

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO COMPORTAMENTAL DA FORMULAÇÃO, DOS
REQUISITOS, E DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS
ESTABILIZADAS DE REVESTIMENTO**

VALÉRIA COSTA DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: ELTON BAUER

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO: E.DM-010A/17
BRASÍLIA/DF: ABRIL – 2017**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO COMPORTAMENTAL DA FORMULAÇÃO, DOS
REQUISITOS E DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS
ESTABILIZADAS DE REVESTIMENTO**

VALÉRIA COSTA DE OLIVEIRA

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU
DE MESTRE EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.**

APROVADA POR:

**Prof. Elton Bauer, Dr. (ENC-UnB)
(Orientador)**

**Prof^a. Valdirene Maria Silva Capuzzo, Dr^a (ENC-UnB)
(Examinador Interno)**

**Prof. Francisco Gabriel Santos Silva, Dr. (UFBA)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 07 DE ABRIL DE 2017.

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, VALÉRIA COSTA DE

Estudo Comportamental da Formulação, dos Requisitos e das Propriedades das Argamassas Estabilizadas de Revestimento. [Distrito Federal] 2017.

xxii, 245p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2017).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Argamassas Estabilizadas

2. Tempo de estabilização

3. Comportamentos

4. Formulações

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, V. C. (2017). Estudo Comportamental da Formulação, dos Requisitos e das Propriedades das Argamassas Estabilizadas de Revestimento. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-010A/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 245 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Valéria Costa de Oliveira

TÍTULO: Estudo Comportamental da Formulação, dos Requisitos e das Propriedades das Argamassas Estabilizadas de Revestimento.

GRAU: Mestre

ANO: 2017

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Valéria Costa de Oliveira

AV. Rio Madeira, 5045, casa 33, Industrial.

CEP 76821-191 Porto Velho-RO, Brasil.

E-mail: valeria.oliveira@ifro.edu.br

Dedico este trabalho à Deus e minha família.

**“O temor do senhor é o princípio da sabedoria, e o conhecimento do
Santo a prudência”**

(Provérbios 9.10)

AGRADECIMENTOS

A Deus, que esteve comigo em todos os momentos. Que possibilitou a perseverança, os amigos mais verdadeiros, a união com a família, e a orientação dos caminhos a serem percorridos até aqui!

A meus pais, Maria das Graças e Valdemir, que além do amor incondicional, estiveram zelando pela minha casa, pelos meus filhos e orando por mim.

Ao meu esposo Emerson Ricardo, pela parceria, amor, compreensão e dedicação, que aguentou firme e não desistiu de mim. Aos meus filhos Felipe e Natália, meus presentes de Deus, que apesar de necessitarem da minha presença, dos meus cuidados, me deram carinhos e palavras de força para que eu continuasse. Não cabem palavras para agradecer à minha família pelo que representam, vocês são minha base.

À professora Maria Luiza Lopes de Oliveira Santos, minha amiga e incentivadora para que eu cumprisse o mestrado, por sua indicação, seus ensinamentos e carinho. Ao professor Carlos Augusto Bauer Aquino, meu amigo do IFRO, pelos incentivos e indicação ao mestrado. Vocês foram as pessoas mais importantes para o início do curso.

Ao Professor Elton Bauer, pela excelente orientação prestada nestes dois anos de mestrado, não só no período da escrita da dissertação, mas pelos cuidados durante o Programa experimental, na visita junto as empresas, na parceria do recebimento dos materiais e contribuição ao aprendizado e formação. Sua dedicação, humildade e amizade foram importantes para construção dos meus conhecimentos. Muito obrigada por tudo que fizestes por mim.

Ao professor Cláudio, pela disposição e contribuição, junto com o professor Bauer, da ministração da disciplina de Revestimentos e discussão dos resultados.

A professora Valdirene, sempre contribuindo com as experiências durante a etapa experimental, motivando e torcendo para que eu concluísse com êxito o mestrado.

Aos Professores Francisco Gabriel Santos Silva e Valdirene Maria Silva Capuzzo que gentilmente aceitaram o convite de compor a banca e contribuíram para este trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC) da Universidade de Brasília.

Aos colegas do PECC que se tornaram amigos. Em especial, agradeço à: Mayara, minha irmã de coração, com quem dividimos horas de tristezas e alegrias, uma auxiliando a outra, compartilhando conhecimentos e confortando a distância da família. Matheus, um amigo sempre disposto a ajudar no que fosse preciso, a compartilhar conhecimentos e até

descarregar uma carrada de areia. Alexandre, que mesmo sem me conhecer foi lá e ajudou o Matheus, e que cativou nossa amizade. Elaine, amiga querida, partilhamos muitas atividades do PECC. Juliana, uma amiga especial, obrigada pelo compartilhamento de conhecimentos, troca de experiências profissionais, além da divisão dos momentos de força e perseverança. Sheilla, Divino, Dyaloisio, Elier, Jéssica, Lilian, Lucas, Michele, Mirellen, Júlia, Luiza, Pablo, Carlos Eduardo Monte, Thyala, Vanda. Muito obrigado por toda ajuda e amizade!

Obrigada aos técnicos do Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM-UnB) Washington, um amigo que ganhei, aprendi muito com você, sua humildade mostrou-me que apesar de todas as dificuldades que a vida nos impõe, um sorriso é sempre bem vindo. Ao Emerson que esteve auxiliando nas práticas do laboratório.

Aos secretários do PECC Eva e Ricardo por toda ajuda nestes dois anos.

Agradeço a empresa Concrecon, em especial a engenheira Pilar Guzmán.

Agradeço a empresa MC-Bauchemie, em especial ao representante Felipe.

Agradeço também à Universidade de Brasília (UnB), instituição que sempre admirei e tive o sonho de estar ali um dia. Obrigado pela oportunidade!

Ao Instituto Federal de Rondônia (IFRO) pelo apoio financeiro, na forma de pagamento do meu salário, mesmo afastada para estudar.

À Socorro, Osmar e Itamar que em muitos momentos, ao longo dos 24 meses do mestrado, me acolheram em suas casas e em suas famílias.

A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram com a realização desta dissertação. Meu eterno obrigado a todos!

RESUMO

ESTUDO COMPORTAMENTAL DA FORMULAÇÃO, DOS REQUISITOS, E DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS ESTABILIZADAS DE REVESTIMENTO

Autor: Valéria Costa de Oliveira

Orientador: Elton Bauer

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, Abril de 2017

As argamassas estabilizadas são produzidas e dosadas em centrais de concreto, entregues úmidas e prontas para o uso. Podem ser empregadas por um período de tempo superior que as argamassas convencionais ou industrializadas dependendo dos parâmetros de mistura empregados em sua produção. Desta forma, estes produtos apresentam uma proposta de materiais que exigem cuidados específicos quanto ao de tempo para aplicação em revestimentos. O objetivo principal desta pesquisa foi estudar o comportamento das argamassas estabilizadas quanto a formulação, os requisitos, e as propriedades. O programa experimental foi dividido em quatro etapas. Na etapa 01, buscou-se estudar as formulações das argamassas estabilizadas, associadas aos parâmetros de misturas e as influências dos aditivos estabilizadores de hidratação (AEH) e do incorporador de ar (IAR), isolados e associados. Na etapa 02, a fim de investigar os comportamentos das argamassas e verificar os requisitos exigenciais para os sistemas de revestimento, as análises foram realizadas em séries com variações intencionais dos aditivos e parâmetros “E” distintos. Na etapa 03, avaliou-se o processo de estabilização. Desta forma, as argamassas foram monitoradas experimentalmente ao longo do tempo de estabilização permitido, que ocorreu conforme o teor de AEH. As argamassas foram avaliadas em duas condições de armazenamento, uma utilizando a película de água exigida pelos produtores de maneira a garantir os tempos de estabilização e outra sem o emprego desta lâmina de água. A etapa 04, dividida em parte A e B. A parte A foi destinada aos estudos comparativos quanto à distribuição granulométrica da areia mais fina com uma areia média, de granulometria contínua. A parte B, teve o intuito de traçar um paralelo entre dois sistemas de aditivos para argamassas estabilizadas, observando pontos convergentes e divergentes no comportamento das argamassas de estudo. Os resultados possibilitaram verificar a influência dos materiais constituintes no comportamento e propriedades das argamassas estabilizadas. O AEH isolado reduziu as resistências mecânicas e aumentou o coeficiente de capilaridade. Todavia quando associado ao IAR reduziu o teor de água, contribuindo de forma positiva para as propriedades

mecânicas e absorção capilar das argamassas estabilizadas. Os resultados quanto à retenção de água foram baixos, contudo não causaram prejuízos quanto à resistência potencial de aderência à tração. O módulo de elasticidade mostrou-se compatível com as resistências mecânicas. Quanto aos critérios de susceptibilidade à fissuração, as argamassas estabilizadas estudadas classificaram-se em média susceptibilidade. O teor do AEH influenciou cada série de argamassa estudada em tempos distintos de estabilização e condição de armazenamento. O teor médio do AEH (0,95%) permitiu tempos de estabilização de até 32 horas. No geral, o tempo de estabilização não afetou as propriedades mecânicas. A areia de granulometria média mostrou resultados compatíveis aos da areia de granulometria fina. Os aditivos utilizados, de dois diferentes fabricantes, produziram argamassas de comportamentos e propriedades semelhantes.

Palavras-Chave: Argamassas estabilizadas, Tempos de estabilização, Comportamentos, Formulações.

ABSTRACT

BEHAVIORAL STUDY OF THE FORMULATION, REQUIREMENTS AND PROPERTIES OF STABILIZED RENDERING MORTARS

Author: Valéria Costa de Oliveira

Supervisor: Elton Bauer

Postgraduate program in Structural Engineering and Construction

Brasília, April of 2017

Stabilized mortars are produced and dosed in concrete plants, delivered wet and ready for use. They can be used for a longer period of time than conventional or industrialized mortars depending on the mixing parameters employed in their production. In this way, these products present a proposal of materials that require specific care as to the time for application in renderings. The main objective of this research was to study the behavior of stabilized mortars in terms of formulation, requirements, and properties. The experimental program was divided into four stages. In step 01, we sought to study the formulations of stabilized mortars, associated with the mix parameters and the influences of the isolated and associated hydration stabilizing additives (AEH) and air incorporator (IAR). In step 02, in order to investigate the behavior of mortars and verify the requirements for rendering systems, the analyzes were carried out in series with intentional variations of the additives and different "E" parameters. In step 03, the stabilization process was evaluated. In this way, the mortars were monitored experimentally over the allowed stabilization time, which occurred according to the AEH content. The mortars were evaluated in two storage conditions, one using the water film required by the producers in order to guarantee the stabilization times and another without the use of this water slide. Step 04, divided into part A and B. Part A was intended for comparative studies on the fine-grained distribution of the fine sand with a medium sand of continuous granulometry. Part B, aimed to draw a parallel between two systems of additives for stabilized mortars, observing convergent and divergent points in the behavior of study mortars. The results allowed to verify the influence of the constituent materials on the behavior and properties of stabilized mortars. The isolated AEH reduced the mechanical resistance and increased the capillary coefficient. However, when associated with IAR, it reduced the water content, contributing positively to the mechanical properties and capillary absorption of stabilized mortars. The results regarding water retention were low, but did not cause any damage to the potential resistance to traction adhesion. The modulus of elasticity was compatible with the mechanical strength. Regarding

the criteria of susceptibility to cracking, the stabilized mortars studied were classified as medium susceptibility. The content of AEH influenced each series of mortar studied at different times of stabilization and storage conditions. The mean AEH content (0.95%) allowed stabilization times of up to 32 hours. In general, the stabilization time did not affect the mechanical properties. The sand of medium granulometry showed results compatible with the sand of fine granulometry. The additives used from two different manufacturers produced mortars of similar properties and behavior.

Keywords: Stabilized mortars, Stabilization times, Behaviors, Formulations.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO GERAL	3
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4
2	CONTEXTUALIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS ESTABILIZADAS	5
2.1	FORMULAÇÃO DAS ARGAMASSAS	6
2.2	PARÂMETROS EXIGENCIAIS DAS ARGAMASSAS	13
2.2.1	Consistência, trabalhabilidade e plasticidade	19
2.2.2	Teor de ar incorporado	19
2.2.3	Retenção de água	20
2.2.4	Aderência	21
2.2.5	Módulo de elasticidade	22
2.2.6	Resistência à compressão e resistência à tração na flexão	26
2.2.7	Absorção capilar	26
2.2.8	Susceptibilidade à fissuração	28
2.3	ARGAMASSAS ESTABILIZADAS	30
2.3.1	Matérias-primas das argamassas estabilizadas	31
2.3.1.1	Cimento	31
2.3.1.2	Agregado miúdo	33
2.3.1.3	Aditivo retardador das argamassas estabilizadas (AEH)	33
2.3.1.4	Aditivo incorporador de ar (IAR)	35
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL, MÉTODOS E MATERIAIS	37
3.1	ETAPA 01	38
3.2	ETAPA 02	42
3.3	ETAPA 03	43
3.4	ETAPA 04	47
3.5	MÉTODOS	52

3.5.1	Método Rápido de Ajuste (MRA)	52
3.5.2	Preparação e nomenclaturas das argamassas	53
3.5.3	Métodos de ensaios no estado fresco	58
3.5.3.1	Consistência – Penetração de cone.....	58
3.5.3.2	Espalhamento (Flow table).....	60
3.5.3.3	Determinação da tensão limite de escoamento pelo ensaio de vane test	61
3.5.3.4	Densidade de massas e teor de ar gravimétrico.....	64
3.5.3.5	Retenção de água.....	65
3.5.3.6	Moldagens dos corpos de prova para os ensaios de resistência à tração na flexão, resistência à compressão, módulo de elasticidade e coeficientes de capilaridade.....	66
3.5.3.7	Moldagens dos corpos de prova para a realização dos ensaios de variação dimensional.....	67
3.5.3.8	Moldagens dos corpos de prova para os ensaios de Aderência Potencial à Tração no Substrato Padrão	67
3.5.4	Ensaio no estado endurecido	69
3.5.4.1	Resistência à tração na flexão	69
3.5.4.2	Resistência à compressão	70
3.5.4.3	Módulo de elasticidade dinâmico.....	72
3.5.4.4	Densidade de massa no estado endurecido	73
3.5.4.5	Determinação da variação dimensional.....	74
3.5.4.6	Determinação da resistência potencial de aderência à tração	75
3.5.4.7	Absorção por capilaridade e coeficiente de Capilaridade	77
3.5.4.8	Absorção de água por imersão	78
3.6	MATERIAIS	79
3.6.1	Cimento CP V	80
3.6.2	Agregados miúdos	81
3.6.3	Aditivos	82
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	83

4.1	ETAPA 01	83
4.1.1	Relação água/materiais secos.....	84
4.1.2	Teor de ar incorporado	86
4.1.3	Relação água/cimento.....	87
4.1.4	Composição das argamassas em volume absoluto.....	89
4.1.5	Penetração de cone	92
4.1.6	Propriedades no estado endurecido	93
4.2	ETAPA 02	98
4.2.1	Relação água/materiais secos.....	99
4.2.2	Teor de ar incorporado	100
4.2.3	Relação água/cimento.....	101
4.2.4	Composição das argamassas em volume absoluto.....	101
4.2.5	Penetração de cone	102
4.2.6	Retenção de água	103
4.2.7	Resistência potencial de aderência à tração	105
4.2.8	Resistência á tração na flexão, resistências à compressão e módulo de elasticidade.....	106
4.2.9	Variação dimensional	109
4.2.10	Susceptibilidade à fissuração.....	110
4.2.11	Absorção de agua por capilaridade e coeficiente de capilaridade	111
4.2.12	Absorção de agua por imersão	112
4.3	ETAPA 03	114
4.3.1	Estado fresco	114
4.3.2	Estado endurecido	117
4.4	ETAPA 04	120
4.4.1	Parte A – Distribuição granulométrica dos agregados	120
4.4.2	Parte B – Aditivos AD1 e AD2.....	123
5	CONCLUSÕES	142
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	145
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146

APÊNDICES	154
APÊNDICES ETAPA 01	154
APÊNDICES ETAPA 02	201
APÊNDICES ETAPA 03	228
APÊNDICES ETAPA 04 A.....	236
APÊNDICES ETAPA 04 B.....	242

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Composição das argamassas mistas, industrializadas e estabilizadas, em volume. Fonte: Adaptadas de Salomão (2016), Rodrigues Filho (2013) e Bauer (2013).	8
Figura 2.2 – Distribuição incremental de volume de poros. Fonte: Salomão (2016).	11
Figura 2.3 – Gráficos da correlação de Cal/cimento e água/cimento com o parâmetro E. Fonte: Paes (2004).	12
Figura 2.4 – Gráficos da correlação água/cimento com a Resistência de aderência.	12
Figura 2.5 – Diferentes tipos de módulos elásticos. Fonte: adaptado de Mehta e Monteiro (2008).	23
Figura 2.6 – Gráfico Tensão de tração na flexão versus deformação. Fonte: Adaptada de Bastos (2001).	24
Figura 2.7 – Gráficos de relação do módulo de elasticidade dinâmico com as resistências à compressão, à tração na flexão e com o teor de ar incorporado. Fonte: Silva (2011).	25
Figura 2.8 - Evolução da hidratação do cimento. Fonte: adaptada de Nelson E. B (1990) <i>apud</i> Ogbonna (2009).	32
Figura 2.9 - O efeito de concentrações variadas de retardador AEH sobre a taxa de hidratação do cimento. Fonte: adaptado de Rixom e Mailvaganam, 1999.	34
Figura 2.10 – Representação esquemática dos mecanismos dos IAR. Fonte: Adaptada de Mehta e Monteiro (2008).	36
Figura 3.1 – Fluxograma do programa experimental.	38
Figura 3.2 – Fluxograma Etapa 01.	41
Figura 3.3 – Fluxograma Etapa 02.	44
Figura 3.4 – Fluxograma Etapa 03.	46
Figura 3.5 – Fluxograma Etapa 04 – parte A.	50
Figura 3.6 - Fluxograma Etapa 04 – Parte B	51
Figura 3.7 – Argamassadeira.	54
Figura 3.8 – Identificação e nomenclatura das argamassas.	54
Figura 3.9 – Foto do equipamento misturador horizontal.	56
Figura 3.10 – Ensaios de penetração de cone.	60
Figura 3.11 – Equipamento e realização do ensaio de espalhamento.	61
Figura 3.12 – Equipamento de Vane test.	62
Figura 3.13 – Equipamentos do ensaio da retenção de água.	65

Figura 3.14 – Moldagem de corpos de prova para a realização dos ensaios de variação dimensional.....	67
Figura 3.15 - Procedimento de moldagem para a realização do ensaio de resistência potencial de aderência à tração.....	68
Figura 3.16 – Posicionamento do corpo-de- prova.....	69
Figura 3.17 – Posicionamento do corpo-de-prova e rótula adaptada para o ensaio de resistência à compressão.....	71
Figura 3.18 – Realização do ensaio de resistência à compressão.....	71
Figura 3.19 – Equipamento e ensaio de módulo de elasticidade.....	73
Figura 3.20- Foto da pesagem do corpo de prova.	74
Figura 3.21 – Equipamento comparador.	74
Figura 3.22 – Leitura da variação dimensional.	75
Figura 3.23 – Dinamômetro digital.	76
Figura 3.24 – Substrato padrão com 10 corpos de prova cortados cerca de 1mm de profundidade.....	76
Figura 3.25 – Recipiente de vidro e realização dos ensaios de capilaridade.....	78
Figura 3.26 – Ensaios de absorção de água por imersão.....	79
Figura 3.27 – Distribuição granulométrica dos agregados miúdos.	81
Figura 4.1 – Parâmetro E <i>versus</i> água/materiais secos – séries das argamassas sem aditivos e com AEH e IAR isolados.	85
Figura 4.2 - Parâmetro E <i>versus</i> água/materiais secos – séries das argamassas sem aditivos e com AEH e IAR associados.	85
Figura 4.3 – Teor de ar incorporado <i>versus</i> água/materiais secos – séries sem aditivos, AEH e IAR isolados.	86
Figura 4.4 – Teor de ar incorporado <i>versus</i> água/materiais secos – AEH e IAR associados.	87
Figura 4.5 – Relação água/cimento <i>versus</i> parâmetro E – séries de argamassas sem aditivos, AEH e IAR isolados.	88
Figura 4.6 – Relação água/cimento <i>versus</i> parâmetro E – séries de argamassas sem aditivos, AEH e IAR associados.	89
Figura 4.7 – Parâmetro E <i>versus</i> Resistência à compressão – séries de argamassas sem aditivos, AEH de forma individual.....	94
Figura 4.8 – Parâmetro E <i>versus</i> Resistência à compressão – séries de argamassas sem aditivos, IAR de forma individual.	95

Figura 4.9 – Parâmetro E <i>versus</i> Coeficiente de capilaridade – séries de argamassas sem aditivos, AEH e IAR de forma individual.	96
Figura 4.10 – Parâmetro E <i>versus</i> Coeficientes de capilaridade - séries de argamassas com AEH e IAR associados.	97
Figura 4.11 – Relação água/cimento <i>versus</i> parâmetro E.	99
Figura 4.12 – Parâmetro E <i>versus</i> água/materiais secos.....	100
Figura 4.13 – Teor de ar incorporado <i>versus</i> água/materiais secos.....	100
Figura 4.14 – Teor de ar incorporado <i>versus</i> relação água/cimento.....	101
Figura 4.15 – Teor de ar incorporado <i>versus</i> retenção de água.	104
Figura 4.16 - Tração na flexão <i>versus</i> relação água/cimento.	107
Figura 4.17 - Resistência à compressão <i>versus</i> relação água/cimento.	107
Figura 4.18 – Relação água/cimento <i>versus</i> Módulo de elasticidade.....	108
Figura 4.19 - Resistência à tração na flexão <i>versus</i> módulo de elasticidade.....	108
Figura 4.20 - Resistência à compressão <i>versus</i> módulo de elasticidade.	108
Figura 4.21 – Relação água/cimento <i>versus</i> retração.	109
Figura 4.22 – Absorção de água por capilaridade <i>versus</i> a raiz do tempo/min ^{1/2}	112
Figura 4.23 – Relação água/cimento <i>versus</i> Parâmetro coeficiente de capilaridade.....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação das argamassas para revestimentos de paredes e tetos, quanto ao fornecimento ou preparo. Fonte: Adaptada da ABNT NBR 13529:2013.	5
Tabela 2.2 - Parâmetros exigenciais mínimos para as argamassas de revestimentos.....	13
Tabela 2.3 - Faixas de classificação conforme características e propriedades determinadas pelos métodos de ensaios das argamassas para assentamento e revestimentos paredes e tetos. Fonte: Adaptada da ABNT NBR 13281:2005.....	14
Tabela 2.4 – Comparativo de resultados de parâmetros exigenciais para argamassas mistas, industrializadas e estabilizadas.....	15
Tabela 2.5 - Critérios de avaliação de susceptibilidade à fissuração de revestimento de argamassa. Fonte: Adaptada do CSTB (1993).	16
Tabela 2.6 – Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para reboco e camada úmida. Fonte: Adaptada da ABNT NBR 13749:2013.....	17
Tabela 2.7 - Intervalo de maior ocorrência e classificação das propriedades analisadas....	18
Tabela 3.1- Nomenclatura das argamassas – Etapa 01.....	55
Tabela 3.2- Nomenclatura das argamassas – Etapa 02.....	57
Tabela 3.3- Nomenclatura das argamassas – Etapa 03.....	58
Tabela 3.4– Nomenclaturas das argamassas da Etapa 04.....	58
Tabela 3.5 – Caracterização química do cimento CP V. Fonte: Intercement (2016).....	80
Tabela 3.6 – Caracterização física do cimento CP V.	80
Tabela 3.7 – Caracterização física dos agregados miúdos.	81
Tabela 3.8 - Características físicas dos aditivos.....	82
Tabela 4.1 – Parâmetros de mistura – séries sem aditivos, AEH e IAR isolados.	83
Tabela 4.2– Parâmetros de mistura – séries AEH e IAR associados.	84
Tabela 4.3 – Composições das argamassas, em volume absoluto – sem aditivos e teor de AEH de forma individual.	90
Tabela 4.4 – Composições das argamassas, em volume absoluto – Teor de IAR de forma individual.....	90
Tabela 4.5 – Composições das argamassas, em volume absoluto – Teor de AEH e IAR associados.	91
Tabela 4.6 – Penetração de cone – séries sem aditivos, AEH e IAR de forma individual..	92
Tabela 4.7 – Penetração de cone – séries com AEH e IAR associados.	93

Tabela 4.8 – Resumo das propriedades no estado endurecido – séries sem aditivos, AEH e IAR isolados.	94
Tabela 4.9 – Resumo das propriedades no estado endurecido – séries de AEH e IAR associados.	96
Tabela 4.10 – Parâmetros de mistura.....	98
Tabela 4.11 – Composições das argamassas, em volume absoluto.....	102
Tabela 4.12 – Penetração de cone, tensão limite de escoamento e espalhamento	103
Tabela 4.13 – Percentuais do teor de finos, água/materiais secos, retenção de água e teor de ar incorporado.....	104
Tabela 4.14 - Resistência potencial de aderência à tração, retenção de água e relação água/cimento.....	105
Tabela 4.15 – Resistência à tração na flexão, resistência à compressão e módulo de elasticidade.	106
Tabela 4.16 – Variação dimensional, água/materiais secos e relação água/cimento.	109
Tabela 4.17- Critérios de suscetibilidade quanto à fissuração, quanto ao módulo de elasticidade – CSTB (1993).....	110
Tabela 4.18 - Suscetibilidade à fissuração.	111
Tabela 4.19 – Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade.	111
Tabela 4.20 – Absorção de água por imersão.....	113
Tabela 4.21 – Parâmetros de mistura.....	114
Tabela 4.22 – Resumo das propriedades no estado fresco – sem lâmina de água.....	115
Tabela 4.23 - Resumo das propriedades no estado fresco – com lâmina de água.....	116
Tabela 4.24 – Resumo das propriedades no estado endurecido – sem lâmina de água....	118
Tabela 4.25 – Resumo das propriedades no estado endurecido – com lâmina de água. ...	119
Tabela 4.26 – Parâmetro de mistura.	120
Tabela 4.27 - Resultados das propriedades obtidos, no estado fresco, com diferentes granulometrias do agregado miúdo.	121
Tabela 4.28 - Resultados das propriedades obtidos, no estado endurecido, com diferentes granulometrias do agregado miúdo.	122
Tabela 4.29 – Parâmetros de mistura.....	123
Tabela 4.30 – Resumo das propriedades no estado fresco – sem lâmina.	123
Tabela 4.31 – Resumo das propriedades no estado fresco – com lâmina.	124
Tabela 4.32 – Propriedades no estado endurecido – sem lâmina.	125
Tabela 4.33 – Propriedades no estado endurecido – com lâmina.....	126

Tabela 4.34 – Resumo dos resultados obtidos para etapa 01.	127
Tabela 4.35 – Resumo dos resultados obtidos para etapa 02.	130
Tabela 4.36 – Resumo dos resultados obtidos para etapa 03.	136
Tabela 4.37 - Resumo dos resultados obtidos para etapa 04 A.	139
Tabela 4.38 - Resumo dos resultados obtidos para etapa 04 B.	141

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEH	Aditivo estabilizador de hidratação
ASTM	American Society for Testing and Materials
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
IAR	Aditivo incorporador de ar
LEM	Laboratório de Materiais da UnB
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MRA	Método de ajuste rápido
NBR	Norma Brasileira Registrada no INMETRO
PECC	Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil
UnB	Universidade de Brasília

1 INTRODUÇÃO

As argamassas estabilizadas são produzidas e dosadas em centrais de concreto, entregues úmidas nos canteiros de obra, prontas para o uso, e que podem ser empregadas por um período de tempo superior ao das argamassas convencionais ou industrializadas. São compostas de cimento e areia de granulometria muito finas, sendo também adicionados aditivos incorporadores de ar e aditivos estabilizadores de hidratação.

Desta forma, estas argamassas representam ganhos de produtividade, uma vez que o mercado da construção civil se torna cada vez mais competitivo e exigente em relação ao produto final ofertado, obrigando as construtoras a reduzir prazos e custos, mantendo a qualidade dos seus serviços.

Neste aspecto, os sistemas de revestimentos quando não bem planejados, geram impactos negativos nos empreendimentos, uma vez que representam uma etapa longa e com custos elevados de uma edificação.

Cabe ressaltar que novas tecnologias quando não empregadas de forma adequada ou o não conhecimento dos efeitos e mecanismos destes produtos podem gerar manifestações patológicas, uma vez que o cenário da construção civil apresenta mão de obra com pouco ou nenhum treinamento, aliado a falta de projetos e planejamento voltados aos sistemas de revestimentos.

A especificação de uma argamassa depende da função que ela deve desempenhar e do local em que será utilizada. A ABNT NBR 13281:2005 especifica os requisitos exigíveis para a argamassa utilizada em assentamento e revestimento de paredes e tetos e se aplica igualmente à argamassa industrializada, dosada em central e preparada em obra, porém não normatiza por requisitos de aplicação quanto aos tipos de substratos, revestimentos internos ou externos das construções, zonas bioclimáticas ou orientações de fachadas, de maneira que não orienta especificidades para os projetos de edificações.

Os canteiros de obras apresentam, atualmente, uma diminuição no uso das argamassas dosadas em obra e o aparecimento de argamassas industriais tem alavancado a construção civil, daí a necessidade de se controlar os materiais e o desempenho do sistema de revestimento (TEMP, 2014).

Para Bauer *et al* (2015), as argamassas estabilizadas para revestimento cada vez mais se apresentam como opção de emprego nos canteiros de obra. Essas argamassas são produzidas por usinas de concreto e são fornecidas em canteiros de obras diariamente, sendo estocadas em containers. Os mesmos autores citam que a prática de trabalho em Brasília/DF tem sido no sentido de fornecer um lote a ser consumido no transcurso do dia, sendo que, todavia pode haver possíveis aplicações em que o tempo de estabilização seja superior.

Na Alemanha (Occidental), na década de 1970, Martins (1999) comenta que já se utilizava de uma tecnologia mais revolucionária, onde era fornecido às obras grandes recipientes abertos com materiais em consistência desejada, que permanecia de forma estável por períodos de 2 a 3 dias, prontas para a utilização.

Ainda assim, o mesmo autor menciona que mesmo, com todos os estudos e pesquisas que foram realizadas durante o final da década de 1970 e início de 1980, poucos foram os registros deixados sobre o tema argamassas estabilizadas.

Desta forma, estes produtos apresentam uma proposta de materiais que compõe desafios de tempo e da manutenção de suas características para aplicação em revestimentos e no assentamento de blocos para alvenarias. Assim, a importância do aprofundamento sobre o comportamento e as propriedades das argamassas estabilizadas justifica-se por ser um produto inovador na construção civil.

Quanto às referências para produção e aplicação das argamassas estabilizadas, existe uma clara indefinição em relação tanto ao desempenho a alcançar, quanto também em relação de aspecto normativo (BAUER *et al*, 2015).

Diante do que foi exposto, esta dissertação justifica-se por contribuir para a formulação e entendimento sobre o comportamento das propriedades das argamassas estabilizadas ao longo do tempo de estabilização.

Como contribuições ao tema estudado, apresentados no Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil –PECC, da Universidade de Brasília -UnB, pode-se citar os trabalhos de Alves (2002), com o estudo sobre aditivos incorporadores de ar em argamassas; Do Ó (2004), com a Análise de retenção de água em argamassas aditivadas; Araújo JR. (2004), com o Estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas; Paes (2004), com os Estudos sobre do transporte de água em argamassas nos momentos iniciais pós-aplicação;

Souza (2005), com o Estudo das propriedades das argamassas de revestimentos no estado fresco; Silva, (2006), com uma Proposta de metodologias experimentais auxiliares à especificação e controle das propriedades físico-mecânicas dos revestimentos em argamassa; Rodrigues Filho (2013) estudou a Avaliação dos requisitos normativos das argamassas industrializadas associados a critérios de emprego e utilização e por fim Salomão (2016) realizou o estudo da Estrutura das argamassas de revestimento e sua influência nas propriedades de transporte de água.

O presente trabalho está inserido na linha de pesquisa de Tecnologia, Processos, Componentes e Materiais de Construção, na área de concentração Construção Civil do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC/UnB).

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta dissertação é estudar os comportamentos das argamassas estabilizadas, e como esses comportamentos se relacionam aos materiais, formulações e parâmetros de mistura.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos deste trabalho têm-se:

- I. Investigar a formulação das argamassas estabilizadas para um conjunto de materiais (cimento, areia, aditivo estabilizador de hidratação e aditivo incorporador de ar) de modo que se possam obter argamassas que atendam aos quesitos técnicos das argamassas para revestimento;
- II. Examinar a interferência destes materiais nos principais comportamentos e propriedades das argamassas estabilizadas;
- III. Estudar e monitorar experimentalmente os aspectos associados ao tempo de estabilização, investigando desempenhos em tempos de até 32 horas;
- IV. Investigar o comportamento e evolução das propriedades com a evolução do tempo de estabilização;

- V. Investigar a influência de curvas granulométricas nos comportamentos e propriedades das argamassas estabilizadas;
- VI. Traçar um paralelo entre dois sistemas de aditivos para argamassas estabilizadas observando pontos convergentes e divergentes no comportamento das argamassas de estudo.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos. Neste capítulo, são apresentadas a introdução e a justificativa da pesquisa, bem como os objetivos geral e específicos.

No segundo capítulo, são contextualizadas as argamassas estabilizadas. Neste sentido, também são abordados os temas de formulação das argamassas, parâmetros exigenciais voltados para as argamassas adequadas aos revestimentos, conceitos e materiais utilizados para a produção das argamassas estabilizadas pertinentes a esta dissertação.

No terceiro capítulo, são descritos o programa experimental, os métodos e caracterização dos materiais utilizados para a produção das argamassas desta pesquisa.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados e discussões divididos conforme as etapas propostas do programa experimental.

No quinto capítulo, são apresentadas as conclusões do estudo e sugestões para pesquisas futuras.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS ESTABILIZADAS

Argamassas estabilizadas são argamassas dosadas e produzidas em centrais de concreto, entregues úmidas e prontas para o uso nos canteiros de obras. Podem ser empregadas por um período de tempo superior que as argamassas convencionais ou industrializadas (BAUER, *et al*, 2015).

No processo da produção das argamassas estão envolvidos diferentes tipos de materiais constituintes, associados a tecnologias tradicionais ou a tecnologias competitivas que procuram dar resposta às atuais exigências dos canteiros de obras, ou até mesmo integrarem atividades de manutenção.

Os principais questionamentos, quando se trata de especificidades de projetos e aplicações de argamassas, são: o que se esperar de uma argamassa? Qual a formulação adequada dependendo da tipologia de substrato, das variedades de materiais disponíveis em cada região do Brasil, da exposição climática?

A ABNT NBR 13281:2005 contribui para as classificações de algumas das principais propriedades das argamassas, no entanto, não correlaciona com recomendações quanto às condições de aplicação. Na verdade existe uma lacuna normativa quanto a projeto de sistemas de revestimento em argamassa, ficando a especificação de valores e propriedades muitas vezes de cunho pessoal e não específico do projetista. Já a ABNT NBR 13529:2013 classifica as argamassas de acordo com o seu fornecimento ou preparo, em: argamassas produzidas em obra, argamassas industrializadas, argamassas dosadas em central e misturas semi-prontas para argamassas, conforme elencadas na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Classificação das argamassas para revestimentos de paredes e tetos, quanto ao fornecimento ou preparo. Fonte: Adaptada da ABNT NBR 13529:2013.

Argamassa dosada em central	Os materiais constituintes são medidos e misturados em central dosadora, fornecida no estado fresco, pronta para uso.
Argamassa preparada em obra	Os materiais constituintes são medidos e misturados na própria obra.
Argamassa industrializada	Proveniente de processo controlado e dosagem precisa, em instalação industrial, fornecida embalada ou a granel.
Mistura semi-pronta para argamassa	Mistura fornecida embalada ou a granel, cujo preparo é completado em obra, por adição de aglomerante e, eventualmente, aditivos.

As argamassas produzidas em obras demandam seleção, recebimentos e estocagem de materiais (cimento, cal, agregados e aditivos), necessitam de mão de obra para o descarregamento, preparo e transporte dos materiais, além da confecção dos produtos em misturadores. Todas estas etapas demandam controle para cada uma das etapas e consequentemente, representam menores produtividades nos canteiros de obra.

No caso das argamassas industrializadas, a logística e a distribuição no canteiro de obras são facilitadas, uma vez que a estocagem dos materiais é reduzida, além de diminuir o desperdício, o que reflete em ganhos de produtividade e redução no tempo de execução. Contudo, estas argamassas exigem controles extras quando se trata do teor de água, do teor de ar incorporado e tempos de misturas (ROMANO *et al*, 2009). Enfatiza-se a complexidade destas argamassas em função da pouca informação, por parte dos fabricantes, sobre o tipo e teor de aditivo encontrado nas embalagens (RODRIGUES FILHO, 2013).

Já as argamassas estabilizadas se enquadram na classificação de uma argamassa dosada e produzida em central e se apresenta como um material que reflete em ganhos de produtividade, uma vez que reduz a logística no canteiro de obras. Entretanto, as especificações de valores e propriedades necessitam de atenção, pois demandam estudos quanto ao seu comportamento diante da evolução de seu tempo de estabilização, que são dependentes de suas formulações e de seus materiais constituintes.

É evidente o ganho de produtividade das argamassas industrializadas e dosadas em centrais, uma vez que estão sendo produzidas em larga escala, com materiais classificados e de qualidade, controle tecnológico e acompanhamento de assistência técnica.

Porém, o que esperar destas argamassas, que formulações são as adequadas ou quais os parâmetros exigenciais que elas atendem para determinadas situações de aplicações, especificidades de projetos e regiões climáticas, são pontos ainda necessários de estudos e esclarecimentos.

2.1 FORMULAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Faz-se necessário compreender como as formulações das argamassas, em específico os parâmetros de mistura, afetam seus comportamentos em relação as propriedades ou

características que a argamassa deve atender para que o sistema de revestimento tenha o desempenho especificado.

As argamassas sofrem influências dos seus materiais constituintes, dos procedimentos e equipamentos de mistura e assim, verifica-se a importância dos parâmetros de dosagem, uma vez que vão afetar diretamente as propriedades das argamassas: consistência, trabalhabilidade, teor de ar incorporado e, conseqüentemente as resistências mecânicas e a aderência.

A ABNT NBR 13755:1997 especifica para os revestimentos de paredes externas, argamassas para chapisco, emboço e reboco, traços em volumes de 1:3 (cimento: areia grossa úmida) para o chapisco; para o emboço, argamassas mistas nos traços variando de 1:1/2:2,5 a 1:2:8 (cimento: cal hidratada e areia média úmida), podendo ser empregadas argamassas industrializadas, desde que comprovado o mesmo desempenho das argamassas convencionais.

No entanto, a norma não especifica claramente propriedades ou características que a argamassa deve atender para que o sistema de revestimento tenha o desempenho especificado, ou seja, o que estes traços devem representar. Observa-se que para a faixa de traços estabelecida para os emboços, a variação dos consumos de aglomerantes e agregados é bem distinta, de maneira que as propriedades resultantes não serão proporcionais.

As argamassas mistas utilizam a cal em suas formulações de forma a melhorar a retenção de água e a plasticidade, que influenciam na trabalhabilidade; ficando a responsabilidade do cimento em melhorar as resistências mecânicas e a aderência. Estas argamassas também apresentam inferiores módulos de deformação por serem menos rígidas (ARAÚJO JR, 2004).

Quanto às argamassas industrializadas, estas apresentam poucas informações sobre suas matérias-primas constituintes, no entanto são utilizados o cimento, areias naturais ou britadas e assim, representam um aumento do teor de finos. Estes conjuntos de materiais conduzem estas argamassas a superiores resistências mecânicas e inferiores coeficientes de capilaridade quando comparadas as argamassas mistas.

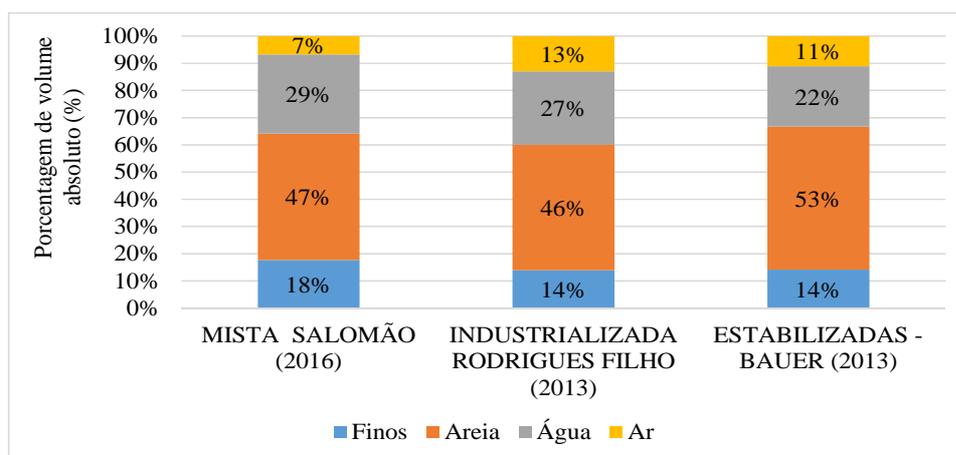
As argamassas estabilizadas empregam areias mais finas, de maneira que se consigam aumentos de plasticidades para os seus produtos. As argamassas mistas (cimento e cal) e

industrializadas apresentam composições diferentes quanto ao teor de finos quando comparadas as estabilizadas.

Para fins de comparação, a figura 2.1 representa a composição percentual das argamassas mistas, industrializadas e estabilizadas conforme estudos realizados pelo LEM – UnB, adaptadas de Salomão (2016), Rodrigues Filho (2013) e Bauer (2013):

- As argamassas mistas representaram um percentual de finos de 18%; as industrializadas e estabilizadas 14%.
- O percentual de agregados para as argamassas mistas e industrializadas demonstraram a diferença apenas de 1%, o que para as estabilizadas representou um aumento de 6%. Quanto ao percentual de água a diferença entre as mistas e industrializadas foi de 2%;
- Para a estabilizada, este percentual de água reduziu em 7% em relação à mista. Estas argamassas compensam a não utilização da cal, empregando areias mais finas melhorando a plasticidades e utilizam os aditivos incorporadores de ar em suas fabricações que contribuem para a redução do percentual de água.
- As argamassas industrializadas reduzem também o teor de finos, mas nem sempre o percentual de água é reduzido, uma vez que este fator depende dos diferentes tipos de agregados (naturais, britados) e aglomerantes, utilizados em suas fabricações.

Figura 2.1 – Composição das argamassas mistas, industrializadas e estabilizadas, em volume.
Fonte: Adaptadas de Salomão (2016), Rodrigues Filho (2013) e Bauer (2013).



- Os teores de ar incorporados são superiores para as argamassas industrializadas e estabilizadas em virtude dos empregos dos aditivos incorporadores de ar. Os

resultados de Bauer (2014) mostraram-se entre 10 e 13% para as estabilizadas e Rodrigues Filho (2013), para as industrializadas apresentou faixas compreendidas entre 7,8 a 17%. Já Salomão (2016), para argamassas mistas encontrou ar incorporados entre 7 e 9%.

Verifica-se que distintos resultados são obtidos para os comportamentos e propriedades das argamassas, a depender dos tipos empregados, sejam as mistas, as industrializadas ou estabilizadas.

A ABNT NBR 13749:2013 define que os materiais e as respectivas proporções de dosagem devem ser compatíveis com o acabamento e as condições de exposição previstas e ter resistência mecânica compatível com o acabamento decorativo selecionado. Quanto às condições que os revestimentos devem satisfazer a norma estabelece as seguintes condições:

- Ser compatível com o acabamento decorativo;
- Ter resistência mecânica decrescente ou uniforme, a partir da primeira camada em contato com a base, sem comprometer sua durabilidade ou acabamento final;
- Ser constituído por uma ou mais camadas sobrepostas de argamassas contínuas e uniformes;
- Ter propriedade hidrofugante, em caso de revestimento externo de argamassa aparente, sem pintura ou base porosa. No caso de não se empregar argamassa hidrofugante, deve ser executada a pintura específica para este fim;
- Ter propriedade impermeabilizante, em caso de revestimento externo de superfícies em contato com o solo;
- Resistir à ação de variações normais de temperatura e umidade do meio, quando externos;
- Quando ao aspecto deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições, cavidades, fissuras, manchas e eflorescência;
- As espessuras admissíveis dos revestimentos internos e externos, para parede interna compreendidos entre 5 e 20 mm; parede externa; entre 20 e 30 mm e para tetos até 20 mm.

Esta norma fixa os critérios quando ao recebimento dos revestimentos de argamassas quanto ao prumo, nivelamento, planeza. Porém, destaca-se que ABNT NBR 13749:2013 não especifica claramente as condições de exposição e resistências mecânicas.

Neste contexto, propriedades ou características que a argamassa deve atender para que o sistema de revestimento tenha o desempenho especificado, devem nortear uma dosagem de argamassas. As diversas metodologias de dosagem das argamassas são orientações muito simplificadas que são específicas para determinados materiais.

O método baseado nos conceitos de Selmo (1989), leva em conta o parâmetro de dosagem “E”. O método consiste na fixação da quantidade de agregados miúdos e cal para se determinar a quantidade de cimento para um determinado valor de parâmetro “E”, utilizando a equação 1.

Métodos de dosagem conforme Selmo (1989)

$$E = \frac{(\text{areia} + \text{cal})}{\text{cimento}} \quad (1)$$

Uma vez determinada as quantidades consideradas apropriadas de cal e água, é possível calcular o valor “real” do parâmetro “E” da mistura para determinadas consistências e trabalhabilidades. Este método permite montar curvas de correlações entre o parâmetro E com a relação cal/cimento e com a relação a/c, de forma a obter rapidamente o teor de água necessário para se obter uma consistência pré-determinada.

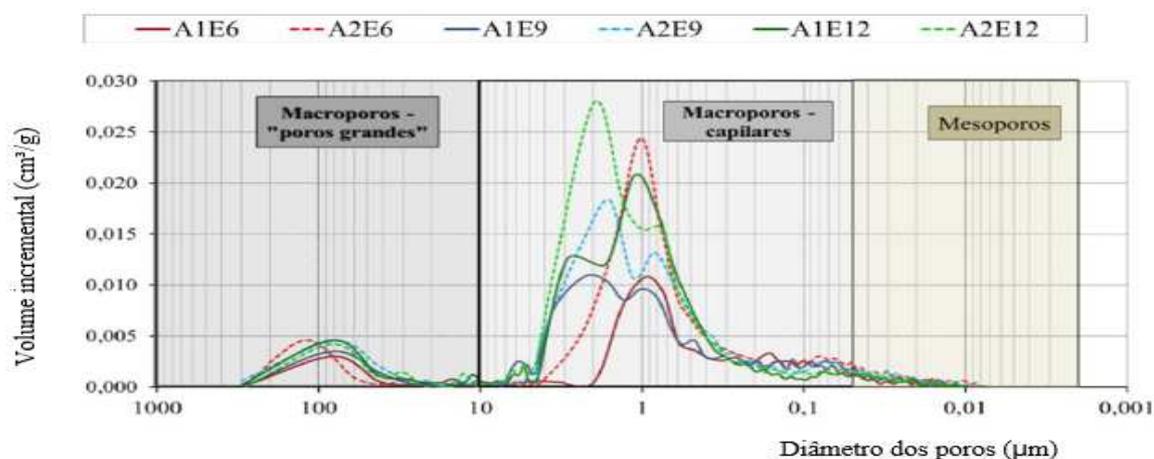
Neste sentido, Salomão (2016) mostrou para as argamassas mistas, a influência da distribuição granulométrica em uma análise de porosimetria de mercúrio, onde nitidamente se observou a presença de duas faixas de dimensão de diâmetro dos poros com grande volume de mercúrio intrudido, conforme o módulo de finura das areias. A autora utilizou o parâmetro E do método de dosagem de Selmo (1989), nos valores de E6, E9 e E12 e duas diferentes areias, figura 2.2.

A areia A1, um agregado miúdo considerado bem graduado e de uniformidade média, com módulo de finura de 1,97. Já a areia A2; um agregado miúdo mais fino que a A1, considerado uniforme e mal graduado, apresentando um módulo de finura de 1,48.

Conforme Salomão (2016), verifica-se que nas argamassas E6, o diâmetro com maior volume tem menores dimensões: 0,9 µm e 1,0 µm, respectivamente nas argamassas A1E6 e A2E6. Os picos das argamassas E9 foram menores (menos volume) comparadas às argamassas E12. Nas argamassas E9 e E12 observa-se a presença de dois picos de diâmetros distintos o primeiro em torno de 1,0µm e o segundo de aproximadamente 2,0 µm. Concluiu-

se assim, a influência do parâmetro E e do emprego de areias bem graduadas e uniformes, para inferiores porosidades das argamassas estudadas.

Figura 2.2 – Distribuição incremental de volume de poros. Fonte: Salomão (2016).



Paes (2004) observou que as argamassas com agregados de maior módulo de finura apresentaram superior absorção de água por capilaridade. A autora definiu três diferentes misturas de agregados, buscando curvas granulométricas contínuas e distintas que, supostamente, produziram argamassas com diferentes estruturas porosas que viriam a influenciar no transporte de água contida nas argamassas frescas para o substrato.

A partir de duas areias classificadas com os módulos de finura de 2,21 (areia média) e 3,05 (areia grossa), a autora realizou um peneiramento para a fração de grãos inferiores a 2,4 mm, usuais nos revestimentos em argamassa. Assim, os módulos de finura originais das areias foram alterados e passaram a ser de 2,12 (AM1) e 2,97 (AM2) respectivamente e classificadas, como areias médias.

A partir das curvas granulométricas dessas areias, simularam-se várias composições de misturas, a fim de se definir quais as proporções mais adequadas dos agregados, para produção das argamassas. Desta forma, Paes (2004) utilizou as proporções de mistura, a saber: 100% AM1 (A); 60% AM1/40% AM2 (B) e 20% AM1/80% AM2 (C).

Após a definição das composições dos agregados, o estudo de dosagem se desenvolveu a partir da fixação das quantidades das areias e variando-se o parâmetro “E” nos valores de 6, 10 e 13 e assim, a autora obteve as correlações entre o parâmetro E com a relação cal/cimento e com a relação a/c, figura 2.3 “a” e “b”.

As linhas de tendências geradas representam condições similares de plasticidade, consistência, em uma trabalhabilidade. Ao aumentar parâmetro E, aumenta o consumo de cal (cal/cimento), o que é esperado para se obter um teor de finos adequado. Ao se obter argamassas mais pobres (E mais alto), a relação a/c é mais alta. Para uma mesma areia o consumo de água ou relação água/materiais secos é relativamente o mesmo independente da variação do parâmetro E. Paes (2004), também obteve a correlação água/cimento com a resistência de aderência, figura 2.4.

Figura 2.3 – Gráficos da correlação de Cal/cimento e água/cimento com o parâmetro E. Fonte: Paes (2004).

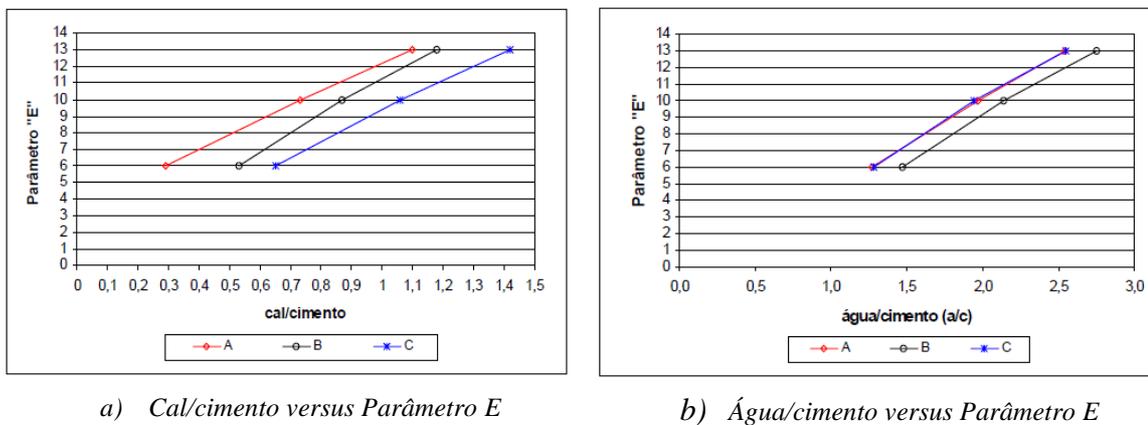
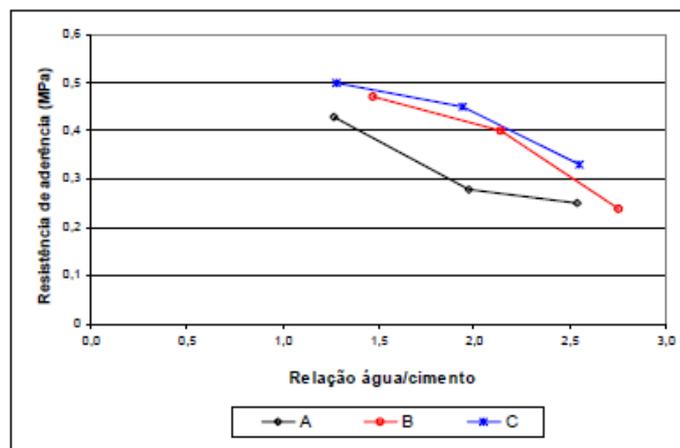


Figura 2.4 – Gráficos da correlação água/cimento com a Resistência de aderência. Fonte: Paes (2004).



Visto a importância do estudo dos materiais e das formulações das argamassas, verifica-se que há uma clara indefinição do que se esperar de uma argamassa, quais as condições de exposição a considerar para que os desempenhos dos sistemas de revestimentos tenham os desempenhos especificados.

2.2 PARÂMETROS EXIGENCIAIS DAS ARGAMASSAS

Os parâmetros exigenciais são propriedades ou características que a argamassa deve atender para que o sistema de revestimento tenha o desempenho especificado (BAUER, 2013). No caso do estado fresco os parâmetros exigenciais são a consistência, a trabalhabilidade e a plasticidade, bem como a retenção de água.

O CSTB (1993) informa as especificações mínimas e as especificações adicionais para determinadas condições de aplicação, o que exemplifica os parâmetros exigenciais para as argamassas de revestimentos, tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Parâmetros exigenciais mínimos para as argamassas de revestimentos.
Fonte: Adaptada do CSTB (1993).

Características	Símbolo	Classificação	Especificação mínima	Especificações adicionais para determinadas condições de aplicação
Módulo de elasticidade (MPa)	E	E1<5000 3500>E2<7000 5000>E3<10000 7500>E4<14000 12000>E5<20000 E6>16000	E≤4	Em paredes muito exposta a choques: E≥E3 Para aplicar revestimentos cerâmicos colados E≥E4
Resistência à tração na flexão (MPa)	R _t	R1<1,5 1,0>R2<2 1,5>R3<2,7 2,0>R4<3,5 2,7>R5<4,5 R6>3,5		Em paredes muito exposta a choques: R≥R3 Para aplicar revestimentos cerâmicos colados R≥R4
Retenção de água (%)	U	U1<78 72>U2<85 80>U3<90 86>U4<94 91>U5<97 95>U6<100	U≥3	Para aplicar em tempo muito quente e seco U5 ou U6
Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min. ^{1/2})	C	C1<1,5 1,0>C2<2,5 2>C3<4 3>C4<7 5>C5<12 C6>10	C≤3	Para aplicar em parede muito exposta à chuva: C1 ou C2

Assim, não basta apenas classificar as propriedades em classes, mas também informar classes mínimas e condições de aplicação e exposição, de forma, que para aplicar argamassas em parede muito exposta à chuva, por exemplo a classe indicada pelo CSTB (1993) deve ser inferior a $2,5 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ ou para aplicar argamassas em tempos muito quente e seco, empregar argamassas com retenção de água no mínimo de 91%.

Normas e documentos europeus, portugueses, franceses, alemães, ingleses e americanos, apresentam as propriedades ainda expressas em termos qualitativos ou por observação visual, sem requisitos mínimos e na sua maioria referem-se as argamassas industrializadas, não tendo referências ao número de camadas do sistema de revestimento; as especificações das argamassas convencionais são feitas por traços (FLORES COLEN, 2009).

Neste sentido, a ABNT NBR 13281:2005 é uma norma apenas de classificação das argamassas quanto aos requisitos exigíveis para a argamassa utilizada em assentamento e revestimento de paredes e tetos, porém não associa a critérios de emprego e utilização e assim especificou em sete propriedades, subdivididas em seis classes, conforme a tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Faixas de classificação conforme características e propriedades determinadas pelos métodos de ensaios das argamassas para assentamento e revestimentos paredes e tetos. Fonte: Adaptada da ABNT NBR 13281:2005.

Classes	P MPa	M kg/m³	R MPa	C g/dm².min^{1/2}	D kg/m³	U %	A MPa
Método de ensaios	ABNT NBR 13279	ABNT NBR 13280	ABNT NBR 13279	ABNT NBR 15259	ABNT NBR 13278	ABNT NBR 13277	ABNT NBR 15258
1	≤ 2,0	≤ 1200	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1400	≤ 78	<0,20
2	1,5 a 3,0	1000 a 1400	1,0 a 2,0	1,0 a 2,5	1200 a 1600	72 a 85	≥0,20
3	2,5 a 4,5	1200 a 1600	1,5 a 2,7	2,0 a 4,0	1400 a 1800	80 a 90	≥0,30
4	4,0 a 6,5	1400 a 1800	2,0 a 3,5	3,0 a 7,0	1600 a 2000	86 a 94	
5	5,5 a 9,0	1600 a 2000	2,7 a 4,5	5,0 a 12,0	1800 a 2200	91 a 97	
6	>8	> 1800	>3,5	>10,0	> 2000	95 a 100	

Legenda: P – resistência à compressão; M – densidade de massa aparente no estado endurecido; R – resistência à tração na flexão; C – coeficiente de capilaridade; D – densidade de massa no estado fresco; U – retenção de água e A – resistência potencial de aderência à tração.

Estas faixas de valores de propriedades se aplicam a qualquer tipo de argamassa, sejam argamassas convencionais ou industrializadas. A ABNT NBR 13281:2005 não tem aplicação quanto aos parâmetros exigenciais consolidados, na forma de associação com as funcionalidades e especificidades de projetos de sistemas de revestimentos de uma edificação. Desta forma, não se estabelece claramente que produto está se ofertando no mercado para o atendimento das especificidades dos Projetos de construções, áreas de construção a ser aplicadas, áreas de contato com solos, classes de agressividade e etc.

