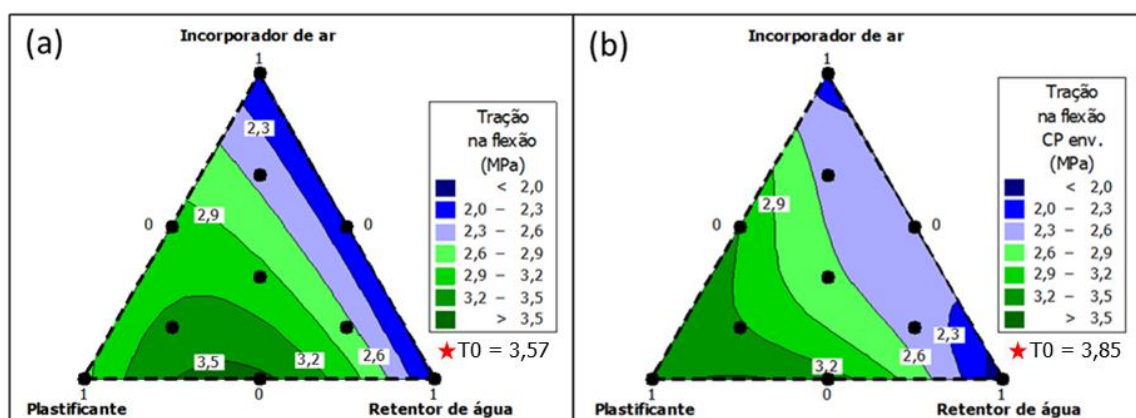


Figura 4.18 - Resultados (a) tração na flexão das argamassas aditivadas e (b) tração na flexão de corpos de provas envelhecidos em 10 ciclos molhagem secagem.

De acordo com a ABNT NBR 13281:2005, as argamassas estudadas podem ser classificadas em média a alta resistência à tração na flexão (R3-R4-R5). A argamassa mista, com cal, pode ser classificada em alta resistência (R5) por apresentar-se entre os valores mais elevados (3,57 MPa), ficando entre os traços T2 e T3. Ou seja, é possível obter um resultado de tração na flexão para argamassas aditivadas tão satisfatório quanto o resultado de uma argamassa mista, sendo que o plastificante é o aditivo que influencia mais positivamente nesta propriedade.

Foi realizado choque térmico, com aquecimento em estufa e posterior molhagem dos prismas em 10 ciclos, simulando o envelhecimento acelerado

baseado na ABNT NBR 15575-4:2013, sendo posteriormente submetidos a tração e a compressão. Os resultados de tração dos prismas envelhecidos estão na Figura 4.18 (b). Observa-se que o padrão continua o mesmo que dos prismas sem envelhecimento, sendo que a tração é maior com a diminuição do teor de incorporador de ar.

Com o envelhecimento, obteve-se em média uma pequena queda de resistência a tração na flexão. Porém, alguns apresentaram resistência superior, como o caso da argamassa mista que antes do envelhecimento apresentou resistência à tração na flexão de 3,57 MPa e após o ensaio de 3,85 MPa. Esse acréscimo foi associado à variabilidade dos corpos de prova moldados, e com isso não foi possível analisar a influência do envelhecimento realizado.

Sugere-se que, para uma maior percepção do envelhecimento, sejam realizados mais ciclos (SENTENA, KAZMIERCZAK e KREIN, 2018) e (ESQUIVEL, 2009). Ressalta que normas internacionais, como a C1185-8:2012 e a ISO 8336:2009, sugerem ensaio semelhante ao da ABNT NBR 15575-4:2013 variando alguns parâmetros, como por exemplo a utilização de 25 ciclos em vez de 10 (OLIVEIRA, FONTENELLE e MITIDIARI FILHO, 2014).

4.2.8 Resistência à compressão

Os resultados dos ensaios de compressão feitos nos corpos de prova estão presentes na Figura 4.19 (a). Assim como a tração, a compressão axial apresentou o mesmo comportamento e tendência em relação aos aditivos estudados, sendo que quanto maior o teor de plastificante maior a resistência à compressão, devido a densificação da estrutura, apresentada na Figura 4.11 (b). O incorporador de ar e o retentor de água tiveram influências semelhantes na resistência à compressão, contudo em teores menores do incorporador de ar, o retentor de água em conjunto com o plastificante influenciaram no aumento da resistência à compressão.

Quando as argamassas são classificadas pela ABNT NBR 13281:2005, observou-se que todas possuem alta resistência à compressão ($P6 \geq 8$ MPa) para uma argamassa de revestimento, sendo que a argamassa mista apresentou elevada resistência à compressão (chegando a 16,85 MPa). Sugere-se elaborar no futuro uma nova tabela de classificação para as argamassas aditivadas.

Como mencionado por SANTOS (2014), a relação entre aglomerante e agregado da argamassas fica em torno de 0,33, porém, devido à características do agregado utilizado a relação do traço adotado ficou em 0,47. Ou seja, o traço misto possui uma concentração de aglomerante (cimento e cal) mais elevada que o convencional. Diante disto, esperava-se resultar em uma queda da compressão maior, e também que a presença da cal reduzisse a resistência mecânica pelo aumento da demanda de água (maior área superficial) e pela presença de incorporador de ar neste tipo de cal utilizada (CH I).

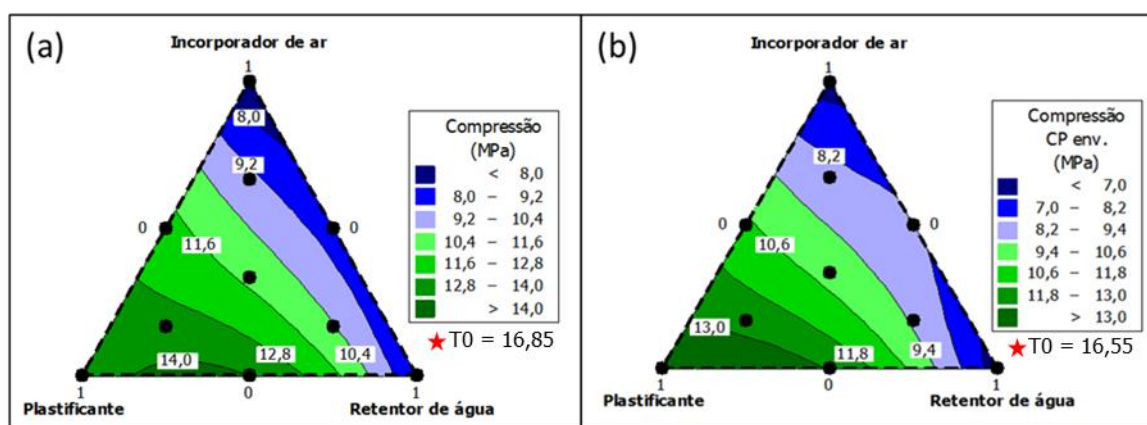


Figura 4.19 - Resultados (a) compressão das argamassas aditivadas e (b) compressão de corpos de provas envelhecidos em 10 ciclos de molhagem e secagem.

Nos traços aditivados, com a retirada da cal, reduziu-se o teor de aglomerante e a relação passou para 0,2. Observou-se que para uma redução de aglomerante de 40% teve-se a menor compressão apresentada (T10 – 7.15 MPa), ou seja, foi apenas de 10% no T5. Observou-se que apesar da diminuição do teor de aglomerante foi possível obter uma argamassa com resistência elevada para uma argamassa de revestimento (ABNT NBR 13281:2005), sendo influenciada diretamente pelo maior teor de aditivo plastificante.

Após o envelhecimento e o ensaio de resistência à tração na flexão feitos, realizou-se o ensaio de compressão. Assim como observado nos resultados da tração na flexão, houve tanto o aumento quanto a redução das valores da resistência à compressão para diferentes traços. Nesta propriedade, apenas o T5, com 100% de plastificante, aumentou em 6% o seu resultado, valor este que não pode ser analisado, pois todos os demais traços decaíram de valor e o ensaio apresentou um coeficiente de variação de até 8%, sendo assim os 6% estariam embutidos na variação do ensaio. Pode-se ver que o gráfico dos corpos de prova

envelhecidos apresentaram a mesma tendência do que antes do ensaio, contudo os 10 ciclos realizados pelo método adaptado não foram sensíveis para avaliar nenhuma variação da propriedade. Ressalta-se que não foi observada nenhuma fissura depois da realização dos ciclos.

Na Figura 4.20, é possível observar, ainda, que a resistência à tração na flexão estabelece uma relação aproximada de 21% da resistência à compressão. Resultado um pouco mais elevado do que o comumente adotado de 10% a 15% (CALLISTER JR., 2002).

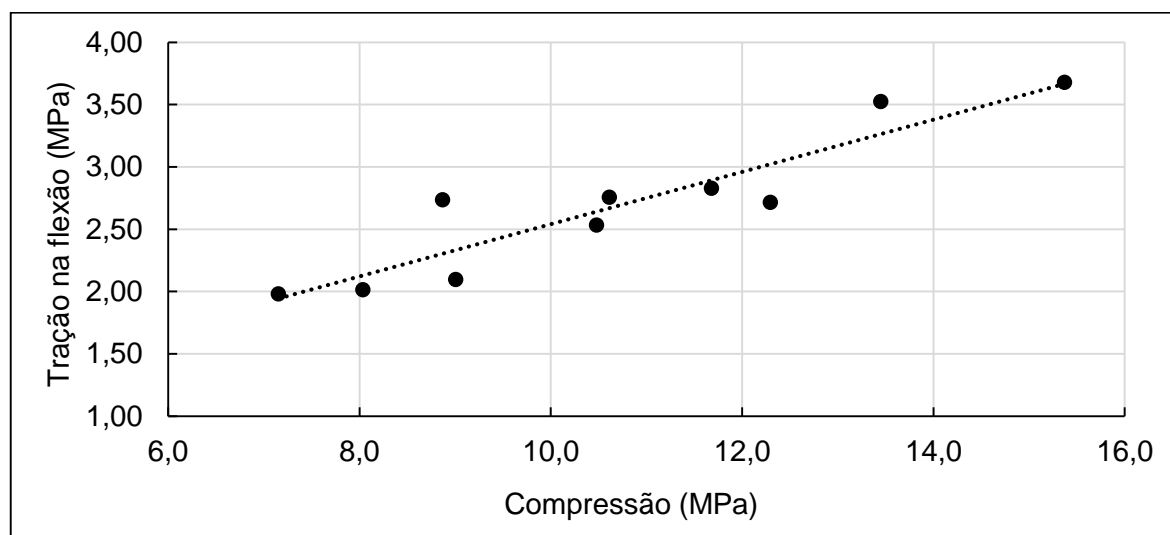


Figura 4.20 - Relação encontrada entre as resistências à tração na flexão e à compressão.

