

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Juliana Pippi Antoniazzi

**O EFEITO DOS ADITIVOS INCORPORADOR DE AR E
ESTABILIZADOR DE HIDRATAÇÃO NAS PROPRIEDADES DAS
ARGAMASSAS ESTABILIZADAS**

**Santa Maria, RS, Brasil
2019**

Juliana Pippi Antoniazzi

**O EFEITO DOS ADITIVOS INCORPORADOR DE AR E ESTABILIZADOR DE
HIDRATAÇÃO NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS ESTABILIZADAS**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do título de **Doutora em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Gihad Mohamad
Co-orientador: Prof. Dra. Juliana Machado Casali

Santa Maria, RS, Brasil,
2019

Antoniazzi, Juliana Pippi

O EFEITO DOS ADITIVOS INCORPORADOR DE AR E
ESTABILIZADOR DE HIDRATAÇÃO NAS PROPRIEDADES DAS
ARGAMASSAS ESTABILIZADAS / Juliana Pippi Antoniazzi.-
2019.

258 p.; 30 cm

Orientador: Gihad Mohamad

Coorientadora: Juliana Machado Casali

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2019

1. Argamassa estabilizada 2. Aditivo incorporador de
ar 3. Aditivo estabilizador de hidratação I. Mohamad,
Gihad II. Casali, Juliana Machado III. Título.

Juliana Pippi Antoniazzi

**O EFEITO DOS ADITIVOS INCORPORADOR DE AR E ESTABILIZADOR DE
HIDRATAÇÃO NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS ESTABILIZADAS**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do título de **Doutora em Engenharia Civil**.

Aprovado em 13 de dezembro de 2019:

Gihad Mohamad, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Juliana Machado Casali, Dra. (IFSC)
(Co-orientadora)

Eduardo Pereira, Dr. (UEPG)

Luis Eduardo Azevedo Modler, Dr. (UFFS)

Alexandre Silva de Vargas, Dr. (UFSM)

André Lübeck, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2019

DEDICATÓRIA

Ao meu amado filho **Felipe**,
maior benção, prova de amor e de fé que Deus poderia me dar.

Todo o meu esforço e a minha dedicação para a conclusão desse estudo se tornaram ínfimos frente a tua batalha pela vida, meu filho. Tu me tornaste mãe e, por ti, me tornei uma fortaleza. Se hoje tenho forças para vencer mais essa etapa, podes ter certeza que é por ti, meu pequeno grande guerreiro.

AGRADECIMENTOS

A conclusão dessa etapa importante da minha vida só foi possível com apoio, incentivo, dedicação e compreensão de muitas pessoas especiais, sem as quais o trabalho se tornaria muito mais árduo. Com o coração repleto de gratidão, gostaria de agradecer a todos que, de alguma forma, contribuíram ao longo dessa trajetória. Em especial agradeço:

A **Deus**, por estar presente em todos os momentos da minha vida, ensinando-me a ser forte e a nunca perder a fé, estendendo-me a mão e me mostrando o que realmente importa nessa caminhada.

Ao meu filho **Felipe**, amor da minha vida, luz e alegria dos meus dias, obrigada pela compreensão quando precisei abdicar do nosso tempo juntos. Agradeço por seres exatamente como és, ensinando-me, a cada dia, a ser uma pessoa melhor, por ti e para ti sempre. Obrigada por tantos ensinamentos que, mesmo tão pequeno, já me trouxeste nessa vida.

Ao meu esposo **Luiz Henrique**, por ser meu parceiro de vida e por dividir comigo sonhos e expectativas. Pelo amor, companheirismo, incentivo e compreensão durante mais essa etapa. Juntos, vencemos tanta coisa, por nós, pela nossa família, pelo nosso amor.

Aos meus pais **Helena e Osvaldo**, pelo amor incondicional, por serem minha rede de apoio, pelo acolhimento e ajuda em todos os momentos da vida. Obrigada pela educação e caráter, por me auxiliarem a chegar onde hoje me encontro, além de tantos outros ensinamentos que me foram dados.

Aos meus irmãos **Simone, Raquel e Roberto**, por toda a ajuda e amor que sempre me deram, por serem inspiração para mim. Obrigada por me motivarem a crescer e a alcançar meus objetivos, por serem, muitas vezes, meus pais, por me erguerem nos momentos mais difíceis. Sorte a minha ter irmãos e melhores amigos como vocês. Um agradecimento especial à minha irmã Raquel por toda a paciência e ajuda na análise dos dados.

Aos meus cunhados **Luiz Felipe, Fabrício, Carolina e Caroline**, por serem também meus irmãos de coração, pela amizade, carinho e parceria de sempre.

Aos meus sobrinhos **Natália, Anna, Miguel, Laura, Emilia e Olivia**, pelo amor, alegria, risadas e leveza que trazem aos meus dias.

Aos meus sogros **Paulo e Ana**, pelo incentivo e carinho de sempre.

Ao meu orientador **Gihad Mohamad**, pela oportunidade que me foi dada, pela amizade, pelo apoio, pelo conhecimento compartilhado e por todas as orientações. Obrigada por ser essa pessoa de coração tão grande e por sempre me fazer acreditar que tudo daria certo.

À minha co-orientadora **Juliana Machado Casali**, pela disponibilidade e dedicação, por todas as contribuições ao meu trabalho, ainda que em licença maternidade. Obrigada pela compreensão e amizade.

Aos professores **Eduardo Pereira**, **Luis Eduardo Azevedo Modler**, **Alexandre Vargas** e **André Lubeck** pelo aceite ao convite de composição da banca examinadora.

A todas as **minhas amigas**, especialmente à **Laura** e à **Luiza**, minhas primas, irmãs de coração, amigas de uma vida inteira. Obrigada pelo amor, amizade, cumplicidade e companheirismo. Obrigada por estarem ao meu lado, sempre juntas.

Aos **colegas do Departamento de Expressão Gráfica (DEPG)** e da **Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)**, pelo apoio, amizade e compreensão. Agradeço, com carinho, aos meus colegas de sala **Raquel** e **Roberto**, pela amizade e ajuda, pelos debates conjuntos e pela aceitação da climatização da nossa sala de trabalho para a realização dos ensaios. Obrigada, **Raquel**, por todo o apoio, troca de conhecimentos e parceria nos artigos.

Aos **colegas, professores e servidores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC)**, pelos estudos, pela parceria, pela amizade, pelo conhecimento adquirido e pela oportunidade de convívio. Aos alunos de graduação, **Ruan**, **Débora** e **Tainá**, pela auxílio e dedicação com a minha pesquisa.

À **Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)** e ao **Centro de Tecnologia (CT)** pelo apoio e pela infraestrutura. Ao **Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC)** e **seus servidores**, pela ajuda e prestatividade na realização dos ensaios. Ao **Laboratório de Física dos Solos do Centro de Ciências Rurais (CCR)**, **seus funcionários e acadêmicos**, pela disponibilidade e auxílio na utilização do reômetro.

À **Universidade Federal do Pampa (Unipampa) – Campus Alegrete**, na **pessoa do Engenheiro Marcelo**, pela infraestrutura e auxílio na realização dos ensaios.

Aos **demais** que, direta ou indiretamente, contribuíram para essa pesquisa, o meu muito obrigada.

RESUMO

O EFEITO DOS ADITIVOS INCORPORADOR DE AR E ESTABILIZADOR DE HIDRATAÇÃO NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS ESTABILIZADAS

AUTORA: Juliana Pippi Antoniazzi
ORIENTADOR: Gihad Mohamad
CO-ORIENTADORA: Juliana Machado Casali

Argamassas estabilizadas são misturas prontas que podem ser utilizadas em até 72 horas devido a alterações em suas propriedades proporcionadas pelo emprego dos aditivos incorporador de ar (AIA) e estabilizador de hidratação (AEH). O efeito principal do AIA é o aumento da trabalhabilidade, enquanto o AEH promove retardo no tempo de pega. No entanto, o uso desses aditivos gera efeitos secundários nas propriedades frescas e endurecidas das argamassas, ainda não bem conhecidos. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a interação do AIA e do AEH com o cimento Portland sobre as propriedades das argamassas estabilizadas. Para isso, foram desenvolvidos quatro artigos científicos. O primeiro artigo avaliou a influência do tempo de mistura, do teor dos aditivos e da granulometria dos agregados na incorporação de ar de argamassas. Foram avaliadas trinta e seis argamassas, com duas granulometrias de agregado miúdo, três teores de AEH (0,0%, 0,6% e 0,9%), seis teores de AIA (0,0% a 0,5%) e quatro tempos de mistura (150s, 210s, 270s e 330s). O segundo artigo avaliou os tempos de pega para diferentes teores AEH (0,0%, 0,6% e 0,9%) e AIA (0,0%, 0,2% e 0,4%) empregados a dois tipos de cimento (cimento F e cimento Z). Os artigos 3 e 4 estudaram, respectivamente, as propriedades frescas e endurecidas das argamassas estabilizadas, variando os teores dos aditivos (idem ao artigo 2) e os tempos de análise. Assim, o teor de ar incorporado, o índice de consistência, a exsudação e os parâmetros reológicos (*Squeeze Flow* e reometria) foram avaliados em cinco tempos de utilização (0h, 24h, 36h, 48h e 72h). A resistência mecânica, o grau de hidratação, a permeabilidade e a porosidade foram verificadas aos 7d, 28d e 42d. Os resultados indicaram estabilização da incorporação de ar para o tempo de mistura de 270s e teor do AIA entre 0,3% e 0,4%. O tempo de mistura influenciou a incorporação de ar apenas para maiores teores de AIA, contrariamente ao efeito causado pela granulometria do agregado. Os tempos de pega do cimento Z combinado ao AEH foram aumentados em relação ao cimento F, demonstrando que os tempos de pega sofrem influência do tipo de cimento e dos teores de aditivos. O AIA também contribuiu para o retardo no tempo de início de pega, além de diminuir a exsudação, a consistência, a tensão de escoamento e a componente elástica das argamassas, aumentando o deslocamento sob compressão. As propriedades no estado fresco foram influenciadas pelo uso e teor dos aditivos, com maior atuação do AIA logo após a mistura (0h) e do AEH ao longo do tempo de utilização. No estado endurecido, o AIA reduziu a resistência e proporcionou maior grau de hidratação das argamassas, enquanto o AEH diminuiu a formação de compostos hidratados em todas as idades. A porosidade gerada por cada aditivo apresentou características distintas e pode ter sido influenciada pelos efeitos da rápida carbonatação verificada nas argamassas com a combinação dos aditivos, podendo prejudicar o revestimento.

Palavras-chave: Argamassa estabilizada. Aditivo incorporador de ar. Aditivo estabilizador de hidratação.

ABSTRACT

EFFECT OF AIR ENTRAINING ADMIXTURE AND HYDRATION STABILIZING ADMIXTURE ON THE PROPERTIES OF READY MIX MORTAR

AUTHOR: Juliana Pippi Antoniazzi
ADVISOR: Gihad Mohamad
CO-ADVISOR: Juliana Machado Casali

Ready-mix mortars are ready-to-use mixes that can be used for up to 72 hours. Air entraining admixtures (AEA) and hydration stabilizing admixtures (HSA) modify the properties of mortar. The main effect of an AEA is increased workability, while an HSA extends the setting time. However, the full effects of these admixtures on the properties of fresh and hardened mortars are not yet well known. The aim of the present study was to evaluate the effect of the interaction of AEA and HSA with Portland cement on the properties of ready-mix mortars. For such, four papers were developed. The first evaluated the influence of mixing time, admixture content and aggregate particle size on the air-incorporation into the mortar. Thirty-six mortars were evaluated, with two fine aggregate particle sizes, three different contents of HSA (0.0%, 0.6% and 0.9%), six different contents of AEA (0.0% to 0.5%) and four mixing times (150, 210, 270 and 330 s). The second paper evaluated the setting times for different contents of HSA (0.0%, 0.6% and 0.9%) and AEA (0.0%, 0.2% and 0.4%) employed with two types of cement (F and Z). Papers 3 and 4 respectively studied the properties of fresh and hardened ready-mix mortars with different admixture contents (described in paper 2) and the analysis times. The air entrained content, consistency index, exudation and rheological parameters (squeeze flow and rheometry) were evaluated at five times of use (0, 24, 36, 48 and 72 h). Mechanical strength, degree of hydration, permeability and porosity were determined at 7, 28 and 42 days. The results indicate the stabilization of air incorporation for the mixing time of 270 s and AEA content between 0.3% and 0.4%. Mixing time influenced air incorporation only in mortars with higher contents of AEA, contrary to the effect exerted by aggregate particle size. The setting times of cement Z combined with HSA were increased compared to cement F, demonstrating the influence of cement type and admixture content. The AEA contributed to the delay in the onset of setting time, while also reducing exudation, consistency, yield stress and the elastic component of the mortars, increasing displacement under compression. The fresh state properties were influenced by admixture use and content, with the best performance of AEA soon after mixing (0 h) and HSA throughout the storage duration. In the hardened state, AEA led to a reduction in mechanical strength and provided a higher degree of mortar hydration, while HSA decreased the formation of hydrated compounds at all ages. The porosity generated by each admixture exhibited distinct characteristics and may have been influenced by the effects of the fast carbonation found in mortars with the combination of admixtures, which may exert a negative effect on the coating.

Keywords: Ready mix mortar. Air entraining admixture. Hydration stabilizing admixture.

LISTA DE FIGURAS

APRESENTAÇÃO

Figura 1 - Representação da molécula de incorporador de ar: cauda apolar e hidrofóbica; cabeça polar e hidrofílica.....	35
Figura 2 - Variação da tensão superficial da solução em função da concentração de AIA.....	37
Figura 3 – Granulometria das areias A e B	48
Figura 4 – Fluxograma geral da pesquisa	50

ARTIGO 1

Figura 1 - Concentração micelar crítica dos aditivos incorporadores de ar.	56
Figura 2 - Granulometria das areias A e B	58
Figura 3 – Nomenclaturas das misturas	58
Figura 4 – Comparativo do teor de ar incorporado pelo tempo de mistura das argamassas com mesmo 0% teor de AIA e diferentes teores de AEH, para areia A (a) e areia B (b)	61
Figura 5 – Microscopia eletrônica de varredura da M1A _{0,0/0,0}	62
Figura 6 – Comparativo do teor de ar incorporado pelo tempo de mistura das argamassas com 0,1% teor de AIA e diferentes teores de AEH, para areia A (a) e areia B (b).....	62
Figura 7 – Comparativo do teor de ar incorporado pelo tempo de mistura das argamassas com 0,2% teor de AIA e diferentes teores de AEH, para areia A (a) e areia B (b)	63
Figura 8 – Microscopia eletrônica de varredura da M5A _{0,0/0,2}	64
Figura 9 – Comparativo do teor de ar incorporado pelo tempo de mistura das argamassas com 0,3% teor de AIA e diferentes teores de AEH, para areia A (a) e areia B (b)	64
Figura 10 – Comparativo do teor de ar incorporado pelo tempo de mistura das argamassas com 0,4% teor de AIA e diferentes teores de AEH, para areia A (a) e areia B (b)	64
Figura 11 – Comparativo do teor de ar incorporado pelo tempo de mistura das argamassas com 0,5% teor de AIA e diferentes teores de AEH, para areia A (a) e areia B (b)	65
Figura 12 – Relação entre o teor de ar incorporado e o tempo de mistura das argamassas.....	65
Figura 13 – Microscopia eletrônica de varredura da M12A _{0,6/0,4}	66
Figura 14 – Influência do tempo de mistura no teor de ar das argamassas	67
Figura 15 - Comparativo do ar incorporado por tempo de mistura entre argamassas com teor de 0,0% de AEH e diferentes teores de AIA, para areia A (a) e areia B (b)	68
Figura 16 - Comparativo do ar incorporado por tempo de mistura entre argamassas com teor de 0,6% de AEH e diferentes teores de AIA, para areia A (a) e areia B (b)	68
Figura 17 - Comparativo do ar incorporado por tempo de mistura entre argamassas com teor de 0,9% de AEH e diferentes teores de AIA, para areia A (a) e areia B (b)	68
Figura 18 – Variação do teor de ar por incremento de tempo de mistura.....	69
Figura 19 – Relação entre a quantidade de AIA empregada e o teor de ar incorporado, considerando ambas as areias	71

ARTIGO 2

Figura 1 - Granulometria da areia.	100
Figura 2 - Esquema em corte do calorímetro semi-adiabático desenvolvido no laboratório.	101
Figura 3 - Sequência de montagem das caixas para o ensaio de tempo de início de pega 102	102
Figura 4 - Esquema representando a determinação tempo de início de pega pelo método das tangentes.	103
Figura 5 - Tempo de início e fim de pega pelo método das frações diretas.	104
Figura 6 - Tempo de início e fim de pega pelo método das derivadas.	105
Figura 7 - Evolução de temperaturas das argamassas ao longo do tempo.	106
Figura 8 - Tempos de início de pega obtidos por diferentes métodos, para argamassas com cimento F e Z.	107
Figura 9 - Correlação entre os tempos de início de pega obtidos pelo método das tangentes, frações diretas e derivadas, para as argamassas com os cimentos F e Z.	108
Figura 10 - Tempos de fim de pega obtidos por diferentes métodos, para argamassas com cimento F e Z.	109
Figura 11 - Correlação entre os tempos de fim de pega obtidos pelo método das tangentes, frações diretas e derivadas, para as argamassas com os cimentos F e Z.	110
Figura 12 - Tempos de início e fim de pega para argamassas com cimento F e Z, pelo método das frações diretas 111	111
Figura 13 - Efeito do aumento do teor de AEH no tempo de início de pega das argamassas.	112

ARTIGO 3

Figura 1 - Granulometria da areia.	123
Figura 2 - Comportamento do teor de ar incorporado (a) e do índice de consistência (b) durante o período de utilização 131	131
Figura 3 – Correlação entre o teor de ar incorporado e o índice de consistência das argamassas em 72 h de estabilização.	132
Figura 4 - Curva força versus deslocamento para as argamassas em 0h e final de ensaio para A3(0,9/0,0) e A9(0,9/0,5) 133	133
Figura 5 – Curva força versus deslocamento das argamassas ao longo de 72h de estabilização 136	136
Figura 6 – Efeito do aumento do teor de AIA no deslocamento máximo (<i>Squeeze Flow</i>) das argamassas ao longo do tempo 138	138
Figura 7 – Correlação entre o deslocamento máximo (<i>Squeeze Flow</i>) e o teor de ar incorporado das argamassas em 72 horas de estabilização 139	139
Figura 8 – Deformação crítica das argamassas ao longo de 72 horas (placa) 140	140
Figura 9 – Tensão de escoamento (varredura de deformação) versus teor de incorporado das argamassas ao longo de 72h 142	142
Figura 10 – Componente elástica - G' (a) e viscosa - G'' (b) em 0 h das argamassas 143	143
Figura 11 – Evolução das componentes elástica (G') e viscosa (G'') das argamassas estabilizadas ao longo do tempo de estabilização 144	144
Figura 12 – Correlação da componente elástica (G') com a tensão de escoamento (varredura de deformação) e com o deslocamento máximo (<i>Squeeze Flow</i>), ao longo de 72h 145	145
Figura 13 - Correlação da componente elástica (G') com o teor de ar incorporado,	

ao longo de 72h.....	147
Figura 14 - Exsudação parcial e total das argamassas ao longo de 72 h de estabilização.....	147
ARTIGO 4	
Figura 1 - Granulometria da areia	163
Figura 2 - Copo de ensaio com solução e corpo de prova.....	166
Figura 3 - Esquema de divisão das placas para ensaio de permeabilidade à água aos 28 e 42 dias	167
Figura 4 - Ação do teor dos aditivos isolados na resistência à compressão das argamassas. (a) Efeito do AEH; (b) Efeito do AIA	171
Figura 5 - Ação do teor dos aditivos na resistência à compressão das argamassas combinadas (a) Efeito do AEH; (b) Efeito do AIA.....	173
Figura 6 - Correlação entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas.....	174
Figura 7 - Densidade de massa no estado endurecido das argamassas aos 7, 28 e 42 dias	174
Figura 8 - Retração linear das argamassas ao longo de 42d	175
Figura 9 - Variação de massa das argamassas durante ensaio de retração.....	176
Figura 10 - Coeficiente de capilaridade das argamassas aos 28 e 42 dias.....	177
Figura 11 - Coeficiente de absorção de água das argamassas em 28d e 42d.....	178
Figura 12 - Correlação entre o coeficiente de capilaridade e o módulo de elasticidade dinâmico e resistência à compressão das argamassas A1 a A3 (a) e A4 a A5 (b)	180
Figura 13 - Correlação entre o coeficiente de absorção de água e o módulo de elasticidade dinâmico (a) e resistência à compressão (b)	181
Figura 14 - Correlação entre o coeficiente de capilaridade e o coeficiente de absorção de água das argamassas (a), e entre o coeficiente de absorção de água e a retração total, ao longo do tempo.....	182
Figura 15 - Permeabilidade ao vapor e coeficiente de permeabilidade ao vapor das argamassas.....	182
Figura 16 - Influência do teor de AIA na permeabilidade ao vapor das argamassas.....	183
Figura 17 - Correlação da permeabilidade ao vapor de água com o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à compressão das argamassas.	184
Figura 18 - Microscopia eletrônica de varredura da argamassa A1 (0,0/0,0) aos 28d	185
Figura 19 - Microscopia eletrônica de varredura das argamassas com AEH – A2(0,6/0,0) e A3(0,9/0,0), aos 28d	185
Figura 20 - Microscopia eletrônica de varredura das argamassas com AIA - A4(0,0/0,2) e A5(0,0/0,4), aos 28d	186
Figura 21 - Microscopia eletrônica de varredura das argamassas com AEH e AIA - A6(0,6/0,2), A7(0,6/0,4), A8(0,9/0,2) e A9(0,9/0,4), aos 28d	187
Figura 22 - Termogravimetria derivada das argamassas aos 7, 28 e 42 dias	190
Figura 23 - Água quimicamente combinada das argamassas (a) e perda de massa referente aos hidratos (b), aos 7, 28 e 42 dias.....	191
Figura 24 - Perda de massa referente ao Ca(OH) ₂ (a) e ao CaCO ₃ (b) 7d, 28d e 42d	192
Figura 25 - Relação entre os hidratos e a resistência mecânica das argamassas.	194
Figura 26 - Relação entre a resistência mecânica e a parcela de água quimicamente combinada somada ao CaCO ₃ (AQC+CaCO ₃) (a)(b) e	

somente com a parcela de água quimicamente combinada (AQC)(c)(d).....	195
Figura 27 - DRX das argamassas aos 7d, 28d e 42d	198
Figura 28 - Análise quantitativa dos compostos por idade (Método Rietveld)	199
Figura 29 - Correlação entre os teores de portlandita e calcita (DRX) das argamassas (A6 a A9) ao longo do tempo.....	201
ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	
Figura 1 - Correlação entre o teor de ar incorporado (artigo 3) e a permeabilidade ao vapor (artigo 4) das argamassas	207
Figura 2 - Correlação entre o teor de ar incorporado (artigo 3) e o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à compressão (artigo 4).....	208
Figura 3 - Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à compressão (artigo 4) com os parâmetros reológicos (artigo 3).....	209
Figura 4 - Variação da permeabilidade à água (a) (artigo 4) e do coeficiente de capilaridade (b) (artigo 4) em função do teor de ar incorporado (artigo 3) das argamassas em 0h	210
Figura 5 - Correlação entre o tempo de início de pega (artigo 2) e a resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico (artigo 4) das argamassas, agrupadas conforme teor de AEH utilizado.....	211
Figura 6 - Correlação entre o tempo de início de pega das argamassas (artigo 2) e o teor de belita (artigo 4) em 7d (DRX)	212
Figura 7 - Correlação entre o tempo de início de pega (artigo 2) e a AQC (artigo 4) das argamassas aos 7, 28 e 42 dias.....	213
Figura 8 - Correlação entre o teor de hidratos (artigo 4) com o teor de AEH e com o tempo de início de pega (artigo 2) das argamassas aos 7, 28 e 42 dias	214
Figura 9 - Teor de alita (artigo 4) em função dos teores de aditivos utilizados nas argamassas aos 7 dias	214
Figura 10 - Correlação entre o teor de portlandita (artigo 4) e o tempo de início de pega (artigo 2) e o teor de AEH, aos 7, 28 e 42 dias	215
Figura 11 – Correlação entre o tempo de início de pega (artigo 2) e o teor de AEH	216
Figura 12 - Teor de CaCO ₃ (artigo 4) em função dos teores dos aditivos, aos 42 dias	216

LISTA DE TABELAS

APRESENTAÇÃO

Tabela 1 - Características físicas do cimento CII F-40.	47
Tabela 2 - Características químicas, físicas e mecânicas dos cimentos CII F-40	47
Tabela 3 – Propriedades das areias A e B.....	47
Tabela 4 – Dados técnicos dos aditivos AIA e AEH.....	48

ARTIGO 1

Tabela 1 - Características físicas dos cimentos CII F-40.	57
Tabela 2 - Características químicas, físicas e mecânicas dos cimentos CII F-40..	57
Tabela 3 - Propriedades do agregado miúdo.....	57
Tabela 4 – Dados técnicos dos aditivos incorporador de ar (AIA) e estabilizador de hidratação.....	58
Tabela 5 – Misturas e nomenclaturas das argamassas.....	59
Tabela 6 – Incorporação de ar das argamassas (M±DP) nos diferentes tempos de mistura analisados, para Areia A e Areia B.....	60
Tabela 7 – Comparação do teor de ar incorporado entre amostras 1 e 2 para tempo de mistura de 270s.....	70

ARTIGO 2

Tabela 1 - Características físicas dos cimentos CII F-40 e CP II Z-32.	92
Tabela 2 - Características químicas, físicas e mecânicas dos cimentos CII F-40 e CP II Z-32	93
Tabela 3 - Propriedades do agregado miúdo.....	94
Tabela 4 – Dados técnicos do aditivo incorporador de ar (AIA) e estabilizador de hidratação (AEH).....	95
Tabela 5 – Misturas de argamassas com AEH e AIA e cimentos F e Z	96
Tabela 6– Tempo de pega das argamassas (média ± desvio padrão) com AEH e AIA e cimentos F e Z, segundo o método das tangentes	97
Tabela 7 – Tempo de pega das argamassas (média ± desvio padrão) com AEH e AIA e cimentos F e Z, segundo o método das frações diretas.....	98
Tabela 8 – Tempo de pega das argamassas (média ± desvio padrão) com AEH e AIA e cimentos F e Z, segundo o método das derivadas.....	99

ARTIGO 3

Tabela 1- Características físicas dos cimentos CII F-40.	122
Tabela 2 - Características químicas, físicas e mecânicas do cimento CII F-40. ..	122
Tabela 3 - Propriedades do agregado miúdo.....	123
Tabela 4 – Dados técnicos dos aditivos incorporador de ar (AIA) e estabilizador de hidratação (AEH).	123
Tabela 5 – Misturas de argamassas.	124
Tabela 6 – Ensaio no estado fresco para argamassas.	125
Tabela 7 – Teor de ar incorporado das argamassas ao longo de 72 h.....	127
Tabela 8 – Índice de consistência das argamassas ao longo de 72h.....	129
Tabela 9 – Tensão de escoamento das argamassas ao longo de 72 horas de estabilização, obtidas pelos ensaios de varredura de deformação em placa	141

ARTIGO 4

Tabela 1 - Características físicas do cimento Portland CII F-40 (Cimento F).....	162
Tabela 2 - Características do cimento Portland CII F-40 (Cimento F).....	163
Tabela 3 - Propriedades do agregado miúdo.....	163

Tabela 4 - Propriedades do aditivo incorporador de ar (AIA) e do aditivo estabilizador de hidratação (AEH).....	163
Tabela 5 - Misturas de argamassas estabilizadas	164
Tabela 6 - Ensaios no estado endurecido para argamassas	165
Tabela 7 - Resistência mecânica das argamassas nas idades 7, 28 e 42 dias	170
Tabela 8 - Perda de massa por termogravimetria das argamassas aos 7, 28 e 42 dias	191

LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Normas para publicação na revista Ambiente Construído	227
Anexo B – Normas para publicação na revista IBRACON de Estruturas e Materiais	231
Anexo C – Normas para publicação no periódico Construction and Building Materials	237
Anexo D – Normas para publicação no periódico Cement and Concrete Research	249

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	23
1.1	ARGAMASSA ESTABILIZADA	24
1.1.1	Aditivos para argamassa	33
1.1.1.1	Aditivo incorporador de ar	33
1.1.1.2	Aditivo estabilizador de hidratação.....	39
1.1.2	Fatores que influenciam nas propriedades da argamassa estabilizada	41
1.1.2.1	Tempo de mistura	41
1.1.2.2	Teores dos aditivos	42
1.1.2.3	Granulometria do agregado	43
1.1.2.4	Tipo de cimento	44
1.1.2.5	Tempo de estabilização	44
1.2	JUSTIFICATIVA	45
1.3	PROPOSIÇÃO	45
1.3.1	Objetivos específicos e hipóteses	45
1.4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
1.4.1	Materiais	46
1.4.2	Métodos	48
2	ARTIGO 1 - INCORPORAÇÃO DE AR EM ARGAMASSAS ESTABILIZADAS: INFLUÊNCIA DOS ADITIVOS, AGREGADOS E TEMPO DE MISTURA	51
3	ARTIGO 2 – INFLUÊNCIA DO TIPO DE CIMENTO E DOS ADITIVOS INCORPORADOR DE AR E ESTABILIZADOR DE HIDRATAÇÃO NO TEMPO DE PEGA DE ARGAMASSAS	75
4	ARTIGO 3 – EFEITO DOS ADITIVOS ESTABILIZADOR DE HIDRATAÇÃO E INCORPORADOR DE AR NO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS ESTABILIZADAS NO ESTADO FRESCO	115
5	ARTIGO 4 – EFEITO DOS ADITIVOS INCORPORADOR DE AR E ESTABILIZADOR DE HIDRATAÇÃO NO ESTADO ENDURECIDO DE ARGAMASSAS ESTABILIZADAS: CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL	155
6	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	207
7	CONCLUSÕES	217
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	221
	ANEXO A – NORMAS PARA A PUBLICAÇÃO NA REVISTA AMBIENTE CONSTRUÍDO	227
	ANEXO B – NORMAS PARA A PUBLICAÇÃO NA REVISTA IBRACON DE ESTRUTURAS E MATERIAIS	231
	ANEXO C – NORMAS PARA A PUBLICAÇÃO NO PERIÓDICO CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS	237
	ANEXO D – NORMAS PARA A PUBLICAÇÃO NO PERIÓDICO CEMENT AND CONCRETE RESEARCH	249

1 APRESENTAÇÃO

A construção civil no Brasil, antes da crise instaurada no ano de 2015, passou por um período bastante aquecido do setor, requerendo soluções que visassem agilizar o processo construtivo. Por trás da supervalorização dos imóveis, o cenário era de um grande volume de obras, frequentemente aliado à escassez de mão-de-obra qualificada, prazos reduzidos, falta de logística e de gerenciamento nos canteiros de obras. Tudo isso acabou por acarretar, muitas vezes, em um déficit na qualidade final dos produtos oferecidos, atrelado à baixa qualidade dos materiais e serviços ofertados, ou ainda, à própria falta de fiscalização.

Passou-se a observar, nos canteiros de obras, a tendência de substituição das argamassas ensacadas por argamassas dosadas em central. Cada vez mais comuns no mercado, as denominadas argamassas estabilizadas ganharam espaço e conquistaram as construções, proporcionando às obras uma mistura pronta ao uso e com durabilidade de manuseio de até 72 horas. Assim, as argamassas estabilizadas vieram para agilizar o processo construtivo e aumentar a produtividade nos canteiros de obras.

Mesmo que já disseminada na Europa, o primeiro registro de utilização dessa tecnologia no Brasil foi em 1985 (MARTINS NETO; DJANIKIAN, 1999). Porém, foi nos anos 90 que o processo ganhou força e se expandiu entre os canteiros de obras, motivando pesquisas para aperfeiçoar suas características e técnicas. No entanto, na última década a técnica se disseminou com maior aceitação na construção civil, sendo notável o emprego por grande parte das obras de médio e grande portes.

Para a manutenção da trabalhabilidade por longos períodos, as argamassas estabilizadas fazem o uso de dois aditivos, sendo o aditivo incorporador de ar (AIA) o responsável pela melhora na trabalhabilidade da argamassa no estado fresco e o aditivo estabilizador de hidratação (AEH) o responsável pelo aumento de tempo em que a mistura permanece trabalhável (NELSON et al., 1988).

Os aditivos incorporadores de ar são substâncias tensoativas e, por isso, agem diminuindo a tensão superficial e modificando a reologia das argamassas por meio da inserção de pequenas bolhas de ar, proporcionando melhor plasticidade (SALAGER, 1992; CARASEK, 2010).

Já os aditivos estabilizadores de hidratação mantêm a plasticidade da argamassa por um período prolongado, atuando diretamente sobre os tempos de pega do cimento (PAOLINI, KHURANA, 1998; TREVISOL, 2015).

Esses aditivos interagem com as partículas de cimento, alterando o comportamento reológico das misturas, assim como, suas propriedades no estado endurecido. Desta forma, o tipo e quantidade de aditivo empregado e a interação com o cimento escolhido merecem importância nas pesquisas, já que interferirão nas propriedades da argamassa (ROMANO; CINCOTTO; PILEGGI, 2018).

Diante disso, torna-se imprescindível o entendimento da interação entre os diferentes componentes das argamassas estabilizadas para o aprimoramento de suas características técnicas. Além disso, ainda não existem normas específicas para regulamentação dos procedimentos referentes ao uso dessas argamassas. Ao mesmo tempo, o procedimento se dissemina cada vez mais entre as obras, mesmo sem normatização, ficando os usuários sujeitos às diversas manifestações patológicas que podem vir a surgir devido ao empirismo de seu emprego.

O presente trabalho apresenta, primeiramente, uma revisão bibliográfica sobre argamassas estabilizadas, trazendo os principais conceitos e estudos já desenvolvidos. O programa experimental encontra-se subdividido em quatro etapas de pesquisa abordando a mesma temática principal. A primeira etapa estudou a influência do tempo de mistura, do teor dos aditivos e da granulometria dos agregados na incorporação de ar das argamassas. Já a segunda etapa avaliou os tempos de pega para diferentes teores de aditivos e tipos de cimento. Estas duas etapas embasaram a escolha de parâmetros para a terceira e quarta etapas, as quais estudaram, respectivamente, as propriedades frescas e endurecidas das argamassas estabilizadas. Cada uma das etapas resultou em um artigo científico. Sendo assim, essa pesquisa é apresentada por meio de quatro artigos distintos, descritos ao longo da tese. Logo após, apresenta-se um capítulo de discussão dos resultados gerais, buscando correlacionar variáveis analisadas nos diferentes artigos. Ao final, tem-se um capítulo com as principais conclusões da pesquisa.

1.1 ARGAMASSA ESTABILIZADA

A partir da década de 70, na Alemanha e na Inglaterra, iniciou-se o fornecimento de argamassas prontas, já com a consistência desejada, armazenadas

em recipientes abertos e prontas para o consumo (SANTOS, 2009), denominadas argamassas estabilizadas. Em 1985, quase 50% das argamassas de assentamento utilizadas na Europa eram estabilizadas (NELSON et al., 1988). Por volta de 1980 a argamassa estabilizada foi utilizada pela primeira vez no Canadá e, em 1982, nos Estados Unidos (PANARESE; KOSMATKA; RANDALL, 1991).

O setor da indústria da construção civil vivenciou uma crise que fez com que baixasse a demanda de concreto usinado, o que favoreceu os investimentos e os estudos na área das argamassas dosadas em central (NETO; ANDRADE; SOTO, 2010). Anos mais tarde, tanto os estudos como a fabricação de argamassa diminuíram e passaram a ser atividades secundárias, complementares aos estudos de concreto usinado. Com o desenvolvimento tecnológico e a evolução das centrais de concreto, na década de 80, as argamassas industrializadas retornaram ao mercado visando diminuir desperdícios de produção e aplicação e manter um padrão de qualidade (NETO; ANDRARE; SOTO, 2010).

O uso de argamassas estabilizadas no Brasil iniciou em 1985, na cidade de São Paulo. No entanto, apenas na década de 90 o processo ganhou destaque e entrou mais forte no mercado da construção civil, despertando o interesse para pesquisas (MARTINS NETO; DJANIKIAN, 1999). Assim, as argamassas dosadas em central passaram a ter boa aceitação na indústria da construção. O produto tem a finalidade de acelerar o processo construtivo, atender a obras de grandes volumes em curto espaço de tempo e sanar muitas das necessidades dos construtores: produção em larga escala, materiais selecionados, controle tecnológico, assistência técnica e acompanhamento.

As argamassas estabilizadas são misturas dosadas em central, as quais chegam ao local de aplicação prontas ao uso e com a capacidade de se manterem trabalháveis por até 72 horas. Essas condições só são atendidas devido ao emprego de aditivos em sua composição, os quais interagem com as partículas de cimento, alterando a reologia da mistura. O uso do aditivo incorporador de ar (AIA) confere à mistura uma melhora em sua trabalhabilidade no estado fresco, enquanto o maior intervalo em que a mistura consegue permanecer trabalhável está relacionado ao emprego do aditivo estabilizador de hidratação (AEH).

Os aditivos incorporadores de ar são tensoativas aniônicos que diminuem a tensão superficial da mistura, proporcionando a introdução de microbolhas de ar

estáveis, as quais melhoram a plasticidade e alteram a reologia das argamassas (MEHTA; MONTEIRO, 2014; CARASEK, 2010).

Os aditivos estabilizadores de hidratação criam uma barreira hidrorrepelente ao redor das partículas de cimento retardando os tempos de pega do cimento e, assim, promovendo um aumento da plasticidade da argamassa por um período de tempo maior (MEHTA; MONTEIRO, 2014; TREVISOL, 2015).

O emprego dos aditivos nas argamassas modifica suas propriedades reológicas e, conseqüentemente, resulta em alterações no estado endurecido. As modificações nas propriedades da argamassa estarão atreladas ao tipo e quantidade de aditivos empregados, aliados às características do cimento e agregado utilizados na composição das misturas (ROMANO; CINCOTTO, PILEGGI, 2018), dentre outros fatores.

A utilização da argamassa estabilizada visa agilizar o processo produtivo e garantir qualidade ao produto final. A ideia de estabilização é, além de permitir o transporte da argamassa da central dosadora a locais mais distantes, permitir que a produção nos canteiros de obras inicie logo cedo e não seja interrompida para produção ou por falta de argamassa. Dessa forma, a argamassa pode chegar ao local de emprego no dia anterior (ou até mesmo antes), permitindo uma organização prévia ao momento da aplicação. Além disso, segundo Marcondes (2009), são benefícios também a limpeza e organização proporcionadas ao canteiro, além do ganho de espaço físico por não necessitar estoque de materiais.

Com a produção controlada em usinas, com maior rigor e controle na estocagem e preparo das argamassas, e o transporte por meio de caminhões betoneira até às obras, é esperado também que a produção das argamassas estabilizadas mantenha um padrão de qualidade maior. Desta forma, conseguiria-se manter a homogeneidade da argamassa, proporcionando acabamentos com maior qualidade e menor risco de surgimento de manifestações patológicas (CAMPOS; MACIOSKI; CASALI, 2013).

A utilização deste material proporciona muitas vantagens ao sistema construtivo, como, por exemplo: o maior período de aplicação da argamassa, a economia de tempo e mão-de-obra no preparo, o aumento na produtividade, a redução de espaço para estoques e desperdícios de materiais, melhor homogeneidade e acabamento, menor permeabilidade, menor taxa de exsudação, facilidade de carga e descarga, maior precisão de custos, menor esforço do operário

para aplicação e responsabilidade da empresa contratada sobre a argamassa produzida (MARCONDES, 2009).

Mas também, existem desvantagens e dúvidas referentes ao desempenho destas argamassas, uma vez que, ainda existem poucos trabalhos técnicos publicados sobre o assunto e nenhuma normativa nacional específica. As pesquisas indicam perda de trabalhabilidade das argamassas ao longo do tempo, falta de homogeneidade entre os lotes fornecidos, deficiência quanto à estanqueidade, alto consumo de cimento nos traços utilizados, alta retração e baixa resistência mecânica (MATINS NETO; DJANIKIAN, 1999, MARCONDES, 2009; GRUPO HOBI, 2014)

Os revestimentos argamassados, ainda que executados com argamassa convencional, a qual possui normatização e propriedades conhecidas, são alvos de diversas manifestações patológicas, especialmente vinculadas à umidade. Manchas, mofo, bolor, eflorescência e deslocamentos são exemplos típicos e perceptíveis em fachadas. As argamassas estabilizadas, se não bem executadas, podem acabar agravando este cenário. O uso desmedido dos aditivos e a falta de domínio das variáveis envolvidas no processo de fabricação e aplicação dessas argamassas são os principais responsáveis pelos problemas vinculados a esse sistema.

Muitos fatores ainda podem afetar o desempenho das argamassas estabilizadas, podendo comprometer suas propriedades. O tempo e o procedimento de mistura, o tipo e teor de aditivos utilizados, a compatibilidade dos aditivos com o cimento empregado, o consumo de cimento, a temperatura e umidade, o tipo e a granulometria dos agregados, a qualidade da água, a forma de estocagem da massa pronta (estabilização) e o tipo de cura são alguns dos quesitos que podem interferir no desempenho dessas argamassas (ROMANO, 2013; CASALI et al., 2011; PAGNUSSAT; VIDOR; MASUERO, 2012; MACIOSKI et al., 2013 e 2015; CALÇADA et al., 2013; KARKOTLI et al., 2019; MELO et al., 2019).

A perda das propriedades da argamassa relacionadas à trabalhabilidade está atrelada à perda de umidade, assim como, o desempenho dos aditivos está diretamente vinculado à manutenção da quantidade de água existente na argamassa. Assim, é recomendado pelos fabricantes que se utilize uma película de aproximadamente 20 mm de água sobre a argamassa, quando armazenada, a fim de se manter a trabalhabilidade. Desta forma, antes de se utilizar a argamassa, a película deve ser removida e a mistura homogeneizada. Esta recomendação é questionável, como mostrou o trabalho de Casali et al. (2011), o qual avaliou cinco lotes com e sem

película, verificando que nem todas as propriedades são melhoradas, ao longo do tempo, com a utilização da mesma.

Com isso, a compreensão dos fatores e fenômenos que ocorrem entre os componentes da argamassa e os aditivos AIA e AEH empregados é de grande importância para a padronização das características técnicas da argamassa estabilizada. Não existem normativas técnicas nacionais que sejam específicas para a regulamentação do preparo, execução e controle tecnológico dessas argamassas. Isso acaba por deixar os fabricantes sem embasamento e requisitos de exigência, dando margem ao empirismo e a experimentação.

Alguns autores vêm pesquisando sobre as argamassas estabilizadas e suas propriedades, buscando melhor compreender o comportamento dessas misturas enquanto frescas e após aplicadas. Alguns dos principais trabalhos encontrados são apresentadas a seguir.

Beninfield (1986) avaliou as propriedades de argamassas estabilizadas observando que as forças de compressão e flexão, aderência e a durabilidade são geralmente superior à das argamassas misturadas *in loco*. Além disso, segundo o autor, a resistência de uma argamassa com retardo no tempo de pega pode ser superior à de uma mistura convencional devido a alterações na morfologia do sistema de hidratação do cimento.

Nelson et al. (1988) desenvolveram um trabalho visando analisar as propriedades básicas da argamassa estabilizada, estabelecendo um comparativo com a argamassa convencional. Foram produzidas argamassas nas proporções 1:1:6 e 2:1:9 (cimento:cal:areia) com teores de aditivos não divulgados, utilizados conforme prescrições da indústria. Os resultados mostraram que argamassa estabilizada apresenta maior força de adesão, menor permeabilidade à água e menor retração por secagem se comparada às argamassas convencionais. A resistência à compressão da argamassa estabilizada apresentou valores iguais ou até superiores à argamassa convencional. A resistência ao gelo e degelo foi melhorada devido ao maior teor de ar incorporado das argamassas estabilizadas, as quais, segundo os autores, se bem projetadas também podem manifestar melhor resistência de aderência à alvenaria e ao aço.

Barcelos e Pelisser (2011) pesquisaram as propriedades de argamassas estabilizadas confeccionadas na usina comparando-as, como referência, com uma argamassa industrializada. Os resultados mostraram que as argamassas, quando

corretamente produzidas e aplicadas, podem ser utilizadas pelo período máximo de 36 horas. Porém as argamassas demoraram mais de 14 dias para adquirir resistência, não sendo confiável a sua utilização após o tempo de 8 horas após a mistura. Todos os tempos utilizados para aplicação atingiram os limites mínimos de resistência de aderência à tração, conforme a NBR 13749 (ABNT, 1996), porém na idade de 42 dias.

Casali et al. (2011) avaliou as propriedades da argamassa estabilizada por meio da análise de cinco lotes de argamassa estabilizada de 36 e 72 horas, utilizando dois processos de armazenamento, um com película de água sobre a massa e outro sem. Os resultados demonstraram uma diminuição da consistência inicial ao longo do tempo de utilização, sendo mais acentuada para as amostras sem película. Na avaliação da perda de consistência dentro de um mesmo dia, foi verificada uma variação pequena. O teor de ar incorporado, a retenção de água e a resistência à compressão e à tração foram influenciados pelo processo de armazenamento e pelo tempo de utilização. As argamassas de 36 horas e os lotes sem a colocação da película de água foram os que obtiveram os maiores valores de resistência.

O estudo desenvolvido por Pagnussat, Vidor e Masuero (2012) avaliou o comportamento de três diferentes argamassas estabilizadas (1:5,97; $a/c=1,0$), comparando-as com uma argamassa de revestimento convencional (1:1:6). Os resultados indicaram que a granulometria do agregado influenciou nas propriedades das argamassas, sendo a interação entre o tipo e a granulometria desses agregados utilizados notável no desempenho dos aditivos incorporadores de ar e estabilizadores de hidratação. O tempo de moldagem dos corpos de prova também influenciou a densidade de massa e a resistência das argamassas, de forma que as argamassas moldadas em 0h apresentaram menor densidade e resistência levemente superior às moldadas em 30h. De forma geral, os autores concluíram que a manutenção da trabalhabilidade pode ser alcançada com o uso destes aditivos.

Calçada et al. (2013) avaliaram a resistência das argamassas estabilizadas utilizando moldes distintos dos previstos por norma e com superfícies absorventes. Os autores verificaram que houve diminuição do índice de consistência e do teor de ar incorporado em 48 horas de armazenamento, evidenciando a perda de trabalhabilidade. No estado endurecido foram verificadas maiores resistências à compressão nos corpos de prova moldados com substrato absorvente com a argamassa armazenada por 48 horas, porém, foi constatada grande redução da capacidade de resistência de aderência à tração.