Destaca-se que diferentes resultados de propriedades são obtidos, a depender dos distintos tipos de argamassas empregados nos sistemas de revestimentos. Neste contexto, a tabela 2.4 relaciona um comparativo de resultados obtidos para argamassas mistas, industrializadas e estabilizadas, desenvolvidas por diferentes pesquisadores.

Tabela 2.4 – Comparativo de resultados de parâmetros exigenciais para argamassas mistas, industrializadas e estabilizadas.

Propriedades	Argamassas Mistas (ARAÚJO JR, 2004)	Argamassas industrializadas (RODRIGUES FILHO, 2013)	Argamassas industrializadas (BAUER, 2014¹)	Argamassas estabilizadas (BAUER, 2014¹)
Espalhamento (Flow table) (mm)	221-270	256-267	270-305	260-274
Penetração de cone (mm)	27,2-34,2	35-62	54-71	55-64
Retenção de água (%)	69-71	76-93	71,8	89,1-92,5
Teor de ar incorporado - pressométrico (%)	5-8	7,8-17	8-14	10-13
Resistência à compressão (MPa)	1,77-4,09	4-14,6	9,23	5,13-8,60
Resistência à tração na flexão (MPa)	0,61-1,17	2-4,4	3,12	1,5-2,49
Resistência potencial de aderência à tração (MPa)	0,28-0,48	0,23-0,71	0,67	0,25-0,70
Coeficiente de capilaridade g/dm ² .min ^{1/2}	1,55-1,69	0,10-17,7	3,40	2,80-5,50

¹RELATÓRIO TÉCNICO No. 14061002 - AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO – LEM-UnB

Observa-se que as argamassas industrializadas apresentaram para todas as propriedades faixas mais variadas quando comparadas as mistas e estabilizadas. As maiores resistências à compressão e à tração na flexão ocorreram para as argamassas estabilizadas e industrializadas, provavelmente devido ao incremento dos teores de cimento e utilização de aditivos incorporadores de ar.

Constatou-se uma maior variação de valores para a resistência potencial de aderência à tração, o que demonstra que este parâmetro exigencial é bastante influenciado por outras propriedades (retenção de água, teor de ar-incorporado), além das formulações, matérias-primas utilizadas e substratos de aplicação.

Ainda, os parâmetros exigenciais podem ser expressos por exigências de retração por secagem, módulo de elasticidade, e pela relação do módulo de elasticidade e resistência à tração na flexão, conforme os critérios de avaliação de susceptibilidade à fissuração de revestimento de argamassa do CSTB (1993), tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Critérios de avaliação de susceptibilidade à fissuração de revestimento de argamassa.
Fonte: Adaptada do CSTB (1993).

Características (aos 28 dias)	Critérios de classificação quanto à fissuração		
	Baixa susceptibilidade	Média susceptibilidade	Alta susceptibilidade
Retração por secagem - mm/m	$DI/l \leq 0,7$	$0,7 < DI/l < 1,2$	$DI/l \geq 1,2$
Módulo de elasticidade - (MPa)	$E \leq 7000$	$7000 < E < 12000$	$E \geq 12000$
Módulo de elasticidade/resistência à tração na flexão – E/Rt	$E/Rt \leq 2500$	$2500 < E/Rt < 3500$	$E/Rt \geq 3500$

A própria aderência influencia bastante a susceptibilidade à fissuração, à medida que condiciona a distribuição de tensões geradas por movimentos diferenciais em relação ao suporte na argamassa (VEIGA, 1998). Neste sentido, a norma brasileira ABNT NBR 13749:2013 fixa os limites de resistência de aderência à tração para emboço e camada úmida, tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para reboco e camada úmida. Fonte: Adaptada da ABNT NBR 13749:2013.

Local	Acabamento		Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
	Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
		Cerâmica	$\geq 0,30$
Teto		$\geq 0,20$	

No que se refere às argamassas estabilizadas, objeto de estudo desta pesquisa, os parâmetros exigenciais são mais complexos em virtude do tempo de estabilização. Algumas questões são relevantes quanto a manutenção das propriedades no estado fresco ao longo do tempo de estabilização (2 a 3 dias). Um questionamento importante é quanto a garantia das adequadas propriedades, no estado endurecido, quando se modifica o tempo para a hidratação do cimento.

As respostas, ainda levam a uma clara indefinição dos parâmetros exigenciais das argamassas estabilizadas, uma vez que de modo geral, devem apresentar coesão, consistência e trabalhabilidade adequadas no estado fresco, além de adequados poder de retenção de água e teores de ar incorporados, tanto no preparo, quanto no período de estabilização.

Ainda, no contexto de parâmetros exigenciais, foi realizada por Bauer (2013), através de uma parceria com um produtor de Brasília-DF, por um período de três anos, uma avaliação de 17 lotes de argamassas estabilizadas que foram aplicados em obras e avaliados como adequados pelo produtor.

Foram avaliados todos os requisitos previstos na ABNT NBR 13281:2005, acrescidos do teor de ar e variação dimensional das argamassas, mostrados os valores das médias das propriedades e requisitos das argamassas estabilizadas, conforme o Intervalo de maior ocorrência e classificação das propriedades analisadas, apresentadas na tabela 2.7.

Tabela 2.7 - Intervalo de maior ocorrência e classificação das propriedades analisadas.
 Fonte: Adaptado de Bauer *et al* (2015).

Propriedades	Intervalo(s) de maior ocorrência	Média
Resistência à compressão (MPa)	4,90 a 10,90	7,73
Resistência à tração na flexão (MPa)	1,23-3,63	2,54
Resistência de aderência potencial (MPa)	0,51-0,62	0,58
Coefficiente de capilaridades (g/dm ² .min ^{1/2})	2,00-3,20/3,20-4,40	3,23
Retenção de água (%)	73,75-82,05	77,44
Teor de ar incorporado pressométrico (%)	8,00-9,80	8,96
Variação dimensional – retração (mm/m)	1,12-0,72	0,88

Verificou-se dos resultados da tabela 2.7 que as argamassas estabilizadas contribuem para uma menor variação de intervalos de valores das propriedades quando comparadas as industrializadas, conforme os valores mostrados na tabela 2.4, bem como resistências mecânicas superiores quando comparadas as argamassas mistas. As estabilizadas contribuíram também para a redução dos coeficientes de capilaridade, apresentando valor médio de 3,73.

Quanto à propriedade de aderência, os valores atenderam a ABNT NBR 13749:2013, tabela 2.6. Quanto aos valores da variação dimensional, estas argamassas apresentaram média susceptibilidade à fissuração, conforme a tabela 2.5.

Na sequência, abordam-se os parâmetros exigenciais das argamassas: Consistência, trabalhabilidade, plasticidade, teor de ar incorporado, retenção de água, resistências mecânicas, aderência, absorção capilar e susceptibilidade à fissuração.

2.2.1 Consistência, trabalhabilidade e plasticidade

A consistência trata da condição de aplicação adequada da argamassa ao substrato. A plasticidade exerce influência, principalmente para a trabalhabilidade, bem como no desenvolvimento das operações iniciais de manuseio, transporte, aplicação (SOUSA, 2005).

A trabalhabilidade depende da consistência e da plasticidade adequadas ao processo de execução. Estas três propriedades influenciam uma na outra, bem como na retenção de água e no teor de ar-incorporados (CARASEK, 2010).

No caso das argamassas estabilizadas, o desafio é manter a trabalhabilidade ao longo dos tempos de estabilização, sem prejudicar as propriedades no estado fresco, quanto a retenção de água e teor de ar incorporado, bem como as de resistências mecânicas e absorção capilar, no estado endurecido. Quanto aos materiais constituintes destas argamassas, o aditivo estabilizador de hidratação influencia no retardo da perda de consistência e o incorporador de ar na trabalhabilidade e plasticidade.

2.2.2 Teor de ar incorporado

O ar incorporado é um dos responsáveis pela quantidade de vazios na mesma, o que afeta diretamente as propriedades das argamassas no estado fresco, tais como: densidade de massa no estado fresco, com a incorporação de microbolhas em seu interior; retenção de água, pelas características físico-químicas das microbolhas de ar, supõe-se que a mesma retém água (ALVES, 2002).

Os teores de ar incorporados nas argamassas dependem do processo mecânico de mistura, do teor e do tipo do aditivo, além do tempo de mistura, ou seja, com o aumento da concentração dos aditivos, ocorre um aumento do teor de ar incorporado, para um mesmo tempo de mistura (RODRIGUES FILHO, 2013).

Nos estudos que utilizaram argamassas mistas os valores resultantes para o teor de ar incorporado pressométrico não ultrapassam 8% (PAES, 2004; PEREIRA, 2007). No caso do ensaio pelo método gravimétrico o valor máximo encontrado por Salomão (2016), também para argamassas mistas foi de 9%. Rodrigues Filho (2013) encontrou para as argamassas

industrializadas, resultados os mais variados, de 7,8 até 19%. No caso das argamassas estabilizadas, Bauer (2013) verificou resultados de 10 até 14%.

A norma brasileira ABNT NBR 13281:2005 não estipula requisitos quanto ao teor de ar incorporado para as argamassas. A norma americana, ASTM C270:12a (2012) estipula valores de teor de ar incorporados para as argamassas mistas e de cimento compreendidos entre 12 e 14% e para argamassas sem emprego de aditivos incorporadores de ar, valores inferiores a 8%.

A plasticidade é influenciada pelo teor de ar incorporado (SILVA, 2011), e o teor de ar incorporado impacta na plasticidade, pela maior estruturação interna do sistema (RODRIGUES FILHO, 2013).

A distribuição granulométrica impacta no aumento da porosidade, evidenciado pelo aumento do teor de ar e consequente aumento no índice de vazios. Salomão (2016) observou em seus estudos que o índice de vazios variou entre 24% para uma argamassa produzida com uma areia média e bem graduada; e 30% para uma argamassa produzida com uma areia fina e mal graduada.

Salomão (2016) enfatizou que a relação água/aglomerantes e agregado/aglomerantes aumentou devido à mudança da areia média para a areia fina e assim, contribuiu para o aumento do teor de vazios das argamassas endurecidas.

2.2.3 Retenção de água

É a habilidade da argamassa de reter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação, mantendo a trabalhabilidade durante a fase de aplicação da argamassa e seu manuseio (RODRIGUES FILHO, 2013).

A retenção de água influencia na trabalhabilidade, uma vez que elevadas e aplicadas em bases pouco absorventes podem prejudicar o sarrafeamento e desempenho, contudo promovem elevadas aderências à tração devido à redução que ocorre na saída de água para o substrato e para o ambiente, diminuindo a retração plástica e por secagem (LEAL, 2003).

O CSTB (1993), para a região da França, define quanto aos requisitos da retenção de água, para revestimentos externos, as classes iguais ou superiores a U3 (80 a 90%). Já para as condições atmosféricas com clima quente ou vento, as condicionantes e os requisitos para as argamassas, vinculados classes U5 ou U6 (91 a 100%).

No caso, ASTM C270:12a (2012) estipula valores superiores que 75%. No caso das estabilizadas estudadas por Bauer *et al* (2015), o valor médio obtido para a retenção de água foi de 77,44%, tabela 2.7.

2.2.4 Aderência

A aderência é a capacidade do revestimento em se manter colado ao substrato mesmo quando solicitado pelos diferentes esforços estruturais, gradientes de temperatura e condições severas de exposição.

As propriedades físico-mecânicas das argamassas de natureza adesiva referem-se à capacidade da argamassa aderir-se ao substrato, ou seja, promover a resistência de aderência. Já a propriedade aglomerante refere-se a aptidão da argamassa em promover uma consolidação interna, entre o aglomerante e o agregado, onde se desenvolvem as demais propriedades físico-mecânicas como: a resistência à compressão, a resistência à tração, permeabilidade e capacidade de absorver deformações (ARAÚJO JR, 2004).

Conforme Gonçalves (2004), a resistência de aderência à tração representa a máxima tensão que um revestimento suporta quando submetido a um esforço normal de tração. O problema é que as especificações normativas de aderência prescrevem níveis mínimos de resistência de aderência, sem fazer referência a algo sobre níveis máximos (ARAÚJO JR, 2004).

Os fatores que influenciam a aderência de argamassas sobre bases porosas são dependentes das propriedades das argamassas no estado fresco, da sucção de água, rugosidade e porosidade dos substratos, das condições climáticas, além do processo de aplicação dos revestimentos (CARASEK, 2010).

Quanto aos requisitos de aderência, além das determinações das normas ABNT NBR 13749:2013 e ABNT NBR 13281:2005, a ABNT NBR 13755:1997 estabelece que de seis

determinações da resistência de aderência, após a cura de 28 dias, da argamassa colante utilizada no assentamento de placas cerâmicas, pelo menos quatro valores devem ser iguais ou superiores que a 0,30 MPa.

Jantsch (2015) encontrou para as argamassas estabilizadas valores de 0,09 MPa, para os tempos de estabilização de 72 horas, enquanto para 36 horas; 0,35 MPa. Já Bauer *et al* (2015) relatou o valor médio de 0,58 MPa, tabela 2.7.

2.2.5 Módulo de elasticidade

Conforme a lei de Hooke, o módulo de elasticidade é definido como a relação entre a tensão normal e a deformação correspondente, dentro do limite elástico. Ocorre que a argamassa não é um material tipicamente elástico para qualquer estágio de carregamento a que é submetida (ARAÚJO JR, 2004), ou seja, não pode ser determinado o módulo de elasticidade sem que se defina um nível de tensão do material.

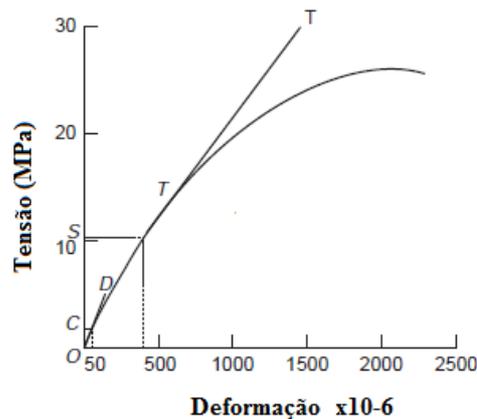
O módulo de elasticidade é a capacidade da argamassa de deformar-se elasticamente resistindo sem fissurar às deformações do substrato, sejam estas de retração ou ainda às de pequena amplitude geradas pela base onde está aderida (MONTE, SILVA E FIGUEREDO, 2007).

O módulo de elasticidade do concreto sob tração ou compressão é dado pela declividade da curva tensão-deformação sob carga uniaxial, não sendo linear, o que permite dividir este módulo em três tipos (MEHTA e MONTEIRO, 2008), figura 2.5.

- Módulo tangente – corresponde a inclinação da linha TT'. Tangente a qualquer ponto da curva s;
- Módulo secante, - corresponde a inclinação da linha SO. É obtido pela declividade de uma reta traçada da origem até um ponto da curva, que corresponde à tensão de 40% da carga de ruptura;
- Módulo cordal – corresponde ao declive da linha correspondente a linha SC. É dado pela inclinação de uma reta traçada entre dois pontos da curva tensão-deformação, sendo o primeiro corresponde a 50 μ m e o segundo a 40 % da carga de ruptura.

- Módulo de Elasticidade Dinâmico - Inclinação da linha OD. Corresponde a uma deformação instantânea muito pequena, e é dado por aproximação pelo módulo tangente inicial. Geralmente é de 20 a 40 % mais alto que o módulo de elasticidade estático.

Figura 2.5 – Diferentes tipos de módulos elásticos. Fonte: adaptado de Mehta e Monteiro (2008).



A capacidade do revestimento de absorver deformações pode ser avaliada através do módulo de elasticidade, que pode ser obtido através do método estático ou dinâmico. Quanto menor o valor do módulo, maior será a capacidade do revestimento de absorver deformações (SILVA, 2006).

Os ensaios para determinação do módulo de deformação podem ser divididos em estáticos e dinâmicos. Os ensaios estáticos são destrutivos, ou seja, os corpos de prova não podem ser reutilizados depois de submetidos a estes ensaios. Os estáticos baseiam-se na aplicação de carga, com concomitante medição da deformação, traçando-se assim a curva tensão-deformação (SILVA, BARROS e MONTE, 2008).

O módulo de deformação dinâmico corresponde a uma deformação instantânea muito pequena, devido a uma carga muito baixa, assim é obtido pelo módulo tangente inicial, que é o módulo tangente para uma reta traçada desde a origem, e é superior ao módulo de deformação estático (ARAÚJO JR., 2004).

O módulo de elasticidade dinâmico pode ser determinado através de ensaio por propagação de ondas ou por frequência ressonante. Eles não permitem traçar a curva tensão-deformação,

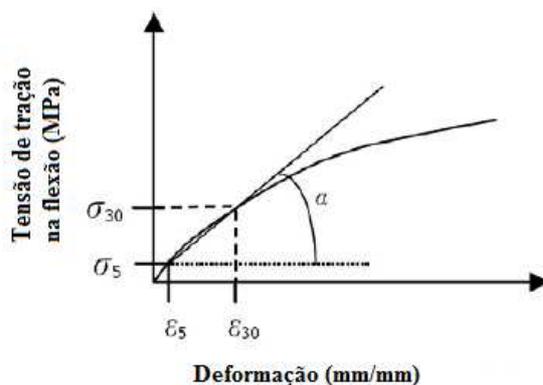
e o resultado que fornecem equivale ao módulo tangente inicial à compressão (SILVA, BARROS e MONTE, 2008).

O método de frequência ressonante utiliza ondas geradas eletromecanicamente e a partir das dimensões, massa, forma e frequência fundamental de vibração do corpo de prova são calculados. Esta relação se aplica a um meio sólido homogêneo, isotrópico e perfeitamente elástico. Já o método da velocidade de pulsação ultrassônica, envolve a medida do tempo de propagação de pulsações mecânicas geradas eletronicamente. Uma outra opção desse método envolve a medida do tempo de propagação através do material de uma onda causada por impacto (CARVALHO JR, 2005).

Quanto aos ensaios estáticos, Bastos (2001) observou em seus estudos, que não houve proporcionalidade na relação tensão/deformação do ensaio de flexão das argamassas ao longo de todo o carregamento, assim, tornou-se necessário fixar alguns parâmetros e adotar simplificações no cálculo do módulo.

Assim, Bastos (2001) adotou como critério o módulo corda para representar a deformabilidade das argamassas, que foi obtido pela declividade da reta traçada entre dois pontos da curva tensão x deformação, adotando-se os pontos correspondentes a 5% (ϵ_5 e σ_5 e figura 2.6) e 30% (ϵ_{30} e σ_{30} figura 2.6) da tensão de ruptura, onde o módulo corda corresponde a declividade α , conforme a figura 2.6. Desta forma o autor obteve valores médios para o módulo corda na flexão, para argamassas mistas (1:1:6-cimento:cal:areia), de 4,7 GPa.

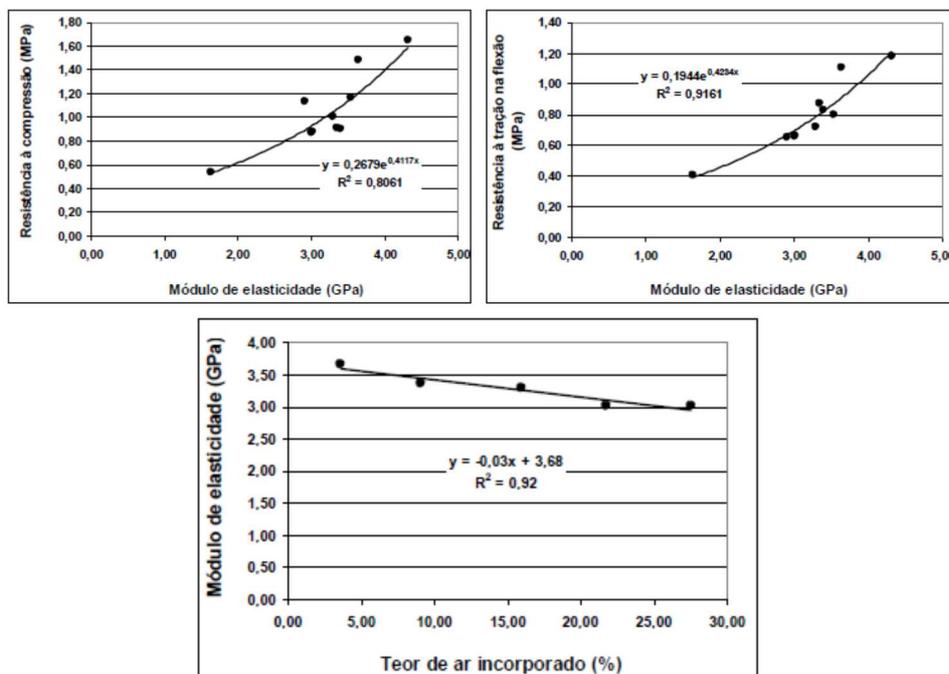
Figura 2.6 – Gráfico Tensão de tração na flexão versus deformação. Fonte: Adaptada de Bastos (2001).



Araújo Jr. (2004) realizou ensaios por três métodos: módulo dinâmico por propagação de ondas por ultrassom, ensaios estáticos por módulo secante e módulo corda na flexão. O autor utilizou os mesmos critérios de Bastos (2001) para o módulo corda na flexão. Para a realização do ensaio módulo secante, seguiu as recomendações na norma NBR 8522:2003, com as devidas modificações para ensaio em argamassas de revestimento, considerando a tensão inicial do ensaio de 10% da carga de ruptura ao invés de 0,5 MPa. Os valores obtidos para o módulo dinâmico foram superiores, não apresentando correspondência direta com o comportamento dos módulos obtidos através de ensaios mecânicos clássicos.

As normas brasileira ABNT NBR 13281:2005 e ABNT NBR 13749:2013 não trazem nenhuma tratativa no que se refere ao módulo de elasticidade, quanto a classificação por classes ou valores mínimos ou máximos. Silva (2011) demonstrou uma relação exponencial do módulo de elasticidade dinâmico e as resistências à compressão e à tração na flexão. O mesmo autor verificou que o incremento da incorporação de ar, aumentou a capacidade superior de deformação verificado pela redução do módulo de elasticidade, conforme os gráficos da figura 2.7 a, b e c.

Figura 2.7 – Gráficos de relação do módulo de elasticidade dinâmico com as resistências à compressão, à tração na flexão e com o teor de ar incorporado. Fonte: Silva (2011).



- a) *Correlação exponencial Módulo de elasticidade versus resistência à compressão; b) Correlação exponencial Módulo de elasticidade versus resistência à tração na flexão; c) Correlação linear teor de ar incorporado versus módulo de elasticidade.*

2.2.6 Resistência à compressão e resistência à tração na flexão

A resistência mecânica das argamassas de revestimento diz respeito à capacidade destas argamassas de resistirem às tensões de tração, compressão e cisalhamento às quais o revestimento pode estar sujeito (CARVALHO JR, 2005). Estas propriedades estão relacionadas aos esforços gerados por tensões na interfase substrato argamassa (RODRIGUES FILHO, 2013)

Argamassas com elevadas resistências à tração na flexão e à compressão, podem influenciar em outras propriedades como, por exemplo, aumento do módulo de elasticidade (ARAÚJO JR, 2004).

O consumo de água e o teor de cimento são variáveis determinantes nas resistências à compressão, à tração na flexão e de aderência à tração, que influenciam diretamente no módulo de elasticidade (SILVA e CAMPITELI, 2008).

A norma brasileira (ABNT NBR 13281:2005) especifica classes exigíveis para resistência à compressão e à tração na flexão, conforme mostrado na tabela 2.3.

O comportamento da resistência à compressão e tração na flexão foram semelhantes, nos estudos realizados por Casali *et al.* (2011), de maneira que os valores obtidos foram elevados para as argamassas de 36 horas em relação as argamassas de 72 horas.

2.2.7 Absorção capilar

Conforme Silva (2011), a movimentação da água de uma argamassa depende do tamanho e das conectividades dos poros e também das condições ambientais. Este fenômeno é provocado pelas diferenças de pressão entre o meio gasoso e o líquido, explicado pelas leis de Laplace e Kelvin.

Absorção por capilaridade permite avaliar a facilidade de entrada de água, como o seu transporte ocorre dentro da estrutura porosa dos revestimentos argamassados (RODRIGUES FILHO, 2013).

Absorção capilar é um fenômeno que ocorre em estruturas porosas e consiste na ação de forças de atração dos poros da estrutura sobre os líquidos que estão em contato com sua superfície (NEVILLE, 1997; JANTSCH, 2015). Os poros exercem atração sobre as moléculas da superfície dos líquidos, fazendo com que o mesmo se desloque verticalmente, até que as forças de atração dos capilares sejam equilibradas pelo peso do líquido, assim quanto menor for o diâmetro desses capilares, superiores são as pressões, conseqüentemente, mais rápida será a absorção de água (JANTSCH, 2015).

A absorção de água de um material poroso é um processo de duas fases, de forma que em um primeiro momento a água ascende devido às forças capilares que se formam no interior do material e à viscosidade, correspondendo ao preenchimento da maioria dos poros interligados, aonde a variação de massa nessa fase se relaciona linearmente com a raiz do tempo e o declive desta reta corresponde ao coeficiente de absorção de água (SALOMÃO, 2016).

Já a segunda fase inicia-se quando a frente de água atinge a superfície superior da amostra (ou é atingida a ascensão capilar máxima). No entanto, a continuidade do transporte de água por capilaridade, para o interior do material poroso, irá depender se a pressão de sucção é suficiente para implementar um mecanismo de difusão de água na região já saturada (interface) (SALOMÃO, 2016).

Para Paes (2004), a absorção capilar se refere ao transporte oriundo do desequilíbrio de forças devido à sucção capilar, também conhecida como tensão de sucção, em que a água se desloca no interior do substrato poroso. A continuidade desse transporte de água, para o interior do substrato, irá depender se esta tensão de sucção é suficiente para implementar um mecanismo de difusão de água na região já saturada (interface). Assim, se a difusividade for baixa, em virtude da estrutura de poros dos materiais, o transporte passa a ser controlado pela difusão e não mais pela absorção capilar.

O coeficiente de capilaridade permite medir a velocidade da sucção capilar que passa pela estrutura porosa dos revestimentos em argamassas em função da raiz quadrada do tempo, ou seja, ele é o coeficiente angular da reta, tomando-se no eixo das abscissas a raiz quadrada dos tempos de 10 minutos e 90 minutos, e no eixo das ordenadas as absorções de água correspondentes a estes tempos (RODRIGUES FILHO, 2013).

A ABNT NBR 13281:2005 fixa classes exigíveis para o coeficiente de capilaridade (tabela 2.3), bem como as normas portuguesa NP EN 998-1:2013 (para revestimentos externos) e o CSTB (1993) (tabela 2.2).

2.2.8 Susceptibilidade à fissuração

O surgimento de fissuras num revestimento de argamassa resulta da combinação inadequada da elasticidade e da resistência à tração e pode ser causado por fenômenos diversos como a retração de secagem, retração térmica ou ainda ações externas ao revestimento (SILVA *et al.*, 2015).

Pereira (2007) define retração como o fenômeno que está associado ao processo de redução de volume aparente que sofrem as pastas de cimento, as argamassas e os concretos antes, durante e depois da pega, quando expostos a condições de secagem ambiental, sem que haja qualquer tipo de carregamento.

A retração por secagem ocorre pela saída de água da pasta que promove a formação de uma complexa série de meniscos nos poros, que originam pressões negativas em seu interior (LEAL, 2003). A retração plástica é associada à perda de água da argamassa no estado fresco, o que provoca a mudança de volume do compósito cimentício, causando o surgimento de fissuras no revestimento (SILVA, 2011).

As argamassas que são aplicadas em espessuras superiores a 25 mm estão mais sujeitas a sofrerem a retração na secagem e a apresentarem fissuras (BAÍÁ e SABBATINI, 2008). Cabe ressaltar que ao se aplicar revestimentos de espessura superiores, além dos problemas e sobrecargas, podem ocorrer também retração e fissuração na argamassa (PAES, 2004).

As camadas de argamassa que são aplicadas em espessuras superiores a 30 mm estão mais sujeitas a sofrerem retração na secagem, além de não acompanharem as deformações da estrutura podem ocasionar problemas não só de sobrecargas na estrutura, como também de fissuração causada pela retração da argamassa de revestimento (PEREIRA, 2007).

Caso as operações de sarrafeamento e de desempenho sejam feitas com a argamassa muito úmida, possivelmente podem formar fissuras, até mesmo ocorrer o descolamento da

argamassa em regiões de superfície do revestimento de argamassa (BAÍA e SABBATINI, 2008).

Para Pereira (2007), as operações de acabamento superficial do revestimento, sarrafeamento e desempeno, uma vez que aceleram a exsudação, exerce influência no surgimento de fissuras, pois, quando realizadas precocemente aumentam a quantidade de água próxima à superfície do revestimento, incrementando o processo.

A técnica de execução das argamassas, ou seja, o tempo de sarrafeamento e desempeno, é determinante na fissuração, sendo o tempo necessário entre o lançamento e o sarrafeamento estimado em dez minutos para argamassas sem finos (OLIVEIRA *et al*, 2015).

A resistência de um revestimento à fissuração depende da capacidade da argamassa de resistir às tensões de tração nela induzidas pelo efeito da restrição da retração, devido principalmente, pela aderência ao substrato, e por outro lado, da intensidade dessas tensões (SILVA, 2011).

Muitas pesquisas desenvolvidas nos últimos anos correlacionam as propriedades de módulo de elasticidade com a resistência à tração na flexão e com a retração, utilizando o método desenvolvido pelo CSTB (1993). Dentre os autores destes estudos pode-se citar Rodrigues Filho (2013), Silva (2011), Carvalho Jr. (2005), Bastos (2001) e Veiga (1998).

O CSTB (1993) desenvolveu um método que se fundamenta no princípio de que a tendência à fissuração aumenta com o aumento da retração de secagem, com o aumento do módulo de elasticidade e quanto maior for a resistência de tração na flexão desenvolvida na argamassa devido à retração restringida, tabela 2.5 já apresentada no item 2.2.

Outro critério utilizado para avaliar a susceptibilidade à fissuração de revestimentos de argamassa, é o da ductilidade, através da relação entre resistência à tração na flexão e a resistência à compressão - R_t/R_c , utilizado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), de Portugal, também empregado por Rodrigues Filho (2013), Silva (2011) e Veiga (1998).

A variação entre a ruptura por tração na flexão e a ruptura por compressão se deve, principalmente, à fragilidade (SILVA, 2011). O autor explica que como a resistência à

tração é muito inferior à resistência à compressão para argamassas de revestimento, quanto mais próximo de 1 esta relação, mais dúctil é a argamassa.

A ductilidade é uma medida da capacidade de deformação da argamassa antes da ruptura e a tenacidade é a capacidade de um material absorver energia devido à deformação até a ruptura, ou seja, é a energia mecânica capaz de levar o material à ruptura (SILVA, 2011).

A ABNT NBR 13281:2005 trouxe uma evolução metodológica e classificatória muito importante para as argamassas, principalmente nos métodos de ensaio e de classificação, porém não foram desenvolvidas normas de projeto para as argamassas e assim, essa classificação ficou isolada na avaliação e uso das argamassas (BAUER, *et al*, 2015). Desta forma, conclui-se que estudos referentes aos parâmetros exigenciais aplicados às argamassas se fazem necessários de forma a atender aos desempenhos a serem atendidos pelos sistemas de revestimentos.

2.3 ARGAMASSAS ESTABILIZADAS

As argamassas estabilizadas são dosadas e produzidas por centrais de concreto. São entregues úmidas nos canteiros de obra, prontas para o uso. Podem ser empregadas por um período de tempo superior que as argamassas convencionais ou industrializadas (BAUER, *et al*, 2015).

O tempo superior de utilização (tempo de estabilização) é obtido a partir da inclusão do AEH (aditivo estabilizador de hidratação), que dependendo do teor deste aditivo, dos materiais combinados (cimento, areia e aditivo incorporador de ar), da formulação, permite a aplicação da argamassa estabilizada por até 72 horas e, conseqüentemente promovem ganhos de produtividade (MACIOSKI, COSTA e CASALI, 2015).

Outra peculiaridade das estabilizadas está na indicação de proteção da argamassa com o emprego de uma lâmina de água de aproximadamente 2cm, de forma a manter a umidade da mesma, durante o tempo de estabilização (CASALI *et al*, 2011). Contudo, não há normas para as argamassas estabilizadas que orientem os procedimentos de recebimento, armazenamento, introdução de película de água, bem como das condições para aplicação destas argamassas.

As principais dificuldades na produção destas argamassas estão associadas à ausência de referências específicas (formulação, controle e recebimento na obra), risco de futuras manifestações patológicas, e adequação da dosagem quando há modificação dos insumos (tipo de cimento, areia e aditivos) (BAUER *et al*, 2015).

Quanto aos parâmetros exigenciais cabe destacar a necessidade da manutenção, ao longo do tempo de estabilização, da consistência, trabalhabilidade, plasticidade e retenção de água e o que estas exigências podem afetar as propriedades no estado endurecido.

2.3.1 Matérias-primas das argamassas estabilizadas

As argamassas estabilizadas são constituídas de cimento, areias de granulometria fina, aditivo estabilizador de hidratação (AEH) e aditivo incorporador de ar (IAR).

2.3.1.1 Cimento

Os tipos de cimentos utilizados são os mais utilizados pelas concreteiras, no caso de Brasília-DF, o CP V e o CP II -F 40. No caso do Sul do Brasil, ainda são utilizados o CPII F – 32 ou CPII Z-32 (TREVISOL, 2015; JANTSCH, 2015).

No caso específico dos CP V, estes são utilizados pelas concreteiras em virtude da obtenção de maiores resistências à compressão para o concreto, nas primeiras idades. Todavia, Neves Jr. (2005) comenta que o cimento CP V não tem seu uso recomendado para a execução das argamassas, pois sua maior finura pode conduzir mais facilmente a fissuração (comparando-se com a utilização de outros cimentos, considerando-se o mesmo consumo).

Silva^a (2006) comenta que o uso de cimento em dosagens elevadas provoca elevadas resistências mecânicas podendo ser danoso já que o módulo de elasticidade aumenta, não sendo compatível com as deformações da base e pode provocar fissurações.

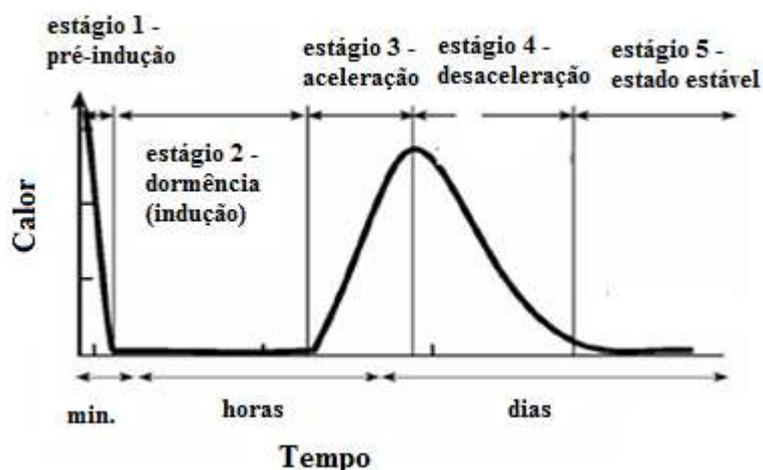
Já Neves Jr (2005) cita que no caso dos cimentos CP III e CP IV, deve-se verificar se o tempo de início e fim de pega não prejudica o serviço em questão, principalmente para a execução de chapisco ou outros serviços que demandem tempo de cura acelerado.

Dentre as características do cimento vale ressaltar que a finura é um dos parâmetros mais significativos na resistência, pois o aumento da finura dos cimentos acarreta um aumento da atividade superficial das partículas na hidratação (SILVA^a, 2006).

Quanto ao tempo de estabilização das argamassas, este é obtido conforme o teor percentual do aditivo estabilizador de hidratação sobre a massa do cimento empregado na dosagem das argamassas estabilizadas. Desta forma cabe destacar como se dá a evolução da hidratação do cimento, figura 2.8 (NELSON, 1990 *apud* OGBONNA, 2009). Cinco principais reações ocorrem: período pré-indução, período de indução, aceleração, desaceleração e estado estável.

Da figura 2.8 entende-se que após o contato do cimento com a água, observa-se uma alta liberação de calor (estágio 1- pré-indução), seguida de uma baixa e constante quantidade de calor liberada, correspondente ao período de dormência (estágio 2 - indução), na sequência, ocorre a retomada da aceleração da hidratação, observada uma forte evolução de calor (estágio 3 – aceleração). Nos períodos posteriores, observa-se a desaceleração das reações de hidratação do cimento e, portanto o decréscimo da quantidade de calor liberada (estágios 4 e 5 – desaceleração e estado estável).

Figura 2.8 - Evolução da hidratação do cimento. Fonte: adaptada de Nelson E. B (1990) *apud* Ogbonna (2009).



O AEH age no período de indução, promovendo assim maiores tempos de aplicação para as argamassas estabilizadas. Conforme Cheung *et al* (2010), o retardo é composto por dois efeitos, o aumento do período de indução e a variação da umidade, ou da taxa de hidratação do cimento depois de incorporado a argamassa ou o concreto.

2.3.1.2 Agregado miúdo

De forma, a substituir a cal, as concreteiras utilizam areias de granulometrias mais finas (módulo de finura de 1,55) e contínuas. Conforme Paes *et al* (1999), os finos têm, em função de sua alta área específica, papel de plastificantes nas argamassas.

Neste sentido, Baía e Sabbatini (1998) citam que a areia que apresenta melhor potencial de produzir uma argamassa adequada é a que tem granulometria contínua e classificada com módulo de finura entre 1,8 e 2,8.

As características das areias exercem forte influência sobre algumas propriedades da argamassa de revestimento no estado fresco, tais como: densidade de massa e consistência (CARASEK *et al*, 2016). Já Salomão (2016) comenta que para uma mesma trabalhabilidade, a argamassa preparada com areia de curva de distribuição granulométrica contínua, teoricamente, terá menor índice de vazios e, conseqüentemente, menor consumo de aglomerante.

Silva^a (2006) comenta que granulometria das areias influencia na aderência, que as areias grossas prejudicam aspectos reológicos das argamassas como a trabalhabilidade na execução, reduz a extensão de aderência e prejudicam o envolvimento do grão pela pasta de cimento e que as areias finas aumentam o consumo de água e podem provocar fissuração na argamassa.

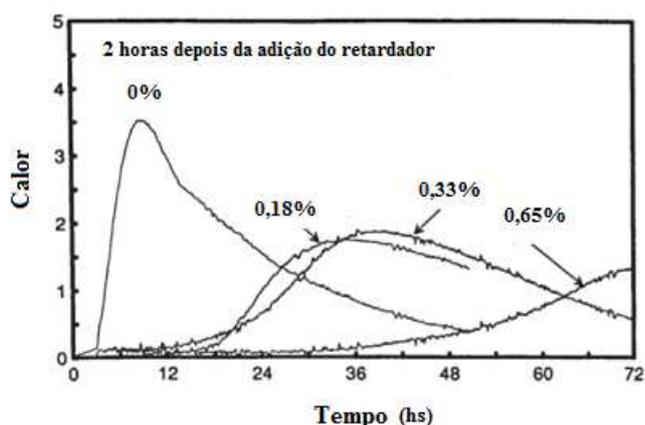
2.3.1.3 Aditivo retardador das argamassas estabilizadas (AEH)

Ao contrário dos retardadores convencionais, o AEH empregado na produção das argamassas estabilizadas pode ser utilizado em altas doses, sem efeitos adversos, tais como o desenvolvimento de resistências fracas resultantes quando da utilização de retardadores normais (RIXOM e MAILVAGANAM, 1999). A aplicação de retardadores permite o desenvolvimento de uma microestrutura mais densa devido ao crescimento de cristal retardado de C-S-H (DAAKE e STEPHAN, 2016).

Conforme Rixom e Mailvaganam (1999), o retardo de hidratação do cimento na mistura é obtido agindo em todas as fases de hidratação do cimento, incluindo a fração do C₃A. A argumentação é apoiada por dados de condução calorimétrica da Figura 2.9.

A figura 2.9, mostra diferentes teores de retardadores AEH sobre a taxa de hidratação do cimento ao longo do tempo, de forma que com 0% do aditivo; a hidratação é retomada com 2 horas, para o teor de 0,18% m.c. aproximadamente com 30 horas, para 0,33% m.c aproximadamente 42 horas e para 0,65% m.c mais de 72 horas.

Figura 2.9 - O efeito de concentrações variadas de retardador AEH sobre a taxa de hidratação do cimento. Fonte: adaptado de Rixom e Mailvaganam, 1999.



Ramachadran (1992), em seus estudos, testou diferentes fosfonatos e em seus resultados comprovou que o ácido metileno-fosfônico, foi o retardador mais eficiente em pastas de cimento, onde conseguiu aumentar o período de indução de uma pasta de cimento de 3 horas (mistura de referência) para mais de 72 horas utilizando apenas 0,09% do aditivo em peso de cimento.

Conforme Ramos, Gaio e Calçada (2013), o aumento o teor de aditivo indica alteração na cinética do aumento de temperatura com o tempo, de forma que quanto maior o teor de aditivo, menor a temperatura atingida durante a hidratação e mais lento é o ganho e a dissipação do calor gerado.

No entanto, quando se trata do estado endurecido, estudos ainda se fazem necessários de como se dar o comportamento destas argamassas, conforme os tempos de estabilização

propostos, como o tempo superior do retardo de pega do cimento, repercute nos resultados das resistências mecânicas, aderência e coeficientes de capilaridade.

2.3.1.4 Aditivo incorporador de ar (IAR)

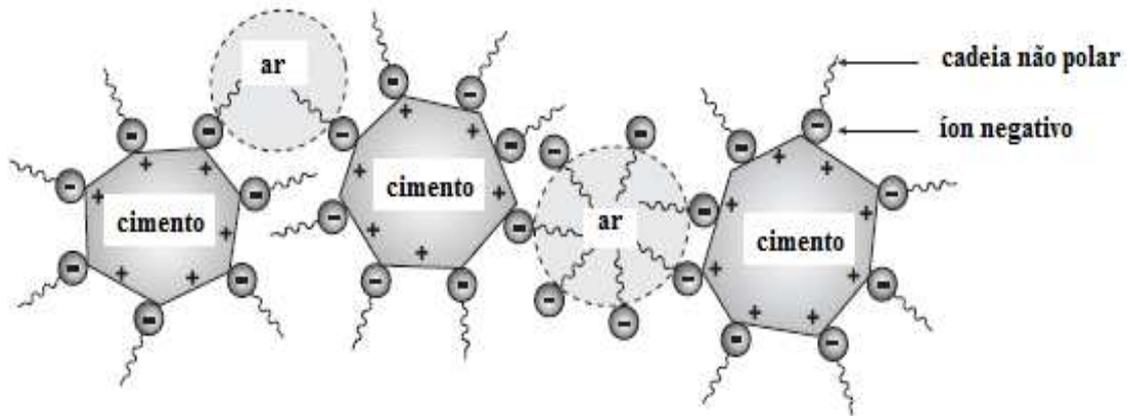
O aditivo incorporador de ar é um agente tensoativo que diminui a tensão superficial da água para facilitar a formação de bolhas e garantir que elas sejam estáveis. Os agentes tensoativos se concentram nas interfaces ar/água e tem propriedades hidrofóbicas (repelentes à água) e hidrófilas (atraem água) que são responsáveis pela dispersão e estabilização das bolhas de ar. (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Estes aditivos são tensoativos aniônicos que quando adicionados às pastas de cimento, tendem a adsorver nas partículas sólidas da pasta através da sua parte polar, com a parte apolar voltada para parte aquosa, dando um caráter hidrofóbico às partículas de cimento (RIXOM e MAILVAGANAM, 1999).

A extremidade apolar da molécula é, geralmente, uma cadeia hidrocarbônica, enquanto a extremidade polar é aniônica. Desta maneira, os incorporadores de ar mostram uma forte tendência de migrar para interfaces, de forma a que o seu grupo polar se encontre em contato com a fase líquida e o seu grupo apolar se encontre orientado para o ar, solvente orgânico ou partícula (ROMANO, 2013).

Mehta e Monteiro (2008) explicam que na interface ar-água os grupos polares são orientados para a fase aquosa diminuindo a tensão superficial, promovendo a formação de bolhas e neutralizando a tendência para as bolhas dispersas se unirem. Na interface água-sólida onde existem forças diretivas na superfície do cimento, os grupos polares se ligam ao sólido com os grupos não polares orientados para a água, tornando a superfície do cimento hidrofóbica para que o ar possa deslocar a água e permanecer ligado às partículas sólidas como bolhas, figura 2.10.

Figura 2.10 – Representação esquemática dos mecanismos dos IAR. Fonte: Adaptada de Mehta e Monteiro (2008).



Estes aditivos diminuem a tensão superficial fortemente, aumentando a molhagem das superfícies. Conforme Resende (2010), os aditivos incorporadores de ar também têm sido utilizados na composição de argamassas preparadas em obras, por agir como plastificante, melhorando a trabalhabilidade; diminuir a relação a/c, aumentar a resistência à compressão e à tração; diminuir a exsudação e reduzir a fissuração.

Os IAR são empregados nas argamassas estabilizadas no intuito de melhorar a plasticidade, uma vez que a incorporação de ar aumenta a estrutura interna (coesão) e também, porque o teor de finos, proveniente dos cimentos, é inferior em comparação as argamassas mistas. A presença de incorporador de ar nas pastas é responsável pela melhor estruturação do sistema cimentício, tornando-a mais viscosa (JRIXON e MAILVAGANAN, 1999).

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL, MÉTODOS E MATERIAIS

O programa experimental teve como objetivo a definição das variáveis independentes, das condições fixas e das variáveis dependes que auxiliaram no estudo desta temática, descrevendo as etapas de estudo, os métodos de ensaios e a caracterização dos materiais utilizados. O programa experimental proposto foi dividido em quatro etapas, que possibilitassem o estudo comportamental da formulação, dos requisitos e das propriedades das argamassas estabilizadas de revestimento.

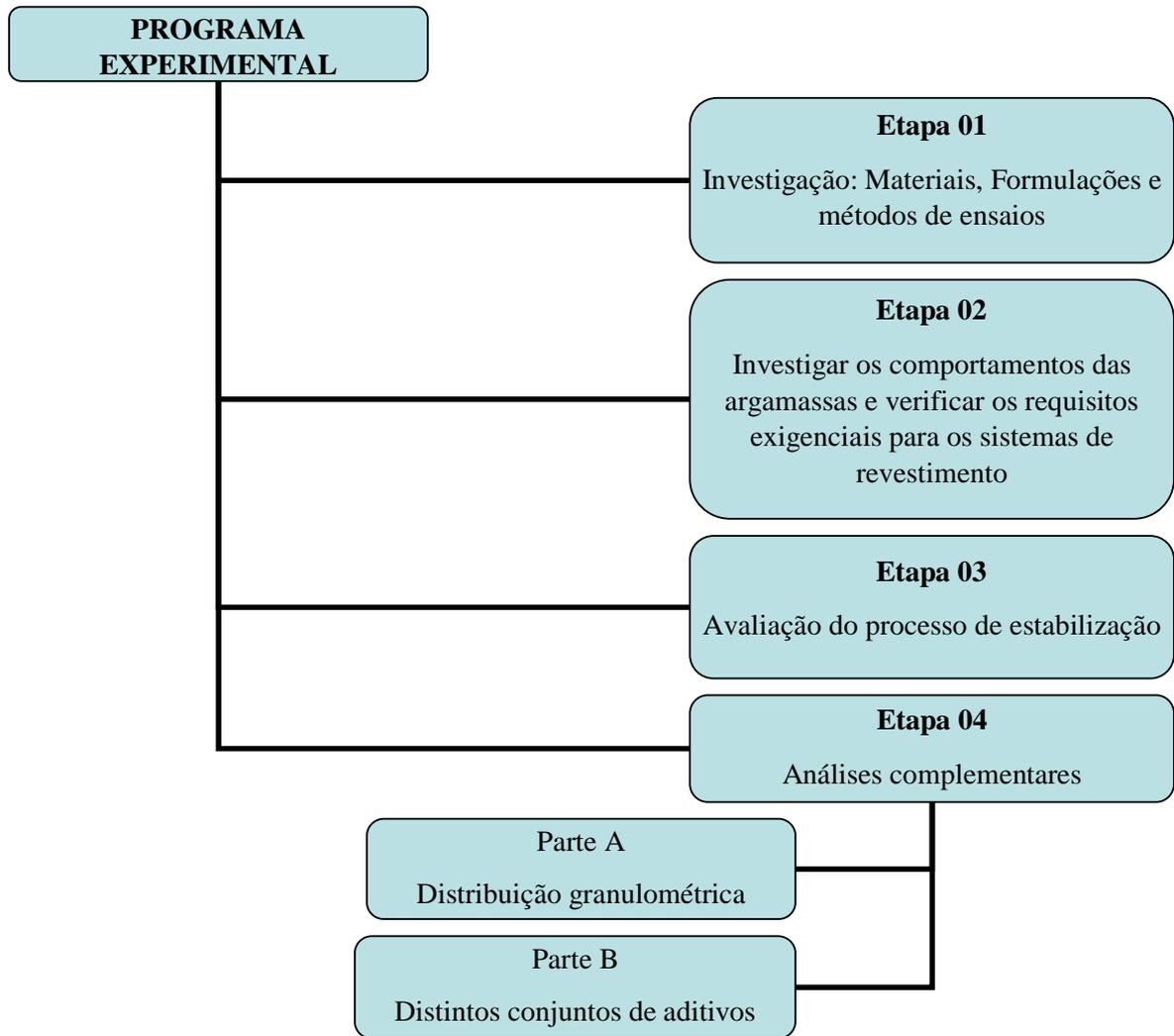
Logo, a pesquisa teve início com o treinamento dos ensaios conforme Normas ABNT e procedimentos do Laboratório de Materiais da UnB (LEM), pesquisa de fabricante dos aditivos estabilizadores de hidratação (AEH) e incorporadores de ar (IAR), visitas a empresas produtoras de argamassas estabilizadas. O objetivo principal dessa fase foi o de identificar quais as características das argamassas estabilizadas fornecidas no DF e quais os insumos básicos de sua produção.

Para a dosagem das argamassas empregou-se o método de Selmo (1989), que utiliza o parâmetro E, descrito no item 2.1 da revisão bibliográfica. Assim, as nomenclaturas das argamassas seguiram numa sequência parâmetro E seguidos das siglas dos aditivos estabilizadores de hidratação (AEH) e o incorporadores de ar (IAR). Um exemplo de nomenclatura das argamassas é E6 40/20, ou seja, parâmetro E igual a 6, teor de AEH é 0,40 % sobre a massa do cimento e teor de IAR é 0,20 % sobre a massa do cimento (E6 40/20).

Para as sequências de misturas das argamassas e determinação do teor de água, de forma atender a consistência, pré-definida, aferida pelo ensaio de penetração de cone, foi utilizado o Método Rápido de Ajuste (MRA), desenvolvido por Bauer (2013), e utilizado nas atividades realizadas no Laboratório de Materiais da UnB (LEM).

A figura 3.1 demonstra o fluxograma do programa experimental, elencando as etapas previstas para o estudo em epígrafe. A seguir são apresentadas as etapas 01, 02, 03 e 04 com suas variáveis independentes, condições fixas e variáveis dependentes, considerando a proposta para cada etapa, na busca das respostas quanto aos aspectos associados a comportamentos e propriedades das argamassas estabilizadas.

Figura 3.1 – Fluxograma do programa experimental.



3.1 ETAPA 01

A Etapa 01 foi destinada a investigação quanto aos materiais utilizados, fabricantes dos aditivos e dos teores empregados nas argamassas estabilizadas. Teve como início as visitas realizadas junto às concreteiras, bem como treinamento em práticas de ensaios no LEM. A visita às empresas produtoras, teve o objetivo de verificar o que se produz das argamassas estabilizadas, de identificar o tempo de estabilização usual, observar quais agregados e tipo de cimento são usuais, identificar teores e marcas dos principais aditivos usuais.

Dentre as atividades desenvolvidas nesta etapa, objetivaram o estudo dos aditivos de forma isolados e associados e a dosagem das argamassas estabilizadas para um conjunto de

materiais (cimento, areia, aditivo estabilizador de hidratação e aditivo incorporador de ar), de modo a obter argamassas que atendam aos quesitos técnicos das argamassas para revestimento; bem como verificar a influência dos materiais constituintes no comportamento e propriedades das argamassas estabilizadas.

Desta forma, para três variações de parâmetros E, foram fabricadas argamassas sem aditivos, com a variação dos teores de AEH de forma individual, teores de IAR de forma individual e variações de séries com os aditivos associados, conforme indicados na figura 3.2 (fluxograma da etapa 01).

Os parâmetros E (E4,5; E6 e E8) foram selecionados a partir de um conjunto de relatórios técnicos de um projeto, desenvolvido no LEM em parceria com um produtor de Brasília-DF, verificadas as variações de teores de cimento utilizados nas produções das argamassas estabilizadas (BAUER *et al.*, 2015).

Para a determinação do teor de aglomerantes e agregados, para cada valor de E, utilizou-se o método de dosagem de Selmo (1989), conforme tratado na revisão bibliográfica, item 2.1 – Formulação das argamassas (equação 1). Para determinação do teor de água foi utilizando o MRA (Método Rápido de Ajuste), conforme descrito em Métodos, no item 3.5.1.

Esta etapa pode ser resumida, conforme suas variáveis independentes, condições fixas e variáveis dependentes descritas a seguir:

Variáveis independentes:

- **PARÂMETRO E:** obtidos a partir da equação 1, utilizada no método de dosagem de Selmo (1989), referenciada no item 2.1. Os teores variaram da maior quantidade de aglomerantes para E4,5 e para a menor quantidade de aglomerantes; E8. Observou-se durante os estudos que parâmetros E acima de 8, por exemplo E10, as argamassas apresentaram elevada exsudação, indicando assim uma limitação quando trata-se da redução do teor do aglomerante.
- **TEOR DOS ADITIVOS:** a escolha dos teores de aditivos incorporadores de ar (IAR) e estabilizadores de hidratação (AEH) foi definida a partir de teores usuais empregados nas concreteiras, e se fez variações dentro da faixa limite por uso dos fabricantes. Para o AEH o teor mínimo foi de 0,40%, médio 0,95% e 1,5% para o máximo. O IAR utilizou o teor mínimo de 0,20%, médio de 0,60% e máximo de

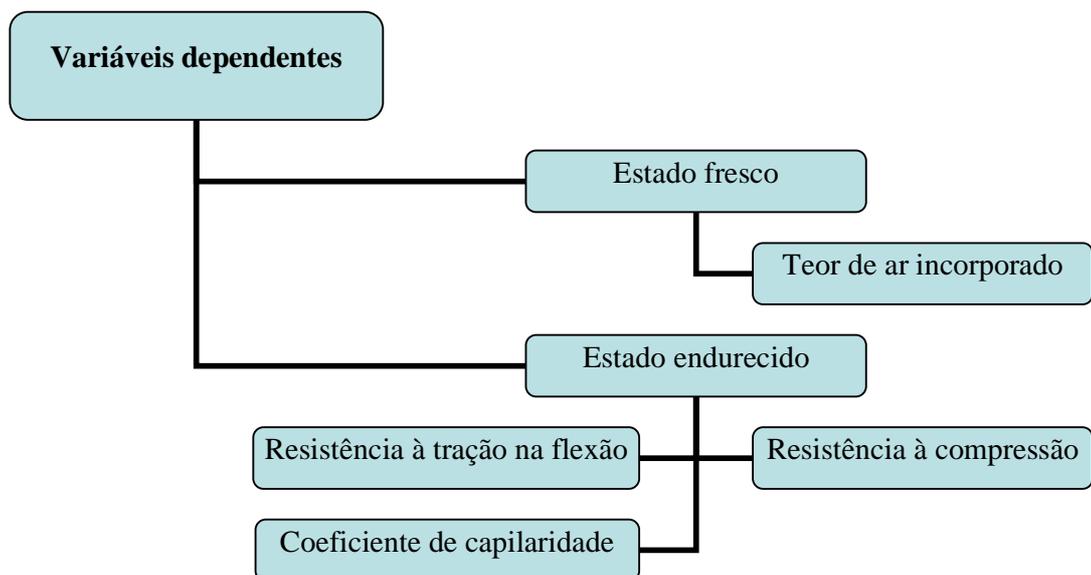
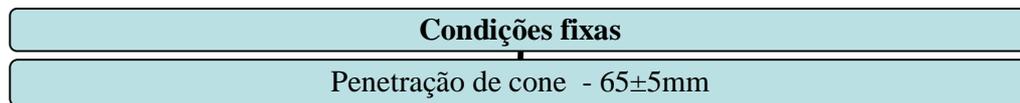
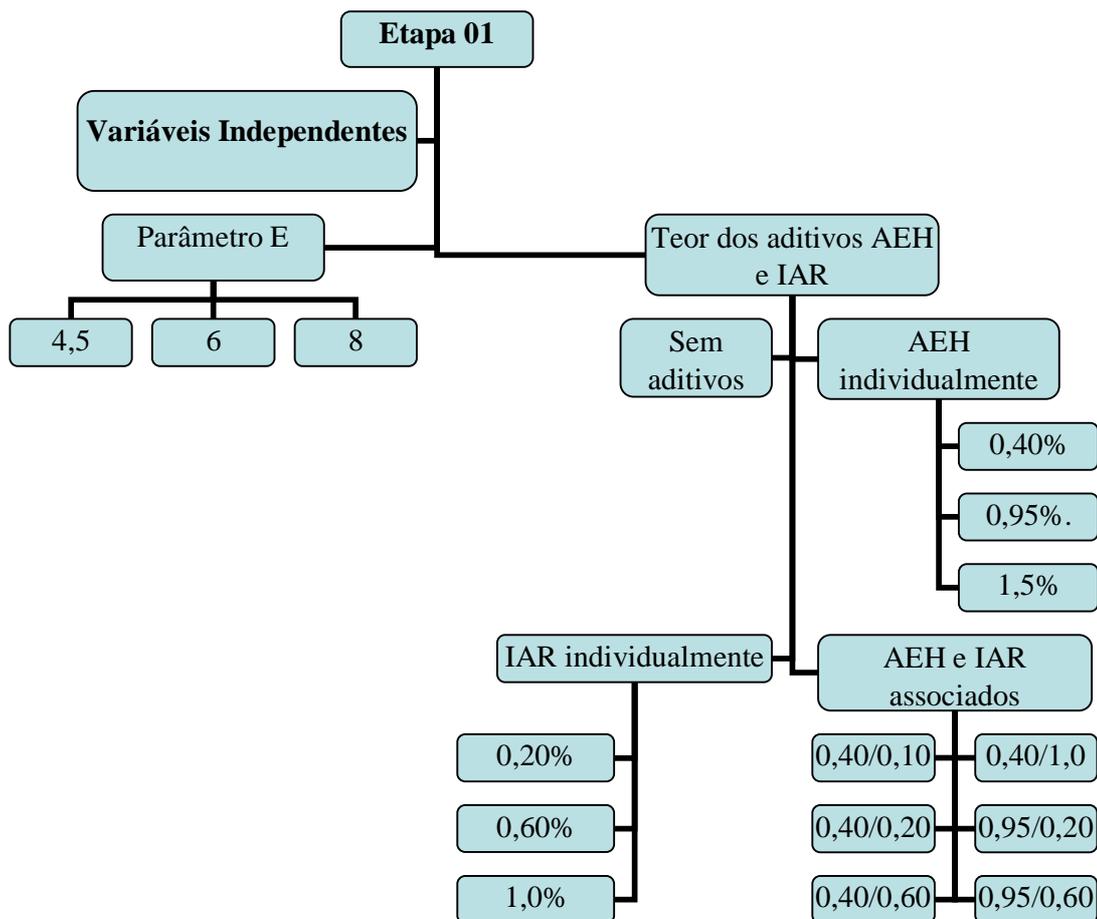
1,0%. Quanto aos teores dos aditivos associados trabalharam-se os teores mínimos e médios do AEH combinados aos teores mínimos, médios e máximos do IAR. Os teores máximos do AEH foram eliminados do estudo em virtude do tempo de desforma e da dispersão dos resultados obtidos quando se empregou o aditivo de forma isolada.