4.2.9 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade foi calculado através do método de ressonância forçada, conforme a ASTM C215:2008, e os resultados podem ser observados na Figura 4.21. O módulo de elasticidade aumenta quanto maior a concentração de plastificante, sendo que abaixo da concentração de 50% de plastificante todos os traços obtiveram módulo abaixo de 20 GPa, a variação de módulo não foi perceptível com a variação dos componentes na concentração mencionada.

CAPPELLARI, DAUBRESSE e CHAUCHE (2013) mencionam que o menor módulo elástico está associado ao aumento de ar incorporado, ou seja a maior porosidade teórica. Contudo, para porosidades acima de 20%, conforme a Figura 4.11, os resultados de módulo não variaram significativamente.

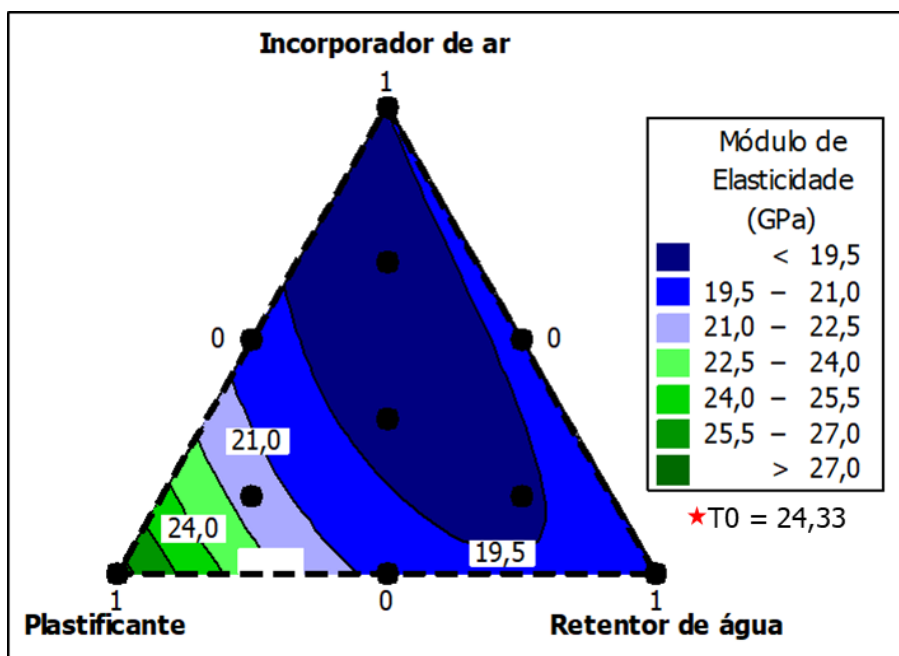


Figura 4.21 - Resultados módulo de elasticidade das argamassas aditivadas.

Estudos relatam que a incorporação da cal na argamassa favorece a queda do módulo de elasticidade possibilitando o revestimento absorver melhor as deformações (PAIVA, GOMES e OLIVEIRA, 2007), (SIMINA, MOLNAR, *et al.*, 2012). Contudo, a argamassa mista apresentou o segundo maior resultado (24,33 GPa), 13,4% menor que o maior resultado (T5), e 32,8% maior que o menor resultado obtido (T1). Contudo, de acordo com CSTB (1993) módulos de elasticidade acima de 12 GPa apresentam alta suscetibilidade a fissuração e seriam ruins a capacidade do revestimento absorver deformações. Assim, todos os traços apresentam módulos elevados, principalmente o da argamassa mista e da argamassa aditivada com somente plastificante. Ressalta-se, que neste estudo, optou-se pelo maior uso de cimento de modo a aproximar mais dos resultados mecânicos comumente visto nas argamassas aditivadas e com isto houve um aumento expressivo dos módulos de elasticidade. É possível ver em trabalhos como SANTOS *et al.* (2018) que uma dosagem em que o teor de cimento fique em torno de 10% (percentual de volume) tende a apresentar resultados menores desta propriedade. Além disto, deve atentar para os métodos utilizados para aferição do módulo, pois a CSTB (1993) baseia-se em módulo pelo Ultrassom e neste trabalho foi feito pelo ressonância forçada. Optou-se por este por ser mais sensível a este tipo de argamassa, contudo ainda não se tem parâmetros para fundamentar esta relação de fissurabilidade.

Através da Figura 4.22, é possível observar que o ensaio realizado apresentou grande variabilidade, sendo que alguns resultados se sobrepõem. Apesar disso, é possível observar que o maior teor de plastificante T5 realmente influenciou no aumento do módulo de elasticidade, que pode ser associado a menor porosidade da estrutura. Os demais traços possuem resultados que se sobrepõem em um intervalo relativamente pequeno, podendo-se associar às demais argamassas um módulo de elasticidade por volta de 19,8 GPa, que ainda assim estariam associados à alta susceptibilidade à fissuração (CSTB, 1993). Os altos valores de módulos podem ser associados ao elevado valor de compressão e tração apresentados pelas argamassas aditivadas e mista.

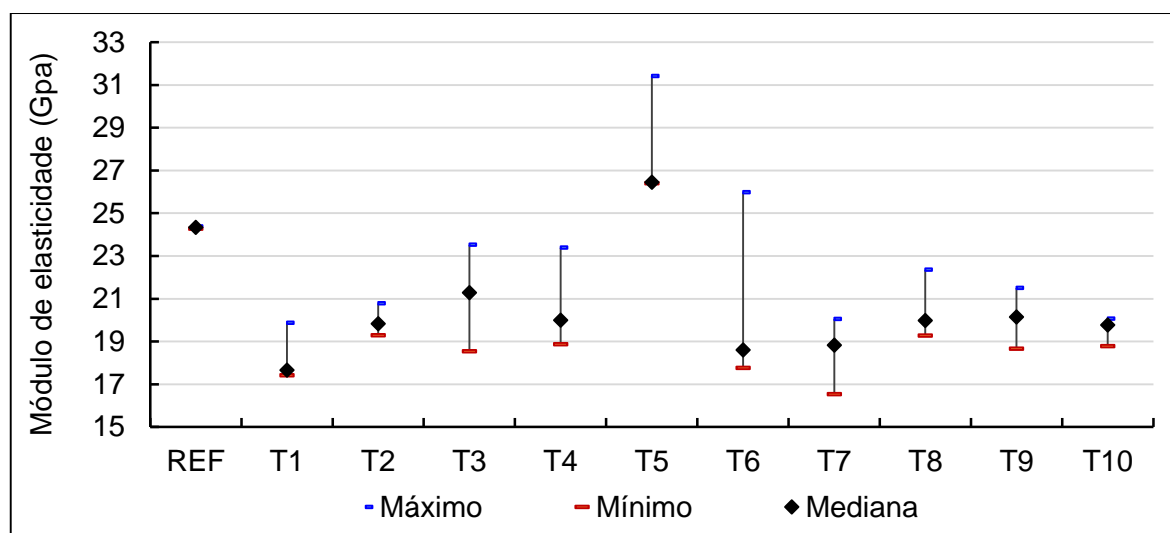


Figura 4.22 - Dispersão dos dados apresentados para o módulo de elasticidade.

4.2.10 Análise com microscópio digital

Após o envelhecimento acelerado dos corpos de prova prismáticos, estes foram submetidos a análise no microscópio e só depois foram rompidos. A Figura 4.23 e a Figura 4.24 representam respectivamente, o traço misto e os traços aditivados.

Através da análise das imagens superficiais dos corpos de prova, é possível observar que o traço misto foi o traço com menor incorporação de ar, como apresentado na Tabela 4.4 e na análise do item 4.2.1. Na Figura 4.23 é possível ver pequenos poros circulares característicos da incorporação de ar da cal aditivada, em que a dimensão é bem inferior à escala impossibilitando a medição.

É possível ver também tons de marrom característicos do agregado, e alguns poros mais compridos, ressaltados pelas setas, referentes aos poros pela abstenção do agregado. Contudo, de forma geral a pasta cobriu adequadamente todo o agregado, apresentando uma estrutura sólida coesa, com poros refinados. A partir da Figura 4.24, é possível fazer um paralelo com a Figura 4.9, os traços com menor incorporação de ar foram o T5, T3 e T2, em um intervalo entre 8% e 10,5%. Estes traços apresentam maior concentração de plastificante e menor de incorporador de ar, sendo que T5 e T3 não possuem incorporador de ar em sua constituição. Apesar disso, viu-se que o plastificante tem propriedades que incorporam ligeiramente ar, como também observado nas imagens. Estes três traços apresentam imagens relativamente semelhantes, com incorporação de poros em menor concentração que os demais traços estudados.

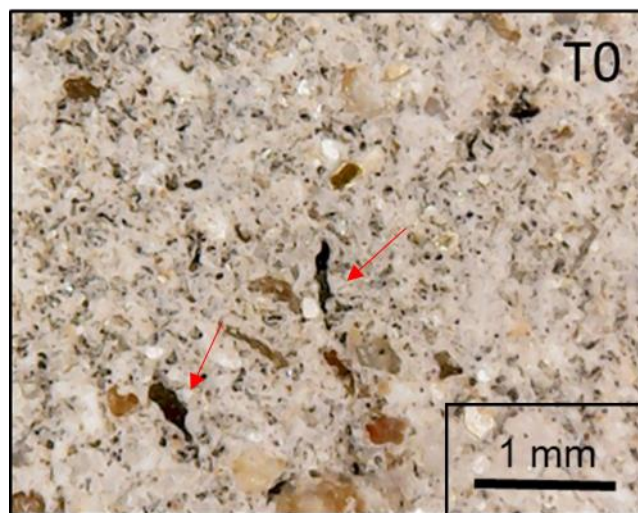


Figura 4.23 - Imagem de microscópico óptico do traço de argamassa mista.