O trabalho de Macioski et al. (2013) avaliou as propriedades ao longo do tempo de aplicação e do tempo de armazenagem (48h) no estado fresco e endurecido de argamassas estabilizadas, dosadas em central, verificando a influência da sucção do substrato. Os autores verificaram uma redução no índice de consistência e comportamentos reológicos distintos para as argamassas ao longo do tempo. Também constataram a influência negativa do substrato poroso sobre resultados de resistência à tração e à compressão.

O estudo realizado por Bellei et al. (2015) avaliou o desempenho de argamassas estabilizadas, comparando suas características no estado fresco e endurecido. Os resultados mostraram que a argamassa com estabilização de 36h obteve um desempenho superior no estado fresco e endurecido se comparado a argamassa de 72h. Os autores observaram que quanto maior o teor de aditivo incorporador de ar introduzido na mistura, maior foi a incorporação de ar. As resistências das argamassas produzidas em laboratório foram superiores às das argamassas usinadas, segundo os autores, devido ao maior controle no processo executivo.

Macioski et al. (2015) realizaram um estudo com o objetivo de caracterizar argamassas estabilizadas submetidas à perda de água por sucção de um substrato poroso. Com os resultados obtidos, foi possível verificar a influência da perda de água nas propriedades analisadas, onde o módulo de elasticidade em um dos lotes chegou a reduzir em 14%. O autor também verificou uma variabilidade na estabilidade da argamassa, sendo obtidos valores distintos das propriedades conforme o tempo de armazenamento e os lotes.

A pesquisa de Jantsch (2015) analisou o desempenho de argamassas estabilizadas de 36h e 72h, produzidas na cidade de Santa Maria/RS, com e sem a adição de tratamentos cristalizantes. Ao fim dos ensaios, a autora concluiu que as argamassas de 36h apresentaram desempenho superior ao das argamassas de 72h e a aplicação dos tratamentos cristalizantes, apesar de não tornarem as argamassas impermeáveis, contribuiu para a redução de absorção de água, a resistência ao desgaste e a permeabilidade ao vapor.

Trevisol Junior (2015) traçou um comparativo entre a argamassa estabilizada de 48h produzida em central (tempos ensaiados: 4, 8, 12, 24, 36 e 48h), duas argamassas industrializadas e uma convencional. As argamassas produzidas pelo autor foram confeccionadas em betoneira (1:2:4). Os resultados mostraram que existe

uma variação no estado endurecido acarretada pelo tempo de utilização no estado fresco. Na argamassa estabilizada os resultados obedeceram aos parâmetros estipulados por norma em qualquer um dos intervalos de tempo propostos, o que não ocorreu em sua totalidade com as demais argamassas ensaiadas. O autor concluiu que a argamassa estabilizada é uma solução tecnológica viável e confiável nos canteiros de obras.

Bauer e Oliveira (2017) investigaram a formulação de argamassas estabilizadas buscando a obtenção de misturas que atendessem aos quesitos técnicos de argamassa de revestimento. Os resultados mostraram que o AEH isolado não influenciou no teor de ar incorporado, proporcionando redução da resistência mecânica e aumento da capilaridade à medida que se aumentam os teores do aditivo. Já o emprego só do AIA elevou o teor de ar incorporado de acordo com os incrementos no teor do aditivo, sendo esse efeito potencializado quando associado ao AEH, promovendo redução da água. O AIA não prejudicou as propriedades mecânicas quando aplicado sozinho e, quando em conjunto com AEH, reduziu ainda mais a capilaridade das argamassas.

Casali et al. (2018) avaliaram a influência do tipo de cimento e da quantidade de água nas propriedades do estado fresco de argamassas estabilizadas. Os resultados mostraram que a proporção água/materiais secos influenciou de forma significativa o teor de ar incorporado, o que não foi observado para os tipos de cimento e para o tempo de estabilização. O índice de consistência se mostrou maior quanto mais alta a relação água/ materiais secos. O deslocamento máximo obtido no ensaio *Squeeze Flow* demonstrou correlação diretamente proporcional com o teor de ar incorporado e inversamente proporcional à relação água/ materiais secos. Assim, as propriedades reológicas demonstraram sofrer influência do tempo de estabilização e do tipo de cimento empregado.

Brugali, Casagrande e Stolz (2019) compararam as propriedades de três argamassas estabilizadas com três argamassas industrializadas em 0h. As argamassas estabilizadas apresentaram índice de consistência menor (227 a 242mm), maior teor de ar incorporado (18 a 19,5%), maior retenção de água (95,7 a 98,4%) e maiores deslocamentos no ensaio de *Squeeze Flow* (8mm). As resistências à tração e à compressão, assim como a de aderência, de cada lote de argamassas atingiram valores distintos, com grande variabilidade, sendo que um lote de argamassas

estabilizada obteve resistência de aderência nula. A capilaridade das argamassas estabilizadas foi bastante inferior às industrializadas.

Melo et al. (2019) avaliaram a influência do processo de cura nas propriedades dos revestimentos executados com argamassa estabilizada. Os resultados concluíram que dependendo do teor de AEH o processo de cura empregado pode influenciar na resistência à compressão dos corpos de prova. No estudo em revestimentos a cura por aspersão de água proporcionou revestimentos com maior resistência à compressão e de aderência à tração, seguidos da cura em ambiente saturado e, por último, apareceu a cura ao ar, com as menores resistências.

Karkotli et al. (2019) avaliaram a influência da umidade relativa do ar e da temperatura na resistência de argamassas estabilizadas. Verificou-se que com o processo de homogeneização mecânica conseguiu-se retomar a trabalhabilidade das argamassas ao longo do tempo. Os resultados também mostraram que, para uma mesma temperatura do ar, o aumento da umidade relativa aumentou a resistência das argamassas estabilizadas, contrariamente à argamassa de referência. Para uma umidade relativa de 76%, o aumento da temperatura gerou aumento de resistência nas argamassas estabilizadas, o que não foi observado na argamassa de referência. Os autores concluíram, fazendo analogia das condições testadas com a cura de um revestimento, que após um período para início das reações de hidratação em uma argamassa estabilizada, a cura úmida proporcionaria considerável ganho de resistência mecânica.

Thomé et al. (2019) analisaram a influência da lâmina de água durante o armazenamento no comportamento de um lote de argamassa estabilizada de 36h. A maior variação entre as diferentes formas de armazenamento foi detectada no índice de consistência, ficando a argamassa com película 27% superior à exposta ao ar. Os resultados de resistência à compressão das argamassas com lâmina de água foram em torno de 25% superiores aos expostos ao ar. Assim, os autores defendem a importância da lâmina para a conservação das propriedades das argamassas estabilizadas.

Santos et al. (2019) avaliaram as propriedades frescas e endurecidas de uma argamassa estabilizada após 24h da sua fabricação. Os autores encontraram altos valores de resistência, julgando-os como elevados para fins de revestimento, uma vez que, são mais propícios à fissuração. A análise microestrutural mostrou os vazios promovidos pelo AIA, delimitados por película, não havendo a entrada de agentes

físicos como a água. Além disso, os autores identificaram a presença de etringita primária.

Em um estudo em concreto, Paolini e Khurana (1998) fizeram uma abordagem geral sobre a química e os mecanismos de ação dos aditivos utilizados no processo de controle de hidratação do cimento. Isto é, aditivos capazes de estabilizar a hidratação e aditivos que permitam reiniciar este processo no tempo determinado. Assim, foram apontados a principal aplicação destes aditivos e o efeito do seu uso nas propriedades e durabilidade do concreto, em comparação com um concreto de referência. Os autores concluíram que, ao contrário dos retardadores comuns, o estabilizador mostra a formação de núcleos de C-S-H quando adicionados na mistura com a água, e retarda o crescimento de núcleos de C-S-H e CH quando adicionados durante ou após o período de indução. A adição do estabilizador em concreto não afetou negativamente qualquer uma das propriedades testadas nos estados fresco e endurecido. Também não foram observadas alterações negativas nos parâmetros relacionados com a durabilidade pela utilização deste sistema de controle químico de hidratação.

A maioria das evidências encontradas sobre a temática de argamassas estabilizadas provém de estudos nacionais, uma vez que o Brasil é o país com maior emprego e onde se verifica a linha mais forte de pesquisas desse material.

1.1.1 Aditivos para argamassa estabilizada

Muitos aditivos podem ser empregados em argamassas a fim de melhorar seu desempenho fresco e endurecido. A argamasssa estabilizada é uma mistura usinada que utiliza em sua composição dois tipos de aditivos para prorrogar o tempo de utilização e mantê-la trabalhável nesse período. Assim, são empregados em seu traço basicamente dois aditivos em teores condizentes com o tempo em que se deseja manter a argamassa trabalhável, sendo eles, um aditivo incorporador de ar e um aditivo estabilizador de hidratação. A seguir, serão descritas as principais características de cada um destes aditivos.

1.1.1.1 Aditivo incorporador de ar

Segundo a NBR 11768 (ABNT, 2011), os aditivos incorporadores de ar são

materiais orgânicos, geralmente empregados em forma de solução, usados intencionalmente para introduzir, em argamassas e concreto, um sistema de bolhas de ar microscópico que seja estável e uniforme.

O ar incorporado é diferente do ar aprisionado, isto é, aquele gerado por inadequado adensamento ou compactação, que se encontra na forma de cavidades irregulares, com dimensões consideráveis, em argamassas e concretos (RIXON; MAILVAGANAN, 1999). Há controvérsias quanto à permeabilidade gerada pela incorporação de ar intencional. Segundo Santos (2009), o ar incorporado é constituído por bolhas discretas, quase esféricas, as quais não formam canais para escoamento dos fluidos e, dessa forma, não aumentam a permeabilidade do material poroso. No entanto, para Romano (2013), mesmo melhorando algumas propriedades elásticas, térmicas e acústicas, a incorporação de ar reduz a resistência mecânica e aumenta a permeabilidade das argamassas.

A melhora na trabalhabilidade das misturas é o efeito principal do aditivo incorporador de ar quando utilizado em argamassas (JOLICOEUR; SIMARD, 1988). A ação sobre a trabalhabilidade da argamassa é proporcionada por um efeito de rolamento de esferas. As pequenas bolhas esféricas funcionam como um agregado fino de baixo atrito e elasticidade considerável, aparentando como se a mistura tivesse excesso de agregado miúdo fino. Desta forma, pode-se reduzir a quantidade de areia durante as dosagens. Além disso, a mistura também se torna mais coesiva devido a nova tensão superficial das bolhas, as quais se interligam com as partículas de cimento. O manuseio da massa é facilitado pela grande quantidade de bolhas deformáveis, melhorando, assim, também a aplicação e o acabamento da argamassa (PAILLERE, 2011)

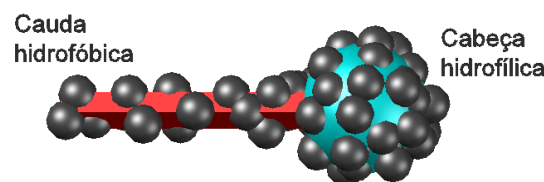
Os agentes incorporadores de ar são espécies químicas pertencentes à classe dos tensoativos, sendo fortemente adsorvidos nas interfaces ar/líquido ou sólido/líquido (RAMACHANDRAN, 1984). São classificados comercialmente segundo a sua aplicação. Como o mesmo aditivo pode ser utilizado para distintas funções, torna-se conveniente classificá-los de acordo com a forma em que se dissociam em água e de acordo com suas estruturas moleculares. Assim, são classificados em iônicos, podendo ser catiônicos ou aniônicos, não-iônicos ou anfóteros (BENINGFIELD, 1988; ROMANO, 2013).

Os aditivos empregados em argamassas geralmente são de caráter aniônico, os quais representam, conforme Salager (2004), cerca de 60% da produção de

agentes ativos de superfície, como sabões, detergentes líquidos e em pó. Esses aditivos se dissociam em um anião anfifílico (polar) e um cátion metálico ou de amônio, sendo os carboxilatos, sulfatos, sulfonatos e fosfatos os grupos polares mais comuns (HOLMBERG et al., 2002). Os contra-íons mais utilizados nas formulações são o sódio, o potássio, o amônio e o cálcio (FERNANDEZ; SALAGER; SCORZZA, 2004).

Assim, apresentam na mesma molécula uma extremidade hidrofóbica (apolar) e uma extremidade hidrofílica (polar), sendo conhecidos como compostos anfifílicos (SALAGER, 1992). A Figura 1 ilustra a forma mais comum de representação desses aditivos.

Figura 1 - Representação da molécula de incorporador de ar: cauda apolar hidrofóbica; cabeça polar e hidrofílica



Fonte: Autor.

A cauda geralmente é formada por uma cadeia relativamente longa de hidrocarboneto, com aproximadamente 8 ou 10 carbonos, necessários para que o tensoativo tenha uma influência significativa na tensão superficial (ALVES, 2002). Já a extremidade polar pode ser iônica (catiônica ou aniônica), não-iônica ou anfótera (ROMANO, 2013).

Então quando adicionados às misturas cimentícias, esses aditivos dão um caráter hidrófobo às partículas de cimento, uma vez que, tendem a se adsorver nestas partículas sólidas da pasta por meio de sua cabeça (parte polar), ficando com a cauda (parte apolar) voltada para a fase aquosa (SALAGER, 1993).

Quando uma mistura é agitada, independente de possuir ou não aditivo incorporador de ar, o ar que está na superfície é trazido para dentro do líquido. Assim, devido a tensão superficial, é formada uma película entre a água e o ar, gerando as bolhas no interior do líquido. Quando a agitação é interrompida, as bolhas começam a colapsar rapidamente, buscando um estado de menor energia. Esta taxa de colapso das bolhas irá depender da viscosidade do meio líquido (quanto maior a viscosidade mais lenta a colapso), da temperatura, da presença de íons e da

utilização de aditivos incorporadores de ar (ROMANO, 2013). Dessa forma, as bolhas de ar são diferenciadas pelo fato das formadas com o emprego do aditivo serem mais estáveis e possuírem uma taxa mais lenta de colapso, já que a película superficial é estabilizada por mais tempo.

Assim, com essa agitação da mistura, os tensoativos que não foram adsorvidos e estão livres na fase aquosa formarão bolhas de ar estáveis com aspecto de esferas microscópicas, devido à aglutinação de suas partes apolares (ROMANO, 2013). Ocorre, então, uma mudança na tensão superficial do líquido, promovendo maior capacidade de molhagem e espumante para a solução.

Existe uma forte tendência dos incorporadores de ar migrarem para as interfaces, de maneira com que o seu grupo polar fique em contato com a fase líquida e seu grupo apolar fique orientado para o ar, solvente orgânico ou partícula (SALANGER, 2002). Desta forma, a molécula satisfaz à sua dupla natureza, provocando, assim, forte adsorção em interfaces, atuando na redução da tensão superficial.

A energia livre de uma molécula de incorporador de ar na superfície ou interface é inferior à energia da molécula solubilizada no interior da fase aquosa. Desta forma, a transferência do interior do meio líquido para a superfície (adsorção) ocorre de forma espontânea, alterando o ângulo de contato da gota (ROMANO, 2013).

Esta adsorção na superfície (líquido-ar) ou interface (líquido-líquido ou líquido-sólido) reduz a tensão superficial ou interfacial, a qual é responsável pela curvatura das interfaces, pela formação de gotas, pela instabilidade capilar e por inúmeros fenômenos de estabilização de interfaces (SALAGER, 1992).

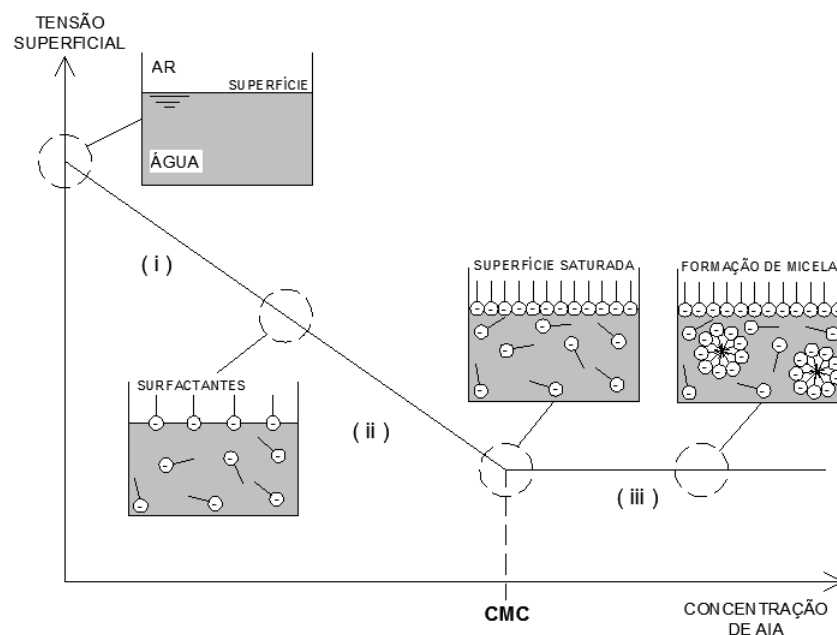
Alguns tensoativos que foram adsorvidos ao cimento também podem participar da produção de bolhas, segundo Alves (2002). Quando isto acontece dá-se a chamada ligação “efeito ponte”, a qual aumenta a estruturação do sistema, obtendo-se maior viscosidade das pastas do que quando não possuem ar incorporado. Porém, em argamassas esse efeito é secundário, predominando o efeito de rolamento de esferas.

Segundo Alves (2002), com o aumento da concentração total de tensoativo dissolvido em uma solução, a tensão superficial irá diminuir até que seja atingida uma acomodação máxima desse material na superfície. A partir desse momento, inicia-se uma aglomeração entre as moléculas na solução, formando estruturas chamadas micelas. Denomina-se concentração micelar crítica (CMC) a concentração a partir da

qual se inicia a formação de micelas, momento em que ocorre uma mudança brusca na tensão superficial ou em outra propriedade física da solução (condutividade, viscosidade, dentre outras).

A estabilidade das bolhas formadas, além de outras variáveis, também depende do tipo e da concentração do aditivo, uma vez que afetam a tensão superficial do meio líquido (ROMANO, 2013), conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – Variação da tensão superficial da solução em função da concentração de AIA



Fonte: adaptado de Romano (2013).

Assim, a Figura 2 mostra três etapas distintas, sendo:

- (i) decréscimo rápido da tensão superficial com a adsorção dos aditivos na superfície água-ar;
- (ii) a depender do tipo de aditivo utilizado, a partir de certa concentração, uma camada monomolecular do incorporador de ar é gerada e a tensão superficial da água passa a decrescer linearmente com o logaritmo da concentração. Segundo a isoterma de Gibbs, isso indica que a concentração superficial permanece constante;
- (iii) Independente da adição de mais aditivo, a partir da saturação do aditivo incorporador de ar a tensão superficial irá permanecer constante.

Segundo Salager (1993), a partir da concentração micelar crítica ocorre a saturação de moléculas de incorporador de ar na fase aquosa, podendo ser observada uma transição da fase (ii) para a fase (iii), onde a tensão superficial não mais se altera mesmo com o aumento da concentração de aditivo. Nesta fase, qualquer molécula suplementar de aditivo incorporador de ar ficará acima do limite de saturação e a solubilização irá gerar micelas, isto é, agregados do tipo coloidais.

As micelas agrupam dezenas ou centenas de moléculas do aditivo incorporador de ar em meio aquoso. Sua dimensão e geometria estão vinculadas à estrutura do aditivo e ao ambiente físico-químico. São compostas internamente de ar, ficando a parte apolar das moléculas orientadas para seu interior e a parte polar orientada para a superfície do líquido, assim, afetando a tensão superficial e a capacidade espumante dos aditivos (ROMANO, 2013).

Os fenômenos como a solubilização monomolecular do aditivo na água, a elevada polaridade da porção hidrofílica do aditivo e a repulsão eletrostática das partes hidrofílicas, desfavorecem a formação de micelas, tornando maior a concentração micelar crítica (SALAGER, 1993).

As concentrações dos tensoativos usados como incorporadores de ar em argamassas possuem, usualmente, um valor abaixo da concentração micelar crítica. (ALVES, 2002). Além disso, as propriedades do sistema com ar incorporado dependem da natureza do tensoativo aplicado, segundo Ramachadran (1984).

Conforme Alves (2002), a estabilidade do ar produzido ocorre por meio de um filme que se forma na interface ar / líquido, pelas moléculas adsorvidas, onde a “cabeça” dos tensoativos fica orientada na fase aquosa. Estando as moléculas carregadas, as bolhas adquirem esta carga na superfície, de forma que, quando duas bolhas se aproximam durante a mistura, ocorre uma repulsão eletrostática, a qual as mantém afastadas, evitando a coalescência e aumentando a estabilidade.

Segundo Mielenz (1958), a estabilidade do ar está atrelada também ao aprisionamento de grande parte das bolhas pelos agregados. As bolhas maiores são menos estáveis por possuírem maior força ascensional, o que tendência a subida para a superfície onde podem ser perdidas. Assim, procura-se evitar que pequenas bolhas se unam e formando bolhas maiores (ALVES, 2002).

1.1.1.2 Aditivo estabilizador de hidratação

Os aditivos estabilizadores de hidratação (AEH) são uma derivação dos aditivos retardadores de pega, sendo classificados pela norma americana C494 (ASTM, 1999) como tipo D ou retardador de pega de longa extensão (superior a 4 horas). Já a NBR 11768 (ABNT, 1992) classifica somente os aditivos retardadores.

Os retardadores de pega tem por objetivo prolongar o tempo fluido da argamassa, agindo de maneira a retardar a dissolução dos cátions e ânions do cimento, principalmente aqueles com alta velocidade de dissolução inicial (RICKERT, 2004; SOUZA, 2007). Suas principais atribuições, segundo Salvador (2011) são: aumentar o tempo de início de pega, manter a trabalhabilidade a temperaturas elevadas, retardar a elevação do calor de hidratação e o tempo de pega, ampliando os tempos de aplicação. No entanto, podem promover a exsudação e aumentar a retração plástica do concreto.

O aditivo estabilizador de hidratação é um produto químico que atua sobre as moléculas de cimento, bloqueando a reação com a água e, assim, mantendo sua estabilidade por longo período, uma vez que, retarda o início das reações. A quantidade de produto adicionado ao peso do cimento da argamassa irá determinar o período de estabilização, podendo chegar a 72 horas (WEIDMANN et al., 2007; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

De acordo com os fabricantes de aditivos estabilizadores de hidratação, sua natureza química é composta por uma solução aquosa de sais ácidos hidrocarboxilados (ácido cítrico e citrato de sódio, ácido tartárico e tartarato de sódio, ácido etilenodiamino tetra-acético) e carboidratos (açúcar, amido e celulose), os quais também se enquadram dentre os retardadores (GARCIA; OLIVEIRA; PANDOLFELLI, 2007).

Os ácidos hidroxí-carboxílicos retardam a hidratação da fase C_3A , atrasando a conversão da fase hexagonal para a fase cúbica (RAMACHANDRAN et al., 2002). Mesmo que os ácidos hidroxí-carboxílicos e seus sais sejam amplamente utilizados como retardadores, Chappuis et al. (1991) descreveu que, para alguns tipos de cimento, quantidades acima de 0,3% de citrato trissódico acabam por acelerar o tempo de pega ao invés de retardar. Garcia, Oliveira e Pandolfelli (2007) relatam que, independentemente do tipo de citrato, quantidades ainda maiores de compostos

hidroxi-carboxílicos (1,0 a 1,5% em massa para os citratos) também podem causar mudança da ação retardadora para aceleradora.

Os carboidratos, formados principalmente por açúcares e celuloses, também podem ser utilizados como aditivos retardadores, atuando por meio da complexação de Ca^{2+} em solução e na adsorção sobre as partículas do cimento (GARCIA; OLIVEIRA; PANDOLFELLI, 2007).

Segundo Bishop e Barron (2006), os mecanismos de retardamento geralmente recaem em quatro regimes: i) complexação do cálcio prevenindo a precipitação da portlandita; ii) formação de uma camada semi-permeável, posteriormente desagregada por gradientes de pressão osmótica; iii) adsorção superficial de retardadores diretamente na superfície anidra e iv) nucleação e envenenamento de crescimento de hidratos, incluindo a portlandita. Já segundo Cheung et al. (2011), o retardo é composto por dois efeitos, sendo eles, o aumento do período de indução e a variação da taxa de hidratação após o seu início.

Os retardadores convencionais influenciam os produtos de hidratação por revestirem superficialmente os grãos de cimento. Estes retardadores, segundo estudos calorimétricos realizados por Paolini e Khurana (1998), exercem maior influência sobre as fases dos silicatos (C_3S e C_2S). Desta forma, a resistência inicial é a mais afetada, retardando o início da pega ao invés de modificar a reologia da mistura fresca. Segundo os autores, se a dosagem do retardador for muito elevada, é possível que se pare permanentemente a hidratação, não podendo ser reativada. Nestas situações, a solução é substituir a mistura. A sobredosagem de retardadores também pode gerar a pega rápida, isto é, a perda rápida da trabalhabilidade da mistura e o conseqüente endurecimento, apresentando comportamento similar aos cimentos em que o gesso está ausente ou em dosagem muito baixa.

O mecanismo de ação do agente estabilizador é bastante diferente dos retardadores convencionais. O estabilizador, segundo Paolini e Khurana (1998), é capaz de retardar todos os minerais do clínquer e reduzir a concentração de sulfato de cálcio na solução. Com o auxílio de análises da calorimetria e microscopia eletrônica de varredura ficou perceptível que o estabilizador inibiu a nucleação do C-S-H e CH. A hidratação do cimento é impedida pelo aditivo, o qual atua em todas as fases do processo, inclusive na fração de C_3A .

O estabilizador age inibindo a nucleação na superfície de hidratos ricos em íons cálcio, sendo, assim, um agente ativo de superfície. Se o aditivo estabilizador de

hidratação for acrescentado ainda junto com a água de amassamento irá inibir a nucleação e a formação do C-S-H. Mas, se for adicionado durante ou após o período de indução irá diminuir a nucleação e o crescimento do C-S-H e CH. Se os núcleos já estiverem formados, o estabilizador, além de retardar o crescimento dos hidratos, irá alterar a morfologia externa dos próximos hidratos a serem formados (PAOLINI; KHURANA, 1998).

Segundo Ramachandram (1994), os fatores que afetam a eficácia de um aditivo retardador no controle das reações de hidratação são: o teor do aditivo em relação à massa de aglomerante, o intervalo decorrido entre o início da hidratação e o momento em que o aditivo é adicionado, a composição e a quantidade de aglomerante no concreto e a composição química do aditivo.

Comparando-se a evolução de calor ao longo do tempo de uma mistura convencional de cimento com uma mistura empregando o AEH, é perceptível que o AEH reduz o pico de C_3A e indefinidamente atrasa o pico de C_3S e C_2S (PAOLINI; KHURANA, 1998). Dessa forma, as misturas com emprego de AEH tem o processo de hidratação reiniciado regularmente quando o efeito do estabilizador desaparece. Assim, o cimento começa espontaneamente a hidratar e a mistura endurece normalmente, produzindo um material de boa qualidade (PAOLINI; KHURANA, 1998).

O aditivo estabilizador de hidratação pode ser utilizado em estabilização de águas de lavagem, provenientes de caminhão betoneira; para concreto compactado com rolo, em concreto projetado de via úmida, para a estabilização de concretos retornados, em concretagens a longas distâncias e em argamassas estabilizadas (reboco externo, interno e assentamento).

1.1.2 Fatores que influenciam nas propriedades da argamassa estabilizada

As propriedades das argamassas estabilizadas podem sofrer alterações devido a varios fatores, sendo alguns dos principais resumidos a seguir.

1.1.2.1 Tempo de mistura

O tempo de mistura pode promover alterações na incorporação de ar das argamassas. Segundo Romano, Cincotto e Pileggi (2018), quanto maior for o tempo em que a argamassa é submetida ao processo de mistura, maiores serão os

movimentos diferenciais produzidos pelo cisalhamento entre partículas. Assim, as bolhas de ar incorporadas tendem a se dividir em bolhas menores e mais instáveis termodinamicamente, uma vez que a pressão interna passa a ser maior. Esse processo vai se repetindo, porém, a velocidade de incorporação tende a ser mais lenta pois não há mais grande volume da pasta disponível no sistema. Assim, quando é atingido um volume limite de ar, a incorporação de ar passa a diminuir já que as bolhas começam a coalescer.

Essa teoria é também corroborada por Ramachandran (1984), Beningfield (1988), Rixon e Mailvaganan (1999). No entanto, outros autores observaram uma correlação diretamente proporcional entre o tempo de mistura e o teor de ar incorporado, não sendo apontada uma tendência de redução dessa incorporação (FERRARIS; OBLA; HILL, 2001; ALVES, 2002; ROMANO et al., 2009).

Em argamassas estabilizadas o AIA é empregado juntamente com o AEH, podendo haver interferência de efeitos e alterações de comportamento no processo de incorporação de ar. Essa quantidade de ar incorporado e as características das bolhas formadas são fatores que podem desencadear alterações na reologia das argamassas, assim como, na resistência, na permeabilidade e na durabilidade dos revestimentos. No entanto, não foram encontrados estudos a respeito da influência do tempo de mistura nas propriedades das argamassas com AIA e AEH utilizados conjuntamente.

1.1.2.2 Teores dos aditivos

Os teores ideais para os aditivos empregados em argamassas estabilizadas ainda é motivo de discussão entre os pesquisadores e a indústria fabricante de argamassas. A quantidade de aditivos é, muitas vezes, empregada sem o devido conhecimento técnico, podendo afetar as propriedades das argamassas.

O aumento do teor de AIA gera maior incorporação de ar. No entanto, esse aumento demonstrou ter um limite onde acontece a saturação do aditivo no sistema, denominado concentração micelar crítica (SALAGER, 1993; ROMANO, 2013). A partir desse limite a tensão superficial não sofre mais alteração, não havendo mais efeito na incorporação de ar (SALAGER, 1993). Além disso, o uso de AIA torna a argamassa mais suscetível à ação da umidade e de agentes agressivos, uma vez que se aumenta a porosidade (ROMANO; CINCOTTO; PILEGGI, 2018), podendo diminuir a

resistência mecânica. Quando empregados em altos teores, o AIA pode proporcionar um retardamento excessivo na hidratação do cimento (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Os AEH podem afetar a composição química das argamassas, já que prorrogam o tempo de início de pega, podendo retardar também a formação dos compostos hidratados e a formação da resistência. Assim, podem gerar maior retração plástica e exsudação de água (NEVILLE; BROOKS, 2013), devido à maior quantidade de água livre no sistema. Além disso, quando empregados em grandes quantidades, podem reduzir drasticamente a resistência da argamassa (COUTO, 2011), principalmente nas idades iniciais.

Assim, a combinação dos dois aditivos requer um estudo dos teores empregados, já que isoladamente são conhecidas as alterações proporcionadas nas propriedades, mas, quando associados, não existe consentimento dos efeitos.

1.1.2.3 Granulometria do agregado

A granulometria do agregado miúdo pode interferir tanto na incorporação de ar, como na retenção de água, na exsudação, na retração, na resistência mecânica, dentre outros. Quanto maior for a quantidade de partículas finas, mais água é necessária para atingir uma mesma consistência na mistura, resultando em maior retração e menor resistência (SABBATINI, 1998; CINCOTTO; SILVA; CASCUDO, 1995). Para uma relação água/aglomerante constante, o emprego de uma granulometria mais fina resultaria em maior retenção, menor trabalhabilidade e menor incorporação de ar, já que haveria menor quantidade de água livre no sistema (SABBATINI, 1998; ROMANO, 2013).

A distribuição granulométrica dos agregados promove alterações consideráveis na etapa de mistura. Agregados com distribuição contínua tendem a incorporar menos ar do que granulometrias uniformes. No entanto, com a utilização de AIA esses efeitos tendem a ser diminuídos. Isso ocorre pois as bolhas de ar preenchem os espaços deixados por distribuições granulométricas descontínuas, amenizando as alterações ocasionadas nas propriedades (ROMANO; TORRES; PILEGGI, 2015).

Para o emprego de AEH e AIA associados não são conhecidos os efeitos que a granulometria do agregado pode proporcionar na argamassa, requerendo estudos específicos.

1.1.2.4 Tipo de cimento

O tipo e finura de cimento podem interferir na velocidade e na quantidade de calor liberado nas reações de hidratação. A hidratação do cimento ocorre da superfície para o interior do grão. Assim, quanto mais fino for o cimento mais rápido ele tende a reagir. Isso acontece porque, com o cimento mais fino, tem-se maior quantidade de partículas por unidade de massa, com maior área superficial para reagir com a água, aumentando a taxa de reatividade (PETRUCCI, 1998; NEVILLE; BROOKS, 2013). Além disso, o emprego dos aditivos, especialmente do AEH, que atua diretamente no processo de hidratação do cimento, pode ter atuação distinta quando utilizados em cimentos com diferentes finuras e adições.

Diferentes tipos de cimento também podem proporcionar comportamentos reológicos distintos. A medida em que a finura do cimento aumenta, o deslocamento máximo sobre compressão também tende a aumentar. No entanto, a água disponível para o deslocamento sob compressão de um cimento mais fino também tende a diminuir mais rapidamente, sendo, talvez, necessária maior quantidade de AEH para se atingir um mesmo tempo de estabilização do que para um cimento mais grosso (CASALI et al., 2018).

Para argamassas utilizando a combinação dos aditivos AEH e AIA não foram encontradas evidências dos efeitos proporcionados por diferentes tipos de cimento nos tempos de pega, merecendo maior estudo.

1.1.2.5 Tempo de estabilização

As argamassas estabilizadas apresentam perda de trabalhabilidade ao longo do tempo de estabilização, verificadas por meio da diminuição no teor de ar incorporado e do índice de consistência (MACIOSKI et al., 2013). Alguns fenômenos podem ser reponsáveis por essas perdas, como a diminuição da quantidade de água no sistema, o colapso das bolhas de ar e a diminuição do efeito do AEH, dando início às reações de hidratação (CASALI et al., 2018). Além disso, estudos mostraram que as propriedades no estado endurecido também são afetadas pelo tempo em que a mistura estabiliza antes da moldagem dos corpos de prova. Quanto maior o tempo de estabilização, menor a resistência mecânica observada (DUARTE et al., 2019; ROQUE; POLESELLO, 2019).

Por não haverem normativas específicas para argamassa estabilizada, nem evidências suficientes a respeito, não há um consentimento acerca dessas alterações proporcionadas pelo tempo de estabilização nas propriedades. Além disso, também não foram encontradas associações entre os teores de aditivos empregados e o tempo de estabilização.

1.2 JUSTIFICATIVA

A argamassa estabilizada proporciona agilidade ao processo construtivo, menor desperdício de materiais, espaço mais enxuto nos canteiros de obras, aumento do controle tecnológico na produção, possibilidade de transporte para locais distantes e melhora na qualidade do produto final. Porém, o processo de fabricação e a aplicação dessas argamassas ainda não possui normatização nacional devido à escassez de evidências, gerando maior dificuldade de padronização e de controle de qualidade por parte dos fabricantes. Além disso, algumas propriedades do estado fresco e endurecido foram pouco estudadas. Portanto, a melhor compreensão do efeito dos aditivos incorporador de ar e estabilizador de hidratação nas propriedades reológicas, físicas, químicas e microestruturais dessas argamassas, ao longo do tempo, torna-se relevante. Desse modo, haverá maior contribuição para a elaboração de normativas específicas e estudos de caso envolvendo manifestações patológicas em argamassas estabilizadas.

1.3 PROPOSIÇÃO

O objetivo principal desse estudo é avaliar a interação dos aditivos incorporadores de ar e estabilizadores de hidratação com o cimento Portland nas propriedades de argamassas estabilizadas por meio da análise de seu comportamento reológico, físico-químico, mecânico e microestrutural.

1.3.1 Objetivos específicos e hipóteses

Cada objetivo específico desse estudo proporcionou o desenvolvimento de um artigo científico. Assim, os objetivos e as hipóteses levantadas para essa pesquisa são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Objetivos específicos e hipóteses

Objetivos específicos		Hipóteses
Artigo 1	1) Avaliar a interação entre os aditivos incorporadores de ar e estabilizadores de hidratação na incorporação de ar das argamassas sob diferentes tempos de mistura, teores de aditivos e faixas granulométricas de agregado.	1.1 O tempo de mistura e o teor de aditivo possuem limites de influência sobre a incorporação de ar em misturas estabilizadas, a partir dos quais a incorporação de ar não é mais significativa.
		1.2 O aditivo estabilizador de hidratação também contribui para a incorporação de ar.
		1.3 A granulometria do agregado miúdo tem influência no comportamento da mistura quanto à incorporação de ar.
		1.4 As pausas durante o processo de mistura interferem na incorporação de ar.
Artigo 2	2) Estabelecer comparativos quanto aos tempos de pega das argamassas com cada tipo de cimento, avaliando a ação conjunta e isolada de cada aditivo por meio de diferentes métodos de cálculo.	2.1 As características do cimento empregado exercem influência sobre o tempo de início de pega.
		2.2 Quanto mais fino for o cimento, mais rápido o seu início de pega.
		2.3 O tempo de início de pega das misturas de argamassas depende do teor empregado de ambos os aditivos, podendo haver interferência e/ou inversão de funções, de acordo com as dosagens.
Artigo 3	3) Avaliar o efeito dos aditivos incorporador de ar e estabilizador de hidratação nas propriedades frescas das argamassas ao longo do período de estabilização por meio de análises reológicas.	3.1 A perda de propriedades da argamassa estabilizada ao longo do período de estabilização está atrelada ao teor dos dois aditivos empregados.
		3.2 O uso combinado dos aditivos melhora as propriedades reológicas das argamassas.
Artigo 4	4) Avaliar a influência dos aditivos incorporador de ar e estabilizador de hidratação em diferentes teores, isoladamente e em conjunto nas propriedades do estado endurecido de argamassas estabilizadas ao longo do tempo.	4.1 As bolhas de ar incorporadas às misturas apresentam características e estabilidades distintas.
		4.2 A microestrutura das argamassas depende da forma com que as bolhas de ar são geradas.
		4.3 O emprego dos aditivos em argamassas estabilizadas pode retardar também a idade em que são atingidas as propriedades mecânicas desejadas, a depender dos teores empregados.

1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

1.4.1 Materiais

Para a realização desse estudo, foram utilizados dois tipos de agregados miúdos, dois tipos de cimento, água potável, aditivo incorporador de ar (AIA) e aditivo estabilizador de hidratação (AEH). Todos os materiais foram cedidos por empresas produtoras de argamassas estabilizadas na região central do estado do Rio Grande do Sul. Os cimentos utilizados foram um cimento com filer (CPII F-40, denominado cimento F) e um cimento com pozolana (CPII Z-32, denominado cimento Z), ambos do mesmo fabricante (Votorantim, Dez/2017), caracterizados conforme a Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 - Características físicas do cimento CII F-40 e CII Z-32.

Propriedade	Cimento F	Cimento Z	Método
Massa específica (g/cm ³)	3,10	3,06	NBR NM 23 (ABNT, 2001)
Índice de finura (#0,075mm) (%)	0,12	0,51	NBR 11579 (ABNT, 2013)
Água da pasta de consistência normal (%)	29,00	28,71	NBR NM 43 (ABNT, 2003)
Início de pega (h:min)	4:00	4:10	NBR NM 65 (ABNT, 2003)
Fim de pega (h:min)	5:20	5:44	NBR NM 65 (ABNT, 2003)
Área superficial (m ² /g)	1,2592	1,2844	BET
Volume dos poros (cm ³ /g)	0,004791	0,004190	BET
Dimensão dos poros (nm)	20,0047	17,7925	BJH/BET

Fonte: Autor.

Tabela 2 - Características químicas, físicas e mecânicas dos cimentos CII F-40 e CII Z-32.

Ensaio Químico					
	Cimento F	Cimento Z	Limite de norma	Método	
Perda ao fogo (%)	4,86	5,26	≤ 6,5	NBR NM 18 (ABNT, 2012)	
Óxido de magnésio (%)	5,90	5,52	≤ 6,5	NBR NM 14 (ABNT, 2012)	
Anidrido sulfúrico (%)	3,56	2,83	≤ 4,0	NBR NM 16 (ABNT, 2012)	
Resíduo insolúvel (%)	0,82	13,17	≤ 2,5 / ≤ 16	NBR NM 22 (ABNT, 2012)	
Ensaio Físico e Mecânico					
Blaine (cm ² /g)	4521,50	3657,50	≥ 2800 / ≥ 2600	NBR 16372 (ABNT, 2015)	
Expansibilidade a quente (mm)	0,38	0,55	≤ 5,0	NBR 11582 (ABNT, 2016)	
	1 dia	23,73	12,51	N/A	
Resistência à compressão	3 dias	34,47	22,89	≥ 15,0 / ≥ 10,0	NBR 7215 (ABNT, 1997)
	7 dias	40,25	28,17	≥ 25,0 / ≥ 20,0	
	28 dias	47,68	37,13	≥ 40,0 / ≥ 32,0; ≤ 49,0	

Fonte: Fabricante de Cimento Portland, unidade Rio Branco (DEZ/2017).

Os agregados miúdos utilizados, aqui denominados de Areia A (extraída de rio, Santa Maria/RS) e Areia B (proveniente de cava, Viamão/RS), foram secos em estufa por 24 h (40°C) anteriormente aos ensaios. As características de ambos os agregados estão especificadas na Tabela 3 e as composições granulométricas (NBR NM 248, 2003) encontram-se na Figura 3.

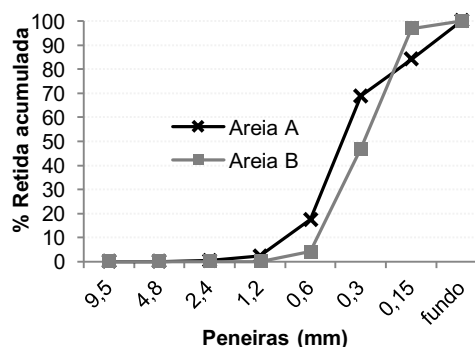
Tabela 3 - Propriedades das areias A e B

Propriedade	Areia A	Areia B	Método
Dimensão máxima característica (mm)	1,20	0,60	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Módulo de finura	1,73	1,48	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Massa específica (g/cm ³)	2,64	2,67	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Massa unitária (g/cm ³)	1,63	1,63	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Teor de material pulverulento (%)	4,94	2,13	NBR NM 46 (ABNT, 2003)
Área superficial (m ² /g)	0,54	1,31	BET
Volume dos poros (cm ³ /g)	0,001156	0,003719	BET
Dimensão dos poros (nm)	8,48	10,24	BJH/BET

Fonte: Autor.

Figura 3 – Granulometria das areias A e B

Peneira (mm)	Areia A		Areia B	
	Médias		Médias	
	% Retida	% Acumulada	% Retida	% Acumulada
9,50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
4,80	0,08%	0,08%	0,00%	0,00%
2,40	0,40%	0,47%	0,00%	0,00%
1,20	1,78%	2,25%	0,06%	0,06%
0,60	15,19%	17,45%	4,05%	4,11%
0,30	51,31%	68,76%	42,87%	46,99%
0,15	15,33%	84,08%	49,91%	96,90%
fundo	15,92%	100,00%	3,10%	100,00%



Fonte: Autor.

Os dois tipos de aditivos utilizados, aditivo incorporador de ar (AIA, Centripor 411, Brasil) e aditivo estabilizador de hidratação (AEH, Centripor Retard 225, Brasil), estão caracterizados na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados técnicos dos aditivos AIA e AEH.

Características	AIA	AEH
Base química	Sal de álcool graxo etoxilado sulfatado	-
Aspecto	Líquido	Líquido
Cor	Amarelo	Marrom
Densidade (g/cm ³)	1,00	1,17
Teor de sólidos (%)	3	45
pH	9	6
Solubilidade	Solúvel em água (20°C)	Solúvel em água
Dosagens (% peso do cimento)	0,1 – 0,5	0,2 – 1,5

Fonte: Fabricante de aditivo.

1.4.2 Métodos

Esta pesquisa foi desenvolvida por meio de quatro artigos científicos, os quais visaram testar as hipóteses levantadas. Todas as argamassas estudadas foram confeccionadas em laboratório com o traço de 1:6,5, em massa, e proporção água/aglomerante de 1,0. Os materiais e proporcionamentos empregados foram embasados em dados fornecidos pelos fabricantes de argamassas. A Figura 4 apresenta um fluxograma geral do estudo, esquematizando a metodologia utilizada em cada artigo.

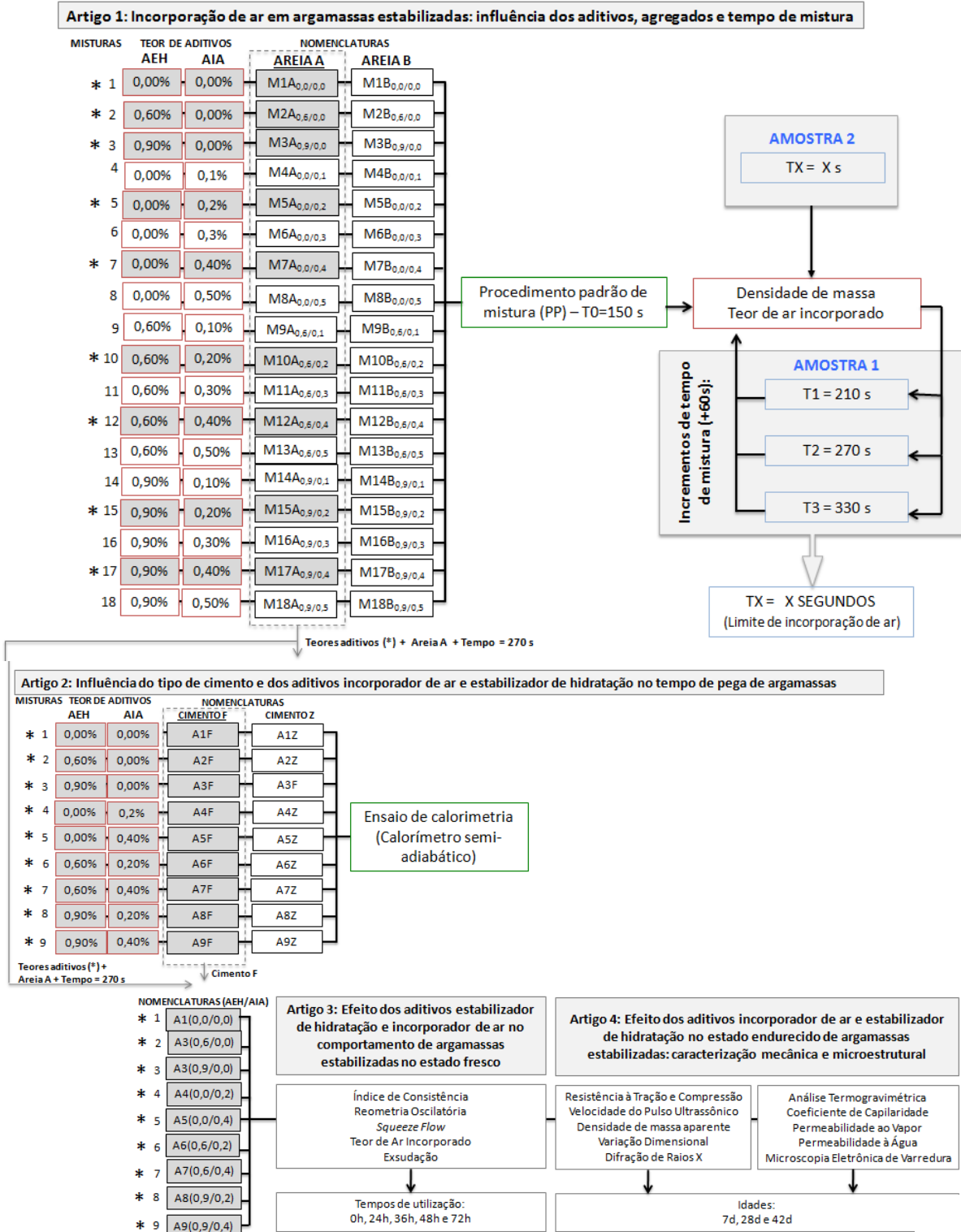
O primeiro artigo avaliou a influência da dosagem dos aditivos, do tipo de agregado miúdo e do tempo de mistura na incorporação de ar em argamassas estabilizadas. Para isso, foram avaliadas trinta e seis misturas de argamassas

utilizando dois diferentes tipos de agregado miúdo (areias), sendo dezoito argamassas com areia A e dezoito com a areia B. A combinação dos aditivos empregou três teores de aditivo estabilizador de hidratação (AEH) (0,0%, 0,6% e 0,9%) e seis teores de aditivo incorporador de ar (AIA) (0,0%, 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4% e 0,5%). As argamassas foram submetidas a quatro tempos de mistura (150s, 210s, 270s e 330s), sendo avaliada a densidade de massa e o teor de ar incorporado para cada tempo. Posteriormente foi confeccionada uma segunda amostra independente para cada mistura, a qual foi misturada ininterruptamente durante o tempo estabelecido, para confirmação dos resultados. Assim, foi estabelecido um tempo de mistura (TX=270s), um tipo de areia (selecionadas por retângulo tracejado na Figura 4) e os teores de aditivos (marcados por “ * ” na Figura 4) a serem empregados nas próximas etapas.