Condição fixa: Consistência avaliada pela profundidade de penetração de cone (ASTM C780:2014). Foi determinada, uma consistência inicial de preparo de 65 ± 5 mm.

Variáveis dependentes: A partir da condição fixa da consistência se obtém a relação água/materiais secos, relação água/cimento e teor de ar gravimétrico. Com esses parâmetros foi possível obter um perfil de comportamento da amostra no estado fresco. No estado endurecido, as variáveis dependentes estudadas foram as propriedades de resistência à tração na flexão, resistência à compressão e coeficiente de capilaridade.

A figura 3.2 demonstra o fluxograma com as variáveis independentes, as condições fixas e as variáveis dependentes da Etapa 01. Para as variáveis independentes são informados os teores dos aditivos, tanto para AEH e IAR isolados, quanto associados. A condição fixa indica a consistência inicial pré-definida e na sequência seguem informadas as variáveis dependentes, no estado fresco; o teor de ar incorporado e no estado endurecido; a resistência à tração na flexão, resistência à compressão e coeficiente de capilaridade.

Figura 3.2 – Fluxograma Etapa 01.



3.2 ETAPA 02

Objetivou-se investigar os comportamentos das argamassas e verificar os requisitos exigenciais para os sistemas de revestimento, as análises foram realizadas em séries com variações intencionais dos aditivos e parâmetros E distintos, assim foram realizados os ensaios de retenção de água, resistências à tração na flexão, resistências à compressão, resistências potencial de aderência à tração, módulo de elasticidade dinâmico, variação dimensional, absorção de água por imersão e coeficiente de capilaridade.

As argamassas foram estudadas numa condição de aplicação, em maior volume de produção, com o objetivo de investigar os comportamentos destas e verificar os requisitos exigenciais para os sistemas de revestimento, assim, as análises foram realizadas em séries com variações intencionais dos aditivos e parâmetros E distintos.

As séries dos aditivos associados se deram a partir da dosagem, realizada para selecionar grupos de argamassas, que possibilitassem estudar diferentes teores dos aditivos com vista a obter comportamentos específicos, tais como um superior tempo de estabilização. As variações dos aditivos buscaram estudar associações de formulação de modo a investigar quais as respostas nas propriedades de interesse das argamassas.

Esta etapa pode ser resumida, conforme suas variáveis independentes, condições fixas e variáveis dependentes descritas a seguir:

Variáveis independentes:

- PARÂMETRO E
- TEOR DOS ADITIVOS

Assim, foram selecionadas os teores de AEH/IAR (40/10; 40/20 e 95/20) e variáveis quanto ao parâmetro E; E5,5 (40/10 e 95/20); E5,75(40/20); E6 (40/20); E6,5(40/20) e E7(40/10 e 95/20), totalizando sete argamassas. Delimitou-se o estudo das séries conforme o gráfico de relação *a/c versus* parâmetro E, obtido da Etapa 01, figura 4.6.

Condição fixa:

CONSISTÊNCIA: Foi determinada, uma consistência inicial de preparo 65 ± 5 mm. Nesta etapa, os ensaios de penetração de cone foram associados aos ensaios de tensão limite de escoamento (Vane test), de forma a se obter dados de um método diferente.

Variáveis dependentes: No estado fresco, o teor de ar incorporado gravimétrico e a retenção de água. No estado endurecido, as propriedades avaliadas: resistência à compressão, resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade dinâmico, resistência potencial de aderência à tração, variação dimensional, absorção de água por imersão e coeficiente de capilaridade.

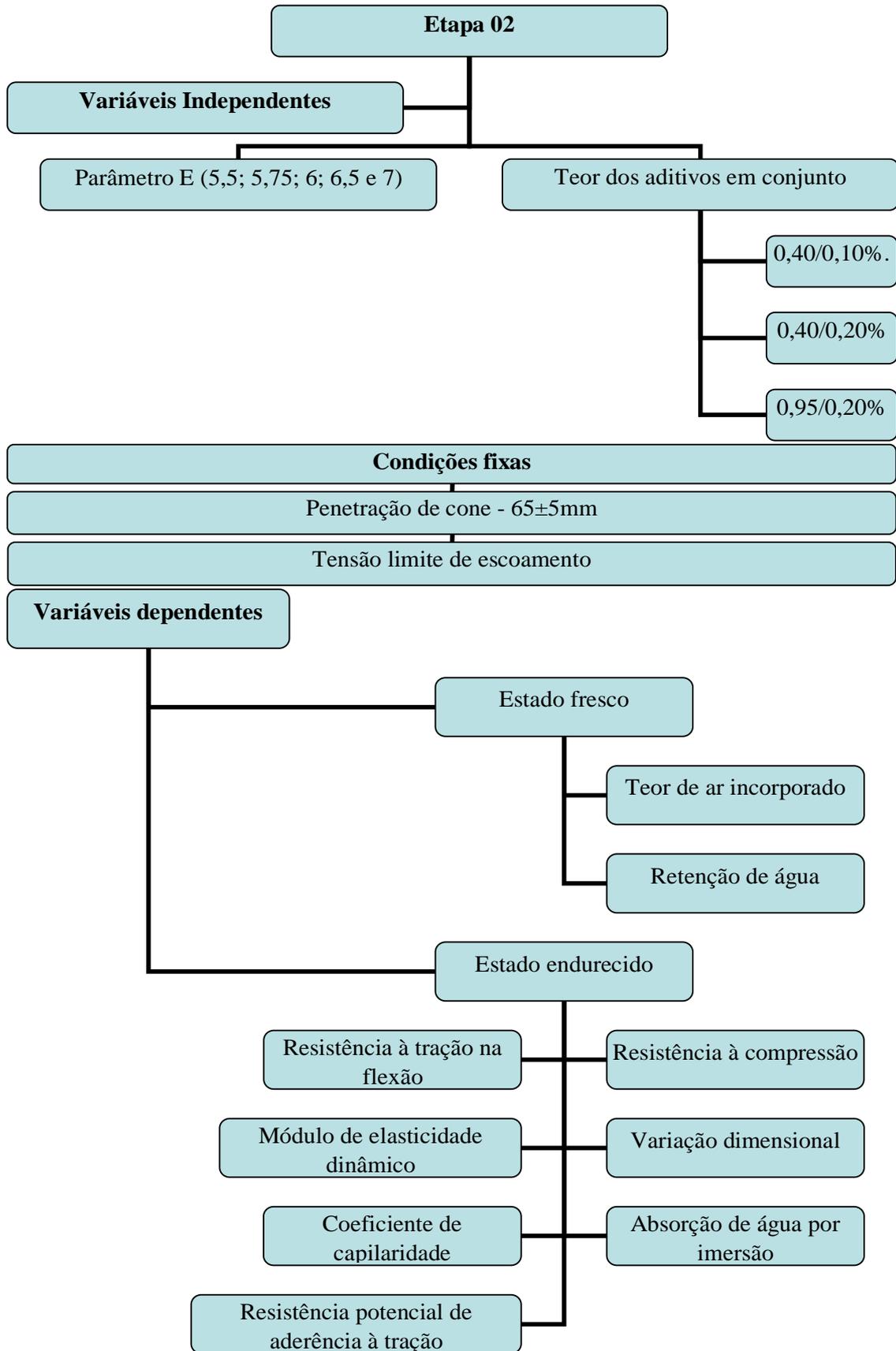
A figura 3.3 demonstra o fluxograma com as variáveis independentes, as condições fixas e as variáveis dependentes da etapa 02. Para as variáveis independentes são informados os parâmetros E e os teores dos aditivos associados. A condição fixa indica a consistência inicial pré-definida e a tensão limite de escoamento. Na sequência, seguem informadas as variáveis dependentes, no estado fresco e no estado endurecido.

3.3 ETAPA 03

Nesta etapa, buscou-se avaliar o processo de estabilização, desta forma, as argamassas foram monitoradas experimentalmente nos aspectos associados ao tempo de estabilização, investigando a consistência através dos ensaios de penetração de cone e da tensão limite de escoamento (vane test), em tempos de até 32 horas, comparando também, as argamassas em duas condições de armazenamento: proteção com lâmina de água e sem a aplicação da película de água.

Definiu-se o tempo de 32 horas em virtude das observações da etapa anterior, na qual as séries 95/20 mantiveram-se úmidas por este período. As séries 40/10 permitiram avaliar tempos de estabilização até 6 horas e as séries 40/20 até 8 horas. Após 24 horas as mesmas encontraram-se endurecidas.

Figura 3.3 – Fluxograma Etapa 02.



A seguir são descritas as variáveis independentes, condições fixas e variáveis dependentes da etapa 03:

Variáveis independentes:

- **PROTEÇÃO DA ARGAMASSA:** As argamassas foram estudadas com e sem a lâmina de água. De forma avaliar a interferência nos tempos de estabilização e propriedades no estado fresco e endurecido.
- **TEOR DOS ADITIVOS:** A escolha dos teores dos aditivos foram os mesmos estudados na etapa 02. As séries definidas foram 40/10; 40/20 e 95/20.

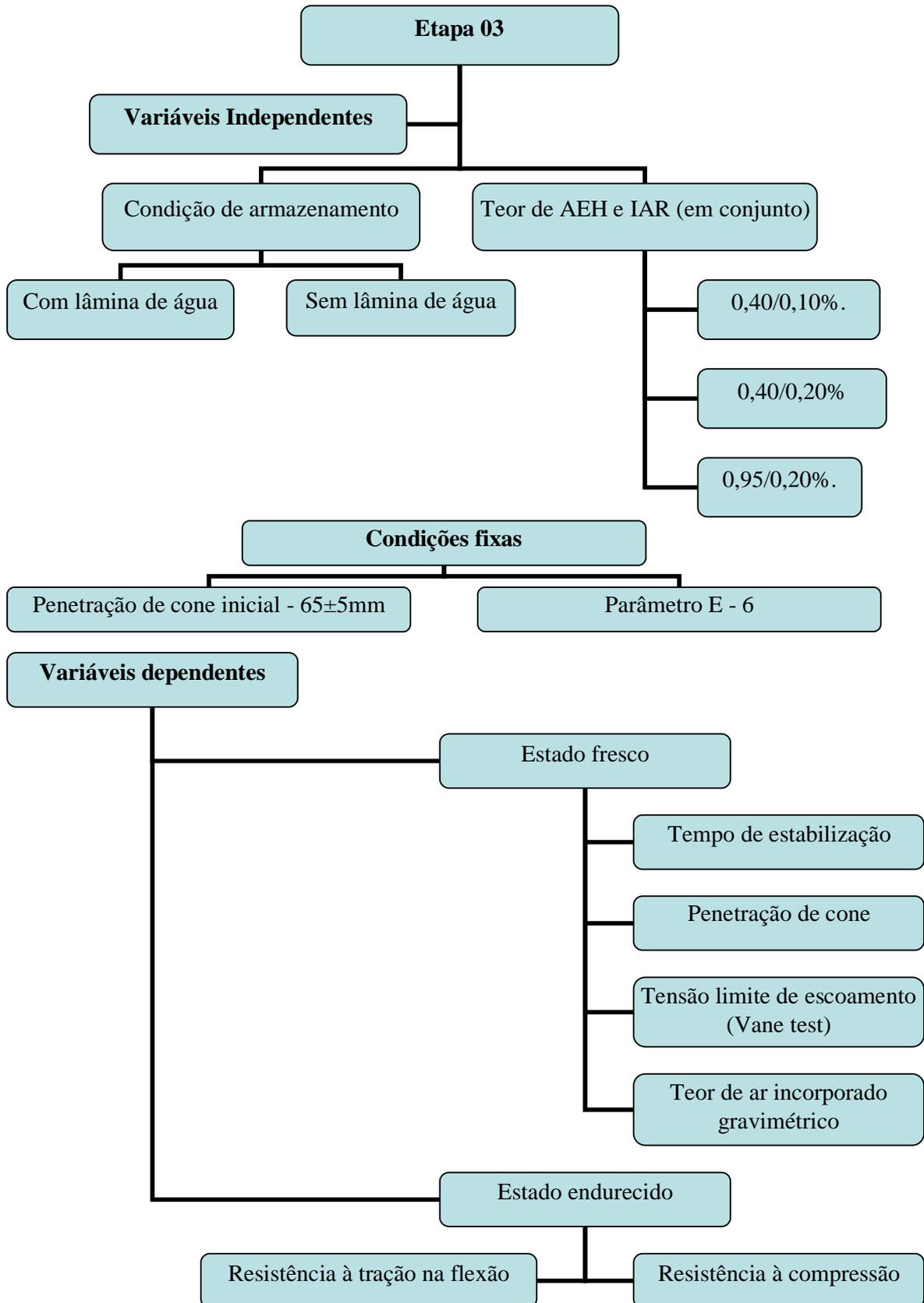
Condições fixas:

- **PARÂMETRO E:** nesta etapa foi utilizado um único parâmetro E, de forma avaliar o tempo de estabilização a partir da variação dos teores dos aditivos. O parâmetro E selecionado foi o E6, por tratar-se de uma série intermediária, figura 4.6.
- **CONSISTÊNCIA INICIAL:** Consistência avaliada pela profundidade de penetração de cone (ASTM C780:2014). Foi determinada, uma consistência inicial de preparo de 65 ± 5 mm.

Variáveis dependentes: As propriedades avaliadas a partir de ensaios que caracterizam as argamassas no estado fresco: tempos de estabilização, penetração de cone, tensão limite de escoamento e o teor de ar incorporado. No estado endurecido foram avaliadas, ao longo do tempo de estabilização, a resistência à compressão e a resistência à tração na flexão. As séries 40/10 permitiram aferições até 6 horas; as séries 40/20 até 8 horas e as séries 95/20 até 32 horas.

A figura 3.4 demonstra o fluxograma com as variáveis independentes, as condições fixas e as variáveis dependentes da etapa 03. Para as variáveis independentes são informados os teores dos aditivos associados, bem como as condições com o emprego da lâmina de água ou correção da consistência. A condição fixa indica a consistência inicial pré-definida e o parâmetro selecionado para os estudos; E6. Na sequência, seguem informadas as variáveis dependentes, no estado fresco e no estado endurecido.

Figura 3.4 – Fluxograma Etapa 03.



3.4 ETAPA 04

Esta etapa objetivou as análises complementares, buscou-se confrontar as influências de outras matérias-primas nos comportamentos e propriedades das argamassas estabilizadas. Assim, esta etapa foi dividida em parte A e parte B.

A Etapa 4A foi destinada aos estudos comparativos quanto a distribuição granulométrica da areia mais fina (AF) de granulometria contínua, utilizada nas etapas anteriores, com uma areia média, bem graduada e uniforme, nomeada AM. De forma, verificar a influência da granulometria na porosidade das argamassas e respostas quanto a absorção capilar e resistências mecânicas.

A Etapa 04B, produziu-se uma argamassas com o médio teor de AEH (AEH95 IAR20), selecionada a partir da Etapa 03, buscando avaliar as propriedades ao longo do tempo de estabilização com os aditivos de um segundo fabricante, nomeados AD2. O intuito foi de verificar as influências, de cada produto ofertado no mercado, quanto à consistência, trabalhabilidade, teores de ar incorporados, resistência à compressão e à tração na flexão, ao longo dos tempos de estabilização, de 30 minutos até 32 horas da produção destas argamassas, com emprego ou não da lâmina de água (correção da consistência com acréscimo do teor de água).

Esta etapa pode ser resumida, conforme suas variáveis independentes, condições fixas e variáveis dependentes descritas a seguir:

Variáveis independentes

Parte A

- **GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS MIÚDOS:** Nesta etapa, também foi produzida uma argamassa com uma areia de granulometria média, a fim de comparar os comportamentos e propriedades alterando a composição granulométrica da areia empregada na fabricação da argamassa estabilizada. A distribuição granulométrica dos agregados influencia a trabalhabilidade das argamassas no estado fresco e no estado endurecido, a porosidade e conseqüentemente as resistências mecânicas.

Parte B

- **ADITIVOS:** Nesta etapa, também foi produzida uma argamassa com os aditivos de um segundo fabricante (AD2). Diferentes conjuntos de aditivos influenciam a trabalhabilidade, plasticidade, bem como as propriedades mecânicas.
- **PROTEÇÃO DA ARGAMASSA:** As argamassas foram estudadas com e sem a lâmina de água. De forma avaliar a interferência nos tempos de estabilização e propriedades no estado fresco e endurecido.

Condições fixas:

Partes A

- **PARÂMETRO E:** nesta etapa foi utilizado um único parâmetro E; E6.
- **CONSISTÊNCIA:** Consistência avaliada pela profundidade de penetração de cone (ASTM C780:2014). Foi determinada uma consistência inicial de preparo de 65 ± 5 mm. Nesta etapa, foram realizados os ensaios de tensão limite de escoamento (Vane test).
- **TEOR DOS ADITIVOS:** os teores dos aditivos selecionados foram AEH40 IAR20, por se tratar de uma série intermediária, diferentes das séries 95/20, por exemplo que representam um tempo maior para desforma e menores propriedades mecânicas.

Partes B

- **PARÂMETRO E:** nesta etapa foi utilizado um único parâmetro E, de forma avaliar o tempo de estabilização com os aditivos (AD2) do segundo fabricante. Foi utilizado o parâmetro E6.
- **CONSISTÊNCIA:** Foi determinada, uma consistência inicial de preparo de 65 ± 5 mm.
- **TEOR DOS ADITIVOS:** os teores dos aditivos selecionados foram AEH95 IAR20. Estas séries na etapa 03 mantiveram suas condições de estabilização por até 32 horas, ou seja, por um período superior aos das séries 40/10 e 40/20.

Variáveis dependentes:

Parte A

As propriedades avaliadas a partir de ensaios que caracterizam as argamassas no estado fresco e estado endurecido. No estado fresco, o teor de ar incorporado gravimétrico e a retenção de água. No estado endurecido as propriedades avaliadas foram: as resistências à compressão, resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade dinâmico, resistência potencial de aderência à tração, variação dimensional, absorção de água por imersão e coeficiente de capilaridade.

Parte B

As propriedades avaliadas a partir de ensaios que caracterizam as argamassas no estado fresco: tempos de estabilização, penetração de cone, tensão limite de escoamento e o teor de ar incorporado. No estado endurecido foram avaliadas, ao longo do tempo de estabilização até 32 horas, a resistência à compressão e a resistência à tração na flexão.

A figura 3.5 demonstra o fluxograma com as variáveis independentes, as condições fixas e as variáveis dependentes da etapa 04 A. Para as variáveis independentes são informadas as granulometrias das areias utilizadas. A condição fixa indica a consistência inicial pré-definida, a tensão limite de escoamento, o parâmetro selecionado para os estudos; E6, além dos teores dos aditivos associados; AEH 40 IAR 20. Na sequência, seguem informadas as variáveis dependentes, no estado fresco e no estado endurecido.

Já a figura 3.6 demonstra o fluxograma com as variáveis independentes, as condições fixas e as variáveis dependentes da etapa 04 B. Para as variáveis independentes são informados os aditivos associados utilizados, AD1 e AD2, bem como as condições com o emprego da lâmina de água ou correção da consistência. A condição fixa indica a consistência inicial pré-definida, a tensão limite de escoamento, o parâmetro selecionado para os estudos; E6, além dos teores dos aditivos associados; AEH95 IAR20. Na sequência, seguem informadas as variáveis dependentes, no estado fresco e no estado endurecido.

Figura 3.5 – Fluxograma Etapa 04 – parte A.

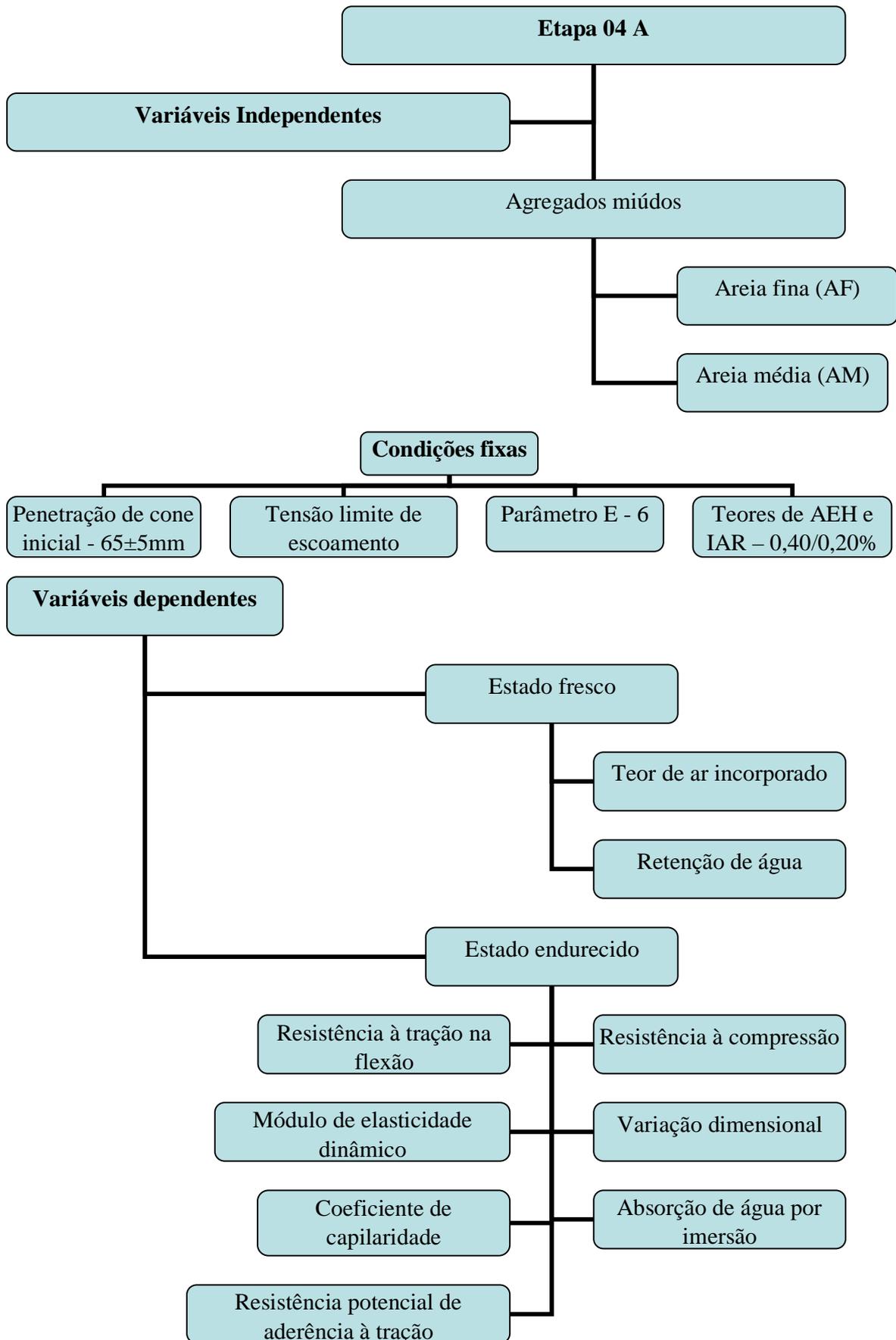
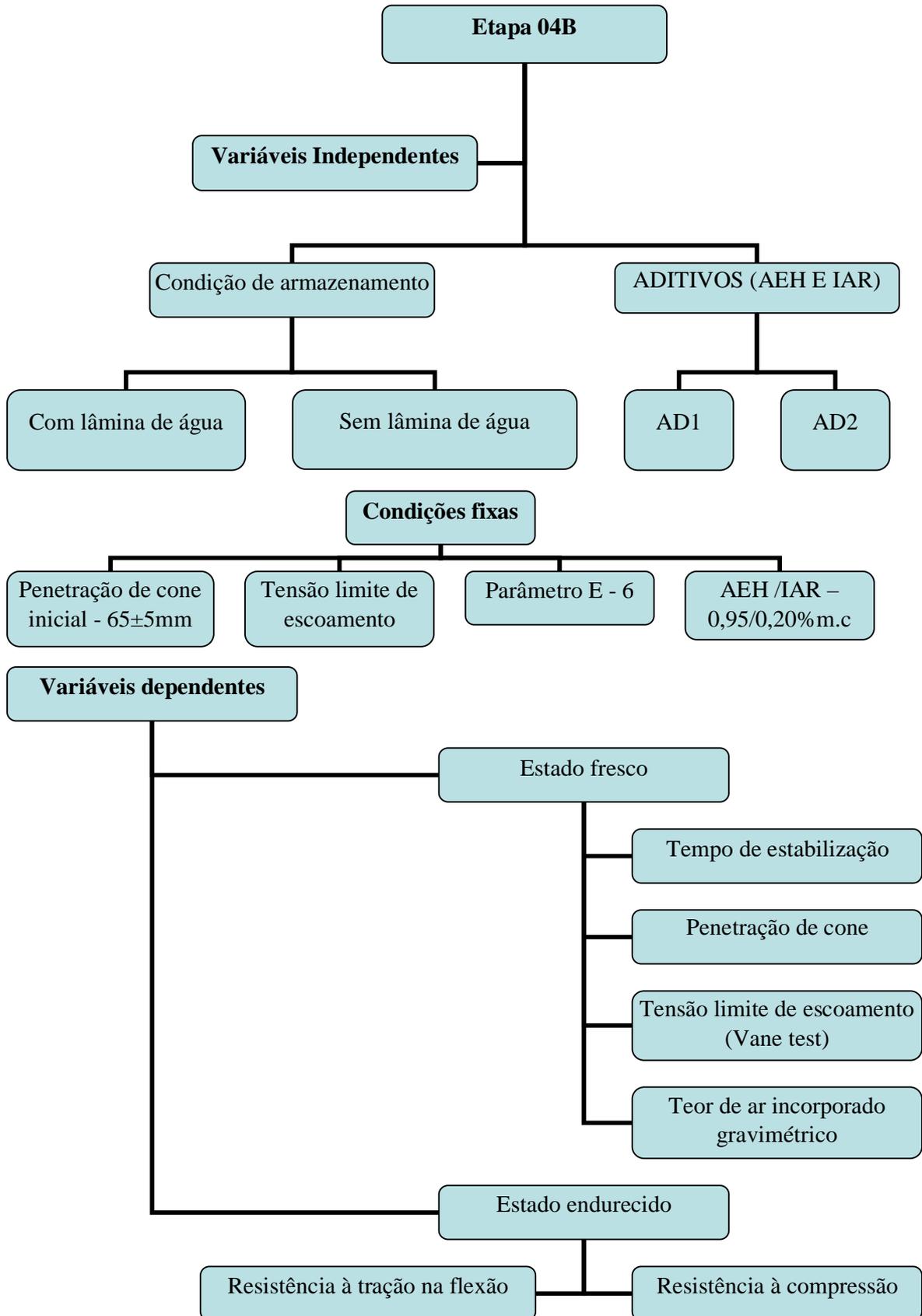


Figura 3.6 - Fluxograma Etapa 04 – Parte B



3.5 MÉTODOS

A ABNT NBR 13281:2005 determina os métodos de ensaios para a resistência à compressão, resistência à tração na flexão, densidade de massa no estado endurecido, coeficiente de capilaridade, densidade de massa no estado fresco, retenção de água e resistência potencial de aderência à tração.

Além, dos ensaios definidos pela ABNT NBR 13281:2005 foram realizados ensaios de módulo de elasticidade dinâmico, determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear), teor de ar gravimétrico e absorção de água por imersão, de forma a cumprir o programa experimental, conforme as etapas descritas.

O estudo de formulação foi realizado para um conjunto de materiais (cimento, areia, aditivo estabilizador de hidratação e aditivo incorporador de ar) seguindo o Programa Experimental proposto, a fim de elencar os principais comportamentos e propriedades das argamassas estabilizadas. Para o estudo das formulações e determinação do teor de água, considerando uma penetração de cone inicial de 65 ± 5 mm, foi utilizado o MRA, descrito a seguir.

3.5.1 Método Rápido de Ajuste (MRA)

O MRA, conforme Bauer (2013), consiste no ajuste das formulações de forma a obter uma penetração de cone pré-determinada e segue os seguintes procedimentos:

- Misturar os materiais secos em separado;
- O misturador empregado deve estar de acordo com a NBR 13276, e a quantidade de argamassa a empregar deve estar entre 2200 a 2800 g;
- Colocar água (50%) no misturador adicionar os materiais secos (30 segundos em velocidade baixa);
- Misturar por 30 segundos em velocidade baixa;
- Desligar o misturador e limpar as partes aderidas ao recipiente e a pá de mistura;
- Adicionar o restante da água conjuntamente com os aditivos misturados a mesma (em repouso);
- Misturar por 60 segundos em velocidade baixa;
- Efetuar o ensaio de consistência (cone);

- Se o cone pré-estabelecido não for atingido, retornar o material ao misturador e adicionar uma nova quantidade de água e misturar por 30 segundos;
- Efetuar o ensaio de consistência (cone);
- Se o valor de consistência não for alcançado ou ultrapassar o especificado, descartar o material e efetuar nova mistura com os quantitativos corrigidos;
- Atingindo a consistência, passa-se para a etapa da moldagem dos prismas, empregando os procedimentos da NBR 13279. Moldam-se três prismas.
- Aos 28 dias, se efetua o ensaio de resistência à tração na flexão em três prismas, executando na sequência os ensaios de compressão em três metades dos prismas e o restante é empregado para o ensaio de capilaridade (três metades de prismas).

Neste caso, os ensaios foram adaptados quanto aos métodos de ensaios descritos nas normas ABNT NBR 13279:2005, que prevê seis metades dos prismas para os ensaios de resistência à compressão e a ABNT NBR 15259:2005 que prevê três prismas para a realização dos ensaios de absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade.

3.5.2 Preparação e nomenclaturas das argamassas

Antes das produções das argamassas, ocorreram os preparos das matérias-primas: colocação de agregados na estufa por 24 horas em temperatura de 100 °C, seguido de seu peneiramento, utilizando a peneira 1,2 mm.

Para os preparos das argamassas na etapa 01, utilizou-se para as homogeneizações e misturas das argamassas, um misturador mecânico (argamassadeira), da marca Hobart, modelo N-50 (figura 3.7). A quantidade de material seco utilizado para cada argamassa foi na quantidade de 2500 g.

Na sequência, pesaram-se as quantidades necessárias de areia e cimento para a fabricação das argamassas, sendo armazenados em embalagens plásticas. Os aditivos e água foram pesados no momento das misturas das argamassas. Os AEH e IAR foram medidos em massas percentuais em conformidade com as massas do cimento. As produções das argamassas ocorreram conforme descritos nos procedimentos do MRA.

Figura 3.7 – Argamassadeira.



De forma a investigar a influência dos aditivos, esta etapa previu a variação dos teores de AEH e IAR, tanto individualmente; quanto em séries dos aditivos associados. Assim, as argamassas foram nomeadas conforme o parâmetro E utilizado, bem como pelos teores dos aditivos. A figura 3.8 mostra como se deu a identificação.

Figura 3.8 – Identificação e nomenclatura das argamassas.



A tabela 3.1 lista a nomenclatura das argamassas conforme o parâmetro E utilizado, seguido dos teores de AEH e teores de IAR. O exemplo E6 40/20, indica que a argamassa utiliza o parâmetro E6, o teor de AEH igual a 0,40% sobre a massa do cimento e 0,20% de IAR sobre a massa do cimento. Os aditivos individuais seguiram o parâmetro E, a sigla do aditivo e seu teor. Exemplo: AEH 40 indica o aditivo estabilizador de hidratação e seu teor de 0,40% sobre a massa do cimento.

Tabela 3.1- Nomenclatura das argamassas – Etapa 01.

Parâmetro E	Teor de AEH (% m.c)	Teor de IAR (% m.c)	Nomenclatura
E 4,5	0,00	0,00	E 4,5 SA
	0,40	0,10	E4,5 40/10
	0,40	0,20	E4,5 40/20
	0,95	0,20	E 4,5 95/20
E6	0,00	0,00	E 6 SA
	0,40	0,00	E6AEH40
	0,95	0,00	E6AEH95
	1,50	0,00	E6AEH150
	0,00	0,20	E6IAR20
	0,00	0,60	E6IAR60
	0,00	1,0	E6IAR100
	0,40	0,10	E6 40/10
	0,40	0,20	E6 40/20
	0,95	0,20	E6 95/20
	0,40	0,60	E6 40/60
	0,40	1,0	E6 40/100
	0,95	0,60	E6 95/60
	E8	0,00	0,00
0,40		0,00	E8AEH40
0,95		0,00	E8AEH95
1,50		0,00	E8AEH150
0,00		0,20	E8IAR20
0,00		0,60	E8IAR60
0,00		1,0	E8IAR100
0,40		0,10	E8 40/10
0,40		0,20	E8 40/20
0,95		0,20	E8 95/20
0,40		0,60	E8 40/60
0,40		1,0	E8 40/100
0,95		0,60	E8 95/60

Na etapa 02, buscou-se associar comportamentos de forma complementar a Etapa 01, tais como diferenças de teores de ar incorporados quando se modificou o equipamento de mistura das argamassas, analisar a retenção de água, variação dimensional, resistência de aderência

à tração e o módulo de elasticidade dinâmico. Assim, utilizou-se uma quantidade de material seco maior (40 kg) e a homogeneização ocorreu em um misturador horizontal mecânico, da marca ANVI, capacidade de 160 kg, figura 3.9.

Figura 3.9 – Foto do equipamento misturador horizontal.



Os procedimentos adotados foram detalhados abaixo:

- Pesagem dos materiais em quantidades definidas pelo traço adotado;
- Colocação e pré-mistura de todo o material anidro no misturador horizontal mecânico;
- Adição de água aos poucos, com o misturador ligado;
- Adição dos aditivos AEH e IAR, com o misturador ligado;
- Com equipamento desligado, retirou-se uma parcela da amostra para fazer a primeira aferição do ensaio de penetração de cone;
- Adição da demanda de água necessária para obtenção de penetração de cone de 65 ± 5 mm.
- Encontrado o valor da penetração do cone deixou-se o equipamento misturando por mais 10 minutos;
- Após a produção da argamassa e repouso de 30 minutos, os ensaios no estado fresco e as moldagens necessárias, para os ensaios no estado endurecido, foram realizados.

As moldagens desta etapa foram realizadas para nove corpos de prova: três prismas para os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, três prismas para os ensaios de coeficiente de capilaridade e absorção de água por imersão e três para os ensaios de módulo

de elasticidade. Assim, como na Etapa 01, as nomenclaturas das argamassas seguiu o parâmetro E e na sequência AEH/IAR, conforme elencados na tabela 3.2.

Tabela 3.2- Nomenclatura das argamassas – Etapa 02.

Parâmetro E	Teor de AEH (%m.c)	Teor de IAR (%m.c)	Nomenclatura
E5,5	0,40	0,10	E5,5 40/10
E5,5	0,95	0,20	E5,5 95/20
E5,75	0,40	0,20	E5,75 40/20
E6	0,40	0,20	E6 40/20
E6,5	0,40	0,20	E6,5 40/20
E7	0,40	0,10	E7 40/10
E7	0,95	0,20	E7 95/20

A etapa 03 foi destinada ao estudo dos tempos de estabilização e suas influências sobre os comportamentos das argamassas estabilizadas, além da utilização da película de água de proteção. As quantidades de materiais secos necessários para as produções das argamassas e o equipamento de mistura foram os mesmos utilizados na etapa 02. Contudo, as argamassas foram avaliadas nas condições com e sem lâmina de água.

As argamassas sem lâmina de água, quando apresentaram o valor obtido de penetração de cone na faixa compreendida de 40 ± 10 mm, consistiram na correção do teor de água, de forma obter uma penetração de cone 60 ± 5 mm. Desta forma, separou-se 2600 g de argamassas e na sequência, adicionou-se o teor de água necessário para se atingir uma penetração de cone de $60 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$.

A homogeneização das argamassas, com o teor de água adicionado na correção, foi obtida em um misturador mecânico (argamassadeira), da marca Hobart, modelo N-50, homogeneizada durante quatro minutos e velocidade baixa. A outra metade da argamassa passava pela retirada da lâmina de água, através de uma seringa de 60 ml, e em seguida, ocorria a retirada da argamassa formada na superfície (argamassa mais fluída, aparência de

nata) e logo abaixo desta camada, foram obtidas as argamassas estabilizadas, propriamente ditas, utilizadas para a realização dos ensaios de penetração de cone, Vane test e teor de ar incorporado. As nomenclaturas das argamassas são listadas na tabela 3.3.

Tabela 3.3- Nomenclatura das argamassas – Etapa 03

Parâmetro E	Teor de AEH (% m.c)	Teor de IAR (% m.c)	Nomenclatura
E6	0,40	0,10	E6 40/10
E6	0,40	0,20	E6 40/20
E6	0,95	0,20	E6 95/20

A Etapa 04 A utilizou os mesmos métodos de preparo das argamassas, aferições dos ensaios e as moldagens da Etapa 02. Já a etapa 04B utilizou os mesmos procedimentos da Etapa 03. As nomenclaturas das argamassas seguiram os mesmos critérios das etapas anteriores, conforme a tabela 3.4.

Tabela 3.4– Nomenclaturas das argamassas da Etapa 04.

Etapa	Parâmetro E	Teor de AEH (% m.c)	Teor de IAR (% m.c)	Nomenclatura
04A	E6	0,40	0,20	E6 40/20 AM
04A	E6	0,40	0,20	E6 40/20AF
04 B	E6	0,95	0,20	E6 95/20 AD1
04 B	E6	0,95	0,20	E6 95/20 AD2

3.5.3 Métodos de ensaios no estado fresco

3.5.3.1 Consistência – Penetração de cone

Este ensaio foi realizado de acordo com a norma internacional ASTM C780:2014, com o objetivo de se avaliar a consistência da argamassa através da resistência de penetração de um cone de metálico, figura 3.10. Os procedimentos para realização desse ensaio são:

- Preenchimento do recipiente cilíndrico com argamassa, adotando-se o ensaio complementar ao de densidade de massa;
- Preenchimento com argamassa do recipiente cilíndrico (diâmetro interno 76 mm e altura 88 mm) em três camadas de alturas aproximadamente iguais, adensando-as com espátula metálica, com 20 golpes cada uma, uniformemente distribuídos;
- Rasamento da superfície da argamassa com o auxílio de uma espátula metálica;
- Limpeza do recipiente e em seguida, registro da massa do conjunto.
- Posicionamento do cone rente à superfície da argamassa, efetuando-se a leitura inicial;
- Liberação do cone para que este penetre na argamassa, realizando-se a leitura final.

O índice de consistência da argamassa ensaiada corresponde à diferença entre a leitura inicial e a leitura final, expressa em milímetros.

Para a avaliação do índice de consistência, da etapa 01, foi utilizada a média de dois ensaios, realizados em cada intervalo de tempo (preparo, 15 e 30 minutos), para a obtenção dos resultados.

No caso das etapas 02 e 04 A, para a avaliação do índice de consistência, após 30 minutos do preparo, foi utilizada a média de três ensaios realizados para a obtenção dos resultados.

Para as etapas 03 e 04 B, a avaliação do índice de consistência, foi utilizada a média de três ensaios, até os 30 minutos do preparo e para os demais tempos; a média de dois ensaios, realizados em cada intervalo de tempo (4, 8, 12, 24 e 32 horas) para a obtenção dos resultados.

Figura 3.10 – Ensaio de penetração de cone.



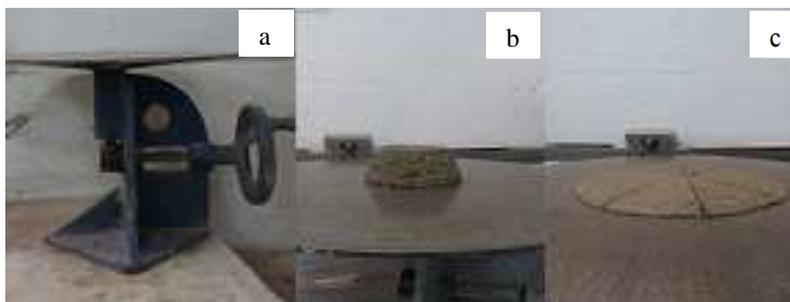
3.5.3.2 Espalhamento (Flow table)

Os ensaios foram realizados para as Etapas 01 e 02 e realizados segundo a ABNT NBR 13276:2005, a fim de se determinar a consistência da argamassa a partir do espalhamento da argamassa sobre uma mesa padronizada (figura 3.11, a). As principais etapas destes ensaios são descritas abaixo:

- Limpeza da mesa do ensaio de consistência, centralizando o molde com forma de um tronco de cone sobre a mesa;
- Preenchimento com argamassa do molde em três camadas de mesma altura, com 15, 10 e 5 golpes distribuídos na primeira, segunda e terceira camada, respectivamente;
- Alisamento da superfície da argamassa com o auxílio de uma régua e limpeza da mesa ao redor do molde;
- Retirada do molde e acionamento da manivela do aparelho, de forma que a mesa caia 30 vezes em aproximadamente 30 segundos.
- Medição dos três diâmetros do espalhamento da argamassa com o auxílio de um paquímetro.

O índice de consistência da argamassa corresponde à média de três medidas de diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro, expressa em milímetros. O ensaio foi realizado uma única vez para cada argamassa produzida.

Figura 3.11 – Equipamento e realização do ensaio de espalhamento.



a) Flow table; b) Argamassa após a retirada do tronco de cone; c) Três medidas de diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro.

3.5.3.3 Determinação da tensão limite de escoamento pelo ensaio de vane test

Apresenta-se como um método simples e eficiente para determinar a resistência ao cisalhamento de fluidos não-Newtonianos, tem sido utilizado para avaliar outros parâmetros aplicáveis em um contexto reológico, como a viscosidade plástica e a resistência ao cisalhamento (BAUER et al, 2006).

A avaliação da tensão limite de escoamento das argamassas foi realizada conforme procedimento da ASTM D4648:2013. O equipamento utilizado no ensaio foi o Vane Tester de bancada fabricação da Wykeham Farrance Engineering, equipado com uma mola de torção com constante de mola 0,023 kg.cm/grau. A palheta em cruz utilizada foi a com altura de 51 mm e largura 26 mm. A figura 3.12 mostra o equipamento de Vane test identificando suas partes.

Figura 3.12 – Equipamento de Vane test.



A realização deste ensaio seguiu os procedimentos descritos a seguir:

- Preenchimento do recipiente cilíndrico com argamassa, em três camadas de alturas aproximadamente iguais, adensando-as com 20 golpes cada uma, uniformemente distribuídos;
- Em seguida, insere-se a palheta na amostra, de modo que a mesma transpasse um valor igual ao de seu diâmetro;
- Aplica-se manualmente o torque, tomando-se o cuidado para não ultrapassar a velocidade de 0,1 RPM (aproximadamente 60 a 90 °/min);
- Na sequência registra-se na parte superior do equipamento, a deformação da mola em graus.

O recipiente utilizado possui diâmetro e altura de 100mm. O resultado obtido no ensaio, em graus é multiplicado pela constante da mola e assim se obtém o torque máximo. Conhecendo-se ainda a geometria da palheta (altura e diâmetro), pode-se determinar a tensão limite de escoamento, utilizando as equações 2 e 3.

Conversão de grau para o cálculo do Torque máximo em N.m

$$Tm = kxLT \times 0,098 \quad (2)$$

Onde:

Tm = Torque máximo (N.m)

k= constante da mola (kg.cm/grau)

LT = leitura do torquímetro (graus)

Cálculo da tensão limite de escoamento

$$\tau_0 = \frac{Tm}{\frac{\pi D^3}{2} \cdot \left(\frac{H}{D} + \frac{1}{3}\right)} \quad (3)$$

Onde:

τ_0 = tensão limite de escoamento ou resistência ao cisalhamento (kPa)

D = diâmetro da palheta (m) = 26mm

H = altura da palheta (m) = 51mm

Paras etapas 02 e 04 A, a tensão limite de escoamento foi calcula utilizando a média de três ensaios, após os 30 minutos do preparo.

No caso das etapas 03 e 04B, a tensão limite de escoamento foi calculada utilizando a média de três ensaios, após 30 minutos do preparo e para os demais tempos de estabilização (4, 8,

12, 24 e 32 horas); a média de dois ensaios, realizados em cada intervalo de tempo para a obtenção dos resultados.

3.5.3.4 Densidade de massas e teor de ar gravimétrico

Os procedimentos para realização desse ensaio foram realizados conforme a ABNT NBR 13278:2005:

- Calibração e pesagem do recipiente (vazio);
- Preenchimento do recipiente cilíndrico com argamassa;
- Preenchimento com argamassa do recipiente cilíndrico (diâmetro interno 76 mm e altura 88 mm), em três camadas de alturas aproximadamente iguais, adensando-as, com auxílio de um soquete, com 20 golpes cada uma, uniformemente distribuídos;
- Rasamento da superfície da argamassa com o auxílio de uma espátula;
- Limpeza do recipiente e em seguida, registro da massa do conjunto.

As argamassas utilizadas na etapa 01, não utilizaram lâmina de água. Para a avaliação da densidade de massa no estado fresco e do teor de ar incorporado, foi utilizada a média de dois ensaios, realizados em cada intervalo de tempo (preparo, 15 e 30 minutos), para a obtenção dos resultados.

Para a avaliação do teor de ar incorporados, nas etapas 02 e 04 A, foram utilizadas as médias de três ensaios realizados para a obtenção dos resultados, após 30 minutos do preparo.

Para as etapas 03 e 04 B, os resultados para o teor de ar incorporado, foram obtidos utilizando a média de três ensaios, após os 30 minutos do preparo e para os demais tempos de estabilização (4, 8, 12, 24 e 32 horas); a média de dois ensaios, realizados em cada intervalo de tempo para a obtenção dos resultados.

3.5.3.5 Retenção de água

Foi realizado pelo método do Funil de Büchner conforme procedimento da ABNT NBR 13277:2005 (Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água). Os equipamentos e acessórios utilizados para realização do ensaio de retenção de água foram funil de Büchner modificado marca SOLOTEST (figura 3.13), Bomba de vácuo e Balança digital com precisão 0,01g. A realização do ensaio seguiu as etapas abaixo:

- Montagem do prato sobre o funil;
- Umedecimento do papel-filtro, colocando-o sobre o fundo do prato;
- Acionamento da bomba de vácuo de maneira a se aplicar ao conjunto prato e papel filtro úmido uma pressão de sucção de 51mmHg durante 90 segundos, pesando em seguida o conjunto;
- Preenchimento do prato com argamassa até um pouco acima da borda, adensando-a com 16 golpes junto à borda e 21 golpes no centro, de forma a se garantir o preenchimento uniforme do prato;
- Rasamento da superfície da argamassa e limpeza da borda do conjunto, registrando-se logo depois a sua massa;
- Acionamento novamente da bomba de vácuo, aplicando-se ao conjunto uma pressão de sucção de 51 mmHg durante 15 minutos, pesando em seguida o conjunto.

Figura 3.13 – Equipamentos do ensaio da retenção de água.



3.5.3.6 Moldagens dos corpos de prova para os ensaios de resistência à tração na flexão, resistência à compressão, módulo de elasticidade e coeficientes de capilaridade

As geometrias dos corpos de prova a serem utilizados nos ensaios das argamassas no estado endurecido foram:

- Resistência à tração na flexão - Foram empregados corpos de prova prismáticos com seção de 4 cm de largura x 4 cm de altura x 16 cm de comprimento;
- Resistência à compressão - Os corpos de prova ensaiados à compressão foram extraídos dos corpos de prova do ensaio à tração na flexão (seis metades de CP's). Para as etapas 01, 03 nos tempos intermediários (4, 8, 12 e 24 hs) e 04B nos tempos intermediários (4, 8, 12 e 24 hs), foram utilizados três metades provenientes dos corpos de prova do ensaio à tração na flexão. Já para as etapas 02 (após 30 minutos), 03 (após 30 minutos e 32 horas com lâmina), 04 A (após 30 minutos) e 04B nos tempos iniciais e finais (30 minutos e 32 horas com lâmina), foram utilizados seis metades provenientes dos corpos de prova do ensaio à tração na flexão;
- Absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade - Foram empregados corpos de prova prismáticos com seção de 4 cm de largura x 4 cm de altura x 16 cm de comprimento. Para a etapa 01 foram utilizadas três metades provenientes dos corpos de prova do ensaio à tração na flexão. Já para as etapas 02 e 04A foram utilizados seis metades provenientes dos corpos de prova do ensaio à tração na flexão.

As moldagens seguiram os procedimentos, conforme prescreve a norma ABNT NBR 13279:2005:

- Moldou-se de 3 corpos de prova prismáticos, utilizando forma prismática 4 x 4 x 16 cm tripla, em duas camadas de 30 quedas, realizadas através de uma mesa de adensamento mecânico. A cada 30 quedas foi utilizado o nivelador de camadas;
- Após a segunda camada, de 30 quedas niveladas, efetuou-se a rasadura;
- Acondicionou-se o conjunto em saco plástico hermético mantendo-o nesta condição até a desforma;

- Desformou-se após 48h;
- Após a desforma acondicionou-se em ambiente com $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e UR $60 \pm 5\%$ até o momento do ensaio.

3.5.3.7 Moldagens dos corpos de prova para a realização dos ensaios de variação dimensional

As moldagens seguiram os seguintes procedimentos:

- Moldou-se a argamassa em cada forma com 2 camadas de 25 golpes utilizando um soquete de plástico com 150 mm de comprimento e faces de 13 mm e 25 mm;
- Rasou-se após o adensamento da 2ª camada para retirar o excesso da argamassa (figura 3.14);
- Acondicionou-se o conjunto em saco plástico hermético por 48 horas e após, desformou-se os corpos de prova.

Figura 3.14 – Moldagem de corpos de prova para a realização dos ensaios de variação dimensional.



3.5.3.8 Moldagens dos corpos de prova para os ensaios de Aderência Potencial à Tração no Substrato Padrão

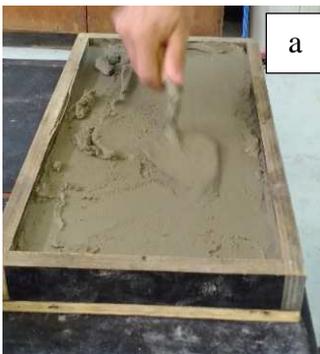
O método de ensaio foi realizado conforme prescrições da Norma NBR 15258:2005 (Argamassa para assentamento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração).

Foram utilizados para realização das moldagens: gabarito de madeira para moldagem do corpo de prova sobre o substrato padrão, colher de pedreiro, réguas metálica para rasadura e

o substrato padrão ABCP. O procedimento de moldagem e cura seguiu as seguintes etapas (figura 3.15):

- Aplica-se a argamassa no substrato padrão em 2 camadas. A primeira com aproximadamente 5 mm foi aplicada sob pressão com a colher de pedreiro de modo a cobrir homogeneamente a superfície do substrato. A segunda, completando a espessura definida em norma, com ligeiro excesso para rasar com régua metálica, ficando uma espessura final de 20 mm;
- Curou-se os corpos de prova inserindo-os em saco plástico hermético durante 5 dias. Após isso a cura foi efetuada em ambiente de laboratório com aproximadamente 23°C e umidade relativa de 60%.

Figura 3.15 - Procedimento de moldagem para a realização do ensaio de resistência potencial de aderência à tração.



Argamassa no substrato padrão - primeira com aproximadamente 5 mm.



Argamassa aplicada sob pressão com a colher de pedreiro de modo a cobrir homogeneamente a superfície do substrato.



Argamassa aplicada sob pressão com a colher de pedreiro de modo a cobrir homogeneamente a superfície do substrato.



A segunda camada de argamassa, completando a espessura definida em norma, com ligeiro excesso para rasar com régua metálica, ficando uma espessura final de 20 mm.



Argamassa com a camada rasada.



Argamassa após a desforma

3.5.4 Ensaios no estado endurecido

3.5.4.1 Resistência à tração na flexão

O método de ensaio de tração na flexão foi realizado conforme procedimentos da ABNT NBR 13279:2005 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão).

Os equipamentos e acessórios utilizados para o desenvolvimento dos ensaios foram: Prensa Hidráulica com capacidade para 5000 KN, marca Dynatest, balança digital (precisão de 0,01g) e paquímetro digital. O ensaio de tração na flexão das argamassas foi determinado conforme as etapas a seguir:

- Aos 28 dias, retirou-se a amostra do acondicionamento, tomando-se as medidas de massa e geométricas (comprimento, largura e altura);
- Posicionamento no dispositivo de ensaio conforme norma ABNT NBR 13279:2005 (figura 3.16). O dispositivo de carga possui dois suportes de aço em forma de roletes distantes entre si 97,62mm e um terceiro rolete, na parte superior, centralizado entre os roletes do suporte. O corpo-de-prova, então foi posicionado no centro do suporte, de forma que os três planos verticais que passam, através dos eixos dos três roletes ficassem paralelos e equidistantes e perpendiculares à direção do prisma de argamassa;
- Aplicação da carga até a ruptura em uma taxa de carregamento de 50 ± 10 N/s.

Figura 3.16 – Posicionamento do corpo-de-prova.



A resistência à tração na flexão é calculada segundo a equação 4:

Cálculo da resistência à tração na flexão

$$Rt = \frac{1,5 \cdot Ft \cdot L}{40^3} \quad (4)$$

Onde:

Rt- resistência à tração na flexão (MPa)

Ft – carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em Newtons;

L – distância entre os suportes, em mm

Para efeitos dos cálculos, o desvio absoluto máximo da série de corpos de prova é a diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afaste desta média para mais ou menos. Logo, os resultados foram obtidos conforme a equação recomendada na ABNT NBR 13279:2005, considerando o conceito de desvio absoluto máximo e descartando os valores superiores a 0,30 MPa.

3.5.4.2 Resistência à compressão

O equipamento utilizado no ensaio compressão foi o mesmo do ensaio de resistência à tração na flexão, todavia adaptados aos ensaios de compressão axial, alterando a rótula do equipamento (figura 3.17).

Os corpos de prova para este ensaio correspondem a metade dos prismas decorrentes do ensaio de resistência à tração na flexão, sendo que a face rasada foi posicionada lateralmente de modo que não fique em contato com as placas de aplicação da carga. As placas foram usadas para distribuição da carga axialmente no corpo de prova. O ensaio de resistência à compressão das argamassas foi executado conforme as etapas:

- Utilizou-se as metades dos prismas dos ensaios de resistência á tração na flexão (aos 28 dias);

- Posicionamento no dispositivo de ensaio conforme norma ABNT NBR 13279:2005 (figura 3.17). O dispositivo deve ser provido do prato superior capaz de alinhar livremente no momento de contato com a argamassa e, durante a aplicação da carga, a posição relativa do prato inferior e superior deve permanecer inalterada. Os pratos devem ser de aço, ter $40 \pm 0,1$ mm de comprimento e largura e no mínimo 10 mm de espessura. O Corpo-de- prova deve ser posicionado de forma que os pratos superior e inferior fiquem paralelos;
- Aplicação da carga até a ruptura em uma taxa de carregamento de 500 ± 50 N/s.

Figura 3.17 – Posicionamento do corpo-de-prova e rótula adaptada para o ensaio de resistência à compressão.



Figura 3.18 – Realização do ensaio de resistência à compressão.



A resistência à compressão é calculada segundo a equação 5:

Cálculo da resistência à compressão

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (5)$$

Onde:

Rc- resistência à compressão (MPa)

Fc – carga máxima aplicada, em Newtons;

Para efeitos dos cálculos, o desvio absoluto máximo da série de corpos de prova é a diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afaste desta média para mais ou menos. Logo, os resultados foram obtidos conforme a equação recomendada na ABNT NBR 13279:2005, considerando o conceito de desvio absoluto máximo e descartando os valores superiores a 0,50 MPa.

3.5.4.3 Módulo de elasticidade dinâmico

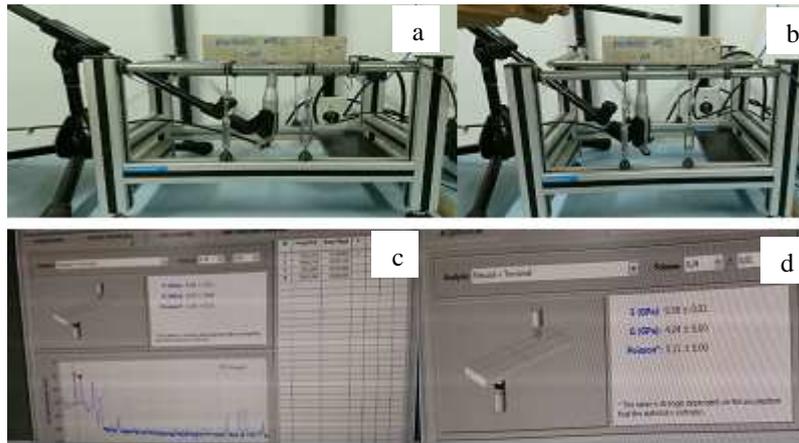
Os ensaios para obtenção do módulo de elasticidade foram realizados no Laboratório de Construção e Estruturas da UFBA, sendo utilizado o equipamento Sonelastic. Esse teste foi repetido por três vezes em cada corpo de prova.