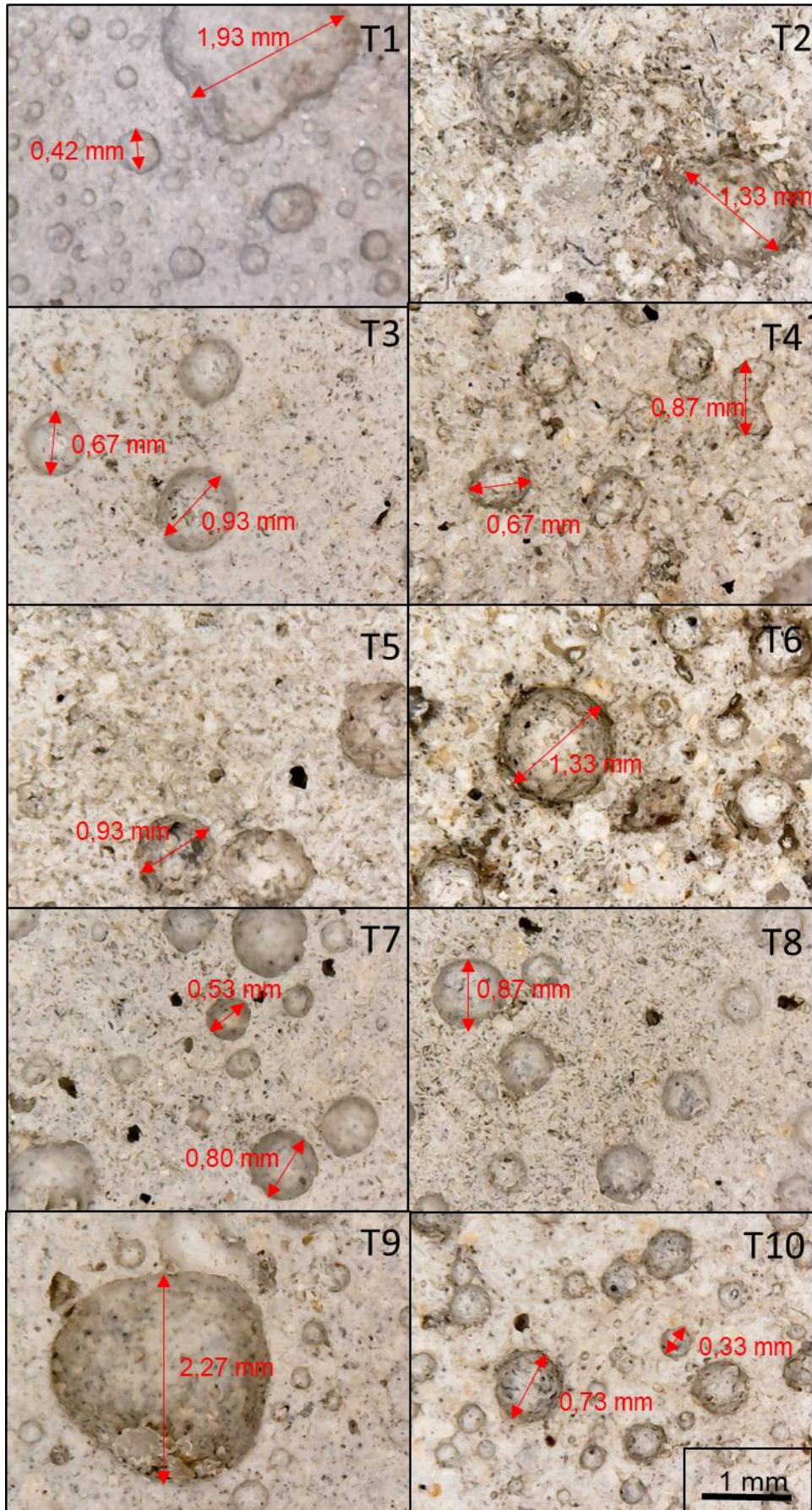


Figura 4.24 - Imagens de microscópio óptico dos traços aditivados.

Os traços com maior concentração de poros superficiais observados na Figura 4.24, foram os traços T10 e T1, traços que possuem maior concentração de incorporador de ar. Resultado já esperado, pela maior concentração de incorporador de ar nestes compostos e pelo resultado da Figura 4.9, incorporação de ar maior que 18%. Na imagem da Figura 4.24, é possível observar que apesar da concentração maior de poros, as estruturas apresentam poros de menor diâmetro, aproximadamente 0,4 mm, ou seja, mais refinados. Exceto o poro apresentado por T1 em foco na imagem, com aproximadamente 1,93 mm, pode-se observar que provavelmente este poro é originário da junção de outros dois poros, sendo que nesta parte o incorporador de ar não evitou a coalescências de bolhas.

Os demais traços T4, T9, T6, T8 e T7, apresentaram incorporação de ar intermediária, entre 18% e 13% conforme Figura 4.9, diminuindo a concentração como citado. Os traços apresentam poros superficiais semelhantes na Figura 4.24, com diâmetro médio de cerca de 0,9 mm, sendo que é possível ver junção de bolhas em T4, apresentando dimensão maior de 0,87 mm, e um poro de elevado diâmetro, quando comparado com os outros, em T9 de aproximadamente 2,27 mm de diâmetro.

De forma geral, vê-se que os poros gerados pela incorporação de ar possuem forma circular, todos os traços possuem algum composto que gera incorporação de ar na estrutura e por isso apresentam este tipo de poro em maiores ou menores concentrações. Outros tipos de poros, que não sejam circulares, apresentados também em todos os traços são referentes a vazios deixados na pasta pela falta de agregado. Com isso, nas argamassas aditivadas, vê-se que a menor concentração de poros superficiais está presente na imagem do traço dosado somente com plastificante e a maior concentração de poros superficiais está no traço dosado somente com incorporador de ar, ressalta-se que apesar das bolhas do traço T10 serem em maior quantidade, são em menor tamanho, apresentando diâmetro médio inferior a 0,3 mm. Também observa-se, que apesar da presença dos poros superficiais todas as estruturas apresentaram uma boa coesão entre a pasta e o agregado.

4.2.11 Custo dos materiais

Foi realizada uma análise de custo dos materiais e obteve-se o gráfico de fases da Figura 4.25. O custo foi calculado através da quantidade de material utilizada em cada traço dosado para obter 1 m³ de argamassa, sendo que: o cimento, a areia e a água foram as mesmas em todos os traços, variando apenas a quantidade e o aditivo nas argamassas aditivadas. O traço misto de argamassa difere na sua constituição pela menor quantidade de agregado e pela utilização da cal, conforme Gráfico 4.2.

Pode-se observar que o aditivo de maior valor e que encarece mais a argamassa aditivada é o retentor de água, o incorporador de ar e o plastificante possuem preços de mercado, conforme obtido com fornecedor, semelhantes. Vale ressaltar, que os aditivos são fornecidos em grandes quantidades, em barris de cerca de 200 Kg, ou seja, sua compra torna-se viável para produções de argamassa que utilizem essa quantidade de material para não ocorrer desperdícios.

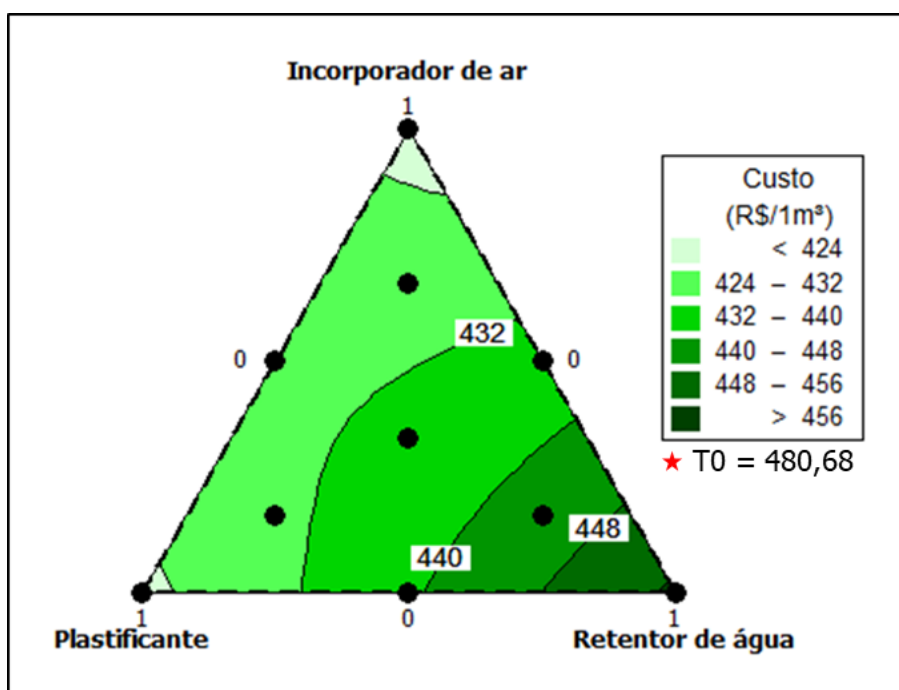


Figura 4.25 - Resultados custo das argamassas aditivadas.

Quando compara-se os preços das argamassas aditivadas com o preço da argamassa mista (R\$ 480,68/1m³), observa-se que o preço da argamassa mista fica o mais elevado, sendo apenas 5,4 % superior ao traço mais caro aditivado (T8) e 14,4% superior ao traço mais barato (T10). Como a cal é comumente utilizada,

vê-se que é viável a utilização das argamassas aditivadas no quesito econômico, lembrando que a cal pode ser comercializada em quantidade menores, 20 Kg, quando comparada ao aditivo.

5. OBTENÇÃO DO TRAÇO IDEAL VIA SIMPLEX

Através dos resultados inseridos no programa MINITAB que foram apresentados e analisados (item 4.2) pelo método SIMPLEX através do design de mistura, é possível estabelecer o traço ideal através de parâmetros limitantes em determinadas propriedades, sendo possível inserir até 25 propriedades limitantes, escolhendo entre valores mínimos, máximos ou alvos.

Com o auxílio do MINITAB, entra-se em STAT>DOE>MIXTURE>Response Optimizer e obtém-se a primeira janela apresentada na Figura 5.1 (a), onde é possível escolher qual das propriedades inseridas, que foram analisadas, serão limitantes do traço ideal. Quando selecionadas, abre-se a segunda janela apresentada na Figura 5.1 (b) onde deve-se estabelecer os valores limitantes através da opção Setup. Quando decide-se minimizar, deve-se colocar o valor ideal e o valor superior desejado, quando decide-se maximizar, deve-se colocar o valor ideal e o valor mínimo desejado, e quando decide-se alcançar o valor ideal deve-se colocar os três parâmetros mencionados, valor mínimo, ideal e máximo.