O segundo artigo monitorou a temperatura de dezoito argamassas ao longo de 14 dias após a confecção, a fim de se obter os tempos de pega. Foram utilizados dois diferentes tipos de cimento (CPII F 40 e CPII Z 32), empregando-se três teores de AEH (0,0%, 0,6% e 0,9%) três teores de AIA (0,0%, 0,2% e 0,4%). Com essa etapa, selecionou-se um tipo de cimento (selecionado por retângulo tracejado na Figura 4) para ser empregado nas etapas seguintes.

Os artigos 3 e 4 analisaram as propriedades no estado fresco e endurecido, respectivamente, de nove argamassas a fim de se avaliar o efeito dos aditivos, em diferentes teores, ao longo do tempo. Para isso, utilizou-se um tipo de cimento (Cimento F), um tipo de agregado miúdo (Areia), mantendo-se o mesmo procedimento de mistura (Tempo= 270 s) e as mesmas condições de armazenamento e cura. Foram empregados três teores de AEH (0,0%, 0,6% e 0,9%) e três teores de AIA (0,0%, 0,2% e 0,4%), isolados e combinados, sendo as propriedades analisadas em diferentes tempos de estabilização no estado fresco (0 h, 24 h, 36 h, 48 h e 72 h) e em diferentes idades no estado endurecido (7 d, 28 d e 42 d). A descrição detalhada dos materiais e metodologia utilizados em cada etapa está descrita no corpo de cada artigo a seguir.

Figura 4 – Fluxograma geral da pesquisa.



2 ARTIGO 1 - INCORPORAÇÃO DE AR EM ARGAMASSAS ESTABILIZADAS: INFLUÊNCIA DOS ADITIVOS, AGREGADOS E TEMPO DE MISTURA

Este artigo foi submetido à Revista Ambiente Construído, ISSN: 1678-8621 (versão eletrônica), Engenharias 1, Qualis B1 (quadriênio 2013-2016). O artigo está formatado conforme as normas para a publicação nesse periódico, as quais estão descritas no anexo A.

Página de Rosto

Incorporação de ar em argamassas estabilizadas: influência dos aditivos, agregados e tempo de mistura

Autores:

Juliana P. Antoniazzi^{1*}, Gihad Mohamad², Juliana M. Casali³, Raquel Petry Brondani Schmidt⁴

¹Aluna de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Professora Assistente do Departamento de Expressão Gráfica, Universidade Federal de Santa Maria, juliana.antoniazzi@ufsm.br, Brasil.

²Professor Associado, Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, gihad.civil@gmail.com, Brasil.

³Professora assistente, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, juliana.casali@ifsc.edu.br, Brasil.

⁴Aluna de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Professora Assistente do Departamento de Expressão Gráfica, Universidade Federal de Santa Maria, raquelbrondani@gmail.com, Brasil.

Autor Correspondente:

Juliana Pippi Antoniazzi

Av. Roraima, n. 1000, Centro de Tecnologia (prédio 07), sala 201, Departamento de Expressão Gráfica, Universidade Federal de Santa Maria, Cidade Universitária, Bairro Camobi, 97105 – 900, Santa Maria/RS, Brasil.

Contato: +55(55)3220-8594

juliana.antoniazzi@ufsm.br

Incorporação de ar em argamassas estabilizadas: influência dos aditivos, agregados e tempo de mistura

Air-incorporation in ready mix mortars: influence of admixtures, aggregates and mixing time

RESUMO

A incorporação de ar em argamassas é um tema complexo, capaz de afetar suas propriedades nos estados fresco e endurecido. A argamassa estabilizada é uma mistura pronta que contém alto teor de ar incorporado e possui aplicabilidade de até três dias devido ao emprego dos aditivos incorporadores de ar (AIA) e estabilizadores de hidratação (AEH). Esse trabalho avaliou a influência dos aditivos AIA e AEH, do tipo de agregado e do tempo de mistura na incorporação de ar de argamassas. Foram confeccionadas 36 misturas de argamassas, submetidas a diferentes tempos de mistura (150s, 210s, 270s e 330s). Foram empregadas areias de duas granulometrias, AEH nos teores de 0%, 0,6% e 0,9% e AIA nos teores de 0% a 0,5%, traço padrão para revestimentos (1:6,5) e proporção água/aglomerante de 1,0. Os resultados apontaram para uma estabilização da incorporação de ar com tempo de mistura de 270s e teor do AIA entre 0,3% e 0,4%, enquanto o AEH não contribuiu significativamente para a incorporação de ar. O tempo de mistura influenciou a incorporação de ar das argamassas apenas para teores de AIA a partir de 0,3%, já a granulometria do agregado influenciou apenas nas argamassas sem AIA ou com AIA até 0,2%.

Palavras-chaves: Argamassa estabilizada. Incorporação de ar. Aditivo incorporador de ar. Aditivo estabilizador de hidratação. Tempo de mistura.

ABSTRACT

Air-incorporation is a complex issue that affects the properties of both fresh and hardened mortars. Ready-mix mortar is mix that contains a high air entrained content and has applicability for up to three days due to the use of air entraining admixtures (AEA) and hydration stabilizing admixtures (HSA). This work evaluated the influence of AEA and HSA, aggregate type and mixing time on air entrainment in ready-mix mortars. For such, 36 mortar mixtures were prepared with different mixing times (150, 210, 270 and 330 s). Two sand particle sizes were studied using the different contents of HSA (0%, 0.6% and 0.9%) and AEA (0% to 0.5%), a standard proportion for rendering mortars (1:6.5) and a water/binder ratio of 1.0. The results indicated air entrainment stabilization with a mixing time of 270 s and AEA content between 0.3% and 0.4%, whereas HSA did not contribute significantly to air entrainment. Mixing time influenced the air entrained in mortars only with an AEA content 0.3% or higher, while aggregate particle size only influenced mortars without AEA or with AEA up to 0.2%.

Keywords: Ready mix mortar. Air-incorporation. Air entraining admixture. Hydration stabilizing admixture. Mixing time.

1 INTRODUÇÃO

A incorporação de ar em argamassas proporciona maior trabalhabilidade e coesão às misturas, diminuindo a tendência à exsudação (BENINGFIELD, 1988; ALVES, 2002) e aumentando a produtividade em obra. Essa incorporação intencional de ar geralmente é feita com a utilização de aditivo incorporador de ar (AIA), o qual proporciona, juntamente com o processo mecânico de mistura, a introdução de microbolhas de ar estáveis na argamassa. O atrito interno entre as partículas é então diminuído, promovendo maior distanciamento entre os agregados, o que facilita o fluxo, manuseio e aplicação dessas argamassas (ROMANO; CINCOTTO; PILEGGI, 2018). Dessa forma, a consistência das misturas com ar incorporado tende a ser menor do que a de misturas convencionais, uma vez que, diferentemente das pastas de cimento onde o efeito ponte é predominante, com a presença do agregado, o efeito que predomina é o das bolhas de ar atuando como microesferas compressíveis, melhorando o rolamento entre os grãos.

Segundo Beningfield (1988), se as argamassas receberem teores de ar incorporado entre 20 e 25%, torna-se perceptível uma redução em suas resistências. Entre percentuais de 15 e 20% pode haver uma pequena redução das propriedades no estado endurecido. Sendo assim, recomenda-se um teor máximo de 20% de ar incorporado.

A incorporação de ar e a modificação das propriedades da argamassa pelo uso do AIA irão depender de vários fatores, dentre estes o tempo e a energia de mistura, o tipo de misturador, o teor de aditivos empregado e a granulometria dos agregados (ALVES, 2002; ROMANO et al., 2009; ROMANO; TORRES; PILEGGI, 2015; ROMANO; CINCOTTO; PILEGGI, 2018).

Atualmente, o mercado da construção civil tem utilizado frequentemente as argamassas estabilizadas como opção para revestimento e assentamento, as quais são produzidas e dosadas em central, com capacidade de manterem-se trabalháveis por até três dias. Para isso, os fabricantes empregam altos teores de ar incorporado aliados ao efeito de retardo do tempo de pega (NELSON et al., 1988). Neste caso, o aditivo incorporador de ar (AIA) é o responsável pela melhora nessa trabalhabilidade da argamassa no estado fresco, enquanto o aditivo estabilizador de hidratação (AEH) possibilita um aumento no tempo em que essa mistura permanece trabalhável.

Os aditivos incorporadores de ar são agentes tensoativos, na grande maioria aniônicos, formados por moléculas de cabeça hidrofílica e cauda hidrofóbica que, quando posicionados na interface ar-água, reduzem a tensão superficial e promovem a incorporação de ar (HARTMANN et al., 2011; ROMANO; CINCOTTO; PILEGGI, 2018). Na interface sólido-água, os tensoativos posicionam-se de forma que o grupo polar, carregado negativamente, fique em contato com as partículas de cimento e/ou agregados, carregados positivamente em sua superfície, ficando o grupo apolar em contato com a água. Dessa forma, as partículas de cimento ficam revestidas de moléculas de tensoativos, tornando-se hidrorrepelentes, sendo a água deslocada pelo ar, o qual permanece aderido às partículas sólidas no formato de bolhas (SALAGER, 2002; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Os aditivos estabilizadores de hidratação são um tipo de retardador de pega os quais se diferenciam deste por promoverem retardo da ação química entre o cimento e a água de longa extensão (MEHTA; MONTEIRO, 2014), uma vez que atuam sobre todos os minerais do clínquer. Esses aditivos atuam como agentes ativos de superfície, formando uma película hidrorrepelente ao redor das partículas de cimento e inibindo a nucleação na superfície de hidratos ricos em íons de cálcio. Dessa forma, quando acrescentados juntos à água de amassamento, inibem a nucleação e a formação do silicato de cálcio hidratado (PAOLINI; KHURANA, 1998; RICKERT, 2004).

As argamassas estabilizadas não possuem normativas específicas para nortear sua produção e aplicação, ao mesmo tempo que suas propriedades possuem características bastante específicas devido ao emprego de diferentes aditivos.

A motivação para esse estudo diz respeito ao interesse da indústria em resolver problemas identificados na produção de argamassas estabilizadas, devido a variabilidade dos resultados físicos e mecânicos possivelmente devido ao uso dos aditivos. Existem ainda questionamentos sobre a interação entre os aditivos estabilizadores de hidratação (AEH) e os incorporadores de ar (AIA) nessas argamassas. O quanto o teor de cada aditivo empregado influencia no teor de ar incorporado das argamassas e se existe um ponto de saturação dessas moléculas. Além disso, até que ponto a incorporação de ar está atrelada ao tempo de mistura e se a granulometria da areia também exerce influência nesse processo.

Esse trabalho, portanto, tem por objetivo avaliar a interação entre os aditivos incorporadores de ar e estabilizadores de hidratação na incorporação de ar das argamassas. Para tanto foram quantificados o teor de incorporação de ar das amostras quando submetidas a diferentes tempos de mistura e teores dos aditivos AIA e AEH, para duas diferentes faixas granulométricas de areia.

2 FATORES QUE INTERFEREM NA INCORPORAÇÃO DE AR DE ARGAMASSAS

Estudos realizados por Ferraris (2001), Alves (2002) e Romano et al. (2009) em argamassas de revestimento mostraram uma correlação linear e diretamente proporcional entre o tempo de mistura e o teor de ar incorporado. Segundo Ramachandran (1984), Beningfield (1988), Rixon e Mailvaganan (1999), em misturas com baixo teor de materiais sólidos, o nível máximo de ar incorporado é rapidamente alcançado, sendo progressivamente menor com o aumento do tempo de mistura. Já para misturas com alto teor de sólidos, são requeridos entre 5 e 10 minutos para se atingir o teor máximo de ar, tendendo a diminuir os valores com a continuação da mistura.

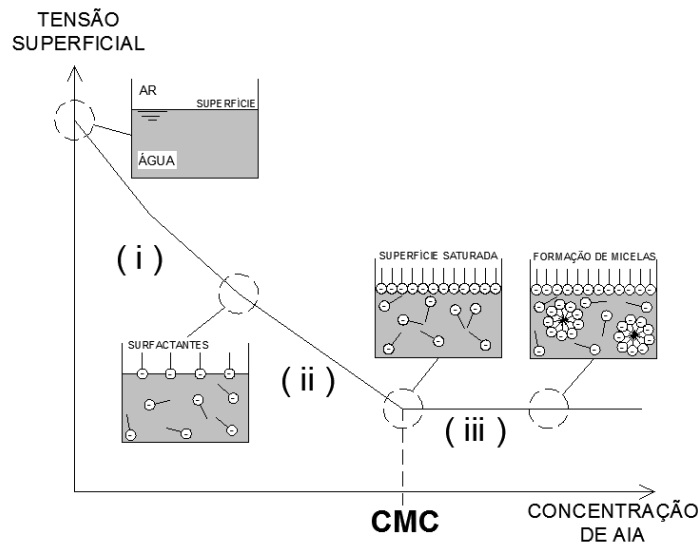
Com o aumento do tempo de mistura e dos movimentos diferenciais produzidos pelo cisalhamento entre partículas, as bolhas de ar incorporadas à massa se subdividem em bolhas menores, as quais são mais instáveis termodinamicamente, pois a pressão interna torna-se maior. Dessa forma, a tendência é que a velocidade de incorporação diminua a partir de um certo ponto, já que o volume de pasta disponível também se torna menor. Esse processo ocorre até que seja atingido um volume limite de ar, a partir do qual se observa a diminuição da incorporação de ar devido a tendência das bolhas coalescerem (ROMANO, 2013).

Naturalmente, como observado por Bauer e Oliveira (2017), o aumento do teor de aditivo incorporador de ar (AIA) proporciona um incremento na porosidade das misturas de argamassa. Porém, na teoria, esse aumento ocorre de forma significativa até um limite de saturação das moléculas de aditivo, denominado concentração micelar crítica (SALEGER, 1993; ROMANO, 2013), como mostra a Figura 1.

Segundo Salager (1993), a partir da concentração micelar crítica (CMC) ocorre a saturação de moléculas de incorporador de ar, podendo ser observada uma transição da fase (ii) para a fase (iii), onde a tensão superficial não mais se altera, mesmo com o aumento da concentração de aditivo. Nesta fase, qualquer molécula suplementar de aditivo incorporador de ar ficará acima desse limite de saturação e a solubilização irá gerar micelas, isto é, agregados do tipo coloidais, não havendo mais efeito na incorporação de ar. Araujo (2005) constatou em seu estudo que o aumento do teor de AIA não alterou de maneira significativa a quantidade de ar incorporado.

Quando estudadas apenas pastas de cimento, Antoniazzi et al. (2019) observaram que o aditivo estabilizador de hidratação (AEH) também possui capacidade de incorporação de ar. Porém, Bauer e Oliveira (2017) afirmam que, quando adicionada areia para a composição da argamassa, o AEH só contribuiu com a incorporação de ar quando empregado em conjunto com o AIA.

Figura 1 – Concentração micelar crítica dos aditivos incorporadores de ar.



Fonte: adaptado de Romano (2013).

Segundo Romano (2013), a granulometria do agregado miúdo também pode interferir no processo de incorporação de ar, uma vez que, quanto maior a quantidade de partículas finas, mais água é necessária para atingir uma mesma consistência na mistura. Assim, teoricamente, para uma relação água/aglomerante constante, o emprego de uma granulometria mais fina resultaria em menor quantidade de água livre disponível para a incorporação de ar, proporcionando um menor teor de ar incorporado.

Segundo Silva (2014) e Haddad et al. (2016), agregados com distribuição contínua tendem a incorporar menos ar, enquanto granulometrias uniformes são mais propícias à incorporação de ar. O trabalho de Romano, Torres e Pileggi (2015) mostrou que as variações na distribuição granulométrica dos agregados causam impactos consideráveis durante a fase de mistura, os quais são diminuídos pela utilização de aditivos incorporadores de ar.

A introdução proposital de ar nas misturas também pode ser empregada visando suprir as lacunas deixadas por distribuições granulométricas descontínuas, amenizando as disparidades nas propriedades ocasionadas por esse fator, já que o emprego do AIA nas argamassas introduz microbolhas de ar estáveis que preenchem os espaços e facilitam o fluxo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo avaliou misturas de argamassas confeccionadas em laboratório, utilizando dois diferentes tipos de agregados miúdos, juntamente com os aditivos AEH e AIA em teores variados, aplicando-se, ainda, diferentes tempos de mistura.

Os materiais utilizados para o desenvolvimento do programa experimental foram obtidos nas empresas produtoras de argamassas estabilizadas para revestimento localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul.

O cimento utilizado nessa pesquisa foi o CII F-40. Os resultados dos ensaios de caracterização do cimento estão apresentados na Tabela 1 e Tabela 2.

Os ensaios dessa pesquisa foram realizados no Laboratório de Materiais e Construção Civil (LMCC) e no Laboratório de Processos Ambientais (LAPAM), ambos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Tabela 1 - Características físicas do cimento CII F-40.

Propriedade	Cimento F	Método
Massa específica (g/cm ³)	3,1	NBR NM 23 (ABNT, 2001)
Índice de finura (#0,075mm) (%)	0,12	NBR 11579 (ABNT, 2013)
Água da pasta de consistência normal (%)	29	NBR NM 43 (ABNT, 2003)
Início de pega (h:min)	4:00	NBR NM 65 (ABNT, 2003)
Fim de pega (h:min)	5:20	NBR NM 65 (ABNT, 2003)
Área superficial (m ² /g)	1,2592	BET
Volume dos poros (cm ³ /g)	0,004791	BET
Dimensão dos poros (nm)	20,0047	BJH/BET

Fonte: Autor.

Tabela 2 - Características químicas, físicas e mecânicas dos cimentos CII F-40.

	Ensaio Químico		
	Cimento F	Limite de norma	Método
Perda ao fogo (%)	4,86	≤ 6,5	NBR NM 18 (ABNT, 2012)
Óxido de magnésio (%)	5,90	≤ 6,5	NBR NM 14 (ABNT, 2012)
Anidrido sulfúrico (%)	3,56	≤ 4,0	NBR NM 16 (ABNT, 2012)
Resíduo insolúvel (%)	0,82	≤ 2,5	NBR NM 22 (ABNT, 2012)
Ensaio Físico e Mecânico			
Blaine (cm ² /g)	4521,50	≥ 2800	NBR 16372 (ABNT, 2015)
Expansibilidade a quente (mm)	0,38	≤ 5,0	NBR 11582 (ABNT 2016)
	1 dia	23,73	
Resistência à compressão	3 dias	34,47	NBR 7215 (ABNT, 1997)
	7 dias	40,25	
	28 dias	47,68	

Fonte: Fabricante de Cimento Portland, unidade Rio Branco (DEZ/2017).

Foram empregados dois tipos de agregados miúdos, aqui denominados de Areia A e Areia B. A Areia A foi extraída de rio, na cidade de Santa Maria/RS, enquanto a Areia B era proveniente de cava, da localidade de Viamão/RS. Anteriormente aos ensaios, os agregados foram secos em estufa por 24 h. As características de ambos os agregados estão especificadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades das areias A e B

Propriedade	Areia A	Areia B	Método
Dimensão máxima característica (mm)	1,20	0,60	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Módulo de finura	1,73	1,48	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Massa específica (g/cm ³)	2,64	2,67	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Massa unitária (g/cm ³)	1,63	1,63	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Teor de material pulverulento (%)	4,94	2,13	NBR NM 46 (ABNT, 2003)
Área superficial (m ² /g)	0,54	1,31	BET
Volume dos poros (cm ³ /g)	0,001156	0,003719	BET
Dimensão dos poros (nm)	8,48	10,24	BJH/BET

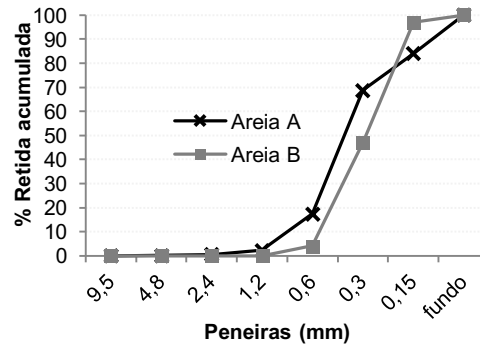
Fonte: Autor.

As composições granulométricas dos agregados empregados, areias A e B, foram determinadas conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003) e podem ser verificadas na Figura 2.

Para a confecção das misturas das argamassas, foram utilizados dois tipos de aditivos, um aditivo incorporador de ar (AIA) de caráter aniônico e um aditivo estabilizador de hidratação (AEH), adicionados juntamente com a água, na fase inicial da mistura. Os dados técnicos dos aditivos encontram-se na Tabela 4.

Figura 2 – Granulometria das areias A e B

Peneira (mm)	Areia A		Areia B	
	Médias		Médias	
	% Retida	% Acumulada	% Retida	% Acumulada
9,50	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
4,80	0,08%	0,08%	0,00%	0,00%
2,40	0,40%	0,47%	0,00%	0,00%
1,20	1,78%	2,25%	0,06%	0,06%
0,60	15,19%	17,45%	4,05%	4,11%
0,30	51,31%	68,76%	42,87%	46,99%
0,15	15,33%	84,08%	49,91%	96,90%
fundo	15,92%	100,00%	3,10%	100,00%



Fonte: Autor.

Tabela 4 – Dados técnicos dos aditivos AIA e AEH.

Características	AIA	AEH
Base química	Sal de álcool graxo etoxilado sulfatado	-
Aspecto	Líquido	Líquido
Cor	Amarelo	Marrom
Densidade (g/cm ³)	1,00	1,17
Teor de sólidos (%)	3	45
pH	9	6
Solubilidade	Solúvel em água (20°C)	Solúvel em água
Dosagens (% peso do cimento)	0,1 – 0,5	0,2 – 1,5

Fonte: Fabricante de aditivo.

Todas as misturas foram confeccionadas com o mesmo traço de 1:6,5 (cimento:areia, em massa), e a mesma proporção água/aglomerante de 1,0. Desta forma, foram propostas trinta e seis misturas de argamassas, sendo dezoito com um tipo de agregado miúdo, Areia A, e dezoito com a segunda granulometria, Areia B. Cada mistura (M) foi designada com uma numeração específica, com a especificação do tipo de agregado (areia A ou B) e dos teores de aditivos AEH e AIA, respectivamente, apresentados em subscrito, conforme Figura 3.

Figura 3 – Nomenclatura das misturas.



Os teores dos aditivos são expressos em relação à massa do cimento e foram estipulados dentro dos limites sugeridos por seus fabricantes, conforme descrito na Tabela 4. Desta forma, para as misturas desta pesquisa, escolheram-se dois teores do AEH de 0,6% e 0,9%, conforme utilizado por fabricantes regionais de argamassas para os traços de argamassa estabilizada de 36 h e 72 h. Já para o AIA, o qual interfere diretamente no teor de ar incorporado, optou-se por trabalhar com cinco teores distintos de aditivo, sendo estes, 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4% e 0,5%, buscando-se melhor entender os efeitos proporcionados às misturas. A Tabela 5 apresenta as misturas de argamassas e suas respectivas nomenclaturas.

As misturas das argamassas foram realizadas em uma argamassadeira de eixo vertical com capacidade de 5 litros e com movimento planetário. O procedimento de mistura foi realizado com base no descrito na NBR 7215 (ABNT, 2019), com adaptações para a inclusão de aditivos e para o tempo de repouso.

Tabela 5 – Misturas e nomenclaturas das argamassas.

AEH	AIA	NOMENCLATURA	
		AREIA A	AREIA B
0,00	0,00	M1A _{0,0/0,0}	M1B _{0,0/0,0}
0,60	0,00	M2A _{0,6/0,0}	M2B _{0,6/0,0}
0,90	0,00	M3A _{0,9/0,0}	M3B _{0,9/0,0}
0,00	0,10	M4A _{0,0/0,1}	M4B _{0,0/0,1}
0,00	0,20	M5A _{0,0/0,2}	M5B _{0,0/0,2}
0,00	0,30	M6A _{0,0/0,3}	M6B _{0,0/0,3}
0,00	0,40	M7A _{0,0/0,4}	M7B _{0,0/0,4}
0,00	0,50	M8A _{0,0/0,5}	M8B _{0,0/0,5}
0,60	0,10	M9A _{0,6/0,1}	M9B _{0,6/0,1}
0,60	0,20	M10A _{0,6/0,2}	M10B _{0,6/0,2}
0,60	0,30	M11A _{0,6/0,3}	M11B _{0,6/0,3}
0,60	0,40	M12A _{0,6/0,4}	M12B _{0,6/0,4}
0,60	0,50	M13A _{0,6/0,5}	M13B _{0,6/0,5}
0,90	0,10	M14A _{0,9/0,1}	M14B _{0,9/0,1}
0,90	0,20	M15A _{0,9/0,2}	M15B _{0,9/0,2}
0,90	0,30	M16A _{0,9/0,3}	M16B _{0,9/0,3}
0,90	0,40	M17A _{0,9/0,4}	M17B _{0,9/0,4}
0,90	0,50	M18A _{0,9/0,5}	M18B _{0,9/0,5}

Assim, a mistura das argamassas deu-se na seguinte sequência, denominada aqui de procedimento padrão de mistura (PP): inicialmente colocou-se toda a água (nas misturas com aditivos, os mesmos foram adicionados nesse momento e misturados em velocidade baixa com a água durante 20s para homogeneização) e, posteriormente, todo o cimento. Misturou-se então durante 30s (velocidade baixa) e, sem paralisar o equipamento, iniciou-se a colocação da areia, dentro de um período de 30s. Mudou-se a velocidade para alta e os materiais foram misturados por mais 30s, sendo o misturador desligado (15s) para a retirada da argamassa aderida às paredes e à pá. O misturador era novamente ligado em velocidade alta por mais 60s, totalizando um tempo total de mistura de 150s.

Após a mistura do procedimento padrão, foram determinados a densidade de massa e o teor de ar incorporado das argamassas (número de amostras n=3; tempo para ensaios = 10 min), conforme a NBR 13278 (ABNT, 2005), as quais foram submetidas novamente ao processo de mistura na argamassadeira, com incrementos de tempo de 60s. Assim, as argamassas eram ensaiadas novamente para os mesmos parâmetros (densidade de massa e teor de ar incorporado) (n=3), repetindo-se o processo após cada incremento de tempo. Os tempos de mistura estudados foram 150s (PP), 210s, 270s e 330s. O volume das misturas permaneceu sempre constante, a fim de não influenciar a incorporação de ar. As determinações do teor de ar incorporado das amostras foram feitas a partir da média de três medições para cada tempo de mistura e proporção entre os aditivos (AEH e AIA).

Desta forma, buscou-se encontrar o tempo de mistura no qual a incorporação de ar seria estabilizada, assim como os teores de aditivos a partir dos quais não ocorreria mais um aumento significativo do teor de ar incorporado. Para fins de verificação, foi confeccionada uma segunda mistura de cada argamassa, aplicando-se o tempo total de mistura obtido com as análises, agora de forma ininterrupta, observando se o teor de ar incorporado médio obtido apresentava divergência do obtido com os incrementos de tempo e se havia influência das pausas no processo de incorporação.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada para análise qualitativa dos poros gerados. O equipamento utilizado para os ensaios foi o VEGA3, da marca Tescan, utilizando-se o detector do tipo Elétrons Secundários (“secondary electron” – SE), resultantes de baixa energia (<50eV) que formam imagens com alta resolução (3-5 nm). As amostras foram retiradas da parte central do corpo de prova prismático (4x4x16 cm), após o ensaio de compressão, excluindo as extremidades, sendo submetidas ao forno com temperatura de 40°C durante 24 horas.

Os resultados desse trabalho foram analisados utilizando-se o programa SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*, versão 20.0), sendo os dados comparados entre as diferentes misturas e propriedades por meio dos Testes T e ANOVA com *Post Hoc* de Tukey. Em uma análise de dados, considera-se que não existe diferença estatisticamente significativa entre os resultados quando $p > 0,05$, existindo diferenças significativas quando $p < 0,05$. Neste caso, aplicou-se o Teste *Post Hoc de Tukey* para avaliar quais grupos são diferentes e quais são semelhantes, sendo empregadas letras sobrescritas para a identificação. Quando os resultados recebem letras sobrescritas iguais indica que entre eles não existem diferenças, e, quando recebem letras diferentes, significa que são estatisticamente diferentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 6 apresenta os resultados dos teores de ar incorporado obtidos para as trinta e seis misturas de argamassas, nos tempos de mistura de 150s, 210s, 270s e 330s, com os dois tipos de agregado estudados, areias A e B.

Tabela 6 – Incorporação de ar das argamassas (média±desvio padrão) nos diferentes tempos de mistura analisados, para as areias A e B.

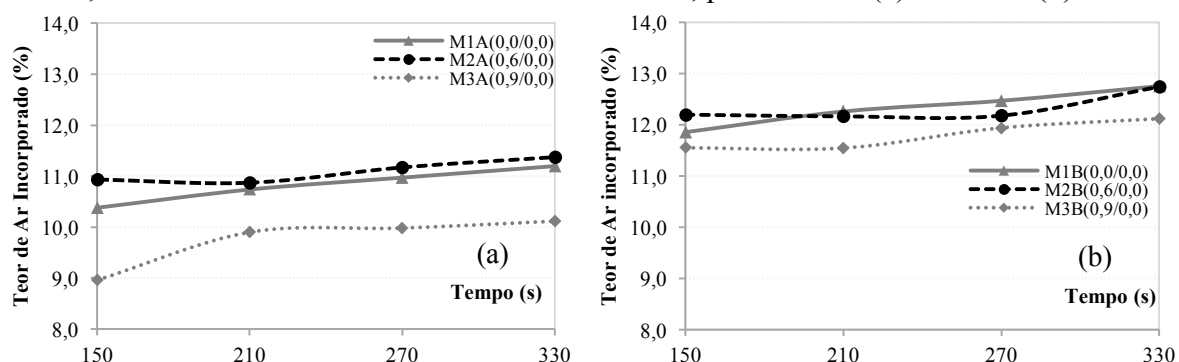
Mistura AEH/AIA	Ar Incorporado (%)										
	Areia A					Areia B					
	150s	210s	270s	330s	p*	150s	210s	270s	330s	p*	p***
M1 _{0,0/0,0}	10,39± 0,48	10,74± 0,50	10,97± 0,46	11,20± 0,38	0,218	11,86± 0,48	12,27± 0,33	12,47± 0,28	12,76± 0,18	0,055	<0,001
M2 _{0,6/0,0}	10,94± 0,87	10,87± 0,81	11,17± 0,70	11,37± 0,73	0,856	12,20± 0,64	12,17± 0,44	12,18± 0,46	12,75± 0,23	0,400	<0,001
M3 _{0,9/0,0}	8,96± 0,31 ^A	9,90± 0,40 ^{AB}	9,98± 0,51 ^{AB}	10,12± 0,52 ^B	0,043	11,55± 0,39	11,55± 0,62	11,94± 0,23	12,11± 0,21	0,284	<0,001
M4 _{0,0/0,1}	16,17±1, 19	16,17± 1,15	16,35± 1,09	16,87± 0,97	0,863	18,35± 1,36	18,13± 1,50	18,68± 1,41	19,03± 1,16	0,857	<0,001
M5 _{0,0/0,2}	20,19± 0,87	21,66± 2,00	21,70± 2,12	21,89± 2,04	0,678	22,96± 1,29	22,96± 1,75	23,29± 1,50	23,51± 1,39	0,960	0,008
M6 _{0,0/0,3}	25,26± 0,74	26,48± 1,25	27,44± 0,89	27,82± 1,00	0,053	24,49± 0,88	26,06± 0,76	26,81± 1,10	27,11± 1,19	0,050	0,261
M7 _{0,0/0,4}	25,51± 0,90 ^A	28,21± 0,84 ^B	29,30± 0,89 ^B	29,98± 0,72 ^B	0,001	25,55± 0,93 ^A	27,21± 0,87 ^{AB}	28,12± 0,91 ^B	28,83± 1,14 ^B	0,016	0,257
M8 _{0,0/0,5}	26,63± 0,71 ^A	29,53± 0,81 ^B	31,05± 1,13 ^B	31,77± 1,03 ^B	0,001	25,86± 0,66 ^A	28,26± 0,85 ^B	29,59± 1,03 ^B	29,93± 0,87 ^B	0,002	0,121
M9 _{0,6/0,1}	20,27± 0,72	18,47± 1,90	17,78± 1,97	17,48± 1,91	0,263	19,47± 1,57	18,65± 1,46	18,86± 1,41	18,78± 1,54	0,907	0,507
M10 _{0,6/0,2}	22,44± 0,82	23,09± 1,61	23,70± 1,32	24,10± 1,44	0,465	22,29± 1,09	22,97± 1,31	23,66± 1,69	24,23± 1,66	0,446	0,934
M11 _{0,6/0,3}	22,46± 0,73 ^A	24,41± 0,98 ^{AB}	25,18± 1,15 ^B	25,84± 1,12 ^B	0,017	24,38± 0,34 ^A	25,55± 0,45 ^{AB}	26,10± 0,66 ^B	26,38± 0,58 ^B	0,007	0,046
M12 _{0,6/0,4}	24,13± 0,65 ^A	27,00± 0,46 ^B	28,50± 0,84 ^{BC}	29,30± 0,73 ^C	<0,001	24,21± 0,28 ^A	26,40± 0,46 ^B	27,32± 0,57 ^{BC}	27,94± 0,65 ^C	<0,001	0,325
M13 _{0,6/0,5}	25,95± 0,07 ^A	29,11± 0,29 ^B	31,05± 0,34 ^C	31,81± 0,27 ^D	<0,001	25,70± 0,21 ^A	27,76± 0,53 ^B	28,92± 0,43 ^{BC}	29,40± 0,55 ^C	<0,001	0,075
M14 _{0,9/0,1}	20,03± 1,24	19,69± 1,95	19,51± 2,05	19,43± 2,09	0,977	18,65± 1,90	18,36± 2,00	18,15± 2,06	18,16± 1,91	0,987	0,061
M15 _{0,9/0,2}	21,30± 1,23	22,23± 1,48	22,92± 1,27	23,26± 1,34	0,341	21,04± 1,11	21,73± 1,41	22,14± 1,35	22,63± 1,08	0,492	0,321
M16 _{0,9/0,3}	22,98± 0,80 ^A	24,70± 1,19 ^{AB}	25,64± 1,31 ^{AB}	26,26± 1,48 ^B	0,048	22,65± 0,79 ^A	24,46± 0,77 ^{AB}	25,01± 1,14 ^{AB}	25,46± 0,89 ^B	0,024	0,423
M17 _{0,9/0,4}	24,28± 0,27 ^A	27,14± 0,49 ^B	28,32± 0,45 ^{BC}	28,85± 0,69 ^C	<0,001	24,32± 0,46 ^A	26,47± 0,51 ^B	27,42± 0,60 ^{BC}	27,97± 0,49 ^C	<0,001	0,398
M18 _{0,9/0,5}	24,77± 0,35 ^A	28,15± 0,50 ^B	29,92± 0,61 ^C	30,89± 0,57 ^C	<0,001	25,33± 0,18 ^A	27,56± 0,37 ^B	28,67± 0,30 ^C	29,32± 0,29 ^C	<0,001	0,411
p**	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-	-

p* Comparações do teor de ar entre os diferentes tempos de mistura: ANOVA e *Post Hoc* de Tukey (letras diferentes: com diferenças estatisticamente significantes; letras iguais: sem diferenças estatisticamente significantes). p** Comparações do teor de ar entre as diferentes misturas: ANOVA. p*** Comparações do teor de ar entre os diferentes agregados: Teste T

Analisando os dados da Tabela 6 é notável que o acréscimo do AIA nas misturas incrementa consideravelmente o teor de ar incorporado nas argamassas. Com um teor de 0,1% de AIA e tempo de mistura 150 s, independentemente de estar associado ao AEH ou não, ocorreu um aumento expressivo no teor de ar incorporado nas amostras avaliadas, para ambas as areias. Isso ocorreu possivelmente devido a diminuição da tensão superficial proporcionada pelo emprego do AIA, facilitando a incorporação de microbolhas de ar no interior da argamassa durante o processo de mistura.

A seguir, apresenta-se a evolução do teor de ar incorporado em função do tempo de mistura das argamassas com 0,0 % de AIA e variando-se o aditivo AEH de 0,0%; 0,6% e 0,9%, para as areias A e B, respectivamente, nas Figuras 4 (a) e (b).

Figura 4 – Comparativo do teor de ar incorporado pelo tempo de mistura das argamassas com 0,0% de teor de AIA e diferentes teores de AEH, para areia A (a) e areia B (b).

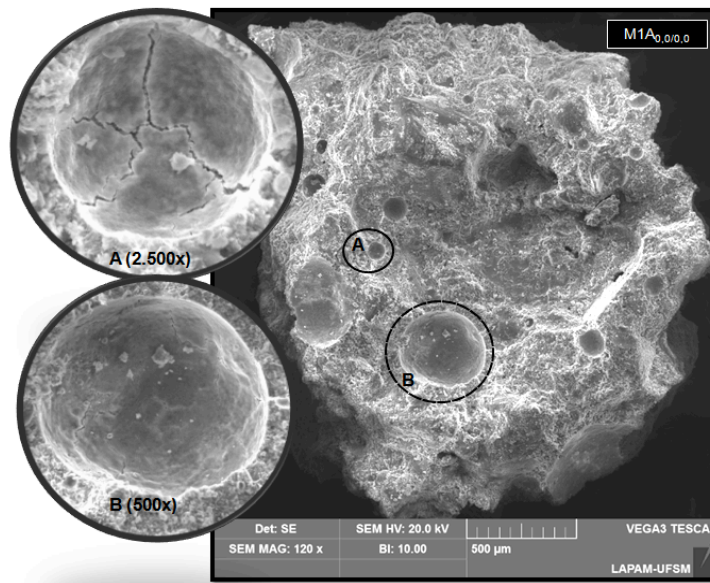


Observando-se os resultados experimentais da Figura 4, no tempo de 150s para a areia do tipo A, foi verificado, nas misturas sem AIA, teores de ar incorporado entre 8,9 e 10,9% e, para as areias mais finas, do tipo B, ficou entre 11,5% e 12,2%. Estatisticamente, para essas argamassas, não houve diferença significativa na incorporação de ar em função do tempo de mistura ($p^* > 0,05$), nem com a areia A, nem com a areia B. Pela Figura 4 também é perceptível que não houve influência significativa do AEH na incorporação de ar. Avaliando essas misturas com as duas granulometrias de areia (A e B), foram verificadas diferenças estatisticamente significativas ($p^{***} < 0,001$), com diferenças de até 2,59% a mais no teor de ar incorporado da areia B (M3B_{0,9/0,0}), de granulometria mais fina e descontínua.

Nessas argamassas que não possuíam em sua composição o AIA, a incorporação de ar deu-se unicamente pelo processo mecânico de mistura. Esse tipo de incorporação produz bolhas de ar instáveis e com alta taxa de colapso as quais, possivelmente, devam colapsar durante o período de repouso da mistura, entre os incrementos de tempo. Assim, ao serem submetidas à remistura na argamassadeira, é provável que não haja um efeito cumulativo de incorporação (inexistência de bolhas de ar para serem subdivididas) pelo fato das bolhas de ar incorporadas anteriormente já haverem colapsado.

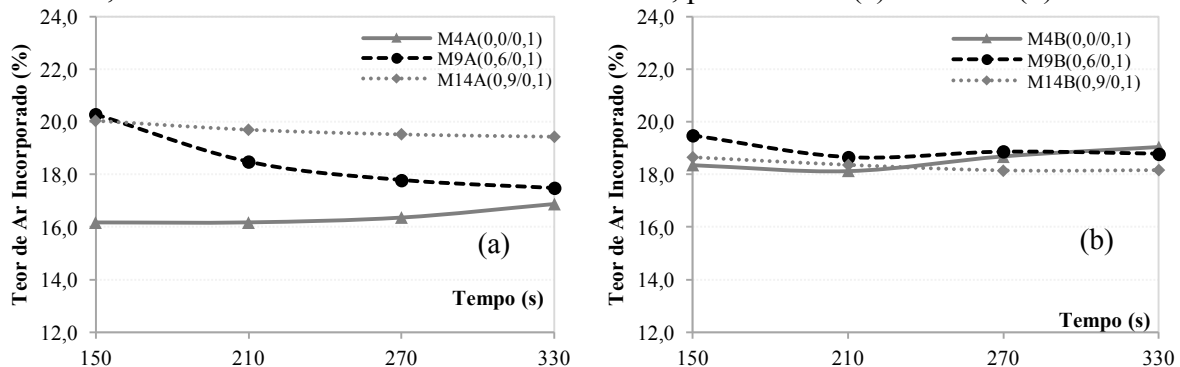
Pelas imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da Figura 5, as quais mostram a argamassa M1A_{0,0/0,0} com 28 dias, ampliada em 120 vezes, é perceptível a ausência de poros na mistura. Consegue-se identificar, no espaço onde o agregado foi removido, uma fissuração típica de retração de interface pasta/agregado (detalhe A, ampliado em 2.500x), no entanto, não se pode descartar a hipótese desta ter sido originada durante o preparo das amostras. Além disto, verificou-se a formação de bolhas internas de ar isoladas (detalhe B, ampliado em 500x), as quais podem ter se formado simplesmente pelo processo de mistura ou por caminhos capilares interrompidos ao encontrarem um grão de areia.

Figura 5 – Microscopia eletrônica de varredura da $M1A_{0,0/0,0}$.



Na Figura 6, é apresentado o teor de ar incorporado em função do tempo de mistura para 0,1% de AIA, variando-se o aditivo AEH de 0,0%; 0,6% e 0,9%.

Figura 6 – Comparativo do teor de ar incorporado pelo tempo de mistura das argamassas com 0,1% teor de AIA e diferentes teores de AEH, para areia A (a) e areia B (b).



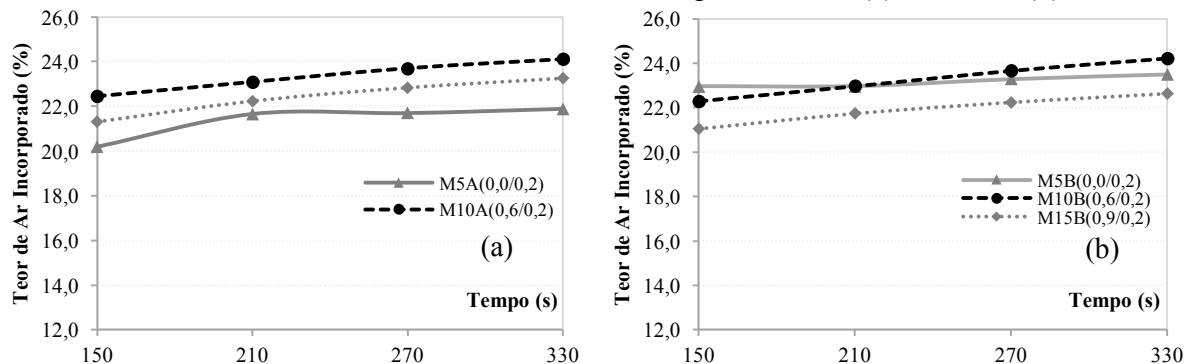
Observando-se os resultados experimentais da Figura 6 para as areias do tipo A e B, foi verificado um aumento significativo no teor de ar incorporado em relação às misturas sem AIA, apresentadas na Figura 4, chegando a até 11,1% a mais no teor de ar de $M14A_{0,9/0,1}$ em comparação a $M3A_{0,9/0,0}$, no tempo de 150s. Para a areia A, observou-se um aumento de 4% inicialmente no teor de ar incorporado ao se acrescentar AEH às misturas ($M9A_{0,6/0,1}$ e $M14A_{0,9/0,1}$), em relação à argamassa só com AIA ($M4A_{0,0/0,1}$). Com o aumento do tempo de mistura, a argamassa $M9A_{0,6/0,1}$ apresentou tendência de diminuição do teor de ar incorporado, em valores absolutos, porém, quando analisados estatisticamente, a partir do desvio padrão amostral, não se verificou diferenças significativas. Para a areia do tipo B, não houve diferenças nos valores do teor de ar incorporado em função do tempo de mistura nem com o acréscimo de AEH às composições. Quando comparado o efeito das granulometrias, foram verificadas diferenças significativas apenas de $M4A_{0,0/0,1}$ para $M4B_{0,0/0,1}$ ($p^{***}<0,001$), onde a areia B, mais fina, incorporou até 2,33% a mais de ar no tempo de 270s.

Verifica-se que o teor de AIA empregado, mesmo que ainda baixo, foi o suficiente para aumentar o teor de ar em, no mínimo, 6% em relação à argamassa de referência. Romano (2013) atribui esse fenômeno à redução da tensão superficial proporcionada pelas moléculas do aditivo,

combinada à agitação mecânica. Porém, esse teor empregado ainda não foi o suficiente para manter as bolhas de ar estáveis, já que quanto maior o teor de AIA, maior a estabilidade das bolhas, segundo Romano, Cincotto e Pileggi (2018).