O método da excitação por impulso é normatizado pela ASTM E1876:09: Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration.

O ensaio de módulo dinâmico realizados nos corpos-de-prova seguem os seguintes procedimentos, figura 3.19:

- Posicionamento do corpo-de-prova deitado;
- Depois de posicionado o sensor acústico do equipamento, por meio de uma haste é provocado um impacto no corpo de prova que é captado pelo sensor do equipamento e assim, se obtém os resultados dos módulos de elasticidade.

Figura 3.19 – Equipamento e ensaio de módulo de elasticidade.



a) Posicionamento do corpo de prova – deitado no equipamento; b) aplicação do impacto no corpo de prova, por meio da haste; c e d) tela do Software.

3.5.4.4 Densidade de massa no estado endurecido

Os ensaios realizados para densidade de massa no estado fresco foram realizados conforme as prescrições da Norma NBR 13280:2005 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido).

Os procedimentos necessários para realização dos ensaios:

- Após 28 dias da moldagem dos corpos de prova, as amostras foram medidas com auxílio de um paquímetro, a altura, a largura e o comprimento em duas posições, em centímetros;
- Em seguida as amostras foram pesadas, em gramas (figura 3.20);
- A seguir foi calculada a densidade de massa, utilizando a massa dividida pelo volume de cada amostra.

O resultado foi obtido utilizando a média de três amostras.

Figura 3.20- Foto da pesagem do corpo de prova.



3.5.4.5 Determinação da variação dimensional

As medidas da retração por secagem, de argamassas no estado endurecido, foram realizadas de acordo com os procedimentos da NBR 15261:2005 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear)). A medida da variação dimensional dos corpos de prova é realizada utilizando o aparelho comparador, figura 3.21.

Os equipamentos e acessórios utilizados no ensaio de variação dimensional foram:

- Aparelho comparador de comprimento marca SOLOTEST com relógio comparador da marca DIGIMESS com precisão de 1 μm , figura 3.21;

Figura 3.21 – Equipamento comparador.



- Balança digital com precisão de 0,01 g;

- Paquímetro digital (curso 400 mm);
- Recipiente plástico para armazenamento dos corpos de prova nas condições padronizadas temperatura $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa $50 \pm 5\%$).

O ensaio de variação dimensional das argamassas seguiu as seguintes etapas:

- Realizou-se a 1ª leitura com 48 horas utilizando o aparelho comparador de comprimento (figura 3.22), em seguida registrou-se a massa do prisma e seu comprimento inicial;

Figura 3.22 – Leitura da variação dimensional.



- Após as medições colocaram-se os prismas em um recipiente de plástico para manutenção da umidade relativa e temperatura definidas;
- Fizeram-se as leituras 3 vezes por semana, respeitando as datas de 7 e 28 dias;

3.5.4.6 Determinação da resistência potencial de aderência à tração

O método de ensaio foi realizado conforme as prescrições da Norma NBR 15258:2005 (Argamassa para assentamento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração).

Os equipamentos e acessórios utilizados para realização dos ensaios foram: Dinamômetro digital marca Dynatest de capacidade de carga de 5000 KN (figura 3.23), pastilhas em aço

de diâmetro 50 mm para colagem na região do círculo obtido com o corte da serra copo e para colagem massa plástica adesiva.

Figura 3.23 – Dinamômetro digital.



Para os furos no corpo de prova após os 28 dias foram: furadeira de bancada marca MOTOMIL modelo FBM-1601, serra copo diamantada marca Braskoki, diâmetro nominal de 60mm. A avaliação de aderência potencial foi efetuada aos 28 dias. O procedimento de realização dos ensaios seguiu as seguintes etapas:

- Após 28 dias cortou-se 10 corpos de prova na argamassa conforme norma ABNT NBR 15258:2005, a seco, com profundidade cerca de 1 mm para dentro do substrato, figura 3.24;

Figura 3.24 – Substrato padrão com 10 corpos de prova cortados cerca de 1mm de profundidade.



- Colaram-se as pastilhas com massa plástica adesiva;

- Rompeu-se por tração aos 28 dias;
- Mediu-se o diâmetro do corpo de prova com paquímetro (mm), calculando a tensão de aderência e identificou-se o tipo de ruptura: no substrato, na interfase substrato/argamassa, na argamassa e na falha de colagem da pastilha.

A equação 6, utilizada, conforme a norma técnica é:

Cálculo da resistência potencial de aderência à tração

$$Ri = \frac{Pi}{Ai} \quad (6)$$

Onde:

Ri- resistência potencial de aderência à tração (MPa)

Pi – carga de ruptura, em Newtons;

Ai – área do corpo-de-prova, mm²

O cálculo da resistência potencial de aderência à tração foi realizado descartando-se os valores que se afastaram $\pm 30\%$ da média.

3.5.4.7 Absorção por capilaridade e coeficiente de Capilaridade

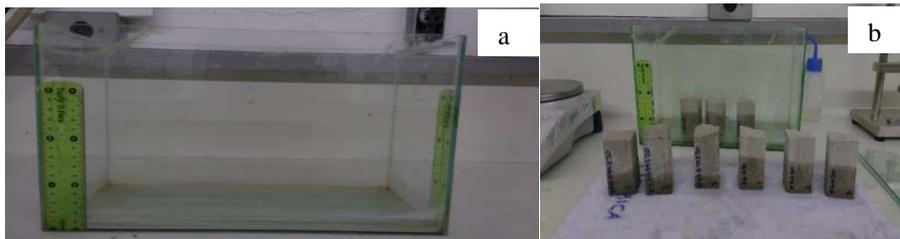
Os ensaios de absorção por capilaridade e coeficiente de capilaridade foram realizados conforme as prescrições da Norma NBR 15259:2005 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação de absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade).

Os equipamentos e acessórios utilizados nos ensaios foram: balança digital com precisão 0,01g e recipiente de vidro retangular (figura 3.25 a). Os procedimentos de realização dos ensaios foram:

- Ensaíram-se as amostras aos 28 dias;

- As superfícies dos corpos de prova foram lixadas e limpas com pincel;
- Na sequência foram pesados;
- Os corpos de prova foram posicionados com a face quadrada sobre os suportes em um recipiente de vidro, evitando a molhagem de outras superfícies. O nível da água permaneceu constante a 5 ± 1 mm acima da face em contato com a água;
- Para cada determinação do ensaio o corpo de prova foi retirado do recipiente, seco superficialmente com um pano úmido (termo utilizado na norma técnica), sendo então sua massa determinada. Imediatamente após o mesmo retorna ao recipiente com a lâmina de água.
- Nos ensaios efetuados foram feitas leituras a: 5, 10, 20, 40, 60 e 90 minutos, de forma que o procedimento da norma técnica foi alterado de forma a se obter uma curva de evolução mais precisa.

Figura 3.25 – Recipiente de vidro e realização dos ensaios de capilaridade.



a) Recipiente de vidro utilizado para realização dos ensaios; b) Amostras após a retirada do recipiente e secos superficialmente com pano úmido

Com o objetivo de padronizar as condições dos corpos de prova estes foram colocados na estufa a 50°C , dois dias antes de serem ensaiados.

Por definição da ABNT NBR 15259:2005, o coeficiente de capilaridade é igual ao coeficiente angular da reta que passa pelos pontos representativos das determinações realizadas 10 minutos e aos 90 minutos.

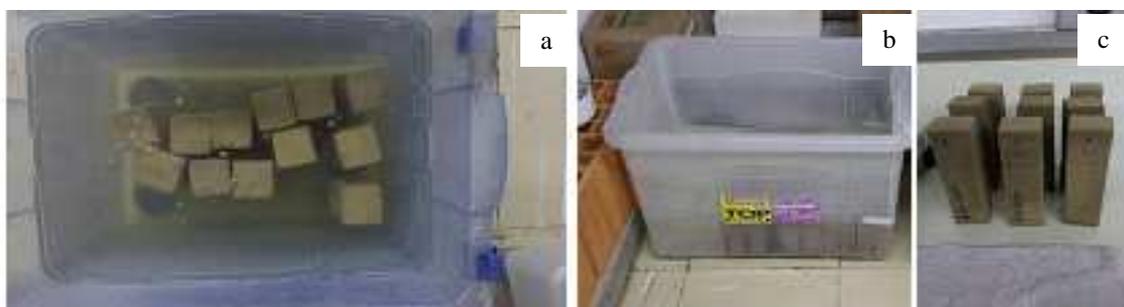
3.5.4.8 Absorção de água por imersão

Estes ensaios foram executados conforme a ABNT NBR 9778:2009 e foram ensaiados corpos de prova prismáticos $4\times 4\times 16$ cm, três unidades de cada um.

Os ensaios seguiram os seguintes procedimentos:

- Secagem dos corpos de prova em estufa à (105 ± 5) °C por 72 horas;
- Resfriamento das amostras à temperatura ambiente e determinação da massa seca;
- Imersão das amostras em água a temperatura de (23 ± 2) °C por 72 horas, figura 3.26 a e b;
- Secagem da amostra com pano seco;
- Determinação das massas das amostras após imersão;

Figura 3.26 – Ensaios de absorção de água por imersão.



a) corpos de prova imersos; b) recipiente utilizado para realização dos ensaios e c) corpos de prova após a retirada da imersão.

3.6 MATERIAIS

A escolha dos materiais empregados nesta pesquisa justificou-se por serem compatíveis e comercialmente empregados no DF e entorno, sendo assim, eles apresentam as características desejáveis para a pesquisa desenvolvida. Os ensaios de caracterização dos materiais foram executados conforme as normas da ABNT:

- Composição granulométrica dos agregados (ABNT NBR NM 248: 2003);
- Massa específica dos agregados- método do frasco de Chapman (ABNT NBR 9775: 1987);
- Determinação da massa específica – cimento Portland (NM 23:2001);
- Determinação do índice da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine) (ABNT NBR 16373:2015);
- Determinação da resistência à compressão do cimento Portland (ABNT NBR 7215:1997);

- Determinação do tempo de pega do cimento Portland (NM 65:2003).

3.6.1 Cimento CP V

O cimento utilizado na confecção das argamassas foi o CP V, um cimento que apresenta alta resistência inicial, devido à alta reatividade em baixas idades em função do grau de moagem a que é submetido. Os percentuais apresentados para este cimento foram 60,24% de CaO e 21,91% de SiO₂. A tabela 3.5 elenca a caracterização química do cimento e a tabela 3.6; as caracterizações físicas.

Tabela 3.5 – Caracterização química do cimento CP V. Fonte: Intercement (2016).

Características determinadas	Resultados (%)
Perda ao fogo	3
Resíduo insolúvel	0,95
Trióxido de enxofre (SO ₃)	3,17
Óxido de magnésio (MgO)	3,15
Dióxido de silício (SiO ₂)	21,91
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	2,7
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	5,41
Óxido de cálcio (CaO)	60,24
Óxido de sódio (Na ₂ O)	0,15
Óxido de potássio (K ₂ O)	0,73

Os resultados obtidos para as caracterizações físicas são mostrados na tabela 3.6:

Tabela 3.6 – Caracterização física do cimento CP V.

Resistência à compressão (MPa)				Pasta CN*	Tempo de pega (hs)		Massa específica (g/cm ³)	Superfície específica (cm ² /g)
1 dia	3 dias	7 dias	28 dias		Início	Fim		
27	37,6	52,1	50,6	6mm 160,2 9 g de	2:19	3:34	3,08	5261,32

* Pasta de consistência normal

3.6.2 Agregados miúdos

Foram selecionadas duas areias naturais lavadas de rio, uma de granulometria fina (AF), a principal dos estudos e uma areia de granulometria média (AM) para produção da argamassa da etapa 04 A.

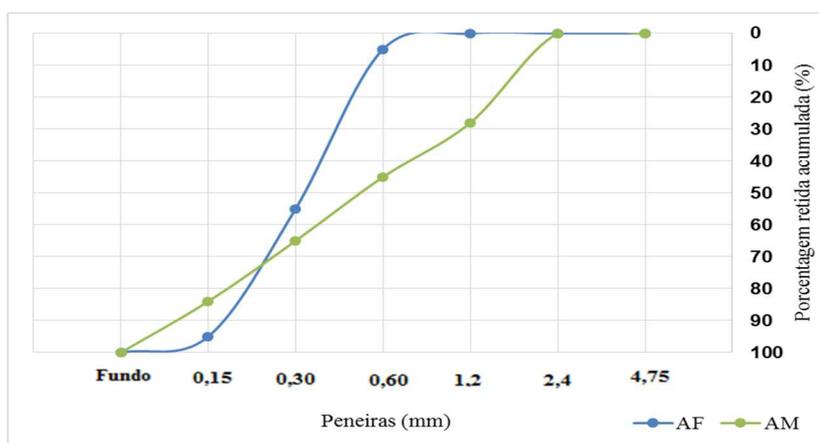
Foram realizados os ensaios no material seco em estufa, conforme procedimentos da ABNT NM 248:2003 quanto à distribuição granulométrica. O equipamento empregado nos ensaios foi um peneirador mecânico da marca RO-TAP MODELO B. A determinação do teor de material pulverulento ocorreu conforme a ABNT NBR NM 46: 2003 e a massa específica conforme a ABNT NBR 9776:1987.

A areia fina visualmente apresentou resíduos de folhagens, gravetos e para ser utilizada na confecção das argamassas, procedeu-se o peneiramento das amostras na peneira de 1,2 mm. Já para areia média realizou-se um peneiramento, de forma a permitir sua utilização na confecção das argamassas, somente a fração de grãos inferiores a 2,4 mm. O agregado apresentou granulometria bem graduada (granulometria contínua) e uniformidade média, conforme demonstrado na figura 3.27. A tabela 3.7 lista os resultados das caracterizações físicas dos agregados miúdos.

Tabela 3.7 – Caracterização física dos agregados miúdos.

Características determinadas	AF	AM
Massa específica (g/cm^3)	2,61	2,65
Módulo de finura	1,55	2,30
Dmáx. (mm)	1,20	4,75
Material pulverulento retido na peneira 0,075mm (%)	7,9	0

Figura 3.27 – Distribuição granulométrica dos agregados miúdos.



3.6.3 Aditivos

Os aditivos foram fornecidos por dois fabricantes. Nas Etapas 01, 02, 03 e 04 A foram utilizados somente o conjunto de AEH e IAR do fabricante AD1. Já na Etapa 04 B, a fim de verificar os distintos produtos e suas influências nos comportamentos e nas propriedades das argamassas estabilizadas, preparou-se uma argamassa com o conjunto de aditivos, o AD2.

O AEH do fabricante AD1, trata-se de um aditivo plastificante e retardador de pega para argamassa dosada em central e o AD2, é um aditivo estabilizador de argamassas. Quanto aos IAR, são aditivos incorporadores de ar.

Os ensaios de caracterização dos aditivos foram realizados no LEM e conforme as prescrições da ABNT NBR 10908:2009 - Aditivos para argamassa e concreto - Ensaio de caracterização.

As caracterizações físicas apresentadas são informadas na tabela 3.8. Os teores de sólidos dos AEH foram semelhantes, AD1; 38,4% e o AD2; 40,4%, contudo, os IAR diferiram quase o dobro, uma vez que o AD1 representou 5,8 e o AD2; 2,5.

Quanto ao pH, o AD1 se mostrou neutro, próximo a sete, mas o AD2; ácido. No caso dos incorporadores de ar, os dois resultaram em basicidade de uma solução aquosa. As massas específicas apresentaram resultados praticamente iguais.

Tabela 3.8 - Características físicas dos aditivos.

Características físicas determinadas	AEH – AD1	AEH – AD2	IAR – AD1	IAR – AD2
Massa específica (g/cm ³)	1,17	1,17	1,01	1,0
pH	6,98	2,33	9,82	8,16
Teor de sólidos (%)	38,3	40,4	5,8	2,5

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação dos resultados segue a sequência adotada no Programa Experimental, assim visa mostrar as formulações das argamassas estabilizadas e demonstrar as influências dos materiais, além de contribuir no estudo do comportamento e das propriedades das argamassas estabilizadas.

4.1 ETAPA 01

Esta etapa objetivou a investigação quanto aos materiais utilizados na produção das argamassas estabilizadas, além das formulações e as respostas de comportamentos e propriedades, conforme variações de parâmetros E e teores de AEH e IAR com empregos de forma individual e associados, conforme listados na tabela 4.1 e 4.2, respectivamente.

Tabela 4.1 – Parâmetros de mistura – séries sem aditivos, AEH e IAR isolados.

SÉRIES		Traço (cimento:areia)	a/c	Teor de finos (% em massa)	Água/materiais secos – H (%)	Teor de ar incorporado (%)
Sem aditivos	E4,5 S.A	1:4,5	1,02	25%	19%	5%
	E6 S.A.	1:6,0	1,36	21%	19%	5%
	E8 S.A	1:8,0	1,87	18%	21%	5%
AEH individual	E6AEH40	1:6,0	1,39	21%	20%	3%
	E8AEH40	1:8,0	1,74	18%	19%	6%
	E6AEH95	1:6,0	1,39	21%	20%	2%
	E8AEH95	1:8,0	1,82	18%	20%	6%
	E6AEH150	1:6,0	1,39	21%	20%	3%
	E8AEH150	1:8,0	1,65	18%	18%	5%
IAR individual	E6IAR20	1:6,0	1,17	21%	17%	15%
	E8IAR20	1:8,0	1,63	18%	18%	14%
	E6IAR60	1:6,0	1,02	21%	15%	24%
	E8IAR60	1:8,0	1,35	18%	15%	24%
	E6IAR100	1:6,0	0,97	21%	14%	27%
	E8IAR100	1:8,0	1,28	18%	14%	30%

Tabela 4.2– Parâmetros de mistura – séries AEH e IAR associados.

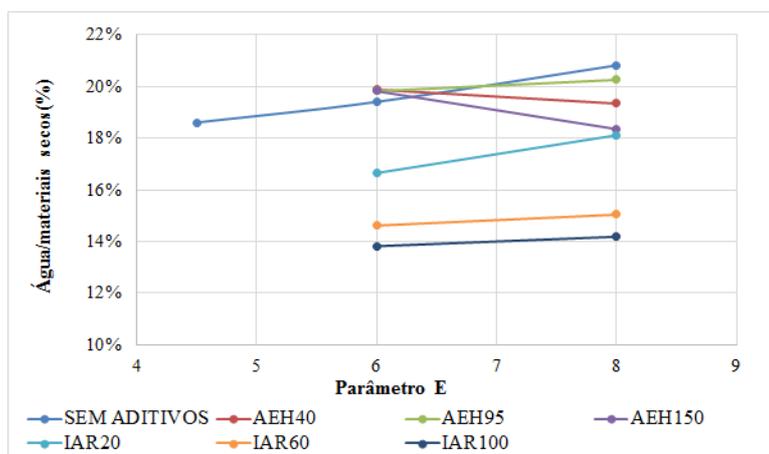
Teor dos aditivos AEH/IAR	SÉRIES	Traço (cimento:areia)	a/c	Teor de finos (% em massa)	Água/materiais secos (%)	Teor de ar incorporado (%)
40/10	E4,5 40/10	1:4,5	0,87	25%	16%	13%
	E6 40/10	1:6,0	1,17	21%	17%	13%
	E8 40/10	1:8,0	1,62	18%	18%	12%
40/20	E4,5 40/20	1:4,5	0,80	25%	15%	18%
	E6 40/20	1:6,0	1,10	21%	16%	18%
	E8 40/20	1:8,0	1,49	18%	17%	17%
95/20	E4,5 95/20	1:4,5	0,74	25%	14%	23%
	E6 95/20	1:6,0	1,02	21%	15%	22%
	E8 95/20	1:8,0	1,45	18%	16%	19%
40/60	E640/60	1:6,0	0,91	21%	13%	27%
	E840/60	1:8,0	1,14	18%	13%	29%
40/100	E640/100	1:6,0	0,88	21%	13%	31%
	E840/100	1:8,0	1,01	18%	11%	34%
95/60	E695/60	1:6,0	0,82	21%	12%	33%
	E895/60	1:8,0	1,09	18%	12%	30%

4.1.1 Relação água/materiais secos

Determinou-se a relação água/materiais secos a partir da obtenção de uma penetração de cone inicial de 65mm±5mm. A redução do teor de água para as séries preparadas com o IAR isolado ocorreram conforme o incremento do aditivo, figura 4.1. Comportamentos similares incidiram para as séries sem aditivos e com o AEH isolado, mostrando uma maior dispersão para o E8.

Observou-se, que para as argamassas produzidas sem os aditivos e AEH individual, os percentuais de água/materiais secos variaram de 18% a 20%, tabela 4.1. Enquanto, para as argamassas produzidas com IAR individualmente; os percentuais de água/materiais secos reduziram, conforme se incrementou o IAR, e os resultados variaram de 13% a 18%.

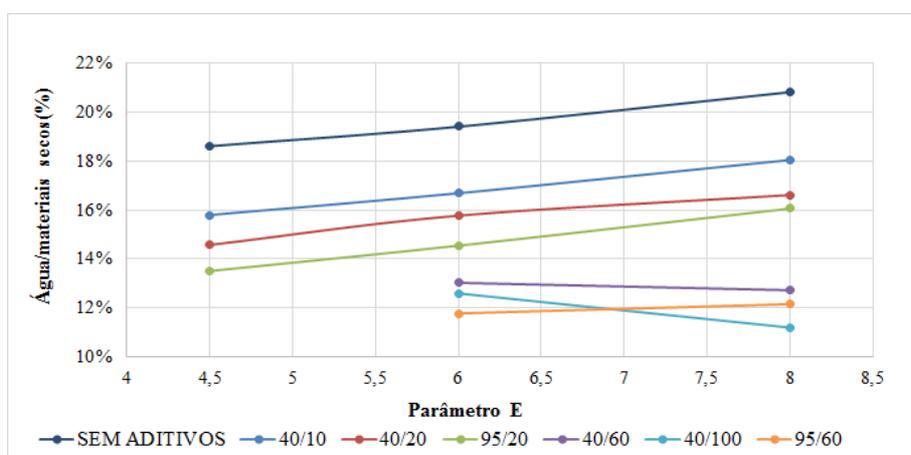
Figura 4.1 – Parâmetro E *versus* água/materiais secos – séries das argamassas sem aditivos e com AEH e IAR isolados.



Já para as argamassas produzidas com os aditivos associados, os resultados dos percentuais de água/materiais secos variaram de 11% a 19%, tabela 4.2. Conclui-se assim, que o IAR exerce forte influência sobre a redução do teor de água nas argamassas estabilizadas, demonstrado que o parâmetro E praticamente não influencia a demanda de água em termos percentuais.

A figura 4.2 mostra a redução da relação água/materiais secos conforme os aumentos dos teores dos aditivos associados quando comparadas as séries preparadas sem os aditivos, que apresentaram as maiores relações água/materiais secos.

Figura 4.2 - Parâmetro E *versus* água/materiais secos – séries das argamassas sem aditivos e com AEH e IAR associados.

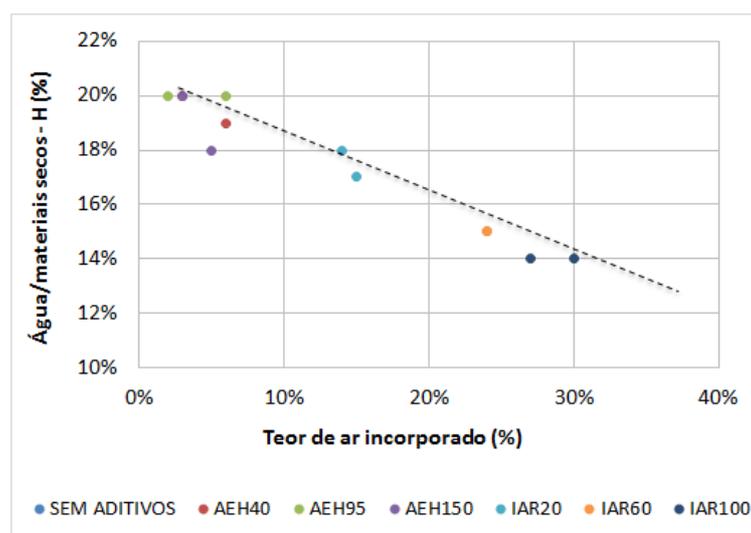


4.1.2 Teor de ar incorporado

Das tabelas 4.1 e 4.2 verificou-se que o teor de ar incorporado é dependente do incremento do IAR. As séries produzidas sem aditivos e com o AEH isolado apresentaram ar incorporados de 2% a 6%, demonstrando que o aditivo estabilizador não interfere nesta propriedade. A relação água/materiais secos apresentaram valores de 14 a 18% para as séries com o IAR individual e o teor de ar incorporados para as mesmas variaram de 15 a 30%.

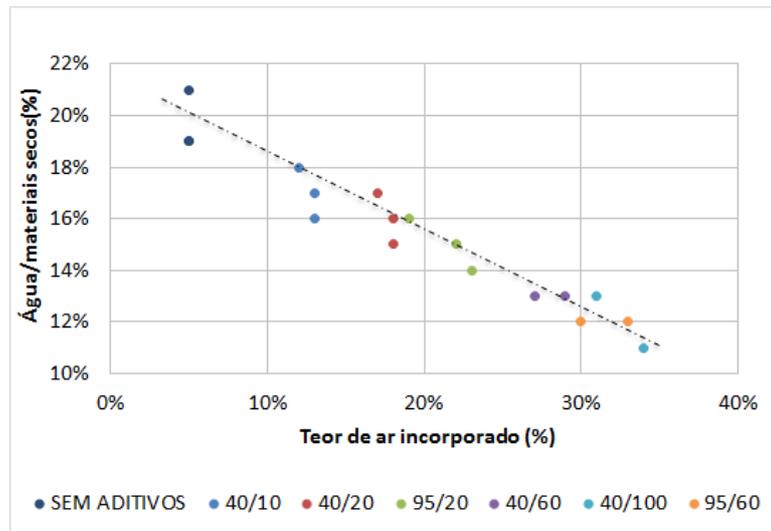
A figura 4.3 mostra a relação do teor de ar incorporado *versus* água/materiais secos, indicando, assim, o aumento do ar incorporado para os incrementos do IAR e os comportamentos semelhantes das séries sem aditivos e com o AEH individual. Além da redução da relação água/materiais secos conforme o aumento do ar incorporado.

Figura 4.3 – Teor de ar incorporado *versus* água/materiais secos – séries sem aditivos, AEH e IAR isolados.



Já a figura 4.4 demonstra que as séries preparadas com os aditivos combinados apresentaram comportamentos semelhantes as séries produzidas com o IAR individual, ou seja quanto maior o teor dos aditivos associados empregados na fabricação das argamassas estabilizadas, ocorreram aumentos de ar incorporados e diminuições das relações água/materiais secos.

Figura 4.4 – Teor de ar incorporado *versus* água/materiais secos – AEH e IAR associados.

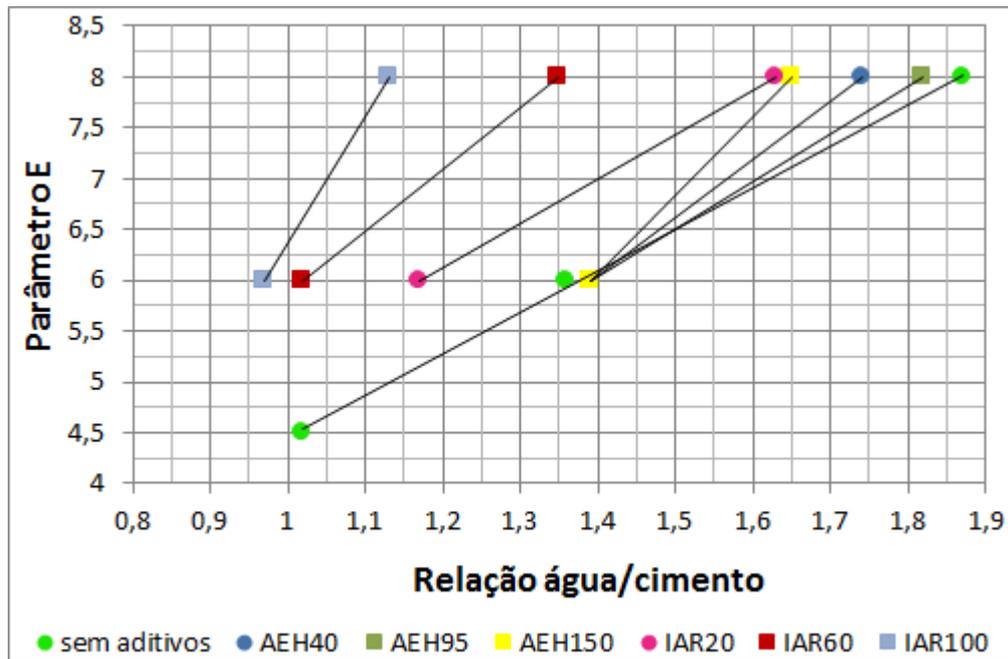


4.1.3 Relação água/cimento

Verificou-se a partir da tabela 4.1, que as argamassas produzidas sem os aditivos e as preparadas com o AEH individual mostraram-se semelhantes quanto aos resultados da relação água/cimento que variaram de 1,02 a 1,87. Já as séries produzidas com o IAR isolado observou-se o aumento do ar incorporado, além da redução da relação a/c, que variaram de 0,97 a 1,63, conforme o incremento do aditivo. O IAR é o aditivo responsável pela redução do teor de água e aumento do ar incorporado, conforme seu incremento na produção das argamassas.

A figura 4.5 mostra que quando se emprega o IAR de forma individual, o comportamento observado se desloca de forma relativamente paralela à reta de referência (sem aditivo), no sentido dos valores mais baixos da relação água/cimento. Para os AEH, o comportamento é relativamente coincidente com a reta de referência (sem aditivo) com algumas divergências quando o parâmetro E é de 8.

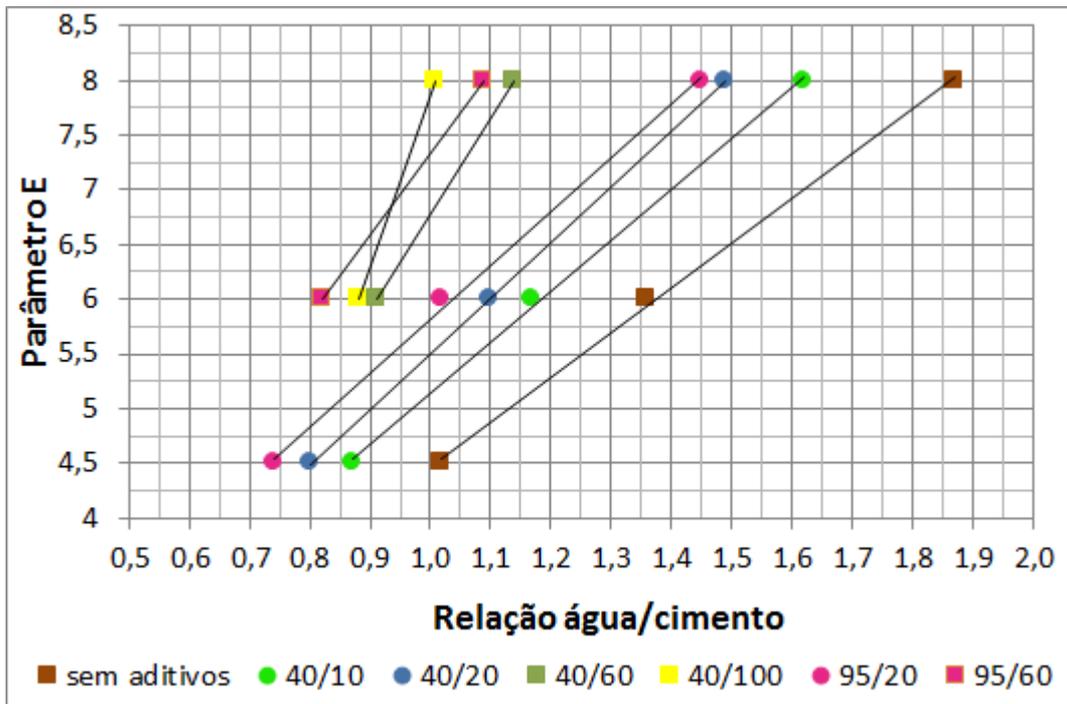
Figura 4.5 – Relação água/cimento *versus* parâmetro E – séries de argamassas sem aditivos, AEH e IAR isolados.



Das séries de argamassas produzidas com os aditivos associados, também foi possível elaborar o gráfico da relação do parâmetro E *versus* relação água/cimento, demonstrado na figura 4.6. O teor de IAR influenciou expressivamente para as reduções dos teores de água. No entanto, verificou-se um afastamento maior, conforme a disposição das linhas de tendências da figura 4.6, das séries de argamassas que empregaram os teores de IAR 60 e IAR 100 quando comparadas as séries que utilizaram o IAR 20, além das séries fabricadas sem aditivos, ou seja, acima de IAR 60 ocorre outro comportamento. Talvez possa ser explicado pelo maior percentual de ar.

Desta forma observa-se quanto ao teor de ar incorporado, os valores aumentaram conforme os aumentos dos teores dos aditivos combinados, tabela 4.2. Já a relação água/cimento apresentou-se mais dispersas para as séries 40/60, 40/100 e 95/60, apesar destas séries demonstrarem reduções de água e aumentos do ar incorporado, figura 4.6.

Figura 4.6 – Relação água/cimento *versus* parâmetro E – séries de argamassas sem aditivos, AEH e IAR associados.



4.1.4 Composição das argamassas em volume absoluto

A tabela 4.3 mostra as composições das argamassas, em volume absoluto. Os percentuais de finos aumentaram para as reduções do parâmetro E, uma vez que estes utilizaram maiores quantidades do aglomerante. Os percentuais de finos incluem o percentual de 7,9% (obtido do ensaio de teor de material pulverulento dos agregados miúdos para areia fina) adicionados ao teor do cimento. Contudo, a diferença percentual máxima do percentual de finos, entre as argamassas, foi de 5%, para uma faixa de valores compreendida entre 11 a 16%.

As composições das argamassas, em volume absoluto, dosadas sem aditivos e com teor de AEH isolado, tabela 4.3, séries de argamassas fabricadas com o aditivo estabilizador, individualmente, indicaram comportamentos semelhantes as fabricadas sem aditivos quanto ao teor de ar incorporado, em faixas de 2% a 6%. Para os percentuais dos agregados, a diferença percentual máxima foi de 4%, para uma faixa de valores entre 48 a 52%. O percentual de água máximo foi de 34% e a diferença percentual máxima entre as argamassas foi de 3%.

Os percentuais de ar incorporados para as séries das argamassas produzidas sem aditivos e com AEH isolado, ocorreram em virtude das misturas na argamassadeira. Assim, verificou-se que o aditivo estabilizador não exerce influência no teor de ar incorporados das argamassas estabilizadas.

Tabela 4.3 – Composições das argamassas, em volume absoluto – sem aditivos e teor de AEH deforma individual.

Argamassas		Finos (%)	Areia (%)	Água (%)	Ar (%)
Sem aditivos	E4,5 S.A	16%	48%	32%	5%
	E6 S.A.	13%	50%	32%	5%
	E8 S.A	11%	50%	34%	5%
AEH individual	E6AEH40	13%	50%	33%	3%
	E8AEH40	11%	51%	32%	6%
	E6AEH95	14%	51%	34%	2%
	E8AEH95	11%	50%	33%	6%
	E6AEH150	13%	50%	33%	3%
	E8AEH150	11%	52%	31%	6%

As séries de argamassas que empregaram o aditivo incorporador de ar de forma individual indicaram o aumento do ar incorporado conforme o incremento do aditivo e resultaram em menor percentual de água quando comparadas as séries com o AEH individual e sem aditivos, conforme a tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Composições das argamassas, em volume absoluto – Teor de IAR de forma individual.

Argamassas		Finos (%)	Areia (%)	Água (%)	Ar (%)
Sem aditivos	E6 S.A.	13%	50%	32%	5%
	E8 S.A	11%	50%	34%	5%
IAR individual	E6IAR20	12%	47%	26%	15%
	E8IAR20	11%	48%	28%	14%
	E6IAR60	12%	43%	21%	24%
	E8IAR60	10%	45%	22%	24%
	E6IAR100	11%	42%	20%	27%
	E8IAR100	9%	42%	19%	30%

Quando se compara a argamassa E8 sem aditivos com a E8IAR100 (tabela 4.4), a redução do percentual de água máximo aferido foi de 15%. Contudo, a diferença percentual para o

ar incorporado foi de 25%. No geral, o intervalo de redução de água foi de 6% a 15%; e para o ar incorporado foi de 10% a 25%, aumentados conforme os incrementos do IAR.

Quanto as composições das argamassas produzidas com IAR isolado, em volume absoluto, verificou-se que percentual de finos elevaram para as reduções do parâmetros E, uma vez que estes empregaram uma maior quantidade do aglomerante. Contudo, a diferença do percentual de finos, máxima foi de 3%, para valores compreendidos entre 9 a 12%.

Para os percentuais dos agregados, a diferença percentual máxima foi de 6%, para valores compreendidos entre 42 a 48%, reduzidos conforme os aumentos do ar incorporados. O percentual de água máximo foi de 28% e a diferença percentual máxima entre as séries das argamassas produzidas foi de 9%, reduzidos conforme os incrementos do ar incorporados. A grande diferença é que ao colocar o volume de ar pela ação dos incorporadores, diluiu-se os percentuais dos demais materiais. Assim, demonstrados na tabela 4.4.

Comportamentos semelhantes e influências expressivas do IAR, foram observados para as argamassas fabricadas com os aditivos de forma associados, conforme os valores da tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Composições das argamassas, em volume absoluto – Teor de AEH e IAR associados.

Teor dos aditivos AEH/IAR	Argamassas	Finos (%)	Areia (%)	Água (%)	Ar (%)
40/10	E4,5 40/10	15%	46%	26%	13%
	E6 40/10	13%	48%	27%	13%
	E8 40/10	11%	49%	28%	12%
40/20	E4,5 40/20	15%	44%	23%	18%
	E6 40/20	12%	46%	24%	18%
	E8 40/20	10%	47%	25%	17%
95/20	E4,5 95/20	14%	43%	21%	23%
	E6 95/20	12%	45%	22%	22%
	E8 95/20	10%	47%	24%	19%
40/60	E640/60	11%	43%	19%	27%
	E840/60	10%	44%	18%	29%
40/100	E640/100	11%	41%	17%	31%
	E840/100	10%	45%	16%	29%
95/60	E695/60	11%	40%	16%	33%
	E895/60	10%	43%	17%	30%

O AEH associado ao IAR mostrou influenciar também na redução do percentual de água. O percentual de água mínimo aferido foi de 16% quando se utilizou E695/60 para um percentual de ar incorporado de 33%, além da argamassa E8 40/100 que apresentou o percentual de água de 16%, para um percentual de ar de 29%.

Para as argamassas preparadas com os aditivos associados, os percentuais de finos e de agregados também, indicaram variações conforme os parâmetros E utilizados. A diferença percentual de finos, máxima foi de 5% no caso das séries 40/20, para uma faixa de valores compreendida entre 10 a 15%. Para os percentuais dos agregados a diferença máxima foi de 9%, para uma faixa de valores entre 40 a 49%, reduzidos conforme os incrementos do teor de ar incorporados. O percentual de água máximo foi de 28% e a diferença máxima entre as argamassas foi de 9%, reduzidos conforme os incrementos do teor de ar incorporados.

4.1.5 Penetração de cone

Durante 15 e 30 minutos avaliou-se como ocorriam as perdas de consistências empregando o ensaio de penetração de cone. Verificou-se que as consistências variaram de 65 a 46 mm para as séries produzidas sem aditivos e com os aditivos de forma individual, tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Penetração de cone – séries sem aditivos, AEH e IAR de forma individual.

Teor dos aditivos	SÉRIES	Penetração de cone (mm)		
		Preparo	15 min.	30 min.
Sem aditivos	E4,5 S.A	65	57	53
	E6 S.A.	63	54	56
	E8 S.A	63	58	52
AEH individual	E6AEH40	62	61	61
	E8AEH40	65	59	47
	E6AEH95	64	61	59
	E8AEH95	64	56	54
	E6AEH150	61	58	57
	E8AEH150	63	56	52
IAR individual	E6IAR20	64	56	53
	E8IAR20	64	56	54
	E6IAR60	65	57	55
	E8IAR60	63	62	55
	E6IAR100	64	59	55
	E8IAR100	64	52	46

As séries que utilizaram os aditivos em conjunto demonstraram perdas de consistências superiores quando comparadas as argamassas produzidas sem aditivos e com AEH e IAR isolados, assim variaram, da produção até os 30 minutos, de 65mm a 34mm, tabela 4.7. Contudo, verificou-se ao longo da pesquisa que o incremento do AEH apesar de incidir em uma perda de consistência maior em 30 minutos, ainda assim, estabiliza a consistência da argamassa por um tempo maior, observado até 32 horas e demonstrados na etapa 03.

Tabela 4.7 – Penetração de cone – séries com AEH e IAR associados.

Teor dos aditivos AEH/IAR	SÉRIES	Penetração de cone (mm)		
		Preparo	15 min.	30 min.
40/10	E4,5 40/10	64	55	52
	E6 40/10	65	56	52
	E8 40/10	64	54	56
40/20	E4,5 40/20	64	55	54
	E6 40/20	65	56	54
	E8 40/20	65	53	50
95/20	E4,5 95/20	63	50	46
	E6 95/20	64	52	48
	E8 95/20	64	55	47
40/60	E640/60	65	58	47
	E840/60	65	56	48
40/100	E640/100	65	56	44
	E840/100	64	45	34
95/60	E6 95/60	64	52	46
	E8 95/60	64	54	45

4.1.6 Propriedades no estado endurecido

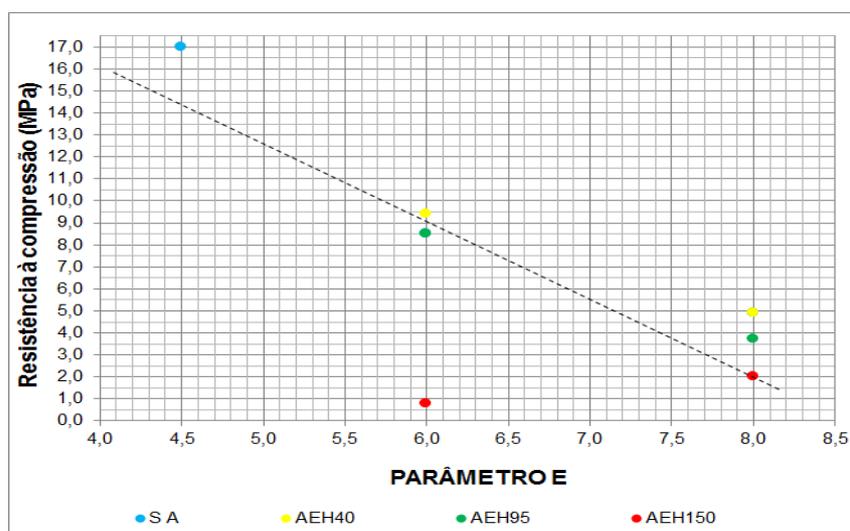
A tabela 4.8 apresenta os resultados aferidos para o estado endurecido das séries produzidas sem aditivos, AEH e IAR isolados. Quanto as propriedades avaliadas, os resultados mostraram maior influência do parâmetro E nos comportamentos das séries de argamassas estudadas.

Tabela 4.8 – Resumo das propriedades no estado endurecido – séries sem aditivos, AEH e IAR isolados.

Teor dos aditivos	SÉRIE	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)	Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})
Sem aditivos	E4,5 S.A	4,50	17,00	3,70
	E6 S.A.	2,20	8,50	9,40
	E8 S.A	1,30	4,90	13,30
AEH individual	E6AEH40	2,70	9,40	6,40
	E8AEH40	1,40	4,90	11,70
	E6AEH95	2,90	8,50	7,80
	E8AEH95	1,30	3,70	14,50
	E6AEH150	0,40	0,80	17,50
	E8AEH150	1,10	2,00	13,60
IAR individual	E6IAR20	2,60	10,00	5,50
	E8IAR20	1,40	5,10	10,00
	E6IAR60	2,70	9,50	2,80
	E8IAR60	1,50	5,10	7,30
	E6IAR100	3,00	10,20	2,30
	E8IAR100	2,20	5,80	3,10

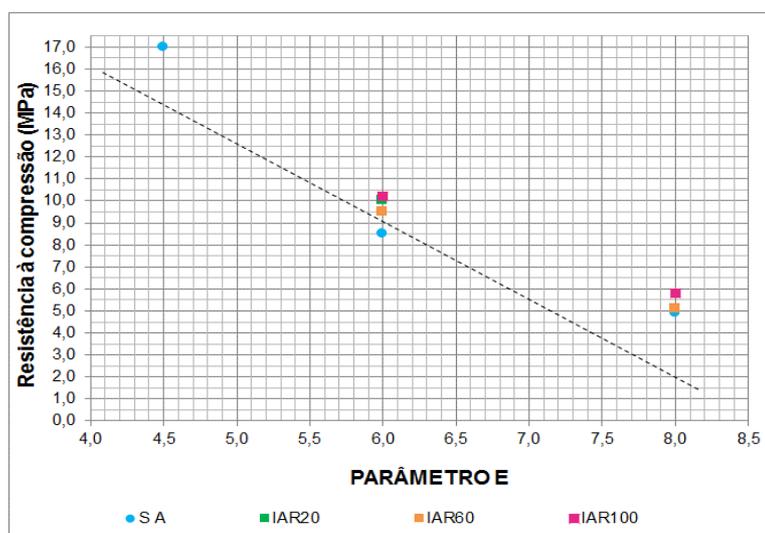
A figura 4.7 mostra que o incremento do AEH isolado reduziu a resistência à compressão, de forma que os teores de AEH 40 e AEH 95 promoveram reduções nas propriedades mecânicas quando comparadas as séries que não empregaram os aditivos. Ainda há uma indicação de maior dispersão para as séries AEH 150. No entanto, os resultados ocorreram dependentes do parâmetro E.

Figura 4.7 – Parâmetro E versus Resistência à compressão – séries de argamassas sem aditivos, AEH de forma individual.



Quanto ao emprego do IAR de forma individual, os resultados indicaram que apesar do aumento do ar incorporado, em virtude da incremento do aditivo, as resistências mecânicas não foram prejudicadas, uma vez que as argamassas utilizaram uma menor relação água/cimento, tabela 4.1. Ressalta-se a maior influência do parâmetro E, independente do incremento do aditivo, uma vez os pontos se posicionaram próximos uns dos outros, figura 4.8.

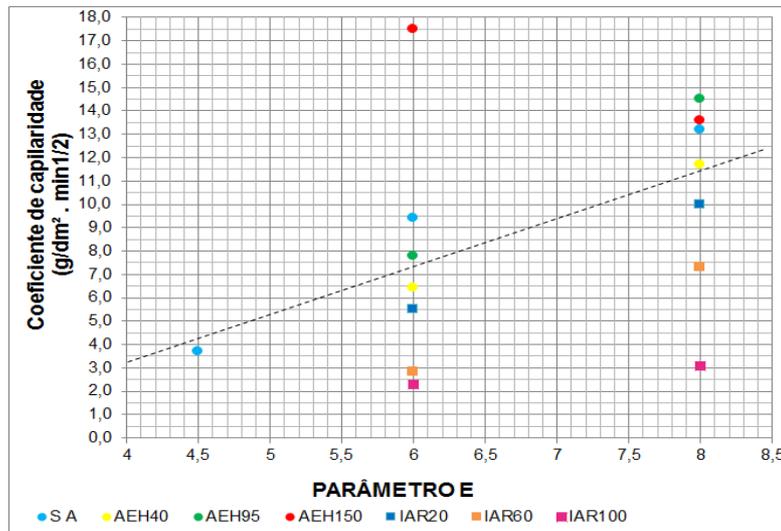
Figura 4.8 – Parâmetro E *versus* Resistência à compressão – séries de argamassas sem aditivos, IAR de forma individual.



Quanto aos resultados dos coeficientes de capilaridade, os valores mostraram-se dependentes do parâmetro E. No entanto, as séries que aplicaram o AEH isolado indicaram prejuízos quanto a absorção capilar à medida que se incrementou o aditivo na produção das argamassas, tabela 4.8. No tocante ao teor de AEH 95, seus valores para os coeficientes de capilaridade foram próximos aos das argamassas sem aditivos, considerando o mesmo parâmetro E, demonstrando assim, a tendência de prejuízos que o aumento do AEH, isolado, causa às argamassas estabilizadas, figura 4.9.

No caso do IAR isolado, as séries de argamassas mostraram redução dos coeficientes de capilaridade, motivadas pela redução do teor de água necessário para a produção das argamassas conforme o incremento do aditivo, figura 4.9. Assim, a série IAR 100 devido a utilização do maior teor do aditivo apresentou o menor coeficiente de capilaridade. Já a série AEH 150 indicou a maior absorção capilar quando comparada as demais séries de argamassas.

Figura 4.9 – Parâmetro E versus Coeficiente de capilaridade – séries de argamassas sem aditivos, AEH e IAR de forma individual.



A tabela 4.9 mostra os resultados das propriedades no estado endurecido para as séries que utilizaram os aditivos combinados. É possível verificar a influência do parâmetro E para os valores obtidos. Contudo, as séries 40/60 e 95/60 mostraram baixa variação de resultados, independentes do parâmetro E.

Tabela 4.9 – Resumo das propriedades no estado endurecido – séries de AEH e IAR associados.

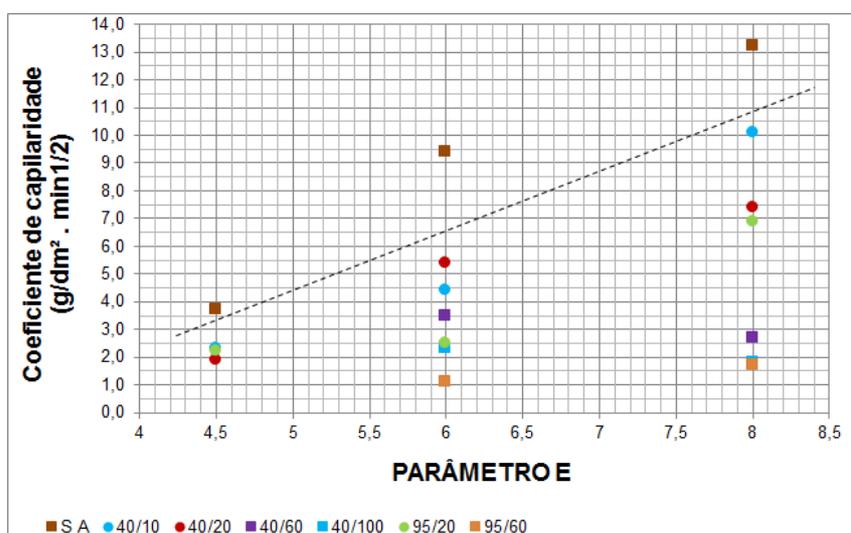
Teor dos aditivos AEH/IAR	SÉRIE	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)	Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})
40/10	E4,5 40/10	4,20	19,10	2,30
	E6 40/10	2,30	9,70	4,40
	E8 40/10	1,50	4,70	10,10
40/20	E4,5 40/20	4,80	17,50	1,90
	E6 40/20	2,60	8,70	5,40
	E8 40/20	1,90	6,00	7,40
95/20	E4,5 95/20	3,40	16,50	2,20
	E6 95/20	3,70	13,10	2,50
	E8 95/20	1,80	6,60	6,90
40/60	E 6 40/60	2,50	8,50	3,50
	E840/60	2,70	8,50	2,70
40/100	E 6 40/100	3,30	11,90	2,30
	E840/100	2,20	8,70	1,80
95/60	E 6 95/60	2,90	8,40	1,10
	E895/60	2,70	9,10	1,70

O parâmetro E promove melhorias das propriedades conforme seus decréscimos. O AEH isolado prejudica as propriedades mecânicas e a aumenta a absorção capilar. O IAR é dependente do aumento do ar incorporado gerado pelo seu incremento, assim pode melhorar ou piorar as propriedades quando associado ao AEH, dependendo da proporção de cada aditivo.

As séries dos aditivos associados mostraram resultados obtidos para as resistências à tração na flexão fortemente influenciadas pelas proporções dos aditivos empregados nas confecções das argamassas. De maneira que, em termos de proporção, superior teor do AEH e inferior de IAR, promoveram a diminuição das faixas dos resultados da propriedade.

No caso das séries dos aditivos associados, os coeficientes de capilaridade foram reduzidos conforme se diminuiu o parâmetro E (figura 4.10) e se incrementou os teores dos aditivos e consequentemente se reduziu a relação água/cimento.

Figura 4.10 – Parâmetro E *versus* Coeficientes de capilaridade - séries de argamassas com AEH e IAR associados.



A Etapa 01, cumpriu com seu objetivo principal, quanto a investigação dos comportamentos das argamassas estabilizadas, quando se utilizou os aditivos de forma individual e associados e assim, possibilitou a obtenção dos referenciais para as formulações destas.

Desta forma, conclui-se que as séries com AEH isolados e sem aditivos apresentaram comportamentos semelhantes. Porém, conforme o incremento do aditivo empregado na

fabricação das argamassas, as propriedades mecânicas sofreram reduções. Contudo, quando associados ao IAR contribuíram para as reduções dos coeficientes de capilaridade.

Notou-se, que os incrementos do IAR, utilizados nas produções das argamassas estabilizadas, não incorreram em prejuízos às resistências mecânicas. Uma explicação provável refere-se a redução do teor de água. O parâmetro E representou a variável mais expressiva quanto as propriedades do estado endurecido.

4.2 ETAPA 02

As argamassas foram estudadas com o objetivo de investigar os comportamentos destas e verificar os requisitos exigenciais para os sistemas de revestimento, assim, as análises foram realizadas em séries com variações intencionais dos aditivos e parâmetros E distintos.

As séries de aditivos selecionadas foram 40/10, 40/20 e 95/20; em virtude de serem empregadas usualmente pelas concreteiras (BAUER, 2013) e apresentarem os melhores comportamentos verificados na etapa 01. Assim, delimitou-se os estudos para estes teores de AEH e IAR. A tabela 4.10 mostra os parâmetros de mistura conforme as séries estudadas nesta etapa.

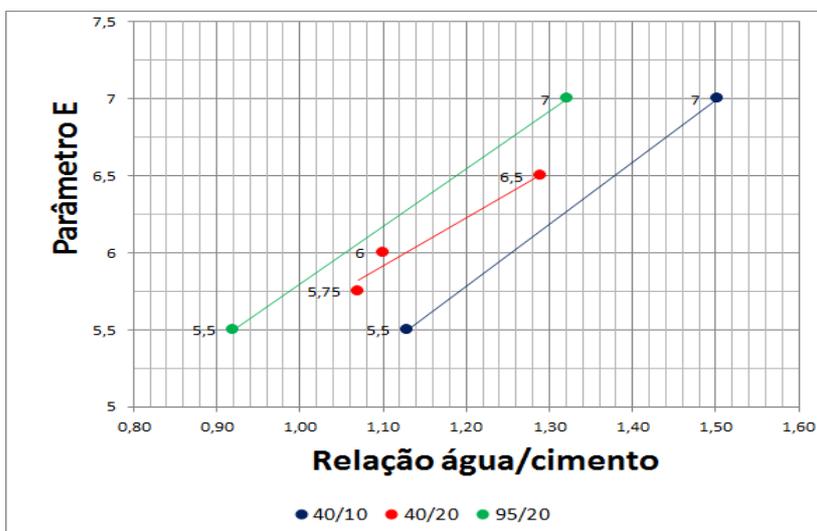
Tabela 4.10 – Parâmetros de mistura.

SÉRIE	Traços (cimento:areia)	a/c	Teor de finos (%)	Água/materiais secos (%)	Teor de ar incorporado (%)
E5,5 40/10	1:5,5	1,13	22%	17%	10%
E7 40/10	1:7,0	1,50	19%	19%	9%
E5,75 40/20	1:5,75	1,07	22%	16%	16%
E6 40/20	1:6,0	1,10	21%	16%	15%
E6,5 40/20	1:6,5	1,29	20%	17%	15%
E5,5 95/20	1:5,5	0,92	22%	14%	20%
E7 95/20	1:7,0	1,32	19%	17%	16%

A figura 4.11 mostra a relação água/cimento *versus* o parâmetro E. Esta etapa foi delimitada quanto aos teores dos aditivos associados, assim foram avaliadas as séries 40/10, 40/20 e 95/20. Buscou-se estudar os extremos para as séries 40/10 e 95/20 considerando os parâmetros E 5,5 e E7. Já para as séries 40/20, intermediárias, os parâmetros estudados foram

E5,75, E6 e E 6,5. A relação água/cimento reduziu conforme se incrementou os aditivos associados, assim observado quando se caminha da direita para esquerda no gráfico da figura 4.11. A série 95/20 apresentou os menores resultados quanto a relação água/cimento devido o maior teor dos aditivos combinados.

Figura 4.11 – Relação água/cimento *versus* parâmetro E.

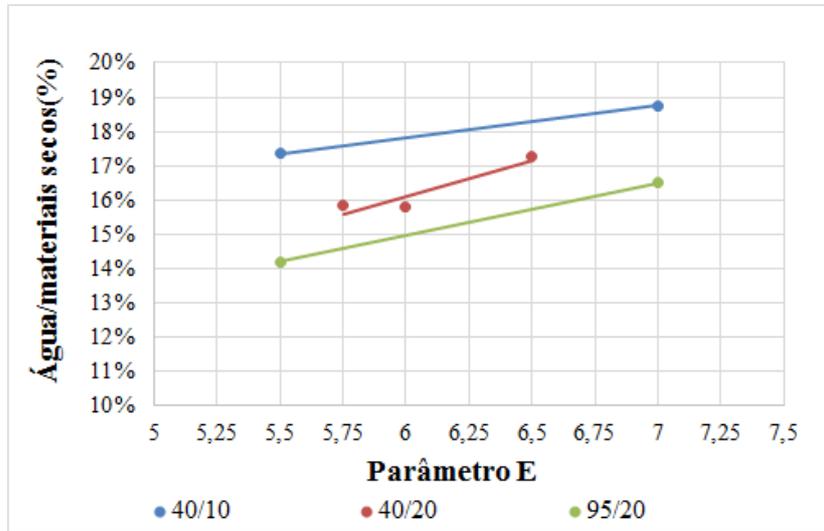


4.2.1 Relação água/materiais secos

Determinou-se a relação água/materiais secos a partir da obtenção de uma penetração de cone inicial de $65\text{mm} \pm 5\text{mm}$. A figura 4.12 mostra os comportamentos dependentes dos teores dos aditivos associados, de forma que as séries 40/10, por utilizarem o menor teor de IAR apresentam as maiores relações de água/materiais secos, com variações de 17% a 19%. As séries 40/20 resultaram relações de águas/materiais secos de 16% a 17%.