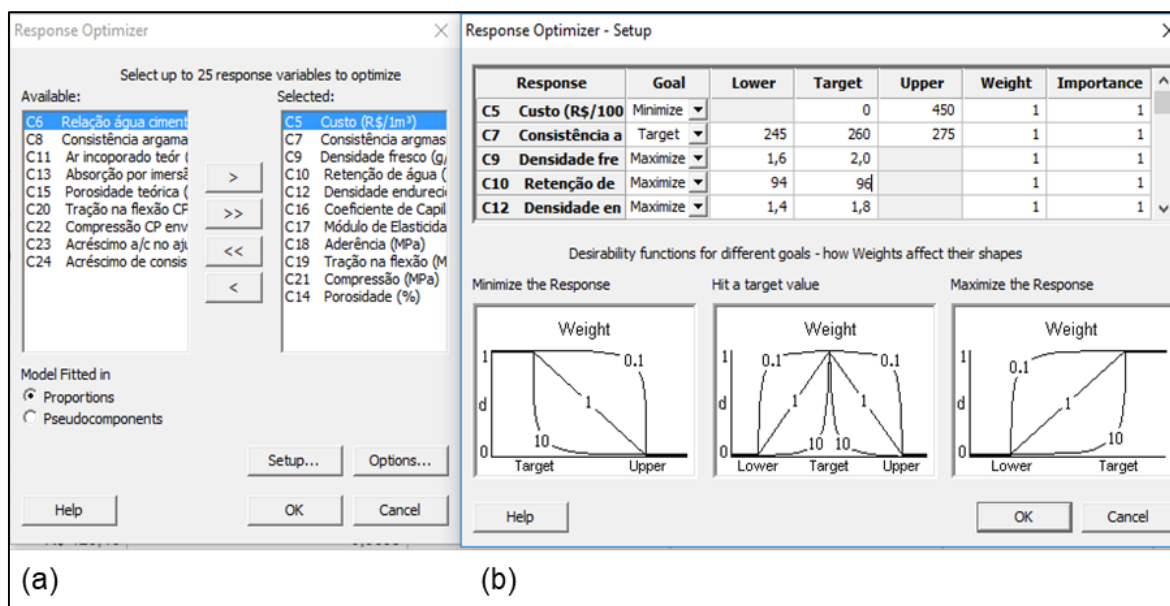


Figura 5.1 – Seleção das propriedades limitantes no MINITAB: (a) Response Optimizer e (b) Response Optimizer Setup.

Foram inseridas 11 propriedades para limitar o traço ideal desejado conforme os parâmetros apresentados na Tabela 5.1, que foram escolhidos de acordo com informações de SANTOS (2014), ABNT NBR 13281:2005, CSTB:1993 e CARASEK (1996) para atender a revestimento argamassado de fachada.

Contudo, é possível estabelecer outros parâmetros de acordo com as propriedades necessárias para a argamassa em projeto. Após estabelecer os parâmetros deve-se selecionar OK e o programa analisará os limitantes para chegar no traço existente mais próximo do desejado, o traço ideal.

Tabela 5.1 - Valores limitantes para alcançar o traço ideal.

Propriedades		Inferior	Médio	Superior
Custo dos materiais (R\$/1m ³)	Minimizar	-	0	450
Consistência da argamassa na betoneira (mm)	Alvo	245	260	275
Densidade no estado fresco (g/cm ³)	Maximizar	1,6	2	-
Retenção de água (%)	Maximizar	94	96	-
Densidade no estado endurecido (g/cm ³)	Maximizar	1,4	1,8	-
Coeficiente de capilaridade (g)	Minimizar	-	0	7
Módulo de Elasticidade (Gpa)	Minimizar	-	7	12
Aderência (MPa)	Maximizar	0,3	1	-
Tração na flexão (MPa)	Maximizar	2	4	-
Compressão (MPa)	Maximizar	4	8	-
Porosidade total (%)	Minimizar	-	0	20

Com os parâmetros todos inseridos, o programa gerará a resposta ótima (Figura 5.2). É possível observar que o programa alcançou, como traço ideal, a proporção de 0% de incorporador de ar, 50% de plastificante e 50% de retentor de água (T3 – já realizado anteriormente), representado na imagem como todos os itens em vermelho, sendo 1 equivalente a 100%. Ressalta-se que o valor inserido nesta pesquisa para os aditivos foi a porcentagem de utilização em relação a porcentagem máxima recomendada pelo fabricante. Os valores em azul, e a linha em azul do gráfico, correspondem aos valores encontrados para o traço ideal para cada propriedade limitante, e os gráficos abaixo de cada aditivo e ao lado de cada propriedade correspondem como o aditivo influencia na propriedade em questão. Como, por exemplo, no custo, quanto mais incorporador de ar e plastificante menor o custo, e quanto mais retentor de água maior o custo.

Tabela 5.2 - Resultados encontrados para o traço ideal via SIMPLEX – MINITAB em comparação com o traço T3 e o T0

Traço	Ideal - Otimização	T3	T0	Valores limitantes
Proporção aditivo	0% I; 50% P; 50% R	0% I; 50% P; 50% R	Cal	
Custo (R\$/1 m ³)	439,05	437,16	480,68*	≤ 450,00
Consistência (mm)	272,38	283*	212*	260 ±15
Densidade no estado fresco (g/cm ³)	1,94	1,92	2,01	≥ 1,6
Retenção de água (%)	89,08*	88,51*	93*	≥ 94
Densidade no estado endurecido (g/cm ³)	1,80	1,79	1,75	≥ 1,4
Coefficiente de capilaridade (g)	5,10	5,78	7,8*	≤ 7,0
Módulo de elasticidade (GPa)	20,56*	21,11*	24,33*	≤ 12,0
Resistência à aderência (MPa)	0,57	0,59	0,57	≥ 0,3
Resistência à tração na flexão (MPa)	3,55	3,52	3,57	≥ 2,0
Resistência à Compressão (MPa)	13,98	13,45	16,85	≥ 4,0
Porosidade aberta (%)	15,34	15,89	15,19	≤ 20

* Valores encontrados fora do limite estabelecido.

Observa-se que estabelecendo um banco de dados, o programa é eficiente para gerar um traço ideal através de parâmetros pré-estabelecidos. Neste estudo, foi possível chegar no traço ideal para substituição do traço misto com cal como sendo o traço com 50% de plastificante e 50% de retentor de água, para os aditivos utilizados, obtendo resultados tão satisfatórios quanto o da cal, ou até melhores.

6. CONCLUSÃO

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este trabalho teve por objetivo principal estudar as propriedades mecânicas e de durabilidade de argamassas de revestimento mistas com cal e argamassas de revestimento com aditivos, de forma a definir proporções adequadas dos aditivos, em prol de argamassas de boa qualidade, conseguindo alcançar seu objetivo. Para isso, foi necessário cumprir os objetivos específicos estabelecidos.

6.2 DOSAGEM TRAÇO MISTO E TRAÇO ADITIVADO

Para isso, inicialmente estabeleceu-se um traço de argamassa cimento e cal, através da metodologia de SANTOS (2014) e da caracterização do agregado utilizado. Com isso, obteve-se um traço misto 1:1,08:4,41:1,82 em volume ou 1:0,51:3,33:1,07 em massa. Sendo este traço estabelecido como referência para comparação das propriedades a serem estudadas das argamassas aditivadas. Observou-se que este traço seria adequado para estabelecer um parâmetro com o traço misto utilizado em canteiro de obra.

Como este estudo teve por finalidade substituir a cal utilizada, optou-se por estabelecer o traço aditivado retirando a cal e complementando a proporção com agregado, alcançando o traço aditivado de 1:5 (em volume) a ser complementado por uma proporção de aditivos estabelecidos através de 10 combinações, ou seja 10 traços aditivados diferentes, no SIMPLEX. Sendo que os três aditivos utilizados (incorporador de ar, retentor de água e plastificante) variaram, em porcentagem, de 0% a 100% em relação a máxima porcentagem de utilização, em relação a massa de cimento, recomendada pelo fabricante. Com a obtenção dos 10 traços aditivados foi possível observar que eram adequados para a análise das propriedades SIMPLEX e que atenderiam os objetivos de possíveis substituições ao traço misto.

6.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CAL E DOS ADITIVOS NAS PROPRIEDADES E NO CUSTO DOS MATERIAIS DAS ARGAMASSAS

Tem-se como conclusões da influência dos aditivos e da cal:

- Relação água/cimento: como a metodologia estabelecia uma porcentagem inicial de água para ajustar a consistência das argamassas mistas em 260 ± 10 mm, algumas argamassas obtiveram uma relação água/cimento maior que outras devido a diferenciada proporção de aditivos. Observou-se que o retentor de água utilizado influenciou bastante no aumento do consumo da água, assim como a cal utilizada, sendo que a argamassa aditivada apresentou o fator a/c maior em apenas 0,74% que a argamassa mista. Os aditivos incorporador de ar e plastificante influenciaram no fator a/c de forma semelhante, sendo que quanto maior a proporção menor o fator a/c.
- Consistência: primeiramente observou-se que a consistência estabelecida no ajuste da argamassa, dentro do limite de 260 ± 10 mm, quando realizada na argamassadeira não permaneceu a mesma quando dosada na betoneira, sendo que as argamassas diminuíram sua consistência, excetuando a argamassa com retentor de água. Com isso, concluiu que o tipo de misturador tem forte influência na consistência das argamassas de revestimento. Contudo, apesar das consistências terem se alterado com a mudança do tipo de misturador observou-se que o padrão de comportamento continuava semelhante. Partindo do pressuposto que todas as argamassas possuíam a mesma quantidade de água, o plastificante não apresentou muita influência, possuindo um dos menores espalhamentos na mesa *Flow-Table* dos 10 traços, assim como o traço misto. Quando se diminuiu a concentração de incorporador de ar e se aumentou a de retentor de água favoreceu o aumento do espalhamento. Apesar do espalhamento semelhante apresentado pelo incorporador de ar e pelo plastificante, observou-se visualmente que ambos não eram semelhantes, pois a argamassa com mais incorporador de ar apresentava-se mais fácil de se misturar do que a argamassa com mais plastificante, e através da revisão constatou-se que de fato o método da mesa de consistência não é o mais ideal para medir argamassas aditivadas, principalmente com incorporador de ar na mistura. De acordo com a revisão, alguns métodos são mais adequados, como por exemplo: o squeeze flow ou o dropping ball.
- Retenção de água: os resultados de retenção de água das argamassas aditivadas não ficaram dentro do esperado, sendo que a retenção de água foi influenciada pelo acréscimo de plastificante na proporção de aditivos, além da

combinação de retentor de água e incorporador também obter resultados elevados. O menor resultado, 86% de retenção, foi apresentado pelo traço com somente retentor de água, que esperava-se apresentar o maior resultado, até que o da cal que foi de 91%. Com isso, realizou-se testes para avaliar se a medida havia sido baixa devido ao tempo utilizado para medição do ensaio e constatou-se que o tempo não influenciava na medida. Realizou-se ensaios de retenção com diferentes tipos de retentores e observou-se que para consistências semelhantes à argamassa de T8, que apresentou a menor retenção, o polímero de acetato de vinila e etileno apresentou retenção semelhante e o celulósico apresentou elevada retenção. Contudo, com a revisão realizada observou-se que o resultado apresentado por T8 não encontrava-se fora do encontrado por outros estudos para o método utilizado, sendo que ao utilizar o método da norma revisada os resultados de retenção costumaram ficar abaixo ao encontrado. Com isso, observou-se que o resultado encontrado apesar de ser o menor neste estudo não é insatisfatório, sendo que a utilização de retentores de água com retenção elevada também não é aconselhável pois pode prejudicar a sucção de água pelo substrato.