A Figura 7 traz um comparativo para as argamassas com 0,2% de AIA e diferentes teores de AEH, para as areias A (Figura 7a) e B (Figura 7b). Verificou-se um aumento no teor de ar incorporado para as misturas com a areia do tipo A e B em relação aos apresentados anteriormente. Quando comparados o teor de ar incorporado para as misturas variando-se o teor de AEH e para um mesmo teor de AIA de 0,2%, não se verificou diferenças estatisticamente significativas com o aumento do tempo de mistura ($p^* > 0,05$), nem com o acréscimo de AEH. Comparando-se as diferentes granulometrias de areias, foram observadas diferenças significativas ($p^{***} = 0,008$) entre os teores de ar incorporado obtidos apenas entre as misturas $M5A_{0,0/0,2}$ e $M5B_{0,0/0,2}$, chegando a até 2,77% a mais de ar na areia B, no tempo de 150s.

Figura 7 – Comparativo do teor de ar incorporado pelo tempo de mistura das argamassas com 0,2% teor de AIA e diferentes teores de AEH, para areia A (a) e areia B (b).



Nota-se que houve um aumento no desvio padrão dos resultados ao longo do tempo de mistura e combinação de aditivos, o que pode ter influenciado a análise estatística das amostras ao se comparar os tempos de mistura e o tipo de areia. Assim, os coeficientes p^* e p^{***} apresentaram resultados maiores que 0,05, demonstrando não existir diferença significativa entre os tempos de mistura para cada areia e entre as areias, exceto em $M5_{0,0/0,2}$ ($p^{***} = 0,008$).

Na Figura 8, são apresentadas as imagens da morfologia da argamassa $M5A_{0,0/0,2}$, com 0,2% de AIA e 0,0% de AEH, obtida por MEV, ampliada em 120 vezes. A formação de bolhas de ar na mistura é notória, condizente com os resultados encontrados, com formato circular bem definido e em diferentes diâmetros (detalhe A, ampliado em 1.000x). Essas bolhas apresentam extensas fissurações, possivelmente causadas por retração (detalhe B, ampliado em 3.000x). Nas Figuras 9, 10 e 11, são apresentados os teores de ar incorporado em função do tempo de mistura, respectivamente, para as argamassas com teores de AIA de 0,3%, 0,4% e 0,5%, com diferentes teores de AEH. Os resultados mostraram aumentos significativos ($p^* < 0,05$) no teor de ar incorporado em relação aos tempos de mistura para os dois tipos de areias (A e B).

Figura 8 – Microscopia eletrônica de varredura da M5A_{0,0/0,2}.

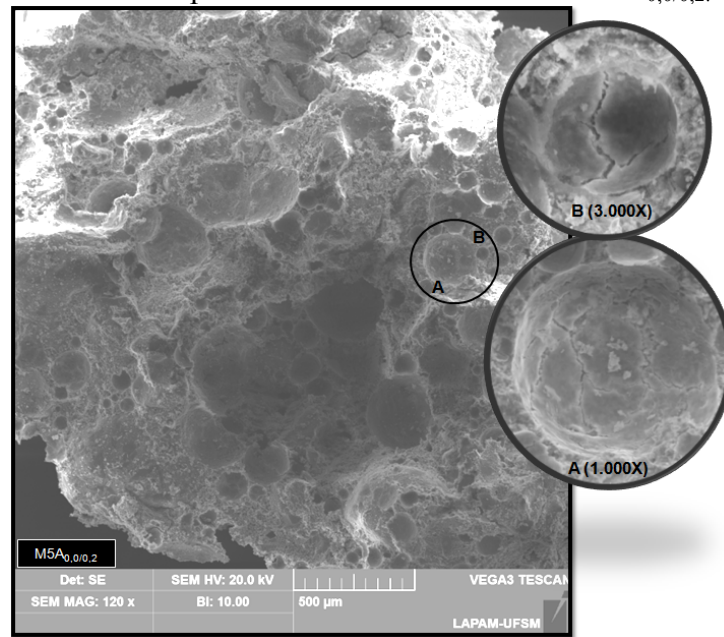


Figura 9 – Comparativo do teor de ar incorporado pelo tempo de mistura das argamassas com 0,3% teor de AIA e diferentes teores de AEH, para areia A (a) e areia B (b).

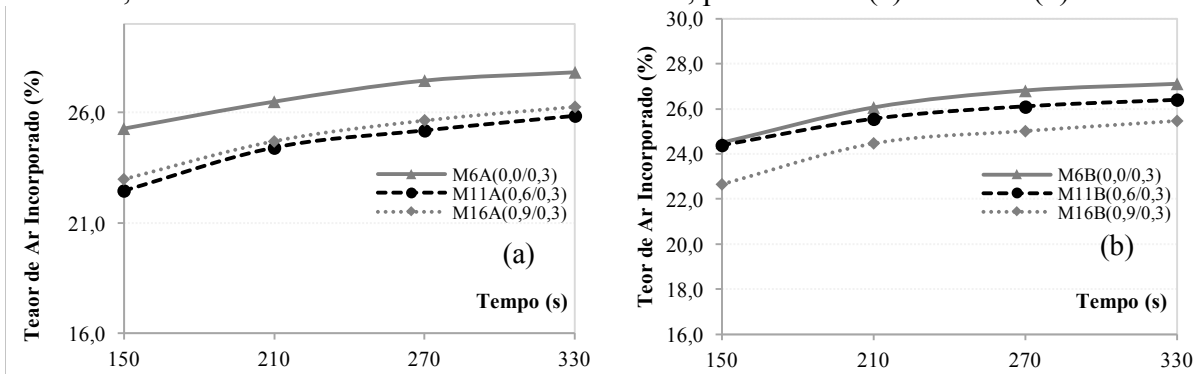


Figura 10 – Comparativo do teor de ar incorporado pelo tempo de mistura das argamassas com 0,4% teor de AIA e diferentes teores de AEH, para areia A (a) e areia B (b).

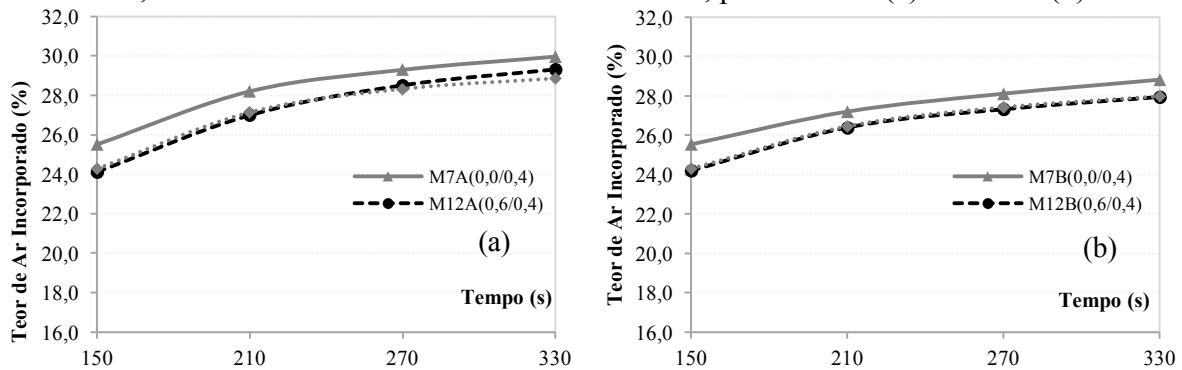
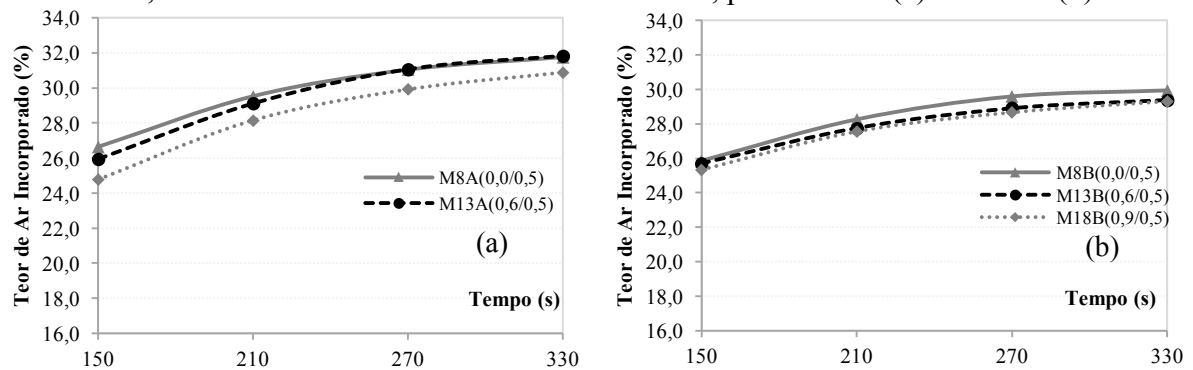


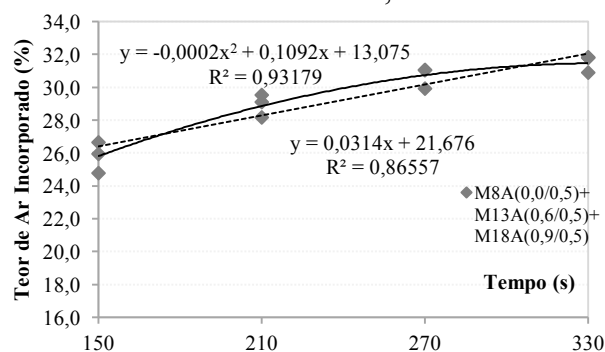
Figura 11 – Comparativo do teor de ar incorporado pelo tempo de mistura das argamassas com 0,5% teor de AIA e diferentes teores de AEH, para areia A (a) e areia B (b).



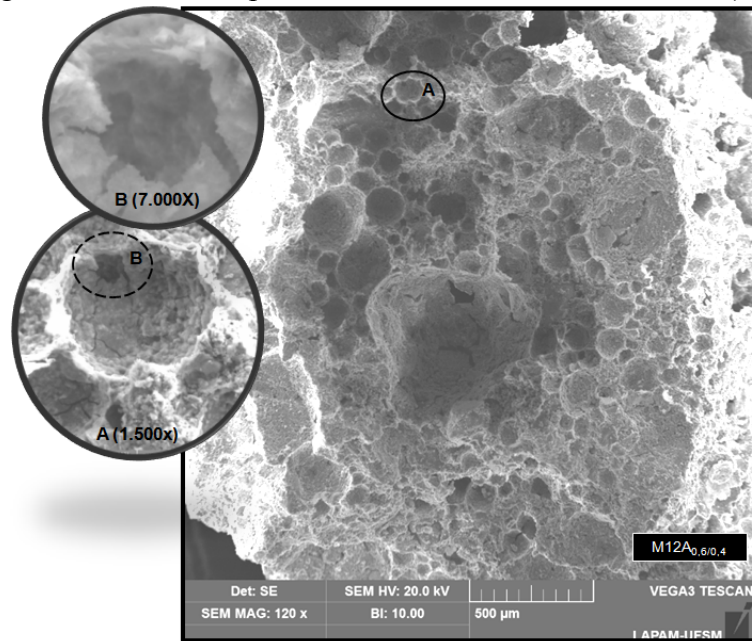
Observou-se, nas Figuras 9, 10 e 11, uma mesma tendência de comportamento onde as argamassas com os dois aditivos resultaram numa incorporação de ar inferior às argamassas somente com AIA, com diferenças mais expressivas para o teor de 0,3% de AIA (Figura 9). Essa diminuição do teor de ar incorporado provavelmente seja devido ao efeito plastificante do AEH. Nas Figuras 9, 10 e 11, também pode ser visualizado que, com o aumento do tempo de mistura, ocorre também um aumento no ar incorporado, porém, acompanhado de uma diminuição do ângulo de deflexão das curvas. Essa diminuição do ângulo aponta para um limite de incorporação de ar, demonstrando que, para as argamassas estabilizadas, existe uma relação direta entre ar incorporado e tempo de mistura, porém, não linear. Assim, a Figura 12 exemplifica essa relação comparando os coeficientes obtidos para as argamassas com teor variável de AEH e 0,5% de AIA, por meio do traçado de uma linha de tendência linear ($R^2=0,86$) e de um melhor ajuste por polinômio de segundo grau ($R^2=0,93$).

Quando comparados os teores de ar incorporado obtidos para as areias A e B nessas misturas com 0,3%, 0,4% e 0,5% de AIA para diferentes teores de AEH, não foram detectadas diferenças significativas ($p^{***}>0,05$). Nota-se, então, que para estes teores de AIA, a granulometria da areia não mais influenciou o teor de ar incorporado em função do tempo de mistura.

Figura 12 – Relação entre o teor de ar incorporado e o tempo de mistura das argamassas com teor variável de AEH e 0,5% de AIA.



Na Figura 13, é apresentada a imagem via MEV de argamassa M12A_{0,6/0,4}, com 0,4% de AIA e 0,6% de AEH, ampliada em 120 vezes, onde se verifica uma extensiva formação de bolhas de ar, de diferentes diâmetros, com formatos mais irregulares e maior rugosidade da superfície interna (detalhe A, ampliado em 1.500x). É possível se verificar também muitas bolhas de ar concentradas em torno do grão de agregado e a presença de vazios capilares interrompidos por esses grãos (detalhe B, ampliado em 7.000x).

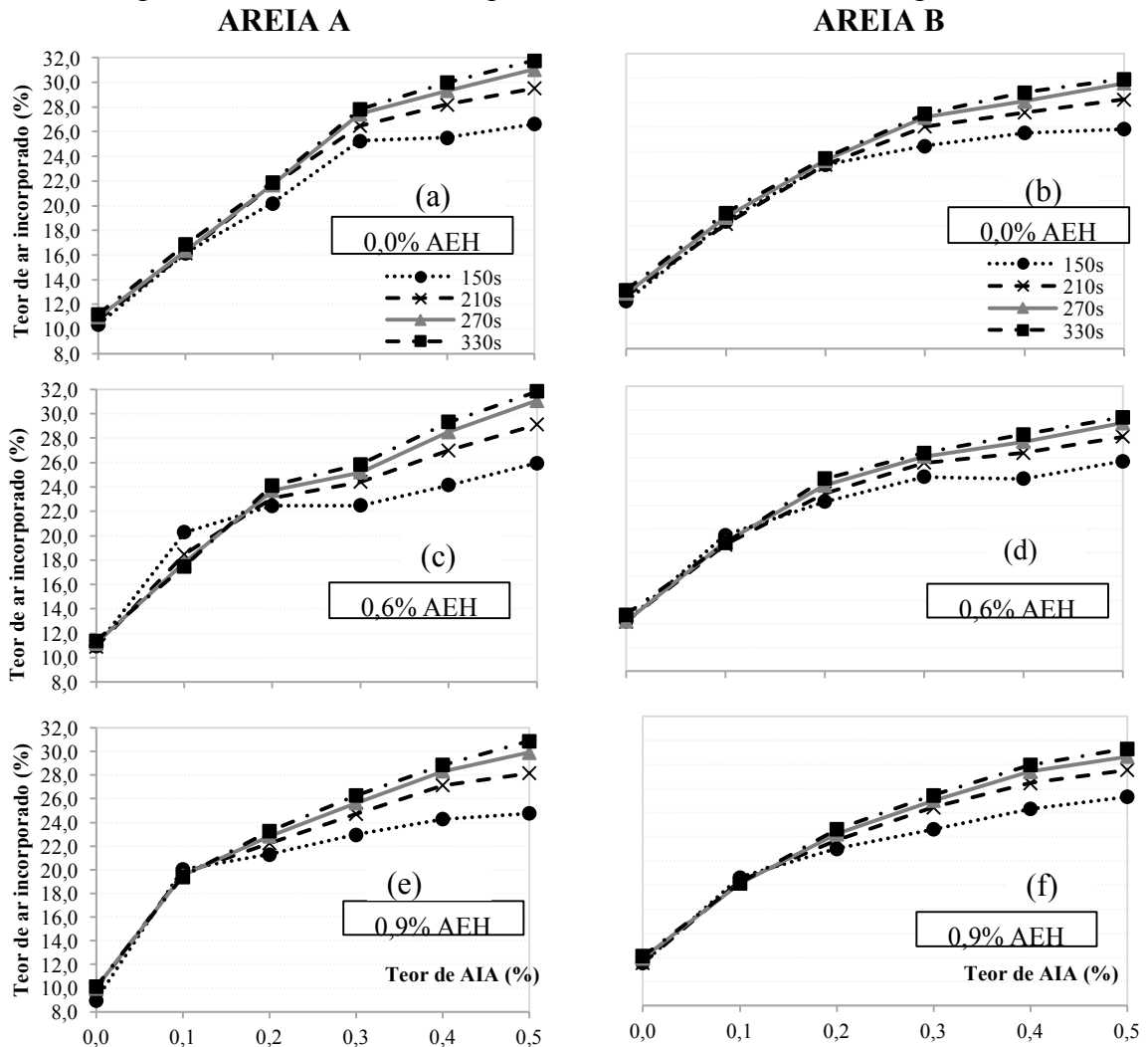
Figura 13 – Microscopia eletrônica de varredura da M12A_{0,6/0,4}.

Por meio dos resultados, pode-se dizer que o uso isolado do AEH não contribuiu para o aumento da incorporação de ar nas argamassas. Nas misturas que utilizaram AIA, percebeu-se que, para teores até 0,2% de AIA, a incorporação de ar com a areia A foi numericamente maior nas argamassas que combinaram AEH+AIA do que nas que utilizaram apenas AIA. Com a areia B, a incorporação de ar permaneceu praticamente inalterada. Para teores de AIA acima de 0,3% foi observada, para ambas areias, a tendência de diminuição da incorporação de ar para argamassas que utilizaram a combinação de AEH+AIA, quando comparado às misturas somente com AIA. Além disso, para esses teores de AIA acima de 0,3%, todas as misturas apresentaram sensibilidade ao tempo de mistura, aumentando os teores de ar no decorrer dos incrementos de tempo, tendendo à estabilização. Ainda pode-se constatar que, dentre as argamassas estudadas, de forma geral, quanto maior foi o teor de AEH empregado, menor foi a incorporação de ar obtida.

A Figura 14 mostra, para cada tempo de mistura, a incorporação de ar das argamassas frente ao aumento do teor de AIA, para cada teor de AEH empregado, sendo, 0,0% de AEH em (a) e (b), 0,6% de AEH em (c) e (d) e 0,9% de AEH em (e) e (f), respectivamente para as areias A e B. A partir da Tabela 6 e da Figura 14, observou-se que o tempo de mistura influenciou de forma significativa ($p^* < 0,05$) apenas as misturas com teor de AIA acima de 0,3%, mais expressivamente ($p^* < 0,001$) para os teores de 0,4% e 0,5 %, independente do teor de AEH empregado. Verificou-se que a incorporação de ar nas argamassas com 0,0%, 0,1% e 0,2% de AIA, combinadas ou não ao AEH, não foi influenciada pelo tempo de mistura.

Assim, em uma comparação geral entre todas as misturas de ambas as areias estudadas (ANOVA com *Post Hoc* de Tukey), verificou-se que os incrementos de tempo de mistura alteraram o teor de ar incorporado de forma significativa em relação ao tempo padrão de mistura a partir de 270s. Dessa forma, foi detectada uma diferença estatisticamente significativa entre o tempo de 270s e o tempo padrão de 150s ($p=0,027$). No entanto, para o tempo de mistura de 330s, não foram observadas diferenças significativas em relação ao tempo de 270s ($p=0,622$). Assim, encontrou-se o tempo de 270 s como o tempo de mistura a partir do qual a incorporação de ar se manteve praticamente constante, sendo esse aplicado na confecção da segunda amostra de cada mistura.

Figura 14 – Influência do tempo de mistura no teor de ar das argamassas.



Esses resultados mostram que o tempo de mistura possui um limite de influência sobre a incorporação de ar em argamassas estabilizadas, a partir do qual a incorporação de ar não é mais significativa. Assim, os comportamentos obtidos vão ao encontro dos estudos desenvolvidos por Ramachandran (1984), Beningfield (1988), Rixon e Mailvaganan (1999), que afirmam que o teor de ar incorporado atinge um ponto máximo em determinado tempo de mistura e, após isso, mesmo com a continuação da mistura, o volume de ar tende a estabilizar e/ou diminuir. No entanto, Romano et al (2009) e Alves (2002) concluíram que as argamassas de revestimento são sensíveis ao tempo de mistura, havendo uma tendência linear de proporção direta entre a incorporação de ar e o tempo de mistura, o que talvez possa ser atribuído ao fato de não atingirem esse tempo máximo de incorporação.

Para demonstrar a ação dos incrementos de teor de AIA na incorporação de ar, as Figuras 15, 16 e 17 a seguir agrupam as argamassas com mesmo teor de AEH, sendo 0,0%, 0,6% e 0,9%, respectivamente, variando-se os teores de AIA em 0,0%, 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,4% e 0,5%, para a areia A (a) e areia B (b).

Pelas Figuras 15, 16 e 17, percebe-se que, em todas as misturas, a incorporação de ar aumentou com o aumento do teor de AIA empregado, porém, não de forma proporcional.

Figura 15 - Comparativo do ar incorporado por tempo de mistura entre argamassas com teor de 0,0% de AEH e diferentes teores de AIA, para areia A (a) e areia B (b).

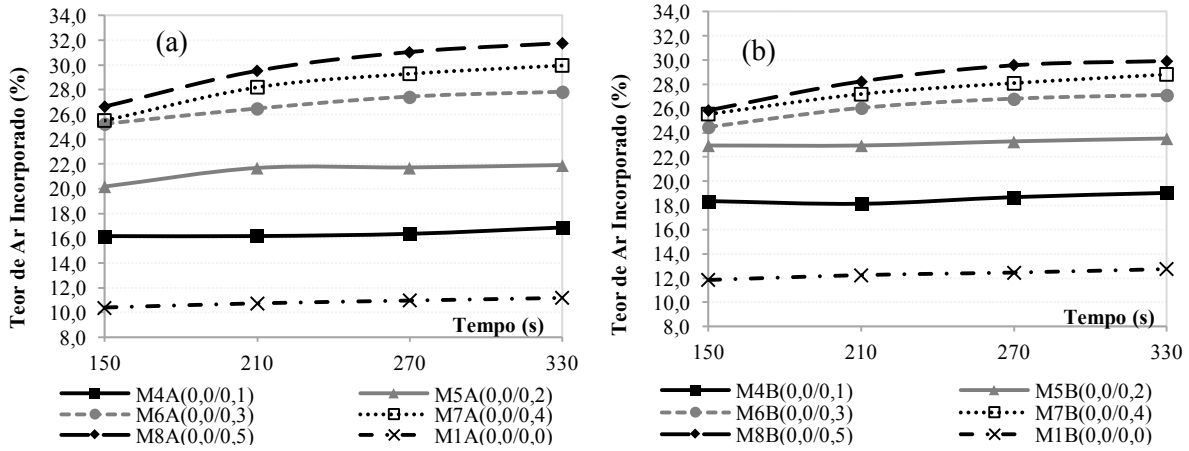


Figura 16 - Comparativo do ar incorporado por tempo de mistura entre argamassas com teor de 0,6% de AEH e diferentes teores de AIA, para areia A (a) e areia B (b).

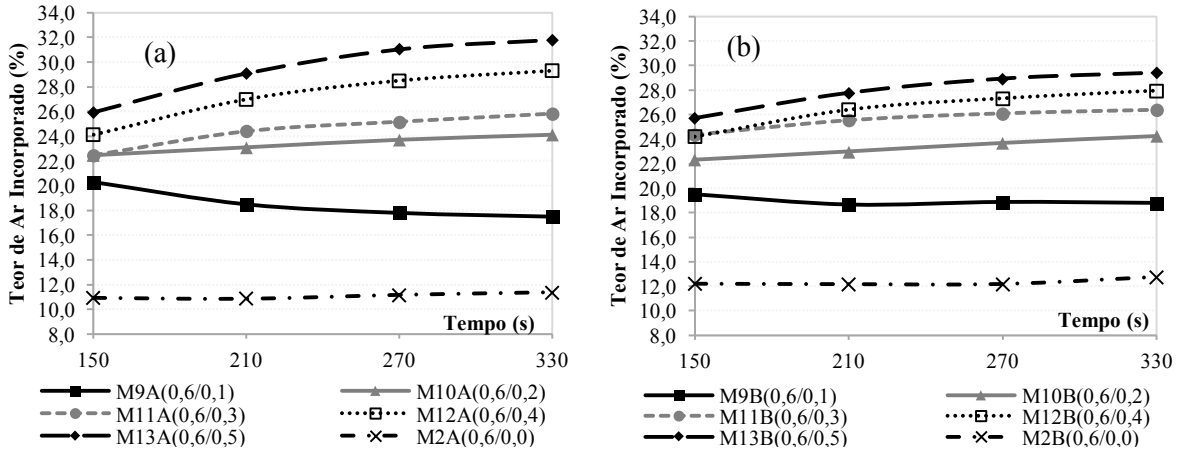
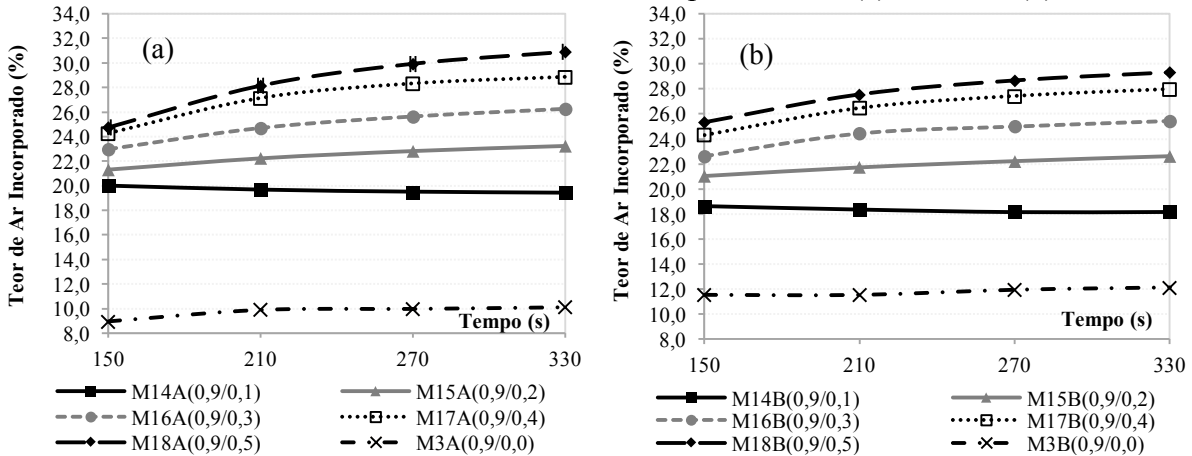


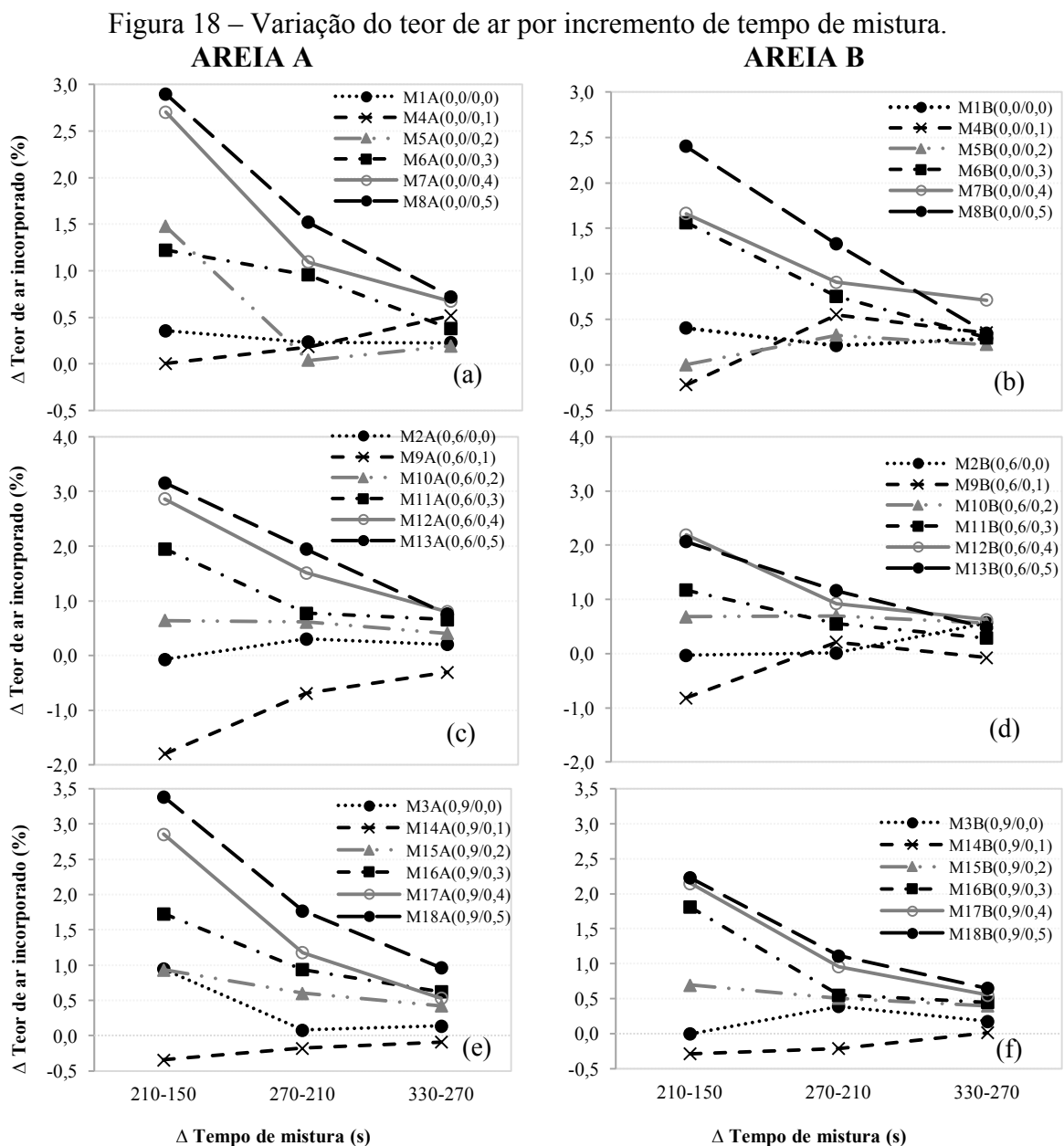
Figura 17 - Comparativo do ar incorporado por tempo de mistura entre argamassas com teor de 0,9% de AEH e diferentes teores de AIA, para areia A (a) e areia B (b).



O aumento mais expressivo no teor de ar incorporado foi observado para teores de AIA de até 0,3%. A partir de então, passando a diminuir a diferença entre as curvas com o aumento do teor de AIA (aproximação das curvas), indicando uma tendência à estabilização do ar, mesmo com o aumento de aditivo.

Esses resultados reforçam a idéia que existe um limite de saturação dos aditivos a partir do qual não ocorre mais aumento considerável na incorporação de ar, para um mesmo tempo e procedimento de mistura. Os resultados dessa pesquisa indicam uma tendência para este limite de AIA entre os teores de 0,3% e 0,4%.

A Figura 18 apresenta as variações do teor de ar incorporado a cada incremento de tempo de mistura, para as areias A e B, agrupadas por mesmo teor de AEH. A Figura 17 (a) e (b) agrupa as argamassas com 0,0% de AEH e teores de 0,1% à 0,5% de AIA, respectivamente, para as areias A e B. Da mesma forma, as letras (c) e (d) apresentam as argamassas com 0,6% de AEH e teores variáveis de AIA, e as letras (e) e (f) as misturas com 0,9% de AEH, variando os teores de AIA.



A Figura 18 mostra, para ambas as areias, um comportamento similar na variação do teor de ar obtido ao longo do tempo de mistura. Isto é, as variações no teor de ar incorporado diminuíram com os incrementos no tempo de mistura. Também se observou que, quanto maior o teor de AIA empregado na mistura, maior foi a variação no teor de ar incorporado entre os incrementos

de tempo. Por essa figura, consegue-se observar também que o tempo de mistura só influenciou a incorporação de ar das argamassas com teores acima de 0,3% de AIA, conforme já mostrado pelos valores da Tabela 6 (p*).

Ainda pela Figura 4 e Tabela 6, é possível comparar a incorporação de ar obtida para as areias A e B, ao longo dos tempos de mistura estudados. Pela Tabela 6 percebe-se que houve diferenças estatisticamente significativas ($p^{***}<0,05$) entre os resultados de teor de ar incorporado obtidos com os dois tipos de areias apenas para as misturas sem AIA (M1_{0,0/0,0}, M2_{0,6/0,0} e M3_{0,9/0,0}) e misturas com AIA isolado em até 0,2% (M4_{0,0/0,1} e M5_{0,0/0,2}). Nessas misturas, a incorporação de ar com a utilização da areia B foi, em média, 2% superior à obtida com a areia A, já que areia B é de granulometria mais fina. A mistura M11_{0,6/0,3} apresentou $p^{***} = 0,046$, demonstrando diferença entre as areias, porém, o coeficiente ficou muito próximo de não ser significativo.

Da mistura M6_{0,0/0,3} em diante, pode-se constatar uma inversão de comportamentos, passando a não mais haver diferenças estatisticamente significativas ($p^{***}>0,05$) entre as diferentes granulometrias. No entanto, as argamassas com a areia A passaram a demonstrar potencial de incorporação de ar levemente superior às da areia B, especialmente para os teores de 0,4% e 0,5%, ao longo dos diferentes tempos de mistura. Romano, Torres e Pileggi (2015) também não obtiveram diferenças em suas análises no teor de ar incorporado com diferentes granulometrias para argamassas aditivadas com AIA.

Com o intuito de validar os resultados das argamassas ensaiadas com incrementos de tempo de mistura e avaliar o efeito das pausas durante esse processo, foi confeccionada uma segunda amostra de cada argamassa, a qual foi misturada ininterruptamente por 270s. Os resultados considerando os dois tipos de areia, estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Comparação do teor de ar incorporado (média \pm desvio padrão) entre amostras 1 e 2, para o tempo de mistura de 270s.

	Média AM1 (A+B)	Média AM2 (A+B)	p
M1 _{0,0/0,0}	11,72 \pm 0,89	10,97 \pm 1,53	0,481
M2 _{0,6/0,0}	11,68 \pm 0,76	11,06 \pm 0,73	0,361
M3 _{0,9/0,0}	10,96 \pm 1,13	10,25 \pm 1,52	0,536
M4 _{0,0/0,1}	17,52 \pm 1,70	16,38 \pm 1,43	0,403
M5 _{0,0/0,2}	22,49 \pm 1,86	22,45 \pm 1,37	0,903
M6 _{0,0/0,3}	27,12 \pm 0,96	25,31 \pm 1,28	0,019
M7 _{0,0/0,4}	28,71 \pm 1,03	26,65 \pm 2,33	0,050
M8 _{0,0/0,5}	30,32 \pm 1,25	30,58 \pm 0,63	0,655
M9 _{0,6/0,1}	18,32 \pm 1,64	18,66 \pm 1,50	0,913
M10 _{0,6/0,2}	23,68 \pm 1,36	22,56 \pm 1,11	0,519
M11 _{0,6/0,3}	25,64 \pm 0,98	24,79 \pm 1,00	0,167
M12 _{0,6/0,4}	27,91 \pm 0,91	27,85 \pm 1,37	0,557
M13 _{0,6/0,5}	29,98 \pm 1,22	29,95 \pm 1,49	0,450
M14 _{0,9/0,1}	18,83 \pm 1,98	19,36 \pm 1,99	0,776
M15 _{0,9/0,2}	22,53 \pm 1,25	21,74 \pm 1,23	0,754
M16 _{0,9/0,3}	25,33 \pm 1,15	24,44 \pm 0,93	0,175
M17 _{0,9/0,4}	27,87 \pm 0,68	27,40 \pm 0,70	0,161
M18 _{0,9/0,5}	29,30 \pm 1,47	28,04 \pm 1,76	0,064

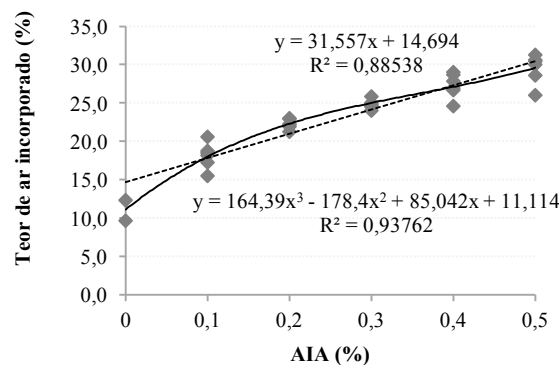
p = Teste T.

Por meio dos resultados da Tabela 7 percebe-se que, na maioria das argamassas, obteve-se a segunda amostra com incorporação de ar ligeiramente inferior a primeira (obtida com pausas). A análise estatística apontou diferenças significativas ($p<0,05$) entre a primeira e a segunda amostra apenas nas argamassas M6_{0,0/0,3} e M7_{0,0/0,4}, que receberam somente o AIA nos teores de 0,3% e 0,4%, respectivamente. Dessa forma, os resultados obtidos na segunda amostra validam os dados obtidos na primeira amostra, podendo-se dizer que, neste estudo, as pausas

durante o processo de mistura (incrementos de tempo), não interferiram na incorporação de ar das argamassas.

A Figura 19 relaciona o teor de AIA empregado nas misturas, para ambos os tipos de areia estudados, com o teor de ar incorporado obtido. Percebe-se uma forte relação entre o teor de AIA empregado nas misturas de argamassa e o teor de ar incorporado, tanto para a correlação linear, como para o ajuste por meio da linha de tendência polinomial de grau 3, levando em consideração os dois tipos de areia estudados. No entanto, ao se ajustar os resultados por meio de uma linha de tendência polinomial, a relação ficou ainda mais forte, passando o valor de R^2 de 0,88 (linear) para 0,94 (polinomial). Esse ajuste demonstra a tendência geral das argamassas estudadas em atingir um ponto de estabilização ou limite de incorporação de ar a partir do qual, mesmo que se aumente o teor de AIA, já não ocorra ganho de ar significativo.

Figura 19 – Relação entre a quantidade de AIA empregada e o teor de ar incorporado, considerando ambas as areias.



5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que:

- tanto o tempo de mistura quanto o teor de AIA possuem valores limites, a partir dos quais não são verificados incrementos significativos no teor de ar incorporado das argamassas. Para as argamassas estudadas, obteve-se o tempo máximo de mistura na argamassadeira de 270s para uma maior incorporação de ar. Já para o teor de AIA, os resultados apontaram para um limite localizado entre os teores de 0,3% e 0,4%;
- o tempo de mistura influenciou o comportamento das argamassas quanto à incorporação de ar apenas para teores de AIA a partir de 0,3% da massa de cimento;
- o uso isolado do AEH não contribuiu para a incorporação de ar nem demonstrou sensibilidade ao tempo de mistura;
- o AEH alterou as características dos poros, tornando-os irregulares e com superfície interna rugosa;
- a granulometria do agregado influenciou de forma significativa a incorporação de ar apenas das argamassas sem AIA e com AIA em baixos teores (até 0,2%). Para esses casos foram verificadas diferenças de aproximadamente 2% a mais de ar incorporado para a areia B, com granulometria mais descontínua e módulo de finura inferior. Para as demais argamassas, obteve-se teor de ar incorporado levemente superior para a areia A, porém, não foram detectadas diferenças estatisticamente significativas entre essas argamassas;
- as pausas do processo de mistura proporcionadas pelo ensaio com incrementos de tempo de mistura não interferiram na incorporação final de ar das argamassas, apresentando valores estatisticamente semelhantes aos obtidos com a mistura sem pausas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, N.J.D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, DF, 2002.
- ANTONIAZZI, J.P.; MOHAMAD, G.; CASALI, J.M.; OTTONI, T.P.; RODRIGUES, R.B. **Avaliação do efeito dos aditivos estabilizador de hidratação e incorporador de ar em pastas de cimento portland**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia, GO, 2019.
- ARAUJO, M.J.S. **Influência do teor de aditivo aerante nas propriedades das argamassas fluidas à base de cimento**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, SC, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento portland - determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.
- BAUER, E.; OLIVEIRA, V.C. **Comportamentos e propriedades das argamassas estabilizadas de revestimentos**. In: XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, São Paulo, 2017.
- BENINGFIELD, N. **Air entrainment of mortar**. In 8th International Brick/Block Masonry Conference Ireland, UK, P. 118-130, 1988.
- FERRARIS, C. F.; OBLA, K. H.; HILL, R. **The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete**. Cement and Concrete Research, Kidlington, v. 31, n. 2, p. 245-255, 2001.
- HADDAD, L.D. et al. **Análise da influência da granulometria do agregado miúdo nas propriedades mecânicas e de durabilidade das argamassas de revestimento**. Science & Engineering Journal, v. 25, n.1, p. 07-16, 2016.
- HARTMANN, C., JEKNAVORIAN, A., SILVA, D., BENINI, H. **Aditivos químicos para concretos e cimentos**. In: G. C. Isaia (Ed.), Concreto: ciência e tecnologia (pp. 347-380). São Paulo: Ibracon, 2011.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. IBRACON, 2 Ed, 2014.
- NELSON, R. L.; SCHMIDT, S.; MUNRO, C.; LAUBER, R.; PISTILLI, M.; GATES, R.; SEYL, J. **Ready mix mortar in the United States**. 8th IBMAC (International Brick and Block Masonry Conference. Dublin, 1988.
- PAOLINI, M. & KHURANA, R. **Admixtures for recycling of waste concrete**. Cement and concrete composites 20, p221-229, 1998.
- RAMACHANDRAN, V. S.. **Concrete admixtures handbook**. Noyes Publications, New York, 1984.

RICKERT, J. **Influence of retarders on the hydration of clinker and cement.** *Concrete Technology Reports 2001–2003*, Verlag Bau+Technik, Duesseldorf, 2004.

RIXON, R.; MAILVAGANAM, N. **Chemical admixtures for concrete.** E & FN SPON, London, 1999.

ROMANO, R.C.O. et. al. **Impacto do tipo de misturador e do tempo de mistura nas propriedades de argamassas industrializadas.** *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 109-118, out./dez, 2009.

ROMANO, R.C.O. **Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicadas em construção civil.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ROMANO, R.C.O.; TORRES, D.R.; PILEGGI, R.G. **Impact of aggregate grading and air-entrainment on the properties of fresh and hardened mortars.** *Construction and Building Materials* 8, p. 219–226, 2015.

ROMANO, R.C.O.; CINCOTTO, M.A.; PILEGGI, R.G. **Incorporação de ar em materiais cimentícios: uma nova abordagem para o desenvolvimento de argamassas de revestimento.** *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v.18, n.2, 2018.

SALAGER, J.L. **Surfactantes em solución acuosa.** Cuaderno FIRP, Universidade de los Andes, Merida, Venezuela, p. 1-28, 1993.

SALAGER, J.L. **Surfactantes – typos y usos.** Cuaderno FIRP, Universidade de los Andes, Merida, Venezuela, p. 1-54, 2002.

SILVA, T. R. **Mechanical behavior of coating mortars with regranulated expanded cork.** Técnico Lisboa, julho, 2014.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Santa Maria - UFSM pelo apoio, infraestrutura e recursos para a realização da pesquisa e às empresas Supermix e Supertex pelo fornecimento dos materiais.

3 ARTIGO 2 - INFLUÊNCIA DO TIPO DE CIMENTO E DOS ADITIVOS INCORPORADOR DE AR E ESTABILIZADOR DE HIDRATAÇÃO NO TEMPO DE PEGA DE ARGAMASSAS

Este artigo foi submetido à Revista IBRACON de Estruturas e Materiais -RIEM, ISSN: 1983-4195 (versão eletrônica), Engenharias 1, Qualis B1 (quadriênio 2013-2016). O artigo está formatado conforme as normas para a publicação nesse periódico, as quais estão descritas no anexo B.

Página de Rosto

Influência do tipo de cimento e dos aditivos incorporador de ar e estabilizador de hidratação no tempo de pega de argamassas

Autores:

Juliana P. Antoniazzi^{1*}, Gihad Mohamad², Juliana M. Casali³

¹Aluna de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Professora Assistente do Departamento de Expressão Gráfica, Universidade Federal de Santa Maria, juliana.antoniazzi@ufsm.br, Brasil.

²Professor Associado, Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, gihad.civil@gmail.com, Brasil.

³Professora assistente, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, juliana.casali@ifsc.edu.br, Brasil.

Autor Correspondente:

Juliana Pippi Antoniazzi

Av. Roraima, n. 1000, Centro de Tecnologia (prédio 07), sala 201, Departamento de Expressão Gráfica, Universidade Federal de Santa Maria, Cidade Universitária, Bairro Camobi, 97105 – 900, Santa Maria/RS, Brasil.

Contato: +55(55)3220-8594

juliana.antoniazzi@ufsm.br

Influência do tipo de cimento e dos aditivos incorporador de ar e estabilizador de hidratação no tempo de pega de argamassas

Influence of cement type, air entraining admixture and hydration stabilizing admixture on setting time of mortars

Resumo

A argamassa estabilizada é uma mistura pronta que faz uso dos aditivos estabilizador de hidratação (AEH) e incorporador de ar (AIA) em sua composição, os quais modificam suas propriedades, principalmente, os tempos de pega. O AEH prorroga o tempo de pega das argamassas por um longo período, enquanto o AIA promove maior trabalhabilidade à mistura. O estudo determinou a temperatura de argamassas com a avaliação dos tempos de pega obtidos em calorímetro semi-adiabático. Foram utilizados dois tipos de cimento (F e Z) e variados os teores de AEH (0,0%, 0,6% e 0,9%) e AIA (0,0%, 0,2% e 0,4%). Os resultados evidenciaram excelente correlação entre os métodos de cálculo do tempo de pega. O uso de AEH aumentou os tempos de pega das argamassas com o cimento Z em relação ao cimento F. O tempo de pega das argamassas foi influenciado pelo tipo do cimento utilizado e pelos teores de aditivos, inclusive AIA que também aumentou o tempo de início de pega.

Abstract

Ready mix mortar is a mix that makes use of a hydration stabilizing admixture (HSA) and air-entraining admixture (AEA) in its composition, which modify its properties, especially setting time. HSA extends the setting time, while AEA promotes greater workability. In this study, we determined the temperature of mortars using two cement types (F and Z) with different contents of HSA (0.0%, 0.6% and 0.9%) and AEA (0.0%, 0.2% and 0.4%), evaluating the setting times obtained in a semi-adiabatic calorimeter. The results showed an excellent correlation between the setting time calculation methods. The use of HSA increased the setting time of cement Z compared to cement F. In conclusion, mortar setting time was influenced by cement type and admixture content, including AEA, which also increased the onset of the setting time.