Já as séries 95/20 apresentaram os maiores ar incorporados e conseqüentemente, as menores relações de água/materiais secos, variando de 14% a 17%. As relações água/materiais secos apresentaram baixas variações para um mesmo parâmetro E, no máximo de 3%.

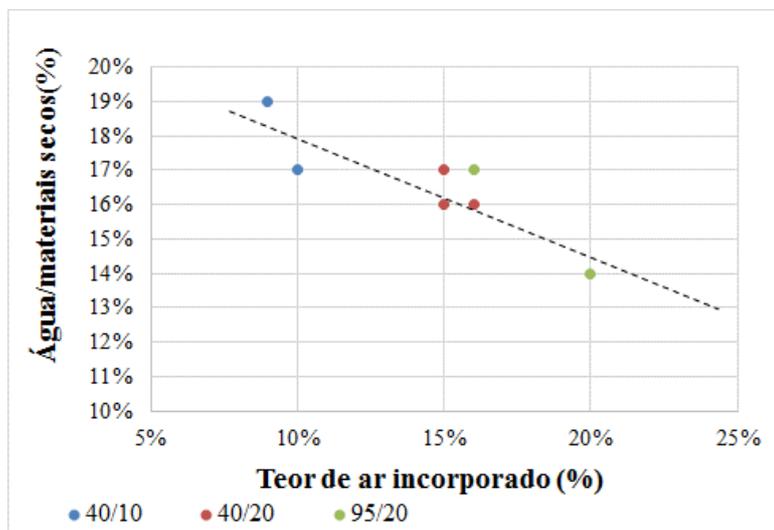
Figura 4.12 – Parâmetro E *versus* água/materiais secos.



4.2.2 Teor de ar incorporado

A figura 4.13 mostra os comportamentos dependentes dos teores dos aditivos associados, de forma que as séries 40/10, por utilizarem o menor teor de IAR apresentaram os menores ar incorporados, variando de 9% a 10% e relações água/materiais secos de 17% a 19%. As séries 40/20 resultaram ar incorporados variando de 15% a 16% e águas/materiais secos de 16% a 17%. Já as séries 95/20 apresentaram os maiores ar incorporados, variando de 16% a 20% e as menores relações de água/materiais secos, variando de 14% a 17%.

Figura 4.13 – Teor de ar incorporado *versus* água/materiais secos.

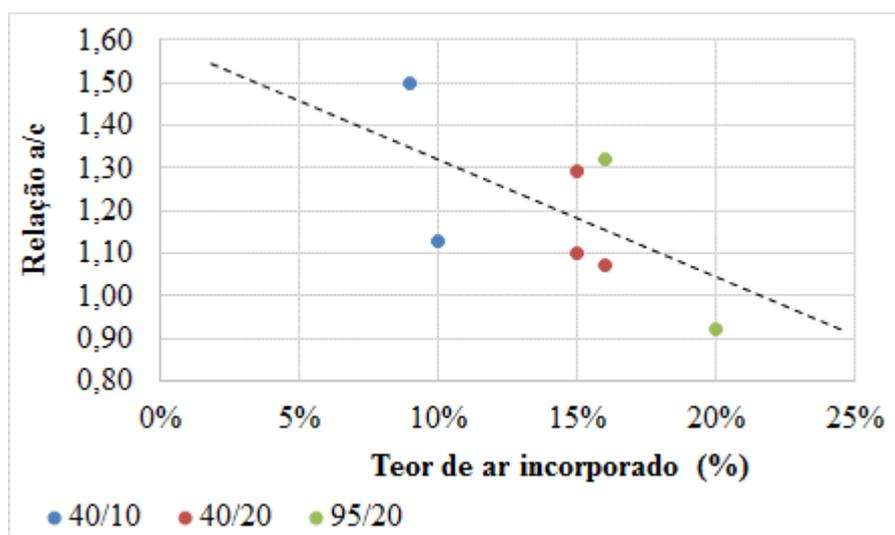


De forma, que os teores de ar incorporados obtidos foram dependentes dos incrementos dos aditivos associados. Também, verificou-se que o parâmetro E não influencia no teor de ar incorporado, uma vez que quando se compara o E7 com o E5,5 os valores foram similares.

4.2.3 Relação água/cimento

A figura 4.14 mostra os comportamentos dependentes dos teores dos aditivos associados, de forma que a série 40/10, por utilizar o menor teor de IAR apresentou os menores ar incorporados, variando de 9% a 10% e relações a/c de 1,13 a 1,50. As séries 40/20 resultaram ar incorporados variando de 15% a 16% e relação a/c de 1,07 a 1,29. Já as séries 95/20 apresentaram os maiores ar incorporados, variando de 16% a 20% e as menores relações a/c, variando de 0,92 a 1,32.

Figura 4.14 – Teor de ar incorporado *versus* relação água/cimento.



4.2.4 Composição das argamassas em volume absoluto

A tabela 4.11 exibe os percentuais de finos, de agregados, de água e de ar incorporados proporcionados nas produções das séries pesquisadas nesta etapa, em termos de volume absoluto. O percentual de finos aumentou conforme as reduções do parâmetro E e apresentaram variações de 11% a 14%. Os percentuais dos agregados apresentaram intervalos compreendidos entre 45 a 49%, conforme o incremento de ar incorporado e

consequentemente, dependente dos teores dos aditivos associados, o que também influenciou na redução dos percentuais de água. Desta forma, os comportamentos obtidos foram semelhantes aos da etapa 01.

Tabela 4.11 – Composições das argamassas, em volume absoluto.

Argamassas	Finos (%)	Areia (%)	Água (%)	Ar (%)
E5,5 40/10	14%	48%	28%	10%
E7 40/10	12%	49%	30%	9%
E5,75 40/20	13%	46%	25%	16%
E6 40/20	13%	47%	25%	15%
E6,5 40/20	12%	47%	27%	15%
E5,5 95/20	13%	45%	22%	20%
E7 95/20	11%	47%	25%	16%

4.2.5 Penetração de cone

A penetração de cone inicial considerada foi de 65 ± 5 mm. Conforme a relação da consistência obtida no ensaio de penetração de cone (após 30 minutos) e tensão limite de escoamento (após 30 minutos), utilizando o método de ensaio Vane test, cada dosagem apresentou uma disposição de comportamento. As séries 40/20 e 95/20, que empregaram o maior teor de IAR e consequentemente, apresentaram incrementos do teor de ar incorporados.

As perdas de consistências foram inferiores e variaram, da produção até os 30 minutos, de 65 mm a 64 mm, diferença de 1 mm, para as séries 40/10, tabela 4.12. Verificou-se que as maiores perdas de consistência ocorreram para as séries 40/20 e 95/20, que variaram de 65 a 60 mm.

Os resultados da tensão limite de escoamento ocorreram em faixas de variação conforme os teores dos aditivos, de forma que as séries 40/10 variaram de 0,463 a 0,579 kPa. As séries 40/20 os resultados apresentados foram de 0,712 kPa. Já as variações das séries 95/20 ocorreram de 0,712 a 0,819 kPa, tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Penetração de cone, tensão limite de escoamento e espalhamento

Série	Penetração de cone (mm)		Tensão limite de escoamento (kPa) 30 min.	Espalhamento (mm) 30 min.
	PREPARO	30 min.		
E5,5 40/10	63	64	0,569	281
E7 40/10	64	65	0,463	300
E5,75 40/20	63	60	0,712	271
E6 40/20	64	61	0,712	259
E6,5 40/20	65	70	0,392	278
E5,5 95/20	65	61	0,712	267
E7 95/20	65	60	0,819	271

A argamassa E6,5 40/20 apresentou uma dispersão dos valores obtidos, conforme a faixa do conjunto 40/20, para a penetração de cone e para tensão de escoamento, 70mm e 0,392 kPa respectivamente. Destaca-se que a profundidade de penetração do cone é reduzida, caracterizando uma menor consistência, enquanto que para a tensão limite de escoamento, caracteriza-se por maior consistência.

Ressalta-se que durante os estudos as séries de argamassas 40/10 e 40/20 com 24 horas da produção encontravam-se endurecidas e as séries 95/20 mostraram-se úmidas, apesar da maior perda de consistência após 30 minutos do preparo.

4.2.6 Retenção de água

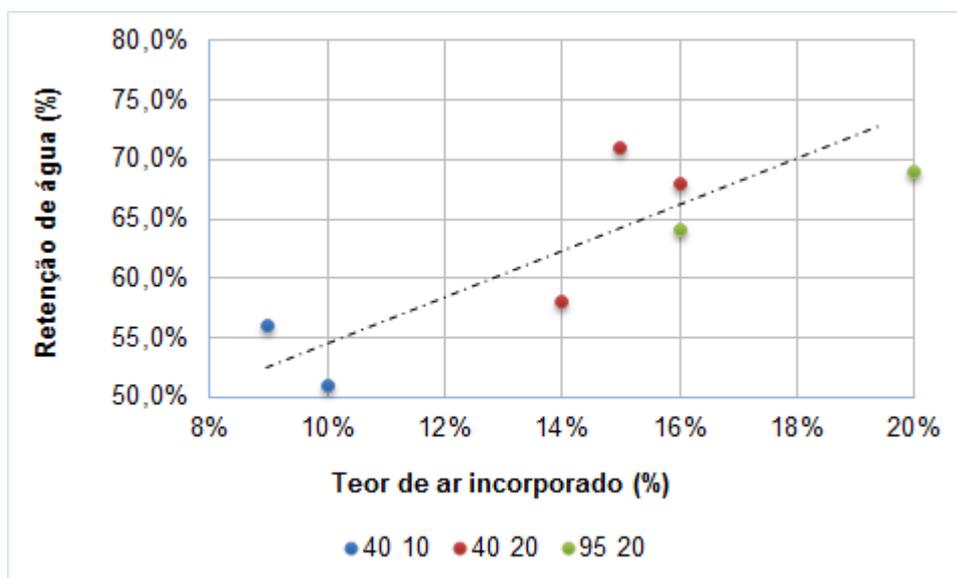
A retenção de água é uma propriedade que sofre influência direta do teor de finos, além de dependente do teor de água e da consistência da argamassa, de forma garantir a trabalhabilidade. No entanto, os teores de finos utilizados para as argamassas estudadas, foram de baixa variação, assim o efeito do IAR mostrou uma maior influência nos resultados da propriedade de retenção de água, tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Percentuais do teor de finos, água/materiais secos, retenção de água e teor de ar incorporado.

Características determinadas	Teor dos aditivos AEH/IAR						
	40/10		40/20			95/20	
	E5,5	E7,0	E5,75	E6,0	E6,5	E5,5	E7,0
Teor de Finos (%) – em massa	22%	19%	22%	21%	20%	22%	19%
Água/materiais secos – H (%)	17%	19%	16%	16%	17%	14%	17%
Retenção de água (%)	51%	56%	68%	71%	58%	69%	64%
Teor de ar incorporados (%)	10%	9%	16%	15%	15%	20%	16%

O IAR mostrou uma influência direta nos resultados das retenções de água, uma vez que as faixas de valores para esta propriedade ocorreram de acordo com o teor de ar incorporado pela argamassa. Observa-se o maior teor de ar em virtude do maior teor do aditivo incorporador de ar, figura 4.15.

Figura 4.15 – Teor de ar incorporado *versus* retenção de água.



Os valores das retenções ocorreram inferiores a 75%, ou seja foram resultados considerados baixos quando se considera argamassas adequadas aos sistemas de revestimentos, no entanto a de se verificar que não prejudicaram as propriedades de aderência conforme a tabela 4.14.

As séries 40/10, que apresentaram as menores retenções de água representaram as maiores aderências e comportamentos contrários ocorreram para as séries 95/20.

4.2.7 Resistência potencial de aderência à tração

Os resultados obtidos para a propriedade de resistência potencial de aderência à tração, atenderam as prescritivas da ABNT NBR 13749:2013, de valor mínimo de 0,30 MPa para revestimentos externos, tabela 4.14.

Tabela 4.14 - Resistência potencial de aderência à tração, retenção de água e relação água/cimento.

Características determinadas	Teor dos aditivos AEH/IAR						
	40/10		40/20			95/20	
	E5,5	E7,0	E5,75	E6,0	E6,5	E5,5	E7,0
Resistência Potencial de aderência a tração (MPa)	1,00	0,85	0,88	0,74	0,87	0,48	0,58
Retenção de água (%)	51%	56%	68%	71%	58%	69%	64%
Relação a/c	1,50	1,13	1,07	1,10	1,29	0,92	1,32
Forma de ruptura	A	S	I	S	S	S	S

Legenda: A – argamassa; S- superfície, I- interface argamassa/substrato

A aderência é uma propriedade dependente do teor de água e da retenção de água, do consumo do cimento. Contudo, para as argamassas estabilizadas, as retenções de água mostraram-se baixas, tabela 4.13. A série 95/20, apesar de apresentar retenção de água mais alta (em azul na tabela 4.14), quando comparadas as demais séries, não contribuiu para o aumento da aderência, possivelmente por apresentar o maior teor de ar incorporado das argamassas estudadas nesta etapa, além do maior teor do AEH empregado para a produção das argamassas.

Já as séries 40/20 elevaram os valores da aderência e as faixas de retenção de água ocorreram entre 58 e 68%. As séries 40/10 apresentaram os melhores resultados de aderência e os piores quanto a retenção de água (em vermelho, tabela 4.14)

A forma de ruptura para as argamassas estudadas ocorreram, no geral, na superfície, com exceção para a série E5,5 40/10 para a qual a ruptura ocorreu na argamassa e para a série E5,75 40/20; a qual a ruptura aconteceu na interface do substrato e argamassa, tabela 4.14.

4.2.8 Resistência á tração na flexão, resistências à compressão e módulo de elasticidade

Assim, como na etapa 01, as resistências à tração na flexão e as resistências à compressão, mostraram-se fortemente influenciadas pelo parâmetro E, de forma que quanto menor E, maior valor para a propriedade mecânica, tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Resistência à tração na flexão, resistência à compressão e módulo de elasticidade.

Características determinadas	Teor dos aditivos AEH/IAR						
	40/10		40/20			95/20	
	E5,5	E7,0	E5,75	E6,0	E6,5	E5,5	E7,0
Resistência à tração na flexão (MPa)	2,80	1,90	3,00	2,50	2,30	2,60	1,90
Resistência à compressão (MPa)	10,80	5,80	10,80	8,40	5,90	9,00	8,00
Módulo de elasticidade (GPa)	9,52	6,55	10,49	9,39	7,22	9,98	8,41

Quando se relacionou as resistências à compressão com o parâmetro “E”, observou-se de forma clara, a influência do último sobre os valores obtidos, pois verificou-se o aumento da propriedade, conforme o incremento do aglomerante. Para as séries 40/20, os resultados apresentaram aumentos, em decorrência da diminuição da proporção entre os aditivos, uma vez que o IAR eleva as resistências mecânicas, por reduzir o teor de água das misturas. Contudo, as faixas de valores referentes as resistências à compressão, quando se emprega as séries 95/20, apresentam uma menor variação, mesmo aumentando o teor do aglomerante. Para as demais séries, os resultados se elevam para os decréscimos do parâmetro E.

As séries 95/20, motivadas pelo incremento do AEH demonstram reduções no intervalo das faixas de valores das resistências à compressão, assim como observado na etapa 01 para as séries 40/60, 40/100 e 95/60.

Quando se relacionou as resistências à tração na flexão e à compressão com a relação água/cimento, observou-se aumento das propriedades mecânicas conforme a redução do teor de água, figuras 4.16 e 4.17.

Figura 4.16 - Tração na flexão *versus* relação água/cimento.

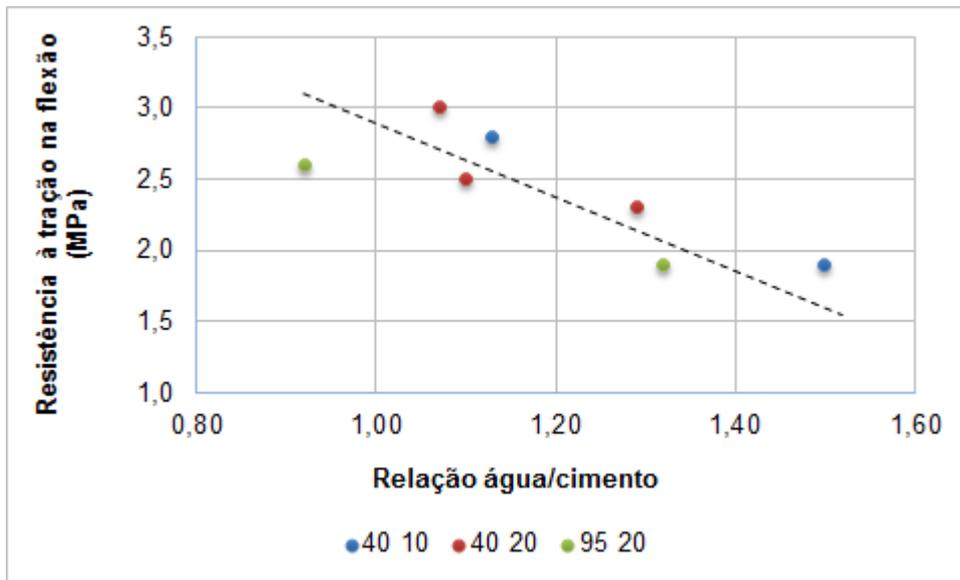
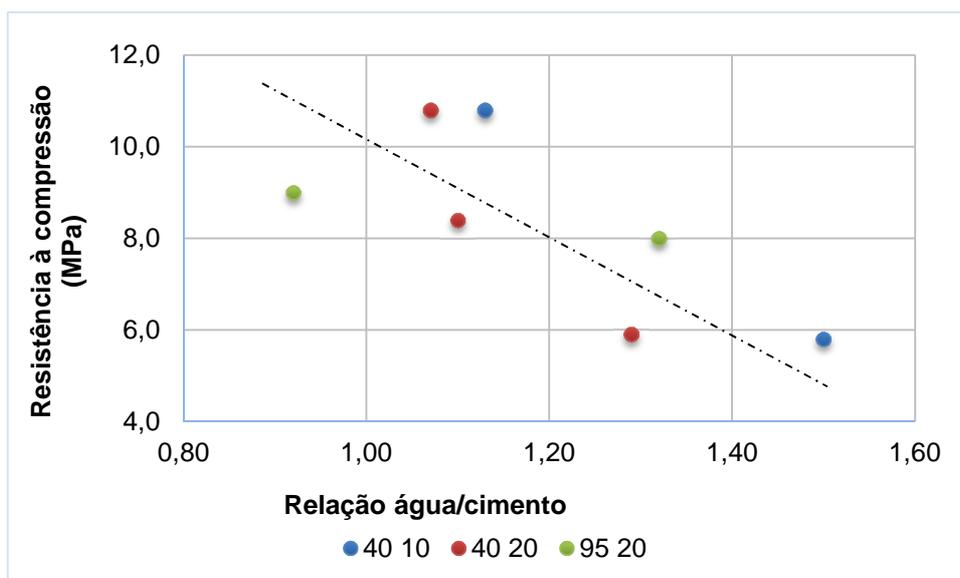
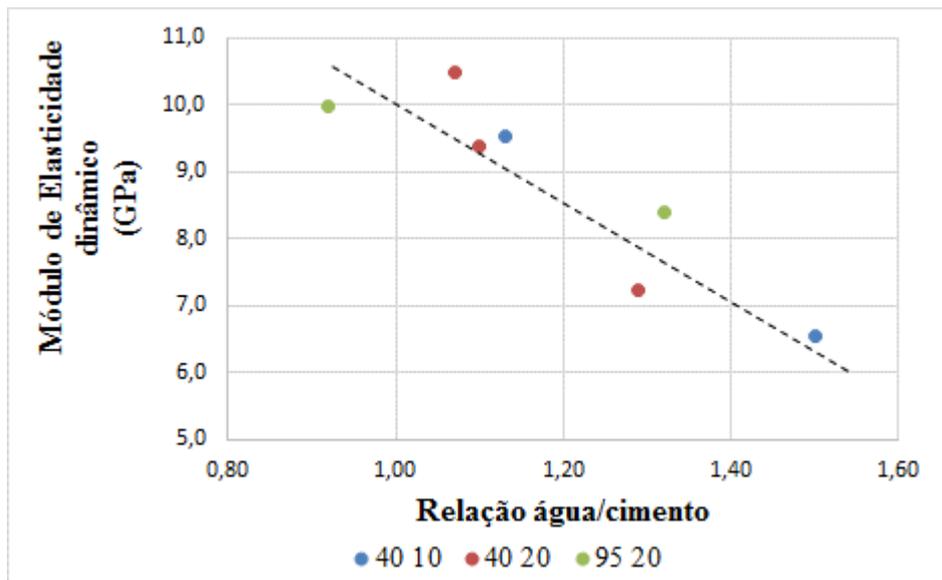


Figura 4.17 - Resistência à compressão *versus* relação água/cimento.



Os valores obtidos para os ensaios de módulo de elasticidade dinâmico aumentaram conforme as reduções do parâmetro “E” (superiores consumos do aglomerante), assim, demonstrado na tabela 4.15. No entanto, o maior teor do AEH das séries 95/20 elevaram os módulos de elasticidade. O menor teor de água incide em maior resistência mecânica e maior módulo de elasticidade, no entanto a de se verificar o teor do AEH quando se emprega o teor 0,95% m.c, figura 4.18.

Figura 4.18 – Relação água/cimento versus Módulo de elasticidade.



Os resultados dos módulos de elasticidade mostraram-se compatíveis com os valores obtidos para as resistências à tração na flexão e à compressão, conforme as figuras 4.19 e 4.20.

Figura 4.19 - Resistência à tração na flexão versus módulo de elasticidade.

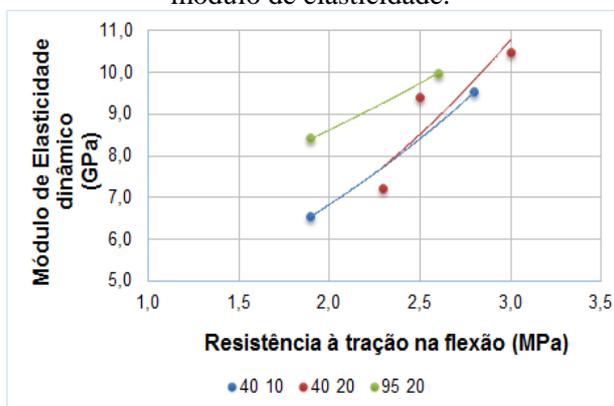
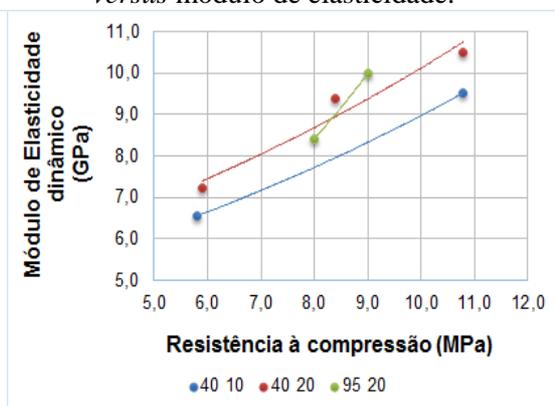


Figura 4.20 - Resistência à compressão versus módulo de elasticidade.



4.2.9 Variação dimensional

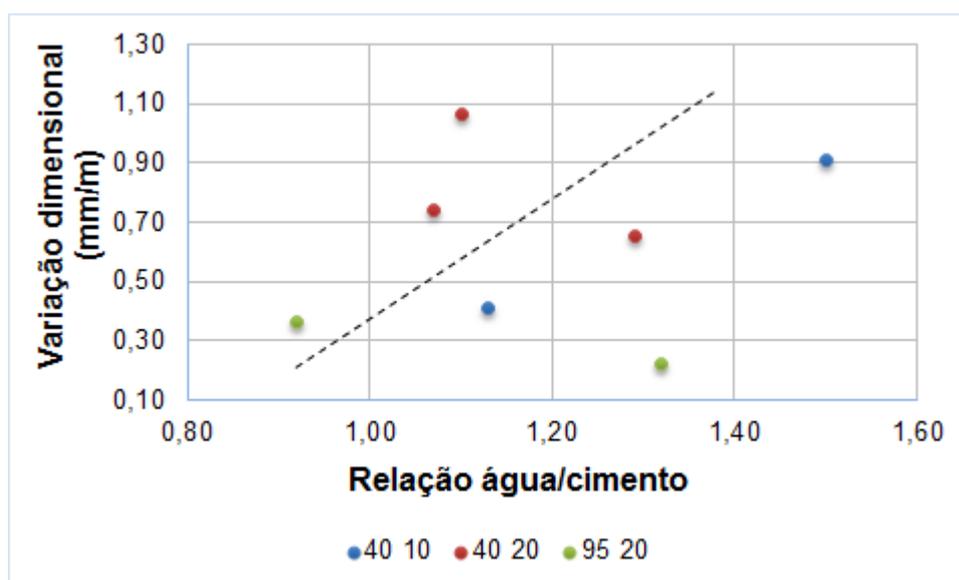
Para os incrementos do AEH, série 95/20, ocorreram os melhores resultados da variação dimensional das argamassas, porém ressalta-se que o tempo de desforma provavelmente influenciou os valores obtidos, uma vez que estas séries foram possíveis de desformar somente no quarto dia após a produção. Os valores obtidos aos 28 dias ocorreram conforme as séries dos aditivos associados, tabela 4.16.

Tabela 4.16 – Variação dimensional, água/materiais secos e relação água/cimento.

Características determinadas	Teor dos aditivos AEH/IAR						
	40/10		40/20			95/20	
	E5,5	E7,0	E5,75	E6,0	E6,5	E5,5	E7,0
Varição dimensional aos 28 dias (mm/m)	0,41	0,91	0,74	1,06	0,65	0,36	0,22
Água/materiais secos (%)	17%	19%	16%	16%	17%	14%	17%
Relação a/c	1,13	1,50	1,07	1,10	1,29	0,92	1,32

A variação dimensional é uma propriedade influenciada pelo teor de água. Quanto menor o teor de água menor a retração, figura 4.21.

Figura 4.21 – Relação água/cimento *versus* retração.



4.2.10 Susceptibilidade à fissuração

O CSTB (1993) recomenda os critérios de classificação quanto à fissuração, apresentados na tabela 4.17, como visto no capítulo 2.

Tabela 4.17- Critérios de susceptibilidade quanto à fissuração, quanto ao módulo de elasticidade – CSTB (1993).

Características (aos 28 dias)	Critérios de classificação quanto à fissuração		
	Baixa susceptibilidade	Média susceptibilidade	Alta susceptibilidade
Módulo de elasticidade (E) (MPa)	$E \leq 7000$	$7000 < E < 12000$	$E \geq 12000$
E/Rt*	$E/Rt \leq 2500$	$2500 < E/Rt < 3500$	$E/Rt \geq 3500$
Retração por secagem (mm/m)	$DI/l \leq 0,7$	$0,7 < DI/l < 1,2$	$DI/l \geq 1,2$

*Rt – resistência à tração na flexão

Verificaram-se que as argamassas quando analisadas pelo módulo de elasticidade apresentaram média susceptibilidade à fissuração, com exceção da E740/10 que se enquadra em baixa susceptibilidade, conforme a tabela 4.18 avaliada em conjunto com a tabela 4.17.

Quanto à retração, as argamassas estabilizadas estudadas, apresentaram baixa susceptibilidade à fissuração, com exceção das argamassa E7 40/10 e E6 40/20, para as quais os valores obtidos para variação dimensional (tabela 4.16), aos 28 dias, foram superiores a 0,70 mm/m e assim, se enquadraram em média susceptibilidade à fissuração.

Da mesma forma, quando se correlacionou o módulo de elasticidade com a resistência à tração na flexão – E/Rt, as possibilidades de fissuração se elevaram para os incrementos do AEH, uma vez que as argamassas das séries 95/20 apresentaram os piores resultados. As demais argamassas se enquadraram na média susceptibilidade à fissuração, tabela 4.18. Os resultados para as séries E5,5 40/10, E 7 40/10, E 5,75 40/20 e E6 40/20 também mostraram-se muito próximos a 3500, de forma que as resistências à tração na flexão precisariam ser elevadas para a redução da susceptibilidade à fissuração.

Tabela 4.18 - Suscetibilidade à fissuração.

Características determinadas	Teor dos aditivos AEH/IAR						
	40/10		40/20			95/20	
	E5,5	E7,0	E5,75	E6,0	E6,5	E5,5	E7,0
Módulo de elasticidade (MPa)	9520	6550	10490	9390	7220	9980	8410
E/Rt	3400	3447	3497	3756	3139	3838	4426
Retração (mm/m)	0,41	0,91	0,74	1,06	0,65	0,36	0,22

Em azul – baixa susceptibilidade a fissuração; Em preto – média susceptibilidade à fissuração; Em vermelho – alta susceptibilidade a fissuração

4.2.11 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

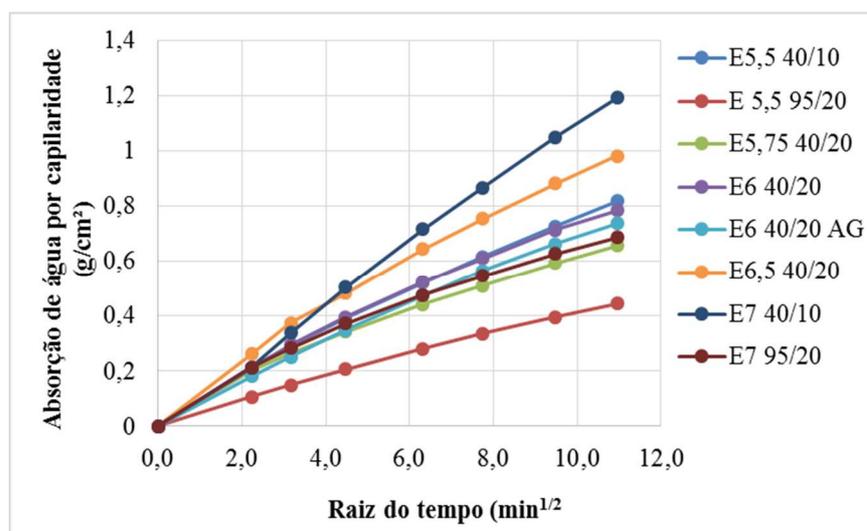
A tabela 4.19 demonstra os comportamentos das séries das argamassas quanto à absorção de água por capilaridade, indicando que as elevações do parâmetros E aumentam os coeficientes de capilaridade. Já o incremento dos aditivos diminuem a absorção capilar.

Tabela 4.19 – Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade.

Características determinadas	Teor dos aditivos AEH/IAR						
	40/10		40/20			95/20	
	E5,5	E7,0	E5,75	E6,0	E6,5	E5,5	E7,0
Absorção de água por capilaridade – 10 min (g/cm ²)	0,29	0,34	0,27	0,30	0,37	0,15	0,28
Absorção de água por capilaridade – 90 min (g/cm ²)	0,73	1,05	0,59	0,71	0,88	0,39	0,63
Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	7,00	11,40	5,20	6,70	8,10	3,90	5,50

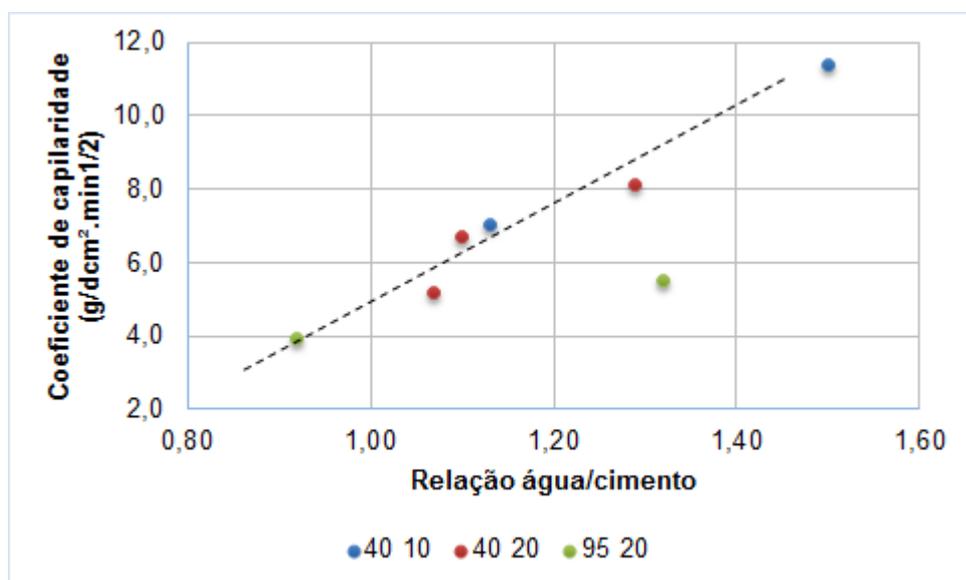
A figura 4.22 indica a maior absorção capilar para a série E7 40/10 e E 6,5 40/20, de forma a demonstrar que o maior parâmetro E influenciou na elevação do coeficiente de capilaridade e comportamento inverso comparativamente ocorre para a série E5,5 95/20 e E 5,75 40/20.

Figura 4.22 – Absorção de água por capilaridade *versus* a raiz do tempo/ $\text{min}^{1/2}$



Quanto à relação água/cimento, as reduções dos valores do coeficiente de capilaridade ocorreram proporcionais as reduções do teor de água, conforme figura 4.23.

Figura 4.23 – Relação água/cimento *versus* Parâmetro coeficiente de capilaridade.



4.2.12 Absorção de água por imersão

Os comportamentos para esta propriedade ocorreram de forma semelhante quando comparadas ao dos coeficientes de capilaridade, ou seja, verificou-se a ação conjunta do

parâmetro E, dos AEH associados aos IAR para o decréscimo da absorção de água, tabela 4.20. Quanto maior ar incorporado menor o teor de água e menor absorção de água.

Tabela 4.20 – Absorção de água por imersão.

Características determinadas	Teor dos aditivos AEH/IAR						
	40/10		40/20			95/20	
	E5,5	E7,0	E5,75	E6,0	E6,5	E5,5	E7,0
Absorção de água por imersão (%)	12,20	13,90	11,40	11,60	12,50	10,10	13,70

A etapa 02, através do programa experimental, métodos e materiais utilizados na fabricação das argamassas, cumpriu seus objetivos, uma vez que os comportamentos e as propriedades, confirmaram os resultados da etapa 01, à medida que mostraram as influências dos aditivos de forma associados, conforme as proporções de AEH e IAR, além daquelas propriedades governadas pelo parâmetro E.

O parâmetro E se mostrou fortemente influente quanto aos comportamentos das resistências à compressão, resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade, resistência potencial de aderência à tração na flexão. No entanto, o parâmetro E diminuiu sua influência quando as argamassas empregaram as séries com o teor de AEH 0,95%, para as quais os valores mostraram uma menor variação de faixas de valores.

O AEH95 aumentou a susceptibilidade à fissuração, mesmo para os inferiores parâmetros E. Ainda assim, contribuiu para a redução da variação dimensional, dos coeficientes de capilaridade e da absorção de água capilar, quando associado ao IAR20.

O IAR mostrou sua influência, logicamente, quanto à plasticidade, redução da relação água/cimento, aumento do teor de ar incorporado e diminuição do coeficiente de capilaridade, conforme o seu incremento utilizado na produção das argamassas. Contudo, quando associados ao AEH95, devido a superior proporção do aditivo estabilizador, o último condicionou o comportamento das argamassas estabilizadas. O teor mínimo do IAR (10) contribuiu negativamente para as retenções de água. O teor máximo IAR (20) quando associado ao AEH95 promoveu incrementos do teor de ar incorporado e assim apresentou a menor resistência potencial de aderência à tração, no entanto este resultado não apresentou-se inferior a 0,30 MPa.

4.3 ETAPA 03

Buscou-se nesta etapa a avaliação do processo de estabilização das argamassas. As análises dos comportamentos e das propriedades foram realizadas ao longo do tempo, de até 32 horas. Desta forma, foi utilizado o parâmetro E6 e uma única granulometria dos agregados miúdos, variando os teores dos aditivos associados.

Duas variáveis importantes de avaliação da manutenção das condições de aplicação foram impostas a esta etapa: a primeira variável quanto à utilização da película de água (não empregada nas etapas anteriores) na proteção das argamassas produzidas; e a segunda variável, a correção da consistência para a condição de aplicação das argamassas, em sistemas de revestimento, através do acréscimo de água, quando não se aplicou a lâmina de água.

A tabela 4.21 mostra os percentuais de finos, agregados, água e ar apresentados para as séries estudadas nesta etapa. Os percentuais água/materiais secos sofreram influências dos aditivos associados à medida que incrementaram ar incorporados e reduziram o teor de água nas produções das argamassas. Os percentuais de água/materiais secos variaram de 15% a 17%, o teor de ar incorporado variaram de 11% a 18% conforme o incremento dos aditivos combinados, para um mesmo percentual de finos.

Tabela 4.21 – Parâmetros de mistura.

SÉRIE	Traço (cimento:areia)	a/c	Finos total (%)	Água/ Materiais secos (%)	Teor de ar incorporado (%)
E6 40/10	1:6,0	1,22	21%	17%	11%
E6 40/20	1:6,0	1,10	21%	16%	16%
E6 95/20	1:6,0	1,06	21%	15%	18%

4.3.1 Estado fresco

No estado fresco foram avaliadas as propriedades de consistência (penetração de cone), a tensão limite de escoamento (vane test) e o teor de ar incorporado ao longo dos tempos de estabilização, conforme apresentado na tabela 4.22, para a condição de armazenamento sem lâmina de água e na tabela 4.23, para a condição de armazenamento com película de água.

As perdas de consistência no intervalo de 40 ± 10 mm, ocorreram até seis horas para as argamassas E6 40/10 (20 mm); até oito horas para as argamassas E6 40/20 (26 mm). As argamassas E6 95/20 reduziram os valores de penetração de cone em quatro horas (18 mm), todas aferidas a partir dos 30 minutos da produção das argamassas.

Tabela 4.22 – Resumo das propriedades no estado fresco – sem lâmina de água.

Teor dos aditivos AEH/IAR	Séries	Cone (mm)	Tensão limite de escoamento (kPa)	Teor de ar gravimétrico (%)
40/10	E6 40/10 - 30 minutos	63	0,569	11%
	E6 40/10 - 3 horas	51	0,961	10%
	E6 40/10 - 6 horas	43	1,353	10%
40/20	E6 40/20 - 30 minutos	65	0,569	16%
	E6 40/20 - 3 horas	56	0,783	14%
	E6 40/20 - 6 horas	48	1,103	13%
	E6 40/20 - 8 horas	39	1,424	13%
95/20	E6 95/20 - 30 minutos	51	1,209	18%
	E6 95/20 - 4 horas	33	2,598	15%
	E6 95/20 - 8 horas - correção	61	0,961	15%
	E6 95/20 - 12 horas - correção	60	1,175	15%
	E6 95/20 - 24 horas - correção	61	1,175	13%

Verificou-se que as séries 40/10 e 40/20 mantiveram a penetração de cone com baixa variação de consistência, bem como pequena alteração do teor de ar incorporado, após 6 e 8 horas, respectivamente, na condição de armazenamento sem aplicação da lâmina de água. O que não ocorreu quando se empregou a película de água, durante o armazenamento destas séries, uma vez que as mesmas apresentaram um aumento da fluidez e não homogêneas. Ainda, assim com 24 horas; encontraram-se endurecidas para as duas condições estudadas.

Na condição de armazenamento sem o emprego da lâmina de água, as séries 40/10 e 40/20 elevaram a tensão limite de escoamento com o aumento do tempo de estabilização, até 6 e 8 horas, respectivamente. No entanto a série 95/20 apresentou uma diminuição da tensão limite

de escoamento após 8 horas em virtude da correção da consistência por meio do acréscimo de água, tabela 4.22.

Os teores de ar incorporados apresentaram baixas variações conforme a tabela 4.22. Para a séries 40/10 a variação do ar incorporado foi de 1% até 6 horas, para série 40/20; 3% até 8 horas e para a série 95/20; 5%.

Tabela 4.23 - Resumo das propriedades no estado fresco – com lâmina de água.

Séries		Cone (mm)	Tensão limite de escoamento (kPa)	Teor de ar gravimétrico (%)
40/10	E6 40/10 - 30 minutos	63	0,569	11%
	E6 40/10 - 3 horas	51	0,961	10%
	E6 40/10 - 6 horas	56	0,498	10%
40/20	E6 40/20 - 30 minutos	65	0,569	16%
	E6 40/20 - 3 horas	56	0,783	14%
	E6 40/20 - 6 horas	56	0,641	14%
	E6 40/20 - 8 horas	60	0,569	12%
95/20	E6 95/20 - 30 minutos	51	1,209	18%
	E6 95/20 - 4 horas	33	2,598	15%
	E6 95/20 - 8 horas	35	2,171	16%
	E6 95/20 - 12 horas	33	2,136	14%
	E6 95/20 - 24 horas	40	1,673	13%
	E6 95/20 - 32 horas	30	2,492	13%

Ressalta-se que série 95/20 após 8 horas do preparo, exigiu a correção da consistência de penetração de cone para 60mm, tabela 4.22. Apesar da argamassa apresentar-se úmida, não possibilitou a aferição da consistência na condição de armazenamento com lâmina de água. Logo, destaca-se a importância do emprego da lâmina de água para a manutenção das condições de aplicabilidade da série 95/20, uma vez que apresentaram, nesta condição de

armazenamento, penetração de cone entre 4 horas até 32 horas, com variações entre 30 a 40 mm, tabela 4.23.

Quanto à tensão limite de escoamento, aferidas pelo método de ensaio do vane test, as argamassas produzidas apresentaram valores aumentados ao longo do tempo de estabilização à medida que perdiam a consistência, tabela 4.23, na condição de armazenamento com película de água.

Semelhantes aos comportamentos apresentados nas Etapas 01 e 02, os teores de ar incorporados se mostraram dependentes dos incrementos dos IAR empregados nas produções das argamassas. De maneira geral, os resultados não variaram mais que 5% ao longo dos tempos de estabilização, observando uma mesma série, tabelas 4.22 e 4.23. Observou-se que o fato de se aplicar a lâmina d'água ou a correção de água na argamassa, não apresentou aumento expressivo dos valores percentuais de incorporação de ar, destacando que as argamassas corrigidas, utilizaram a argamassadeira para mistura.

4.3.2 Estado endurecido

As propriedades, no estado endurecido, avaliadas nesta etapa foram as resistências à tração na flexão e à compressão, conforme as condições de armazenamento, são mostradas nas tabelas 4.24 para a condição sem lâmina de água e tabela 4.25 para a condição com lâmina de água. As séries que empregaram o AEH 40, na condição sem lâmina de água, apresentaram valores para as resistências à tração na flexão com baixas variações, tabela 4.24. Já as séries que utilizaram o AEH 95, nos tempos de 4 horas e 8 horas (com a correção de água), impossibilitaram a realização dos ensaios, uma vez que as amostras foram danificadas na desforma. Nos períodos compreendidos entre 12 e 24 horas (com correção de água), os valores das resistências à tração na flexão aferidos foram de 3,10 e 2,60 MPa, respectivamente.

Tabela 4.24 – Resumo das propriedades no estado endurecido – sem lâmina de água.

SÉRIES		Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
40/10	E6 40/10 - 30 minutos	2,20	9,50
	E6 40/10 - 6 horas	2,30	8,50
40/20	E6 40/20 - 30 minutos	2,70	10,10
	E6 40/20 - 8 horas	2,90	10,20
95/20	E6 95/20 - 30 minutos	2,30	8,10
	E6 95/20 - 4 horas	*	*
	E6 95/20 - 8 horas - correção	*	*
	E6 95/20 - 12 horas - correção	3,10	9,20
	E6 95/20 - 24 horas - correção	2,60	8,20

O aumento do teor do IAR promoveu o aumento das resistências à compressão, devido a redução do teor de água. No entanto, o aumento do AEH, no caso específico da série 95/20, apesar da menor relação água/cimento, incidiu na diminuição da resistência à compressão quando comparada à série 40/20, tabela 4.24.

Na condição de emprego da lâmina de água, os valores das propriedades mecânicas são mostrados na tabela 4.25. As séries 40/10 e 40/20 indicaram reduções das propriedades mecânicas nos tempos finais de estabilização, indicando possivelmente a influência da lâmina de água, interferindo na relação água/cimento. Já a série 95/20 demonstrou resultados sem alterações expressivas.

Tabela 4.25 – Resumo das propriedades no estado endurecido – com lâmina de água.

SÉRIES		Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
40/10	E6 40/10 - 30 minutos	2,20	9,50
	E6 40/10 - 6 horas	0,60	8,10
40/20	E6 40/20 - 30 minutos	2,70	10,10
	E6 40/20 - 8 horas	2,10	7,10
95/20	E6 95/20 - 30 minutos	2,30	8,10
	E6 95/20 - 4 horas	*	*
	E6 95/20 - 8 horas	2,90	7,90
	E6 95/20 - 12 horas	2,10	7,30
	E6 95/20 - 24 horas	2,40	8,90
	E6 95/20 - 32 horas	2,40	9,40

A etapa 03, através do programa experimental, métodos e materiais utilizados na fabricação das argamassas, cumpriu seus objetivos, uma vez que possibilitou conhecer o processo de estabilização, conforme a formulação das argamassas, além do impacto da condição de armazenamento, com o emprego ou não da lâmina de água, perante as dosagens das argamassas estabilizadas estudadas.

De forma, que quando se utiliza o teor médio do AEH (95), destaca-se a necessidade da aplicação da lâmina de água para a manutenção da consistência das argamassas. Contudo, para o teor mínimo do AEH (40), a película de água não se mostrou eficaz, uma vez que aumentou a fluidez das argamassas. Quando se manteve as séries com AEH40 sem a lâmina, a perda de consistência ocorreu de forma mais lenta, permitindo a utilização das argamassas por até 8 horas.

Quanto às resistências à tração na flexão e à compressão, observou-se que a lâmina de água não prejudicou a série 95/20, porém influenciou nos resultados das séries 40/10 e 40/20, indicando reduções das propriedades mecânicas no final das 8 horas.

Opina-se que as séries 40/20, na condição de armazenamento sem lâmina de água, são argamassas preferidas de emprego até o tempo de estabilização de 8 horas, por promoverem aumentos de produtividade, além de que os resultados obtidos deste estudo demonstraram

que as argamassas mantiveram suas propriedades tanto no estado fresco quanto endurecido adequadas aos sistemas de revestimento ao longo do período de estabilização estudado. As séries 40/10 apresentam durante o período de estabilização exsudação, que foi aumentada com o emprego da lâmina de água.

Ainda, que as séries 95/20 mostraram-se adequadas, na condição de armazenamento com o emprego da lâmina de água, e mantiveram suas propriedades de forma satisfatória tanto no estado fresco, quanto endurecido por até 32 horas.

4.4 ETAPA 04

Esta etapa foi dividida em duas partes, A e B. As propriedades foram estudadas, na parte A, quanto à variação da distribuição granulométrica de duas areias, uma fina e outra média. Já a parte B, quanto à variação dos conjuntos de aditivos AEH e IAR ofertados no mercado de distintos fabricantes, AD1 e AD2.

4.4.1 Parte A – Distribuição granulométrica dos agregados

Nesta Etapa, as variáveis independentes foram as distribuições granulométricas dos agregados miúdos, de forma avaliar seus impactos nas propriedades das argamassas estabilizadas. Os parâmetros de mistura são apresentados na tabela 4.26.

Tabela 4.26 – Parâmetro de mistura.

Parâmetros de mistura	AF	AM
Traço (cimento:areia)	1:6,0	1:6,0
Água (g)	6310	5910
Finos total (%)	21%	14%
Água/Materiais secos (%)	16%	15%
a/c	1,10	1,03

As areias utilizadas foram uma de granulometria contínua e mais fina, (AF), de módulo de finura de 1,55 e a segunda de granulometria média, contínua e bem graduada (AM), de módulo de finura de 2,30.

O percentual de finos, obviamente foi superior para a série que utilizou a areia fina. A tabela 4.27 mostra os resultados das propriedades no estado fresco. A argamassa E6 40 20 AM, visualmente, se mostrou rugosa e áspera, além de apresentar superior perda de consistência (aos 30 minutos do preparo), 6 mm, o dobro da argamassa preparada com a areia fina (AF). O menor o módulo de finura, da série AF, promoveu os melhores resultados quanto à consistência, plasticidade, trabalhabilidade e retenção de água. O valor da tensão limite de escoamento foi inferior para AF; 0,712 kPa e para AM chegou próximo a 1 kPa.

Tabela 4.27 - Resultados das propriedades obtidos, no estado fresco, com diferentes granulometrias do agregado miúdo.

Propriedades	AF	AM
Penetração de cone (preparo. - mm)	64	63
Penetração de cone (30 min. - mm)	61	57
Tensão de cisalhamento (30 min. - kPa)	0,712	0,997
Teor de ar incorporado (%)	15	17
Retenção de água (%)	71	64

As propriedades no estado endurecido são apresentadas na tabela 4.28, verificou-se resultados relativamente próximos, quando da comparação das granulometrias. A argamassa E6 40/20, produzida com a areia média, apresentou variação dimensional de 0,94 mm/m, aos 28 dias, demonstrando uma média susceptibilidade a fissuração, na mesma classificação que as produzidas com areia fina; 1,06 mm/m. No caso da relação módulo de elasticidade/resistência à tração na flexão – E/Rt, as argamassas produzidas apresentaram alta susceptibilidade à fissuração.

Tabela 4.28 - Resultados das propriedades obtidos, no estado endurecido, com diferentes granulometrias do agregado miúdo.

Propriedades	E6 40/20 AF	E6 40/20 AM
Varição dimensional (mm/m)	1,06	0,94
Resistência à compressão (MPa)	8,40	8,10
Resistência à tração na flexão (MPa)	2,50	2,20
Módulo de elasticidade (GPa)	9,39	9,60
Módulo de elasticidade/resistência à tração na flexão – E/Rt (CSTB, 1993)	3756	4364
Resistência potencial de aderência à tração (MPa)	0,74	0,84
Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	6,70	6,60
Absorção de água por imersão (%)	11,60	11,20

Embora as areias mais finas provoquem uma diminuição nas dimensões dos poros das argamassas; as areias bem graduadas, de curva granulométrica contínua apresentam menores volumes de vazios, assim as duas areias contribuíram para valores de coeficientes de capilaridade semelhantes.

Nos canteiros de obras, geralmente a areia fina é a preferida para produção das argamassas de revestimentos, por promoverem plasticidades e adequadas condições de aplicabilidade. No entanto, cabe ressaltar que a granulometria contínua e bem graduada da areia média também contribuiu para bons resultados, assim com a areia fina. Opina-se que ambas as areias possibilitam o emprego na fabricação das argamassas estabilizadas.

Em virtude de se alcançar trabalhabilidade adequada e elevar a retenção de água a areia de granulometria mais fina é a mais indicada, por exemplo no caso da aplicação para reboco. Já no caso de aplicação para emboço a areia de granulometria média, devido os resultados obtidos também teria uma boa indicação.

4.4.2 Parte B – Aditivos AD1 e AD2

A série escolhida para as análises complementares, quando se altera o conjunto dos aditivos, foi a E6 95/20, por ter apresentado um tempo superior de estabilização na etapa 03. Assim, também se trabalhou as condições de armazenamento sem e com lâmina de água. Os aditivos empregados na produção das argamassas são os usuais das empresas produtoras das argamassas estabilizadas. Os parâmetros de mistura apresentaram-se semelhantes, porém a série produzida com o AD1 obteve o superior teor de ar incorporado, 2% a mais, quando comparadas ao AD2. Os percentuais de água variaram em 1,0%, tabela 4.29.

Tabela 4.29 – Parâmetros de mistura.

SÉRIE	Traço (cimento:areia)	a/c	Água (g)	Finos total (%)	Água/materiais secos (%)
AD1	1:6,0	1,06	6030	21%	15%
AD2	1:6,0	1,09	6202	21%	16%

A tabela 4.30 mostra os resultados obtidos para as condições sem o emprego da lâmina de água. Os aditivos AD1, quando comparados aos AD2, permitiram a argamassa, uma perda de consistência maior. No tempo de 4 horas, a penetração de cone apresentada foi de 33mm para o AD1, e para o AD2; 41mm. Quanto à tensão limite de escoamento após 8 horas as duas séries, AD1 e AD2, indicaram redução de valor em virtude da correção da penetração de cone para 60 mm com a adição de água.

Tabela 4.30 – Resumo das propriedades no estado fresco – sem lâmina.

SÉRIES		Cone (mm)	Tensão limite de escoamento (kPa)	Teor de ar gravimétrico (%)
AD1	AD1 - 30 minutos	51	1,209	18%
	AD1 - 4 horas	33	2,598	15%
	AD1 - 8 horas -	61	0,961	15%
	AD1 - 12 horas -	60	1,175	15%
	AD1 - 24 horas -	61	1,175	13%
AD2	AD2 - 30 minutos	61	0,783	16%
	AD2 - 4 horas	41	1,777	14%
	AD2 - 8 horas -	61	0,712	15%
	AD2 - 12 horas -	62	0,747	17%
	AD2 - 24 horas -	60	0,961	15%

A tensão limite de escoamento apresentou comportamento inversamente proporcional a penetração de cone. De forma, que o conjunto AD2 apresentou inferior tensão limite de escoamento, conforme a tabela 4.30. No entanto, no aspecto tátil-visual, a argamassa produzida com o conjunto AD1 apresentou a melhor plasticidade e trabalhabilidade, devido ao maior teor de ar incorporado. Quanto ao teor de ar gravimétrico, as diferenças entre as séries produzidas com o AD1 e AD2 apresentaram foi de 2%, conforme a tabela 4.30.

A tabela 4.31 lista os resultados, no estado fresco, para a condição que utilizou a película de água. A argamassa produzida com o conjunto de aditivos AD1, apresentou a perda de penetração de cone de 14 mm, aos 30 minutos; 22 mm até 4 horas. Após este tempo aplicou-se a película de água. Assim, os resultados para a penetração de cone mantiveram variações de 30 a 40 mm.

Já as argamassas produzidas com o conjunto AD2, até 30 minutos a perda de penetração de cone foi de 4mm, com 4 horas; a perda foi de 20mm. Após este tempo se utilizou a lâmina de água para o armazenamento da argamassas. Deste tempo até 32 horas, se manteve a consistência variando de 31mm até 43mm, tabela 4.31. Quanto aos resultados obtidos dos ensaios de penetração de cone, verificou-se comportamentos semelhantes quando compararam-se as argamassas produzidas com os diferentes conjunto de aditivos. Contudo, no aspecto visual, as séries produzidas com o AD1 se mostraram mais plásticas em relação as preparadas com o conjunto AD2, que apresentaram argamassas mais ásperas.

Tabela 4.31 – Resumo das propriedades no estado fresco – com lâmina.

SÉRIES		Cone (mm)	Tensão limite de escoamento (kPa)	Teor de ar gravimétrico (%)
AD1	AD1 - 30 minutos	51	1,209	18%
	AD1 - 4 horas	33	2,598	15%
	AD1 - 8 horas	35	2,171	16%
	AD1 - 12 horas	33	2,136	14%
	AD1 - 24 horas	40	1,673	13%
	AD1 - 32 horas	30	2,492	13%
AD2	AD2 - 30 minutos	61	0,783	16%
	AD2 - 4 horas	41	1,777	14%
	AD2 - 8 horas	43	1,602	15%
	AD2 - 12 horas	35	1,744	13%
	AD2 - 24 horas	36	1,673	14%
	AD2 - 32 horas	31	2,492	14%

As propriedades avaliadas, no estado endurecido, foram as resistências à tração na flexão e à compressão, mostrados na tabela 4.32 para a condição de armazenamento sem lâmina de água. As faixas de valores obtidas para as resistências à tração na flexão se apresentaram semelhantes. Contudo, para as resistências à compressão, as argamassas com as séries AD1 e AD2 apresentaram intervalos distintos.

Quando se utilizou o AD2 na produção das argamassas, ocorreu uma variação de resultados, quando se comparou o tempo de 30 minutos com o tempo de 32 horas, 12 MPa e 6,7 MPa, respectivamente. Para os tempos 4, 8 e 12 horas, os valores foram praticamente iguais, variando de 9,5 a 9,6 MPa, tabela 4.32.

Tabela 4.32 – Propriedades no estado endurecido – sem lâmina.

SÉRIES		Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
AD1	AD1 - 30 minutos	2,30	8,10
	AD1 - 4 horas	*	*
	AD1 - 8 horas - correção	*	*
	AD1 - 12 horas - correção	3,10	9,20
	AD1 - 24 horas - correção	2,60	8,20
AD2	AD2 - 30 minutos	3,00	12,00
	AD2 - 4 horas	2,60	9,50
	AD2 - 8 horas - correção	2,80	9,60
	AD2 - 12 horas - correção	2,40	9,80
	AD2 - 24 horas - correção	2,00	6,70

Conforme a tabela 4.33, verificou-se que para os dois conjuntos de aditivos, no geral, a condição de emprego da lâmina de água, funcionou adequadamente, uma vez que as faixas de valores apresentaram baixas variações quando comparadas as que utilizaram a correção de consistência.

Tabela 4.33 – Propriedades no estado endurecido – com lâmina.

SÉRIES		Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
AD1	AD1 - 30 minutos	2,30	8,10
	AD1 - 4 horas	*	*
	AD1 - 8 horas	2,90	7,90
	AD1 - 12 horas	2,10	7,30
	AD1 - 24 horas	2,40	8,90
	AD1 - 32 horas	2,40	9,40
AD2	AD2 - 30 minutos	3,00	12,00
	AD2 - 4 horas	2,60	9,50
	AD2 - 8 horas	3,10	10,40
	AD2 - 12 horas	3,00	10,10
	AD2 - 24 horas	2,10	9,60
	AD2- 32 horas	2,50	9,20

Finalizando a apresentação dos resultados das etapas indicadas no programa experimental, seguem as discussões das principais verificações observadas quanto as influências dos materiais e comportamentos estudados das argamassas, em conformidade com os valores obtidos das propriedades. As tabelas 4.34 a 4.38 mostram os resumos dos resultados obtidos para cada etapa estudada.

A tabela 4.34 mostra um resumo dos resultados obtidos para cada uma das variáveis dependentes da etapa 01.