- Densidade no estado fresco: o incorporador de ar teve forte influencia na mistura deixando a mais leve, quanto maior a proporção de aditivo utilizado. O plastificante atuou densificando a estrutura e apresentando a maior densidade para os compostos com sua maior proporção, contudo este não foi maior que o resultado apresentado pela argamassa mista. O retentor de água não apresentou influência sensível nesta propriedade, apresentando o resultado um pouco acima da média.
- Ar incorporado teórico: foi calculado através da densidade no estado fresco e com isso observou-se que ambos apresentaram o mesmo padrão, como esperado. Sendo que, o maior teor de ar incorporado foi observado na argamassa com maior teor de incorporador de ar e o menor foi com a argamassa com maior teor de plastificante. O retentor de água não teve grande influência e a incorporação de ar apresentada pela argamassa mista foi a menor de todas. Como todos os compostos dos aditivos incorporam ligeiramente ar, justifica-se a maior incorporação de ar destes em comparação à argamassa mista.

- Densidade no estado endurecido: a densidade no estado endurecido apresentou resultado similar a densidade no estado fresco, assim como esperado, visto que a diferença de ambos é a perda de água por evaporação e a formação de poros. Com isso, observou-se que apesar do padrão ser o mesmo, com a menor densidade na maior proporção de incorporador de ar e a maior densidade com a maior proporção de plastificante, todas as densidades reduziram, caracterizando a perda de água. A argamassa mista deixou de ser a argamassa mais densa, apresentada no estado fresco, para ser a segunda argamassa mais densa no estado endurecido, de onde se conclui que está argamassa obteve uma perda de água mais elevada.
- Porosidade aberta/ teórica: na avaliação da porosidade aberta observou-se que o incorporador de ar influenciou na diminuição desta propriedade, o retentor de água influenciou no aumento da porosidade aberta, sendo que o plastificante apresentou porosidade aberta intermediária. Observou-se que a argamassa mista apresentou resultado de porosidade aberta maior do que os das argamassas aditivadas em estudo. O incorporador de ar é conhecido por incorporar ar e o menor resultado de porosidade vai contra ao seu preceito de atuação, devido essa divergência procedeu-se para o cálculo da porosidade teórica, e com isso observou-se o comportamento esperando pelos aditivos. Sendo que, o incorporador de ar apresentou a maior porosidade total e o plastificante, responsável por densificar a estrutura, a menor porosidade total. Contudo, a argamassa mista que apresentava um dos maiores resultados de porosidade aberta apresentou um dos menores resultados de porosidade total. Com isso, concluiu-se que a porosidade da argamassa mista, apesar de ser baixa, está muito interconectada, representado pelo elevado resultado de porosidade aberta. Assim como, a argamassa aditivada com 100% de incorporador de ar apresentou a maior porosidade total, como esperado, e a menor porosidade aberta, representando a boa estabilização das bolhas de ar e a não conexão entre elas.
- Absorção por imersão: observou-se que o plastificante foi o aditivo que mais influenciou na absorção por imersão, sendo que quanto maior a sua concentração, menor a absorção por imersão. O aditivo incorporador de ar não influenciou diretamente nesta propriedade. O retentor de água apesar de

apresentar absorção semelhante ao incorporador de ar influenciou mais negativamente, visto que quando diminui-se a sua concentração a absorção por imersão das argamassas diminui. A argamassa mista, quando comparada com as argamassas aditivadas, ficou semelhante ao resultado mais elevado das argamassas aditivadas (16,7%). Apesar das variações dos resultados apresentados, constatou-se que apresentaram-se bastante próximos, mas é possível constatar que os resultados com retentor de água e um pouco de incorporador de ar apresentaram a maior absorção por imersão, juntamente com a argamassa mista.

- Absorção por capilaridade: esta propriedade obteve um resultado singular, sendo que a diminuição ou o aumento não ficou vinculado a utilização de somente um tipo de aditivo. Ou seja, a maior absorção por capilaridade foi aquela obtida pela combinação dos três tipos de aditivos utilizados. O incorporador de ar, quando utilizado individualmente em 100%, resultou na menor absorção por capilaridade. O retentor de água, apesar de obter uma menor absorção por capilaridade inicialmente, em tempos mais avançados a sua absorção supera a do uso individual de 100% de plastificante. Observou-se que essa propriedade foi um exemplo de efeito colateral que pode ocorrer com a combinação dos três tipos de aditivos utilizados. Quando compara-se os traços com a argamassa mista, observou-se que esta obteve um dos resultados mais elevados, sendo inferior a apenas um traço aditivado.
- Resistência de aderência à tração: observou-se que a resistência de aderência à tração obteve seus valores mais elevados quando utilizou-se a combinação de retentor de água e plastificante. Quando utiliza-se somente o plastificante, ou o incorporador de ar, a argamassa apresenta aderência abaixo do limite recomendado para ambientes internos de 0,2 MPa. Sendo que o menor valor de todas as argamassas apresentado foi pela argamassa com somente incorporador de ar. A argamassa com somente retentor de água, apesar de não apresentar retenção de água superior as demais argamassas como mostrado no tópico de retenção de água, apresentou resultado de aderência adequado para utilização em ambientes externos, sendo superior a 0,3 MPa. Sendo assim, concluiu-se que o retentor contribuiu para o aumento da aderência, mas sua ação é majorada quando utilizado em conjunto com o plastificante. Esta

combinação torna possível uma aderência tão elevada quanto a da argamassa mista estudada.

- Resistência à tração na flexão: o resultado de tração na flexão obteve padrão semelhante ao encontrado para a resistência de aderência, sendo que os maiores resultados foram encontrados pelas argamassas com a combinação de retentor de água e plastificante, e os menores quando utilizou-se retentor de água e incorporador de ar em conjunto, e cada um em separado. A argamassa mista apresentou-se similar ao resultado mais elevado apresentado pelas argamassas aditivadas. Neste estudo, realizou-se uma adaptação dos ciclos de choque térmico apresentado pelo ABNT NBR 15575-4:2013, para os prismas e não observou-se nenhuma fissura a olho nu e nem com microscópio digital. Após este procedimento e a realização dos ensaios de tração na flexão dos corpos de prova, observou-se que alguns apresentaram redução nos valores de tração, contudo outros apresentaram resultados mais elevados, podendo ser associado a variabilidade dos corpos de prova. Com isso, concluiu-se que a quantidade de ciclos realizados (10 ciclos) não foi suficiente para mensurar a variação na resistência.
- Resistência à compressão: a resistência à compressão apresentou padrão semelhante ao apresentado pela resistência à tração, sendo que o incorporador de ar e o retentor de água influenciaram na redução dos resultados obtidos, e o plastificante contribuiu para o aumento destes valores, sendo que o resultado mais elevado também foi aquele apresentado pela combinação de plastificante e retentor de água. Quando os traços aditivados são comparados com a argamassa mista percebe-se que esta apresenta o resultado mais elevado de todos os traços dosados. Os corpos de prova envelhecidos pelos ciclos de choque térmico após serem rompidos na tração, foram rompidos na compressão. E assim como na tração na flexão, alguns resultados apresentados foram superiores e outros inferiores ao apresentado antes do envelhecimento. Com isso, concluiu-se que o envelhecimento empregado não foi suficiente para influenciar na resistência à compressão.
- Módulo de elasticidade: observou-se, que de forma geral, todas as argamassas obtiveram elevado módulo de elasticidade, acima de 17 GPa, sendo que o resultado mais elevado ocorreu na argamassa com 100% de plastificante. A

argamassa mista obteve, também, resultado elevado de módulo, ficando abaixo somente da argamassa com 100% de plastificante. O aditivo que mais influenciou nessa propriedade foi o plastificante, sendo que em teores menores de 50% deste aditivo, os valores desta propriedades não alteraram significativamente. Observando a dispersão dos resultados, foi possível ver que o método possui grande variabilidade. Contudo, ainda é possível observar que o traço somente com plastificante obteve o módulo mais elevado, seguido da argamassa mista. Os demais traços ficaram com resultados sobrepostos, com isso assumiu-se que as demais proporções não influenciaram nesta propriedade.

- Análise da porosidade com microscópio digital: através das imagens de microscópio digital foi possível estabelecer um paralelo com a incorporação de ar das argamassas. Os traços T5, T3 e T2 foram os traços que incorporaram menos ar, e com isso suas imagens ficaram semelhantes, com poros em menor concentração. Os traços T10 e T1, com maior concentração de incorporador de ar, foram os traços que apresentaram a maior proporção de poros superficiais, mas com menor diâmetro. Os demais traços, apresentaram incorporação de ar intermediária entre as amostras e com isso também apresentaram imagens semelhantes. Na imagem superficial da argamassa mista, não foi possível mensurar o tamanho dos poros presentes pois eram pequenos e em menor concentração que nas argamassas aditivadas, corroborando com o menor resultado de incorporação apresentado.
- Custo dos materiais: além de analisar as propriedades das argamassas fez-se um estudo da viabilidade econômica da substituição do traço aditivado pelo traço misto. Concluiu-se que é viável economicamente a substituição, pois o traço misto apresentou valor mais elevado, aproximadamente 480,00 R\$/m³ enquanto as argamassas aditivadas ficaram abaixo de 450 R\$/m³. Contudo foi ressaltado que os aditivos só são adquiridos comercialmente em grandes quantidades, com isso deve-se verificar a quantidade de argamassa a ser produzida. Em relação a influência dos aditivos no preço, observou-se que o aditivo retentor de água é o mais caro dos três e os aditivos plastificante e incorporador de ar possuem preços semelhantes, ou seja, o que encarece a argamassa aditivada é a maior concentração de retentor de água. Contudo, como já observado ainda permanece com o preço mais barato que o da argamassa mista.

6.4 TRAÇO IDEAL DE SUBSTITUIÇÃO

Foi possível perceber que é viável a substituição do traço misto por um traço aditivado, avaliando os materiais utilizados nesta pesquisa, levando em consideração as propriedades e o custo. Para isto, utilizou-se os resultados obtidos via SIMPLEX para que o programa estabelecesse o melhor traço de acordo com os limites das propriedades estabelecidos. O programa mostrou-se eficiente na obtenção do traço ideal desejado (50% de plastificante e 50% de retentor de água).

Ressalta-se que caso as propriedades limitantes fossem diferentes, ou seja, para outra utilização com os mesmos materiais, o programa seria capaz de encontrar o traço mais adequado dentre os propostos.