Palavras-chave: *aditivo incorporador de ar, aditivo estabilizador de hidratação, argamassa estabilizada, tempo de pega.*

Keywords: *air entraining admixture; hydration stabilizing admixture; ready mix mortar; setting time.*

1 Introdução

A utilização das argamassas estabilizadas como revestimento vem aumentando nos canteiros de obras das grandes cidades. Essas argamassas chegam à obra prontas para a utilização, possibilitando ainda o seu uso durante 72 horas. Essas características são dadas pelo emprego de aditivos na composição das misturas, sendo mais comumente empregados o aditivo estabilizador de hidratação (AEH) e o aditivo incorporador de ar (AIA).

Os aditivos incorporadores de ar (AIA) são materiais orgânicos pertencentes à classe dos tensoativos, geralmente de caráter aniônico, sendo constituídos de uma extremidade hidrofóbica (apolar) e outra hidrofílica (polar) [1]. Esses aditivos diminuem a tensão superficial e modificam a reologia das argamassas por meio da inserção de pequenas bolhas de ar, proporcionando melhor plasticidade [2]. A melhora na trabalhabilidade das misturas é o principal efeito do aditivo incorporador de ar quando utilizado em argamassas [2][3], mas também pode contribuir para o retardo das reações, uma vez que suas moléculas se unem às partículas de cimento por sua parte polar (atração por cargas opostas), ficando a cauda apolar voltada para a água [3]. Assim, forma-se uma camada de tensoativos ao redor das partículas de cimento que repele a água e pode retardar as reações de hidratação, a depender da quantidade de aditivo empregada [4]. A permeabilidade das argamassas também pode aumentar com altas quantidades de ar incorporado, proporcionado pelo excesso de aditivo incorporador de ar (AIA) [3], assim como pode ocorrer diminuição da resistência [4].

Os aditivos estabilizadores de hidratação (AEH) são substâncias compostas por uma solução aquosa de sais, ácidos hidrocarboxilados e carboidratos, configurando aditivos retardadores de longa duração [5] que promovem um aumento da plasticidade da argamassa por um período de tempo maior [6][7]. Quando adicionados às argamassas, atuam sobre todos os minerais do clínquer, reduzindo a concentração de sulfato de cálcio na solução e formando uma película semipermeável ao redor das partículas de cimento, o que prorroga suas reações e o tempo de pega do cimento [7][8][9]. Em argamassas estabilizadas, são acrescentados junto com a água de amassamento, inibindo a nucleação e a formação dos silicatos de cálcio hidratados [8][10], principais responsáveis pela resistência das argamassas endurecidas. Assim, o aditivo estabilizador de hidratação (AEH) aumenta o período de indução e altera a taxa de hidratação dos compostos [11]. Quando o efeito do aditivo desaparece e a barreira formada é dissolvida, o cimento começa espontaneamente a hidratar e a argamassa tende a iniciar a pega [4][10].

O teor de aditivo estabilizador de hidratação (AEH) empregado interfere diretamente no tempo de bloqueio das reações, podendo até mesmo fazer com que não ocorra a pega ou que ocorra uma pega indesejada. Além disso, quando utilizado em quantidades excessivas, o aditivo estabilizador reduz de forma expressiva a resistência da argamassa [12].

Dessa forma, o emprego e a dosagem dos aditivos em argamassas estabilizadas requerem estudos específicos e domínio das variáveis envolvidas no processo. Muitos fatores podem afetar o desempenho dessas argamassas, podendo comprometer suas propriedades nos estados fresco e endurecido. O tempo e o procedimento de mistura, o tipo e teor de aditivos utilizados, a compatibilidade dos aditivos com o cimento empregado, o consumo de cimento, a temperatura e umidade, o tipo e a granulometria dos agregados, a qualidade da água e a forma de estocagem da massa pronta (estabilização) são algum desses fatores [3][13][14][15].

Os tempos de pega das argamassas estabilizadas são fatores importantes durante a sua concepção, uma vez que as misturas são justamente comercializadas com o propósito de prorrogação desse início das reações, objetivando seu manuseio por período prolongado. Esses tempos dependem, dentre outros, da quantidade de aditivos empregada. O tipo e a finura do cimento também podem afetar a velocidade e a quantidade de calor liberado nas reações de hidratação. Quanto mais fino for o cimento, mais rápido ele tende a reagir, uma vez que a hidratação ocorre da superfície para o interior do grão. Com maior quantidade de partículas por unidade de massa e, assim, maior área superficial em contato com a água, a taxa de reatividade tende a ser maior [16][17].

Campos [18] determinou o tempo de início pega de argamassas com aditivo estabilizador de hidratação (AEH), obtendo resultados com relação direta ao teor de aditivo empregado, assim como também encontraram Ruppenthal e Pelisser [19], Pivetta et al. [20] e Calçada, Gaio e Ramos [14]. No entanto, esses trabalhos não contemplaram a ação conjunta do aditivo estabilizador de hidratação (AEH) com o aditivo incorporador de ar (AIA), presente em argamassas estabilizadas.

Os tempos de início de pega obtidos por Campos [18] pelo método de resistência à penetração, segundo a NBR NM 9 [21], foram superiores aos obtidos por calorímetro semi-adiabático e por ultrassom, o que também foi encontrado por Macioski [15] em suas análises com lotes de argamassas estabilizadas. Barbosa et al. [22] avaliou pastas e argamassas aditivadas apenas com um teor de aditivo estabilizador de hidratação (AEH) verificando influência direta da quantidade de água sobre o tempo de pega das pastas, enquanto a presença de aditivo estabilizador de hidratação (AEH) aumentou o tempo de pega de ambos. Os tempos de pega das argamassas com aditivo estabilizador de hidratação (AEH) foram inferiores às pastas com aditivo estabilizador de hidratação (AEH),

para as mesmas relações a/c, demonstrando a influência da quantidade de água disponível no sistema.

Segundo Viceli, Hastenpflug e Girardi [23], o método da calorimetria semi-adiabática mostrou-se adequado para determinação dos tempos de pega de pastas confeccionadas com diferentes tipos de cimento ao compará-los com os resultados com o método de Vicat. Os autores obtiveram os resultados mais coerentes para os tempos de pega por meio da análise pelo método das derivadas.

No entanto, nenhum dos trabalhos mencionados avaliou a ação do aditivo estabilizador de hidratação (AEH) e aditivo incorporador de ar (AIA), em diferentes dosagens e combinações, sobre os tempos de pega das argamassas, assim como não foi avaliado o efeito desses aditivos sobre diferentes tipos de cimento.

Tendo em vista as lacunas ainda existentes e a ausência de normativas específicas para o emprego de aditivos em argamassas estabilizadas, esse estudo monitorou a temperatura de argamassas ao longo do processo de hidratação, utilizando dois tipos distintos de cimentos (CPII F-40 e CPII Z-32) e diferentes teores de aditivo incorporador de ar (AIA) e aditivo estabilizador de hidratação (AEH). Assim, o objetivo foi estabelecer comparativos quanto aos tempos de pega das argamassas com cada tipo de cimento, estimados por diferentes métodos de cálculo (tangentes, frações diretas e derivadas), avaliando a ação conjunta e isolada de cada aditivo.

2 Materiais e programa experimental

2.1 Materiais

O estudo avaliou a temperatura nas idades iniciais de misturas de argamassas utilizando dois tipos de cimento, variando as dosagens de aditivo estabilizador de hidratação (AEH) e aditivo incorporador de ar (AIA), a fim de se obter o tempo de início e fim de pega das mesmas. As argamassas foram confeccionadas em laboratório, sendo os materiais empregados fornecidos e escolhidos em função dos produtores de argamassa estabilizada da região sul do país.

Os cimentos utilizados nessa pesquisa foram um cimento com filler (CPII F-40) e um cimento com pozolana (CPII Z-32), ambos do mesmo fabricante, denominados nessa pesquisa como cimento F e cimento Z, respectivamente. Os ensaios de caracterização dos cimentos encontram-se na Tabela 1 e Tabela 2.

O agregado miúdo empregado (areia) é proveniente de rio, da cidade de Santa Maria/RS, sendo suas características especificadas na Tabela 3.

A granulometria do agregado foi realizada conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003) [24] e pode ser verificada na Figura 1. Antes de serem utilizados, os agregados foram secos em estufa por 24

h. As argamassas foram confeccionadas utilizando dois tipos de aditivos, um incorporador de ar (AIA) e um estabilizador de hidratação (AEH), os quais foram adicionados à argamassa juntamente com a água, na fase inicial da mistura. Os dados técnicos, fornecidos pelo fabricante, encontram-se na Tabela 4.

2.2 Programa Experimental

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais e Construção Civil – LMCC - e no Laboratório de Processos Ambientais – LAPAM - ambos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Foram confeccionadas dezoito misturas de argamassas com o mesmo traço (1:6,5, em massa), a mesma relação água/aglomerante ($A/a = 1,0$) e o mesmo agregado miúdo (areia). Houve variação nas porcentagens de aditivo estabilizador de hidratação (AEH) em 0,0%, 0,6% e 0,9% e de aditivo incorporador de ar (AIA) em 0,0%, 0,2% e 0,4%. Também foram empregados dois diferentes tipos de cimento, sendo que, das dezoito misturas confeccionadas, nove utilizaram o Cimento F e nove utilizaram o Cimento Z. A Tabela 5 resume as argamassas estudadas nessa pesquisa, com suas respectivas denominações.

A mistura das argamassas foi realizada em uma argamassadeira de 5 litros, com movimento planetário. O procedimento de mistura foi realizado com base no descrito na NBR 7215 (ABNT, 2019) [25] com adaptações para o uso de aditivos e no tempo de repouso.

Assim, inicialmente colocou-se toda a água (nas misturas com aditivos, os mesmos foram adicionados nesse momento e misturados em velocidade baixa com a água durante 20 s para homogeneização) e, posteriormente, todo o cimento. Com o misturador em velocidade baixa, os materiais foram misturados durante 30 s. Após, sem paralisar o equipamento, iniciou-se a colocação da areia de forma gradual, em um período de 30 s. Depois de colocada a areia, mudou-se a velocidade para alta e os materiais foram misturados por 30 s. O misturador era desligado durante 15 s para a retirada da argamassa aderida às paredes e à pá com o auxílio da espátula. O misturador era novamente ligado em velocidade alta por mais 180 s, totalizando um tempo total de mistura de 270 s, conforme estabelecido em etapa anterior, para uma máxima incorporação de ar.

Para cada mistura de argamassa foram avaliadas três amostras, as quais foram colocadas em calorímetros semi-adiabáticos distintos. A Figura 2 apresenta um esquema do sistema executado, em corte, o qual consiste em um copo de polipropileno expandido (isopor) com tampa, de diâmetro interno de 8 cm e altura útil de 11 cm. Esse copo foi inserido em uma caixa de mesmo material com tampa, de dimensões de 20 x 25 x 28 cm. Ambos foram revestidos com papel alumínio interna e externamente para melhor isolamento térmico. O copo recebeu a amostra de argamassa no seu

interior e teve um fio termopar “tipo T” submerso. O espaço entre as duas caixas foi preenchido com pequenas esferas de polipropileno expandido (isopor), as quais foram confinadas por uma folha de polipropileno expandido (isopor) na parte superior. O fio termopar foi conectado ao aquisitor de dados (Fieldlogger Novus), o qual estava interligado a um computador, com o software Novus Fieldchart, para plotagem dos dados. Assim, cada mistura foi colocada em um calorímetro, onde foi acompanhada a evolução da temperatura ao longo de 336 h (14 dias). As aquisições de dados foram programadas para registro a cada 10 minutos e, por meio das curvas de evolução da temperatura em função do tempo devido às reações de hidratação do cimento, foram determinados os tempos de pega das argamassas.

Foram moldadas simultaneamente as argamassas de mesmo traço e mesmo teor de aditivos, variando-se somente o tipo de cimento (Cimento F e Cimento Z), o que permitiu que sua avaliação se desse sob as mesmas condições de moldagem, ensaio e temperatura (24°C). O monitoramento das argamassas iniciou-se 20 min após a confecção das amostras devido a montagem, transporte ao local climatizado e conexão ao fieldlogger.

Inicialmente esse ensaio foi realizado para amostras de argamassa com volumes menores (aproximadamente 332 cm³), porém, nas misturas estabilizadas, não se conseguiu verificar com nitidez o período de aceleração, o que dificultou as análises. Assim, os ensaios foram repetidos com amostras maiores de argamassas (aproximadamente 553 cm³), permitindo a determinação do tempo de pega.

A sequência da montagem das caixas para o ensaio ocorreu da seguinte forma: primeiramente, realizou-se um furo centralizado na tampa do copo, por onde foi inserido o termopar tipo T (Figura 3a), sendo marcado no mesmo a profundidade que deveria penetrar na caixa para que permanecesse sempre na mesma posição (meia altura) dentro das amostras. Foi colocado pequenas esferas de polipropileno expandido (Figura 3b), envolta do copo contendo a amostra de argamassa no seu interior, a qual foi inserida dentro de um saco plástico para possibilitar o reaproveitamento dos copos (Figura 3c). O preenchimento da amostra foi realizado em duas camadas, com 20 golpes de soquete metálico e 3 quedas de aproximadamente 3 cm em cada uma. O copo com a amostra foi fechado com tampa (Figura 3d), cercado de esferas de isopropileno e encaixado no orifício da chapa. A caixa também foi perfurada na sua lateral para passagem do fio termopar ao meio externo (Figura 3e), vedando-se com silicone líquido os orifícios por onde o termopar perfurou. O fio termopar foi conectado ao aquisitor de dados (Figura 3f). A partir dos dados obtidos foram utilizados três métodos distintos para a análise e determinação do tempo de início e fim de pega, sendo eles o método das tangentes [26], método das frações diretas [23][27] e método das derivadas

[28]. Em cada um dos métodos os tempos considerados para cada mistura foi a média aritmética entre as três amostras ensaiadas.

O método das tangentes, conforme evidenciado na Figura 4 [26], estima, a partir dos valores de temperatura *versus* tempo, o tempo de início de pega por meio do traçado de retas horizontais que tangenciam a curva nos pontos máximo e mínimo de temperatura. As retas tangentes por sua vez, são interceptadas por uma terceira reta sobreposta à curva no período de aceleração da reação de hidratação. Os pontos de intersecção entre as retas traçadas correspondem ao início e ao fim de pega.

Pelo método das frações diretas [23][27] os tempos de início e de fim de pega são determinados por percentuais do aumento total de temperatura. Assim, em condições de ambiente controlado, o tempo de início de pega é equivalente a 21% da diferença entre a temperatura do início do período de indução e o pico superior de temperatura atingida, enquanto o final equivale a 42%, conforme mostra a Figura 5.

O método das derivadas [28] baseia-se em estudos que mostraram que o início do tempo de pega equivale ao pico máximo de temperatura da segunda derivada da curva temperatura *versus* tempo, enquanto o final da pega é obtido pelo pico da primeira derivada, de acordo com o demonstrado na Figura 6.

Os dados da pesquisa foram analisados com o auxílio do programa SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*, versão 20.0), utilizando-se os Testes T e ANOVA com *Post Hoc* de *Tukey* ($p < 0,05$) para a comparação dos resultados entre as diferentes misturas e entre argamassas com os dois tipos de cimento Portland. O coeficiente de determinação (R^2) foi utilizado para classificar o ajuste dos dados à um modelo de regressão, assim como também foi calculado o coeficiente de correlação linear de *Pearson* (r) que expressa a intensidade e o sentido da relação linear existente entre duas variáveis numéricas.

Na análise de dados, considera-se que existe diferença estatisticamente significativa entre os resultados quando $p < 0,05$, caso contrário, considera-se que não existem diferenças significativas. No caso de haver diferenças ($p < 0,05$), aplicou-se o Teste *Post Hoc* de *Tukey* para avaliar quais grupos são diferentes e quais são semelhantes, sendo empregadas letras sobrescritas para a identificação. Quando os resultados recebem letras sobrescritas iguais indica que, entre eles, não existem diferenças, e, quando recebem letras diferentes, significa que são estatisticamente diferentes.

3 Resultados e discussões

As curvas de temperatura *versus* tempo, para cada uma das argamassas estudadas, são apresentadas na Figura 7, sendo em (a) as misturas que utilizaram o cimento F e em (b) as misturas que utilizaram o cimento Z na sua composição.

O primeiro pico exotérmico (pré-indução) não pode ser verificado, pois ocorre nos primeiros minutos e o monitoramento das amostras foi iniciado 20 min após sua confecção.

Observa-se na Figura 7, que o tipo de cimento empregado teve influência no processo de hidratação e na formação dos compostos. Isto é, para um mesmo traço e mesmos teores de aditivos, o tipo de cimento utilizado alterou quase todos os tempos de pega e picos de temperatura alcançados. Pelas curvas de aceleração (Figura 7) percebe-se que as argamassas com cimento F tiveram maior liberação de calor durante suas reações de hidratação do que as com cimento Z. Isso pode ser atribuído à finura do cimento e também ao fato do cimento Z conter pozolana, o que faz com que a sua quantidade de clínquer seja inferior a do cimento F, influenciando na taxa de hidratação das partículas. Assim o cimento F, além de ser mais fino, possui maior teor de C_3A e C_2S , aumentando a quantidade de calor liberada nas primeiras idades.

É possível perceber com distinção a ação do aditivo estabilizador de hidratação (AEH) sobre as misturas. Para os dois tipos de cimentos, as reações de hidratação tem início nas primeiras horas para as argamassas A1(0,0/0,0), A4(0,0/0,2) e A5(0,0/0,4), ou seja, para todas que não receberam aditivo estabilizador de hidratação (AEH) em sua composição. As demais misturas sofrem aumento do tempo de início de pega devido à camada hidrorrepelente que o aditivo estabilizador de hidratação (AEH) forma sobre as partículas do cimento [7][8]. O aumento do tempo de início de pega foi influenciado diretamente pelo teor de aditivo estabilizador de hidratação (AEH) utilizado, pelo tipo de cimento e pela combinação com o aditivo incorporador de ar (AIA).

Mesmo com a utilização de amostras de maior volume (553 cm^3), as quais proporcionaram maior geração de calor nas reações, ainda assim, para o cimento Z, as curvas das misturas A8(0,9/0,2) e A9(0,9/0,4) não tiveram nitidamente distintos os seus picos de elevação de temperaturas.

3.1 Comparação entre os métodos de determinação do tempo de pega

Por meio dos dados de temperaturas em função do tempo, foram determinados os tempos de início e fim de pega pelos três métodos: método das tangentes, das frações diretas e das derivadas. Os resultados médios, seguidos do desvio-padrão, são apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8 para as argamassas analisadas.

Por meio da análise dos dados da Tabela 6, observou-se que não houve diferença estatisticamente significativa entre os tempos de pega obtidos pelos dois tipos de cimento para as argamassas A4(0,0/0,2) e A5(0,0/0,4). A argamassa A1(0,0/0,0) apresentou diferenças consideráveis ($p^{**}=0,024$) para o tempo de início de pega entre os cimentos, porém, os tempos de final de pega foram similares ($p^{**}=0,230$).

Nota-se, na Tabela 7, que os valores encontrados também indicaram semelhança entre os resultados de tempo de pega obtidos para os dois tipos de cimento nas argamassas A4(0,0/0,2) e A5(0,0/0,4). Já na mistura A1(0,0/0,0), encontraram-se tempos de início de pega estatisticamente semelhantes ($p^{**}=0,353$) e tempos de fim de pega divergentes ($p^{**}=0,007$).

Pelo método das derivadas (Tabela 8) foram obtidos tempos de início de pega estatisticamente iguais entre o cimento F e Z para as argamassas A1(0,0/0,0), A4(0,0/0,2) e A5(0,0/0,4). Já o fim da pega só demonstrou semelhança para A1(0,0/0,0).

A Figura 8 apresenta um comparativo entre os tempos de início de pega obtidos com o cimento F (Figura 8a) e com o cimento Z (Figura 8b), estimados pelos métodos das tangentes, das frações diretas e das derivadas. De forma geral, os resultados obtidos pelos três métodos de cálculo empregados demonstraram coerência e proximidade entre si.

Dessa forma, a Figura 9 apresenta as correlações obtidas para o tempo de início de pega obtido pelos três métodos empregados, juntamente com os coeficientes de determinação (R^2) e de correlação de *Pearson* (r), da equação da linha de tendência linear. Foram obtidos excelentes coeficientes de correlação entre todos os métodos, sendo que a melhor correlação foi dada entre o método das tangentes e o das frações diretas ($r=0,9998$)(Figura 9a).

A Figura 10 apresenta uma correlação dos tempos de fim de pega obtidos pelos métodos das tangentes, das frações diretas e das derivadas, para o cimento F (Figura 10a) e para o cimento Z (Figura 10b).

As maiores diferenças entre os três métodos avaliados foram obtidas nos tempos de fim de pega, como mostra a Figura 10. Essas diferenças se devem ao fato de o método das tangentes considerar o final da pega apenas quando a temperatura atinge o pico máximo após o período de indução [17][29][30], enquanto nos demais métodos o fim é considerado antes, localizando-se próximo da metade do período de aceleração [23][31][32].

A Figura 11 apresenta as correlações encontradas para o tempo de fim de pega pelos três métodos, juntamente com os coeficientes de determinação (R^2) e de correlação de *Pearson* (r), da equação da linha de tendência linear.

Em todas as correlações para tempo de fim de pega também foram obtidos coeficientes (r) muito próximos à 1,0, demonstrando uma excelente correlação entre os diferentes métodos. O maior coeficiente de correlação (r) obtido para o tempo final de pega foi entre o método das frações diretas e das derivadas ($r=0,9992$)(Figura 11b).

Considerando-se os tempos de início e de fim de pega, o método que melhor se correlacionou com os demais foi o método das frações diretas. Logo, optou-se por adotar para as análises de dados das argamassas desse estudo os tempos estabelecidos pelo método das frações diretas.

3.2 Análise dos tempos de pega segundo o método das frações diretas

Conforme evidenciado na Tabela 7, para as misturas sem aditivo estabilizador de hidratação (AEH), isto é, A1(0,0/0,0), A4(0,0/0,2) e A5(0,0/0,4), os tempos de início e final de pega foram estatisticamente iguais ($p^{**}>0,05$) para os dois tipos de cimento. Romano [3] também constatou não haver influência do aditivo incorporador de ar (AIA) sobre as reações de hidratação do cimento. Numericamente, para essas misturas, o tempo de início de pega do cimento Z foi menor que o cimento F. Nas misturas que receberam aditivo estabilizador de hidratação (AEH), isoladamente ou combinado ao aditivo incorporador de ar (AIA), os tempos de início e de fim de pega das argamassas com cimento Z foram muito superiores ($p^{**}<0,001$) aos obtidos pelas argamassas com cimento F, chegando a ser até 84% superior em A8(0,9/0,2). A exceção foi para A6(0,6/0,2), que teve o tempo de início de pega com o cimento F 4 h após a mesma argamassa com o cimento Z ($p^{**}=0,013$).

Nota-se, também pela Figura 8, que as argamassas com o cimento F liberaram mais calor do que as argamassas com o cimento Z, para uma mesma composição de argamassa. Isso possivelmente ocorreu devido à composição química diferenciada entre os cimentos e também pelo cimento F ser mais fino que o cimento Z.

A Figura 12 apresenta os resultados de tempo de início e de fim de pega obtidos para as argamassas com aditivo estabilizador de hidratação (AEH) e aditivo incorporador de ar (AIA) com cimentos F e Z pelo método das frações diretas.

Por se tratar de um cimento mais fino, o esperado seria que as argamassas com o cimento F obtivessem o tempo de pega menor que as argamassas com o cimento Z. Porém, conforme já descrito, esse fenômeno só foi observado nas misturas aditivadas com aditivo estabilizador de hidratação (AEH) - com exceção de A6(0,6/0,2) - e, nessas sim, a diferença foi bastante expressiva. Comparando-se o tempo de início de pega das mesmas argamassas confeccionadas com os diferentes cimentos, constatou-se um aumento do tempo de pega das argamassas com cimento Z em relação às de cimento F de, aproximadamente, 39h de diferença em A2(0,6/0,0), 72h em

A3(0,9/0,0), 54h em A7(0,6/0,4), 134h em A8(0,9/0,2) e 42h em A9(0,9/0,4). Nas argamassas sem aditivo estabilizador de hidratação (AEH) os tempos de pega obtidos com os dois tipos de cimentos foram muito parecidos entre si.

Com a introdução de aditivo estabilizador de hidratação (AEH), as argamassas com o cimento Z tiveram um retardo no tempo de pega potencializado. Como a hidratação se processa da superfície para o interior do grão, um grão de cimento maior (Cimento Z) demoraria, naturalmente, mais tempo a hidratar do que um menor (Cimento F). Conforme Trevisol [7], Souza [9], o aditivo forma uma película ao redor do grão de cimento que repele as partículas de água, assim, quanto maior o grão, maior a quantidade de moléculas de aditivo aderidas para cobrir a superfície desse. Por sua vez, é provável que seja mais difícil a dissolução dessa camada hidrorrepelente com uma maior quantidade de moléculas de aditivo aderidas, logo, maior seria o efeito de retardo do tempo de pega. Além disso, o cimento Z é um cimento com pozolana, contendo de 6 a 14% de cinza volante, com uma quantidade bem maior de resíduo insolúvel (13,17%) e, conseqüentemente, menor quantidade de clínquer, o que também pode contribuir para as reações e tempo de pega devido à atividade pozolânica. A reação do cimento pozolânico é lenta, assim como as taxas de liberação de calor e o desenvolvimento da resistência também são, consumindo hidróxido de cálcio ao invés de produzi-lo [4]. Assim, o efeito do aditivo estabilizador de hidratação (AEH) também pode contribuir para essa velocidade das reações.

Analisando as diferentes misturas de cada tipo de cimento, pode ser observado que, ao se adicionar aditivo estabilizador de hidratação (AEH) isoladamente nas misturas em seu menor teor estudado, o tempo de início de pega já é maior em 88 h para o cimento F (A2(0,6/0,0)) e em 128h para o cimento Z (A3(0,9/0,0)), em relação à A1(0,0/0,0). A Figura 13 mostra, para as argamassas com os cimento F (a) e os cimento Z (b), o efeito do aumento no teor de aditivo estabilizador de hidratação (AEH) de 0,6% para 0,9% para as argamassas somente com aditivo estabilizador de hidratação (AEH), argamassas com aditivo estabilizador de hidratação (AEH) associado a 0,2% de aditivo incorporador de ar (AIA) e argamassas com aditivo estabilizador de hidratação (AEH) associado à 0,4% de aditivo incorporador de ar (AIA).

Pela Figura 13 (a), percebe-se que, ao se aumentar o teor de aditivo estabilizador de hidratação (AEH) de 0,6% para 0,9%, nas argamassas com cimento F, o tempo de início de pega das misturas somente com aditivo estabilizador de hidratação (AEH) é aumentado em mais 65h. Nas argamassas que associaram esses teores de aditivo estabilizador de hidratação (AEH) à 0,2% de aditivo incorporador de ar (AIA), o aumento do tempo de início de pega foi de 48 h e, nas argamassas que associaram à 0,4% de aditivo incorporador de ar (AIA), foi de 118 h.

Na Figura 13 (b), são expostos os resultados para o cimento Z, onde obteve-se 98h a mais no tempo de início de pega de A2(0,6/0,0) para A3(0,9/0,0), 186h de A6(0,6/0,2) para A8(0,9/0,2) e 106h de A7(0,6/0,4) para A9(0,9/0,4).

Avaliando a ação do aditivo incorporador de ar (AIA) no tempo de pega das argamassas, pela Tabela 7, observa-se um leve retardo no tempo de pega das argamassas aditivadas somente com aditivo incorporador de ar (AIA), em relação à A1(0,0/0,0), para os dois cimentos. Estatisticamente, os tempos de início de pega de A4(0,0/0,2) e A5(0,0/0,4) não são diferentes de A1(0,0/0,0) (*Post Hoc* de *Tukey* = A), porém, numericamente, percebe-se que existe um pequeno aumento do tempo pelo uso somente do aditivo incorporador de ar (AIA) (até 1,4h), não sendo observada uma relação diretamente proporcional com o teor empregado.

Quando combinado ao aditivo estabilizador de hidratação (AEH), torna-se evidente a ação do aditivo incorporador de ar (AIA) sobre as reações de hidratação do cimento, como se pode observar tanto na Tabela 7, como na Figura 14, indo contra a afirmação de Romano [3]. Comparando-se A2(0,6/0,0) com A6(0,6/0,2) e A7(0,6/0,4), verifica-se que todas as misturas possuem mesmo teor de aditivo estabilizador de hidratação (AEH), porém, ao se acrescentar aditivo incorporador de ar (AIA), obteve-se, respectivamente, 18h e 12h a mais no tempo de início de pega para o cimento F (Figura 14a). Já com o cimento Z (Figura 14b), a argamassa A6(0,6/0,2) iniciou a pega 25h antes da A2(0,6/0,0), enquanto a A7(0,6/0,4) postergou em 27h. Ao se comparar A3(0,9/0,0) com A8(0,9/0,2), não foram encontradas diferenças para o tempo de início de pega do cimento F (Figura 14a), enquanto para o cimento Z, houve 63 h de atraso (Figura 14b). Comparando, ainda, A3(0,9/0,0) com A9(0,9/0,4), tem-se, para o cimento F, 65 h de aumento (Figura 14a) e 35h para o cimento Z (Figura 14b).

Trevisol Jr e Koman [33] obtiveram valores menores para os tempos de pega com o cimento Z, em comparação aos obtidos nesse estudo. Os autores obtiveram 98 horas para o tempo de início de pega da argamassa com 0,6% de AEH, enquanto no presente estudo, para esse mesmo teor de AEH, obteve-se de 108 a 160 horas, a depender do teor de AIA associado. No entanto, Trevisol Jr e Koman [33] confeccionaram as argamassas em usina, com traço 1:6 ($a/c=1,05$), podendo causar efeitos diferenciados nas propriedades. Campos, Macioski e Casali [26] encontraram um tempo de início de pega de 70 horas para argamassa com cimento F - 32 (1:6 e $a/c=0,87$) com 0,9% de AEH, valor este, bem inferior ao obtido no presente estudo para o mesmo teor de AEH isolado (159 horas). No entanto, além do proporcionamento distinto, tem-se características bem diferentes para o AEH empregado, cimento e agregados, alterando as propriedades da mistura.

Para o cimento F, observou-se a seguinte sequência para os tempos de início de pega, em ordem crescente de acontecimento: $A1 \cong A4 \cong A5 < A2 < A7 < A6 < A3 \cong A8 < A9$. Já para o cimento Z a sequência sofreu algumas alterações e se deu na seguinte ordem: $A1 \cong A4 \cong A5 < A6 < A2 < A7 < A3 < A9 < A8$.

Esses resultados demonstram que o aditivo incorporador de ar (AIA) também pode influenciar no tempo de pega das argamassas, sendo observados efeitos mais significativos quando associado ao emprego do aditivo estabilizador de hidratação (AEH). No entanto, só foi verificada relação direta entre o tempo de pega e o teor de aditivo incorporador de ar (AIA) nas argamassas com cimento F que empregaram aditivo incorporador de ar (AIA) associado à 0,9% de aditivo estabilizador de hidratação (AEH) e para o cimento Z com aditivo incorporador de ar (AIA) associado à 0,6% de aditivo estabilizador de hidratação (AEH).

Já em relação ao aditivo estabilizador de hidratação (AEH), o tempo de início de pega das argamassas demonstrou ter relação direta com o teor empregado para todos os casos estudados, conforme ilustrou a Figura 14.

4 Conclusões

Com os resultados obtidos, pode-se constatar que os três métodos de determinação utilizados para estimar os tempos de pega das argamassas demonstraram coerência e correlação muito forte entre si. Para as análises realizadas, foi escolhido o método das frações diretas por ter sido o que melhor se correlacionou com os demais métodos.

Durante o período avaliado, constatou-se maior temperatura nas argamassas com o Cimento F do que nas com o Cimento Z, uma vez que o cimento F é mais fino e contém maior quantidade de clínquer. Nas misturas sem aditivos ou somente com aditivo incorporador de ar (AIA), não houve diferenças significativas entre os tempos de pega com os diferentes tipos de cimento. Quando adicionado o aditivo estabilizador de hidratação (AEH), o efeito da finura do cimento potencializou o retardo do tempo de pega proporcionado pelos aditivos, verificando-se maior tempo de pega das argamassas confeccionadas com o cimento Z. Esse maior tempo de pega para as argamassas com o cimento Z também pode estar atrelado ao efeito pozolânico devido à presença de cinza volante na sua composição.

O tempo de início de pega das argamassas demonstrou ter relação direta com o teor de aditivo estabilizador de hidratação (AEH) empregado para todos os casos estudados, em ambos os cimentos. O emprego do aditivo incorporador de ar (AIA) também proporcionou retardo do tempo de pega das argamassas quando associado ao emprego do aditivo estabilizador de hidratação

(AEH). No entanto, para o aditivo incorporador de ar (AIA), só foi observada relação direta com o tempo de início de pega em casos específicos, não sendo possível evidenciar uma tendência geral. O tipo de cimento utilizado e o teor dos aditivos empregados influenciaram o tempo de início de pega das argamassas. Além disso, foram constatadas influências do aditivo incorporador de ar (AIA) na ação do aditivo estabilizador de hidratação (AEH) sobre os tempos de pega, assim como da finura do cimento quando associada ao aditivo estabilizador de hidratação (AEH). Assim, pode-se concluir que os tempos de pega das argamassas são influenciados pelo teor dos aditivos, aditivo incorporador de ar (AIA) e aditivo estabilizador de hidratação (AEH), podendo haver interferência de função, de acordo com as dosagens.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Santa Maria - UFSM pelo apoio, espaço e recursos para a realização da pesquisa e às empresas Supermix e Supertex pelo fornecimento dos materiais.

Referências bibliográficas

- [1] RIXON, R.; MAILVAGANAM, N. Chemical admixtures for concrete. E & FN SPON, London, 1999.
- [2] CARASEK, H. Argamassas, Cap 26 In: ISAIA, G.C. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo, IBRACON, 2010.
- [3] ROMANO, R.C.O. Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicadas em construção civil. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- [4] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. Livro, Ed. IBRACON, 2ª edição, 2014.
- [5] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C494: Standard specification for chemical admixtures for concrete. United States, 2004.
- [6] NELSON, R. L.; SCHMIDT, S.; MUNRO, C.; LAUBER, R.; PISTILLI, M.; GATES, R.; SEYL, J. Ready mix mortar in the United States. 8th IBMAC (International Brick and Block Masonry Conference. Dublin, 1988.
- [7] TREVISOL JUNIOR, L.A. Estudo comparativo entre as argamassas: estabilizada dosada em central, industrializada e produzida em obra por meio de ensaios físicos nos estados fresco e endurecido. Dissertação de mestrado. PPGDT, Instituto de Engenharia do Paraná, 2015.
- [8] RICKERT, J. Influence of retarders on the hydration of clinker and cement. Concrete Technology Reports 2001–2003, Verlag Bau+Technik, Duesseldorf, 2004.
- [9] SOUZA, A.F. Otimização do uso de aditivo estabilizador de hidratação do cimento em água de lavagem dos caminhões-betoneira para produção de concreto. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 182p, 2007.
- [10] PAOLINI, M.; KHURANA, R. Admixtures for recycling of waste concrete. Cement and concrete composites 20, p221-229, 1998.
- [11] CHEUNG, J. et al. Impact os admixtures on the hydration kinetics of portland cement. Cement and concrete research 41, 2011.
- [12] COUTO, L.G. Apostila de aditivos. Disciplina de Civ 361 – Materiais de Construção Civil II. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2011.
- [13] CASALI, J. M. et al. Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para assentamento e revestimento. In: IX Simpósio Brasileiro de Argamassas, 2011, Minas Gerais. IX Simpósio Brasileiro de Argamassas, 2011.
- [14] CALÇADA, L.M.L.; GAIO, A.E.; RAMOS, M.G. Estudo da influência da dosagem no tempo de início de pega da argamassa estabilizada. In: Seminário de pesquisa e inovação do IFSC, 2013.

- [15] MACIOSKI, G. Avaliação do comportamento de argamassas estabilizadas para revestimento. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Paraná, 2014.
- [16] PETRUCCI, E. G. R. Concreto de cimento Portland. São Paulo, 1998.
- [17] NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. Tecnologia do concreto. Bookman, 2 edição 2013.
- [18] CAMPOS, G.M. Estudo do tempo de início de pega de argamassas com aditivo estabilizador de hidratação. Monografia, UTFP, 2012.
- [19] RUPPENTHAL,S.M.; PELISSER, F. Estudo de argamassas de revestimento com inibidores de hidratação. 2012 Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/1158/1/Suelem%20Michels%20Ruppenthal.pdf>, acesso em 02 de setembro de 2019.
- [20] PIVETTA, D.M. et al. Desempenho de argamassas estabilizadas: influência do aditivo estabilizador de hidratação no estado fresco. In: Anais do Congresso Brasileiro do Concreto, 58, Belo Horizonte, 2016.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 9: Concreto e argamassa – Determinação dos tempos de pega por meio de resistência a penetração. Rio de Janeiro, 2003.
- [22] BARBOSA, C.S. et al. Estudo da influência da quantidade de água no tempo de pega em pastas e em argamassas estabilizadas. In: XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia, GO, 2019.
- [23] VIECILI, M.J.C; HASTENPFLUG, D.; GIRARDI, R. Comparativo entre o teste de Vicat e a calorimetria semi-adiabática para determinação do tempo de início e fim de pega em cimentos Portland. Revista Matéria, v.23, n.03, 2018.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- [25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7215: Cimento portland - determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.
- [26] CAMPOS, G.M.; MACIOSKI, G.; CASALI, J.M. Estudo do tempo de início de pega de argamassas com aditivo estabilizador de hidratação. In: Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto, Ibracon. Gramado, 2013.
- [27] WEAKLEY, R.W. Evaluation of semi-adiabatic calorimetry to quantify concrete setting. Faculty of Auburn University, Auburn, Alabama, USA, 2010.
- [28] SANDBERG, P.; LIBERMAN, S. Monitoring and evaluation of cement hydration by semi-adiabatic Field calorimetry. In: K.Wang and A.K. Schindler, Eds. Concrete Heat Development:monitoring, prediction and management. Georgia, NY. Curran Associates, 2007.
- [29] TAYLOR, H. F. W. Cement chemistry. Ed. Academic Press, 1990.
- [30] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.
- [31] RAMACHANDRAN, V. S.. Concrete admixtures handbook. Noyes Publications, New York, 1984.
- [32] JAWED, I.; SKALNY, J.; YOUNG, J.F. Hydration of Portland cement. In: Structure and performance of cements. Ed. Barbes, P. Applied Science Publishers, London, 1983.
- [33] TREVISOL JR, L.A.; KOMAN, D.F. Estudo da interferência do uso de cal hidratada no tempo de estabilidade em argamassas estabilizadas dosadas em central. In: XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia, GO, 2019.

TABELAS

Tabela 1 - Características físicas dos cimentos F e Z

Propriedade	Cimento F	Cimento Z	Método
Massa específica (g/cm ³)	3,10	3,06	NBR NM 23 (ABNT, 2001)
Índice de finura (#0,075mm) (%)	0,12	0,51	NBR 11579 (ABNT, 2013)
Água da pasta de consistência normal (%)	29,00	28,71	NBR NM 43 (ABNT, 2003)
Início de pega (h:min)	4:00	4:10	NBR NM 65 (ABNT, 2003)
Fim de pega (h:min)	5:20	5:44	NBR NM 65 (ABNT, 2003)
Área superficial (m ² /g)	1,2592	1,2844	BET
Volume dos poros (cm ³ /g)	0,004791	0,004190	BET
Dimensão dos poros (nm)	20,0047	17,7925	BJH/BET

Fonte: Autor.

Tabela 2 - Características químicas, físicas e mecânicas dos cimentos F e Z

Ensaio Químico				
	Cimento F	Cimento Z	Limite de norma	Método
Perda ao fogo (%)	4,86	5,26	≤ 6,5	NBR NM 18 (ABNT, 2012)
Óxido de magnésio (%)	5,90	5,52	≤ 6,5	NBR NM 14 (ABNT, 2012)
Anidrido sulfúrico (%)	3,56	2,83	≤ 4,0	NBR NM 16 (ABNT, 2012)
Resíduo insolúvel (%)	0,82	13,17	≤ 2,5 / ≤ 16	NBR NM 22 (ABNT, 2012)
Ensaio Físico e Mecânico				
Blaine (cm ² /g)	4521,50	3657,50	≥ 2800 / ≥ 2600	NBR 16372 (ABNT, 2015)
Expansibilidade a quente (mm)	0,38	0,55	≤ 5,0	NBR 11582 (ABNT, 2016)
Resistência à compressão	1 dia	23,73	12,51	N/A
	3 dias	34,47	22,89	≥ 15,0 / ≥ 10,0
	7 dias	40,25	28,17	≥ 25,0 / ≥ 20,0
	28 dias	47,68	37,13	≥ 40,0 / ≥ 32,0; ≤ 49,0

Fonte: Fabricante de Cimento Portland.

Tabela 3 - Propriedades do agregado miúdo.

Propriedade	Areia	Método
Dimensão máxima característica (mm)	1,20	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Módulo de finura	1,73	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Massa específica(g/cm ³)	2,64	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Massa unitária (g/cm ³)	1,63	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Teor de material pulverulento (%)	4,94	NBR NM 46 (ABNT, 2003)
Área superficial (m ² /g)	0,5424	BET
Volume dos poros (cm ³ /g)	0,001156	BET
Dimensão dos poros (nm)	8,4833	BJH/BET

Fonte: Autor.

Tabela 4 – Dados técnicos do aditivo incorporador de ar (AIA) e do aditivo estabilizador de hidratação (AEH).

Características	AIA	AEH
Base química	Sal de álcool graxo etoxilado sulfatado	-
Aspecto	Líquido	Líquido
Cor	Amarelo	Marrom
Densidade (g/cm ³)	1,00	1,17
Teor de sólidos (%)	3	45
pH	9	6
Solubilidade	Solúvel em água (20°C)	Solúvel em água
Dosagens (% peso do cimento)	0,1 – 0,5	0,2 – 1,5

Fonte: Fabricante de aditivos.

Tabela 5 – Misturas de argamassas com aditivo estabilizador de hidratação (AEH) e aditivo incorporador de ar (AIA) e cimentos F e Z.

Argamassa	AEH (%)	AIA (%)	Tipo de cimento	Nomenclatura
A1(0,0/0,0)	0,0	0,0	Cimento F	A1F
			Cimento Z	A1Z
A2(0,6/0,0)	0,6	0,0	Cimento F	A2F
			Cimento Z	A2Z
A3(0,9/0,0)	0,9	0,0	Cimento F	A3F
			Cimento Z	A3Z
A4(0,0/0,2)	0,0	0,2	Cimento F	A4F
			Cimento Z	A4Z
A5(0,0/0,4)	0,0	0,4	Cimento F	A5F
			Cimento Z	A5Z
A6(0,6/0,2)	0,6	0,2	Cimento F	A6F
			Cimento Z	A6Z
A7(0,6/0,4)	0,6	0,4	Cimento F	A7F
			Cimento Z	A7Z
A8(0,9/0,2)	0,9	0,2	Cimento F	A8F
			Cimento Z	A8Z
A9(0,9/0,4)	0,9	0,4	Cimento F	A9F
			Cimento Z	A9Z

Tabela 6 – Tempo de pega das argamassas (média \pm desvio padrão) com aditivo estabilizador de hidratação (AEH) e aditivo incorporador de ar (AIA) e cimentos F e Z segundo o método das tangentes.

Mistura (AEH/AIA)	Tempo de início pega (h)			Tempo de fim de pega (h)		
	Cimento F	Cimento Z	p**	Cimento F	Cimento Z	p**
A1 (0,0/0,0)	4,17 \pm 0,29 ^A	3,33 \pm 0,29 ^A	0,024	13,00 \pm 0,29 ^A	12,83 \pm 0,29 ^A	0,230
A2 (0,6/0,0)	93,17 \pm 1,26 ^B	132,00 \pm 1,00 ^C	<0,001	100,50 \pm 0,50 ^B	140,17 \pm 0,76 ^C	<0,001
A3 (0,9/0,0)	155,50 \pm 1,32 ^E	227,83 \pm 0,29 ^E	<0,001	175,50 \pm 0,87 ^E	246,83 \pm 0,29 ^E	<0,001
A4 (0,0/0,2)	5,33 \pm 0,29 ^A	4,50 \pm 0,50 ^A	0,067	13,83 \pm 0,29 ^A	14,00 \pm 0,50 ^A	0,643
A5 (0,0/0,4)	5,00 \pm 0,50 ^A	4,50 \pm 0,50 ^A	0,288	14,67 \pm 0,76 ^A	14,50 \pm 0,50 ^A	0,768
A6 (0,6/0,2)	110,17 \pm 0,76 ^D	106,00 \pm 1,73 ^B	0,019	121,67 \pm 0,76 ^D	117,50 \pm 1,32 ^B	0,009
A7 (0,6/0,4)	105,00 \pm 0,50 ^C	153,33 \pm 0,76 ^D	<0,001	114,17 \pm 0,29 ^C	182,83 \pm 1,26 ^D	<0,001
A8 (0,9/0,2)	154,00 \pm 1,00 ^E	290,00 \pm 0,50 ^G	<0,001	183,00 \pm 1,00 ^F	386,00 \pm 5,67 ^G	<0,001
A9 (0,9/0,4)	223,00 \pm 1,00 ^F	264,33 \pm 0,29 ^F	<0,001	237,83 \pm 0,76 ^G	278,17 \pm 2,52 ^F	<0,001
p*	<0,001	<0,001	-	<0,001	<0,001	-

p* ANOVA com *Post Hoc* de *Tukey*: comparação entre diferentes misturas com mesmo cimento; p** Teste T de amostras independentes: comparação da mesma mistura com diferentes tipos de cimento.

Tabela 7 – Tempo de pega das argamassas (média \pm desvio padrão) com aditivo estabilizador de hidratação (AEH) e aditivo incorporador de ar (AIA) e cimentos F e Z segundo o método das frações diretas.