Tabela 4.34 – Resumo dos resultados obtidos para etapa 01.

Objetivo: Efetuar o estudo de dosagem inicial da argamassa estabilizada para um conjunto de materiais (cimento, areia, aditivo estabilizador de hidratação e aditivo incorporador de ar), de modo a obter argamassas que atendam aos quesitos técnicos das argamassas para revestimento; bem como verificar a influência do parâmetro E, dos teores dos aditivos isolados e associados.	
Variáveis independentes: Parâmetro E; AEH isolado; IAR isolado e Aditivos associados	
Condições fixas: Penetração de cone inicial (65±5mm)	
Variáveis dependentes	Resultados
Teor de ar incorporado	<ul style="list-style-type: none"> • Teor de ar incorporado é dependente do teor de IAR: <ul style="list-style-type: none"> ○ > % ar - aditivos associados; ○ > redução de água; • Os teores de ar incorporados não sofreram influências do parâmetro E; • O AEH não contribuiu, quando isolado, para as incorporações de ar.
Resistências à tração na flexão e à compressão	<ul style="list-style-type: none"> • O parâmetro E mostra uma maior influência para as resistências à compressão; • O AEH isolado prejudicou as resistências mecânicas, quando se aumentou seu teor; • O IAR contribuiu para os aumentos das resistências mecânicas, quando reduziu o teor de água.
Coefficiente de capilaridade	<ul style="list-style-type: none"> • O AEH influenciou negativamente, quando isolado, para os coeficientes de capilaridade; • O IAR, por ser o responsável pela formação de uma estrutura de poros não conectados (porosidade fechada), reduz o teor de água e contribuiu de forma positiva para os inferiores coeficientes de capilaridade; • Os aditivos associados contribuíram para inferiores coeficientes de capilaridade.

➤ **Quanto ao Parâmetro E:**

Influenciaram nos resultados das propriedades de resistências mecânicas. Contudo, verificou-se uma diminuição desta influência forte quando se aumentou os teores de AEH. Influenciaram de forma positiva, aliado aos aditivos associados, para a redução dos coeficientes de capilaridade e absorção de água por imersão. Contudo, não influenciaram nos percentuais de ar incorporados.

Os estudos de Alves (2002) comprovaram que os valores da absorção capilar foram superiores para as argamassas com inferiores teores de cimento, devido à maior compacidade que as argamassas têm com elevados teores de cimento.

➤ **Quanto ao IAR:**

Obviamente influenciaram nos teores de ar incorporados das argamassas e desta forma, promoveram reduções dos teores de água. Influenciaram quanto as melhorias das plasticidades, das trabalhabilidades e reduções da exsudações conforme seus incrementos nas produções das argamassas.

Influenciaram nos resultados das retenções de água, promovendo diminuições da propriedade quando utilizou o IAR 10. Quanto aos resultados das resistências de aderências, promoveram diminuições da propriedade quando incrementou ar incorporados associados ao AEH95.

Assim, como na etapa 01, a etapa 02, os resultados dos teores de ar incorporados foram semelhantes e se mostraram condicionados pelos incrementos do IAR, porém não foram influenciados pelo parâmetro E.

A utilização dos IAR facilita a produção das argamassas, sendo que a consistência final é inferior em função do aumento do teor do aditivo (ROMANO, 2013). O mesmo autor, em seus estudos, verificou que o IAR afeta o espalhamento das argamassas, apresentando um menor deslocamento devido um maior atrito entre os grãos e descontinuidade granulométrica dos agregados.

No caso das argamassas estabilizadas, presentes neste estudo, não ocorreram prejuízos as propriedades mecânicas, por conta da utilização do IAR, uma vez que o emprego do aditivo promoveu as reduções do teor de água. Conforme Alves (2002), a maioria dos trabalhos sobre aditivos incorporadores de ar coloca que haverá diminuição das resistências mecânicas com a inserção de microbolhas de ar na matriz cimentícia, caso não haja uma redução de água.

Conforme Salomão (2016), essa redução do coeficiente de capilaridade, devido a utilização do IAR, se deve ao fato do aditivo reduzir a necessidade de água na mistura e por formar bolhas que interrompem o transporte de água capilar.

➤ **Quanto ao AEH:**

Obviamente, a depender de seu teor utilizado, promovem um tempo superior de utilização das argamassas. Contudo, quando isolado não influencia no teor de ar incorporado, porém quando associado ao IAR, potencializa os resultados da propriedade.

O emprego isolado do AEH reduziu a resistências à tração na flexão e à compressão, conforme seu incremento. Quando se utilizou o AEH 95 associado ao IAR, as faixas de resultados tenderam a uma menor variação dos valores das resistências à compressão, independentes do parâmetro E.

A série 95/20, estudada na etapa 02, apesar de apresentar o melhor resultado para a retenção de água e variação dimensional, indicou a redução da resistência de aderência à tração, de forma que quando se utilizou o AEH 95 associado ao IAR, apresentou o menor resultado comparativamente às séries 40/10 e 40/20.

O AEH quando isolado aumentou a absorção capilar conforme seu incremento na produção das argamassas. Contudo, quando associado ao IAR, conforme o incremento dos aditivos, menores foram os coeficientes de capilaridade.

Em relação ao aditivo estabilizador, Keller e Lovato (2016) comentaram que as misturas com teores de AEH90 apresentaram comportamento inferior quando comparada as misturas com menores teores, ou seja, a absorção de água foi mais elevada. Tal afirmação fortalece os resultados da presente pesquisa, uma vez que as argamassas preparadas com AEH individualmente, apresentaram coeficientes de capilaridade superiores quando comparadas as produzidas somente com o IAR e com os aditivos associados.

O aditivo incorporador de ar, além de diminuir as tensões superficiais, obtura os poros capilares, diminuindo a retração plástica e tornando as argamassas menos permeáveis e (RESENDE, 2010).

➤ Resistências à tração na flexão e à compressão

Quanto às resistências à tração na flexão e à compressão, os principais pontos observados foram:

- O parâmetro E mostrou uma forte influência para as resistências à compressão;
- O AEH isolado prejudicou as resistências mecânicas, quando se incrementou seu teor;
- O IAR contribuiu para os aumentos das resistências mecânicas, quando reduziu o teor de água.
- Os aditivos associados das séries 40/60; 40/100 e 95/60, na etapa 01, apresentam uma menor variação de valores quanto às resistências mecânicas, independentes do parâmetro E.

Na etapa 02, as resistências à tração na flexão e à compressão mostraram que as séries com os superiores teores de AEH (95/20) contribuíram para uma menor variação da faixa de valores das resistências, independentes do parâmetro E, assim como as séries 40/60, 40/100 e 95/60 na etapa 01.

Já as séries 40/20 apresentaram maiores resistências mecânicas quando comparadas as séries 40/10 e 95/20, mostrando que a superior proporção do AEH reduz as propriedades mecânicas. A tabela 4.35 mostra os resultados obtidos para as variáveis dependentes da etapa 02.

Tabela 4.35 – Resumo dos resultados obtidos para etapa 02.

Objetivo: investigar os comportamentos das argamassas e verificar os requisitos exigenciais para os sistema de revestimento. As séries dos aditivos associados se deu a partir da dosagem, realizada para selecionar grupos de argamassas, que possibilitassem estudar diferentes teores dos aditivos com vista a obter comportamentos específicos, tais como o tempo de estabilização, estudar associações de formulação de modo a investigar quais as respostas nas propriedades de interesse das argamassas.	
Variáveis independentes: Parâmetro E e Aditivos associados	
Condições fixas: Penetração de cone inicial (65 ± 5 mm) e tensão limite de escoamento	
Variáveis dependentes	Resultados
Teor de ar incorporado	<ul style="list-style-type: none">• Teor de ar incorporado é dependente do teor de IAR:<ul style="list-style-type: none">○ > % ar - aditivos associados;○ > redução de água;• Os teores de ar incorporados não sofreram influências do parâmetro E.

Continuação tabela 4.35 – Resumo dos resultados obtidos para etapa 02.

Variáveis dependentes	Resultados
Retenção de água	<ul style="list-style-type: none">• As retenções de água, das séries de argamassas estudadas ocorreram conforme as faixas de ar incorporados, indicando uma relação direta entre as propriedades, porém não prejudicaram as propriedades de aderência.
Resistências à tração na flexão e à compressão	<ul style="list-style-type: none">• O parâmetro E mostrou a maior influência para os resultados das resistências à compressão;• As séries 40/20 apresentaram superiores resistências mecânicas quando comparadas as séries 40/10 e 95/20, mostrando que a superior proporção do AEH reduz as propriedades mecânicas.• O IAR contribuiu para os aumentos das resistências mecânicas, quando reduziu o teor de água.• Os aditivos associados (as séries 95/20) apresentam valores próximos quanto as resistências mecânicas, independentes do parâmetro E.
Módulo de elasticidade dinâmico	<ul style="list-style-type: none">• Dependentes do parâmetro E, e da relação água/cimento.
Resistência Potencial de aderência à tração	<ul style="list-style-type: none">• Dependentes do parâmetro E;• As séries 40/10 apresentaram superiores aderências, quando comparadas as séries 40/10 e 95/20, uma vez que apresentaram inferiores teores de ar incorporados. Contudo, os resultados mostraram-se superiores a 0,30 MPa.
Variação dimensional	<ul style="list-style-type: none">• Dependentes do parâmetro E;• As séries 95/20 apresentaram inferiores variações dimensionais, todavia incorporaram superiores quantidades de ar. Contudo, vale enfatizar que o tempo requerido para desforma, destas argamassas, foi superior a 48 horas, o que possivelmente influenciou nos resultados obtidos.
Susceptibilidade à fissuração	<ul style="list-style-type: none">• As séries apresentaram média susceptibilidade à fissuração.
Coefficiente de capilaridade	<ul style="list-style-type: none">• Dependentes do parâmetro E;• Os aditivos associados contribuíram para os inferiores coeficientes de capilaridade.
Absorção de água por imersão	<ul style="list-style-type: none">• Dependentes do parâmetro E;• Os aditivos associados contribuíram para as inferiores absorções de água.

➤ **Retenção de água:**

A retenção de água sofre influência do teor de finos. O aumento do teor de finos não só aumenta a área de contato das partículas sólidas com a água, como também diminui os espaços a serem percorridos pela água, dificultando sua remoção (BASTOS, 2001). Uma

argamassa com retenção de água adequada proporcionará consistência e plasticidade capazes de diminuir falhas de contato entre a argamassa e o substrato, o que possivelmente promoverá uma resistência de aderência aceitável (Do Ó, 2004).

Do Ó (2004) verificou que a presença de bolhas de ar oriundas dos tensoativos incorporadores de ar nas argamassas, não influenciaram positivamente na capacidade de retenção de água dessas. Todavia, Silva (2011) verificou que as argamassas produzidas com aditivo incorporador de ar apresentaram retenção de água proporcional ao teor de ar incorporado, inclusive com redução de consumo de aglomerantes, o que concordou com os resultados observados nesta pesquisa.

As retenções de água, das séries de argamassas estudadas neste trabalho ocorreram conforme as faixas de ar incorporados, indicando uma relação direta entre as propriedades. Os valores encontrados ocorreram inferiores a 75% e não prejudicaram as propriedades de aderência. As séries 40/10 apresentaram os menores valores de retenção de água, variando de 51 a 56%, contudo os resultados de aderência variaram de 0,85 a 1,0 MPa.

Quanto à comparação de resultados com outros estudos sobre as argamassas estabilizadas destaca-se os estudos de Jantsch (2015) que obteve valores de 88,44% % para 36 horas e 94,70% para 72 horas, ou seja valores altos para esta propriedade. Casali *et al* (2011) verificaram que quanto maior o tempo de utilização da argamassa inferior será o valor de retenção de água obtido. Contudo, estes autores não informaram as formulações empregadas para os dados obtidos.

➤ **Módulo de elasticidade dinâmico**

Uma importante propriedade avaliada na etapa 02, tratou do módulo de elasticidade que condiciona outras propriedades, além de ser um indicador bastante utilizado para os estudos das susceptibilidades à fissuração. Seus resultados mostraram-se dependentes do parâmetro E, e da relação água/cimento, bem como compatíveis com as resistências à compressão e à tração na flexão.

Quanto a comparação de resultados com outros estudos sobre as argamassas estabilizadas destaca-se Neves Jr. (2005) que realizou ensaios de módulo de elasticidade dinâmico, utilizando o mesmo tipo de equipamento e método de ensaios por frequência ressonante e

seus resultados variaram de 8,0 a 11,6 GPa para argamassas de cimento e areia (1:6) e 7,0 a 8,6 GPa para argamassas mistas (1:1:6). Macioski, Costa e Casali (2015) encontraram os valores do módulo de elasticidade dinâmico, por propagação de ondas, para as argamassas estabilizadas que variaram entre 8,8 e 15,38 GPa.

Monte *et al* (2007) compararam os resultados do módulo de elasticidade dinâmico, conforme os métodos de ensaios por frequência ressonante e propagação de onda ultrassônica, em seis tipos diferentes de argamassas e os valores foram muito próximos entre as séries estudadas, variaram nas faixas de 5,1 a 10, 5 GPa pelo método da frequência ressonante e de 4,4 a 10, 4 GPa pelo método de propagação de onda.

Araújo Jr. (2004) realizou ensaios de módulos de elasticidades por várias metodologias e verificou que os valores obtidos para o módulo dinâmico foram os maiores encontrados, não apresentando correspondência direta com o comportamento dos módulos obtidos através de ensaios mecânicos clássicos. O mesmo autor encontrou os inferiores valores para o módulo corda na flexão.

➤ **Resistência Potencial de aderência à tração**

Quanto aos resultados da resistência potencial de aderência à tração, estes se mostraram também dependentes do parâmetro E. As séries 40/10 apresentaram as maiores aderências, quando comparadas as séries 40/20 e 95/20, uma vez que estas últimas apresentaram os maiores teores de ar incorporados. Contudo, as séries 40/10 apresentaram as menores retenções de água e menores teores de ar incorporados e não prejudicaram as propriedades de aderência.

Neste sentido, Rodrigues Filho (2013) comenta que a possível redução na resistência de aderência encontrada em argamassas, motivada pelo ar incorporado, é atribuída à diminuição da superfície de contato entre a argamassa e o substrato após a incorporação de certa quantidade de ar.

Gonçalves (2004) comenta que em relação ao tipo de ruptura ocorrido, tanto o fato de romper na interface de ligação (aderência pura) ou no interior dos materiais (falha de estruturação interna), representam fraturas no sistema de revestimento. No caso das argamassas estudadas, no geral romperam na superfície indicando falha de estruturação.

Quanto a comparação de resultados com outros estudos sobre as argamassas estabilizadas destaca-se Trevisol (2015), que em sua pesquisa, constatou valores de resistência potencial de aderência à tração compreendidos entre 0,46 a 0,40 Mpa.

Nos estudos de Jantsch (2015), os valores obtidos para esta propriedades para argamassas estabilizadas foram de 0,35 para 36 horas e 0,09 para 72 horas, de forma que o último tempo não atenderia a ABNT NBR 13749:2013. Contudo, estes autores não correlacionaram seus resultados as formulações utilizadas nas fabricações das argamassas.

➤ **Variação dimensional:**

Os resultados dos ensaios de variação dimensional demonstraram dependentes do parâmetro E. As séries 95/20 apresentaram inferiores variações dimensionais, todavia incorporaram uma maior quantidade ar. Contudo, vale enfatizar que o tempo requerido para desforma, destas argamassas, foi superior a 48 horas, o que poderia influenciar nos resultados obtidos.

Trevisol (2015) obteve em seus estudos, retração de -0,318 mm/m, resultado 30% inferior ao da argamassa produzida em betoneira, que foi a argamassa que mais retraiu, com -0,445 mm/m. No caso das industrializadas, o autor encontrou resultados de 11% e 28% superiores em relação as estabilizadas. Contudo, o autor não correlacionou seus resultados as formulações utilizadas nas fabricações das argamassas.

➤ **Susceptibilidade à fissuração**

No geral, as argamassas demonstraram média susceptibilidade à fissuração quando avaliadas pelo método do CSTB (1993). Este método baseia-se no princípio de que a tendência à fissuração aumenta quanto maior for a retração e o módulo de elasticidade, e maior será a resistência de tração induzida, e quanto maior for a resistência à tração, maior será a capacidade do revestimento se deformar sem fissurar (SILVA, 2011).

As séries 40/10 apresentaram os menores módulos de elasticidade e menores susceptibilidades a fissuração, conforme os critérios do CSTB. No entanto, as argamassas 95/20 mostraram-se de alta susceptibilidade à fissuração quando avaliadas pelo critério da

relação módulo de elasticidade/ resistência à tração na flexão, além de elevarem os resultados dos módulos de elasticidade.

Silva (2011) relata que é comum atribuírem a fissuração ao elevado módulo de elasticidade da argamassa, uma vez que a retração da argamassa pode ser atribuída ao elevado módulo de elasticidade. No entanto, as séries estudadas não indicaram correlações entre as duas propriedades, ou seja, apesar da série 95/20 apresentar baixa retração, seu módulo de elasticidade não reduziu de forma relevante.

➤ **Coefficientes de capilaridade e absorção de água por imersão**

Estas propriedades mostraram-se fortemente influenciadas pelo parâmetro E, além dos efeitos dos aditivos associados que promoveram uma relação direta com as reduções dos coeficientes de capilaridade e absorção de água por imersão, devido ao maior ar incorporado e conseqüentemente menor teor de água empregado na produção das argamassas.

Etapa 03 - manutenção das condições de aplicação das argamassas ao longo do tempo de estabilização

A etapa 03 teve como objetivo avaliar o processo de estabilização. Desta forma, a penetração de cone e a tensão limite de escoamento passaram de condição fixa para variável dependente tanto na condição sem a proteção da lâmina de água, quanto na condição de emprego da película de água. No caso das argamassas estabilizadas a manutenção da trabalhabilidade é melhorada com a utilização de uma película de água sobre a argamassa enquanto a mesma está armazenada, fator recomendado pelos fabricantes, porém *Casali et al* (2011) comentaram que essa prática não é realizada em obra, pois segundo os usuários, no dia seguinte a camada de água fica como uma “nata” e após remove-la a argamassa apresenta uma fluidez elevada. Tal fato foi observado para as séries 40/10 e 40/20, porém no dia seguinte as mesmas se encontraram-se endurecidas.

A tabela 4.36 mostra os resultados obtidos para as variáveis dependentes da etapa 03.

Tabela 4.36 – Resumo dos resultados obtidos para etapa 03.

Objetivo: avaliar o processo de estabilização. Desta forma, as argamassas foram monitoradas experimentalmente nos aspectos associados ao tempo de estabilização, investigando a consistência através dos ensaios de penetração de cone e a tensão limite de escoamento, em tempos de até 32 horas, comparando também, as argamassas em duas condições de armazenamento: proteção com lâmina de água e sem a aplicação da película de água.	
Variáveis independentes: Aditivos associados e Proteção da argamassa	
Condições fixas: Penetração de cone inicial (65±5mm), Parâmetro E6	
Variáveis dependentes	Resultados
Tempo de estabilização, Penetração de cone e tensão limite de escoamento	<ul style="list-style-type: none"> • O AEH 95, obviamente promoveu o maior tempo de estabilização, ou seja, as consistências foram mantidas por até 32 horas na condição de emprego da lâmina de água; • As séries 40/10 e 40/20, mesmo na condição de emprego da lâmina de água, com 24 horas encontraram-se endurecidas; • A proteção da argamassa com a lâmina de água não funcionou adequadamente para as séries com o teor AEH 40, uma vez que estas apresentaram elevaram a fluidez; • As argamassas produzidas com AEH40, não necessitariam de lâmina de água, conforme observações ao longo da pesquisa, pois conservavam a consistência e a plasticidade adequada a aplicação até 8 horas, nesta condição.
Teor de ar incorporado	<ul style="list-style-type: none"> • Teor de ar incorporado é dependente do teor de IAR: <ul style="list-style-type: none"> ○ > % ar - aditivos associados; ○ > redução de água; • Ao longo do tempo de estabilização, para a uma mesma série, não apresentaram variações significativas; • Quanto a utilização da lâmina de água ou correção das consistências através do acréscimo de água, os teores de ar não sofreram variações significativas.
Resistências à tração na flexão e à compressão	<ul style="list-style-type: none"> • Quando se empregou a lâmina de água nas séries 40/10 e 40/20 as resistências à tração na flexão e à compressão sofreram variações significativas nos tempos finais de estabilização, 6 e 8 horas respectivamente, • As séries 95/20 apresentaram problemas nas desmoldagens e perdas de amostras, quando se corrigiu a consistência, ou seja quando se acrescentou o teor de água, nos tempos de 4 e 8 horas, não possibilitando a aferição das resistências à tração na flexão e à compressão. Nos tempos de 12, 24 e 32 horas os valores não sofreram variações relevantes.

Casali *et al* (2011), no resultado de seus estudos, constataram que o valor de índice de consistência inicial diminuiu ao longo do tempo de utilização, com exceção para as argamassas que foram armazenadas com película de água.

Conforme os estudos de Keller e Lovato (2016), todas as argamassas produzidas somente com AEH, a consistência apresentou aumento após 24 horas decorridas do seu preparo, reduzindo-se posteriormente após 48 horas de seu preparo.

As argamassas produzidas com AEH40, não necessitariam de lâmina de água, conforme observações ao longo da pesquisa, pois conservavam a consistência e a plasticidade adequada a aplicação até 8 horas, nesta condição. As argamassas produzidas com AEH95 perderam a consistência de forma rápida a partir das 4 horas na condição sem lâmina de água.

Trevisol (2015), em seus estudos, relatou perdas de 20 mm em 48 horas para argamassas estabilizadas. As argamassas AEH40 (sem película de água) apresentaram perdas de aproximadamente 20 mm com teores de IAR 10 até 6 horas e até 8 horas para IAR 20, porém quando utilizaram a lâmina de água, apresentaram o aumento da fluidez.

Os teores de ar incorporados das argamassas estabilizadas, deste estudo demonstraram poucas variações. Macioski, Da Costa e Casali (2015), em seus estudos, verificaram valores de densidades de massa obtidos com um pequeno aumento em relação ao tempo de armazenamento, em 24 horas. Em relação ao teor de ar incorporado, em média, também houve uma pequena diminuição em relação ao tempo de armazenamento, conforme os mesmos autores.

Casali *et al* (2011) encontraram valores do teor de ar incorporado que apresentaram uma pequena redução ao longo do tempo ou se mantiveram, por 24 horas, muito elevado, em torno de 25% a 39%, devido a utilização de aditivos. Trevisol (2015) relatou teor de ar incorporado de 24,47% na produção das argamassas estabilizadas e com 48 horas; 18,53%. Nos estudos de Jantsch (2015), os valores obtidos para o teor de ar incorporado foram de 19,78 % para 36 horas e 21,49% para 72 horas. Vale salientar, que os autores estudados, não informaram as formulações das argamassas trabalhadas por eles.

Etapa 03 – Avaliação do processo de estabilização relacionado as resistências mecânicas

Nos estudos de Casali *et al* (2011), os inferiores valores de resistência à compressão foram para as argamassas estabilizadas com 72 horas em relação as argamassas de 36 horas, onde

para as segundas, de acordo com os autores, foi utilizada uma quantidade menor de aditivos e talvez este aditivo influencie na redução das resistências à compressão. Os valores encontrados por Macioski, Da Costa e Casali (2015) apresentaram variações de 1,0 a 3,8 MPa para as resistências à tração na flexão e 2,5 a 8,0 MPa para as resistências à compressão para argamassas de 36 e 72 horas.

Casali *et al* (2011) obtiveram maiores valores de resistências para as argamassas de 36 horas e para os lotes sem a colocação da película de água. Com relação ao processo de armazenamento, os autores sugerem a possibilidade do aumento da relação água/cimento em função da utilização da película de água. O que no caso das argamassas deste estudo ocorreu para as argamassas produzidas com o AEH 40.

Contudo, Keller e Lovato (2016), em seus estudos verificaram que as misturas feitas somente com AEH apresentaram um aumento na sua resistência ao longo do tempo de utilização. Uma possível causa, conforme as autoras, seria que nas misturas moldadas no primeiro dia o aditivo ainda estivesse bloqueando a hidratação de algumas partículas de cimento, requerendo mais estudos para verificação.

Jantsch (2015) verificou resultados dos ensaios no estado endurecido, que a argamassa de 36h é superior à argamassa de 72h nos quesitos de resistência, de aderência, de compressão, de tração na flexão e de absorção de água por capilaridade.

Para Casali *et al* (2011) os inferiores valores de resistência à compressão ocorrem para as argamassas estabilizadas com 72 horas em relação as argamassas de 36 horas, uma vez que em sua dosagem se utiliza uma quantidade maior de aditivos e talvez este aditivo influencie na resistência à compressão.

Esse fato também explica, conforme os autores, porque as produtoras de argamassas priorizam a utilização da argamassa de 36 horas deixando a argamassa de 72 horas apenas para casos especiais (finais de semana e feriados). Contudo, ressalta-se que os autores citados não informaram as formulações das argamassas estudadas.

A tabela 4.37 mostra os resultados obtidos para as variáveis dependentes da etapa 04 A.

Tabela 4.37 - Resumo dos resultados obtidos para etapa 04 A.

Objetivo: investigar a influência de curvas granulométricas nos comportamentos e propriedades das argamassas estabilizadas.	
Variáveis independentes: Granulometria das areias: fina e média	
Condições fixas: Penetração de cone inicial (65±5mm) e tensão limite de escoamento; Aditivos associados 40/20 e Parâmetro E6	
Variáveis dependentes	Resultados
Teor de ar incorporado	Valores próximos
Retenção de água	Valores próximos
Resistências à tração na flexão e à compressão	Valores próximos
Módulo de elasticidade dinâmico	Valores próximos
Resistência Potencial de aderência à tração	Valores próximos
Variação dimensional	Valores próximos
Susceptibilidade à fissuração	As séries apresentaram média susceptibilidade à fissuração.
Coefficiente de capilaridade e Absorção de água por imersão	Valores próximos.

A distribuição granulométrica e a área superficial específica resultantes na formulação influenciam na quantidade de água necessária para o amassamento sendo que, quanto maior a quantidade de partículas mais finas, maior é a necessidade de água para a mistura adquirir a mesma consistência (ROMANO, 2013). Desta forma, foi observado quando se utilizou a areia de granulometria mais fina.

Cabe ressaltar, a influência da granulometria dos agregados miúdos quando se trata da permeabilidade e estrutura porosa das argamassas, uma vez que a combinação das granulometrias dos agregados miúdos com os demais materiais constituintes das argamassas podem alterar o volume de poros nas argamassas (SALOMÃO, 2016).

Da mesma forma, as areias estudadas apresentaram comportamentos semelhantes, à medida que os resultados obtidos para os coeficientes de capilaridade e absorção de água por imersão foram praticamente iguais. Contudo, vale salientar que embora as areias mais finas provoquem uma diminuição nas dimensões dos poros das argamassas; as areias bem graduadas, de curva granulométrica contínua apresentam menores volumes de vazios, assim as duas areias contribuíram para valores de coeficientes de capilaridade semelhantes.

Para Salomão (2016), areias mais finas causam uma diminuição nas dimensões dos poros das argamassas. Em seus estudos, a autora comenta que ocorreu um acréscimo significativo da superfície específica dos poros indicando um aumento na quantidade de poros das argamassas dosadas com esses agregados. Os resultados de Araújo Jr. (2004) mostraram que quanto mais grossa a granulometria da areia, menor a quantidade de poros finos no interior da argamassa.

Tristão e Roman (1995) quando avaliaram a composição granulométrica na produção de argamassas de assentamento, verificaram que quanto menor o módulo de finura, melhores foram os desempenhos quanto a trabalhabilidade e retenção de água, o que de fato ficou comprovado com os resultados obtidos para a areia fina desta pesquisa, para ambas as propriedades.

Quanto a trabalhabilidade, numa avaliação visual e tátil, a areia média se apresentou áspera e consistência mais seca, o que fica confirmado pelos ensaios de penetração de cone e tensão de cisalhamento.

As propriedades no estado endurecido mostraram resultados com irrelevantes diferenças quando da comparação das granulometrias. Silva^b (2006) menciona que granulometria contínua e com o teor adequado de finos, gera um menor volume de vazios no agregado e desta forma menor será o volume de pasta, e por consequência, menor a retração. No entanto, um excesso no teor de finos irá aumentar o consumo de água de amassamento e, com isto, induzir a uma maior retração de secagem do revestimento. As variações dimensionais das séries estudadas não apresentaram diferenças relevantes para esta propriedade.

A tabela 4.38 mostra os resultados obtidos para as variáveis dependentes da etapa 04 B.

Tabela 4.38 - Resumo dos resultados obtidos para etapa 04 B.

Objetivo: traçar um paralelo entre dois sistemas de aditivos para argamassas estabilizadas observando pontos convergentes e divergentes no comportamento das argamassas de estudo.	
Variáveis independentes: Séries dos aditivos AD1 e AD2, Proteção da argamassa	
Condições fixas: Penetração de cone inicial (65±5mm), Tensão limite de escoamento; Parâmetro E6 e Aditivos associados 95/20	
Variáveis dependentes	Resultados
Tempo de estabilização, Penetração de cone e tensão limite de escoamento	<ul style="list-style-type: none"> • Comportamentos semelhantes
Teor de ar incorporado	<ul style="list-style-type: none"> • Comportamentos semelhantes. As séries não modificaram o teor de ar incorporados de forma significativa ao longo dos tempos de estabilização.
Resistências à tração na flexão e à compressão	<ul style="list-style-type: none"> • Comportamentos semelhantes • Com exceção, quando se utilizou o AD1 na produção das argamassas, ocorreu a perda das amostras nos tempos de 4 horas e 8 horas (na condição de correção de água); • Com exceção, quando se utilizou o AD2 na produção das argamassas, ocorreu uma variação de resultados, quando se comparou o tempo de 30 minutos com o tempo de 32 horas, 12 MPa e 6,7 MPa, respectivamente. Para os tempos 4, 8 e 12 horas, os valores foram praticamente iguais, variando de 9,5 a 9,6 MPa.

De maneira geral, os conjuntos AD1 e AD2 apresentaram comportamentos semelhantes quanto ao estado fresco e endurecido, uma vez que não promoveram grandes variações ao longo dos tempos de estabilização estudados.

Após a avaliação ao longo do programa experimental considera-se como a melhor alternativa a série 40/20 para tempos de estabilização até 8 horas e na condição de armazenamento sem lâmina de água. As séries 40/10 apresentaram exsudação e mostraram-se bastante influenciadas pela utilização da lâmina de água. As séries 95/20 obrigatoriamente devem ser armazenadas na condição da lâmina de água de forma a manter aplicável por até 32 horas.

5 CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões relacionados a esta dissertação, que teve como enfoque o estudo comportamental da formulação, dos requisitos e das propriedades das argamassas estabilizadas de revestimento. O programa experimental, dividido em quatro etapas, e os métodos permitiram conhecer comportamentos, bem como caracterizar as argamassas estabilizadas quanto aos requisitos e as propriedades. Quanto aos materiais selecionados, foi possível verificar a influência de cada um na variação dos resultados das propriedades das argamassas estudadas.

A Etapa 01 teve o objetivo de formular as argamassas. O parâmetro E permitiu associar a relação água/cimento as propriedades mecânicas e absorção capilar. Os traços mais pobres (menor teor do aglomerante) elevaram os coeficientes de capilaridade, bem como a absorção de água por imersão.

As variáveis independentes consideradas, quanto aos teores dos aditivos isolados e associados, facilitaram o conhecimento do que cada aditivo e suas proporções, impactam em termos das propriedades (variáveis dependentes) das argamassas estabilizadas. O AEH isolado não influenciou no teor de ar incorporado; reduziu as propriedades mecânicas à medida que ocorreu seu incremento; aumentou os coeficientes de capilaridade à medida que ocorreu seu incremento; prejudicou, também os coeficientes de capilaridade e a absorção de água, quando isolado; em particular para os seus teores máximos (AEH 150).

Já o IAR isolado elevou o teor de ar incorporado conforme o incremento do aditivo empregado na produção das argamassas. Ainda, este efeito foi potencializado quando associado ao AEH, reduzindo o teor de água. O incorporador de ar não prejudicou as resistências à compressão e à tração na flexão. O IAR quando associado ao AEH, reduziu os coeficientes de capilaridade à medida que ocorreu o incremento dos aditivos.

A Etapa 02, teve o objetivo de investigar os comportamentos das argamassas e verificar os requisitos exigenciais para os sistema de revestimento. As séries dos aditivos associados se deu a partir da dosagem, realizada para selecionar grupos de argamassas, que possibilitassem estudar diferentes teores dos aditivos com vista a obter comportamentos específicos, tais como o tempo de estabilização, estudar associações de formulação de modo a investigar quais as respostas nas propriedades de interesse das argamassas. Neste sentido, as três séries

de aditivos associados, resguardadas suas devidas proporções, mostraram suas influências nos resultados das variáveis dependentes.

A retenção de água baixa, das séries 40/10 por exemplo, não afetou a aderência. Contudo, as menores aderências ocorreram para as séries com o maior teor do aditivo estabilizador de hidratação (série 95/20). A variação dimensional é uma propriedade muito ligada ao teor de água, assim as séries 95/20 apresentaram os menores resultados para esta propriedade, uma vez que contribuíram para a redução do teor de água.

Os resultados do módulo de elasticidade foram compatíveis com as resistências à compressão e tração na flexão. Quanto a susceptibilidade à fissuração, no geral, as séries apresentaram média susceptibilidade à fissuração. Contudo, as séries 95/20 quando avaliada pela relação Módulo de elasticidade/Resistência à tração por flexão segmentaram as argamassas para a alta susceptibilidade à fissuração.

Ressalta-se que as demais séries também resultaram em valores próximos a 3500 para a relação Módulo de elasticidade/Resistência à tração por flexão, indicando que as argamassas deveriam elevar a resistência à tração na flexão.

A Etapa 03 teve o objetivo de estudar o processo de estabilização ao longo do tempo. As variáveis independentes foram consideradas quanto estudar diferentes teores dos aditivos, com vista a obter comportamentos específicos referentes ao tempo de estabilização. A segunda variável independente tratou da condição de armazenamento da argamassa, no que se refere a utilização ou não da lâmina de água. Neste sentido, as variáveis independentes escolhidas se mostraram adequadas para entendimento do processo de estabilização, além de indicar, conforme as proporções de cada aditivo, que tempo de estabilização é possível de ser obtido, além dos impactos nas demais variáveis dependentes. Neste contexto destaca-se que as séries 95/20 permitiram o maior tempo de estabilização, devido o teor alto do aditivo estabilizador.

A proteção da argamassa com a lâmina de água não funcionou adequadamente para as séries com o teor AEH 40, uma vez que estas elevaram a fluidez e reduziram as propriedades mecânicas nos tempos finais de estabilização obtidos para as mesmas até 8 horas. As séries 40/10 e 40/20, mesmo na condição de emprego da lâmina de água, com 24 horas

encontraram-se endurecidas. O teor de ar incorporado, ao longo do tempo de estabilização, não apresentou variação significativa.

Opina-se que as séries 40/20, na condição de armazenamento sem lâmina de água, são argamassas preferidas de emprego até o tempo de estabilização de 8 horas, por promoverem aumentos de produtividade, além de que os resultados obtidos deste estudo demonstraram que as argamassas mantiveram suas propriedades tanto no estado fresco quanto endurecido adequadas aos sistemas de revestimento ao longo do período de estabilização estudado. As séries 40/10 apresentam durante o período de estabilização exsudação, que foi aumentada com o emprego da lâmina de água.

Ainda, que as séries 95/20 mostraram-se adequadas, na condição de armazenamento com o emprego da lâmina de água, e mantiveram suas propriedades de forma satisfatória tanto no estado fresco, quanto endurecido por até 32 horas.

A Etapa 04, parte A, foi destinada aos estudos comparativos, das variáveis independentes, quanto a distribuição granulométrica de uma areia mais fina com uma areia média, ambas de granulometria contínua. Neste contexto, estas variáveis mostraram suas influências nas variáveis dependentes pesquisadas e se mostraram bastante semelhantes quanto aos resultados obtidos.

A Etapa 04 B, teve o intuito de verificar as influências, de cada produto ofertado no mercado, considerando como variáveis dependentes dois conjuntos distintos dos aditivos, que impactaram em comportamentos bastante semelhantes, ao longo do tempo de estabilização, nas argamassas estabilizadas. De maneira geral, os conjuntos AD1 e AD2 apresentaram comportamentos semelhantes quanto ao estado fresco e endurecido, uma vez que não promoveram grandes variações em seus resultados ao longo dos tempos de estabilização estudados. Com exceção, quando se utilizou o AD2 na produção das argamassas, ocorreu uma variação de resultados, quando se comparou o tempo de 30 minutos com o tempo de 32 horas, 12 MPa e 6,7 MPa, respectivamente. Para os tempos 4, 8 e 12 horas, os valores foram praticamente iguais, variando de 9,5 a 9,6 MPa.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em relação as pesquisas para trabalhos futuros propõem-se os seguintes aspectos:

- O aprofundamento do estudo das propriedades de Retenção de água ao longo do tempo de estabilização;
- Estudo da retenção de água em argamassas estabilizadas utilizando fíleres calcários;
- O aprofundamento do estudo quanto a susceptibilidade à fissuração em tempos maiores de estabilização;
- Estudo da Resistência Potencial de aderência à tração ao longo dos tempos de estabilização;
- Aplicar diferentes conjuntos de aditivos, de forma a confirmar os resultados encontrados para os aditivos da pesquisa;
- Estudar argamassas estabilizadas produzidas com areias britadas ou proveniente de resíduos;
- Estudos quanto a absorção de água por capilaridade e absorção de água por imersão das argamassas estabilizadas, a fim de verificar o volume e diâmetro médio dos poros por meio do ensaio de intrusão de mercúrio, pois poderão contribuir na compreensão da rede capilar de poros das argamassas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **C780**: Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry. ASTM Internacional, West Conshohocken, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM **D4648**. Standard Test Method for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil. EUA. 2013.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS - **ASTM c270**. Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. EUA 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - **ASTM c780**. Standard Test Method Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry. EUA. 2012.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS - ASTM **E1876**. Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration. EUA. 2009.

ARAÚJO JR., J.M. (2004). **Contribuição ao Estudo das propriedades Físico-Mecânicas das Argamassas de Revestimento**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 10908**: Aditivos para argamassa e concreto - Ensaio de caracterização. Rio de Janeiro, 2008.

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

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

____. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

____. **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, 2005.

____. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

____. **NBR 13280:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

____. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

____. **NBR 13529:** Classificação das argamassas para revestimentos de paredes e tetos, quanto ao fornecimento ou preparo. Rio de Janeiro, 2013.

____. **NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

____. **NBR 13755:** Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

____. **NBR 15258:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.

____. **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, 2005.

____. **NBR 15261:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

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

BAÍA, L.L.M; SABBATINI, F.H. **Projeto e Execução de Revestimento de Argamassa.** 4ª edição. Editora O Nome da Rosa, São Paulo, 2008.

BASTOS, P.K.X. **Retração e Desenvolvimento de Propriedades Mecânicas de Argamassas Mistas de Revestimento.** Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BAUER, E.; MOTA, N. M. B.; KRAUS, E.; PEREIRA, C. H. A. F. Rendering mortars consistency and its relationship with water demand and fine particles content. **e-mat - Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil**, v. 3, n. 2, p. 91–102, 2006.

BAUER, E. Relatório técnico: n.º **12120173.a**. Brasília, Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

BAUER, E. Relatório técnico: n.º **12120174.a** Brasília, Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

BAUER, E. Relatório técnico: n.º **12120175.a**. Brasília, Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

BAUER, R. Relatório técnico: n.º **14061002**. Brasília, Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

BAUER, E; REGUFFE, M.; NASCIMENTO, M.L. M; CALDAS, L.R. **Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento.** Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Porto Alegre, RS, 2015.

CARASEK, H. “**Argamassas**”. In: Isaias, G.C. (ed.). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*, São Paulo, IBRACON, pp. 892-944, 2010.

CARASEK, H.; ARAÚJO, R.C., CASCUDO, O.; ANGELIM, R. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Revista Matéria** Vol. 21. N.03 . ISSN 1517-7076 artigo 11739, pp.714-732, 2016.

CASALI, J. M.; MANN NETO, A.; ANDRADE, D. A.; ARRIAGADA, N. T. **Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para assentamento e revestimento.** In: IX Simpósio Brasileiro de Argamassas, 2011, Minas Gerais, 2011.

CARVALHO JR, A.N. **avaliação da aderência dos revestimentos Argamassados: uma contribuição à identificação Do sistema de aderência mecânico.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2005.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. **Certification CSTB desenduits monocouches d'imperméabilisation** – Cahier MERUC. Livraison 341, cahier 2669-3, juillet-août 1993. Paris.

CHEUNG, J.; JEKNAVORIAN, A.; ROBERTS, L.; SILVA, D. Impact of admixtures on the hydration kinetics of Portland cement. **Cement and Concrete Research.** 2011.

DAAKE, V., STEPHAN. Impact of retarders by controlled addition on the setting, early hydration and microstructural development of different cements. Article in **Magazine of Concrete Research**, 2016.

DO Ó, S. W. **Análise da retenção de água em argamassas de revestimento aditivadas.** Dissertação de Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

FLORES-COLEN, I. **Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva.** Tese de Doutorado. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

FLORES-COLEN, I.; BRITO, J.; FREITAS, V. Discussion of Criteria for Prioritization of Predictive Maintenance of Building Façades: Survey of 30 Experts. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 24, n. 4, p. 337–344, 2010.

GONÇALVES, A.E.N. **Estudo da influência dos factores de aplicação no desempenho de argamassas de revestimento recorrendo a técnicas de ensaio *in-situ*.** Dissertação de mestrado. Instituto Superior Técnico. Lisboa. Junho 2010.

GONÇALVES, S. R. C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – estudo de caso.** Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

JANTSCH, A.C.A. **Análise da Permeabilidade de Argamassas Estabilizadas Submetidas a Tratamento Superficial com Aditivos Cristalizantes.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

KELLER, H.A.; LOVATO, P;S. **Avaliação de propriedades de argamassas estabilizadas ao longo do tempo decorrido do seu preparo.** XVI Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído. São Paulo, 2016.

LEAL, FRANZ E. C. B. **Estudo do Desempenho do Chapisco como Procedimento de Preparação de Base em Sistemas de Revestimento.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

MACIOSKI, G; COSTA, M.M.C; CASALI, J.M. **Caracterização de argamassas estabilizadas submetidas à sucção de substrato poroso.** XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Porto Alegre, 2015.

MARTINS NETO, A.A.A. **Aspectos de Desempenho da Argamassa Dosada em Central.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1999. Boletim Técnico n. 235.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais** – 3ª edição. Ed.:IBRACON. ISBN.: 978-85-98576121. Português, p. 674, 2008.

MONTE, R; ALMEIDA, V; KUDO, E. K.; BARROS, M. M. S. B.; JOHN, V. M. Módulo de elasticidade dinâmico: comparação entre velocidade da onda ultrassônica e frequência ressonante. **Anais..** Recife: Ed Universitária da UFPE, 2007.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** (traduzido), 2ª. edição. Pini. São Paulo, 1997.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto.** (traduzido), 2ª. edição. Bookman, Porto Alegre, 2013.

NORMA PORTUGUESA NP EN998.1 **Especificação de argamassas para alvenarias – Parte 1 – argamassas para revestimentos externos e internos.** Instituto Português da Qualidade, Portugal, 2013.

OGBONNA, J. The Secondary Effects of Lignosulfonate Cement Retarder on Cement Slurry Properties. **Journal of Engineering and Applied Sciences.** VOL. 4, N° 9, November 2009 ISSN 1819-6608.

OLIVEIRA, R.P.; GASTALDINI, A.L.G; ANTES, L.H.; RUVIARO, A.S. **Influência do Teor de Finos do Agregado Reciclado na Fissuração e Resistência de Aderência à**

Tração das Argamassas de Revestimento. XI Simpósio Brasileiro de Tecnologias de Argamassas, Porto Alegre, 2015.

PAES, I.N.L.; ANDRADE, M.A.S.; ANGELIM, R.R.; HASPARIK, N.P.; OLIVEIRA, R.A; PASSOS, J.S.; THON, D.G; CARASEK, H. **O efeito de finos calcários nas propriedades da argamassa de revestimento.** III Simpósio Brasileiro de Tecnologias de Argamassas. Fls 335-347. Vitória, ES, 1999.

PAES, I. N. L. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação.** Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

PEREIRA, C. H. A. F. **Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa.** Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

RAMACHANDRAN V S *et al*, **Handbook of Thermal Analysis of Construction Materials**, Chapter 4, Noyes Publications, William Andrew Publishing, USA, 2002, fl. 162-169.

RAMOS, M.G.; GAIO, A. E.; CALÇADA, L.M.L; **Estudo da influência da dosagem no tempo de início de pega da argamassa estabilizada.** Seminário de Pesquisa e Extensão e Inovação do IFSC. Santa Catarina, 2013

RESENDE, P.S.O. **Efeito do Ar Incorporado em Argamassas de Revestimentos.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

RIXON, R.; MAILVAGANAM, N. **Chemical admixtures for concrete**, 3th Ed. E & FN Spon, Londres, 1999

RODRIGUES FILHO, H.E. **Avaliação dos Requisitos Normativos das Argamassas Industrializadas Associados a Critérios de Emprego e Utilização.** Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

ROMANO, C.R.O. **Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicados em construção civil.** Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ROMANO, C.R.O.; SCHREURS, H; SILVA, F.B.; CARDOSO, F.A; BARROS, M.M.S.B.; JOHN, V.M; PILEGGI, R.G. **Impacto do tipo de misturador e do tempo de mistura nas propriedades de argamassas industrializadas.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 109-118, out./dez. 2009.

SALOMÃO, M. C. F. (2016). **Estudo da estrutura das argamassas de revestimento e sua influência nas propriedades de transporte de água.** Tese de doutorado Universidade de Brasília, Brasília,2016.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo dos edifícios.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SILVA, A; SOARES, A; FLORES-COLEN, I; BRITO, J. Avaliação de propriedades mecânicas de argamassas de revestimento através do módulo de elasticidade dinâmico. Universidade Técnica de Lisboa, **PATORREB.** Lisboa. 2015.

SILVA, F.B; BARROS, M.M.S.B; MONTE, R. **Determinação do módulo de deformação de Argamassas: avaliação dos métodos de ensaio e Formatos de corpo-de-prova.** XII Encontro Nacional do Ambiente Construído. Fortaleza,2008.

SILVA^a, F. G. S. **Proposta de Metodologias Experimentais Auxiliares à Especificação e Controle das Propriedades Físico-Mecânicas dos Revestimentos em Argamassa.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVA^b, N.G. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, N. G; CAMPITELLI, V.C **Módulo de Elasticidade Dinâmico de Argamassa de Revestimento.** II Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais. 2008.

SILVA, N. G.; COLLODETTI, G.; PICHETTI, D. Z. C. M.; GLEIZE, P. H. P. Efeitos do ar incorporado nas propriedades do estado endurecido em argamassas de cimento e areia. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 51, Curitiba-PR. **Anais...** IBRACON, 2009, 14 p.

SILVA, N. G. **Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica.** Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SOUSA, J. G. G. Contribuição ao Estudo das Propriedades das Argamassas de Revestimento no Estado Fresco. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

TEMP, A.L. Avaliação de Revestimentos de Argamassa à Permeabilidade ao Vapor de Água. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

TRISTÃO, F.A.; ROMAN, H.R. Influência da Composição Granulométrica da Areia nas Propriedades Mecânicas das Argamassas. I Simpósio Brasileiro de Tecnologias das Argamassas, Goiânia, 1995.

TREVISOL JR., L.A. Estudo Comparativo entre as Argamassas: Estabilizada Dosada em Central, Industrializada e Produzida em Obra por meio de Ensaio Físicos nos Estados Fresco e Endurecido. Dissertação de Mestrado, Instituto de Tecnologia para para Desenvolvimento (Institutos Lactec), Curitiba, 2015.

VEIGA, M. R. Comportamento de argamassas de revestimentos de paredes: Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação. Tese de doutorado, Universidade do Porto, Portugal, 1998.

APÊNDICES

APÊNDICES ETAPA 01

Planilhas do teor de ar incorporados e densidade de massa no estado fresco

Planilha A1 – Teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco – Série E4,5 sem aditivos

massa específica (g/cm ³)	cone	massa da amostra + recipiente (g)	massa recipiente (g)	volume (cm ³)	densidade (g/cm ³)	dt	teor de ar incorporado (%)	Espalhamento
2,70								
	67	1261,42	450,94	399,04	2,03	2,13	5%	
	63	1260,1	449,31	396,87	2,04	2,13	4%	
	55	1269,28	450,94	399,04	2,05	2,13	4%	
	58	1262,61	449,31	396,87	2,05	2,13	4%	280
	52	1271,12	450,94	399,04	2,06	2,13	3%	282
	54	1254,69	449,31	396,87	2,03	2,13	5%	289
					2,04		4%	284

Planilha A2 – Teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco – Série E4,5 40/10; 40/20 e 95/20

	massa específica (g/cm ³)	cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm ³)	densidade (g/cm ³)	dt	teor de ar incorporado (%)	Espalhamento
E4,5 40/10	2,70								
		63	1203,58	449,31	396,87	1,90	2,19	13%	
		64	1213,05	450,94	399,04	1,91	2,19	13%	
		53	1220,08	450,94	399,04	1,93	2,19	12%	
		56	1214,42	449,31	396,87	1,93	2,19	12%	253
		54	1226,42	450,94	399,04	1,94	2,19	11%	251
		49	1217,48	449,31	396,87	1,94	2,19	11%	252
						1,93		12%	252
E4,5 40/20									
		65	1176,22	455,25	395,48	1,82	2,22	18%	
		62	1171,83	449,31	396,87	1,82	2,22	18%	
		56	1189,64	450,94	399,04	1,85	2,22	17%	
		53	1185,66	449,31	396,87	1,86	2,22	16%	244
		54	1198,58	450,94	399,04	1,87	2,22	16%	239
		54	1193,01	449,31	396,87	1,87	2,22	16%	237
						1,85		17%	240
E4,5 95/20									
		65	1135,99	455,25	395,48	1,72	2,25	23%	
		60	1144,5	450,94	399,04	1,74	2,25	23%	
		49	1162,44	450,94	399,04	1,78	2,25	21%	
		50	1160,36	449,31	396,87	1,79	2,25	20%	220
		45	1180,56	450,94	399,04	1,83	2,25	19%	217
		46	1175,84	449,31	396,87	1,83	2,25	19%	219
						1,78		21%	219

Planilha A3 – Teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco – Série E6 sem aditivos, AEH e IAR isolados

	Massa específica (g/cm³)	cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm³)	densidade (g/cm³)	dt	teor de ar incorporado (%)	Espalhamento
sem aditivos	2,64								
		64	1235,8	449,31	396,87	1,98	2,08	5%	
		62	1250,8	450,94	399,04	2,00	2,08	4%	
		55	1251,3	450,94	399,04	2,01	2,08	4%	
		57	1241,2	449,31	396,87	2,00	2,08	4%	303
		54	1246,5	450,94	399,04	1,99	2,08	5%	302
		54	1239,8	449,31	396,87	1,99	2,08	5%	304
						2,00		5%	303
AEH 30									
		64	1245,04	449,31	396,87	2,01	2,10	4%	
		62	1257,1	455,25	395,48	2,03	2,10	3%	
		58	1247,04	450,94	399,04	2,00	2,10	5%	
		56	1240,55	449,31	396,87	1,99	2,10	5%	283
		53	1249,95	450,94	399,04	2,00	2,10	5%	285
		54	1244,28	449,31	396,87	2,00	2,10	5%	284
						2,01		5%	284
AEH40									
		63	1246,62	449,31	396,87	2,01	2,08	3%	
		61	1248,68	455,25	395,48	2,01	2,08	3%	
		60	1252,66	450,94	399,04	2,01	2,08	3%	
		62	1246,75	449,31	396,87	2,01	2,08	3%	313
		62	1244,76	449,31	396,87	2,00	2,08	4%	315
		60	1246,69	450,94	399,04	1,99	2,08	4%	310
						2,01		3%	313
AEH70									
		63	1246,69	449,31	396,87	2,01	2,11	5%	
		63	1258,39	455,25	395,48	2,03	2,11	4%	
		56	1254,22	450,94	399,04	2,01	2,11	5%	
		52	1253,27	449,31	396,87	2,03	2,11	4%	277
		47	1250,58	450,94	399,04	2,00	2,11	5%	290
		46	1245,23	449,31	396,87	2,01	2,11	5%	275
						2,02		5%	281
AEH95									
		64	1264,11	450,94	399,04	2,04	2,08	2%	
		64	1264,58	449,31	396,87	2,05	2,08	1%	
		62	1254,68	450,94	399,04	2,01	2,08	3%	
		59	1246,5	449,31	396,87	2,01	2,08	3%	310
		58	1246,99	455,25	395,48	2,00	2,08	4%	318
		60	1241,08	449,31	396,87	2,00	2,08	4%	318
						2,02		3%	315
AEH150									
		60	1258,07	450,94	399,04	2,02	2,08	3%	
		62	1249,65	455,25	395,48	2,01	2,08	3%	
		57	1249,07	450,94	399,04	2,00	2,08	4%	
		59	1243,03	449,31	396,87	2,00	2,08	4%	301
		56	1249,68	450,94	399,04	2,00	2,08	4%	294
		58	1243,89	449,31	396,87	2,00	2,08	4%	299
						2,01		4%	298
IAR20									
		65	1177,93	450,94	399,04	1,82	2,14	15%	
		62	1171,62	449,31	396,87	1,82	2,14	15%	
		56	1190,4	455,25	395,48	1,86	2,14	13%	
		55	1194,89	450,94	399,04	1,86	2,14	13%	270
		53	1186,74	455,25	395,48	1,85	2,14	14%	272
		53	1196,99	449,31	396,87	1,88	2,14	12%	275
						1,85		14%	272
IAR60									
		65	1111,96	450,94	399,04	1,66	2,18	24%	
		64	1110,48	450,94	399,04	1,65	2,18	24%	
		57	1141,09	450,94	399,04	1,73	2,18	21%	
		56	1136,47	449,31	396,87	1,73	2,18	21%	260
		54	1152,6	450,94	399,04	1,76	2,18	19%	250
		55	1154,56	455,25	395,48	1,77	2,18	19%	254
						1,72		21%	255
IAR100									
		63	1089,88	450,94	399,04	1,60	2,20	27%	
		65	1099,27	455,25	395,48	1,63	2,20	26%	
		59	1115,08	450,94	399,04	1,66	2,20	25%	
		59	1112,08	449,31	396,87	1,67	2,20	24%	237
		55	1137,51	450,94	399,04	1,72	2,20	22%	243
		54	1134,17	449,31	396,87	1,73	2,20	21%	242
						1,67		24%	241

Planilha A4 – Teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco – Série E6 AEH e IAR associados

	Massa específica (g/cm³)	cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm³)	densidade (g/cm³)	dt	teor de ar incorporado (%)	Espalhamento
E6 40/10	2,64								
		66	1201,18	455,25	395,48	1,89	2,14	12%	
		63	1193,33	450,94	399,04	1,86	2,14	13%	
		56	1201,18	450,94	399,04	1,88	2,14	12%	
		55	1199,51	449,31	396,87	1,89	2,14	12%	266
		53	1208,86	450,94	399,04	1,90	2,14	11%	263
		51	1202,37	449,31	396,87	1,90	2,14	11%	267
						1,89		12%	265
E6 40/20									
		65	1151,58	450,94	399,04	1,76	2,16	18%	
		65	1146,41	449,31	396,87	1,76	2,16	18%	
		55	1161,86	450,94	399,04	1,78	2,16	18%	
		56	1175,76	449,31	396,87	1,83	2,16	15%	260
		54	1180,38	450,94	399,04	1,83	2,16	15%	255
		54	1174,71	449,31	396,87	1,83	2,16	15%	260
						1,80		17%	258
E6 40/60									
		65	1099,89	450,94	399,04	1,63	2,22	27%	
		65	1090,2	449,31	396,87	1,61	2,22	27%	
		60	1115,82	450,94	399,04	1,67	2,22	25%	
		56	1107,63	449,31	396,87	1,66	2,22	25%	246
		46	1129,29	450,94	399,04	1,70	2,22	23%	244
		47	1134,71	449,31	396,87	1,73	2,22	22%	243
						1,67		25%	244
E6 40/100									
		64	1065,73	455,25	395,48	1,54	2,23	31%	
		65	1066,49	450,94	399,04	1,54	2,23	31%	
		57	1071,52	455,25	395,48	1,56	2,23	30%	
		55	1076,04	450,94	399,04	1,57	2,23	30%	232
		53	1107,62	455,25	395,48	1,65	2,23	26%	232
		54	1105,59	449,31	396,87	1,65	2,23	26%	231
						1,59		29%	232
E6 95/20									
		63	1127,52	450,94	399,04	1,70	2,19	22%	
		65	1123,19	449,31	396,87	1,70	2,19	22%	
		53	1147,87	450,94	399,04	1,75	2,19	20%	
		50	1154,66	450,94	399,04	1,76	2,19	19%	235
		46	1170,4	450,94	399,04	1,80	2,19	18%	233
		50	1165,94	449,31	396,87	1,81	2,19	17%	233
						1,75		20%	234
E6 95/60									
		63	1054,08	450,94	399,04	1,51	2,25	33%	
		64	1045,88	449,31	396,87	1,50	2,25	33%	
		51	1096,76	450,94	399,04	1,62	2,25	28%	
		52	1092,73	449,31	396,87	1,62	2,25	28%	239
		47	1120,11	450,94	399,04	1,68	2,25	25%	230
		45	1124,48	449,31	396,87	1,70	2,25	24%	232
						1,61		29%	234

Planilha A5 – Teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco – Série E8 sem aditivos, AEH e IAR isolados