6.5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Buscando incrementar a pesquisa sobre a utilização de argamassas aditivadas para revestimento e a influência dos aditivos nas propriedades das argamassas, o presente estudo propõe algumas pesquisas futuras:

- Avaliar se os mesmos traços propostos neste estudo seriam satisfatórios com a utilização de diferentes tipos de cimento, e com areias de composição diferentes, contudo que ainda se enquadrem em areias passantes na peneira 2.4 mm;
- Realizar a mesma metodologia com aditivos retentores de água, incorporadores de ar e plastificante, com base químicas diferentes das utilizadas neste estudo para avaliar se as propriedades variariam muito dos resultados apresentados. Principalmente com a utilização de éteres de celulose com forte retenção de água pelo ensaio normatizado pela ABNT NBR 13277:1995;
- Avaliar quais seriam os resultados de retenção de água apresentados pelas argamassas aditivadas utilizando diferentes normas, internacionais e nacionais, e se é possível estabelecer uma relação entre estas normas e também com a resistência de aderência à tração;
- Avaliar se o mecanismo de atuação do aditivo retentor de água nas argamassas é influenciado pelas condições de temperatura e umidade;

- Avaliar quantos ciclos de choque térmico estabelecidos pela ABNT NBR 15574-4:2013 devem ser realizados para chegar a uma condição de envelhecimento condizente com a de campo para revestimentos que tenham anos de aplicação. Além de verificar a possibilidade de estabelecer correlações entre quantos ciclos seriam necessários para simular cada idade do revestimento;
- Avaliar qual seria a diferença para a resistência de aderência para as argamassas aditivadas em ambiente de campo, com cura normal, com cura úmida para as argamassas aditivadas;
- Avaliar se as argamassas apresentadas neste estudo aplicadas em condição de campo, seguindo todos os passos adequados de aplicação, e a longo prazo, se continuariam íntegras ou apresentariam patologias. Caso apresentassem qual seria a gravidade;
- Estabelecer correlações entre o módulo de elasticidade por ressonância forçada e a possibilidade de fissuração ou deslocamento do revestimento;
- Avaliar se o método Squeeze-Flow ou mesmo se o Dropping Ball são adequados para mensurar a reologia das argamassas, principalmente das argamassas aditivadas com incorporador de ar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, p. 28. 2002. (85-87024-23-X).

ABCP. **Manual de Revestimentos de Argamassa**. Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). São Paulo, p. 104. 2003.

ABREU, M. M. M.; LEITAO, V.; LUCAS, J. C. **Modelling The Behavior of Ceramic Tile Coatings**. VIII World Congress on Ceramic Tile Quality. Castellón: [s.n.]. 2004.

AFRIDI, M. U. K. et al. Water Retention and Adhesion of Powdered and Aqueous Polymer-Modified Mortars. **Cement and Concrete Composites**, v. 17, p. 113-118, 1995.

ALVES, G. P.; RACHID, L. E. F. Evaluation of Constructive Pathological Manifestations in Public Buildings: The Olympic Stadium of Cascavel City, PR. In: DELGADO, J. M. P. Q. **Case Studies of Building Pathology in Cultural Heritage**. Porto: Springer, v. VII, 2016. Cap. 1.

ALVES, N. J. D.; WANDERLEY DO Ó, S. Aditivos incorporadores de ar e retentores água. In: BAUER, E. **Revestimentos de argamassa: Características e Peculiaridades**. [S.l.]: [s.n.], 2005.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 116R-00: Cement and Concrete Terminology**. Michigan. 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ANSI-A 108.1: Handbook for Ceramic Tile Installation**. Pennsylvania. 1995.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 206-03: Standard Specification for Finishing Hydrated Lime**. Pennsylvania. 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 204-05: Fineness of Hydraulic Cement**. Pennsylvania. 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 139-06: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates**. Pennsylvania. 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C215: Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Frequencies of Concrete Specimens**. Pennsylvania, p. 7. 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C642-13: Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete**. Pennsylvania. 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1506: Standard Test Method for Water Retention of Hydraulic Cement-Based Mortars and Plasters**. Pennsylvania. 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 1185-8: Standard test methods for sampling and testing non-asbestos fiber-cement flat sheet, roofing and siding shingles, and clapboards**. Philadelphia, p. 2012.

ANEPAC. Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados, 2017. Disponível em: <<http://www.anepac.org.br/agregados/areia-e-brita>>. Acesso em: 11 Dezembro 2017.

AOKI, J. Cal Virgem ou Hidratada? **Massa Cinzenta**, 2009. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/cal-virgem-ou-hidratada/>>. Acesso em: 14 Agosto 2017.

ARANDIGOYEN M, P. B. J. B. L. M. A. J. Lime-pastes with different kneading water: pore structure and capillary porosity. **Appl Surf Sci**, p. 1449-1459, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200: Execução de Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas - Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 13. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro, p. 7. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland: Requisitos**. Rio de Janeiro. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200/82: Revestimento de Paredes e Tetos com Argamassas. Materiais, Preparo, Aplicação e Manutenção**. Rio de Janeiro. 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11172: Aglomerantes de origem mineral**. Rio de Janeiro. 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732: Cimento Portland Comum**. Rio de Janeiro. 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas**. Rio de Janeiro, p. 8. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13530: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas**. Rio de Janeiro. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 76: Cimento Portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade de ar (Método de Blaine)**. Rio de Janeiro. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175: Cal hidratada para argamassas - Requisitos**. Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água.** Rio de Janeiro, p. 3. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, p. 9. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, p. 9. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** Rio de Janeiro, p. 2. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro, p. 3. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, p. 4. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15630: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica.** Rio de Janeiro, p. 4. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos.** Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregado para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro, p. 11. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935: Agregados - Terminologia.** Rio de Janeiro. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579: Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75mm (nº 200).** Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade.** Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE**. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16648: Argamassas inorgânicas decorativas para revestimento de edificações - Requisitose métodos de ensaio**. Rio de Janeiro. 2018.

BACIENSE, A. V. et al. Utilização do planejamento experimental na incorporação de resíduos da indústria cerâmica em argamassa para obtenção de capacidade de retenção de água. **Cerâmica**, p. 395-403, 2008.

BARABANSHCHIKOV, Y.; KOMARINSKIY, M. Effect of Air-Entraining Agent LHD on the Technological Properties of Concrete Mix Containing Superplasticizer S-3. **Applied Mechanics & Materials**, v. 740, p. 419-424, 2014.

BASTOS, P. S. D. S. **Fundamentos do Concreto Armado**, Bauru, p. 98, 2006. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf>>. Acesso em: 1 Março 2017.

BATTAGIN, A. F. Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. [S.l.]: IBRACON, 2011. Cap. 6, p. 185-232.

BAUER, E. Sistema de Revestimento de Argamassa - Generalidades. In: BAUER, E. **Revestimentos de Argamassa: Características e Peculiaridades**. [S.l.]: [s.n.], 2005. p. 7-15.

BAUER, E.; SOUSA, J. G. G. D. Materiais Constituintes e suas Funções. In: BAUER, E. **Revestimentos de Argamassa: Características e Peculiaridades**. [S.l.]: [s.n.], 2005. p. 15-22.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BAUER, R. J. F. Falhas em Revestimentos. In: BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5ª. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., v. II, 2005. Cap. 30.

BOUKENDAKDJI, O. et al. Effect of viscosity modifying admixtures on the workability and mechanical resistances of self compacting mortars. **Journal Materials Environmental Science**, p. 558-565, 2016.

BOYNTON, R. S. **Chemistry and Technology of Lime and Limestone**. 2ª. ed. [S.l.]: Wiley Interscience, John Wiley and Sons Inc., 1980.

BRITISH ADOPTED EUROPEAN STANDARD. **BS EN 933-2: Tests for geometrical properties of aggregates. Determination of particle size distribution. Test sieves, nominal size of apertures**. Brussels. 1996.

BRITISH ADOPTED EUROPEAN STANDARD. **BS EN 1097-3: Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of loose bulk density and voids**. Brussels. 1998.

BRITISH ADOPTED EUROPEAN STANDARD. **BS EN 1015-10: Methods of test for mortar for masonry. - Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar**. [S.l.]. 1999.

BRITISH ADOPTED EUROPEAN STANDARD. **BS EN 1015-11: Methods of test for mortar for masonry. Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar.** Brussels, p. 12. 1999.

BRITISH ADOPTED EUROPEAN STANDARD. **BS EN 459: Building lime. Definitions, specifications and conformity criteria.** Brussels. 2010.

BRITISH STANDARD. **BS 812-103:1: Testing aggregates – Part 103: Methods for determination of particle size distribution – Section 103.1 Sieve tests.** London. 1985.

BRITISH STANDARD. **BS 812-2: Testing aggregates. Methods for determination of density.** London. 1995.

BRITISH STANDARDS. **BS 1881-203: Testing concrete. Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete.** [S.l.]. 1986.

CALLISTER JR., W. D. **Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução.** 5ª. ed. Rio de Janeiro: LTC , 2002.

CAMPOS, I. M. Cal Hidratada nas argamassas. **Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura - Fórum da Construção**, 2012. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=31&Cod=101>>. Acesso em: 14 Agosto 2017.

CAO, J.; CHUNG, D. D. L. Damage Evolution during freeze-thaw cycling of cement mortars studied by electrical resistivity measurement. **Cement and Concrete Research**, p. 1657-1661, 2002.

CAPPELLARI, M.; DAUBRESSE, A.; CHAOUCHÉ, M. Influence of organic thickening admixtures on the rheological properties of mortars: Relationship with water-retention. **Construction and Building Materials** , p. 950-961, 2013.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos: Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** Tese Doutorado (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 285. 1996.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo: IBRACON, v. II, 2007. Cap. 26.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2010. Cap. 28.

CARASEK, H. et al. Avaliação em obra da resistência superficial de revestimentos de argamassa. **ALCONPAT**, v. I, p. 115-135, Maio-Agosto 2011.

CARASEK, H. et al. Sand Parameters influencing the consistency and bulk density of renderings mortars. **Revista Matéria**, p. 714-732, 2016. ISSN 1517-7076.

CARASEK, H.; CASCUDO, O. **Descolamento de revestimentos de argamassa aplicados sobre estruturas de concreto - Estudos de casos brasileiros.** 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. [S.l.]: [s.n.]. 2007.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa.** IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília: [s.n.]. 2001. p. 43-67.

- CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A. **Dosagem de Argamassas Através de Curvas Granulométricas**. Boletim Técnico - Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, p. 18. 1999.
- CARRAN, D. et al. A short history of the use of lime as. **Int. J. Archit. Herit**, p. 117-146, 2012.
- CARVALHO JUNIOR, A. N. **Técnicas de Revestimento**. Belo Horizonte: DEMC-EE.UFMG, 1999.
- CARVALHO JUNIOR, A. N. D. **Avaliação da Aderência dos Revestimentos Argamassados: Uma Contribuição à Identificação do Sistema de Aderência Mecânico**. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgia e de Minas) - UFMG. Belo Horizonte, p. 331. 2005.
- CARVALHO JUNIOR, A. N. D. **Tecnologia das Edificações III**. Material didático (Graduação em engenharia civil) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 54. 2012.
- CAVANI, G. R.; OLIVEIRA, M. C. B. **Investigação das causas das fissuras e descolamentos de revestimento de argamassa de fachada**. Congresso Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte: [s.n.]. 2002. p. 44.
- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. **Certification CSTB desenduits monocouches d'imperméabilisation – Cahier MERUC. Livraison 341, cahier 2669-3**. Paris. juillet-août 1993.
- CEOTTO, L. H.; BANDUK, R. C.; NAKAKURA, E. H. (Eds.). **Revestimentos de Argamassa: boas práticas em projeto, execução e avaliação**. Porto Alegre: ANTAC, v. I, 2005.
- CHEUNG, J. et al. Impact of admixture on the hydration kinetics of Portland cement. **Cement and Concrete Research**, p. 1289-1309, 2011.
- CHEW, M. Y. L.; TAN, P. P. Facade staining arising from design features. **Construction and Building Materials**, p. 181-187, 2003.
- CHIOCCHIO, G.; PAOLINI, A. E. Optimum time for adding superplasticizers to Portland cement pastes. **Cement and Concrete Research**, p. 901-908, 1985.
- COSTA, M. R. M. M. D.; PEREIRA, E. **Tecnologia de Argamassas - Notas de aula**. Universidade Federal do Paraná. Paraná, p. 106. 2016.
- COUTINHO, A. S. **Fabrico e Propriedades do Betão**. Lisboa: LNEC, 1997.
- DAFICO, D. D. A.; FERRO, K. M. D. S.; CAVALCANTE, M. C. D. O. **Análise de Desempenho de Aditivos impermeabilizantes para argamassas**. I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo: [s.n.]. 2004.
- DESTEFANI, A. Z.; HOLANDA, J. N. F. Utilização do planejamento experimental em rede Simplex no estudo de resíduos de rocha ornamental como filler para obtenção máxima compacidade. **Cerâmica**, p. 491-498, 2011.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 18555-7: Testing of mortars containing mineral binders - Part7: Determination of Water Retentivity of Freshly Mixed Mortar by the Filter Plate Method.** [S.l.]. 2000.

DO Ó, S. W. E. B.; SALLES, M. J. A. **Influência do aditivo retentor de água nas propriedades reológicas de agamassas de revestimentos.** XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis: ENTAC. 2006.

DO Ó, S. W.; BAUER, E. **Avaliação das metodologias empregadas para determinação da retenção de água em argamassas de revestimento aditivadas.** I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável/ X Encontro Nacional de Tecnologia do ambiente contruído. São Paulo: [s.n.]. 2004. p. 9.

ESQUIVEL, J. T. **Avaliação da Influência do Choque Térmico na Aderência dos Revestimentos de Argamassa.** Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 262. 2009.

EUROPEAN STANDARD. **EN 1015-18: Methods of test for mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillarity action of hardened mortar.** [S.l.]. 2002.

EUROPEAN STANDARDS. **EN 1015-6: Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar.** [S.l.]. 1998.

EUROPEAN STANDARDS. **EN 1015-7: Methods of test for mortar for masonry - Part 7: Determination of air content of fresh mortar.** [S.l.]. 1998.

EUROPEAN STANDARDS. **EN 1015-3: Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table).** [S.l.]. 1999.

EUROPEAN STANDARDS. **EN 1008: Mixing water for concrete - Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete.** [S.l.]. 2002.

EUROPEAN STANDARDS. **EN 934-2: Admixtures for concrete, mortar and grout - Part 2: Concrete admixtures - Definitions, requirements, conformity, marking and labelling.** [S.l.]. 2012.

EUROPEAN STANDARDS. **EN 480-1: Admixtures for concrete, mortar and grout - Test methods - Part 1: Reference concrete and reference mortar for testing.** [S.l.]. 2014.

EUROPEAN STANDARDS. **EN 1015-12: Methods of test for mortar for masonry - Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates.** [S.l.]. 2016.

FARIA, P.; SANTOS, T.; AUBERT, J. **Experimental Characterization of an Earth Eco-Efficiente Plastering Mortar.** Journal of Materials in Civil Engineering. [S.l.]. 2015.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos:** Estudos e procedimentos de execução. 2^a. ed. São Paulo: PINI, 2009.

FORTI, E. Z. **Influência da cal hidratada nas características da argamassa de revestimento realizada em obra.** [S.l.]. 2017.

FU, Y.; CAI, L.; WU, Y. Freeze-thaw cycle test and damage mechanics models of alkali activated slag concrete. **Construction and Building Materials**, p. 3144-3148, 2011.

GASPAR, P. L.; BRITO, J. D. Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: A comparison between different degradation indicators. **Building and Environment**, n. 43, p. 1818-1828, 2008.

GASPAR, P. L.; BRITO, J. D. **Durabilidade, estados limite e vida útil de rebocos em fachadas**. 3º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. Lisboa- Portugal: APFAC. 2010.

GOLCASZEWSKI, J.; SZWABOWSKI, J. Influence of superplasticizers on rheological behaviour of fresh cement mortars. **Cement and concrete research**, p. 235-248, 2004.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal - Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**. 2ª. ed. São Paulo: PINI, 2002.

GULBE, L.; VITINA, I.; SETINA, J. The influence of cement on properties of lime mortars. **Procedia Engineering**, p. 325-332, 2017.

HAACH, V. G.; VASCONCELOS, G.; LOURENÇO, P. B. Influence of aggregates grading and water/cement ratio in workability and hardened properties of mortars. **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 2980-2987, 2011.

HADDAD, L. D. et al. Analysis of Influence of The Fine Aggregate Particle Size in The Mechanical Properties and Durability of Coating Mortar. **Science & Engineering Journal**, v. 25, n. 1, p. 7-16, Junho 2016. ISSN 1983-4071.

HANEHARA, S.; YAMADA, K. Interaction between cement and chemical admixture from the point of cement hydration, absorption behavior of admixture, and paste rheology. **Cement and Concrete research**, p. 1159-1165, 1999.

HARTMANN, C. et al. Aditivos Químicos para concretos e cimentos. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e tecnologia**. [S.l.]: IBRACON, 2011. p. 347-380.

HERMANN, A.; ROCHA, J. P. D. A. **Pesquisa de viabilidade da utilização da argamassa estabilizada modificada para revestimento sem a necessidade de aplicação do chapisco**. [S.l.]. 2013.

HUA, O. Z.; GUO, M. B.; WEI, J. S. Influence of cellulose ethers molecular parameters on hydration kinetics of Portland cement at early ages. **Construction and Building Materials**, p. 78-83, 2012.

HWANG, E. H.; KO, Y. S. Comparison of mechanical and physical properties of SBR - polymer modified mortars using recycled waste materials. **Journal os Industrial and Engineering Chemistry**, v. XIV, p. 644-650, Setembro 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8336: fibre-cement flat sheets**. Geneva. 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12439: Mixing water for concrete**. Geneva, p. 14. 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15686-1: Buildings and constructed assets -- Service life planning -- Part 1: General principles and framework**. Geneva, p. 21. 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15686-2: Buildings and constructed assets: Service life planning - Part 2: Service life prediction procedures**. Geneva, p. 25. 2012.

ISAIA, G. C. A Água no Concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, v. I, 2011. p. 311-346.

IZAGUIRRE, A.; LANAS, J.; ÁLVAREZ, J. I. Effect of water-repellent admixtures on the behaviour of aerial lime-based mortars. **Cement and Concrete Research**, p. 1095-1104, 2009.

IZAGUIRRE, A.; LANAS, J.; ÁLVAREZ, J. I. Characterization of aerial lime-based mortars modified by the addition of two different water-retaining agents. **Cement and Concrete composites**, p. 309-318, 2011.

JANTSCH, A. C. A. **Análise do desempenho de argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes**. Dissertação (Mestrado em materiais de construção) – Universidade Federal de Santa Maria. [S.l.]. 2015.

JIESHENG, L. et al. Properties of Polymer-Modified Mortar Using Silaneas an Integral Additive. **Journal of Testing and Evaluation**, v. 44, n. 1, p. 1-8, 2016. ISSN 0090-3973.

KHAYAT, K. H. Frost durability of concrete containing viscosity-modifying admixtures. **ACZ Muter J.**, p. 625-633, 1995.

KHAYAT, K. H. Viscosity-enhancing admixtures for cement-based materials – an overview. **Cement and Concrete Composites**, p. 171-188, 1998.

KHUDHAIR, M. H. R.; ELYOUBI, M. S.; ELHARFI, A. Study of the influence of water reducing and setting retarder admixtures of polycarboxylate“superplasticizers” on physical and mechanical properties of mortar and concrete. **Journal of Materials and Environment Sciences**, p. 56-65, 2018.

KHUDHAIR, M.; YOUBI, M. S. E.; ELHARFI, A. Study of the influence of a high water-reducing super plasticizer and accelerator of setting time on the physical properties and mechanical performance of. **Research Journal of Pharmaceutical , Biological and Chemical Sciences**, 2017. ISSN 0975-8585.

KIM, Y. S.; -J.KANG, H. Effect of Cellulose Based Water Retention Additives on Mechanical Properties of Cement Based Mortar. **Polymer Korea**, v. 39, p. 820-826, 2015.

KNAPEN, E.; GEMERT, D. V. Cement Hydration and Microstructure Formation in the Presence of Water-Soluble Polymers. **Cement and Concrete Research**, v. 39, p. 6-13, 2009.

LACHEMIA, M. et al. Performance of new viscosity modifying admixtures in enhancing the rheological properties of cement paste. **Cement and Concrete research**, p. 185-193, 2004.

LARA, D. et al. **Dosagem das argamassas**. Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Goiânia: ANTAC. 1995. p. 63-72.

ŁAŻNIEWSKA-PIEKARCZYK, B.; MIERA, P.; SZWABOWSKI, J. Plasticizer and Superplasticizer Compatibility with Cement with Synthetic and Natural Air-Entraining Admixtures.. **Materials Science and Engineering**, 2017.