Mistura (AEH/AIA)	Tempo de início pega (h)			Tempo de fim de pega (h)		
	Cimento F	Cimento Z	p**	Cimento F	Cimento Z	p**
A1 (0,0/0,0)	5,76 \pm 0,21 ^A	5,44 \pm 0,49 ^A	0,353	8,91 \pm 0,17 ^A	7,45 \pm 0,46 ^A	0,007
A2 (0,6/0,0)	94,17 \pm 0,65 ^B	133,36 \pm 0,67 ^C	<0,001	95,56 \pm 0,94 ^B	135,30 \pm 0,59 ^C	<0,001
A3 (0,9/0,0)	159,54 \pm 1,10 ^E	231,50 \pm 0,60 ^E	<0,001	164,09 \pm 0,85 ^E	236,53 \pm 0,64 ^E	<0,001
A4 (0,0/0,2)	7,11 \pm 0,22 ^A	6,35 \pm 0,40 ^A	0,053	8,90 \pm 0,33 ^A	8,44 \pm 0,43 ^A	0,214
A5 (0,0/0,4)	7,16 \pm 0,40 ^A	6,69 \pm 0,34 ^A	0,196	8,89 \pm 0,40 ^A	8,28 \pm 0,30 ^A	0,099
A6 (0,6/0,2)	112,51 \pm 1,02 ^D	108,43 \pm 1,32 ^B	0,013	114,97 \pm 0,98 ^D	110,73 \pm 1,28 ^B	0,010
A7 (0,6/0,4)	106,50 \pm 0,82 ^C	160,54 \pm 0,98 ^D	<0,001	108,56 \pm 0,66 ^C	166,36 \pm 1,04 ^C	<0,001
A8 (0,9/0,2)	160,28 \pm 0,72 ^E	294,55 \pm 0,67 ^G	<0,001	167,44 \pm 0,58 ^F	298,16 \pm 1,00 ^G	<0,001
A9 (0,9/0,4)	224,65 \pm 0,12 ^F	266,69 \pm 0,21 ^F	<0,001	228,34 \pm 0,06 ^G	270,20 \pm 0,65 ^F	<0,001
p*	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	

p* ANOVA com *Post Hoc* de *Tukey*: comparação entre diferentes misturas com mesmo cimento; p** Teste T de amostras independentes: comparação da mesma mistura com diferentes tipos de cimento.

Tabela 8 – Tempo de pega das argamassas (média \pm desvio padrão) com aditivo estabilizador de hidratação (AEH) e aditivo incorporador de ar (AIA) e cimentos F e Z segundo o método das derivadas.

Mistura (AEH/AIA)	Tempo de início pega (h)			Tempo de fim de pega (h)		
	Cimento F	Cimento Z	P**	Cimento F	Cimento Z	P**
A1 (0,0/0,0)	6,31 \pm 0,27 ^A	5,67 \pm 0,70 ^A	0,216	8,36 \pm 0,18 ^A	8,26 \pm 0,25 ^A	0,774
A2 (0,6/0,0)	94,26 \pm 0,70 ^B	132,56 \pm 0,80 ^C	<0,001	98,45 \pm 0,76 ^C	134,30 \pm 1,22 ^D	<0,001
A3 (0,9/0,0)	166,31 \pm 0,85 ^F	229,74 \pm 0,70 ^E	<0,001	179,80 \pm 0,86 ^G	239,77 \pm 0,50 ^F	<0,001
A4 (0,0/0,2)	7,05 \pm 0,12 ^A	7,09 \pm 0,30 ^A	0,840	10,07 \pm 0,55 ^{AB}	15,74 \pm 0,55 ^B	<0,001
A5 (0,0/0,4)	6,63 \pm 0,39 ^A	7,40 \pm 0,53 ^A	0,113	11,37 \pm 0,35 ^B	9,27 \pm 0,39 ^A	0,002
A6 (0,6/0,2)	113,85 \pm 1,25 ^D	105,28 \pm 0,01 ^B	<0,001	115,91 \pm 1,06 ^E	110,45 \pm 0,01 ^C	0,001
A7 (0,6/0,4)	106,58 \pm 0,69 ^C	155,52 \pm 0,75 ^D	<0,001	109,60 \pm 0,84 ^D	163,94 \pm 0,75 ^E	<0,001
A8 (0,9/0,2)	152,30 \pm 0,93 ^E	296,29 \pm 0,71 ^G	<0,001	168,25 \pm 0,66 ^F	301,69 \pm 0,71 ^H	<0,001
A9 (0,9/0,4)	227,36 \pm 1,26 ^G	267,48 \pm 1,02 ^F	<0,001	230,65 \pm 0,36 ^H	273,57 \pm 1,02 ^G	<0,001
p*	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	

p* ANOVA com Post Hoc de Tukey: comparação entre diferentes misturas com mesmo cimento; p** Teste T de amostras independentes: comparação da mesma mistura com diferentes tipos de cimento.

FIGURAS

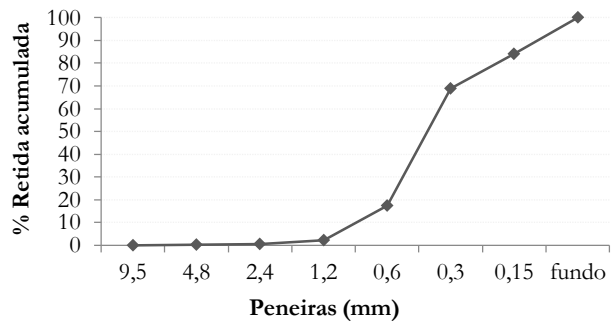


Figura 1 – Granulometria da areia.

Peneira (mm)	Areia	
	% Retida	% Retida Acumulada
9,50	0,00%	0,00%
4,80	0,08%	0,08%
2,40	0,40%	0,47%
1,20	1,78%	2,25%
0,60	15,19%	17,45%
0,30	51,31%	68,76%
0,15	15,33%	84,08%
fundo	15,92%	100,00%

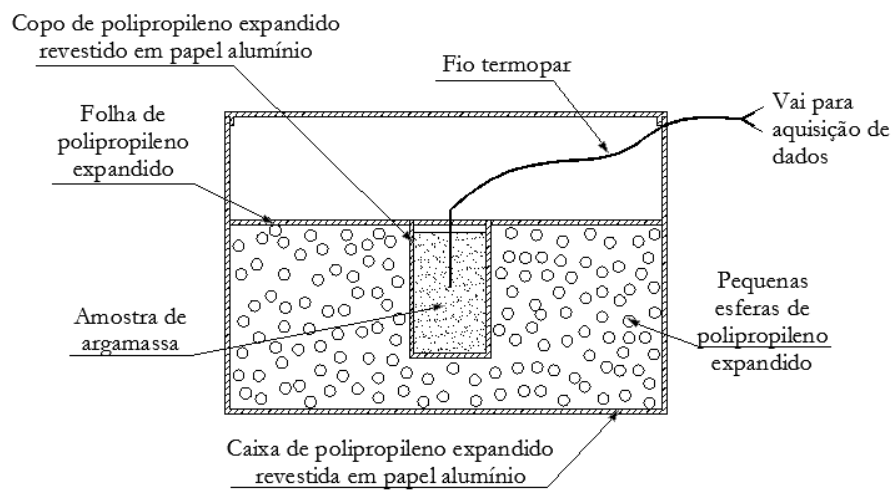


Figura 2 – Esquema em corte do calorímetro semi-adiabático desenvolvido em laboratório.

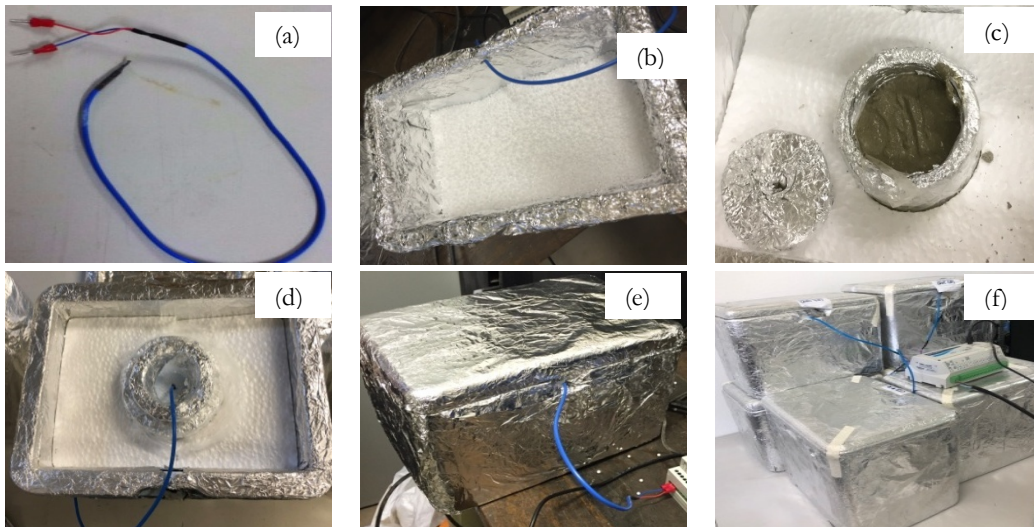


Figura 3 – Sequência de montagem das caixas para o ensaio de tempo de início de pega: (a) termopar tipo T; (b) caixa de polipropileno expandido com berço de pequenas esferas de polipropileno expandido; (c) copo de polipropileno expandido posicionado dentro da caixa, embutido em chapa de polipropileno expandido, recebendo a amostra de argamassa em seu interior; (d) termopar posicionado no interior da amostra, devidamente tampada e vedada com silicone (e) caixa fechada com a amostra em seu interior e termopar saindo ao meio externo, conectando-se ao aquisitor de dados; (f) sistema pronto e conectado ao aquisitor de dados.

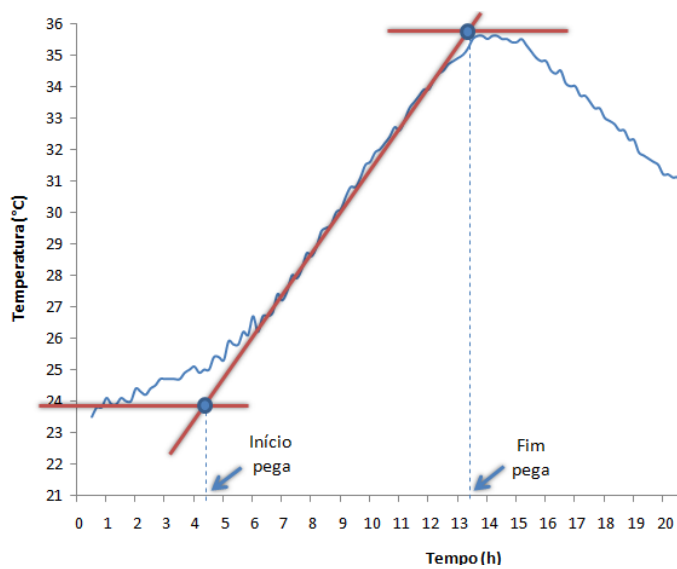


Figura 4 – Esquema representativo da determinação dos tempos de início e de fim de pega segundo o método das tangentes.

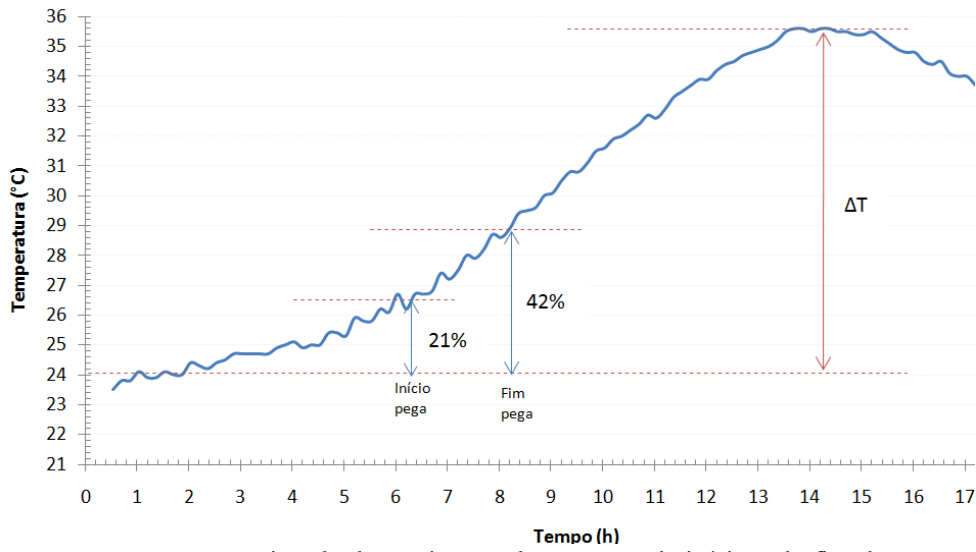


Figura 5 – Esquema representativo da determinação dos tempos de início e de fim de pega segundo o método das frações diretas.

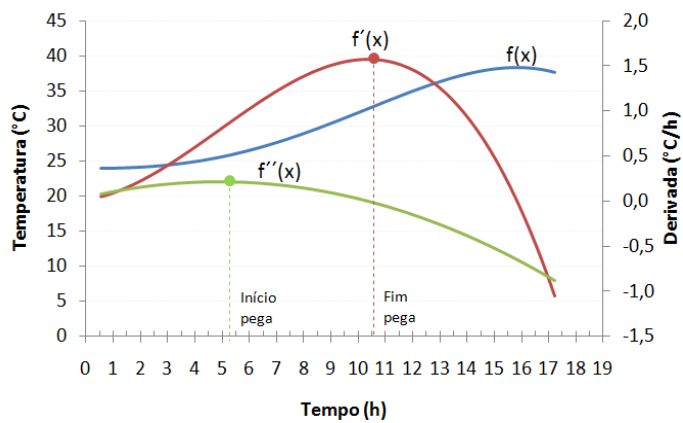


Figura 6 – Esquema representativo da determinação dos tempos de início e de fim de pega segundo o método das derivadas.

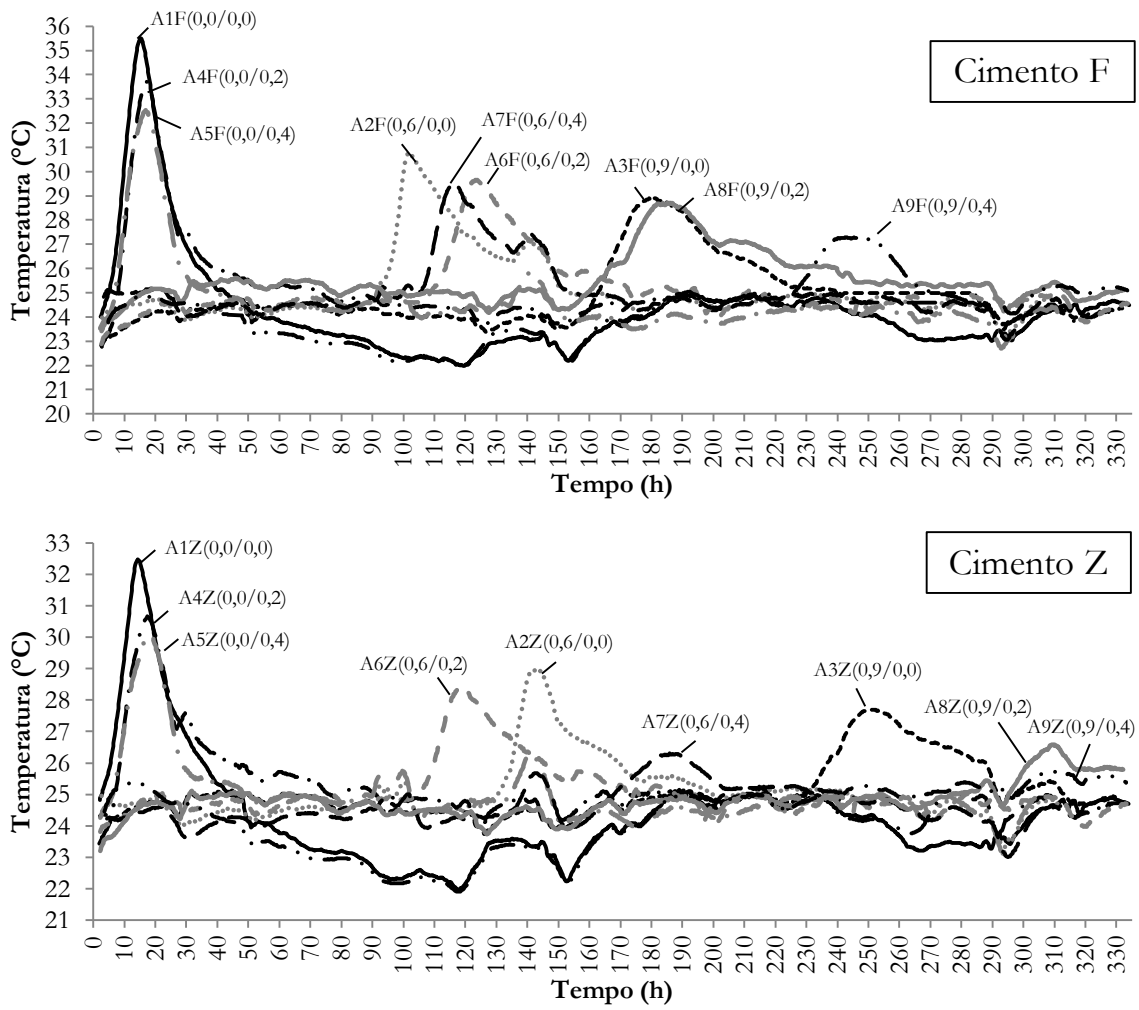


Figura 7 – Evolução de temperaturas das argamassas ao longo do tempo.

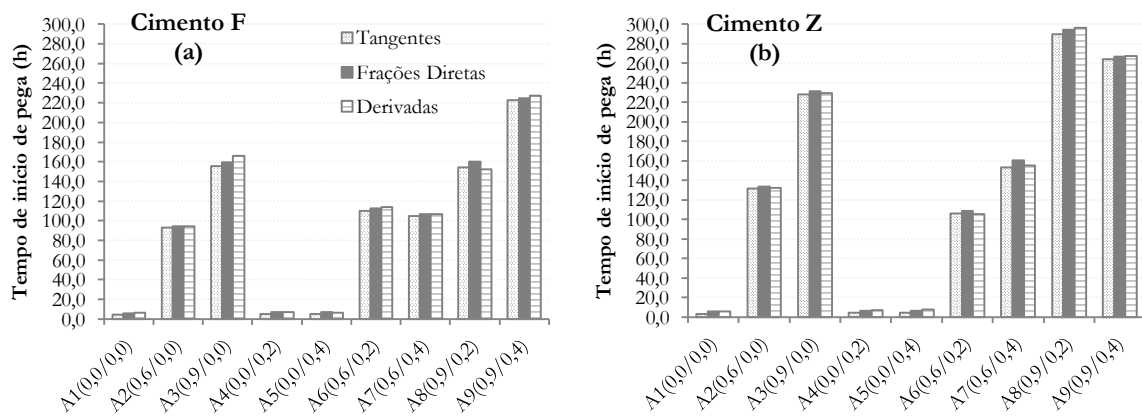


Figura 8 - Tempos de início de pega obtidos por diferentes métodos para argamassas com aditivo estabilizador de hidratação (AEH) e aditivo incorporador de ar (AIA) e cimentos F e Z.

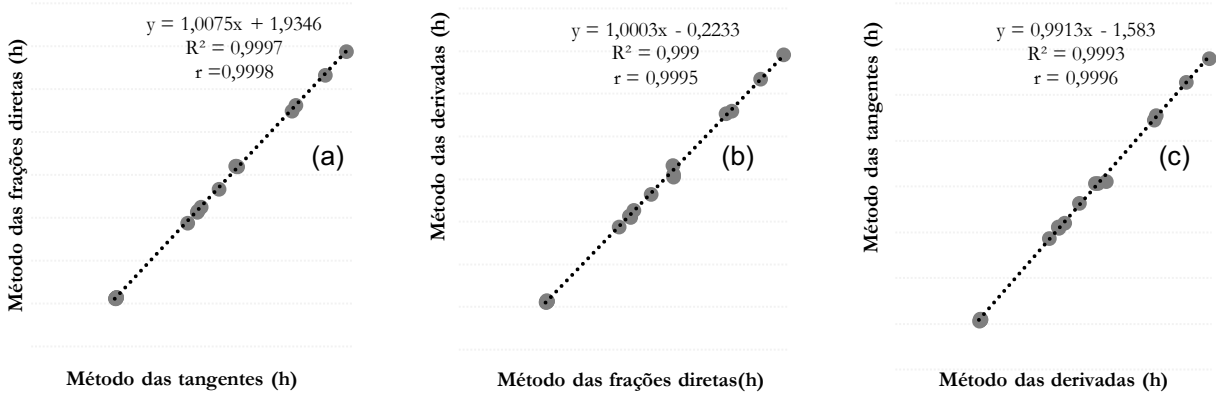


Figura 9 – Correlação entre os tempos de início de pega obtidos segundo os métodos das tangentes, frações diretas e derivadas, para as argamassas com os cimentos F e Z.

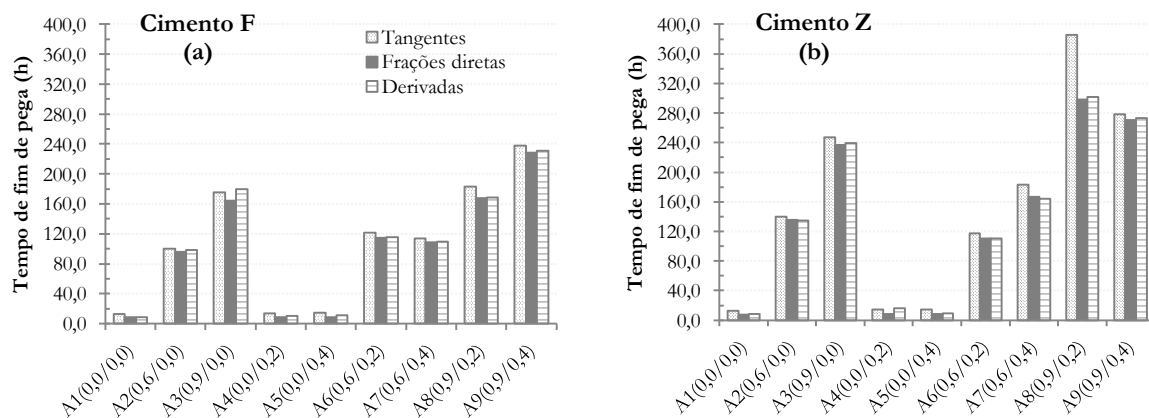


Figura 10 - Tempos de fim de pega obtidos por diferentes métodos para argamassas com aditivo estabilizador de hidratação (AEH) e aditivo incorporador de ar (AIA) e cimentos F e Z.

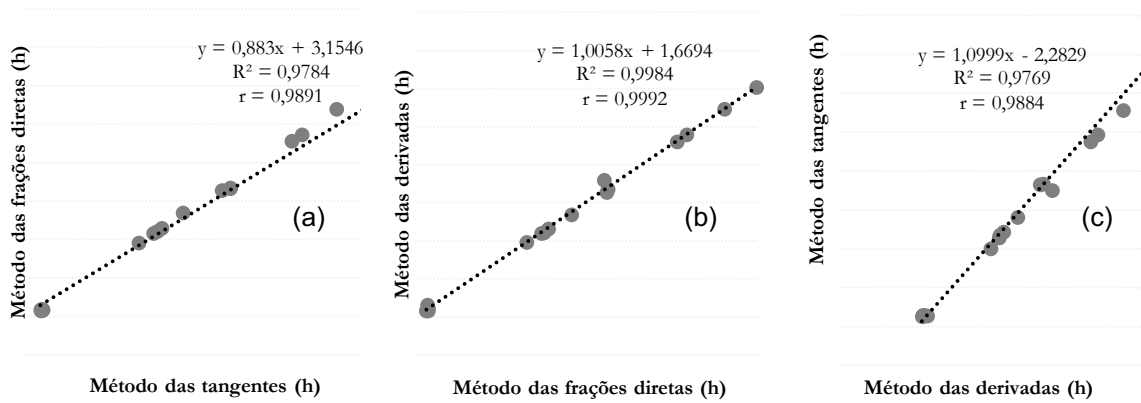


Figura 11 – Correlação entre os tempos de fim de pega obtidos segundo os métodos das tangentes, frações diretas e derivadas, para as argamassas com os cimentos F e Z.

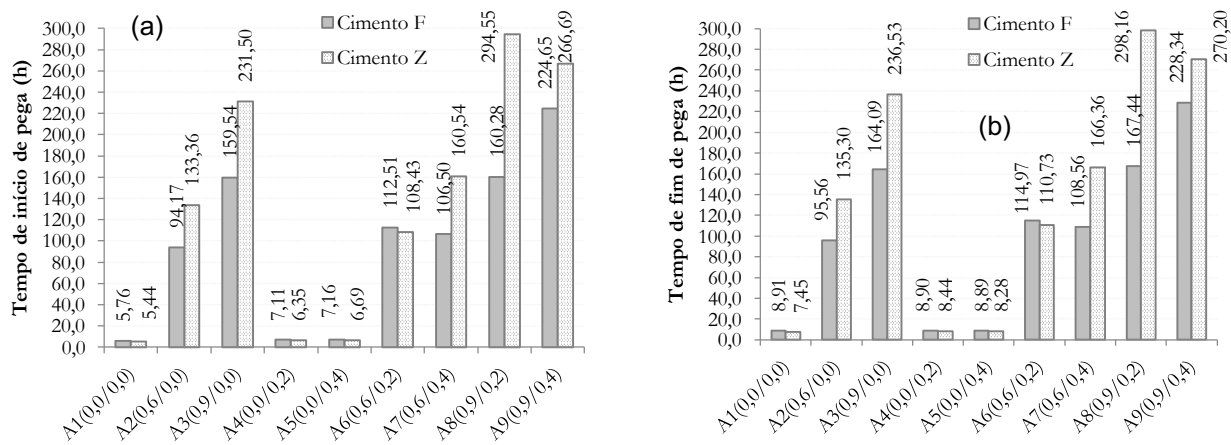


Figura 12 – Tempos de início e de fim de pega para argamassas com aditivo estabilizador de hidratação (AEH) e aditivo incorporador de ar (AIA) e cimentos F e Z segundo o método das frações diretas.

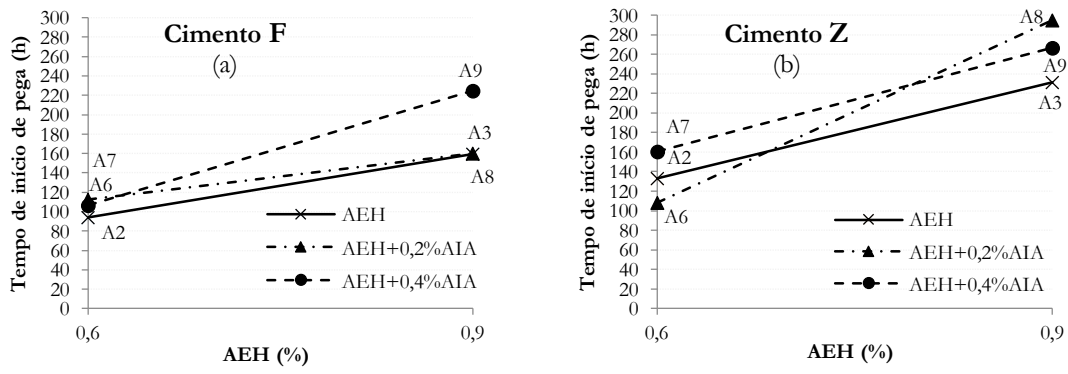
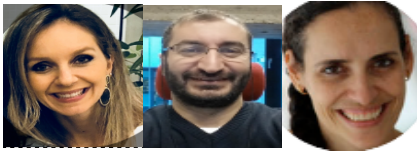


Figura 13 – Efeito do aumento do teor de AEH no tempo de início de pega das argamassas.

IDENTIFICAÇÃO DOS AUTORES

J. P. ANTONIAZZI ^a, G. MOHAMAD ^b, J. M. CASALI ^c

^a Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, juliana.antoniazzi@ufsm.br, Santa Maria, RS, Brasil;

^b Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Professor efetivo, Departamento de Estruturas e Construção Civil, gihad.civil@gmail.com, Santa Maria, RS, Brasil;

^c Insituto Federal de Santa Catarina - IFSC, Professora efetiva, Departamento Acadêmico de Construção Civil, juliana.casali@ifsc.edu.br, Florianópolis, SC, Brasil.

4 ARTIGO 3 - EFEITO DOS ADITIVOS ESTABILIZADOR DE HIDRATAÇÃO E INCORPORADOR DE AR NO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS ESTABILIZADAS NO ESTADO FRESCO

Este artigo será submetido ao periódico Construction and Building Materials, ISSN: 0950-0618, Engenharias 1, Qualis A1 (quadriênio 2013-2016). O artigo está formatado conforme as normas para a publicação nesse periódico, as quais estão descritas no anexo C. No entanto, o artigo será apresentado para a tese na versão em português e em formato expandido.

Title Page

Efeito dos aditivos estabilizador de hidratação e incorporador de ar no comportamento de argamassas estabilizadas no estado fresco

Autores:

Juliana P. Antoniazzi^{1*}, Gihad Mohamad², Juliana M. Casali³, Marcelo D. de Oliveira⁴, José Miguel Reichert⁵, Doerthe Holthusen⁶

¹Aluna de doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, juliana.antoniazzi@ufsm.br, Brasil

²Professor Associado, Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, gihad.civil@gmail.com, Brasil.

³Professora efetiva, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, juliana.casali@ifsc.edu.br, Brasil.

⁴Técnico de laboratório, Universidade Federal do Pampa/ Campus Alegrete, marcelod.oliveira@gmail.com, Brasil.

⁵Professor titular, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, reichert@ufsm.br, Brasil.

⁶Aluna de Pós-doutorado do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, d.holthusen@soils.uni-kiel.de, Brasil.

Autor Correspondente:

Juliana Pippi Antoniazzi

Av. Roraima, n. 1000, Centro de Tecnologia (prédio 07), sala 201, Departamento de Expressão Gráfica, Universidade Federal de Santa Maria, Cidade Universitária, Bairro Camobi, 97105 – 900, Santa Maria/RS, Brasil.

Contato: +55(55)3220-8594

juliana.antoniazzi@ufsm.br

HIGHLIGHTS

- O uso dos aditivos altera a reologia das argamassas.
- O aditivo incorporador de ar tem maior influência na reologia das argamassas em 0h.
- O aditivo estabilizador de hidratação conserva as propriedades ao longo do tempo.
- O aditivo incorporador de ar diminui consistência, resistência ao fluxo e exsudação.
- Ao longo do tempo aumenta-se a consistência e a resistência ao fluxo.

EFEITO DOS ADITIVOS ESTABILIZADOR DE HIDRATAÇÃO E INCORPORADOR DE AR NO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS ESTABILIZADAS NO ESTADO FRESCO

RESUMO

Esse trabalho avaliou a ação dos aditivos estabilizador de hidratação (AEH) e incorporador de ar (AIA) nas propriedades das argamassas estabilizadas ao longo do tempo no estado fresco. Nove argamassas foram confeccionadas com três diferentes teores de AEH e de AIA. O teor de ar incorporado, índice de consistência, exsudação e parâmetros reológicos (*Squeeze Flow* e reometria) foram determinados em cinco tempos de utilização. O uso e teor dos aditivos influenciaram as propriedades da argamassa, com maior atuação do AIA em 0h e do AEH na conservação das propriedades ao longo do tempo. O AIA diminuiu o atrito interno e melhorou o rolamento entre as partículas, diminuindo consistência, resistência ao fluxo e exsudação. O AEH não proporcionou alterações importantes na incorporação de ar, exsudação e consistência. Ao longo do tempo houve redução dos efeitos do AEH e perda de ar incorporado, proporcionando maior consistência e resistência ao fluxo.

Keywords: ready mix mortar; air entrained admixture; hydration stabilizing admixture; fresh state; rheology.

1. Introdução

A reologia das argamassas está relacionada principalmente à sua trabalhabilidade, a qual é resultado de um conjunto de características como plasticidade, coesão, consistência, viscosidade, adesão e densidade [1,2]. O emprego dos aditivos incorporador de ar (AIA) e estabilizador de hidratação (AEH) às argamassas promove modificações em suas características reológicas, podendo desencadear alterações no estado endurecido, a depender dos teores empregados. O tipo e quantidade de aglomerantes e agregados, o tempo e intensidade da mistura e o uso de aditivo e o tempo de estabilização irão influenciar de forma significativa as propriedades da argamassa [3,4,5].

A utilização de AIA e AEH nas argamassas tem como objetivo principal proporcionar maior trabalhabilidade e um tempo prolongado de utilização (até 72 horas) [6]. Porém, acabam tornando o sistema ainda mais complexo pela introdução de novos elementos. A argamassa no estado fresco é constituída por suspensões reativas que, especialmente pela atuação do cimento, sofrem modificações em sua consistência ao longo do tempo de estabilização, mesmo que devidamente armazenadas. Essas perdas de propriedades podem vir a comprometer a aplicação e o desempenho da mistura. No entanto, para que seja viável a sua aplicação, suas propriedades precisam se enquadrar em uma faixa de aceitabilidade, a qual vem sendo estudada [7] porém ainda não foi estabelecida por norma.

O uso do aditivo incorporador de ar (AIA) nas argamassas promove maior trabalhabilidade pela introdução de pequenas bolhas de ar ao sistema. Por serem compostos anfífilicos, com uma extremidade polar, geralmente aniônica, e outra apolar, posicionam-se nas interfaces diminuindo a tensão superficial da mistura [8]. Assim, quando submetidos à agitação mecânica, proporcionam a incorporação de microbolhas de ar com maior estabilidade na argamassa [9]. Essas microbolhas se unem às partículas de cimento e aos agregados pela atração das cargas opostas, aumentando a coesão do sistema [10]. Ao mesmo tempo, funcionam como

microesferas compressíveis, fazendo o papel de um agregado fino de baixo atrito e elasticidade considerável, conferindo um melhor rolamento entre os grãos à medida que reduzem o atrito entre eles [8,11].

Com a incorporação de ar aumenta-se a distância entre as partículas, tem-se um maior volume de pasta, melhorando a trabalhabilidade das argamassas [12]. A matriz existente entre os agregados age de forma a lubrificar seu contato. Desta forma, produz influência na argamassa especialmente em termos de viscosidade, a qual não pode ser excessivamente baixa, a ponto de permitir a segregação dos agregados, nem tão elevada, impedindo o sistema de fluir [13]. O manuseio da argamassa é facilitado pela grande quantidade de bolhas deformáveis, melhorando, assim, também a aplicação e o acabamento [11].

A introdução do AEH nas argamassas promove a formação de uma película hidrorrepelente ao redor dos grãos de cimento, impedindo que os mesmos se hidratem até que essa barreira seja dissolvida, retardando o início das reações [14,15,16]. Os AEH atuam sobre todos os minerais do clínquer e reduzem a quantidade de sulfato de cálcio de solução, inibindo a nucleação e formação de silicato de cálcio hidratado [17]. Como o início da pega é retardado, há inicialmente uma maior quantidade de água livre no sistema, modificando a reologia das misturas e tornando-as mais propícias a exsudação [18].

As argamassas, na maioria das vezes, apresentam um comportamento de fluido não-newtoniano com uma tensão de escoamento, a qual se dá pela maior ou menor resistência da mistura ao início do fluxo. Assim, a depender da composição da mistura, os modelos reológicos mais utilizados para descrever o seu comportamento são os modelos de Bingham e de Herschel-Bulk [19]. Desta forma, o estudo reológico destas se torna bastante complexo devido à sua natureza multifásica, constituída de aglomerantes, agregados, bolhas de ar e água livre [13].

O comportamento fresco das argamassas estabilizadas ao longo do período de utilização vem sendo estudado por alguns autores. As argamassas demonstraram diminuir o índice de

consistência e o teor de ar incorporado com o tempo [20,21,22,23,24,25], o que pode comprometer a sua aplicabilidade devido a perda de trabalhabilidade. No entanto, quando a homogeneização da mistura foi realizada em argamassadeira constatou-se potencial recuperação do teor de ar incorporado [5,26]. O deslocamento máximo sobre compressão (*Squeeze Flow*) demonstrou ter correlação direta com o teor de ar incorporado [5], reforçando a influência que as bolhas de ar exercem sobre a reologia da mistura. No entanto, as pesquisas não abordaram a ação de cada aditivo e o efeito de diferentes teores nas propriedades reológicas das argamassas.

Bauer e Oliveira [27] avaliaram a ação isolada e conjunta dos aditivos AEH e AIA sobre as argamassas, mostrando que o AEH isolado não influenciou no teor de ar incorporado. Já o emprego só do AIA elevou o teor de ar incorporado proporcionalmente aos incrementos no teor do aditivo, sendo esse efeito potencializado quando associado ao AEH, promovendo redução da água. No entanto, como houve alteração da quantidade de água nesse trabalho a fim de se manter constante a consistência, a ação dos aditivos nas propriedades nem sempre pode ser comparada.

Apesar do avanço nos estudos sobre as propriedades frescas de argamassas estabilizadas ao longo do período de estabilização, não foram encontrados estudos abordando o efeito dos aditivos (AEH e AIA) nas propriedades reológicas por meio de análises oscilatórias e *Squeeze Flow*. Além disso, como não existem normativas específicas para nortear sua produção, aplicação e controle tecnológico, o processo de padronização dessas misturas por parte dos fabricantes torna-se mais difícil. Uma grande variabilidade entre lotes de uma mesma argamassa estabilizada têm sido observada, demonstrando a falta de um controle efetivo no processo de produção [7,28]. Dessa forma, uma melhor compreensão da ação de aditivos sobre a reologia das argamassas, poderá contribuir para uma padronização do produto e para a prevenção de futuras manifestações patológicas.

Portanto, essa pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito dos aditivos incorporadores de ar e estabilizadores de hidratação nas propriedades frescas das argamassas ao longo do período de estabilização por meio de análises reológicas.

2. Materiais e métodos

2.1. Materiais

Os materiais utilizados nessa pesquisa foram cimento Portland composto com filler (CP II F – 40, Cimento F, Brasil), agregado miúdo (areia, proveniente de rio, de Santa Maria, RS, Brasil), aditivo incorporador de ar (AIA, Centripor 411, Brasil) e aditivo estabilizador de hidratação (AEH, Centripor Retard 225, Brasil). Os ensaios de caracterização dos materiais encontram-se nas Tabelas 1, 2, 3 e 4. A granulometria do agregado foi realizada conforme a NBR NM 248 [29] (Fig. 1). Antes de serem utilizados, os agregados foram secos em estufa por 24h.

Tabela 1

Características físicas dos cimentos CII F-40.

Propriedade	Cimento F	Método
Massa específica (g/cm ³)	3,1	NBR NM 23 (ABNT, 2001)
Índice de finura (#0,075mm) (%)	0,12	NBR 11579 (ABNT, 2013)
Água da pasta de consistência normal (%)	29	NBR NM 43 (ABNT, 2003)
Início de pega (h:min)	4:00	NBR NM 65 (ABNT, 2003)
Fim de pega (h:min)	5:20	NBR NM 65 (ABNT, 2003)
Área superficial (m ² /g)	1,2592	BET
Volume dos poros (cm ³ /g)	0,004791	BET
Dimensão dos poros (nm)	20,0047	BJH/BET

Tabela 2

Características químicas, físicas e mecânicas do cimento CII F-40.

	Ensaio Químicos		
	Cimento F	Limite de norma	Método
Perda ao fogo (%)	4,86	≤ 6,5	NBR NM 18 (ABNT, 2012)
Óxido de magnésio (%)	5,90	≤ 6,5	NBR NM 14 (ABNT, 2012)
Anidrido sulfúrico (%)	3,56	≤ 4,0	NBR NM 16 (ABNT, 2012)
Resíduo insolúvel (%)	0,82	≤ 2,5	NBR NM 22 (ABNT, 2012)
Ensaio Físicos e Mecânicos			
Blaine (cm ² /g)	4521,50	≥ 2800	NBR 16372 (ABNT, 2015)
Expansibilidade a quente (mm)	0,38	≤ 5,0	NBR 11582 (ABNT, 2016)
	1 dia	23,73	N/A
Resistência à compressão	3 dias	34,47	NBR 7215 (ABNT, 1997)
	7 dias	40,25	
	28 dias	47,68	

Fonte: Fabricante de Cimentos, unidade Rio Branco (DEZ/2017).

Tabela 3
Propriedades do agregado miúdo.

Propriedade	Areia	Método
Dimensão máxima característica (mm)	1,20	NBR NM 248, ABNT, 2003
Módulo de finura	1,73	NBR NM 248, ABNT, 2003
Massa específica(g/cm ³)	2,64	NBR NM 52, ABNT, 2009
Massa unitária (g/cm ³)	1,63	NBR NM 45, ABNT, 2006
Teor de material pulverulento (%)	4,94	NBR NM 46, ABNT, 2003
Área superficial (m ² /g)	0,5424	BET
Volume dos poros (cm ³ /g)	0,001156	BET
Dimensão dos poros (nm)	8,4833	BJH/BET

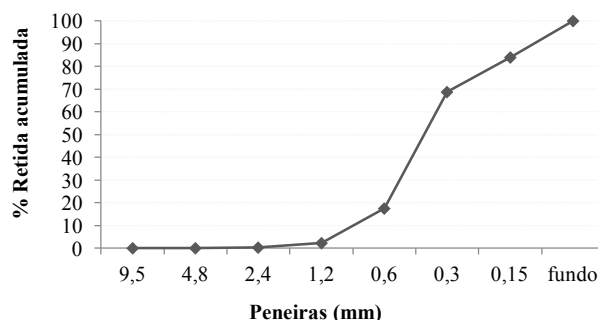


Fig. 1. Granulometria da areia.

Tabela 4
Dados técnicos dos aditivos incorporador de ar (AIA) e estabilizador de hidratação (AEH).

Características	AIA	AEH
Base química	Sal de álcool graxo etoxilado sulfatado	-
Aspecto	Líquido	Líquido
Cor	Amarelo	Marrom
Densidade (g/cm ³)	1,00	1,17
Teor de sólidos (%)	3	45
pH	9	6
Solubilidade	Solúvel em água (20°C)	Solúvel em água
Dosagens (% peso do cimento)	0,1 – 0,5	0,2 – 1,5

Fonte: Fabricante de aditivo.

2.2. Métodos

O estudo analisou as propriedades no estado fresco de nove misturas de argamassas confeccionadas em laboratório. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais e Construção Civil –LMCC - da UFSM, Laboratório de Física dos Solos – CCR – da UFSM, Laboratório de Processos Ambientais - LAPAM - da UFSM, Laboratório de Materiais e Construção Civil da Unipampa - Campus Alegrete.

Foram adotados o mesmo tipo de cimento (Cimento F) e agregado miúdo (areia), mantendo-se o mesmo traço em massa (1:6,5) e a mesma relação água/aglomerante (1,0). Foram empregados três teores de AEH (0,0%, 0,6% e 0,9%) e três teores de AIA (0,0%, 0,2% e 0,4%), isolados e

combinados, sendo as propriedades analisadas em cinco tempos de utilização (estabilização) no estado fresco (0 h, 24 h, 36 h, 48 h e 72 h). Assim, foram avaliadas as misturas conforme a Tabela 5.

Tabela 5

Misturas de argamassas.

Mistura	AEH (%)	AIA (%)	Cimento	Areia	A/a
A1(0,0/0,0)	0,0	0,0			
A2(0,6/0,0)	0,6	0,0			
A3(0,9/0,0)	0,9	0,0			
A4(0,0/0,2)	0,0	0,2			
A5(0,0/0,4)	0,0	0,4	1	6,5	1,0
A6(0,6/0,2)	0,6	0,2			
A7(0,6/0,4)	0,6	0,4			
A8(0,9/0,2)	0,9	0,2			
A9(0,9/0,4)	0,9	0,4			

O procedimento de mistura das argamassas foi mantido constante, sendo realizada em uma argamassadeira de 5 litros, com movimento planetário. A mistura foi realizada com base no descrito na NBR 7215 [30] com adaptações para o uso de aditivos e para o tempo de mistura. Assim, os aditivos foram inseridos inicialmente junto com a água de amassamento e homogeneizados por 20s em velocidade baixa. Posteriormente procedeu-se a mistura totalizando um tempo total de 270s, conforme estabelecido em ANTONIAZZI et al. [31]

As argamassas foram armazenadas em potes fechados, em ambiente de laboratório, durante o período em que estavam sendo avaliadas no estado fresco (período máximo de utilização - 72 h), a fim de se evitar a perda de água por evaporação. Antes de cada tempo de utilização, as misturas foram homogeneizadas manualmente, com auxílio de uma espátula, durante 2 minutos. Os recipientes contendo as argamassas foram pesados antes e após cada ensaio a fim de verificar se as misturas sofriam perda de umidade durante o período de armazenamento, não sendo constatadas alterações.

As misturas de argamassas foram submetidas aos ensaios conforme mostra a Tabela 6, nos tempos de utilização de até 72h.

A escolha dos insumos, traço e teores de aditivos foi feita com base nos estudos realizados em etapas anteriores a essa pesquisa e em orientações dos fabricantes de argamassa estabilizada.

Tabela 6
Ensaio no estado fresco para argamassas.

Ensaio	N	Método	Idade do ensaio				
			0 h	24 h	36 h	48 h	72 h
Teor de Ar Incorporado	5	NBR 13278 (ABNT, 2005)	•	•	•	•	•
Índice de Consistência	3	NBR 13276 (ABNT, 2005)	•	•	•	•	•
<i>Squeeze Flow</i>	3	NBR 15839 (ABNT, 2010)	•	•	•	•	•
Reometria Oscilatória	2	-	•	•	•	•	•
Exsudação	3	RILEM MR-6	•	•	•	•	•

N = Número de amostras por idade.

A quantidade de água exsudada em cada argamassa foi determinada com base na metodologia descrita pela MR-6 [32], com algumas adaptações para melhor adequação às misturas estudadas. O procedimento foi realizado em 3 amostras de argamassa de 500 ml, sendo a exsudação parcial de água medida aos 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, 24 h, 36 h, 48 h e 72 h após o início do ensaio, visando monitorar as amostras ao longo de todo o período de armazenamento. Ao final, calculou-se a porcentagem total de água exsudada, em relação à água de mistura.

A reometria das argamassas foi avaliada com reometria oscilatória (varredura de deformação e varredura de tempo) em um reômetro modular compacto Anton Paar MCR 102 de placas paralelas. As placas eram estriadas com dimensões de 25 mm (superior) e 50 mm (inferior). As amostras tinham 30 mm de diâmetro e 4,5 mm de altura, com distância entre as placas de 4,1 mm (*gap*). As avaliações foram realizadas nos tempos de utilização de 0h, 24h, 36h, 48h e 72h. Todas as avaliações foram realizadas com um sistema de proteção para evitar a perda de água por evaporação, sendo mantida a temperatura em 20°C.

Os ensaios de varredura de deformação e de tempo foram realizados com adaptações para o tipo de material, logística e viabilidade dos ensaios. Esses ensaios são geralmente executados com o objetivo de se avaliar a cinética de hidratação do cimento sem que a estrutura da amostra seja afetada (estrutura em repouso). No entanto, para argamassas estabilizadas essas reações são prorrogadas por dias, a depender da quantidade de aditivos empregada, não havendo viabilidade em manter cada amostra monitorada ininterruptamente durante todo esse tempo. Dessa forma, optou-se pela realização dos ensaios com tempo limitado dentro de cada tempo de utilização (0h, 24h, 36h, 48h e 72h), tornando sua execução viável.