	Massa específica (g/cm³)	cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm³)	densidade (g/cm³)	dt	teor de ar incorporado (%)	Espalhamento
SEM ADITIVOS									
		62	1233,55	450,94	399,04	1,96	2,06	5%	
		63	1223,6	449,31	396,87	1,95	2,06	5%	
		60	1231,95	450,94	399,04	1,96	2,06	5%	
		56	1227,98	449,31	396,87	1,96	2,06	5%	301
		55	1238,18	450,94	399,04	1,97	2,06	4%	311
		49	1227,89	449,31	396,87	1,96	2,06	5%	304
						1,96		5%	305
AEH40									
		66	1233,26	450,94	399,04	1,96	2,09	6%	
		63	1240,64	455,25	395,48	1,99	2,09	5%	
		59	1241,43	450,94	399,04	1,98	2,09	5%	
		59	1236,96	449,31	396,87	1,98	2,09	5%	298
		48	1235,19	449,31	396,87	1,98	2,09	5%	303
		46	1229,86	450,94	399,04	1,95	2,09	6%	301
						1,97		5%	301
AEH95									
		65	1213,29	450,94	399,04	1,91	2,07	8%	
		63	1243,55	450,94	399,04	1,99	2,07	4%	
		56	1237,64	455,25	395,48	1,98	2,07	4%	
		56	1237,43	455,25	395,48	1,98	2,07	4%	319
		52	1243,29	450,94	399,04	1,99	2,07	4%	316
		56	1236,18	449,31	396,87	1,98	2,07	4%	311
						1,97		5%	315
AEH150									
		64	1241,76	449,31	396,87	2,00	2,10	5%	
		62	1253,17	455,25	395,48	2,02	2,10	4%	
		56	1245,04	455,25	395,48	2,00	2,10	5%	
		56	1238,02	455,25	395,48	1,98	2,10	6%	319
		53	1240,33	449,31	396,87	1,99	2,10	5%	298
		51	1229,1	450,94	399,04	1,95	2,10	7%	319
						1,99		5%	312
IAR20									
		65	1164,38	449,31	396,87	1,80	2,11	15%	
		63	1177,42	455,25	395,48	1,83	2,11	13%	
		56	1185,46	450,94	399,04	1,84	2,11	13%	
		55	1179,32	449,31	396,87	1,84	2,11	13%	274
		52	1187,59	450,94	399,04	1,85	2,11	12%	270
		55	1183,68	449,31	396,87	1,85	2,11	12%	275
						1,84		13%	273
IAR60									
		65	1106,72	449,31	396,87	1,66	2,17	24%	
		60	1119,11	450,94	399,04	1,67	2,17	23%	
		61	1128,35	455,25	395,48	1,70	2,17	22%	
		62	1127,59	450,94	399,04	1,70	2,17	22%	251
		53	1129,79	449,31	396,87	1,71	2,17	21%	252
		56	1136,56	450,94	399,04	1,72	2,17	21%	253
						1,69		22%	252
IAR100									
		63	1070,33	449,31	396,87	1,56	2,23	30%	
		64	1080,97	450,94	399,04	1,58	2,23	29%	
		53	1096,86	450,94	399,04	1,62	2,23	27%	
		51	1096,06	449,31	396,87	1,63	2,23	27%	214
		47	1117,66	450,94	399,04	1,67	2,23	25%	210
		44	1112,84	449,31	396,87	1,67	2,23	25%	214
						1,62		27%	213

Planilha A6 – Teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco – Série E8 AEH e IAR associados

	Massa específica (g/cm³)	cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm³)	densidade (g/cm³)	dt	teor de ar incorporado (%)	Espalhamneto
E8 30/10									
		65	1175,02	449,31	396,87	1,83	2,10	13%	
		64	1191,64	450,94	399,04	1,86	2,10	11%	
		55	1197,96	450,94	399,04	1,87	2,10	11%	
		59	1191,48	449,31	396,87	1,87	2,10	11%	247
		50	1205,74	450,94	399,04	1,89	2,10	10%	254
		56	1197,15	449,31	396,87	1,88	2,10	10%	260
						1,87		11%	254
E8 40/10									
		64	1184,67	449,31	396,87	1,85	2,11	12%	
		63	1189,61	450,94	399,04	1,85	2,11	12%	
		55	1197,74	450,94	399,04	1,87	2,11	11%	
		53	1193,03	449,31	396,87	1,87	2,11	11%	271
		56	1205,07	450,94	399,04	1,89	2,11	10%	275
		55	1198,82	449,31	396,87	1,89	2,11	10%	274
						1,87		11%	273
E8 40/20									
		64	1151,29	450,94	399,04	1,76	2,14	18%	
		65	1165,79	455,25	395,48	1,80	2,14	16%	
		54	1174,52	450,94	399,04	1,81	2,14	15%	
		52	1168,64	449,31	396,87	1,81	2,14	15%	248
		49	1184,96	450,94	399,04	1,84	2,14	14%	245
		50	1179,54	449,31	396,87	1,84	2,14	14%	245
						1,81		15%	246
E8 40/60									
		65	1076	455,25	395,48	1,57	2,23	30%	
		65	1086	449,31	396,87	1,60	2,23	28%	
		56	1104,47	450,94	399,04	1,64	2,23	26%	
		55	1106,65	455,25	395,48	1,65	2,23	26%	214
		49	1126,14	450,94	399,04	1,69	2,23	24%	210
		46	1125,08	455,25	395,48	1,69	2,23	24%	214
						1,64		26%	213
E8 40/100									
		64	1046,55	455,25	395,48	1,50	2,27	34%	
		63	1048,63	449,31	396,87	1,51	2,27	33%	
		48	1098,91	455,25	395,48	1,63	2,27	28%	
		42	1101,89	449,31	396,87	1,64	2,27	28%	184
		38	1126,86	450,94	399,04	1,69	2,27	25%	181
		32	1123,99	449,31	396,87	1,70	2,27	25%	184
						1,61		29%	183
E8 95/20									
		64	1136,34	450,94	399,04	1,72	2,15	20%	
		64	1152,98	455,25	395,48	1,76	2,15	18%	
		55	1165,84	450,94	399,04	1,79	2,15	17%	
		54	1162,72	449,31	396,87	1,80	2,15	16%	245
		48	1173,03	450,94	399,04	1,81	2,15	16%	242
		45	1170,9	449,31	396,87	1,82	2,15	15%	245
						1,78		17%	244
E8 95/60									
		65	1068,89	449,31	396,87	1,56	2,24	30%	
		63	1079,4	455,25	395,48	1,58	2,24	30%	
		55	1104,46	450,94	399,04	1,64	2,24	27%	
		52	1107,61	449,31	396,87	1,66	2,24	26%	201
		46	1129,68	450,94	399,04	1,70	2,24	24%	204
		44	1125,86	449,31	396,87	1,70	2,24	24%	204
						1,64		27%	203

RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO

Planilha A7 – Resistência à compressão – Série E4,5

PLANILHA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E 4,5

CARGA (N)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
S A					
27330	17,1		-0,5		0,1
29830	18,6	17,6	1,1	17,0	
27210	17,0		-0,6		0,0
40 10				NOVA MÉDIA	
29940	18,7		-0,4		
31080	19,4	19,1	0,3		
30700	19,2		0,1		
40 20				NOVA MÉDIA	
28790	18,0		-0,6		0,5
33240	20,8	18,6	2,2	17,5	
27330	17,1		-1,5		-0,4
95 20					
27240	17,0		0,5		
25670	16,0	16,5	-0,5		
26520	16,6		0,1		

Planilha A8 – Resistência à compressão – Série E6

PLANILHA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E6 - Etapa 01

CARGA (N)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
S A					
13530	8,5		0,0		
14040	8,8	8,5	0,3		
13210	8,3		-0,2		
AEH30				NOVA MÉDIA	
14420	9,0		-1,3		
17740	11,1	10,3	0,8	10,9	0,2
17080	10,7		0,4		-0,2
AEH40					
15170	9,5		0,1		
15480	9,7	9,4	0,3		
14580	9,1		-0,3		
AEH70					
13340	8,3		-0,4		0,0
15490	9,7	8,7	1,0	8,3	
13170	8,2		-0,5		-0,1
AEH95					
13160	8,2		-0,3		
14020	8,8	8,5	0,3		
13640	8,5		0,0		
AEH150					
1570	1,0		0,2		
980	0,6	0,8	-0,2		
1170	0,7		-0,1		
I20					
13570	8,5		-1,0		
15920	10,0	9,5	0,5	10,0	0,0
16030	10,0		0,5		0,0

Continuação Planilha A8 – Resistência à compressão – Série E6					
160					
14900	9,3		-0,5		-0,2
16620	10,4	9,8	0,6	9,5	
15480	9,7		-0,1		0,2
1100					
13730	8,6		-1,1		
16980	10,6	9,7	0,9	10,3	0,3
15790	9,9		0,2		-0,4
40 10				NOVA MÉDIA	
17570	11,0		0,9		1,3
16020	10,0	10,1	-0,1	9,7	0,3
14800	9,3		-0,8		-0,4
40 20					
13080	8,2		-1,1		-0,5
16970	10,6	9,3	1,3	8,7	
14510	9,1		-0,2		0,4
40 60					
13590	8,5		0,7		0,0
13560	8,5	7,8	0,7	8,5	0,0
10430	6,5		-1,3		
40 100					
13300	8,3		-0,4		-0,1
14810	9,3	8,7	0,6	8,4	
13670	8,5		-0,2		0,1
95 20					
20730	13,0		-0,1		
21380	13,4	13,1	0,3		
20770	13,0		-0,1		
95 60					
19110	11,9		-0,4		0,0
20780	13,0	12,3	0,7	11,9	
18970	11,9		-0,4		0,0

Planilha A9 – Resistência à compressão – Série E8

PLANILHA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E8

CARGA (N)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
S A					
7610	4,8		-0,1		
8390	5,2	4,9	0,3		
7610	4,8		-0,1		
AEH40					
7200	4,5		-0,4		
7890	4,9	4,9	-0,0		
8640	5,4		0,5		
AEH95					
6030	3,8		0,1		
5810	3,6	3,7	-0,1		
6100	3,8		0,1		
AEH150					
2720	1,7		-0,4		
3830	2,4	2,1	0,4		
I20					
5620	3,5		-1,1		
8270	5,2	4,6	0,6	5,1	0,1
7950	5,0		0,4		-0,1
I60					
7840	4,9		0,3		-0,2
5660	3,5	4,6	-1,1	5,1	
8430	5,3		0,7		0,2
I100					
8370	5,2		-0,6		
9450	5,9	5,8	0,1		
9920	6,2		0,4		

Continuação Planilha A9 – Resistência à compressão – Série E8					
30 10					
7760	4,9		0,2		-0,2
8910	5,6	5,2	0,9	5,1	
8290	5,2		0,5		0,1
40 10					
7380	4,6		-0,1		
7600	4,8	4,7	0,1		
7740	4,8		0,1		
40 20					
7170	4,5		-1,0		
9410	5,9	5,5	0,4	6,0	-0,1
9720	6,1		0,6		0,1
40 30					
8870	5,5		0,0		
8410	5,3	5,4	-0,2		
8610	5,4		-0,1		
40 60					
13490	8,4		-0,3		-0,0
14910	9,3	8,7	0,6	8,5	
13520	8,5		-0,2		0,1
40 100					
15280	9,6		0,1		0,5
16240	10,2	9,5	0,7	9,1	
13800	8,6		-0,9		-0,5
95 20					
11400	7,1		0,5		
10580	6,6	6,6	0,0		
9820	6,1		-0,5		
95 60					
16000	10,0		0,9		
14170	8,9	9,1	-0,2	8,7	0,3
13390	8,4		-0,7		-0,3

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Planilha A10 – Resistência à tração na flexão – Série E4,5

PLANILHA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E 4,5					
CARGA (N)	TF	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
S A					
1910	4,4		-0,1		
1890	4,3	4,5	-0,2		
2070	4,7		0,2		
40 10					
2340	5,4		0,8		
1780	4,1	4,6	-0,5	4,2	-0,1
1850	4,2		-0,4		0,0
40 20					
1950	4,5		-0,3		
2180	5,0	4,8	0,2		
2100	4,8		0,0		
95 20					
1490	3,4		0,6		0,0
690	1,6	2,8	-1,2	3,4	
1490	3,4		0,6		0,0

Planilha A11 – Resistência à tração na flexão – Série E6

PLANILHA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E 6 - Etapa 01					
CARGA (N)	TF	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
S A					
990	2,3		0,1		
880	2,0	2,2	-0,2		
940	2,2		0,0		
AEH30					
1170	2,7		-0,2		
1240	2,8	2,9	-0,1		
1420	3,2		0,3		
AEH40					
1040	2,4		-0,3		
1300	3,0	2,7	0,3		
1230	2,8		0,1		
AEH70					
1210	2,8		0,3		0,1
1090	2,5	2,5	0,0	2,7	-0,2
920	2,1		-0,4		
AEH95					
1310	3,0		0,1		
1280	2,9	2,9	0,0		
1230	2,8		-0,1		
AEH150					
210	0,5		0,1		
180	0,4	0,4	0,0		
170	0,4		0,0		
IAR20					
1160	2,7		0,1		
1000	2,3	2,6	-0,3		
1160	2,7		0,1		
IARGO					
1150	2,6		-0,1		
1190	2,7	2,7	0,0		
1270	2,9		0,2		
IAR100					
1250	2,9		-0,1		
1320	3,0	3,0	0,0		
1340	3,1		0,1		
40 10					
1220	2,8		0,4		
1000	2,3	2,4	-0,1	2,3	0,0
940	2,2		-0,2		0,0
40 20					
1090	2,5		-0,1		
1210	2,8	2,6	0,2		
1080	2,5		-0,1		
40 60					
1270	2,9		0,9		0,4
900	2,1	2,0	0,1	2,5	-0,4
460	1,1		-0,9		
40 100					
1290	3,0		0,1		
1300	3,0	2,9	0,1		
1210	2,8		-0,1		
95 20					
1260	2,9		-0,5		
1520	3,5	3,4	0,1	3,7	-0,2
1660	3,8		0,4		0,1
95 60					
1579	3,6		0,3		
1440	3,3	3,3	0,0		
1360	3,1		-0,2		

Planilha A12 – Resistência à tração na flexão – Série E8

PLANILHA RESISTÊNCIA À TRACÃO NA FLEXÃO E8- Etapa 01					
CARGA (N)	TF	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
S A					
580	1,3		0,0		
590	1,3	1,3	0,0		
570	1,3		0,0		
AEH40					
610	1,4		0,0		
650	1,5	1,4	0,1		
570	1,3		-0,1		
AEH95					
600	1,4		0,1		
550	1,3	1,3	0,0		
500	1,1		-0,1		
AEH150					
410	0,9		-0,2		
580	1,3	1,1	0,2		
IAR20					
510	1,2		-0,2		
690	1,6	1,4	0,2		
680	1,6		0,2		
IAR60					
590	1,3		-0,2		
590	1,3	1,5	-0,2		
740	1,7		0,2		
IAR100					
1020	2,3		0,3		0,1
710	1,6	2,0	-0,4	2,2	
870	2,0		0,0		-0,2
30 10					
590	1,3		-0,2		
700	1,6	1,5	0,1		
710	1,6		0,1		
40 10					
620	1,4		-0,1		
810	1,9	1,5	0,4		
590	1,3		-0,2		
40 20					
800	1,8		-0,1		
940	2,2	1,9	0,3		
810	1,9		0,0		
40 30					
630	1,4		-0,1		
630	1,4	1,5	-0,1		
720	1,6		0,1		
40 60					
1310	3,0		0,3		
1020	2,3	2,7	-0,4		
1190	2,7		0,0		
40 100					
1120	2,6		-0,1		
1310	3,0	2,7	0,3		
1110	2,5		-0,2		
95 20					
740	1,7		-0,1		
860	2,0	1,8	0,2		
770	1,8		0,0		
95 60					
1110	2,5		0,3		
1000	2,3	2,2	0,1		
840	1,9		-0,3		

Planilha A13 – Relação água/materiais secos

ARGAMASSAS	E			ÁGUA /MATERIAIS SECOS			A/C		
	4,5	6	8	4,5	6	8	4,5	6	8
SEM ADITIVOS	465,36	485,00	520,89	19%	19%	21%	1,02	1,36	1,87
AEH30		465,07		0%	19%	0%	-	1,30	-
AEH40		496,84	483,91	0%	20%	19%	-	1,39	1,74
AEH70		458,16		0%	18%	0%	-	1,28	-
AEH95		495,34	506,86	0%	20%	20%	-	1,39	1,82
AEH150		495,31	459,24	0%	20%	18%	-	1,39	1,65
I20		416,16	453,26	0%	17%	18%	-	1,17	1,63
I60		365,32	376,32	0%	15%	15%	-	1,02	1,35
I100		345,31	355,00	0%	14%	14%	-	0,97	1,28
30/10			465,41	0%	0%	19%	-	-	1,67
40/10	394,97	417,02	451,43	16%	17%	18%	0,87	1,17	1,62
40/20	364,44	394	415,60	15%	16%	17%	0,80	1,10	1,49
95/20	337,75	363,4	401,74	14%	15%	16%	0,74	1,02	1,45
40/30			413,62	0%	0%	17%	-	-	1,49
40/60		325,41	318,22	0%	13%	13%	-	0,91	1,14
95/60		294,18	303,91	0%	12%	12%	-	0,82	1,09
40/100		314,6	280,00	0%	13%	11%	-	0,88	1,01

COEFICIENTES DE CAPILARIDADE

Planilha A14 – Coeficientes de capilaridade – Série E4,5 sem aditivos

	CP	0	5	10	20	40	60	90	120
e 4,5SEM ADITIVOS	1	241,85	245,00	245,93	246,99	248,22	249,03	249,93	250,66
	2	246,06	248,96	249,76	250,68	251,77	252,51	253,25	253,91
	3	266,87	269,77	270,66	271,67	272,87	273,74	279,65	275,44
	média	251,59	254,58	255,45	256,45	257,62	258,43	260,94	260,00

RAIZ DO TEMPO (min)							
0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
0,00	0,20	0,26	0,32	0,40	0,45	0,51	0,55
0,00	0,18	0,23	0,29	0,36	0,40	0,45	0,49
0,00	0,18	0,24	0,30	0,38	0,43	0,80	0,54
0,00	0,19	0,24	0,30	0,38	0,43	0,58	0,53

Absorção por capilaridade		E 4,5	SEM ADITIVOS
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)			
CP	10 min		90 min
1	0,26		0,51
2	0,23		0,45
3	0,24		0,80
Média	0,24		0,58
CP	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})		
1	4,0		
2	3,5		
3	9,0*		
Média	3,7		
Desvio Relat _{Max}	6,8%		

Planilha A15 – Coeficientes de capilaridade – Série E4,5 40/10

	CP	0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 23		UR(%): 54%			
E4,5 40/10	1	230,34	231,61	232,19	232,73	233,34	233,75	234,21	235,58
	2	236,74	238,22	238,72	239,36	240,04	240,53	241,10	241,56
	3	218,92	220,33	220,88	221,53	222,25	222,75	223,30	223,71
	MÉDIA	228,67	230,05	230,60	231,21	231,88	232,34	232,87	233,62

RAIZ DO TEMPO (min)							
0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
0,00	0,08	0,12	0,15	0,19	0,21	0,24	0,33
0,00	0,09	0,12	0,16	0,21	0,24	0,27	0,30
0,00	0,09	0,12	0,16	0,21	0,24	0,27	0,30
0,00	0,09	0,12	0,16	0,20	0,23	0,26	0,31

Absorção por capilaridade		E4,5 40/10	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min	90 min	
1	0,12	0,24	
2	0,12	0,27	
3	0,12	0,27	
Média	0,12	0,26	
Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})			
CP			
1	2,0		
2	2,4		
3	2,4		
Média	2,3		
Desvio Relat _{Max}	11,1%		

Planilha A16 – Coeficientes de capilaridade – Série E4,5 40/20

	CP	0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 24,4		UR(%): 53%			
E4,5 40/20	1	245,44	246,36	246,73	247,21	247,76	248,16	248,60	248,97
	2	224,26	225,13	225,55	225,98	226,52	226,94	227,44	227,80
	3	225,17	226,15	226,57	227,04	227,56	227,95	228,46	228,81
	MÉDIA	231,62	232,55	232,95	233,41	233,95	234,35	234,83	235,19

RAIZ DO TEMPO (min)							
0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
0,00	0,06	0,08	0,11	0,15	0,17	0,20	0,22
0,00	0,05	0,08	0,11	0,14	0,17	0,20	0,22
0,00	0,06	0,09	0,12	0,15	0,17	0,21	0,23
0,00	0,06	0,08	0,11	0,15	0,17	0,20	0,22

Absorção por capilaridade		E4,5 40/20	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)			
CP	10 min	90 min	
1	0,08	0,20	
2	0,08	0,20	
3	0,09	0,21	
Média	0,08	0,20	
CP	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})		
1	1,9		
2	1,9		
3	1,9		
Média	1,9		
Desvio Relat _{Max}	0,7%		

Planilha A17 – Coeficientes de capilaridade – Série E4,5 95/20

	CP	0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 22		UR(%): 49%			
E 4,5 95/20	1	226,75	229,33	229,79	230,74	231,60	232,21	232,80	233,28
	2	257,06	259,37	259,81	260,60	261,30	261,80	262,25	262,62
	3	233,97	233,97	234,31	234,97	235,54	235,90	236,29	236,59

RAIZ DO TEMPO (min)							
0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
0,00	0,16	0,19	0,25	0,30	0,34	0,38	0,41
0,00	0,14	0,17	0,22	0,27	0,30	0,32	0,35
0,00	0,00	0,02	0,06	0,10	0,12	0,15	0,16
0,00	0,10	0,13	0,18	0,22	0,25	0,28	0,31

Absorção por capilaridade		E 4,5 95/20	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min	90 min	
1	0,19	0,38	
2	0,17	0,32	
3	0,02	0,15	
Média	0,13	0,28	
CP	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})		
1	3,0*		
2	2,4		
3	2,0		
Média	2,2		
Desvio Relat_{Max}	10,4%		

Planilha A18 – Coeficientes de capilaridade – Série E6 sem aditivos

	CP	0	5	10	20	40	60	90	120	IMERSO	24H ESTUFA
				TEMP(°C): 20		UR(%): 57%					
E6 SEM ADITIVOS	1	229,17	233,21	234,86	237,05	239,79	241,90	244,53	246,47		222,05
	2	217,94	222,01	223,60	225,77	228,42	230,29	232,85	234,62		210,31
	3	236,93	241,11	242,60	244,70	247,38	249,42	251,93	253,76		229,06
	MÉDIA	228,01	232,11	233,69	235,84	238,53	240,54	243,10	244,95		

	RAIZ DO TEMPO (min)								
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954	
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,25	0,36	0,49	0,66	0,80	0,96	1,08	
	0,00	0,25	0,35	0,49	0,65	0,77	0,93	1,04	
	0,00	0,26	0,35	0,49	0,65	0,78	0,94	1,05	
	0,00	0,26	0,35	0,49	0,66	0,78	0,94	1,06	

Absorção por capilaridade (ABNT NBR-15259:2005)		E 6SEM ADITIVOS	
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP		10 min	90 min
1		0,36	0,96
2		0,35	0,93
3		0,35	0,94
Média		0,35	0,94
Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})			
CP			
1			9,7
2			9,3
3			9,3
Média			9,4
Desvio Relat _{Max}			2,7%

Planilha A19 – Coeficientes de capilaridade – Série E6 AEH 40

		TEMPO (min)								
		CP	0	5	10	20	40	60	90	120
					TEMP(°C): 20		UR(%):	57%		
E6 AEH 40	1	240,55	244,06	245,40	247,01	248,90	250,35	252,06	253,38	
	2	238,41	242,16	243,41	244,93	246,40	247,65	249,16	250,27	
	3	250,88	254,86	256,20	257,83	259,75	261,29	263,01	264,44	

		RAIZ DO TEMPO (min)							
		0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,22	0,30	0,40	0,52	0,61	0,72	0,80	
	0,00	0,23	0,31	0,41	0,50	0,58	0,67	0,74	
	0,00	0,25	0,33	0,43	0,55	0,65	0,76	0,85	
	0,00	0,23	0,32	0,42	0,53	0,61	0,72	0,80	

Absorção por capilaridade		E6 AEH40	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min	90 min	
1	0,30	0,72	
2	0,31	0,67	
3	0,33	0,76	
Média	0,32	0,72	
Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})			
CP			
1	6,7		
2	5,8		
3	6,8		
Média	6,4		
Desvio Relat_{Max}	10,2%		

Planilha A20 – Coeficientes de capilaridade – Série E6 AEH 95

	CP	0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 20		UR(%):	57%		
E6 AEH 95	1	221,20	226,00	227,59	229,59	231,97	233,76	235,85	237,49
	2	224,43	228,50	229,76	231,29	233,30	234,65	236,25	237,48
	3	217,89	222,65	224,29	226,39	228,86	230,72	232,88	234,59

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,30	0,40	0,52	0,67	0,79	0,92	1,02
	0,00	0,25	0,33	0,43	0,55	0,64	0,74	0,82
	0,00	0,30	0,40	0,53	0,69	0,80	0,94	1,04
	0,00	0,28	0,38	0,49	0,64	0,74	0,86	0,96

Absorção por capilaridade		E6 AEH 95	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)			
CP	10 min	90 min	
1	0,40	0,92	
2	0,33	0,74	
3	0,40	0,94	
Média	0,38	0,86	
Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})			
1	8,3		
2	6,5		
3	8,6		
Média	7,8		
Desvio Relat _{Max}	16,6%		

Planilha A21 – Coeficientes de capilaridade – Série E6 AEH 150

	CP	0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 20		UR(%):	57%		
E6 AEH 150	1	245,20	249,21	252,61	257,19	263,15	267,85	272,25	272,53
	2	235,36	239,35	241,61	244,52	248,71	252,37	257,01	260,88
	3	198,71	208,89	213,53	219,17	222,69	222,77	222,77	222,77

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,25	0,46	0,75	1,12	1,42	1,69	1,71
	0,00	0,25	0,39	0,57	0,83	1,06	1,35	1,60
	0,00	0,64	0,93	1,28	1,50	1,50	1,50	1,50
	0,00	0,38	0,59	0,87	1,15	1,33	1,52	1,60

Absorção por capilaridade		E6 AEH 150	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)			
CP	10 min	90 min	
1	0,46	1,69	
2	0,39	1,35	
3	0,93	1,50	
Média	0,59	1,52	
Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})			
1	19,6		
2	15,4		
3	9,2*		
Média	17,5		
Desvio Relat _{Max}	12,1%		

Planilha A22 – Coeficientes de capilaridade – Série E6 IAR 20

	CP	0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 20		UR(%):	57%		
E6 IAR 20	1	251,50	254,45	255,64	256,94	258,48	259,62	260,83	261,82
	2	212,30	215,55	216,82	218,26	219,96	221,23	222,54	223,58
	3	234,69	237,93	239,13	240,47	242,10	243,28	244,58	245,63

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,18	0,26	0,34	0,44	0,51	0,58	0,65
	0,00	0,20	0,28	0,37	0,48	0,56	0,64	0,71
	0,00	0,20	0,28	0,36	0,46	0,54	0,62	0,68
	0,00	0,20	0,27	0,36	0,46	0,53	0,61	0,68

Absorção por capilaridade		E6 IAR 20	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min	90 min	
1	0,26	0,58	
2	0,28	0,64	
3	0,28	0,62	
Média	0,27	0,61	
Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})			
CP			
1	5,2		
2	5,7		
3	5,5		
Média	5,5		
Desvio Relat _{Max}	4,9%		

Planilha A23 – Coeficientes de capilaridade – Série E6 IAR 60

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 20			UR(%): 57%		
E6 IAR 60	1	233,68	235,63	236,37	237,13	238,03	238,69	239,42	239,97
	2	213,79	215,53	216,19	216,81	217,56	218,08	218,70	219,19
	3	202,84	205,07	205,77	206,47	207,26	207,84	208,52	209,04

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,12	0,17	0,22	0,27	0,31	0,36	0,39
	0,00	0,11	0,15	0,19	0,24	0,27	0,31	0,34
	0,00	0,14	0,18	0,23	0,28	0,31	0,36	0,39
	0,00	0,12	0,17	0,21	0,26	0,30	0,34	0,37

Absorção por capilaridade		E6 IAR 60	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)			
CP	10 min	90 min	
1	0,17	0,36	
2	0,15	0,31	
3	0,18	0,36	
Média	0,17	0,34	
Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})			
CP			
1	3,0		
2	2,5		
3	2,8		
Média	2,8		
Desvio Relat _{Max}	10,1%		

Planilha A24– Coeficientes de capilaridade – Série E6 IAR 100

	TEMPO (min)								
	CP	0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 20		UR(%): 57%			
E6 IAR 100	1	212,24	214,35	214,88	215,52	216,23	216,73	217,29	217,81
	2	211,29	213,12	213,68	214,25	214,89	215,38	215,94	216,47
	3	226,76	228,87	229,47	230,05	230,71	231,23	231,79	232,30

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,13	0,16	0,21	0,25	0,28	0,32	0,35
	0,00	0,11	0,15	0,19	0,23	0,26	0,29	0,32
	0,00	0,13	0,17	0,21	0,25	0,28	0,31	0,35
	0,00	0,13	0,16	0,20	0,24	0,27	0,31	0,34

Absorção por capilaridade		E6 IAR 100	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min	90 min	
1	0,16	0,32	
2	0,15	0,29	
3	0,17	0,31	
Média	0,16	0,31	
Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})			
CP			
1	2,4		
2	2,3		
3	2,3		
Média	2,3		
Desvio Relat _{Max}	3,4%		

Planilha A25– Coeficientes de capilaridade – Série E6 40/10

	CP	TEMPO (min)								
		0	5	10	20	40	60	90	120	
				TEMP(°C):	24,4	UR(%):		50%		
E6 40/10	1	235,01	237,94	238,93	239,97	241,40	242,40	243,49	244,43	
	2	245,44	248,37	249,38	250,44	251,84	252,77	253,39	254,79	
	3	237,67	240,68	241,78	242,95	244,48	245,36	246,55	247,41	

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,18	0,25	0,31	0,40	0,46	0,53	0,59
	0,00	0,18	0,25	0,31	0,40	0,46	0,50	0,58
	0,00	0,19	0,26	0,33	0,43	0,48	0,56	0,61
	0,00	0,18	0,25	0,32	0,41	0,47	0,53	0,59

Absorção por capilaridade		E6 40/10	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)			
CP	10 min		90 min
1	0,25		0,53
2	0,25		0,50
3	0,26		0,56
Média	0,25		0,53
Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})			
1	4,6		
2	4,0		
3	4,8		
Média	4,4		
Desvio Relat _{Max}	9,8%		

Planilha A26– Coeficientes de capilaridade – Série E6 40/20

	CP	0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 24,4		UR(%): 50%			
E6 40/20	1	227,44	229,85	230,84	232,09	233,57	234,68	235,91	236,94
	2	211,64	213,56	214,61	215,96	217,65	218,80	220,00	221,03
	3	219,48	222,61	223,90	225,40	227,20	228,40	229,73	230,82

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,15	0,21	0,29	0,38	0,45	0,53	0,59
	0,00	0,12	0,19	0,27	0,38	0,45	0,52	0,59
	0,00	0,20	0,28	0,37	0,48	0,56	0,64	0,71
	0,00	0,16	0,22	0,31	0,41	0,49	0,56	0,63

Absorção por capilaridade		E6 40/20	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min	90 min	
1	0,21	0,53	
2	0,19	0,52	
3	0,28	0,64	
Média	0,22	0,56	
Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})			
CP			
1	5,1		
2	5,4		
3	5,8		
Média	5,4		
Desvio Relat_{Max}	7,4%		

Planilha A27– Coeficientes de capilaridade – Série E6 40/60

	CP	TEMPO (min)								IMERSO	24H ESTUFA
		0	5	10	20	40	60	90	120		
				TEMP(°C): 24,4		UR(%): 50%					
E6 40/60	1	196,27	197,66	198,19	198,78	199,48	199,97	200,50	200,97		189,82
	2	220,17	222,14	222,95	223,85	224,97	225,74	226,60	227,30		213,43
	3	211,80	213,88	214,66	215,54	216,51	217,18	217,93	218,54		206,22

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,09	0,12	0,16	0,20	0,23	0,26	0,29
	0,00	0,12	0,17	0,23	0,30	0,35	0,40	0,45
	0,00	0,13	0,18	0,23	0,29	0,34	0,38	0,42
	0,00	0,11	0,16	0,21	0,26	0,31	0,35	0,39

Absorção por capilaridade		E6 40/60	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)			
CP	10 min	90 min	
1	0,12	0,26	
2	0,17	0,40	
3	0,18	0,38	
Média	0,16	0,35	
Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})			
1	2,3*		
2	3,7		
3	3,3		
Média	3,5		
Desvio Relat _{Max}	5,5%		

Planilha A28– Coeficientes de capilaridade – Série E6 40/100

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C):	24,4	UR(%):	50%		
E6 40/100	1	201,52	202,85	203,27	203,77	204,39	204,83	205,35	205,82
	2	197,86	199,68	200,27	201,01	201,84	202,39	202,97	203,45
	3	213,60	215,11	215,59	216,18	216,83	217,29	217,79	218,21

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,08	0,11	0,14	0,18	0,21	0,24	0,27
	0,00	0,11	0,15	0,20	0,25	0,28	0,32	0,35
	0,00	0,09	0,12	0,16	0,20	0,23	0,26	0,29
	0,00	0,10	0,13	0,17	0,21	0,24	0,27	0,30

Absorção por capilaridade		E6 40/100	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)			
CP	10 min		90 min
1	0,11		0,24
2	0,15		0,32
3	0,12		0,26
Média	0,13		0,27
Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})			
CP			
1	2,1		
2	2,7		
3	2,2		
Média	2,3		
Desvio Relat _{Max}	16,0%		

Planilha A29– Coeficientes de capilaridade – Série E6 95/20

	CP	0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C):	24,4	UR(%):	50%		
E6 95/20	1	213,64	214,81	215,29	215,85	216,54	217,04	217,65	218,11
	2	211,92	213,08	213,58	214,21	214,86	215,32	215,85	216,26
	3	220,49	221,97	222,59	223,34	224,18	224,74	225,36	225,85

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,07	0,10	0,14	0,18	0,21	0,25	0,28
	0,00	0,07	0,10	0,14	0,18	0,21	0,25	0,27
	0,00	0,09	0,13	0,18	0,23	0,27	0,30	0,33
	0,00	0,08	0,11	0,15	0,20	0,23	0,27	0,30

Absorção por capilaridade		E6 95/20	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min		90 min
1	0,10		0,25
2	0,10		0,25
3	0,13		0,30
Média	0,11		0,27
Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})			
CP			
1	2,4		
2	2,3		
3	2,8		
Média	2,5		
Desvio Relat _{Max}	12,3%		

Planilha A30– Coeficientes de capilaridade – Série E6 95/60

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 23		UR(%): 55%			
E6 95/60	1	205,37	206,06	206,41	206,72	207,06	207,31	207,57	207,77
	2	214,33	215,26	215,54	215,79	216,11	216,31	216,53	216,67
	3	228,82	229,68	230,01	230,32	230,67	230,92	231,16	231,34

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,04	0,06	0,08	0,11	0,12	0,14	0,15
	0,00	0,06	0,08	0,09	0,11	0,12	0,14	0,15
	0,00	0,05	0,07	0,09	0,12	0,13	0,15	0,16
	0,00	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,14	0,15

Absorção por capilaridade		E6 95/60	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)			
CP	10 min		90 min
1	0,06		0,14
2	0,08		0,14
3	0,07		0,15
Média	0,07		0,14
Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})			
CP			
1	1,2		
2	1,0		
3	1,2		
Média	1,1		
Desvio Relat _{Max}	10,0%		

Planilha A31– Coeficientes de capilaridade – Série E8 SEM ADITIVOS

	CP	0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C):	23,3	UR(%):	53%		
E 8 SEM ADITIVOS	1	234,08	241,39	244,07	247,37	251,45	254,49	257,94	260,54
	2	238,16	245,16	247,65	250,67	254,39	257,11	260,18	262,78
	3	244,93	253,07	255,85	259,28	263,39	266,44	269,96	272,36

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,46	0,62	0,83	1,09	1,28	1,49	1,65
	0,00	0,44	0,59	0,78	1,01	1,18	1,38	1,54
	0,00	0,51	0,68	0,90	1,15	1,34	1,56	1,71
	0,00	0,47	0,63	0,84	1,08	1,27	1,48	1,64

Absorção por capilaridade		E8 SEM ADITIVOS	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min		90 min
1	0,62		1,49
2	0,59		1,38
3	0,68		1,56
Média	0,63		1,48
CP	Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})		
1	13,9		
2	12,5		
3	14,1		
Média	13,5		
Desvio Relat _{Max}	7,2%		

Planilha A32– Coeficientes de capilaridade – Série E8 AEH 40

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 23,3		UR(%): 53%			
E8 AEH40	1	230,18	236,25	238,53	241,32	244,86	247,43	250,43	253,02
	2	229,77	234,88	236,85	239,34	242,60	245,04	247,95	250,54
	3	238,23	244,67	246,93	249,54	253,13	255,84	258,97	261,78

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,38	0,52	0,70	0,92	1,08	1,27	1,43
	0,00	0,32	0,44	0,60	0,80	0,95	1,14	1,30
	0,00	0,40	0,54	0,71	0,93	1,10	1,30	1,47
	0,00	0,37	0,50	0,67	0,88	1,04	1,23	1,40

Absorção por capilaridade		E8 AEH40	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min	90 min	
1	0,52	1,27	
2	0,44	1,14	
3	0,54	1,30	
Média	0,50	1,23	
Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})			
CP			
1	11,9		
2	11,1		
3	12,0		
Média	11,7		
Desvio Relat_{Max}	5,0%		

Planilha A33– Coeficientes de capilaridade – Série E8 AEH 95

		TEMPO (min)								
		CP	0	5	10	20	40	60	90	120
					TEMP(°C): 22,9		UR(%): 55%			
E8 AEH95	1	225,95	232,02	234,86	238,20	242,61	245,83	249,95	251,54	
	2	215,09	221,11	223,79	226,99	231,13	234,15	237,60	239,95	
	3	227,54	233,74	236,93	240,60	245,06	248,15	251,57	253,71	

		RAIZ DO TEMPO (min)							
		0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,38	0,56	0,77	1,04	1,24	1,50	1,60	
	0,00	0,38	0,54	0,74	1,00	1,19	1,41	1,55	
	0,00	0,39	0,59	0,82	1,10	1,29	1,50	1,64	
	0,00	0,38	0,56	0,78	1,05	1,24	1,47	1,60	

Absorção por capilaridade		E8 AEH95	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP		10 min	90 min
1		0,56	1,50
2		0,54	1,41
3		0,59	1,50
Média		0,56	1,47
Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})			
CP			
1		15,1	
2		13,8	
3		14,6	
Média		14,5	
Desvio Relat_{Max}		4,8%	

Planilha A34– Coeficientes de capilaridade – Série E8 AEH 150

		TEMPO (min)								
		CP	0	5	10	20	40	60	90	120
					TEMP(°C): 22,9		UR(%): 55%			
E8 AEH150	1	216,62	220,92	223,37	226,43	230,60	233,81	237,58	239,89	
	2	234,60	239,41	242,03	245,10	248,99	251,96	255,38	257,97	
	3	234,60	239,41	242,03	245,10	248,99	251,96	255,38	257,97	

		RAIZ DO TEMPO (min)							
		0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,27	0,42	0,61	0,87	1,07	1,31	1,45	
	0,00	0,30	0,46	0,66	0,90	1,09	1,30	1,46	
	0,00	0,30	0,46	0,66	0,90	1,09	1,30	1,46	
	0,00	0,29	0,45	0,64	0,89	1,08	1,30	1,46	

Absorção por capilaridade		E8 AEH 150	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min	90 min	
1	0,42	1,31	
2	0,46	1,30	
3	0,46	1,30	
Média	0,45	1,30	
Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})			
CP			
1			14,2
2			13,4
3			13,4
Média			13,6
Desvio Relat_{Max}			4,2%

Planilha A35– Coeficientes de capilaridade – Série E8 IAR 20

		TEMPO (min)								
		CP	0	5	10	20	40	60	90	120
					TEMP(°C): 22,9		UR(%): 55%			
E8 IAR 20	1	245,45	249,82	251,65	253,91	256,84	259,07	261,68	263,98	
	2	223,77	228,50	230,31	232,48	235,27	237,43	239,92	242,11	
	3	218,46	223,31	225,21	227,53	230,57	232,87	235,47	237,76	

		RAIZ DO TEMPO (min)							
		0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,27	0,39	0,53	0,71	0,85	1,01	1,16	
	0,00	0,30	0,41	0,54	0,72	0,85	1,01	1,15	
	0,00	0,30	0,42	0,57	0,76	0,90	1,06	1,21	
	0,00	0,29	0,41	0,55	0,73	0,87	1,03	1,17	

Absorção por capilaridade		E8IAR 20	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min	90 min	
1	0,39	1,01	
2	0,41	1,01	
3	0,42	1,06	
Média	0,41	1,03	
Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})			
CP			
1	10,0		
2	9,6		
3	10,3		
Média	10,0		
Desvio Relat_{Max}	3,6%		

Planilha A36– Coeficientes de capilaridade – Série E8 IAR 60

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 20	UR(%):		57%		
E8 IAR 60	1	202,84	206,84	208,32	210,17	212,51	214,24	216,26	217,98
	2	204,67	208,73	210,14	211,85	213,94	215,51	217,35	218,87
	3	195,25	199,15	200,47	201,82	203,89	205,42	207,20	208,67

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,25	0,34	0,46	0,60	0,71	0,84	0,95
	0,00	0,25	0,34	0,45	0,58	0,68	0,79	0,89
	0,00	0,24	0,33	0,41	0,54	0,64	0,75	0,84
	0,00	0,25	0,34	0,44	0,57	0,68	0,79	0,89

Absorção por capilaridade		E8IAR60	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)			
CP	10 min		90 min
1	0,34		0,84
2	0,34		0,79
3	0,33		0,75
Média	0,34		0,79
CP	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})		
1	7,9		
2	7,2		
3	6,7		
Média	7,3		
Desvio Relat _{Max}	8,9%		

Planilha A37– Coeficientes de capilaridade – Série E8 IAR 100

	TEMPO (min)								
	CP	0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 20		UR(%): 57%			
E8 IAR 100	1	220,19	222,83	223,59	224,45	225,49	226,23	227,05	227,70
	2	209,23	211,48	212,09	212,81	213,72	214,36	215,09	215,70
	3	210,21	212,48	213,14	213,90	214,86	215,54	216,05	217,59

	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,17	0,21	0,27	0,33	0,38	0,43	0,47
	0,00	0,14	0,18	0,22	0,28	0,32	0,37	0,40
	0,00	0,14	0,18	0,23	0,29	0,33	0,37	0,46
	0,00	0,15	0,19	0,24	0,30	0,34	0,39	0,45

Absorção por capilaridade		E8 IAR100	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)			
CP	10 min		90 min
1	0,21		0,43
2	0,18		0,37
3	0,18		0,37
Média	0,19		0,39
Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})			
CP			
1	3,5		
2	3,0		
3	2,9		
Média	3,1		
Desvio Relat _{Max}	10,8%		

Planilha A38– Coeficientes de capilaridade – Série E8 40/10

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
		TEMP(°C): 23			UR(%): 54%				
E8 40/10	1	236,20	241,49	243,32	245,73	248,75	250,91	253,54	255,62
	2	239,37	244,03	245,79	248,12	251,08	253,18	255,75	257,77
	3	236,20	241,61	243,39	245,73	248,75	250,90	253,47	255,51

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,33	0,45	0,60	0,78	0,92	1,08	1,21
	0,00	0,29	0,40	0,55	0,73	0,86	1,02	1,15
	0,00	0,34	0,45	0,60	0,78	0,92	1,08	1,21
	0,00	0,32	0,43	0,58	0,77	0,90	1,06	1,19

Absorção por capilaridade		E8 40/10	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min		90 min
1	0,45		1,08
2	0,40		1,02
3	0,45		1,08
Média	0,43		1,06
CP	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})		
1	10,2		
2	10,0		
3	10,1		
Média	10,1		
Desvio Relat _{Max}	1,3%		

Planilha A39– Coeficientes de capilaridade – Série E8 40/20

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C):	23,3		UR(%):	53%	
E8 40/20	1	225,61	230,07	231,44	233,34	235,68	237,49	239,62	241,46
	2	232,75	236,45	237,87	239,59	241,67	243,17	244,94	246,48
	3	216,23	220,33	221,72	223,32	225,42	226,91	228,75	230,31

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,28	0,36	0,48	0,63	0,74	0,88	0,99
	0,00	0,23	0,32	0,43	0,56	0,65	0,76	0,86
	0,00	0,26	0,34	0,44	0,57	0,67	0,78	0,88
	0,00	0,26	0,34	0,45	0,59	0,69	0,81	0,91

Absorção por capilaridade		E8 40/20	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)			
CP	10 min		90 min
1	0,36		0,88
2	0,32		0,76
3	0,34		0,78
Média	0,34		0,81
Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})			
1	8,2		
2	7,1		
3	7,0		
Média	7,4		
Desvio Relat _{Max}	10,1%		

Planilha A40– Coeficientes de capilaridade – Série E8 40/60

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 21		UR(%): 52%			
E8 40/60	1	200,14	202,02	202,81	203,51	204,40	204,84	205,50	206,00
	2	213,82	215,85	216,44	217,05	217,96	218,58	219,19	219,72
	3	205,58	207,43	208,00	208,58	209,50	210,11	210,70	211,19

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,12	0,17	0,21	0,27	0,29	0,34	0,37
	0,00	0,13	0,16	0,20	0,26	0,30	0,34	0,37
	0,00	0,12	0,15	0,19	0,24	0,28	0,32	0,35
	0,00	0,12	0,16	0,20	0,26	0,29	0,33	0,36

Absorção por capilaridade		E8 40/60	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min		90 min
1	0,17		0,34
2	0,16		0,34
3	0,15		0,32
Média	0,16		0,33
CP	Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})		
1	2,7		
2	2,8		
3	2,7		
Média	2,7		
Desvio Relat _{Max}	1,4%		

Planilha A41 – Coeficientes de capilaridade – Série E8 40/100

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 23		UR(%): 55%			
E8 40/100	1	230,95	232,77	233,24	233,72	234,27	234,81	235,08	235,42
	2	212,85	214,76	215,21	215,67	216,19	216,69	216,97	217,29
	3	222,09	223,61	224,09	224,55	225,05	225,48	225,81	226,14

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,11	0,14	0,17	0,21	0,24	0,26	0,28
	0,00	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,26	0,28
	0,00	0,10	0,13	0,15	0,19	0,21	0,23	0,25
	0,00	0,11	0,14	0,17	0,20	0,23	0,25	0,27

Absorção por capilaridade E8 40/100									
(ABNT NBR-15259:2005)									
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)									
CP		10 min				90 min			
1		0,14				0,26			
2		0,15				0,26			
3		0,13				0,23			
Média		0,14				0,25			
Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})									
CP									
1						1,8			
2						1,8			
3						1,7			
Média						1,8			
Desvio Relat _{Max}						3,8%			

Planilha A42– Coeficientes de capilaridade – Série E8 95/20

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 23		UR(%): 55%			
E8 95/20	1	211,11	215,48	217,07	218,85	220,90	222,46	224,18	225,52
	2	222,36	226,38	227,93	229,58	229,75	233,01	234,67	236,01
	3	220,05	224,59	226,08	227,77	231,53	231,80	233,07	234,54

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,27	0,37	0,48	0,61	0,71	0,82	0,90
	0,00	0,25	0,35	0,45	0,46	0,67	0,77	0,85
	0,00	0,28	0,38	0,48	0,72	0,73	0,81	0,91
	0,00	0,27	0,37	0,47	0,60	0,70	0,80	0,89

Absorção por capilaridade E8 95/20			
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)			
CP	10 min	90 min	
1	0,37	0,82	
2	0,35	0,77	
3	0,38	0,81	
Média	0,37	0,80	
Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})			
1		7,1	
2		6,7	
3		7,0	
Média		6,9	
Desvio Relat _{Max}		3,0%	

Planilha A43– Coeficientes de capilaridade – Série E8 95/60

	CP	TEMPO (min)								IMERSO	24H ESTUFA
		0	5	10	20	40	60	90	120		
				TEMP(°C): 23		UR(%): 55%					
E8 95/60	1	207,67	208,96	209,30	209,75	210,18	210,50	210,98	211,29		201,12
	2	216,62	217,51	217,81	218,27	218,71	219,05	219,48	219,76		208,59
	3	217,87	219,56	220,11	220,76	221,40	221,83	222,37	222,74		211,03

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,08	0,10	0,13	0,16	0,18	0,21	0,23
	0,00	0,06	0,07	0,10	0,13	0,15	0,18	0,20
	0,00	0,11	0,14	0,18	0,22	0,25	0,28	0,30
	0,00	0,08	0,11	0,14	0,17	0,19	0,22	0,24

Absorção por capilaridade		E8 95/60	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)			
CP	10 min		90 min
1	0,10		0,21
2	0,07		0,18
3	0,14		0,28
Média	0,11		0,22
CP	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})		
1	1,7		
2	1,7		
3	2,3*		
Média	1,7		
Desvio Relat _{Max}	0,3%		

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO

Planilha A44– Absorção de água por imersão – Série E4,5

ARGAMASSA	PESO APÓS ESTUFA	PESO APÓS IMERSÃO	ABSORÇÃO	MÉDIA
E 4,5 S A	233,77	261,16	11,72%	
	237,32	264,15	11,31%	
				11,51%
E 4,5 40 10	223,37	246,43	10,32%	
	227,84	251,46	10,37%	
				10,35%
E 4,5 40 20	238,6	262,45	10,00%	
	217,47	238,86	9,84%	
				9,92%
E 4,5 95 20	223,15	243,36	9,06%	
	226,71	246,92	8,91%	
				8,99%

Planilha A45– Absorção de água por imersão – Série E6

E 6 S A	223,07	252,69	13,28%		12%
	211,49	239,97	13,47%		12%
				13,37%	
E 6 30	228,29	256,11	12,19%		11%
	225,89	253,64	12,28%		11%
				12,24%	
E 6 40	233,85	264,29	13,02%		12%
	230,98	261,05	13,02%		12%
				13,02%	
E 6 95	215,42	243,83	13,19%		12%
	218,33	246,86	13,07%		12%
				13,13%	
E 6 150	246,46	280,75	13,91%		12%
	233,26	265,92	14,00%		12%
				13,96%	
E 6 120	246,06	274,34	11,49%		10%
	209,05	232,58	11,26%		10%
				11,37%	
E 6 160	229,09	252,64	10,28%		9%
	207,75	229,81	10,62%		10%
				10,45%	
E 6 1100	206,79	227,72	10,12%		9%
	205,65	226,37	10,08%		9%
				10,10%	
E 6 40 10	229,79	256,28	11,53%		10%
	240,47	267,97	11,44%		10%
				11,48%	
E 6 40 20	221,14	246,55	11,49%		10%
	205,8	229,1	11,32%		10%
				11,41%	
E 6 95 20	207,66	228,89	10,22%		9%
	204,55	225,69	10,33%		9%
				10,28%	
E 6 40 60	191,43	210,02	9,71%		9%
	214,48	236,11	10,08%		9%
				9,90%	
E 6 40 100	195,14	214,43	9,89%		9%
	194,76	212,86	9,29%		9%
				9,59%	
E 6 95 60	199,6	216,61	8,52%		8%
	206,67	225,16	8,95%		8%
				8,73%	

Planilha A46– Absorção de água por imersão – Série E8

ARGAMASSA	PESO APÓS ESTUFA	PESO APÓS IMERSÃO	ABSORÇÃO	MÉDIA
E 8 S A	230,59	261,05	13,21%	
	234,01	264,63	13,08%	
				13,15%
E 8 40	226,49	255,62	12,86%	
	224,19	253,21	12,94%	
				12,90%
E 8 95	222,94	251,97	13,02%	
	211,66	239,02	12,93%	
				12,97%
E 8 150	215,4	239,8	11,33%	
	233,62	259,66	11,15%	
				11,24%
E 8 120	240,35	269,07	11,95%	
	218,52	244,48	11,88%	
				11,91%
E 8 160	199,76	221,22	10,74%	
	200,9	222,33	10,67%	
				10,70%
E 8 1100	217,49	236,41	8,70%	
	205,7	223,85	8,82%	
				8,76%
E 8 30 10	219,37	245,52	11,92%	
	230,49	258	11,94%	
				11,93%
E 8 40 10	232,78	261,26	12,23%	
	234,89	263,69	12,26%	
				12,25%
E 8 40 20	220,85	246,08	11,42%	
	228,11	254,34	11,50%	
				11,46%
E 8 40 30	213,58	237,66	11,27%	
	206,89	230,06	11,20%	
				11,24%
E 8 95 20	208,6	231,71	11,08%	
	219,74	243,7	10,90%	
				10,99%
E 8 40 60	197,19	214,77	8,92%	
	210,48	228,97	8,78%	
				8,85%
E 8 40 100	227,81	245,73	7,87%	
	209,17	225,82	7,96%	
				7,91%
E 8 95 60	204,35	221,13	8,21%	
	211,34	229	8,36%	
				8,28%

APÊNDICES ETAPA 02

DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR INCORPORADO

Planilha B1– Teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco – Série E5,5

	Massa específica (g/cm³)	cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm³)	densidade (g/cm³)	dt	teor de ar incorporado (%)	FLOW	slump	vane
40/10											
		62	1222,9	450,94	399,04	1,93	2,12	9%			
		62	1212,9	449,31	396,87	1,92	2,12	10%			
		65	1217,5	455,25	395,48	1,93	2,12	9%			
		63				1,93		9%			
		65	1216	450,94	399,04	1,92	2,12	10%	283		15
		62	1208	449,31	396,87	1,91	2,12	10%	276		15
		66	1220,7	455,25	395,48	1,94	2,12	9%	284		18
		64				1,92		10%	281	14,5	16
95/20											
		66	1163,4	450,94	399,04	1,79	2,19	18%			
		65	1155,6	449,31	396,87	1,78	2,19	19%			
		64	1162,57	455,25	395,48	1,79	2,19	18%			
		65				1,79		18%			
		62	1153,9	450,94	399,04	1,76	2,19	20%	272		18
		59	1147	449,31	396,87	1,76	2,19	20%	263		21
		63	1153,1	455,25	395,48	1,76	2,19	20%	265		22
		61				1,76		20%	267	14,0	20

Planilha B2– Teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco – Série E5,75

	Massa específica (g/cm³)	cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm³)	densidade (g/cm³)	dt	teor de ar incorporado (%)	FLOW	slump	vane
40/20	2,64										
		64	1174,7	450,94	399,04	1,81	2,16	16%			
		63	1171,4	449,31	396,87	1,82	2,16	16%			
		63	1179,2	455,25	395,48	1,83	2,16	15%			
		63				1,82		16%			
		61	1177,1	450,94	399,04	1,82	2,16	16%	275		20
		60	1170	449,31	396,87	1,82	2,16	16%	266		20
		60	1175,9	455,25	395,48	1,82	2,16	16%	272		20
		60				1,82		16%	271	12,5	20

Planilha B3– Teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco – Série E6

	Massa específica (g/cm³)	cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm³)	densidade (g/cm³)	dt	teor de ar incorporado (%)	FLOW	slump	vane
40/20	2,64										
		64	1175	450,94	399,04	1,81	2,16	16%			
		64	1172,8	449,31	396,87	1,82	2,16	16%			
		63	1184,5	455,25	395,48	1,84	2,16	15%			
		64				1,82		16%			
		60	1180,9	450,94	399,04	1,83	2,16	15%	260		20
		57	1173,3	449,31	396,87	1,82	2,16	16%	258		20
		55	1178,9	455,25	395,48	1,83	2,16	15%	259		20
		57				1,83		15%	259	11,0	20

Planilha B4– Teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco – Série E6,5

	Massa específica (g/cm³)	cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm³)	densidade (g/cm³)	dt	teor de ar incorporado (%)	FLOW	slump	vane
40/20	2,64										
		69	1177,5	450,94	399,04	1,82	2,13	14%			
		66	1167,3	449,31	396,87	1,81	2,13	15%			
		66	1173,2	455,25	395,48	1,82	2,13	14%			
		67				1,82		14%			
		71	1167,6	450,94	399,04	1,80	2,13	15%	275		12
		70	1158,2	449,31	396,87	1,79	2,13	16%	274		10
		70	1165,9	455,25	395,48	1,80	2,13	15%	284		11
		70				1,80		15%	278	18,0	11

Planilha B5– Teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco – Série E7

	Massa específica (g/cm³)	cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm³)	densidade (g/cm³)	dt	teor de ar incorporado (%)	FLOW	slump	vane
40/10											
		63	1208,5	450,94	399,04	1,90	2,10	9%			
		64	1205,4	449,31	396,87	1,91	2,10	9%			
		66	1210,6	455,25	395,48	1,91	2,10	9%			
		64				1,91		9%			
		65	1204,8	450,94	399,04	1,89	2,10	10%	301,2		13
		63	1204,4	449,31	396,87	1,90	2,10	9%	297		12
		67	1212,8	455,25	395,48	1,92	2,10	8%	301,3		14
		65				1,90		9%	300	13,5	13
95/20											
		65	1157,1	450,94	399,04	1,77	2,14	17%			
		65	1152,9	449,31	396,87	1,77	2,14	17%			
		66	1158,4	455,25	395,48	1,78	2,14	17%			
		65				1,77		17%			
		61	1167,6	450,94	399,04	1,80	2,14	16%	276,54		20
		59	1161,6	449,31	396,87	1,79	2,14	16%	264,83		23
		59	1167,4	455,25	395,48	1,80	2,14	16%	271,22		25
		60				1,80		16%	271	13,0	23

Planilha B6– Tabela conversão do Vane test

	k	
Constante de mola	(kg.cm/grau)	0,023
	D (m)	0,026
	H(m)	0,051

	Tm (kg.cm/grau)	Tm (N.m)	To (Pa)	To (KPa)
1	0,023	0,002254	35,59	0,036
2	0,046	0,004508	71,19	0,071
3	0,069	0,006762	106,78	0,107
4	0,092	0,009016	142,38	0,142
5	0,115	0,01127	177,97	0,178
6	0,138	0,013524	213,56	0,214
7	0,161	0,015778	249,16	0,249
8	0,184	0,018032	284,75	0,285
9	0,207	0,020286	320,35	0,320
10	0,23	0,02254	355,94	0,356
11	0,253	0,024794	391,53	0,392
12	0,276	0,027048	427,13	0,427
13	0,299	0,029302	462,72	0,463
14	0,322	0,031556	498,31	0,498
15	0,345	0,03381	533,91	0,534
16	0,368	0,036064	569,50	0,570
17	0,391	0,038318	605,10	0,605
18	0,414	0,040572	640,69	0,641
19	0,437	0,042826	676,28	0,676
20	0,46	0,04508	711,88	0,712
21	0,483	0,047334	747,47	0,747
22	0,506	0,049588	783,07	0,783
23	0,529	0,051842	818,66	0,819
24	0,552	0,054096	854,25	0,854
25	0,575	0,05635	889,85	0,890
26	0,598	0,058604	925,44	0,925
27	0,621	0,060858	961,04	0,961
28	0,644	0,063112	996,63	0,997
29	0,667	0,065366	1032,22	1,032
30	0,69	0,06762	1067,82	1,068
31	0,713	0,069874	1103,41	1,103
32	0,736	0,072128	1139,01	1,139
33	0,759	0,074382	1174,60	1,175
34	0,782	0,076636	1210,19	1,210
35	0,805	0,07889	1245,79	1,246
36	0,828	0,081144	1281,38	1,281