- ŁAŻNIEWSKA-PIEKARCZYK, B.; SZWABOWSKI, J. Stability of air-content in the case of innovative air-entraining Portland multicomponent cement. **Procedia Engineering**, p. 559-567, 2015.
- LEI, L.; PLANK, J. Synthesis, working mechanism and effectiveness of a novel cycloaliphatic superplasticizer for concrete. **Cement and Concrete Research**, 2012.
- LENART, M. Impact Assessment of Lime Additive and Chemical Admixtures on Selected Properties of Mortars. **Procedia Engineering**, p. 687-696, 2013.
- LI, L. G.; KWAN, A. K. H. Mortar design based on water film thickness. **Construction and Building Materials**, 2011. 2381-2390.
- LOBO, P. L. M.; OLIVARES, F. H. Determinación por procedimientos físico-mecánicos de la dosificación de agua en morteros monocapa. Su incidencia en la aparición de patologías en la obra terminada. **Informes de la Construcción**, p. 43-53, 2007.
- LORDSLEEN JR., A. C.; MAORAIS, G. A. T. D. Mortar Coating by Mechanical Projection: Characterization and Indicators. **EJGE**, v. 20, p. 9969-9982, 2015.
- MAIA NETO, F.; SILVA, A. D. P.; CARVALHO JUNIOR, A. N. D. **Patologia de Revestimentos em Fachadas**. Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias. Porto Alegre, p. 12. 1999.
- MEDEIROS, H. Planejamento: Cimentos. **Equipe de Obra**, n. 34, Março 2011. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/34/cimentos-conheca-os-produtos-mais-adequados-as-caracteristicas-e-211891-1.aspx>>. Acesso em: 13 Dezembro 2017.
- MEHTA, P.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2014.
- MENDES, J. C. et al. Mechanical, rheological and morphological analysis of cement-based composites with a new LAS-based air entraining agent. **Construction and Building Materials**, p. 648-661, 2017.
- MENG, L. et al. Shape and size effects on the packing density of binary spherocylinders. **Powder Technology**, v. 228, p. 284-294, 2012.
- MINITAB. **Minitab Support: What is the degree of a lattice?** MINITAB. [S.l.]. 2018.
- MOSQUET, M. **New generation admixtures**. Budownictwo Technologie Architektura, Special Publication. [S.l.]. 2003.
- MOTA, J. M. F. et al. **Análise em obra da resistência de aderência de revestimentos de argamassa com o preparo do substrato com solução de cal e chapisco**. X Congresso Latinoamericano de Patologia. Valparaiso - Chile: CONPAT. 2009.
- MULLER, A. **Efeitos da sílica ativa e de látex polímero EYLC sobre as características de argamassas de assentamento**. Dissertação. [S.l.]. 1999.
- MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C. Experiments with Mixtures. In: MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C. **Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Design Experiments**. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1995. Cap. 11, p. 355-615.

- NARCISO DA SILVA, P. J. P. G.; GOMES, L. A. **Metodologia para avaliação da fissuração em revestimento de argamassa**. VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Curitiba: [s.n.]. 2009.
- NASCIMENTO, O. L. D. **Estudo do comportamento de aderência de argamassas de chapisco para revestimentos sobre superfícies de concreto de cimento Portland CPIII**. Dissert. [S.I.]. 2005.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- NORME FRANÇAISE. **NF DTU 26.1 P1-1: Travaux d'enduits de mortiers - Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques**. [S.I.]. 2008.
- OLIVEIRA, A. L. et al. Influência do uso de aditivo retentor de água à base de éter de celulose nas propriedades das argamassas de assentamento em alvenaria estrutural de blocos de concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, p. 57-59, 2015.
- OLIVEIRA, L. A.; FONTENELLE, J. H.; MITIDIARI FILHO, C. V. Durabilidade de fachadas: método de ensaio para verificação da resistência à ação de calor e choque térmico. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, p. 53-67, 2014.
- OLIVEIRA, T. F. D. et al. The effect of the substitution of hydrated lime with phyllite on mortar quality. **Applied Clay Science**, p. 113-117, 2015.
- OLIVEIRA, V.; BAUER, E.; SANTOS, M. **Behavioral study of stabilized rendering mortars as the susceptibility of fissuration**. XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas. Ceara - Brasil: [s.n.]. 2017.
- OZTURK, A. U.; BARADAN, B. Effects of admixture type and dosage on microstructural and mechanical properties of cement mortars.. **KSCE Journal of Civil Engineering**, 2011.
- PAES, I. N. et al. Influence of water transportation inside a mortar/block system on bonding resistance behavior. **Revista Ingenieria de Construccion**, p. 175-186, 2014.
- PAIVA, H. et al. Effects of a Water-Retaining Agent on the Rheological Behavior of a Single-Coat Render Mortar. **Cement and Concrete Research**, v. 36, p. 1257-1262, 2006.
- PAIVA, H. et al. Rheology and hardened properties of single-coat render mortars with different types of water retaining agents. **Construction and Building Materials**, p. 1141-1146, 2009.
- PAIVA, S. C.; GOMES, E. A. D. O.; OLIVEIRA, R. A. D. Controle de qualidade da cal para argamassas-metodologias alternativas. **Revista Ciência e Tecnologia**, 2007.
- PAN, H.; WENG, G. Investigation of the Age-Dependent Constitutive Relations of Mortar. **Journal of Engineering Mechanics**, p. 297-306, 2012.
- PATURAL, L. et al. Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement-based mortars. **Cement and Concrete Research**, p. 46-55, 2011.
- PENG, Y.; HU, S.; DING, Q. Dense Packing Properties of Mineral Admixtures in Cementitious Material. **Particuology Science and Technology of Particles**, n. 7, p. 399-402, 2009.

PIERRE, A.; PERROT, A.; GUEVEL, Y. Cellulose ethers and cement paste permeability. **Cement and Concrete Research**, p. 117-127, 2015.

POURCHEZ, J. et al. HEC influence on cement hydration measured by conductometry. **Cement and Concrete Research**, p. 1777-1780, 2006.

POURCHEZ, J. et al. Some aspects of cellulose ethers influence on water transport and porous structure of cement-based materials. **Cement and Concrete Research**, p. 242-252, 2010.

PUERTAS, F. et al. Polycarboxylate superplasticiser admixtures: effect on hydration, microstructure and rheological behaviour in cement pastes. **Advances in Cement Research**, p. 77-89, 2005.

RAO, G. A. Generalization of Abrams' law for cement mortars. **Cement and Concrete Research**, n. 31, p. 495-502, 2001.

RATH, S. et al. Improving the stability of entrained air in self-compacting concrete by optimizing the mix viscosity and air entraining agent dosage. **Construction and Building Materials**, p. 531-537, 2017.

RAVINDRARAJAH, D. R.; MANSOUR, M. **Current Practices on Cement Rendering in Australia**. 1st International Conference on Rehabilitation. Solo, Indonesia: [s.n.]. Março 2009.

REICHEL, A.; HOCHBERG, A.; KÖPKE, C. **Plaster, Renders, Paint and Coatings**. Basel: Birkhäuser, 2004.

RESENDE, P. S. D. O. **Efeito do ar incorporado em argamassas de revestimento**. (Tese de Mestrado). Goiânia: Universidade Federal de Goiás. 2010.

ROMANO, R. C. D. O.; TORRES, D. D. R.; PILEGGI, R. G. Impact of aggregate grading and air-entrainment on the properties of fresh and hardened mortars. **Construction and Building Materials**, p. 219-226, 2015.

SAELI, M. et al. Photocatalytic nano-composite architectural lime mortar for degradation of urban pollutants under solar and visible (interior) light. **Construction and Building Materials**, v. 152, p. 206-213, Julho 2017.

SALOMÃO, M. C.; BAUER, E. **Estudo da estrutura porosa de argamassas de revestimento a partir de ensaios de capilaridade e microscopia**. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Maceio - Alagoas: [s.n.]. 2014.

SANTOS, W. J. D. **Desenvolvimento de Metodologia de Dosagem de Argamassas de Revestimento e Assentamento**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 179. 2014.

SANTOS, W. J. D. et al. Prescrições para construções de edificações residenciais multifamiliares com base nas patologias identificadas na cidade de Viçosa - MG. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, p. 104-123, Agosto 2014.

SANTOS, W. J. D. et al. Proposta de método de dosagem para argamassas de revestimento com areia artificial de britagem. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 2018. 225-243.

SBRIGHI NETO, C. Agregados Naturais, Britados e Artificiais para concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. [S.l.]: IBRACON, 2011. Cap. 7, p. 231-260.

SEABRA, M. P.; LABRINCHA, J. A.; FERREIRA, V. M. Rheological behavior of hydraulic lime-based mortars. **Journal of the European Ceramic Society**, p. 1735-1741, 2007.

SELMO, S. M. S.; HELENE, P. R. L. **Dosagem de Argamassa de Cimento Portland e Cal para Revestimento Externo de Fachadas dos Edifícios**. Boletim Técnico - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1991.

SENTENA, J. A. A.; KAZMIERCZAK, C. D. S.; KREIN, L. A. Degradação de revestimentos de argamassa com finos de resíduos de concreto por ciclos térmicos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, p. 211-224, 2018.

SICAKOVA, A.; DRAGANOVSKA, M.; KOVAC, M. Water absorption coefficient as a performance characteristic of building mixes containing fine particles of selected recycled materials. **Procedia Engineering**, v. 180, p. 1256-1265, 2017.

SILVA, A. et al. **Avaliação de propriedades mecânicas de argamassas de revestimento através do módulo de elasticidade dinâmico**. Universidade Técnica de Lisboa, PATORREB. Lisboa. 2015.

SILVA, A. J. D. C. E. et al. **An Experimental Study on How Treated Bases Influence the Adhesion of Mortar Coatings**. XII International Conference on Durability of Building Materials and Components. Porto - Portugal: [s.n.]. 2011.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. **Influência dos finos e da cal nas propriedades das**. XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis: XI ENTAC. 2006.

SIMINA, M. et al. Monitoring the Air Influence on Cement–Lime Mortar Hydration Using Low-Field Nuclear Magnetic Resonance Relaxometry. **Applied Magnetic Resonance**, 2012.

SNOW, J.; TORNEY, C. Lime mortar in traditional buildings. Edinburgh: Historic Scotland, 2014. Cap. 6. ISBN 978-1-84917-177-5.

SOUZA, A. T. et al. Behavior of mortar coatings subjected to extreme conditions: Lack of curing and no substrate moistening. **International Journal of Science and Engineering Investigations**, v. VII, n. 75, p. 1-7, Abril 2018. ISSN 2251-8843.

SOUZA, J. S. D. et al. Study of damage distribution and intensity in regions of the facade. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, 2016.

SPIRATOS, N. et al. **Superplasticizer for concrete: fundamentals, technology and practice**. Quebec: AGMV Marquis, 2003.

THIRUMALINI, S.; RAVI, R.; RAJESH, M. Experimental investigation on physical and mechanical properties of lime mortar: Effect of organic addition. **Journal of Cultural Heritage**, 2017.

TORRES, I.; VEIGA, R.; FREITAS, V. P. **The influence of the substrate characteristics on the behavior of the mortar**. XIII DBMC - International Conference on Durability of Building Materials and Components. [S.l.]: [s.n.]. 2014. p. 789-796.

WESTERHOLM, M. et al. Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars. **Cement and Concrete Composites**, v. 30, p. 274-282, 2008.

WETZEL, A.; AREND, J. **Adsorbance of superplasticizers on concrete additives: microstructural in-situ experiments**. 15th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials. Delft, The Netherlands: [s.n.]. 2015.

WU, B. et al. Study on the Performance on Some Admixture of Sulphoaluminate Cement Waterproof Mortar. **Applied Mechanics and Materials**, v. 740, p. 47-50, 2015.

XU, J. et al. Application of Electrodeposition Method in Upgrading Mortar Durability. **Journal of Advanced Concrete Technology**, Japão, v. 13, p. 367-372, Julho 2015.