O ensaio oscilatório de varredura de deformação foi realizado com frequência constante de 1 Hz e deformação de 10^{-5} a 10^{-1} [33], nos tempos estipulados dentro do tempo de utilização, em uma amostra por mistura. A deformação crítica é o valor máximo onde o comportamento das argamassas é típico de um sólido, uma vez que, a microestrutura não é afetada e as partículas permanecem unidas, sendo capazes de recuperar elasticamente as deformações que lhes foram impostas, mantendo, assim, a componente elástica (G') constante. Acima dessa deformação, o material escoia e passa comportar-se como líquido, havendo diminuição do valor da componente elástica (G'). Essa deformação crítica foi obtida pelo gráfico da componente elástica (G') em função da deformação, sendo determinada pelo ponto que antecede o ponto onde G' reduz 10% [33]. Além disso, estimou-se a tensão de escoamento por meio do produto da deformação crítica pela componente elástica (G') nesta deformação, conforme a metodologia proposta por Chen e Zukoski *apud* Schultz [34]. Os ensaios iniciaram após 10 min da confecção da mistura.

O ensaio oscilatório de varredura de tempo foi realizado com frequência constante de 1Hz e amplitude de 10^{-4} (valor menor que a deformação crítica), durante 10 minutos, com amostras distintas em cada tempo de utilização (0h, 24h, 46h, 48h e 72h). A evolução das componentes elástica (G') e viscosa (G'') ao longo do tempo foi dada pela união dos resultados de cada tempo de utilização, estimando-se um comportamento para as 72h. Foram ensaiadas duas amostras por mistura, em cada tempo estudado. Os ensaios iniciaram após 20 min da confecção da mistura.

Para caracterização reológica das misturas, também foi realizado o ensaio de *Squeeze Flow*, conforme o procedimento e especificações descritos na NBR 15839 [35], a fim de se monitorar a ação dos aditivos sobre o deslocamento das argamassas, em resposta à carga de compressão aplicada. Os ensaios foram realizados em uma prensa universal da marca *Shimadzu* modelo AGS-X, com capacidade de 5KN.

Os dados do presente trabalho foram analisados com o auxílio do software SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*, versão 20.0). Foi aplicado o teste *Shapiro-Wilk* para avaliar a normalidade das amostras. As análises comparativas entre as diferentes misturas e propriedades foram realizadas por meio dos testes *t student* e *ANOVA*. Quando encontradas diferenças significativas entre os dados no teste ANOVA ($p < 0,05$) foi aplicado o teste *Post Hoc de Tukey* para diferenciar os grupos, sendo empregadas letras sobrescritas para a identificação. Assim, letras iguais indicam que não há diferença entre os dados e as letras distintas, que os resultados são estatisticamente diferentes.

3. Resultados e discussão

Os resultados de teor de ar incorporado para as argamassas analisadas são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7

Teor de ar incorporado das argamassas ao longo de 72 h.

Arg (AEH/AIA)	Teor de ar incorporado (%)					
	0 h	24 h	36 h	48 h	72 h	p*
A1(0,0/0,0)	9,98±0,44 ^A	-	-	-	-	-
A2(0,6/0,0)	11,00±0,81 ^A	9,60±0,25 ^A	8,34±0,85 ^A	-	-	0,190
A3(0,9/0,0)	10,90±0,89 ^{Ab}	9,21±0,29 ^{Aa}	9,07±0,71 ^{Aa}	-	-	0,016
A4(0,0/0,2)	23,37±1,00 ^B	-	-	-	-	-
A5(0,0/0,4)	29,53±0,77 ^D	-	-	-	-	-
A6(0,6/0,2)	23,05±0,81 ^{Bc}	17,16±0,82 ^{Bb}	15,64±0,35 ^{Bab}	15,08±1,00 ^{Aa}	14,54±0,29 ^{Aa}	<0,001
A7(0,6/0,4)	26,69±0,92 ^{Cc}	23,41±1,03 ^{Db}	22,80±1,19 ^{Cb}	20,99±1,64 ^{Bab}	18,66±1,56 ^{Ba}	<0,001
A8(0,9/0,2)	23,26±0,72 ^{Bd}	18,98±0,45 ^{Cc}	18,29±0,07 ^{Bbc}	17,33±0,53 ^{Aab}	15,84±0,91 ^{Aa}	<0,001
A9(0,9/0,4)	26,38±1,00 ^{Cc}	23,78±0,29 ^{Db}	22,77±0,34 ^{Cb}	22,15±0,40 ^{Bab}	20,60±0,66 ^{Ba}	<0,001
p**	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	

p* = comparação dos diferentes tempos para cada argamassa: ANOVA e *Post Hoc de Tukey* (letras minúsculas); p** = comparação entre as argamassas para cada tempo: ANOVA e *Post Hoc de Tukey* (letras maiúsculas) (letras diferentes: com diferenças estatisticamente significantes; letras iguais: sem diferenças estatisticamente significantes).

Percebe-se a ação do AIA na incorporação de ar das argamassas, onde A4(0,0/0,2), com o menor teor empregado, atingiu 13% a mais de ar incorporado do que A1(0,0/0,0), para 0h. Com o dobro do teor de AIA, A5(0,0/0,4) apresentou incorporação de ar 20% superior à A1(0,0/0,0). Assim, verifica-se uma relação direta entre o teor de AIA e a incorporação de ar, porém, não linear. Isso ocorre pois existe um limite de saturação das moléculas do AIA, a partir do qual a incorporação de ar tende a estabilizar [8,36]. Foram observados maiores valores de

incorporação de ar para o emprego do AIA isoladamente do que quando combinado ao AEH, conforme já estudado em Antoniazzi et al. [31]

O uso do AEH não contribuiu para a incorporação de ar das argamassas em 0h. Esse comportamento pode ser verificado pela comparação entre as misturas com mesmo teor de AIA, utilizados isoladamente e juntamente com 0,6 e 0,9% de AEH. Comparando-se A1(0,0/0,0), A2(0,6/0,0) e A3(0,9/0,0), verifica-se que o AEH proporcionou incrementos estatisticamente não significativos (*Post Hoc* = A) no teor de ar incorporado das argamassas, conforme também obtido por outros autores [27]. Na comparação entre A4(0,0/0,2), A6(0,6/0,2) e A8(0,9/0,2) os teores de ar incorporado se mantiveram constantes (*Post Hoc* = B). Já entre A5(0,0/0,4), A7(0,6/0,4) e A9(0,9/0,4), os teores de ar incorporado reduziram aproximadamente 3% com a introdução do AEH. Bauer e Oliveira [27] obtiveram aumento na incorporação de ar com o AEH combinado ao AIA.

A avaliação do tempo de utilização de 72h somente foi possível nas misturas que receberam AEH em suas composições. Cabe ressaltar que nas argamassas A2(0,6/0,0) e A3(0,9/0,0) a avaliação do teor de ar incorporado ficou comprometida para tempos de utilização maiores que 36h, pois houve diminuição da trabalhabilidade devido à perda de água, impossibilitando a sua execução.

Ao longo das 72h, os teores de ar incorporado para as argamassas com mesmo teor de AIA foram estatisticamente semelhantes, independente do teor de AEH empregado. No entanto, os diferentes teores de AIA empregados resultaram em diferenças estatisticamente significativas no teor de ar incorporado das argamassas, as quais se intensificaram com o passar do tempo.

Assim, a Fig. 2 (a) mostra o teor de ar incorporado das argamassas com AEH ao longo do período de utilização. Nas primeiras horas (24h) do tempo de utilização as argamassas diminuíram o teor de ar incorporado para 80 a 90% de seus valores iniciais, exceto A6(0,6/0,2), que atingiu 74,4%. As argamassas somente com AEH ainda apresentavam teor de ar

incorporado na faixa de 75 a 85% do valor inicial em 36h, porém, com aparente perda de trabalhabilidade. Ao longo do tempo de utilização as argamassas mais aditivadas foram as que perderam menos ar incorporado. Assim, A9(0,9/0,4) chegou em 72h com 78,1% do seu teor de ar inicial, taxa essa, próxima a obtida por Trevisol e Koman [37] para argamassas estabilizadas no mesmo período (80%). Na sequência ficaram A7(0,6/0,4) com 69,9%, A8(0,9/0,2) com 68,1% e A6(0,6/0,2) com 63,1%. Esses resultados se justificam, uma vez que, quanto maior o teor de AIA contido nas argamassas, maior tende a ser a estabilidade das bolhas de ar incorporadas [10].

Pela classificação da NBR 13281 [38] as argamassas sem AIA, em 0h, se enquadrariam na Classe A (< 8%). Já as argamassas com AIA se enquadrariam na Classe C (> 18%) em 0h, semelhante ao obtidos por outros autores [20,39,40]. No entanto, A6(0,6/0,2) e A8(0,9/0,2) passam para a Classe B ($\geq 8\%$ e $\leq 18\%$) a partir dos tempos de utilização de 24h e 48h, respectivamente.

A ação dos aditivos na consistência das argamassas, separadamente e em conjunto, pode ser observada ao longo do tempo pela Tabela 8.

Tabela 8
Índice de consistência das argamassas ao longo de 72h.

Arg	Índice de consistência (mm)					p*
	0h	24h	36h	48h	72h	
A1(0,0/0,0)	187,7±3,30 ^A	-	-	-	-	-
A2(0,6/0,0)	199,0±2,94 ^{Bc}	137,3±1,70 ^{Ab}	128,3±1,70 ^{Aa}	123,3±1,25 ^{Aa}	125,0±3,74 ^{Aa}	<0,001
A3(0,9/0,0)	214,0±3,27 ^{Cc}	151,7±1,70 ^{Bb}	137,3±2,87 ^{Aa}	131,0±0,82 ^{Ba}	127,3±5,79 ^{Aa}	<0,001
A4(0,0/0,2)	252,3±2,87 ^D	-	-	-	-	-
A5(0,0/0,4)	260,7±2,49 ^{DE}	-	-	-	-	-
A6(0,6/0,2)	268,3±2,87 ^{EFe}	195,7±2,49 ^{Cd}	178,7±3,40 ^{Bc}	168,3±1,25 ^{Cb}	142,7±1,70 ^{Ba}	<0,001
A7(0,6/0,4)	268,0±2,94 ^{EFe}	226,7±2,62 ^{Ed}	206,7±3,86 ^{DCc}	195,0±1,63 ^{Db}	176,7±1,70 ^{Ca}	<0,001
A8(0,9/0,2)	266,7±1,25 ^{Ed}	216,3±2,49 ^{Dc}	204,3±2,62 ^{Cb}	198,0±2,16 ^{Db}	184,7±2,49 ^{Ca}	<0,001
A9(0,9/0,4)	276,3±2,05 ^{Fe}	224,0±0,82 ^{Ed}	216,7±3,30 ^{Dc}	205,0±2,45 ^{Eb}	184,0±0,82 ^{Ca}	0,001
p**	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-

p* = comparação dos diferentes tempos para cada argamassa: ANOVA e *Post Hoc de Tukey* (letras minúsculas); p** = comparação entre as argamassas para cada tempo: ANOVA e *Post Hoc de Tukey* (letras maiúsculas) (letras diferentes: com diferenças estatisticamente significantes; letras iguais: sem diferenças estatisticamente significantes).

Percebe-se, em comparação à A1(0,0/0,0), que todas as argamassas que continham AIA obtiveram maiores índices de consistência em 0h. Dobrando-se o teor de AIA, a consistência

também aumentou, porém, estatisticamente não foram detectadas diferenças significativas (A4(0,0/0,2) e A5(0,0/0,4): *Post Hoc* = D; A6(0,6/0,2) e A7(0,6/0,4): *Post Hoc* = E). Já de A8(0,9/0,2) para A9(0,9/0,4) houve diferença significativa em 0h, aumentando 10 mm no espalhamento. Isso pode ser explicado pelo fato de o AIA promover incorporação de ar nas argamassas, diminuindo o atrito interno entre as partículas e proporcionando melhor deslizamento e fluidez ao sistema [10].

O AEH além de retardar o início das reações, proporcionando maior quantidade de água disponível para a trabalhabilidade, possui um efeito plastificante. Esse efeito promoveu pequenos incrementos no índice de consistência de A2(0,6/0,0) e A3(0,9/0,0), comparando-se com A1(0,0/0,0). Quando combinado ao AIA, o emprego do AEH proporcionou um pequeno acréscimo no índice de consistência apenas de A7(0,6/0,4) para A9(0,9/0,4), porém, estatisticamente não significativo. Os valores obtidos para o índice de consistência das argamassas com os dois aditivos foram compatíveis com os encontrados por outros autores que estudaram argamassas estabilizadas [5,37,41,42].

A perda de trabalhabilidade e o conseqüente aumento na consistência das argamassas podem ser observados por meio do declínio no índice de consistência ao longo do tempo (Fig. 2 b), conforme já demonstrado por outros autores [20,28] Essa perda está vinculada a diminuição de água livre no sistema, ao início das reações químicas de hidratação do cimento e a diminuição no teor de ar incorporado pelo colapso das bolhas. Isso demonstra a importância da combinação dos aditivos e seus devidos teores para que as misturas se mantenham trabalháveis até o período desejado de aplicação.

As argamassas somente com AEH permitiram o tempo de utilização até 72h, porém, as misturas perderam fluidez já em 24h, dificultando o manuseio e ensaios. Nas argamassas somente com AIA as reações de hidratação do cimento Portland iniciaram antes das 24h, não sendo possível a análise em outros tempos de utilização, assim como A1(0,0/0,0).

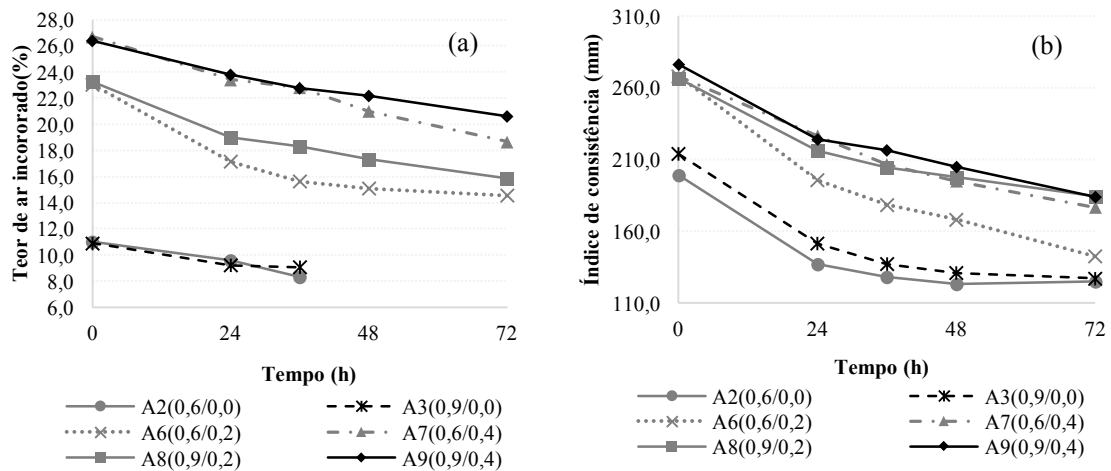


Fig. 2. Comportamento do teor de ar incorporado (a) e do índice de consistência (b) das argamassas durante o período de utilização.

As argamassas que continham os dois aditivos mantiveram-se trabalháveis por até 72h, porém com consistência mais seca dependendo da quantidade de aditivos empregada, podendo comprometer a sua aplicação. Isso ocorreu pois nem todos os teores de aditivos empregados equivaliam a uma argamassa estabilizada de 72h, podendo assim, ter prazo menor de aplicabilidade.

O índice de consistência diminuiu ao longo das horas em valores aproximados para A7(0,6/0,4), A8(0,9/0,2) e A9(0,9/0,4), atingido valores entre 175 e 185 mm no tempo de utilização de 72h. A perda mais expressiva dentre as argamassas com a combinação de aditivos foi para A6(0,6/0,2), sendo a menos aditivada e assim, com menor período de utilização, atingindo índice de consistência de 143mm em 72h.

Observou-se que para o teor de ar incorporado e a consistência, o período mais crítico dentro do tempo de utilização avaliado deu-se nas primeiras 24 h, visto que, foi onde se constataram as perdas mais significativas de propriedades. Trevisol e Koman [37] obtiveram esse mesmo período crítico para a perda do teor de ar incorporado, no entanto para a consistência, foi observada maior perda no período entre 48 a 72 horas.

Pelos resultados obtidos, foram observados dois grupos com comportamentos distintos entre as argamassas. O primeiro grupo, composto pelas argamassas sem AIA, apresentou teores de ar

incorporado e índice de consistência mais baixos. Já o segundo grupo, das argamassas com AIA apresentou elevado teor de ar incorporado e maior espalhamento.

Foram encontradas boas correlações entre o teor de ar incorporado e a consistência das argamassas estudadas para os tempos de utilização de 0h ($R^2=0,88$) e de 36h ($R^2=0,95$), conforme mostra a Fig. 3. Para os tempos de utilização de 24h ($R^2=0,55$) e de 48h ($R^2=0,68$), obteve-se uma correlação mais baixa, passando para fraca em 72h ($R^2=0,44$).

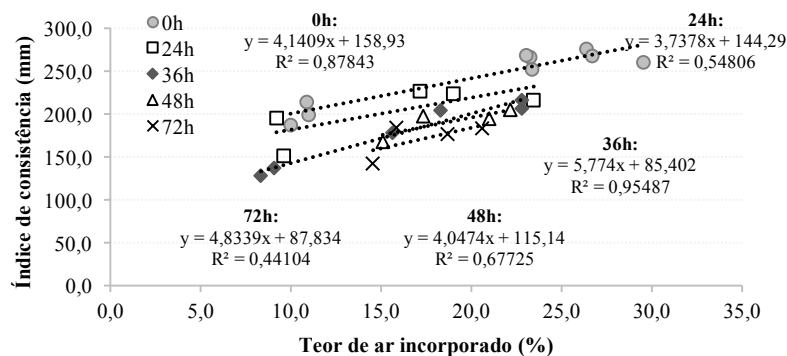


Fig. 3. Correlação entre o teor de ar incorporado e o índice de consistência das argamassas em 72 h de estabilização.

Esses resultados demonstram que para as argamassas estudadas a incorporação de ar tendeu a aumentar o índice de consistência, conforme observado também por outros autores [20,39]. Esse aumento de espalhamento, conforme já mencionado, se deve ao melhor rolamento entre os grãos de agregado com a introdução das bolhas de ar, as quais funcionam como microesferas compressíveis de baixo atrito, fazendo o papel dos finos [8,11,43]. O efeito ponte entre as moléculas do AIA e o cimento também ocorre, aumentando a coesão do sistema, no entanto, passa a ser um efeito secundário em argamassas [8,43].

A fim de melhor compreender o comportamento reológico dessas argamassas, a Fig. 4 apresenta os perfis das curvas força versus deslocamento obtidos pelo ensaio de *Squeeze Flow* para as argamassas em 0h (Fig. 4 a). Além disso, a Fig. 4 (b) e a Fig. 4 (c) mostram, respectivamente, um esquema do comportamento das argamassas sem AIA, com o final do ensaio para as argamassas A3(0,9/0,0), e das argamassas com AIA, com o final do ensaio para A9(0,9/0,5).

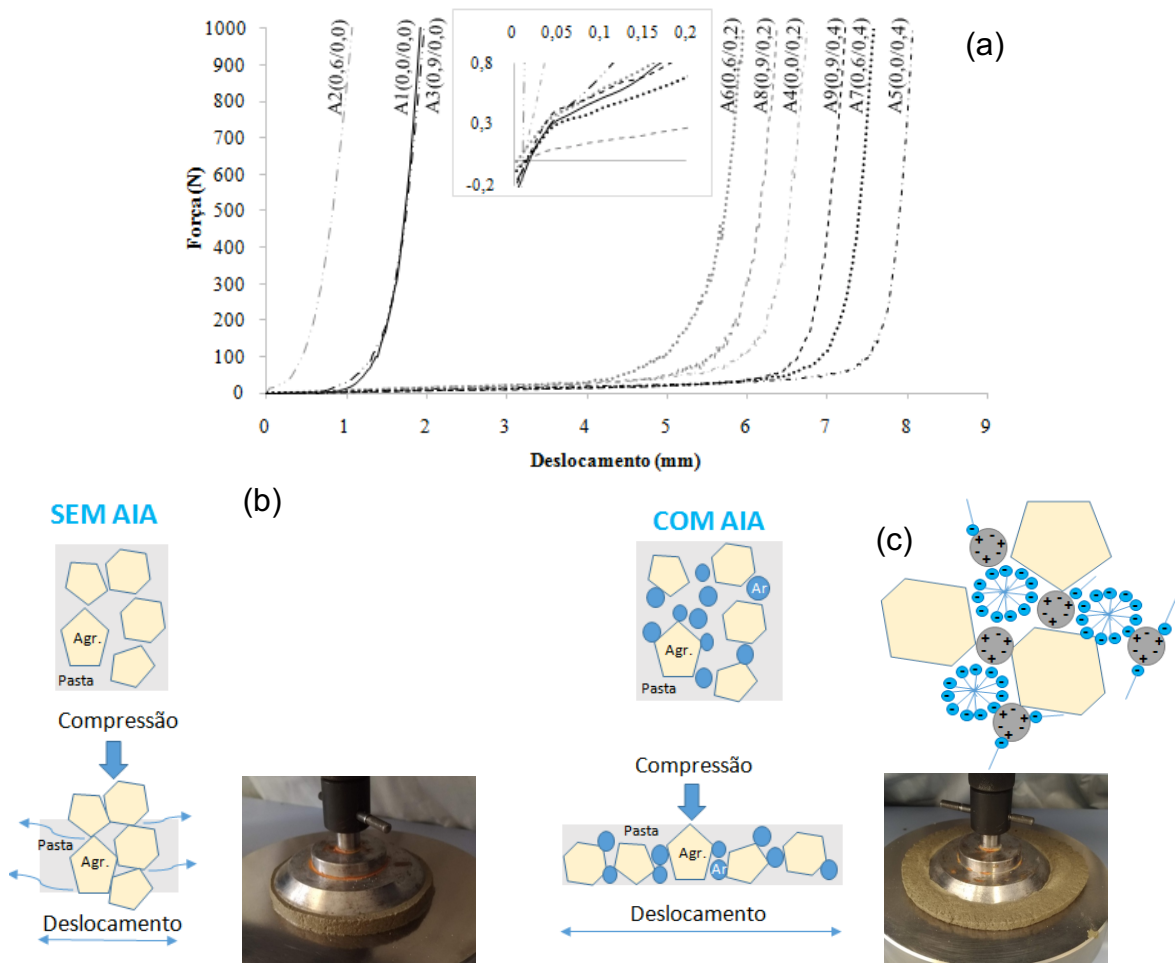


Fig. 4. Curva força versus deslocamento para as argamassas em 0h (a); esquema argamassas sem AIA (b) e com AIA (c).

Nem todas as curvas apresentaram os três estágios bem definidos, sendo eles o estágio I equivalente à deformação elástica (visível na ampliação lateral), o estágio II à deformação plástica ou fluxo viscoso e o estágio III, referente ao enrijecimento por deformação. Novamente pode-se observar dois grupos de comportamentos distintos. As argamassas sem AIA apresentaram baixos deslocamentos ($< 2\text{mm}$), enquanto as argamassas com AIA deslocaram até quatro vezes mais, com altas deformações radiais.

As argamassas sem a presença do AIA sofreram menor deformação, apresentando um estágio de fluxo viscoso reduzido. Nessas argamassas a transição para o estágio de enrijecimento ocorreu ainda abaixo de 1,0 mm de deslocamento e sob pequenas cargas. Essas argamassas possuem menor coesão, maior atrito entre os grãos e menor viscosidade do que as que contêm

AIA na sua composição, entrando, assim, mais rapidamente em estágio de enrijecimento. Essa rápida transição pode estar associada ao aumento da concentração de sólidos na região central entre as placas, devido à segregação líquido-sólido [3,44,45,46]. Essa segregação pode ocorrer pelo extravasamento da água por meio das partículas finas ou, também, pela separação entre a pasta e o agregado. A facilidade com que o líquido flui dentro de uma amostra está relacionada com a viscosidade e permeabilidade de empacotamento das partículas. Assim, uma mistura com baixa viscosidade e alta permeabilidade é mais propensa a segregação [47].

Para a argamassa A1(0,0/0,0) também se obteve comportamento semelhante à A2(0,6/0,0) e A3(0,9/0,0). O traço empregado baseou em argamassas estabilizadas, logo, sem o emprego dos aditivos a argamassa ficou "seca". Assim, o volume de pasta entre as partículas ficou reduzido, conforme foi verificado também pelo menor índice de consistência.

As argamassas que continham AIA fluíram mais facilmente, com a verificação de estágio de fluxo viscoso em cargas muito baixas. A transição para o estágio de enrijecimento ocorreu em deslocamentos superiores a 5,0 mm e sob a ação de cargas maiores, conforme verificado também por outros autores [5,40]. As bolhas de ar incorporadas à mistura proporcionaram melhor rolamento entre os grãos à medida que diminuíram o atrito entre eles, funcionando como lubrificante [10]. Dessa forma, ocorreu um maior afastamento entre os agregados, facilitando o fluxo [45], conforme se pode observar na Fig. 4(a). Além disso, a presença dessas bolhas de ar na mistura torna o sistema mais complexo, pois configuram uma fase instável, de caráter compressível e elástico, reduzindo drasticamente as cargas necessárias à deformação do material. Dessa forma, o volume de pasta é aumentado e a resistência é reduzida, facilitando o fluxo da pasta e o escorregamento dos agregados [45].

Assim, o máximo deslocamento obtido no tempo de 0h foi para A5(0,0/0,4), a qual também se obteve o maior valor de teor de ar incorporado (Tabela 7). Os deslocamentos obtidos para as argamassas A4(0,0/0,2), A5(0,0/0,4), A7(0,6/0,4), A8(0,9/0,2) e A9(0,9/0,4) não apresentaram

diferenças estatisticamente significativas entre si. A única diferença significativa entre as argamassas com AIA, em 0 h, foi entre A6(0,6/0,2) e A5(0,0/0,4), provavelmente vinculada à maior diferença no teor de ar incorporado entre elas.

Analisando as argamassas que contém o mesmo teor de AIA, observa-se entre A4(0,0/0,2), A6(0,6/0,2) e A8(0,9/0,2) e entre A5(0,0/0,4), A7(0,6/0,4) e A9(0,9/0,4) que as argamassas somente com AIA apresentaram maior facilidade ao fluxo que as demais, porém, estatisticamente não apresentaram diferenças significativas em 0h. Esse efeito pode estar relacionado ao efeito plastificante do AEH. Outra hipótese é que com a introdução de AEH ocorra o envolvimento dos grãos de cimento Portland pelas moléculas desse aditivo, impedindo o efeito ponte proporcionado com os tensoativos (AIA), diminuindo a coesão. Além disso, a mistura se torna menos viscosa devido à maior quantidade de água livre, ficando mais sujeita à segregação do que as argamassas apenas com AIA. Assim, há maior tendência no extravasamento da água livre pelas extremidades, fazendo com que ocorra mais rapidamente a transição para o estágio de enrijecimento. Os resultados mostraram que, associado a 0,2% de AIA, a introdução de AEH em teores moderados (0,6%) dificultou o fluxo e diminuiu o deslocamento da argamassa em idades iniciais (0h). No entanto, para teores mais elevados de AEH (0,9%) foi observada uma "melhora" no fluxo, proporcionando maiores deslocamentos que com 0,6% de AEH. Já para teores de 0,4% de AIA, a introdução de AEH, e o aumento do seu teor, resultaram em menores deslocamentos. Assim, não foi possível traçar uma tendência entre o deslocamento máximo com o aumento do teor de AEH.

A Fig. 5 apresenta as curvas força *versus* deslocamento das argamassas estudadas demonstrando seus comportamentos ao longo do tempo de utilização de 72 h. Foram observadas diferenças significativas tanto entre os deslocamentos máximos das argamassas em cada tempo ($p < 0,05$), como em cada argamassa ao longo do tempo de utilização ($p < 0,05$). As argamassas que não continham AEH só permitiram a análise no tempo de utilização de 0h.

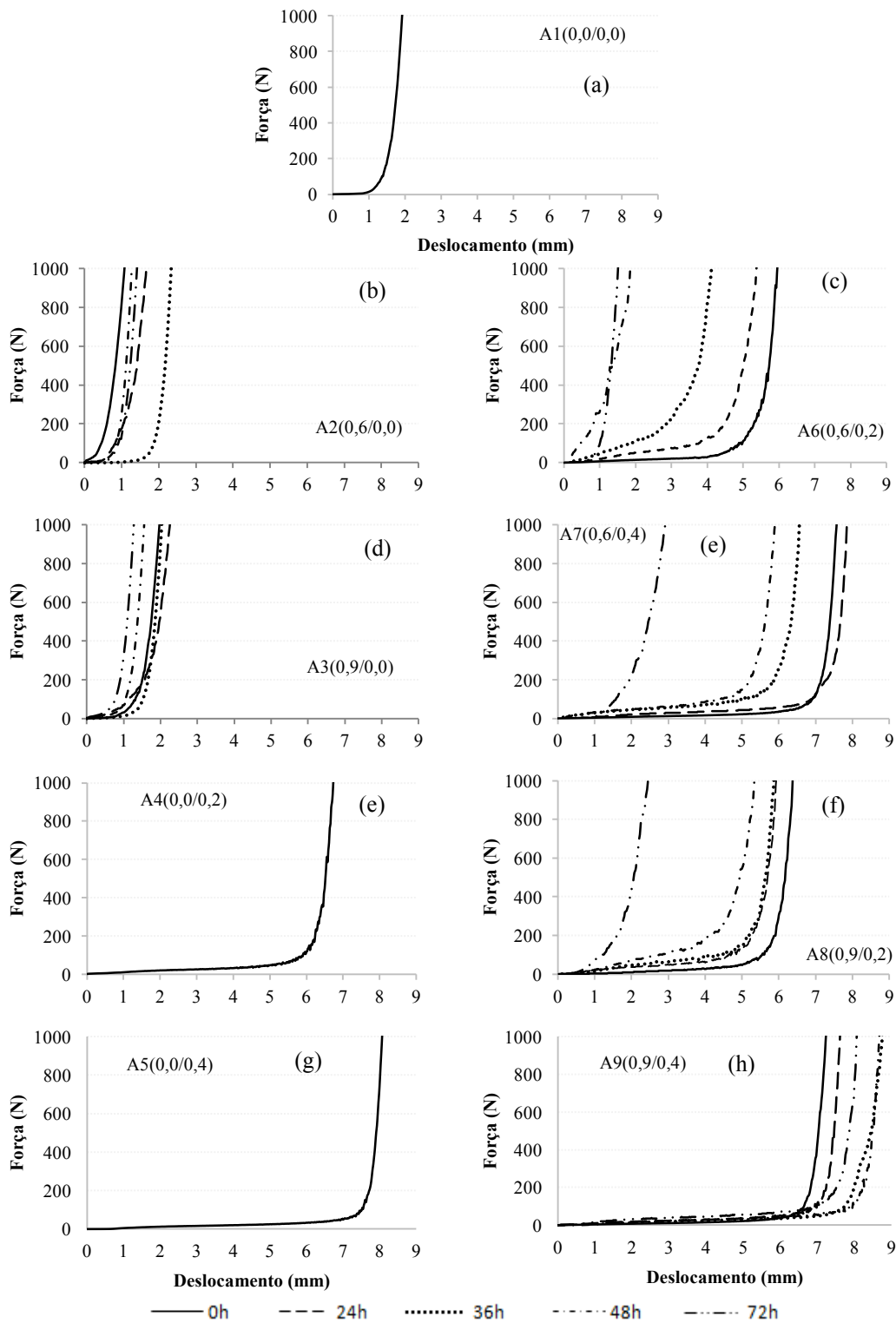


Fig. 5. Curva força versus deslocamento das argamassas ao longo de 72h de estabilização.

Observa-se pela Fig. 5 uma tendência geral de diminuição de deslocamentos com o passar do tempo. Alguns comportamentos transitórios foram observados entre 24 e 48h, estatisticamente não significativos, de forma com que as argamassas oscilassem seus deslocamentos no período.

Porém, ao final de 72h houve restrição ao fluxo e diminuição do deslocamento. Assim, observou-se ao longo do tempo de utilização uma tendência de diminuição do estágio II e aumento nas cargas referentes ao início do estágio III, indicando menor trabalhabilidade e maior rigidez interna da estrutura.

Essa tendência observada provavelmente seja devido à dissolução parcial da barreira hidrorrepelente formada pelo efeito do AEH, dando início às reações de hidratação do cimento, além de haver diminuição do teor de ar incorporado.

A argamassa A9(0,9/0,4) foi a única que apresentou o deslocamento após 72h superior ao de 0h, o que pode estar atrelado à maior quantidade de aditivos empregados. Isto é, no tempo de utilização de 72h a argamassa A9(0,9/0,4) ainda apresentava 20% de teor de ar incorporado, equivalendo a 78% do teor de ar inicial, demonstrando elasticidade durante o manuseio. Assim, A9(0,9/0,4) apresentou a maior diferença em relação à A3(0,9/0,0), com deslocamento máximo cinco vezes maior, para um mesmo teor de AEH, porém sem AIA. Comparando A9(0,9/0,4) com A7(0,6/0,4), os deslocamentos foram semelhantes em 0h, predominando a ação do AIA, porém, em 72h o maior teor de AEH proporcionou o dobro de deslocamento para A9(0,9/0,4). A explicação está na maior quantidade de água livre na mistura devido ao efeito do maior teor de AEH em A9(0,9/0,4), além de apresentar maior teor de ar incorporado e índice de consistência. Dessa forma, é provável que, mesmo com menor trabalhabilidade, sob compressão o seu deslocamento tenha sido crescente devido à alta compressibilidade e coesão da mistura proporcionada pela quantidade de bolhas de ar aliada ao alto teor de moléculas de AEH empregado (efeito plastificante). No entanto, mesmo para A9(0,9/0,4) as cargas necessárias para o início do estágio de enrijecimento foram crescentes com o tempo. Isso ocorre pois, com o passar do tempo, o efeito do AEH vai diminuindo e parte do cimento inicia o processo de hidratação, diminuindo a quantidade de água livre, a qual passa a ser água quimicamente combinada. Assim, a estrutura ainda apresenta trabalhabilidade e capacidade de

se deformar, porém com maior estruturação interna, necessitando de cargas maiores para a deformação radial até que seja atingido o estágio de enrijecimento. Casali et al. [5] obteve deslocamentos sob compressão crescentes ao longo do tempo de utilização devido ao processo de remistura ter sido em argamassadeira, o que fez com que fosse recuperado o teor de ar incorporado.

Buscando melhor avaliar o efeito dos diferentes teores de AIA sobre o deslocamento máximo ao longo do tempo, a Fig. 6 apresenta um comparativo entre as argamassas, agrupadas pelo teor de AEH recebido.

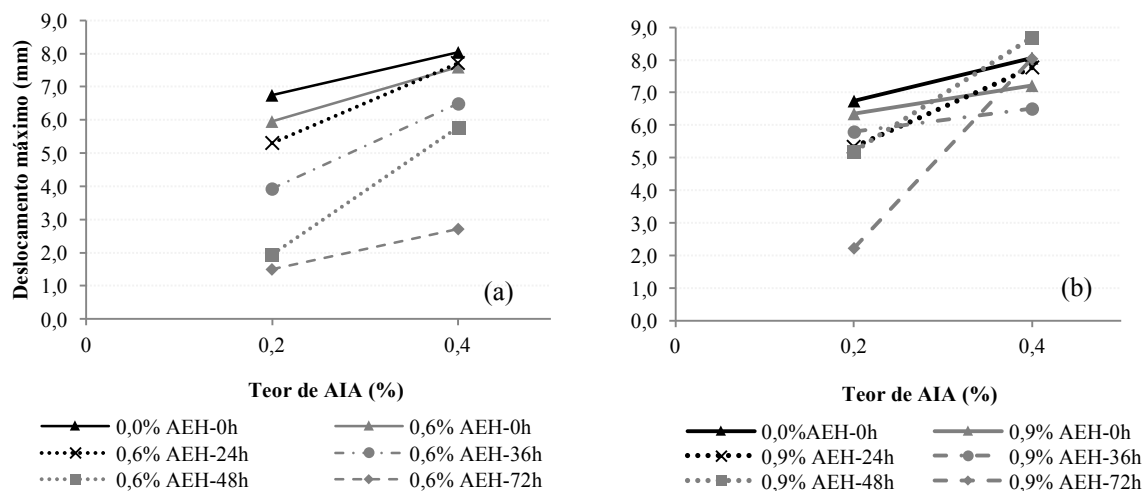


Fig. 6. Efeito do teor de AIA no deslocamento máximo (*Squeeze Flow*) das argamassas ao longo do tempo. (a) argamassas com 0,0 e 0,6% de AEH; (b) argamassas com 0,9% de AEH

Foi observada uma relação direta entre o teor de AIA utilizado e o deslocamento obtido, independente do teor de AEH empregado. Para 0,6% de AEH o deslocamento diminuiu com o passar do tempo, enquanto para 0,9% de AEH obteve-se oscilações, especialmente quando combinado à 0,4% de AIA.

A Fig. 7 apresenta uma boa correlação entre o deslocamento máximo e o teor de ar incorporado das argamassas para cada tempo de utilização.

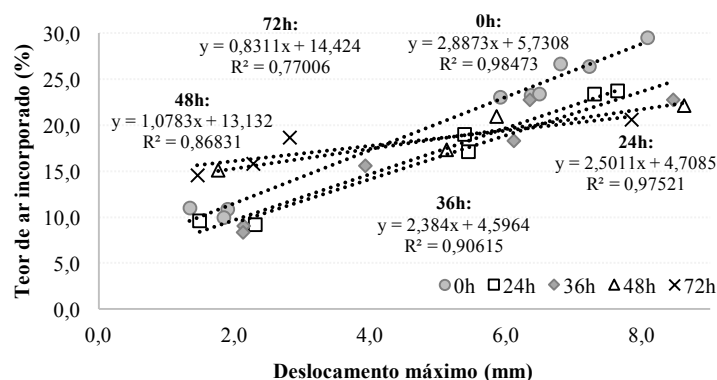


Fig. 7. Correlação entre o deslocamento máximo (*Squeeze Flow*) e o teor de ar incorporado das argamassas em 72 horas de estabilização.

Percebe-se uma pequena diminuição no coeficiente de determinação ao longo do tempo, o que pode estar atrelada ao fato das misturas terem sido confeccionadas em argamassadeira, porém, remisturadas manualmente antes de cada análise. Dessa forma, poderia haver contribuição para a formação de argamassas heterogêneas nos demais tempos. Além disso, ao longo do tempo de utilização houve diminuição do número de amostras devido às limitações de trabalhabilidade cada argamassa, podendo contribuir para a menor correlação.

As argamassas também foram submetidas à ensaios oscilatórios em um reômetro. Os resultados da deformação crítica obtida para cada argamassa ao longo do tempo são apresentados na Fig. 8. A deformação crítica para o tempo de 0h nas argamassas sem AIA foi superior aos obtidos nas argamassas com AIA. Isso demonstra a maior resistência ao fluxo e às deformações dessas argamassas, constituindo estruturas mais densas já que não possuíam o sistema de microbolhas de ar incorporadas e o efeito dispersante dos tensoativos, confirmando os dados obtidos no *Squeeze Flow*.

Assim, é notável que a introdução do AIA nas misturas reduziu a deformação crítica (em relação a argamassa de referência), porém, não de forma linear, visto que ao se dobrar o teor de AIA não foi observada redução na deformação. Isso pode ter ocorrido pelo fato da deformação crítica estar mais vinculada ao teor de ar incorporado do que à quantidade de AIA empregada. Assim,

a variação no teor de ar incorporado entre as argamassas pode não ter sido significativa a ponto de proporcionar alterações na deformação crítica.

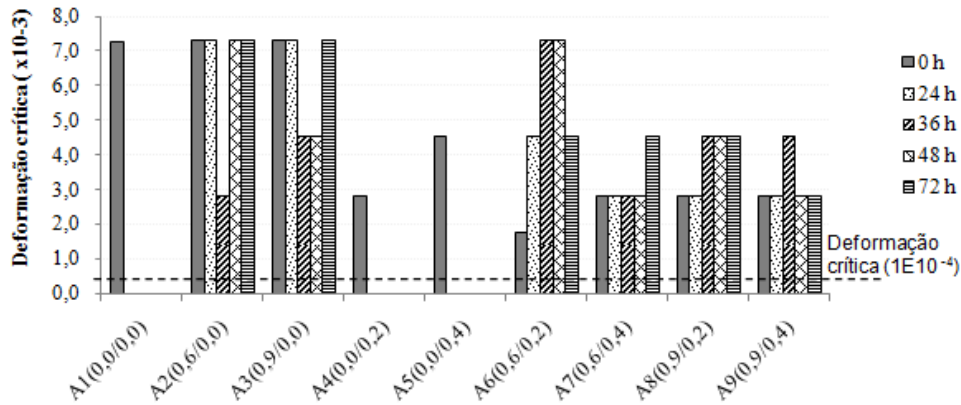


Fig. 8. Deformação crítica das argamassas ao longo de 72 horas (placa).

Ao longo do tempo de utilização de 72h, a deformação crítica para as argamassas com AEH atingiu valores mais baixos em 36h e 48h, retomando os mesmos valores iniciais em 72h. Esse comportamento oscilatório também foi observado no ensaio de *Squeeze Flow*, podendo estar associado ao processo de remistura, à sensibilidade do próprio ensaio ou a possíveis exsudações durante o ensaio. Já as argamassas com a combinação dos dois aditivos mantiveram seus valores de deformações iguais ou superiores ao obtido no tempo 0h. Isso demonstra a estabilização da mistura, mas também, a diminuição do efeito dos aditivos com o passar do tempo, a depender do teor empregado. Assim, verifica-se uma tendência de perda de trabalhabilidade devido à aglomeração das partículas e ao processo progressivo de hidratação do cimento, proporcionando estruturas mais rígidas e resistentes à deformações [33].

Dessa forma, a deformação crítica empregada no ensaio de varredura de tempo foi a de 1×10^{-4} , valor esse, inferior a todos os obtidos no ensaio de varredura de deformação.

Além de fornecer a deformação crítica das misturas, o ensaio de varredura de deformação permitiu estimar a tensão de escoamento das argamassas em cada tempo ensaiado, conforme exposto na Tabela 9. A tensão de escoamento obtida por esse método demonstrou coerência com os demais resultados já discutidos, onde se obteve resultados muito superiores para as

argamassas sem AIA do que para as argamassas com AIA. Esse comportamento já era esperado devido ao fato do AIA introduzir microbolhas de ar à mistura, facilitando o fluxo a medida que melhoram o rolamento entre os grãos [10].

Tabela 9

Tensão de escoamento das argamassas ao longo de 72 horas de estabilização, obtidas pelos ensaios de varredura de deformação em placa.

Mistura	Tensão de escoamento (KPa) - Varredura de deformação				
	Tempo (h)				
	0	24	36	48	72
A1(0,0/0,0)	86,98	-	-	-	-
A2(0,6/0,0)	85,40	148,89	14,93	201,06	193,40
A3(0,9/0,0)	71,59	121,08	14,66	53,73	118,38
A4(0,0/0,2)	2,47	-	-	-	-
A5(0,0/0,4)	7,95	-	-	-	-
A6(0,6/0,2)	2,89	38,07	79,65	135,12	107,18
A7(0,6/0,4)	1,63	1,33	3,27	6,02	58,58
A8(0,9/0,2)	0,94	9,77	24,70	31,66	41,73
A9(0,9/0,4)	2,40	1,14	2,08	3,27	8,56

Ao longo do tempo de utilização a tendência observada foi de aumento da tensão de escoamento. Esse comportamento também era esperado devido à perda de trabalhabilidade, em função do menor teor de ar. Também pode ser associado ao início das reações com o cimento, onde a formação de compostos promove maior estruturação do sistema. A argamassa A9(0,9/0,4), com maior teor de aditivos, foi a que manteve a menor tensão de escoamento no tempo de 72h, demonstrando menor resistência inicial ao fluxo. Assim, como A9(0,9/0,4) manteve-se com altos teores de ar incorporado ao longo de todo o período de utilização, as bolhas de ar aliadas à maior quantidade de água livre no sistema conferiram-lhe menor atrito entre os grãos e menores tensões de escoamento. Enquanto a argamassa A6(0,6/0,2), com o menor teor dentre as argamassas com os dois aditivos, foi onde se obteve a maior tensão de escoamento durante todo o tempo de utilização. No tempo de 0 h a tensão de A6(0,6/0,2) era 20% superior à A9(0,9/0,4), enquanto no tempo de 72h ela passou a ser doze vezes maior. Esse comportamento pode estar associado ao teor de ar incorporado, o qual foi de 23,0% para A6(0,6/0,2) e 26,4% para A9(0,9/0,4) em 0h, passando para 14,5% e 20,6%, respectivamente, em 72 h.

Na análise comparativa entre as argamassas com os dois aditivos e as apenas com AEH, é notória a ação que o AIA exerceu sobre a tensão de escoamento ao longo de todo o tempo de

utilização. Essa influência está atrelada à incorporação de ar, a qual se manteve superior nas argamassas com a combinação de aditivos, comparadas às apenas com AEH. Essa correlação entre o teor de ar incorporado e a tensão de escoamento pode ser melhor visualizada pela Fig. 9. Verificou-se que quanto maior a quantidade de ar incorporada à mistura, mais fácil o seu fluxo, ou seja, menor sua tensão de escoamento.

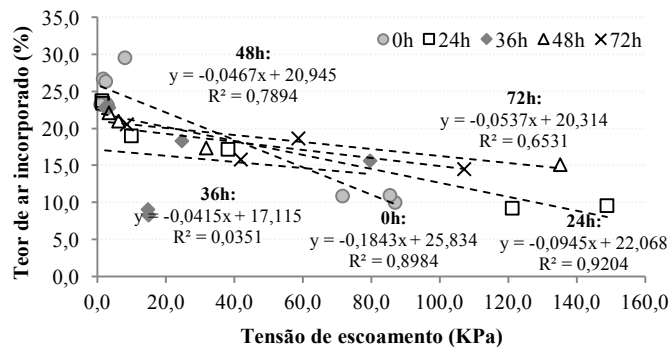


Fig. 9. Tensão de escoamento (varredura de deformação) versus teor de incorporado das argamassas ao longo de 72h.

Com o passar do tempo observou-se uma diminuição da inclinação da reta de tendência, aproximando-se de uma reta horizontal. Isso demonstra que, com o decorrer do tempo, o teor de ar incorporado tende a reduzir de forma mais amena, enquanto a tensão de escoamento continua crescente. Apenas para o tempo de utilização de 36h não foi encontrada correlação entre essas propriedades.