37	0,851	0,083398	1316,97	1,317
38	0,874	0,085652	1352,57	1,353
39	0,897	0,087906	1388,16	1,388
40	0,92	0,09016	1423,76	1,424
41	0,943	0,092414	1459,35	1,459
42	0,966	0,094668	1494,94	1,495
43	0,989	0,096922	1530,54	1,531
44	1,012	0,099176	1566,13	1,566
45	1,035	0,10143	1601,73	1,602
46	1,058	0,103684	1637,32	1,637
47	1,081	0,105938	1672,91	1,673
48	1,104	0,108192	1708,51	1,709
49	1,127	0,110446	1744,10	1,744
50	1,15	0,1127	1779,70	1,780
51	1,173	0,114954	1815,29	1,815
52	1,196	0,117208	1850,88	1,851
53	1,219	0,119462	1886,48	1,886
54	1,242	0,121716	1922,07	1,922
55	1,265	0,12397	1957,67	1,958
56	1,288	0,126224	1993,26	1,993
57	1,311	0,128478	2028,85	2,029
58	1,334	0,130732	2064,45	2,064
59	1,357	0,132986	2100,04	2,100
60	1,38	0,13524	2135,64	2,136
61	1,403	0,137494	2171,23	2,171
62	1,426	0,139748	2206,82	2,207
63	1,449	0,142002	2242,42	2,242
64	1,472	0,144256	2278,01	2,278
65	1,495	0,14651	2313,60	2,314
66	1,518	0,148764	2349,20	2,349
67	1,541	0,151018	2384,79	2,385
68	1,564	0,153272	2420,39	2,420
69	1,587	0,155526	2455,98	2,456
70	1,61	0,15778	2491,57	2,492
71	1,633	0,160034	2527,17	2,527
72	1,656	0,162288	2562,76	2,563
73	1,679	0,164542	2598,36	2,598
74	1,702	0,166796	2633,95	2,634
75	1,725	0,16905	2669,54	2,670
76	1,748	0,171304	2705,14	2,705
77	1,771	0,173558	2740,73	2,741
78	1,794	0,175812	2776,33	2,776
79	1,817	0,178066	2811,92	2,812
80	1,84	0,18032	2847,51	2,848
81	1,863	0,182574	2883,11	2,883

82	1,886	0,184828	2918,70	2,919
83	1,909	0,187082	2954,30	2,954
84	1,932	0,189336	2989,89	2,990
85	1,955	0,19159	3025,48	3,025
86	1,978	0,193844	3061,08	3,061
87	2,001	0,196098	3096,67	3,097
88	2,024	0,198352	3132,26	3,132
89	2,047	0,200606	3167,86	3,168
90	2,07	0,20286	3203,45	3,203

RETENÇÃO DE ÁGUA

Planilha B67– Retenção de água

Argamassa	Teor de água (g)	Argamassa anidra	Af	Massa da amostra (g)	Massa da amostra após a sucção (g)	Água succionada (g)	Água na amostra (g) (af*massa argamassa anidra)	Água retida (g)	Norma Abnt nbr 13277/2005 (fórmula da norma)
E6 40 20	6310	39984	0,14	2312,14	2266,74	45,4	315,15	269,75	71%
E5,5 40 10	6940	40000	0,15	2341,9	2256,7	85,2	346,25	261,05	51%
E5,5 95 20	5680	40000	0,12	2251,2	2209,2	42	279,92	237,92	69%
E5,75 40 20	6330	40000	0,14	2284,5	2236,3	48,2	312,13	263,93	68%
E6,5 40 20	6900	40000	0,15	2264,5	2197,4	67,1	333,16	266,06	58%
E7 40 10	7500	40016	0,16	2338,3	2256,7	81,6	369,08	287,48	56%
E7 95 20	6600	40016	0,14	2280,5	2224,7	55,8	322,88	267,08	64%

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Planilha B8– Resumo das resistências à compressão

E	40/10		40/20		95/20	
	Resistência á compressão média (Mpa)	Desvio máximo absoluto (Mpa)	Resistência á compressão média (Mpa)	Desvio máximo absoluto (Mpa)	Resistência á compressão média (Mpa)	Desvio máximo absoluto (Mpa)
5,5	10,8	0,30			9,0	0,50
5,75			10,8	0,40		
6			8,4	0,50		
6 AM			8,1	0,50		
6,5			5,9	0,50		
7	5,8	0,30			8,0	0,40

Planilha B9– Resistências à compressão – E5,5

PLANILHA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E 5,5					
CARGA (N)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
40 10					
19100	11,9		1,2		
16400	10,3		-0,4		-0,5
13880	8,7		-2,0		
17810	11,1		0,4		0,3
17460	10,9	10,7	0,2	10,8	0,1
17570	11,0		0,3		0,2
			1,2		0,3
95 20					
14870	9,3		0,5		0,3
15190	9,5		0,7		0,5
11360	7,1		-1,7		
13990	8,7		-0,1		-0,3
13670	8,5	8,8	-0,3	9,0	-0,5
15720	9,8		1,0		
			1,0		0,5

Planilha B10– Resistências à compressão – E5,75

PLANILHA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E 5,75					
CARGA (N)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
40 20				NOVA MÉDIA	
16740	10,5		-0,2		-0,3
16540	10,3	10,7	-0,4	10,8	-0,5
18010	11,3		0,6		
16040	10,0		-0,7		
17900	11,2		0,5		0,4
17540	11,0		0,3		0,2

Planilha B11– Resistências à compressão – E6

PLANILHA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E 6 - ETAPA 02					
CARGA (N)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
40 20					
12970	8,1		-0,8		-0,3
14200	8,9	8,9	0,0	8,4	0,5
15360	9,6		0,7		
16260	10,2		1,3		
13610	8,5		-0,4		0,1
12870	8,0		-0,9		-0,4

Planilha B12– Resistências à compressão – E6,5

PLANILHA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E 6,5					
CARGA (N)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
AEH40I20				NOVA MÉDIA	
9400	5,9		-0,1		-0,0
10190	6,4	6,0	0,4	5,9	0,5
8190	5,1		-0,9		
8630	5,4		-0,6		-0,5
9580	6,0		-0,0		0,1
11430	7,1		1,1		

Planilha B13– Resistências à compressão – E7

PLANILHA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E7					
CARGA (N)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
40 10					
8830	5,5		0,5		-0,3
9060	5,7	5,0	0,7	5,8	-0,1
9680	6,1		1,1		0,3
9360	5,9		0,9		0,1
9550	6,0		1,0		0,2
1036	0,6		-4,4		
					0,3
95 20					
12800	8,0		0,0		
12490	7,8	8,0	-0,2		
13400	8,4		0,4		
12890	8,1		0,1		
12430	7,8		-0,2		
13020	8,1		0,1		

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Planilha B14– Resumo de Resistências à tração na flexão

E	40/10		40/20		95/20	
	Resistência á tração na flexão média (MPa)	Desvio máximo absoluto (MPa)	Resistência á tração na flexão média (MPa)	Desvio máximo absoluto (Mpa)	Resistência á tração na flexão média (MPa)	Desvio máximo absoluto (MPa)
5,5	2,8	0,2			2,6	0,3
5,75			3,0	0,1		
6			2,5	0,2		
6 AM			2,2	0,2		
6,5			2,3	0,3		
7	1,9	0,1			1,9	0,2

Planilha B15 –Resistências à tração na flexão – Série 5,5

PLANILHA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E 5,5			
CARGA (N)	TF	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
40 10			
1270	2,9		0,1
1140	2,6	2,8	-0,2
1280	2,9		0,1
			0,2
95 20			
1110	2,5		-0,3
1240	2,8	2,6	0,0
1110	2,5		-0,3
			0,3

Planilha B16–Resistências à tração na flexão – Série 5,75

PLANILHA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E 5,75			
CARGA (N)	TF	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
40 20			
1350	3,1		0,1
1310	3,0	3,0	0,0
1250	2,9		-0,1
			0,1

Planilha B17–Resistências à tração na flexão – Série 6

PLANILHA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E6 - ETAPA 02					
CARGA (N)	TF	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
40 20					
1010	2,3		-0,3		-0,2
1310	3,0	2,6	0,4	2,5	
1140	2,6		0,0		0,1

Planilha B18–Resistências à tração na flexão – Série 6,5

PLANILHA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E 6,5			
CARGA (N)	TF	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
40 20			
900	2,1		-0,2
900	2,1	2,3	-0,2
1140	2,6		0,3
			0,3

Planilha B19–Resistências à tração na flexão – Série 7

PLANILHA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E 7			
CARGA (N)	TF	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
40 10			
890	2,0		0,1
810	1,9	1,9	0,0
770	1,8		-0,1
			0,1
95 20			
1150	2,6		0,0
1160	2,7	2,6	0,1
1040	2,4		-0,2
			0,2

MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO

Planilha B20–Resumo Módulo de elasticidade

E	40/10			40/20			95/20		
	Média (GPa)	Sd	CV(%)	Média (GPa)	Sd	CV(%)	Média (GPa)	Sd	CV(%)
5,5	9,52	0,97	10,15				9,98	0,47	4,75
5,75				10,49	0,07	0,62			
6				9,39	0,19	2,06			
6,5				7,22	0,88	12,13			
7	6,55	0,15	2,31				8,41	0,74	8,78

Planilha B21–Módulo de elasticidade

		MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV
E 5,5 40 10				
CP1	9,26		0,07	
CP2	10,59		1,14	
CP3	8,71		0,66	
			1,87	
			0,93	
		9,52	0,97	10,15%
E 5,5 95/20				
CP1	9,85		0,02	
CP2	9,59		0,15	
CP3	10,51		0,28	
			0,45	
			0,22	
		9,98	0,47	4,75%
E 5,75 40/20				
CP1	10,56		0,00	
CP2	10,43		0,00	
CP3	10,49		0,00	
			0,01	
			0,00	
		10,49	0,07	0,62%
E6 40 20				
CP1	9,6		0,04	
CP2	9,22		0,03	
CP3	9,35		0,00	
			0,07	
			0,04	
		9,39	0,19	2,06%
E6 40 20 AG				
CP1	9,63		0,00	
CP2	9,99		0,15	
CP3	9,18		0,18	
			0,33	
			0,16	
		9,60	0,41	4,23%
E6,5 40 20				
CP1	7,95		0,53	
CP2	6,25		0,95	
CP3	7,47		0,06	
			1,54	
			0,77	
		7,22	0,88	12,13%
E 7 40 10				
CP1	6,48		0,00	
CP2	6,72		0,03	
CP3	6,44		0,01	
			0,05	
			0,02	
		6,55	0,15	2,31%
E 7 95/20	9,37		0,92	
CP1	8,12		0,08	
CP2	8,7		0,08	
CP3			1,09	
			0,54	
		8,41	0,74	8,78%

VARIACÃO DIMENSIONAL

Planilha B22–Variação dimensional - Resumo

Dia	E7		E 6,5	E6 AG	E6	E5,75	E5,5	
	40/10	95/20	40/20	40/20	40/20	40/20	40/10	95/20
2	-0,02		-0,12	0,14	0,07	0,29	0,02	
4	0,02	0,18	0,15	0,72	0,16	0,24	-0,10	-0,12
7	0,18	0,16	0,26	0,96	0,87	0,27	0,10	0,04
9	0,05	0,21	0,22	0,80	1,02	0,34	0,12	0,09
11	0,02	0,19	0,29	0,80	1,04	0,33	0,16	0,14
14	0,07	0,16	0,26	0,80	1,03	0,47	0,11	0,10
16	0,23	0,15	0,35	0,91	1,19	0,49	0,17	0,18
18	0,38	0,20	0,43	0,97	1,09	0,63	0,21	0,21
21	0,49	0,24	0,58	0,80	1,11	0,60	0,20	0,00
23	0,75	0,17	0,54	0,99	1,38	0,56	0,18	0,28
25	0,84	0,18	0,58	0,99	1,15	0,67	0,32	0,29
28	0,91	0,22	0,65	0,94	1,06	0,74	0,41	0,36

Planilha B23–Variação dimensional - Resumo

	E740 10		E795 20		E795 40		E65 40 20		E6 40 20		E5,75 40 20		E5,5 40 10		E5,5 95 20	
	Ei (mm/m)	variação de massa (mm/m)	Ei (mm/m)	variação de massa (mm/m)	Ei (mm/m)	variação de massa (mm/m)	Ei (mm/m)	variação de massa (mm/m)								
L	300,59		299,54		300,02		302,62		300,71		301,99		300,28		302,36	
ARG-MASSAS																
DESFORMA																
2	0,02	-0,75	0,21	-7,00	-0,03	-1,52	-0,12	-0,31	0,07	-1,59	0,29	-5,40	0,02	-0,85	0,06	-0,87
4	-0,10	-1,57	0,18	-7,05	-0,15	-2,41	0,15	-6,00	0,16	-2,50	0,24	-5,60	-0,10	-1,18	-0,12	-1,12
7	0,10	-3,25	0,16	-7,07	0,19	-2,83	0,26	-6,14	0,87	-5,26	0,27	-5,65	0,10	-1,24	0,04	-1,23
9	0,12	-3,82	0,21	-7,06	0,10	-3,61	0,22	-6,19	1,02	-5,75	0,34	-5,73	0,12	-1,69	0,09	-1,37
11	0,16	-4,18	0,19	-7,07	0,11	-3,93	0,29	-6,29	1,04	-5,81	0,33	-5,85	0,16	-2,03	0,14	-1,49
14	0,11	-4,50	0,16	-7,05	0,11	-4,19	0,26	-6,41	1,03	-5,87	0,47	-5,92	0,11	-2,37	0,10	-1,59
16	0,17	-5,68	0,15	-7,05	0,41	-4,69	0,35	-6,48	1,19	-5,91	0,49	-6,01	0,17	-2,91	0,18	-1,70
18	0,21	-6,46	0,20	-7,05	0,54	-5,03	0,43	-6,55	1,09	-5,95	0,63	-6,11	0,21	-3,25	0,21	-1,77
21	0,20	-7,01	0,24	-7,04	0,56	-5,23	0,58	-6,68	1,11	-5,99	0,60	-6,16	0,20	-3,58	0,00	-1,85
23	0,18	-7,55	0,17	-7,03	0,70	-5,57	0,54	-6,74	1,38	-6,02	0,56	-6,22	0,18	-4,06	0,28	-1,99
25	0,32	-7,82	0,18	-7,02	0,75	-5,69	0,58	-6,80	1,15	-6,04	0,67	-6,29	0,32	-4,30	0,29	-2,05
28	0,41	-7,99	0,22	-7,01	0,71	-5,81	0,65	-6,90	1,06	-6,03	0,74	-6,35	0,41	-4,51	0,26	-2,14
31	0,65	-8,20	0,21	-7,00	0,83	-6,10	0,67	-6,96	1,01	-6,03	0,74	-6,40	0,65	-5,09	0,40	-2,67

RESISTÊNCIA POTENCIAL DE ADERÊNCIA À TRACÇÃO NA FLEXÃO

Planilha B24 – Resistência Pontencial de aderência à tração – Série E5,5 40/10

RESISTÊNCIA POTENCIAL DE ADERÊNCIA(28 DIAS)								
E5,5 40/10								
CP Nº	CARGA(N)	DIÂMETRO(mm)	TENSÃO (Mpa)	TENSÃO (Mpa)	FORMA DE RUPTURA (%)			
					S	S/A	A	F
1	1995	53,65	0,88	0,88		100		
2	1895	53,37	0,85	0,85	100			
3	2880	53,9	1,26	1,26			100	
4	2165	54,13	0,94	0,94			100	
5	2120	52,65	0,97	0,97			100	
6	1405	52,51	0,65	0,65*	100			
7	2250	53,36	1,01	1,01	100			
8	2135	52,44	0,99	0,99	100			
9	2470	52,98	1,12	1,12			100	
10	2985	53,96	1,31	1,31*		40	60	
MÉDIA			1,00	1,00				

Onde:

S é a ruptura na superfície da argamassa;
 S/A é a ruptura na interface substrato/argan
 A é a ruptura na argamassa;
 F é a falha na colagem da peça metálica.

18/04/2013

~>

1	3	5	7	9
2	4	6	8	10

Planilha B25 – Resistência Potencial de aderência à tração – Série E5,5 95/20

RESISTÊNCIA POTENCIAL DE ADERÊNCIA(28 DIAS)								
E5,5 95/20								
CP Nº	CARGA(N)	DIÂMETRO(mm)	TENSÃO (Mpa)	TENSÃO (Mpa)	FORMA DE RUPTURA (%)			
					S	S/A	A	F
1	1310	52,5	0,61	0,61	100			
2	480	53	0,22	0,22*	100			
3	1765	53,39	0,79	0,79*	100			
4	1180	53,34	0,53	0,53	100			
5	1035	53,59	0,46	0,46	100			
6	980	53,73	0,43	0,43	100			
7	1110	53,37	0,50	0,50	100			
8	680	53,57	0,30	0,30*	100			
9	900	53,49	0,40	0,40	100			
10	945	52,17	0,44	0,44	100			
MÉDIA			0,47	0,48				

Onde:

S é a ruptura na superfície da argamassa;
 S/A é a ruptura na interface substrato/argan
 A é a ruptura na argamassa;
 F é a falha na colagem da peça metálica.

18/04/2013

~>

1	3	5	7	9
2	4	6	8	10

Planilha B26–Resistência Potencial de aderência à tração – Série E5,75 40/20

RESISTÊNCIA POTENCIAL DE ADERÊNCIA(28 DIAS)								
E5,75 40/20								
CP Nº	CARGA(N)	DIÂMETRO(mm)	TENSÃO (Mpa)	TENSÃO (Mpa)	FORMA DE RUPTURA (%)			
					S	S/A	A	F
1	1915	53,7	0,85	0,85		100		
2	2075	54	0,91	0,91		80	20	
3	1970	53,9	0,86	0,86		60	40	
4	2205	53,71	0,97	0,97	100			
5	2225	53,53	0,99	0,99		100		
6	1595	53,89	0,70	0,70		40	60	
7	2155	54,12	0,94	0,94		80	20	
8	2110	53,95	0,92	0,92		90	10	
9	1780	54,13	0,77	0,77		100		
10	1960	53,79	0,86	0,86			100	
MÉDIA			0,88	0,88				

Onde:
 S é a ruptura na superfície da argamassa;
 S/A é a ruptura na interface substrato/argamassa;
 A é a ruptura na argamassa;
 F é a falha na colagem da peça metálica.

18/04/2013

~>

1	3	5	7	9
2	4	6	8	10

Planilha B26–Resistência Potencial de aderência à tração – Série E6 40/20

E6 40/20								
CP Nº	CARGA(N)	DIÂMETRO(mm)	TENSÃO (Mpa)	TENSÃO (Mpa)	FORMA DE RUPTURA (%)			
					S	S/A	A	F
1	1140	52,1	0,53	0,53	100			
2	1665	53,64	0,74	0,74	100			
3	2080	53,35	0,93	0,93	100			
4	1660	52,35	0,77	0,77	100			
5	1815	54,22	0,79	0,79		100		
6	1570	52,88	0,71	0,71	100			
7	2325	54,47	1,00	1,00*		100		
8	1580	52,46	0,73	0,73	100			
9	1750	52,37						100
10	1105	53,02	0,50	0,50*	100			
MÉDIA			0,74	0,74				

Onde:
 S é a ruptura na superfície da argamassa;
 S/A é a ruptura na interface substrato/argamassa;
 A é a ruptura na argamassa;
 F é a falha na colagem da peça metálica.

18/04/2013

~>

1	3	5	7	9
2	4	6	8	10

Planilha B28–Resistência Potencial de aderência à tração – Série E6,5 40/20

E6,5 40/20								
CP Nº	CARGA(N)	DIÂMETRO(mm)	TENSÃO (Mpa)	TENSÃO (Mpa)	FORMA DE RUPTURA (%)			
					S	S/A	A	F
1	1770	53,53	0,79	0,79	100			
2	965	53,11	0,44	0,44*	30		70	
3	2430	53,13	1,10	1,10*	100			
4	620	53,64	0,27	0,27*	100			
5	2115	54,18	0,92	0,92		80	20	
6	2230	53,89	0,98	0,98		80	20	
7	2075	53,61	0,92	0,92	100			
8	1935	54,06	0,84	0,84		20	80	
9	1615	53,12	0,73	0,73	100			
10	2045	54,06	0,89	0,89		50	50	
MÉDIA			0,79	0,87				

Onde:

S é a ruptura na superfície da argamassa;

S/A é a ruptura na interface substrato/argamassa;

A é a ruptura na argamassa;

F é a falha na colagem da peça metálica.

18/04/2013

~>

1	3	5	7	9
2	4	6	8	10

Planilha B29–Resistência Potencial de aderência à tração – Série E7 95/20

E7 95/20								
CP Nº	CARGA(N)	DIÂMETRO(mm)	TENSÃO (Mpa)	TENSÃO (Mpa)	FORMA DE RUPTURA (%)			
					S	S/A	A	F
1	1755	53,19	0,79	0,79*	100			
2	1535	51,65	0,73	0,73			100	
3	1020	53,79	0,45	0,45	100			
4	1310	52,46	0,61	0,61	100			
5	680	53,64	0,30	0,30*	100			
6	1100	53,06	0,50	0,50	100			
7	1310	52,96	0,59	0,59	100			
8	1645	53,23	0,74	0,74	100			
9	1105	52,81	0,50	0,50	100			
10	1175	52,87	0,54	0,54	100			
MÉDIA			0,57	0,58				

Onde:

S é a ruptura na superfície da argamassa;

S/A é a ruptura na interface substrato/argamassa;

A é a ruptura na argamassa;

F é a falha na colagem da peça metálica.

18/04/2013

~>

1	3	5	7	9
2	4	6	8	10

Planilha B30–Resistência Potencial de aderência à tração – Série E7 40/10

E7 40/10								
CP N°	CARGA(N)	DIÂMETRO(mm)	TENSÃO (Mpa)	TENSÃO (Mpa)	FORMA DE RUPTURA (%)			
					S	S/A	A	F
1	2360	53,91	1,03	1,03			100	
2	1870	54,3	0,81	0,81			100	
3	2035	56,68	0,81					100
4	2150	54,14	0,93					100
5	1880	53,93	0,82	0,82			100	
6	1865	53,62	0,83	0,83	100			
7	1850	53,46	0,82	0,82	100			
8	2050	53,95	0,90	0,90	100			
9	1675	53,24	0,75	0,75	100			
10	1600	55,02	0,67					100
MÉDIA			0,84	0,85				

Onde:

S é a ruptura na superfície da argamassa;

S/A é a ruptura na interface substrato/argamassa;

A é a ruptura na argamassa;

F é a falha na colagem da peça metálica.

18/04/2013

~>

1	3	5	7	9
2	4	6	8	10

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO

Planilha B31–Absorção de água por imersão

ARGAMASSA	PESO APÓS ESTUFA	PESO APÓS IMERSÃO		ABSORÇÃO	MÉDIA
E6 4020	428,89	477,91	49,02	11,43%	
	425,21	475,16	49,95	11,75%	
	427,78	477,47	49,69	11,62%	
			49,55		11,60%
E6,5 4020	411,76	463,76	52	12,63%	
	413,31	464,19	50,88	12,31%	
	414,78	466,67	51,89	12,51%	
			51,59		12,48%
E5,75 4020	426,13	475,28	49,15	11,53%	
	431,18	480,36	49,18	11,41%	
	430,07	478,13	48,06	11,17%	
			48,80		11,37%
			0		
E7 4010	435,6	497,39	61,79	14,19%	
	436,78	496,94	60,16	13,77%	
	441,63	502,78	61,15	13,85%	
			0		13,93%
			0		
E7 95 20	418,88	467,72	48,84	11,66%	
	417,75	468,75	51	12,21%	
	398,96	468,11	69,15	17,33%	
			0		13,73%
			0		
E7 95 40	391,88	434,15	42,27	10,79%	
	394,91	437,53	42,62	10,79%	
	419,33	432,76	13,43	3,20%	
			0		8,26%
			0		
			0		
E5,5 95 20	424,75	468,22	43,47	10,23%	
	418,78	460,32	41,54	9,92%	
	420,88	464,09	43,21	10,27%	
			0		10,14%
			0		
E5,5 40 10	445,78	499,68	53,9	12,09%	
	443,96	499,04	55,08	12,41%	
	446,51	500,53	54,02	12,10%	
			54,02		12,20%
E6 40 20 AG	426,94	474,3	47,36	11,09%	
	425,39	472,8	47,41	11,15%	
	423,2	471,08	47,88	11,31%	
			47,41		11,18%

ABSORÇÃO DE ÁGUA E COEFICIENTE DE CAPILARIDADE – ETAPA 02

Planilha B32–Coeficiente de capilaridade – Série 5,5 40/10

		TEMPO (min)								
		CP	0	5	10	20	40	60	90	120
					TEMP(°C): 23			UR(%): 49%		
E5,5 40 10	1	445,65	448,99	450,24	451,81	453,88	455,41	457,16	458,64	
	2	444,01	447,46	448,72	450,30	452,38	453,91	455,69	457,14	
	3	446,64	450,04	451,33	452,95	455,04	456,56	458,35	459,76	

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,21	0,29	0,39	0,51	0,61	0,72	0,81
	0,00	0,22	0,29	0,39	0,52	0,62	0,73	0,82
	0,00	0,21	0,29	0,39	0,53	0,62	0,73	0,82
	0,00	0,21	0,29	0,39	0,52	0,62	0,73	0,82

Absorção por capilaridade		E5,5 40 10							
(ABNT NBR-15259:2005)									
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)									
CP		10 min				90 min			
1		0,29				0,72			
2		0,29				0,73			
3		0,29				0,73			
Média		0,29				0,73			
Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})									
CP									
1						6,9			
2						7,0			
3						7,0			
Média						7,0			
Desvio Relat _{Max}						0,7%			

Planilha B33–Coeficiente de capilaridade – Série 5,5 95/20

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 24		UR(%): 55%			
E5,5 95 20	1	425,42	427,25	427,93	428,92	430,16	431,04	432,06	432,88
	2	420,44	422,20	422,86	423,81	425,03	425,90	426,87	427,65
	3	421,57	423,15	423,75	424,65	425,76	426,57	427,45	428,19

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,11	0,16	0,22	0,30	0,35	0,41	0,47
	0,00	0,11	0,15	0,21	0,29	0,34	0,40	0,45
	0,00	0,10	0,14	0,19	0,26	0,31	0,37	0,41
	0,00	0,11	0,15	0,21	0,28	0,34	0,39	0,44

Absorção por capilaridade		E5,5 95 20	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min		90 min
1	0,16		0,41
2	0,15		0,40
3	0,14		0,37
Média	0,15		0,39
CP	Coeficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})		
1	4,1		
2	4,0		
3	3,7		
Média	3,9		
Desvio Relat _{Max}	6,3%		

Planilha B34–Coeficiente de capilaridade – Série 5,75 40/20

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 24		UR(%): 55%			
E5,75 40/20	1	426,86	430,33	431,42	432,73	434,32	435,40	436,71	437,69
	2	431,69	434,64	435,68	436,86	438,39	439,48	440,75	441,79
	3	429,75	432,94	433,97	435,19	436,80	437,93	439,29	440,33

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,22	0,29	0,37	0,47	0,53	0,62	0,68
	0,00	0,18	0,25	0,32	0,42	0,49	0,57	0,63
	0,00	0,20	0,26	0,34	0,44	0,51	0,60	0,66
	0,00	0,20	0,27	0,34	0,44	0,51	0,59	0,66

Absorção por capilaridade	E5,75 40/20							
(ABNT NBR-15259:2005)								
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)								
CP	10 min			90 min				
1	0,29			0,62				
2	0,25			0,57				
3	0,26			0,60				
Média	0,27			0,59				
CP	Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})							
1	5,3							
2	5,1							
3	5,3							
Média	5,2							
Desvio Relat _{Max}	3,0%							

Planilha B35–Coeficiente de capilaridade – Série 6 40/20

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 22		UR(%): 49%			
E6 40/20	1	428,75	431,94	433,30	434,84	436,89	438,26	439,90	441,01
	2	426,17	429,56	430,90	432,49	434,46	435,81	437,53	438,64
	3	428,13	431,69	433,07	434,74	436,84	438,21	439,91	441,01

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,20	0,28	0,38	0,51	0,59	0,70	0,77
	0,00	0,21	0,30	0,40	0,52	0,60	0,71	0,78
	0,00	0,22	0,31	0,41	0,54	0,63	0,74	0,81
	0,00	0,21	0,30	0,40	0,52	0,61	0,71	0,78

Absorção por capilaridade		E6 40/20	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min		90 min
1	0,28		0,70
2	0,30		0,71
3	0,31		0,74
Média	0,30		0,71
CP	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})		
1	6,6		
2	6,6		
3	6,8		
Média	6,7		
Desvio Relat _{Max}	2,2%		

Planilha B36–Coeficiente de capilaridade – Série 6,5 40/20

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 23		UR(%): 56%			
E6,5 40/20	1	412,67	416,95	418,79	420,58	423,23	425,10	427,10	428,78
	2	414,53	419,01	420,86	422,64	425,22	427,01	429,04	430,60
	3	414,83	418,67	420,36	422,00	424,46	426,16	428,18	429,76

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,27	0,38	0,49	0,66	0,78	0,90	1,01
	0,00	0,28	0,40	0,51	0,67	0,78	0,91	1,00
	0,00	0,24	0,35	0,45	0,60	0,71	0,83	0,93
	0,00	0,26	0,37	0,48	0,64	0,76	0,88	0,98

Absorção por capilaridade	E6,5 40/20							
(ABNT NBR-15259:2005)								
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)								
CP	10 min				90 min			
1	0,38				0,90			
2	0,40				0,91			
3	0,35				0,83			
Média	0,37				0,88			
Coefficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})								
CP								
1	8,3							
2	8,2							
3	7,8							
Média	8,1							
Desvio Relat_{Max}	3,5%							

Planilha B37–Coeficiente de capilaridade – Série 7 40/10

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 23		UR(%): 51%			
E740/10	1	436,06	441,15	443,05	445,66	449,03	451,50	454,42	456,69
	2	436,01	441,14	443,17	445,80	449,07	451,41	454,28	456,50
	3	448,06	448,06	450,16	452,89	456,36	458,86	461,81	464,08

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,32	0,44	0,60	0,81	0,97	1,15	1,29
	0,00	0,32	0,45	0,61	0,82	0,96	1,14	1,28
	0,00	0,00	0,13	0,30	0,52	0,68	0,86	1,00
	0,00	0,21	0,34	0,50	0,72	0,87	1,05	1,19

Absorção por capilaridade E740/10									
(ABNT NBR-15259:2005)									
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)									
CP	10 min				90 min				
1	0,44				1,15				
2	0,45				1,14				
3	0,13				0,86				
Média	0,34				1,05				
Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})									
1					11,4				
2					11,1				
3					11,7				
Média					11,4				
Desvio Relat _{Max}					2,4%				

Planilha B38—Coeficiente de capilaridade – Série 7 95/20

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 23		UR(%): 53%			
E7 95 20	1	419,91	423,62	424,77	426,01	427,55	428,60	429,83	430,73
	2	419,59	422,92	424,14	425,71	427,54	428,82	430,22	431,31
	3	420,20	423,33	424,41	425,85	427,50	428,53	429,71	430,58

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,23	0,30	0,38	0,48	0,54	0,62	0,68
	0,00	0,21	0,28	0,38	0,50	0,58	0,66	0,73
	0,00	0,20	0,26	0,35	0,46	0,52	0,59	0,65
	0,00	0,21	0,28	0,37	0,48	0,55	0,63	0,69

Absorção por capilaridade		E7 95 20	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min		90 min
1	0,30		0,62
2	0,28		0,66
3	0,26		0,59
Média	0,28		0,63
CP	Coeficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})		
1	5,1		
2	6,1		
3	5,3		
Média	5,5		
Desvio Relat _{Max}	10,9%		

APÊNDICES ETAPA 03

TEOR DE AR INCORPORADO E DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO FRESCO

Planilha C1–Teor de ar e densidade de massa – Série E6 40/10

	cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm ³)	densidade (g/cm ³)	dt	teor de ar incorporado (%)	vane
30 MIN	66	1202,4	450,94	399,04	1,88	2,12	11%	15
	61	1199,3	449,31	396,87	1,89	2,12	11%	16
	63	1205,2	455,25	395,48	1,90	2,12	11%	16
	63				1,89		11%	16
3 HORAS								
	50	1215,79	450,94	399,04	1,92	2,12	10%	27
	52	1216,63	455,25	395,48	1,93	2,12	9%	27
	51				1,93		10%	27
6 HORAS	42	1211,41	449,31	396,87	1,92	2,12	10%	39
	37	1215,81	455,25	395,48	1,92	2,12	10%	36
	40				1,92		10%	38
6 horas com lâmina								
	56	1220,11	450,94	399,04	1,93	2,12	9%	14
	56	1211,49	449,31	396,87	1,92	2,12	10%	14
	56				1,93		10%	14

Planilha C2–Teor de ar e densidade de massa – Série E6 40/20 – sem lâmina

E		cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm ³)	densidade (g/cm ³)	dt	teor de ar incorporado (%)	vane
6,00	40 20								
	30 MIN	66	1177	450,94	399,04	1,82	2,14	15%	16
		68	1163,3	449,31	396,87	1,80	2,14	16%	16
		64	1171,6	455,25	395,48	1,81	2,14	16%	16
		66				1,81		16%	16,00
SEM LÂMINA	3 horas								
		50	1178,41	449,31	396,87	1,84	2,14	14%	22
		53	1187,06	455,25	395,48	1,85	2,14	14%	21
		52				1,85		14%	22
SEM LÂMINA	6 horas	48	1195,25	450,94	399,04	1,87	2,14	13%	39
		47	1189,14	449,31	396,87	1,86	2,14	13%	40
		48				1,87		13%	40
SEM LÂMINA	8 horas								
		39	1198,54	450,94	399,04	1,87	2,14	13%	31
		38	1192,26	449,31	396,87	1,87	2,14	13%	32
		39				1,87		13%	32
COM CORREÇÃO	8 horas								
		62	1190,44	450,94	399,04	1,85	2,14	14%	22
		61	1179,65	449,31	396,87	1,84	2,14	14%	21
		62				1,85		14%	22

Planilha C3–Teor de ar e densidade de massa – Série E6 40/20 – com lâmina

E		cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm ³)	densidade (g/cm ³)	dt	teor de ar incorporado (%)	vane
6,00	40 20								
COM LÂMINA	4 horas								
		55	1190,7	450,94	399,04	1,85	2,14	14%	18
		57	1187,54	455,25	395,48	1,85	2,14	14%	17
		56				1,85		14%	18
COM LÂMINA	8 horas								
		61	1199,39	449,31	396,87	1,89	2,14	12%	16
		58	1197,37	450,94	399,04	1,87	2,14	13%	16
		60				1,88		13%	16

Planilha C4–Teor de ar e densidade de massa – Série E6 95/20 – sem lâmina

E		Massa específica (g/cm³)	cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm³)	densidade (g/cm³)	dt	teor de ar incorporado (%)	vane
6,00	95 20	2,64								
	PREPARO		66	1161,3	450,94	399,04	1,78	2,17	18%	
			63	1155,2	449,31	396,87	1,78	2,17	18%	
			63	1161,3	455,25	395,48	1,79	2,17	18%	
			64				1,78		18%	
SEM LÂMINA	30 MIN		51	1164,7	450,94	399,04	1,79	2,17	18%	31
			51	1156,6	449,31	396,87	1,78	2,17	18%	35
			51	1166,9	455,25	395,48	1,80	2,17	17%	36
			51				1,79		18%	34,00
SEM LÂMINA	3 HORAS		32	1194,72	450,94	399,04	1,86	2,17	14%	73
			34	1177,72	449,31	396,87	1,84	2,17	15%	72
			33				1,85		15%	73
CORREÇÃO DE ÁGUA	4 horas									
			57	1181,42	455,25	395,48	1,84	2,17	15%	31
			59	1190,4	450,94	399,04	1,85	2,17	15%	32
			58				1,85		15%	32
CORREÇÃO DE ÁGUA	8 HORAS									
			62	1178,48	449,31	396,87	1,84	2,17	15%	26
			60	1192,95	449,31	396,87	1,87	2,17	14%	27
			61				1,86		15%	27
CORREÇÃO DE ÁGUA	12 HORAS									
			61	1188,72	450,94	399,04	1,85	2,17	15%	32
			58	1193,96	455,25	395,48	1,87	2,17	14%	33
			60				1,86		15%	33
CORREÇÃO DE ÁGUA	24 HORAS									
			62	1199,3	450,94	399,04	1,88	2,17	13%	32
			59	1196,9	449,31	396,87	1,88	2,17	13%	34
			61				1,88		13%	33

Planilha C5–Teor de ar e densidade de massa – Série E6 95/20 – com lâmina

E		Massa específica (g/cm³)	cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm³)	densidade (g/cm³)	dt	teor de ar incorporado (%)	vane
6,00	95 20									
	PREPARO		66	1161,3	450,94	399,04	1,78	2,17	18%	
			63	1155,2	449,31	396,87	1,78	2,17	18%	
			63	1161,3	455,25	395,48	1,79	2,17	18%	
			64				1,78		18%	
SEM LÂMINA	30 MINUTOS		51	1164,7	450,94	399,04	1,79	2,17	18%	31
			51	1156,6	449,31	396,87	1,78	2,17	18%	35
			51	1166,9	455,25	395,48	1,80	2,17	17%	36
			51				1,79		18%	34,00
SEM LÂMINA	4 HORAS		32	1194,72	450,94	399,04	1,86	2,17	14%	73
			34	1177,72	449,31	396,87	1,84	2,17	15%	72
			33				1,85		15%	73
COM LÂMINA	8 HORAS									
			34	1186,02	450,94	399,04	1,84	2,17	15%	61
			36	1172,86	449,31	396,87	1,82	2,17	16%	60
			35				1,83		16%	61
COM LÂMINA	12 HORAS									
			32	1193,55	449,31	396,87	1,88	2,17	13%	59
			34	1192	450,94	399,04	1,86	2,17	14%	60
			33				1,87		14%	60
COM LÂMINA	24 HORAS									
			38	1211,1	450,94	399,04	1,90	2,17	13%	45
			41	1198,92	449,31	396,87	1,89	2,17	13%	49
			40				1,90		13%	47
COM LÂMINA	32 HORAS									
			30	1204,2	450,94	399,04	1,89	2,17	13%	69
			30	1197,51	449,31	396,87	1,89	2,17	13%	70
			30				1,89		13%	70

RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO – Etapa 03

Planilha C6–Resistência à compressão – Séries E6 40/20 e 40/10

PLANILHA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E 6 ESTABILIZAÇÃO					
CARGA (N)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
40 20					
13870	8,7		-0,8		
12500	7,8	9,5	-1,7	10,1	
15580	9,7		0,2		-0,4
16110	10,1		0,6		0,0
16240	10,2		0,7		0,1
16560	10,4		0,9		0,3
SEM LÂMINA					
40 20					
15960	10,0		0,3		-0,1
16440	10,3	9,7	0,6	10,2	0,2
14040	8,8		-0,9		
com correção					
40 20					
16430	10,3		0,2		
15630	9,8	10,1	-0,3		
16350	10,2		0,1		
COM LÂMINA					
40 20					
10730	6,7		-0,4		
11910	7,4	7,1	0,3		
11450	7,2		0,1		
40 10					
15490	9,7		0,7		0,2
14470	9,0	9,0	0,0	9,5	-0,5
10650	6,7		-2,3		
15510	9,7		0,7		0,2
15170	9,5		0,5		0,0
15310	9,6		0,6		0,1
SEM LÂMINA					
40 10					
14850	9,3		0,6		
13630	8,5	8,7	-0,2	8,5	0,1
13470	8,4		-0,3		-0,0
COM LÂMINA					
40 10					
12560	7,9		0,4		-0,2
10050	6,3	7,5	-1,2	8,1	
13170	8,2		0,7		0,1

Planilha C7–Resistência à compressão – Séries E6 95/20

PLANILHA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E 6 - Etapa 03					
CARGA (N)	C	C MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	C MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
95 20 preparo					
10910	6,8		0,3		
9992	6,2	6,5	-0,3		
5110	3,2		0,1		-0,3
3970	2,5		-0,6	2,9	0,4
6170	3,9	3,1	0,8		0,2
4900	3,1		0,0		
13600	8,5		0,0		-0,4
15340	9,6	8,5	1,1	8,1	
12530	7,8		-0,6		0,3
12720	8,0		-0,5		0,1
1 CORREÇÃO					
1700	1,1		0,1		
1590	1,0	1,1	0,1		
2110	1,3		-0,2		
2 CORREÇÃO					
5650	3,5		-0,5		
4000	2,5	3,0	0,5		
3 CORREÇÃO					
14710	9,2		1,1		
17790	11,1	10,3	-0,8	10,8	-0,3
16820	10,5		-0,2		0,3
4 CORREÇÃO					
13160	8,2		0,0		
13100	8,2	8,2	0,0		
13220	8,3		0,0		
95 20 com lâmina 8 HORAS					
12650	7,9		3,1		
19230	12,0	11,0	-1,0	12,5	0,5
20870	13,0		-2,1		-0,5
95 20 com lâmina 12 HORAS					
11830	7,4		-0,1		
11470	7,2	7,3	0,1		
11660	7,3		0,0		
95 20 com lâmina 24 HORAS					
14090	8,8		-0,4		0,1
11790	7,4	8,4	1,0	8,9	
14460	9,0		-0,6		-0,1
95 20 com lâmina 32 HORAS					
15570	9,7		0,2		
16220	10,1	9,6	0,6	9,6	
15680	9,8		0,2		
14460	9,0		-0,5		
15420	9,6		0,1		
14400	9,0		-0,6		

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO – ETAPA 03

Planilha C8–Resistência à tração na flexão – Séries E6 40/20 e 40/10

PLANILHA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E 6 - Etapa 03					
CARGA (N)	TF	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
40 10 preparo					
1050	2,4		0,2		
920	2,1	2,2	-0,1		
940	2,2		0,0		
40 10 sem lâmina					
1080	2,5		0,6		0,2
860	2,0	1,9	0,1	2,3	-0,3
580	1,3		-0,6		
40 10 com lâmina					
370	0,8		0,2		
180	0,4	0,6	-0,2		
40 20 preparo					
1230	2,8		0,1		
1200	2,7	2,7	0,0		
1190	2,7		0,0		
4020 sem lâmina					
1130	2,6		-0,2		
1200	2,7	2,8	-0,1		
1320	3,0		0,2		
4020 com correção d água					
1340	3,1		0,2		
1200	2,7	2,9	-0,2		
1210	2,8		-0,1		
40 20 com lâmina					
1030	2,4		0,3		
790	1,8	2,1	-0,3		
940	2,2		0,1		

Planilha C9–Resistência à tração na flexão – Séries E6 95/20

PLANILHA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E 6 95/20 - Etapa 03					
CARGA (N)	TF	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
95 20 preparo					
640	1,5		-0,5		
1000	2,3	2,0	0,3	2,3	0,0
980	2,2		0,2		0,1
1 CORREÇÃO					
220	0,5		0,5		
2 CORREÇÃO					
470	1,1		0,1		
450	1,0	1,1	-0,1		
3 CORREÇÃO					
950	2,2		-0,6		
1420	3,2	2,8	0,4	3,1	-0,1
1290	3,0		0,2		0,1
4 CORREÇÃO					
1180	2,7		-0,1		-0,1
1050	2,4	2,4	-0,4	2,6	0,2
980	2,2		-0,6		
95 20 com lâmina 8 HORAS					
1290	3,0		0,1		
1210	2,8	2,9	-0,1		
1210	2,8		-0,1		
95 20 com lâmina 12 HORAS					
560	1,3		-0,5		
1030	2,4	1,8	0,6	2,1	-0,3
790	1,8		0,0		0,3
95 20 com lâmina 24 HORAS					
1030	2,4		-0,1		0,0
1010	2,3	2,5	-0,2	2,4	0,1
1280	2,9		0,4		
95 20 com lâmina 32 HORAS					
1160	2,7		0,3		
1030	2,4	2,4	0,0		
910	2,1		-0,3		

APÊNDICES ETAPA 04 A

Planilha D1 – Densidade de massa no estado fresco e teor de ar incorporado - AM

	Massa específica (g/cm³)	cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm³)	densidade (g/cm³)	dt	teor de ar incorporado (%)	FLOW	slump	vane
E6 40/20 AM	2,64										
PREPARO		61	1164,5	450,94	399,04	1,79	2,18	18%			
		65	1172	449,31	396,87	1,82	2,18	17%			
		62	1171,1	455,25	395,48	1,81	2,18	17%			
		63				1,81		17%			
30 min		60	1170,5	450,94	399,04	1,80	2,18	17%	272		27
		56	1169,5	449,31	396,87	1,81	2,18	17%	273		27
		55	1178,7	455,25	395,48	1,83	2,18	16%	276		30
		57				1,81		17%	274	11,0	28

Planilha D2 – Retenção de água

Argamassa	Teor de água (g)	Argamassa anidra	Af	Massa da amostra (g)	Massa da amostra após a sucção (g)	Água succionada (g)	Água na amostra (g) (af*massa argamassa anidra)	Água retida (g)	Cálculo simplificado (água retida/água na amostra)	Norma Abnt nbr 13277/2005 (fórmula da norma)
E6 40 20 AF	6310	39984	0,14	2312,14	2266,74	45,4	315,15	269,75	86%	71%
E6 40 20 AM	5910	40000	0,13	2268,1	2217,9	50,2	291,97	241,77	83%	64%

Resistência à tração na flexão – Etapa 04 A

Planilha D3 – Resistência à tração na flexão – E6 40/20 AF

PLANILHA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E6 - ETAPA 02					
CARGA (N)	TF	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
40 20					
1010	2,3		-0,3		-0,2
1310	3,0	2,6	0,4	2,5	
1140	2,6		0,0		0,1

Planilha D4 – Resistência à tração na flexão – E6 40/20 AM

PLANILHA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E6 40 20 AC			
CARGA (N)	TF	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
40 20 AG			
1040	2,4		0,2
880	2,0	2,2	-0,2
1000	2,3		0,1

Resistência à compressão – Etapa 04 A

Planilha D5 – Resistência à compressão – E6 40/20 AF

PLANILHA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E 6 - ETAPA 02					
CARGA (N)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
40 20					
12970	8,1		-0,8		-0,3
14200	8,9	8,9	0,0	8,4	0,5
15360	9,6		0,7		
16260	10,2		1,3		
13610	8,5		-0,4		0,1
12870	8,0		-0,9		-0,4

Planilha D6 – Resistência à tração na flexão – E6 40/20 AM

PLANILHA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E 6 40/20 AG					
CARGA (N)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
40 20					
10740	6,7		-0,9		
10860	6,8	7,6	-0,8	8,1	
13260	8,3		0,7		0,2
12200	7,6		0,0		-0,5
13560	8,5		0,9		0,4
12610	7,9		0,3		-0,2

RESISTÊNCIA POTENCIAL DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Planilha D7 – Resistência potencial de aderência à tração na flexão – E6 40/20 AF

E6 40/20								
CP Nº	CARGA(N)	DIÂMETRO(mm)	TENSÃO (Mpa)	TENSÃO (Mpa)	FORMA DE RUPTURA (%)			
					S	S/A	A	F
1	1140	52,1	0,53	0,53	100			
2	1665	53,64	0,74	0,74	100			
3	2080	53,35	0,93	0,93	100			
4	1660	52,35	0,77	0,77	100			
5	1815	54,22	0,79	0,79		100		
6	1570	52,88	0,71	0,71	100			
7	2325	54,47	1,00	1,00*		100		
8	1580	52,46	0,73	0,73	100			
9	1750	52,37						100
10	1105	53,02	0,50	0,50*	100			
MÉDIA			0,74	0,74				

Onde:
 S é a ruptura na superfície da argamassa;
 S/A é a ruptura na interface substrato/argamassa;
 A é a ruptura na argamassa;
 F é a falha na colagem da peça metálica.

18/04/2013

~>

1	3	5	7	9
2	4	6	8	10

Planilha D8 – Resistência potencial de aderência à tração na flexão – E6 40/20 AM

E6 40/20 AM								
CP N°	CARGA(N)	DIÂMETRO(mm)	TENSÃO (Mpa)	TENSÃO (Mpa)	FORMA DE RUPTURA (%)			
					S	S/A	A	F
1	1935	54,07	0,84	0,84	100			
2	2200	53,96	0,96	0,96			100	
3	1855	53,3	0,83	0,83	100			
4	2535	50,90	1,25	1,25*	100			
5	2115	54,33	0,91	0,91	100			
6	1935	54,2	0,84	0,84	100	100		
7	1865	54,58	0,80	0,80		100		
8	1795	52,05	0,84	0,84	100			
9	1670	54,73	0,71	0,71	100			
10	1790	52,43	0,83	0,83	100			
MÉDIA			0,88	0,84				

Onde:

S é a ruptura na superfície da argamassa;
 S/A é a ruptura na interface substrato/argamassa;
 A é a ruptura na argamassa;
 F é a falha na colagem da peça metálica.

18/04/2013

~>

1	3	5	7	9
2	4	6	8	10

VARIAÇÃO DIMENSIONAL

Planilha D9 – Variação dimensional

Dia	E6 AM	E6 AF
	40/20	40/20
2	0,14	0,07
4	0,72	0,16
7	0,96	0,87
9	0,80	1,02
11	0,80	1,04
14	0,80	1,03
16	0,91	1,19
18	0,97	1,09
21	0,80	1,11
23	0,99	1,38
25	0,99	1,15
28	0,94	1,06

Coeficientes de Capilaridade – Etapa 04 A

Planilha D10 – Coeficiente de capilaridade – Série E6 40/20 AF

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
		TEMP(°C): 22				UR(%): 49%			
E6 40/20	1	428,75	431,94	433,30	434,84	436,89	438,26	439,90	441,01
	2	426,17	429,56	430,90	432,49	434,46	435,81	437,53	438,64
	3	428,13	431,69	433,07	434,74	436,84	438,21	439,91	441,01

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,20	0,28	0,38	0,51	0,59	0,70	0,77
	0,00	0,21	0,30	0,40	0,52	0,60	0,71	0,78
	0,00	0,22	0,31	0,41	0,54	0,63	0,74	0,81
	0,00	0,21	0,30	0,40	0,52	0,61	0,71	0,78

Absorção por capilaridade		E6 40/20	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm²)			
CP	10 min	90 min	
1	0,28	0,70	
2	0,30	0,71	
3	0,31	0,74	
Média	0,30	0,71	
Coeficiente de capilaridade (kg/m² . min^{1/2})			
CP			
1	6,6		
2	6,6		
3	6,8		
Média	6,7		
Desvio Relat _{Max}	2,2%		

Planilha D11 – Coeficiente de capilaridade – Série E6 40/20 AM

	CP	TEMPO (min)							
		0	5	10	20	40	60	90	120
				TEMP(°C): 22		UR(%): 49%			
E6 40/20 AG	1	430,13	433,52	434,72	436,26	438,24	439,70	441,24	442,45
	2	428,72	431,49	432,57	434,10	436,05	437,47	438,99	440,14
	3	426,60	429,09	430,26	431,86	433,93	435,44	437,05	438,29

	RAIZ DO TEMPO (min)							
	0,000	2,236	3,162	4,472	6,325	7,746	9,487	10,954
ABSORÇÃO DE ÁGUA (g)	0,00	0,21	0,29	0,38	0,51	0,60	0,69	0,77
	0,00	0,17	0,24	0,34	0,46	0,55	0,64	0,71
	0,00	0,16	0,23	0,33	0,46	0,55	0,65	0,73
	0,00	0,18	0,25	0,35	0,47	0,57	0,66	0,74

Absorção por capilaridade		E6 40/20 AG	
(ABNT NBR-15259:2005)			
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)			
CP	10 min		90 min
1	0,29		0,69
2	0,24		0,64
3	0,23		0,65
Média	0,25		0,66
Coeficiente de capilaridade (kg/m ² . min ^{1/2})			
1	6,5		
2	6,4		
3	6,8		
Média	6,6		
Desvio Relat _{Max}	3,2%		

APÊNDICES ETAPA 04 B

Planilha E1 – Densidade de massa e teor de ar incorporado – sem lâmina

AD2	cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm ³)	densidade (g/cm ³)	dt	teor de ar incorporado (%)	vane
95 20								
PREPARO	60	1176,63	450,94	399,04	1,82	2,16	16%	
	61	1170,81	449,31	396,87	1,82	2,16	16%	
	62	1181,6	455,25	395,48	1,84	2,16	15%	
	61				1,83		16%	
30 MIN.	60	1176,63	450,94	399,04	1,82	2,16	16%	21
	61	1170,81	449,31	396,87	1,82	2,16	16%	22
	62	1181,6	455,25	395,48	1,84	2,16	15%	24
	61				1,83		16%	22
4 HORAS	40	1188,46	450,94	399,04	1,85	2,16	14%	52
	42	1185,69	449,31	396,87	1,86	2,16	14%	47
	41				1,86		14%	50
	61	1161,18	450,94	399,04	1,78	2,16	18%	18
	60	1161,94	449,31	396,87	1,80	2,16	17%	19
	61				1,79		18%	19
8 HORAS								
	62	1178,48	450,94	399,04	1,82	2,16	16%	19
	60	1192,95	449,31	396,87	1,87	2,16	14%	21
	61				1,85		15%	20
12 HORAS								
	61	1168,26	450,94	399,04	1,80	2,16	17%	20
	62	1165,09	455,25	395,48	1,79	2,16	17%	21
	62				1,80		17%	21
24 HORAS								
	61	1180,02	450,94	399,04	1,83	2,16	15%	27
	58	1181,77	455,25	395,48	1,84	2,16	15%	26
	60				1,84		15%	27

Planilha E2 – Densidade de massa e teor de ar incorporado – com lâmina

AD2	cone	massa + rec. (g)	massa rec. (g)	volume (cm ³)	densidade (g/cm ³)	dt	teor de ar incorporado (%)	vane
95 20								
8 horas								
	40	1184,77	450,94	399,04	1,84	2,16	15%	50
	45	1186,75	449,31	396,87	1,86	2,16	14%	40
	43				1,85		15%	45
12 horas								
	36	1205,4	450,94	399,04	1,89	2,16	13%	48
	34	1198,41	449,31	396,87	1,89	2,16	13%	49
	35				1,89		13%	49
24 horas								
	36	1196,77	450,94	399,04	1,87	2,16	14%	46
	35	1189,92	449,31	396,87	1,87	2,16	14%	47
	36				1,87		14%	47
32 horas								
	34	1196,77	450,94	399,04	1,87	2,16	14%	70
	27	1189,92	449,31	396,87	1,87	2,16	14%	69
	31				1,87		14%	70

Resistência à tração na flexão

Planilha E3 – Resistência à tração na flexão – AD2

PLANILHA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E 6 95/20 - AD 2 - Etapa 03					
CARGA (N)	TF	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	TF MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
95 20 preparo AD 2					
1290	3,0		-0,2		0,0
1290	3,0	3,2	-0,2	3,0	0,0
1560	3,6		0,4		
95 20 4 HORAS SEM LÂMINA					
1340	3,1		0,0		
1370	3,1	3,1	0,0		
1420	3,2		0,1		
1 CORREÇÃO					
1180	2,7		0,2		-0,1
1100	2,5	2,9	0,4	2,6	0,1
1530	3,5		-0,6		
2 CORREÇÃO					
1160	2,7		0,1		
1280	2,9	2,8	-0,1		
1170	2,7		0,1		
3 CORREÇÃO					
960	2,2		-0,2		
1200	2,7	2,4	0,3		
1000	2,3		-0,1		
4 CORREÇÃO					
870	2,0		0,0		
770	1,8	2,0	-0,2		
900	2,1		0,1		
95 20 com lâmina 8 HORAS					
1450	3,3		0,2		
1280	2,9	3,1	-0,2		
1360	3,1		0,0		
95 20 com lâmina 12 HORAS					
1300	3,0		0,0		
1400	3,2	3,0	0,2		
1200	2,7		-0,3		
95 20 com lâmina 24 HORAS					
850	1,9		-0,2		
1010	2,3	2,1	0,2		
860	2,0		-0,1		
95 20 com lâmina 32 HORAS					
1030	2,4		-0,1		
1030	2,4	2,5	-0,1		
1190	2,7		0,2		

Planilha E4 – Resistência à compressão – AD2

PLANILHA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E 6 95/20 AD 2 - Etapa 03					
CARGA (N)	C	C MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO	C MÉDIA	DESVIO ABSOLUTO MÁXIMO
95 20 AD 2 -preparo					
17380	10,9		-1,2		
18400	11,5	12,1	-0,6	12,0	-0,5
19800	12,4		0,3		0,4
19580	12,2		0,1		0,2
19200	12,0		-0,1		0,0
21530	13,5		1,4		
4 HORAS SEM LÂMINA					
17860	11,2		0,6		0,2
18400	11,5	11,8	0,3	11,4	-0,2
20340	12,7		-0,9		
1 CORREÇÃO					
16480	10,3		-0,6		
15010	9,4	9,7	0,3	9,5	0,1
15180	9,5		0,2		-0,1
2 CORREÇÃO					
15230	9,5		-0,7		0,1
15470	9,7	8,8	-0,9	9,6	-0,1
11490	7,2		1,6		
3 CORREÇÃO					
14710	9,2		1,1		
17790	11,1	10,3	-0,8	10,8	-0,3
16820	10,5		-0,2		0,3
4 CORREÇÃO					
10170	6,4		-0,3		0,3
11170	7,0	6,1	-0,9	6,7	-0,3
7640	4,8		1,3		
95 20 com lâmina 8 HORAS					
16420	10,3		0,1		
16730	10,5	10,4	-0,1		
16490	10,3		0,1		
95 20 com lâmina 12 HORAS					
15990	10,0		0,5		0,1
16270	10,2	10,5	0,3	10,1	-0,1
18100	11,3		-0,8		
95 20 com lâmina 24 HORAS					
15500	9,7		-0,6		-0,1
14960	9,4	9,1	-0,3	9,6	0,2
13060	8,2		0,9		
95 20 com lâmina 32 HORAS					
15250	9,5		0,3		-0,3
14550	9,1	9,2	-0,1	9,2	0,1
13900	8,7		-0,5		0,5
15350	9,6		0,4		-0,4
13290	8,3		-0,9		
16220	10,1		0,9		