Os resultados do ensaio de varredura de tempo são apresentados na Fig. 10 por meio de um comparativo entre as componentes elástica – G' (Fig. 10 a) e viscosa – G'' (Fig. 10 b) das argamassas em 0h.

Observa-se pela Fig. 10 (a) que o módulo elástico (G') das argamassas sem AIA é superior às demais argamassas, estando na faixa de 8,0 a 14,0 MPa, enquanto as argamassas com AIA ficaram abaixo de 2,0 MPa.

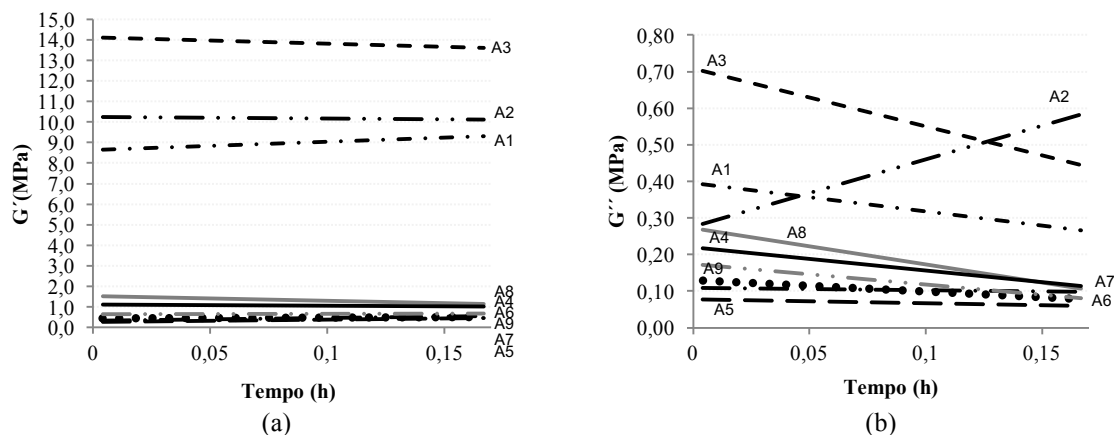


Fig. 10. Componente elástica - G' (a) e viscosa - G'' (b) em 0 h das argamassas.

Esse módulo tem relação com a energia armazenada em cada mistura, estando vinculado a estrutura do material [48]. Assim, quanto mais densa é a mistura, maior a energia armazenada. A utilização do AEH nas argamassas aumentou a componente elástica (G') em 23% para A2(0,6/0,0) e 63% para A3 (0,9/0,0) em 0h, com relação à A1(0,0/0,0). Esse comportamento possivelmente esteja atrelado ao efeito plastificante do AEH, a qual proporciona maior armazenamento de energia de deformação, permitindo às argamassas maior absorção de esforços sem que haja escoamento. Para todas as demais argamassas com AIA o valor da componente elástica no tempo de utilização de 0h foi bastante similar. A componente viscosa (G'') das argamassas sem AIA também foi superior em 0h às misturas com AIA, uma vez que ela mede a energia consumida durante o processo de cisalhamento [48], sendo tanto maior quanto mais densa a argamassa e mais difícil o fluxo.

A Fig. 11 mostra a evolução das componentes elástica (G') e viscosa (G'') ao longo do tempo de utilização até as 72h, por meio da média entre os valores máximos obtidos em cada tempo. Independente da argamassa, o módulo elástico (G') demonstrou comportamento crescente e superior ao módulo viscoso ao longo do tempo de utilização de 72h, sendo essa diferença intensificada com o passar do tempo. Dessa forma, fica evidenciada a predominância de um comportamento sólido ao longo do tempo de utilização, para todas as argamassas analisadas. Esse comportamento está vinculado à perda de trabalhabilidade e aumento da resistência à

deformação das argamassas, o que pode ocorrer pela perda de ar incorporado e pelo processo de hidratação dos grãos de cimento.

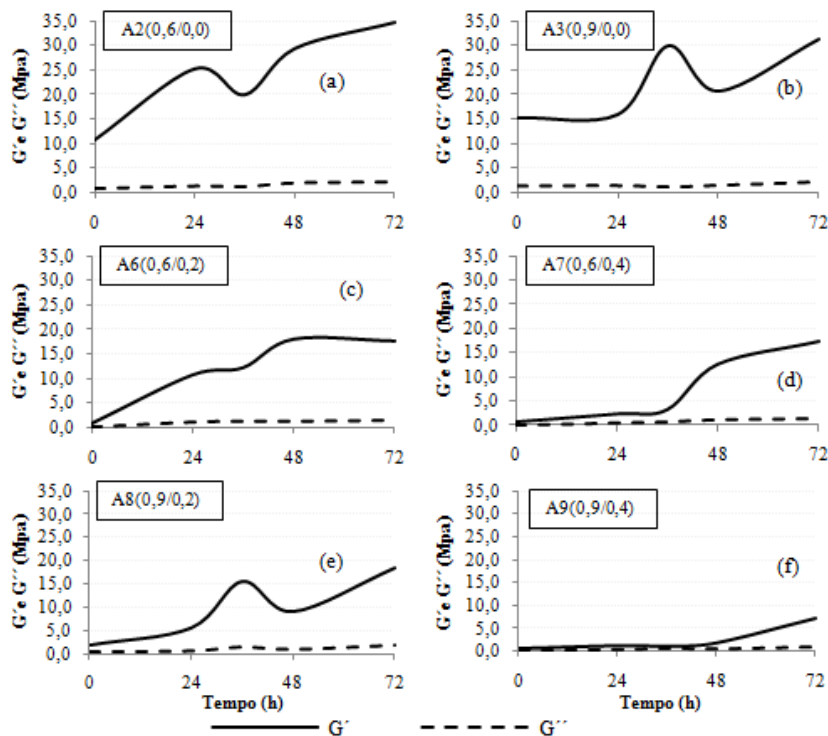


Fig. 11. Evolução das componentes elástica (G') e viscosa (G'') das argamassas estabilizadas ao longo do tempo de estabilização.

As argamassas A2(0,6/0,0) e A3(0,9/0,0) apresentaram valores bastante distintos entre as componentes elástica (G') e viscosa (G''), aumentando ainda mais essa diferença com o passar do tempo. Para essas argamassas foram obtidos os maiores valores para G' no tempo de 72h, ultrapassando 30 MPa. As argamassas com os dois aditivos combinados iniciaram com as componentes G' e G'' muito próximas entre si, demonstrando a dispersão das partículas devido ao efeito dos aditivos. Ao longo do tempo de utilização as componentes passaram a adquirir diferenças mais significativas, com valores de G' próximos de 20 MPa no tempo de 72h. Conforme já mencionado, além do menor teor de ar incorporado, tem-se a diminuição gradual do efeito dos aditivos e a evolução no processo de hidratação do cimento. Com a formação dos

compostos hidratados cria-se uma estrutura tridimensional, aumentando significativamente a componente elástica (G'), tornando os sistemas bem mais sólidos do que viscosos [49].

A exceção das argamassas com os dois aditivos combinados foi a A9(0,9/0,4), que atingiu módulo elástico de apenas 7,0 MPa no tempo de 72h. Esse comportamento também foi verificado nos resultados de *Squeeze Flow* e da tensão de escoamento obtida pelo ensaio de varredura de deformação. Os resultados indicam a ocorrência de grande quantidade de partículas ainda dispersas e um retardo maior no processo de hidratação. Dessa forma, o sistema não apresentou diferenças consideráveis entre a parcela sólida e a viscosa ao final do período de utilização (72h).

A Fig. 12 faz uma correlação entre os resultados obtidos para a componente elástica (G') e a tensão de escoamento obtida pelo ensaio de varredura de deformação (Fig. 12 a) e entre a componente elástica (G') e o deslocamento máximo obtido no *Squeeze Flow* (Fig. 12 b), nos tempos de utilização estudados.

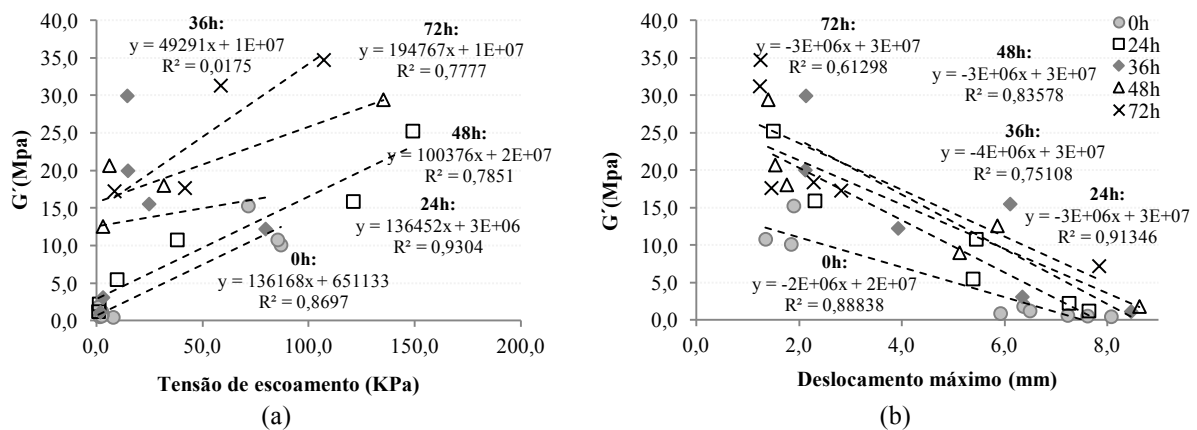


Fig. 12. Correlação da componente elástica (G') com a tensão de escoamento (varredura de deformação) e com o deslocamento máximo (*Squeeze Flow*), ao longo de 72h.

Com exceção dos resultados obtidos para o tempo de utilização de 36h, que apresentaram baixa correlação linear entre a tensão de escoamento e a componente elástica (G') (Fig. 12 a), nos demais tempos foram encontradas boas correlações entre as propriedades ($R^2 = 0,78$ a $0,93$). Quanto maior o valor de G' das argamassas, maior também a tensão de escoamento, isso é, maior a resistência ao fluxo das argamassas, conforme também obtido por Romano et al. [50].

Ocorre que em materiais de comportamento viscoelástico, como é o caso das argamassas, as tensões de cisalhamento abaixo da tensão de escoamento são absorvidas pelo material de forma elástica. Assim, a tendência é que após o alívio das tensões o material retome seu estado inicial, caracterizando o fenômeno de armazenamento de energia de deformação. Como G' representa a parcela do comportamento elástico dos materiais, explica-se a correlação de proporcionalidade entre essas variáveis [48,50,51]

A Fig. 12 (b) apresenta boa correlação ($R^2 = 0,75$ a $0,91$), no entanto de forma inversa, entre G' e o deslocamento máximo, sendo quanto maior o valor da componente elástica, menor o deslocamento máximo obtido. Somente para o tempo de utilização de 72h a correlação linear apresentou-se mais baixa ($R^2=0,61$). Essa correlação ocorre de forma inversa já que o deslocamento máximo sob compressão está diretamente relacionado com a facilidade ao fluxo, enquanto G' representa o quanto a argamassa consegue absorver as tensões sem se deformar. Desta forma, as argamassas que obtiveram os maiores deslocamentos sob compressão foram as que apresentaram a menor componente elástica.

Foi obtida uma correlação inversa entre a componente elástica (G') e o teor de ar incorporado das argamassas ao longo do tempo de utilização, sendo apresentada na Fig. 13. Os coeficientes de determinação (R^2) demonstram uma boa correlação linear ($0,88$ a $0,65$) entre as propriedades até o tempo de utilização de 48h, diminuindo ao longo do tempo, com valor muito baixo ($0,19$) no tempo de utilização de 72h. Assim, verificou-se que a componente elástica tem grande associação com o teor de ar incorporado nas argamassas, sendo maior quanto menor for o teor de ar incorporado. Ocorre que, quanto mais bolhas de ar estáveis e compressíveis na argamassa, menor será o atrito entre os grãos, melhor será o rolamento entre eles e menor será a resistência que a mistura oferecerá ao deslocamento.

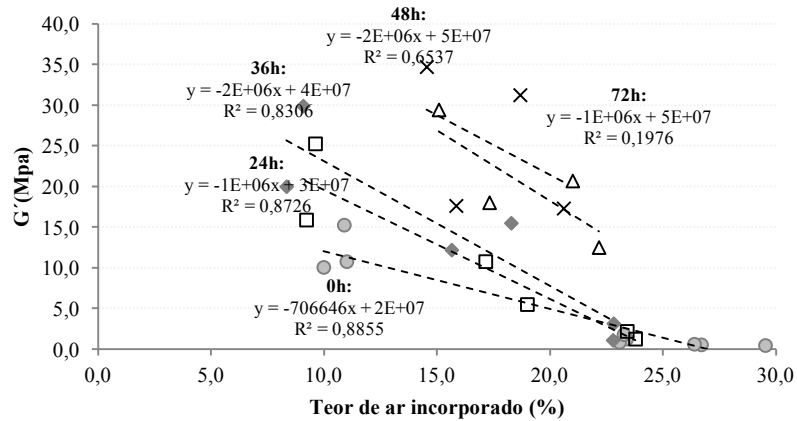


Fig. 13. Correlação da componente elástica (G') com o teor de ar incorporado, ao longo de 72h.

Por retardar o início da hidratação do cimento, o AEH pode promover maior exsudação nas argamassas [18]. Assim, a Fig. 14 apresenta os resultados da exsudação parcial e (15min, 30min, 60min, 120min, 240min, 24h, 36h, 48h e 72h) e total por argamassa.

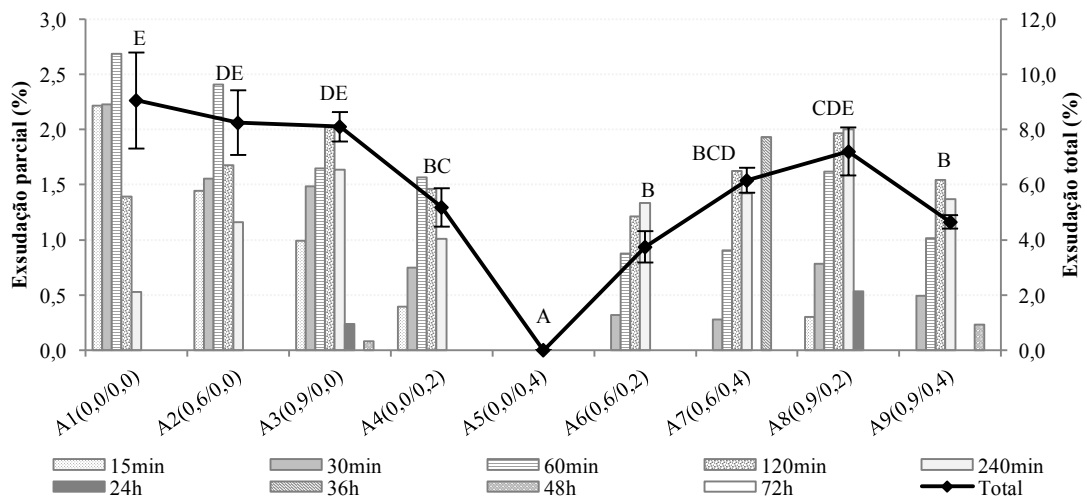


Fig. 14. Exsudação parcial e total das argamassas ao longo de 72 h de estabilização. Letras maiúsculas = comparação da exsudação total entre as diferentes argamassas ($p < 0,001$) - ANOVA e *Post Hoc* de *Tukey* (letras diferentes: com diferenças estatisticamente significantes; letras iguais: sem diferenças estatisticamente significantes).

Observa-se na Fig. 14 que o emprego somente do AEH em A2(0,6/0,0) e A3(0,9/0,0) proporcionou uma redução muito pequena na exsudação total, estatisticamente não significativa em comparação com A1(0,0/0,0) (todos com *Post Hoc* = E). Esses resultados divergem do verificado por Neville e Brooks [18]. No entanto o uso apenas do AIA diminuiu de maneira considerável os valores exsudados em relação à A1(0,0/0,0) (letras distintas no *Post Hoc*).

Assim, A4(0,0/0,2) reduziu em 43% a exsudação, comparada à A1(0,0/0,0), enquanto para A5(0,0/0,4) não foi verificada exsudação. Nas quatro argamassas que utilizaram os dois aditivos observou-se uma redução na exsudação total, em relação à A1(0,0/0,0), apresentando-se de forma mais significativa nas argamassas A6(0,6/0,2) e A9(0,9/0,4). Verificou-se, então, que a introdução de AIA às argamassas tende a diminuir a água exsudada uma vez as pequenas bolhas de ar fazem o papel dos finos, preenchendo os espaços entre os agregados e tornando a mistura mais coesa devido ao efeito ponte entre os tensoativos e o cimento. Jantsch [39] constatou exsudações muito baixas (0,15%) ou até nulas nos lotes estudados de argamassa estabilizada. Pelos resultados de exsudação parciais, nota-se que A1(0,0/0,0) teve maior exsudação dentro dos primeiros 60 min. Diferentemente disso, as argamassas aditivadas tiveram maiores exsudações em 60 min ou tempo superior, exceto A5(0,0/0,4) que não apresentou nenhuma exsudação. As argamassas com somente um tipo de aditivo - A2(0,6/0,0), A3(0,9/0,0) e A4(0,0/0,2) - apresentaram exsudação a partir dos 15min, porém, a maior quantidade de água exsudada (parcial) foi observada nos tempos de 60 min e 120 min. Já as argamassas com os dois tipos de aditivos não exsudaram no tempo de 15 min, iniciando a exsudação aos 30 min de ensaio, atingindo as maiores exsudações parciais nos tempos de 120 min e 240 min. Além dos 240 min de ensaio previstos em norma, as argamassas com AEH apresentaram exsudação parcial significativa até o tempo de utilização de 36h. Em A7(0,6/0,4) verificou-se uma exsudação parcial de 1,93% em 36h.

A utilização dos dois aditivos (AIA e AEH) proporcionou exsudações totais moderadas, inferiores à A1(0,0/0,0). Mesmo com maior teor de água livre proporcionada pelo AEH devido ao maior tempo de início de pega das argamassas, o emprego conjunto com o AIA fez com que as bolhas de ar mantivessem as partículas sólidas em suspensão, dificultando a sedimentação e, assim, a ascensão da água [18].

Isso demonstra que o efeito conjunto dos aditivos nas propriedades frescas das argamassas possui comportamento distinto de quando são aplicados isoladamente. Assim, a depender da propriedade analisada, observou-se o efeito predominante de um dos aditivos ou um comportamento intermediário entre os extremos proporcionados por cada um.

4. Conclusão

Com os resultados obtidos pode-se concluir que:

- a utilização combinada dos aditivos incorporador de ar e estabilizador de hidratação melhoraram as propriedades reológicas das argamassas, em comparação a ausência ou uso isolado desses, permitindo manuseio por um maior período de tempo;
- as maiores alterações verificadas das propriedades no tempo de utilização de 0 h foram atribuídas ao emprego do AIA;
- a incorporação de ar nas argamassas e a estabilidade das bolhas de ar ao longo do tempo de utilização demonstraram proporcionalidade com o teor de AIA empregado;
- o emprego do AIA diminuiu a consistência e a resistência ao fluxo das argamassas, além das taxas exsudadas, devido à menor sedimentação e dificuldade da água em ascender;
- a utilização do AEH não contribuiu para a incorporação de ar das argamassas, nem mesmo proporcionou alterações importantes na exsudação;
- ao longo do tempo de utilização houve perda de ar incorporado e diminuição do efeito do AEH, de forma com que as argamassas adquirissem maior consistência e resistência ao fluxo. A exceção foi a argamassa com os maiores teores dos dois aditivos, que apresentou deslocamentos crescentes com o tempo de utilização, atingindo valores de tensão de escoamento e componente elástica muito baixos em 72 horas.
- o teor de ar incorporado demonstrou influenciar diretamente o deslocamento máximo (*Squeeze Flow*) e inversamente a tensão de escoamento e a componente elástica (G') das

argamassas. Assim, a componente elástica (G') apresentou correlação direta com a tensão de escoamento das argamassas e inversa ao deslocamento máximo obtido;

- as argamassas necessitam do AEH para se manterem trabalháveis ao longo do período de estabilização, no entanto, foi observada maior sensibilidade das propriedades das argamassas em relação ao teor de AIA do que ao teor de AEH.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Santa Maria - UFSM e à Universidade Federal do Pampa- Unipampa pelo apoio, infraestrutura e recursos para a realização da pesquisa. Também agradecem às empresas Supermix e Supertex pelo fornecimento dos materiais.

Referências

- [1] YOSHIDA, A.T.; BARROS, M.M.S.; BOTTURA, D. Caracterização de argamassas no estado fresco – peculiaridades da análise de argamassas industrializadas. In: Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas, 1, Goiânia, Anais SBTA, 1995.
- [2] DO Ó, S.W. Análise da retenção de água em argamassas de revestimento aditivadas. Dissertação de mestrado, UNB, Brasília, 2004.
- [3] CARDOSO, F.A.; Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico. Tese de doutorado, USP, São Paulo, 2009.
- [4] CAMPOS, G.M. Estudo do tempo de início de pega de argamassas com aditivo estabilizador de hidratação. Monografia de Especialização. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.
- [5] CASALI, J.M. et al. Influence of cement type and water content on the fresh state properties of ready mix mortar. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v.18, n.2, p.33-52, 2018.
- [6] PANARESE, W. C, KOSMATKA, S. H., RANDALL, F. A. *Concrete Masonry Handbook for architects, Engineers, Builders*. Portland Cement Association, 5a ed. Estados Unidos da América, 219p, 1991.
- [7] BAUER, B. et al. Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, 11, Porto Alegre, Anais..., 2015.
- [8] ROMANO, R.C.O. Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicadas em construção civil. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- [9] SALAGER, J.L. El mundo de los surfactantes. Cuaderno FIRP, Universidade de los Andes, Merida, Venezuela, p. 3-4, 1992.
- [10] ROMANO, R.C.O.; CINCOTTO, M.A.; PILEGGI, R.G. Incorporação de ar em materiais cimentícios: uma nova abordagem para o desenvolvimento de argamassas de revestimento. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v.18, n.2, 2018.
- [11] PAILLERE A M. Application of admixtures in concrete Britain. RILEM, 2011.
- [12] JOLICOEUR, C. e SIMARD, M-A. Chemical admixture-cement interactions: phenomenology and physico-chemical concepts. *Cement and Concrete Composite*, v. 20, p. 87-101, 1998.

- [13] ANTUNES, R.P.N. Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa. Tese de doutorado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2005.
- [14] CHAPPUIS, J. et al. Admixtures and calcium aluminates. Lafarge Aluminates Internal Report, 1991.
- [15] RAMACHANDRAN, V. S. et al. Handbook of thermal analysis of construction materials. Noyes Publications, New York, 2002.
- [16] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. IBRACON, 2014.
- [17] PAOLINI, M.; KHURANA, R. Admixtures for recycling of waste concrete. Cement and concrete composites 20, p221-229, 1998.
- [18] NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. Tecnologia do concreto. Bookman, 2 edição 2013.
- [19] OLIVEIRA, C.O. Análise das propriedades reológicas de materiais cimentícios associando o conceito de empacotamento de partículas. Dissertação de mestrado, PPGEM da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Campus de Ilha Solteira, 2013.
- [20] CASALI, J. M. et al. Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para assentamento e revestimento. In: IX Simpósio Brasileiro de Argamassas, 2011, Minas Gerais. IX Simpósio Brasileiro de Argamassas, 2011.
- [21] MANN NETO, A.; ANDRADE, D.C.; SOTO, N.T.A. Estudo das propriedades e viabilidade técnico-econômica da argamassa estabilizada. 2010.127p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- [22] BARCELOS, A.S.; PELISSER, F. Efeito de inibidores de hidratação na resistência de aderência à tração em argamassas de revestimento. Artigo técnico em Tecnologia e Ambiente, UNESC, Criciúma, SC, 2011.
- [23] PAGNUSSAT, D.T.; VIDOR, D.; MASUERO, A.B. Avaliação de propriedades de argamassas estabilizadas ao longo do seu tempo de utilização. Artigo Técnico. Universidade de Caxias do Sul, RS, 2012.
- [24] CALÇADA, L.M.L. et al. Influência das características do molde e da superfície de contato nas propriedades da argamassa estabilizada. X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza, CE, 2013.
- [25] KEBHARD, J.M.; KAZMIERCZAK, C.S. Avaliação do comportamento de uma argamassa estabilizada ao longo de seu tempo de estabilização. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 12, Anais...São Paulo, 2017.
- [26] DUARTE, G.L.B. et al. Estudo da trabalhabilidade da argamassa estabilizada ao longo do tempo de armazenamento para assentamento de bloco de concreto. In: XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia, GO, 2019.
- [27] BAUER, E.; OLIVEIRA, V.C. Comportamentos e propriedades das argamassas estabilizadas de revestimentos. In: XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, São Paulo, 2017.
- [28] MACIOSKI, G. et al. Avaliação de propriedades no estado fresco e endurecido de argamassas estabilizadas. Artigo técnico em X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza, CE, 2013.
- [29] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- [30] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 7215: Cimento portland - determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

- [31] ANTONIAZZI, J.P. et al. Incorporação de ar em argamassas estabilizadas: influência dos aditivos, agregados e tempo de mistura. Artigo submetido à Revista Ambiente Construído, ISSN 1678-8621 em 16 de setembro de 2019 (submetido).
- [32] INTERNATIONAL UNION OF LABORATORIES AND EXPERTS IN CONSTRUCTION MATERIALS, SYSTEMS AND STRUCTURES RILEM MR 6: Tendency of water to separate from mortars (bleeding), 1982.
- [33] BETIOLI, A.M. Influência dos polímeros MHEC e EVA na hidratação e comportamento reológico de pastas de cimento portland. Tese de doutorado, PPGEC-UFSC, Florianópolis, 2007.
- [34] SCHULTZ, M.A. Rheological studies of fresh cement pastes. Illinois, 192f. Dissertação (Engenharia Cerâmica)- University of Illinois at Urbana-Champaign, 1991.
- [35] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 15839: Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método squeeze-Flow. Rio de Janeiro, 2010.
- [36] SALAGER, J.L. Surfactantes em solución acuosa. Cuaderno FIRP, Universidade de los Andes, Merida, Venezuela, p. 1-28, 1993.
- [37] TREVISOL JR, L.A.; KOMAN, D.F. Estudo da interferência do uso de cal hidratada no tempo de estabilidade em argamassas estabilizadas dosadas em central. In: XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia, GO, 2019.
- [38] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2001.
- [39] 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, RS, 2015.
- [40] BRUGALI, D.R.; CASAGRANDE, E.; STOLZ, C.M. Caracterização de argamassas industrializadas e estabilizadas disponíveis em Caxias do Sul/RS. In: XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2019.
- [41] BELLEI, P.; CATEN, A.T. Avaliação do desempenho da argamassa estabilizada de 36 e 72 horas para revestimento externo em diferentes tempos de utilização e modo de armazenamento. In: XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia, GO, 2019.
- [43] ALVES, N.J.D. Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, DF, 2002.
- [44] PHAN, T.H.; CHAOUICHE, M. Rheology and stability of self-compacting concrete cement pastes. Applied Rheology, DOI: 10.1515/arh-2005-0017, 2005.
- [45] CARDOSO, F.A.; JOHN, V.M.; PILEGGI, R.G. Rheological behavior of mortars under different squeezing rates. Cement and concrete research, 2009.
- [46] TOUTOU, Z.; ROUSSEL, N.; LANOS, C. The squeezing test: a toll to identify firm cement-based material's rheological behavior and evaluate their extrusion ability. Cement and concrete research 35:1891-1899. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.09.007> , 2005.
- [47] CARDOSO, F. A. et al. Characterisation of Rendering Mortars by Squeeze-Flow and Rotational Rheometry. Cement and Concrete Research, v. 57, p. 79-87, Mar. 2014.
- [48] MEZGER, T.G. The Rheology Handbook for users of rotational and oscillatory rheometers. 4th edition. Hanover, Germany. Vincentz Network, 2014, 432p. ISBN 978-3-86630-842-8.
- [49] WINNEFELD, F.; HOLZER, L. Monitoring early cement hydration by rheological measurements. In: PROCEEDINGS OF 11° INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT (ICCC). Durban, South Africa, 2003.

- [50] ROMANO, R.C.O. et al. Caracterização reológica de suspensões cimentícias mistas com cales ou filitos. *Ambiente Construído*, ISSN 1678-8621, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 75-84, 2014.
- [51] MODLER, L.E.A. Avaliação reológica do período de consolidação de argamassas colantes. Tese de doutorado, UFSM, 2017.

5 ARTIGO 4 - EFEITO DOS ADITIVOS INCORPORADOR DE AR E ESTABILIZADOR DE HIDRATAÇÃO NO ESTADO ENDURECIDO DE ARGAMASSAS ESTABILIZADAS: CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL

Este artigo será submetido ao periódico Cement and Concrete Research, ISSN: 0008-8846, Engenharias 1, Qualis A1 (quadriênio 2013-2016). O artigo está formatado conforme as normas para a publicação nesse periódico, as quais estão descritas no anexo D. No entanto, o artigo será apresentado para a tese na versão em português e em formato expandido.

Title Page

Efeito dos aditivos incorporador de ar e estabilizador de hidratação no estado endurecido de argamassas estabilizadas: caracterização mecânica e microestrutural

Autores:

Juliana P. Antoniazzi^{1*}, Gihad Mohamad², Juliana M. Casali³, Alexandre Silva de Vargas⁴, Eugênio Bastos da Costa⁵

¹Aluna de doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade federal de Santa Maria, juliana.antoniazzi@ufsm.br, Brasil

²Professor Associado, Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, gihad.civil@gmail.com, Brasil.

³Professora Efetiva, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, juliana.casali@ifsc.edu.br, Brasil.

⁴Professor Adjunto, Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, alexandrekbca@gmail.com, Brasil.

⁵Professor Efetivo, Instituto Federal de Alagoas, ebc.eng@hotmail.com, Brasil.

Autor Correspondente:

Juliana Pippi Antoniazzi

Av. Roraima, n. 1000, Centro de Tecnologia (prédio 07), sala 201, Departamento de Expressão Gráfica, Universidade Federal de Santa Maria, Cidade Universitária, Bairro Camobi, 97105 – 900, Santa Maria/RS, Brasil.

Contato: +55(55)3220-8594

juliana.antoniazzi@ufsm.br

HIGHLIGHTS

- O aditivo incorporador de ar reduz a resistência e aumenta o grau de hidratação.
- O aditivo estabilizador de hidratação diminui a quantidade de compostos hidratados.
- As características de porosidade gerada por cada aditivo são distintas.
- O uso dos dois aditivos proporcionou carbonatação mais rápida nas argamassas.

**EFEITO DOS ADITIVOS INCORPORADOR DE AR E ESTABILIZADOR DE
HIDRATAÇÃO NO ESTADO ENDURECIDO DE ARGAMASSAS ESTABILIZADAS:
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL**

RESUMO

A compreensão do efeito do aditivo incorporador de ar (AIA) e estabilizador de hidratação (AEH) sobre as argamassas no estado endurecido é importante para avaliar o desempenho e durabilidade dos revestimentos. Esse estudo avaliou a ação do AIA e AEH nas propriedades de argamassas estabilizadas (AE) no estado endurecido, ao longo do tempo. Foram confeccionadas nove misturas de argamassa, variando-se os teores de AEH (0,0%, 0,6% e 0,9%) e de AIA (0,0%, 0,2% e 0,4%), sendo avaliadas quanto à resistência mecânica, grau de hidratação, permeabilidade, porosidade. O AIA reduziu a resistência e proporcionou maior grau de hidratação das argamassas, enquanto o AEH diminuiu a formação de compostos hidratados em todas as idades. As características da porosidade gerada por cada aditivo foram distintas. As argamassas com os dois aditivos apresentaram carbonatação mais rápida que as demais, o que poderia prejudicar a durabilidade dos revestimentos.

Palavras-chaves: aditivo estabilizador de hidratação; aditivo incorporador de ar; argamassa estabilizada; revestimento; estado endurecido.

1. Introdução

O comportamento de um revestimento argamassado pode ser avaliado por meio de suas propriedades no estado endurecido, as quais refletem o desempenho obtido pela argamassa no estado fresco. As argamassas estabilizadas são um tipo de mistura pronta que podem se manter trabalháveis por longos períodos de tempo (até 72 horas), devido ao emprego de aditivos em sua composição [1]. Dessa forma, suas propriedades podem adquirir características específicas quanto a resistência, a porosidade, a permeabilidade e a formação de compostos hidratados, distintas das argamassas convencionais. No entanto, as normativas nacionais empregam a mesma metodologia para a confecção e análise das argamassas em geral, não especificando particularidades de cada tipo. Cabe ressaltar que não existem normas brasileiras específicas para argamassas estabilizadas. Muitos fatores podem prejudicar o desempenho das argamassas estabilizadas, podendo afetar as propriedades no estado fresco e endurecido. O tipo e teor de aditivos utilizados são um dos principais fatores modificadores das propriedades das argamassas estabilizadas [2,3], sendo muitas vezes empregados sem nenhum embasamento teórico.

As argamassas estabilizadas contêm na sua composição aditivo incorporador de ar (AIA), que melhora a sua trabalhabilidade no estado fresco, e aditivo estabilizador de hidratação (AEH), que aumenta o seu tempo de utilização. Os AIA são substâncias tensoativas e, por isso, agem diminuindo a tensão superficial e modificando a reologia das argamassas por meio da inserção de pequenas bolhas de ar estáveis, proporcionando melhor plasticidade [4]. Essas bolhas de ar funcionam como microesferas compressíveis, diminuindo o atrito e melhorando o rolamento entre os grãos de agregado, proporcionando um aumento no volume da pasta [5,6]. Já os AEH promovem uma película hidrorrepelente ao redor das partículas de cimento, impedindo a sua hidratação durante um período de tempo, até que essa barreira seja dissolvida [7,8,9]. Dessa forma, atuam diretamente sobre o tempo de pega das argamassas, promovendo trabalhabilidade

por um período de tempo maior. Porém, esses aditivos podem proporcionar efeitos secundários não desejáveis e que ainda não estão bem esclarecidos nas propriedades das argamassas estabilizadas.

O AEH pode interferir no grau de hidratação do cimento Portland contido nas argamassas estabilizadas, já que o início das reações é prorrogado. Dessa forma, pode também ocorrer um retardo na formação dos compostos e, assim, na resistência mecânica [10,11], especialmente nas primeiras idades. Além disso, o uso do AEH pode aumentar a retração plástica e a exsudação de água [12]. O uso do AIA também deve ser controlado, já que promove maior porosidade na argamassa, deixando-a mais suscetível à ação da umidade e de agentes agressivos, além disso podem causar redução na resistência mecânica [6]. Logo, é importante que a utilização desses aditivos seja empregada com cautela, elencando os benefícios e prejuízos que serão conferidos com o uso destes.

Poucos estudos avaliaram as propriedades das argamassas estabilizadas no estado endurecido empregando AEH e AIA. A porosidade proporcionada pelo emprego do AIA aliada ao retardo no tempo de pega, ocasionados pelo uso do AEH, podem proporcionar alterações importantes nas propriedades das argamassas estabilizadas. Assim, o estudo da dosagem dos aditivos nas argamassas é um fator primordial para um bom desempenho e durabilidade.

A presença de umidade é uma das principais causas de manifestações patológicas em revestimentos argamassados, situação que pode ser favorecida pela alta porosidade proporcionada pelo AIA [13]. Um revestimento ideal deve ser estanque à água, impedindo a sua percolação, porém, deve ser permeável ao vapor d'água [14], considerando-se que o aprisionamento do vapor é um fator nocivo ao material, e não a existência [15]. As argamassas estabilizadas demonstraram ter menor permeabilidade à água que as argamassas convencionais [1], com permeabilidade ao vapor semelhante à uma argamassa de reboco médio [16]. Entre as argamassas comercializadas, a argamassa estabilizada de 36 h apresentou menor

permeabilidade à água por absorção e capilaridade do que a argamassa estabilizada de 72h [17]. No entanto, as pesquisas não avaliaram a permeabilidade obtida por cada aditivo em diferentes dosagens nas argamassas.

A resistência das argamassas estabilizadas também está muito atrelada às quantidades de aditivos empregadas. Algumas pesquisas apresentaram altas resistências mecânicas para as argamassas estabilizadas, superiores às obtidas em argamassas convencionais [1], o que poderia propiciar maior fissuração [18]. Porém, estudos também mostraram a obtenção de baixas resistências para as argamassas estabilizadas [3,17,19,20,21], demonstrando divergências e a falta de um consenso acerca dessas propriedades.

Essa construção da resistência mecânica pode ter associação com o grau de hidratação do cimento Portland nas argamassas estabilizadas ao longo do tempo, o qual demonstrou ser influenciado pela utilização do AEH, em análises por perda ao fogo [22]. Assim, ao longo do tempo, houve diminuição da água evaporável e aumento da água quimicamente combinada ao hidróxido de cálcio [22]. Porém, ainda não foi avaliado o efeito isolado dos aditivos, nem mesmo a quantidade de água quimicamente combinada aos hidratos e o teor de carbonato de cálcio.

Bauer e Oliveira [23] avaliaram a ação dos aditivos AIA e AEH separadamente e combinados nas argamassas estabilizadas. A resistência mecânica foi reduzida com o emprego isolado de AEH, verificando-se um aumento na capilaridade à medida que se aumentaram os teores do aditivo. O emprego somente do AIA não prejudicou as propriedades mecânicas e, quando empregado juntamente com o AEH, houve maior redução da capilaridade. No entanto, esse estudo variou a quantidade de água para uma consistência constante, o que deve ser considerado na análise da ação dos aditivos.

Como já visto, as propriedades das argamassas estabilizadas estão atreladas ao teor e interação dos aditivos empregados, podendo adquirir propriedades específicas, distintas das argamassas

convencionais. No entanto, os efeitos da combinação dos aditivos AIA e AEH nas propriedades do estado endurecido das argamassas estabilizadas ao longo do tempo não estão bem esclarecidos, além de não haverem normativas específicas para reger sua produção, controle e aplicação. Além disso, não foram encontrados trabalhos avaliando a ação de cada aditivo e da interação entre eles na evolução da composição química e nas características da porosidade das argamassas estabilizadas.

Assim, o objetivo do estudo foi avaliar a influência dos aditivos AIA e AEH em diferentes teores, isoladamente e em conjunto nas propriedades do estado endurecido de argamassas estabilizadas ao longo do tempo, confeccionadas em laboratório.

2. Materiais e métodos

A seguir serão apresentados os materiais e métodos utilizados nesse estudo. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais e Construção Civil – LMCC - e no Laboratório de Processos Ambientais – LAPAM - ambos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

2.1 Materiais

Os materiais empregados foram cimento Portland (CP II F – 40, Cimento F, Brasil), agregado miúdo (areia, proveniente de rio, Santa Maria, RS, Brasil), aditivo incorporador de ar (AIA, Centripor 411, Brasil) e aditivo estabilizador de hidratação (AEH, Centripor Retard 225, Brasil). As caracterizações dos materiais estão descritas nas Tabelas 1, 2, 3 e 4. A granulometria do agregado miúdo foi realizada conforme a NBR NM 248 [24] e apresentada na Fig. 1. Antes de serem utilizados, os agregados foram secos em estufa por 24 h.

Tabela 1.

Características físicas do cimento Portland CII F-40 (Cimento F).

Propriedade	Cimento F	Método
Massa específica (g/cm ³)	3,1	NBR NM 23 (ABNT, 2001)
Índice de finura (#0,075mm) (%)	0,12	NBR 11579 (ABNT, 2013)
Água da pasta de consistência normal (%)	29	NBR NM 43 (ABNT, 2003)
Início de pega (h:min)	4:00	NBR NM 65 (ABNT, 2003)
Fim de pega (h:min)	5:20	NBR NM 65 (ABNT, 2003)
Área superficial (m ² /g)	1,2592	BET
Volume dos poros (cm ³ /g)	0,004791	BET
Dimensão dos poros (nm)	20,0047	BJH/BET

Fonte: Autor.

Tabela 2.
Características do cimento Portland CII F-40 (Cimento F).

	Ensaio Químico		
	Cimento F	Limite de norma	Normativa
Perda ao fogo (%)	4,86	≤ 6,5	NBR NM 18 (ABNT, 2012)
Óxido de magnésio (%)	5,90	≤ 6,5	NBR NM 14 (ABNT, 2012)
Anidrido sulfúrico (%)	3,56	≤ 4,0	NBR NM 16 (ABNT, 2012)
Resíduo insolúvel (%)	0,82	≤ 2,5	NBR NM 22 (ABNT, 2012)
Ensaio Físico e Mecânico			
Blaine (cm ² /g)	4521,50	≥ 2800	NBR 16372 (ABNT, 2015)
Expansibilidade a quente (mm)	0,38	≤ 5,0	NBR 11582 (ABNT, 2016)
	1 dia	23,73	N/A
Resistência à compressão	3 dias	34,47	NBR 7215 (ABNT, 1997)
	7 dias	40,25	
	28 dias	47,68	

Fonte: Fabricante de Cimentos, unidade Rio Branco (DEZ/2017).

Tabela 3.
Propriedades do agregado miúdo.

Propriedade	Areia	Método
Dimensão máxima característica (mm)	1,20	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Módulo de finura	1,73	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Massa específica (g/cm ³)	2,64	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Massa unitária (g/cm ³)	1,63	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Teor de material pulverulento (%)	4,94	NBR NM 46 (ABNT, 2003)
Área superficial (m ² /g)	0,5424	BET
Volume dos poros (cm ³ /g)	0,001156	BET
Dimensão dos poros (nm)	8,4833	BJH/BET

Fonte: Autor.

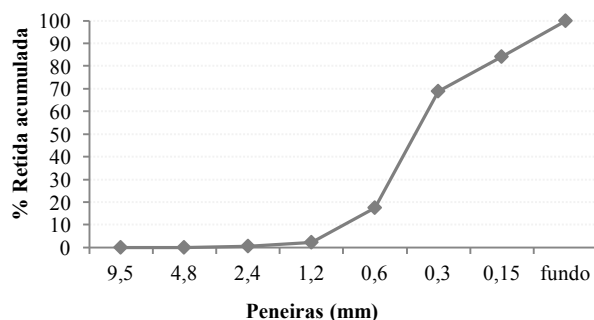


Fig. 1. Granulometria da areia.

Tabela 4.
Propriedades do aditivo incorporador de ar (AIA) e do aditivo estabilizador de hidratação (AEH).

Características	AIA	AEH
Base química	Sal de álcool graxo etoxilado sulfatado	-
Aspecto	Líquido	Líquido
Cor	Amarelo	Marrom
Densidade (g/cm ³)	1,00	1,17
Teor de sólidos (%)	3	45
pH	9	6
Solubilidade	Solúvel em água (20°C)	Solúvel em água
Dosagens (% peso do cimento)	0,1 – 0,5	0,2 – 1,5

Fonte: Fabricante de aditivo.

2.2 Métodos de ensaio

As propriedades das argamassas estabilizadas no estado endurecido foram analisadas em nove misturas, confeccionadas em laboratório, com aditivos em diferentes teores, isolados e combinados. Utilizou-se o mesmo cimento Portland (Cimento F) e um tipo de agregado miúdo (areia), mantendo-se o mesmo traço (1:6,5), a mesma relação água/aglomerante (1,0), o mesmo procedimento de mistura (tempo= 270 s) e as mesmas condições de cura. Foram empregados três teores de AEH (0,0%, 0,6% e 0,9%) e três teores de AIA (0,0%, 0,2% e 0,4%), isolados e combinados, sendo as propriedades analisadas em diferentes idades no estado endurecido (7, 28 e 42 dias). A escolha dos insumos, traço e teores de aditivos foi feita com base em estudos realizados nas etapas experimentais e nas orientações do fabricante de argamassa estabilizada para revestimentos. A tabela 5 apresenta as misturas de argamassas estudadas.

Tabela 5.

Misturas de argamassas estabilizadas

Mistura	AEH (%)	AIA (%)	Cimento	Areia	A/a
A1(0,0/0,0)	0,0	0,0			
A2(0,6/0,0)	0,6	0,0			
A3(0,9/0,0)	0,9	0,0			
A4(0,0/0,2)	0,0	0,2			
A5(0,0/0,4)	0,0	0,4	1	6,5	1,0
A6(0,6/0,2)	0,6	0,2			
A7(0,6/0,4)	0,6	0,4			
A8(0,9/0,2)	0,9	0,2			
A9(0,9/0,4)	0,9	0,4			

A mistura foi realizada com base no descrito na NBR 7215 [25] com adaptações para o uso de aditivos e para o tempo de mistura. Assim, os aditivos foram inseridos inicialmente junto com a água de amassamento e homogeneizados por 20s em velocidade baixa. O tempo total de mistura foi de 270s, conforme estabelecido em ANTONIAZZI et al. [26].

A cura dos corpos de prova para os ensaios no estado endurecido foi realizada em ambiente de laboratório. A desforma foi padronizada e realizada aos 7 dias, devido ao período diferenciado de endurecimento das argamassas estabilizadas.

As argamassas foram avaliadas quanto a densidade de massa aparente no estado endurecido, resistência à tração na flexão, resistência à compressão, módulo de elasticidade dinâmico, grau

de hidratação, porosidade e permeabilidade ao longo de 42 dias, conforme ensaios, referências e idades apresentados na Tabela 6.

Tabela 6.
Ensaio no estado endurecido para argamassas.

Propriedades avaliadas	Ensaio / Análises	N	Referências	Idade do ensaio (dias)		
				7	28	42
Resistência à Tração na Flexão	Resistência à Tração na Flexão	8	NBR 13279 (2005)	•	•	•
Resistência à Compressão	Resistência à Compressão	16	NBR 13279 (2005)	•	•	•
Módulo de Elasticidade Dinâmico	Velocidade do pulso ultrassônico	8	NBR 15630 (2009)	•	•	•
Densidade endurecida	Densidade de massa aparente	8	NBR 13280 (2005)	•	•	•
Retração linear	Varição dimensional	7	NBR 15261 (2005)	•	•	•
Porosidade e Permeabilidade	Coefficiente de Capilaridade	6	NBR 15259 (2005)	-	•	•
Porosidade e Permeabilidade	Permeabilidade à Água	9	NBR 14992 (2003) / RILEM 11.4	-	•	•
Porosidade e Permeabilidade	Permeabilidade ao Vapor de Água	3	EM 1015 -19 (2004)	-	•	•
Características dos poros	Microscopia Eletrônica de Varredura	1	-	-	•	-
Grau de hidratação	Análise Termogravimétrica	1	-	•	•	•
Grau de hidratação	Difração de Raios X	1	-	•	•	•

A *resistência à tração na flexão e à compressão axial* foi determinada segundo a NBR 13279 [27]. O ensaio foi realizado em uma prensa hidráulica (marca Amsler) modelo universal tração e compressão, com capacidade de 10 toneladas e velocidade controlada manualmente (mínimo 50kgf/s). O *módulo de elasticidade dinâmico* foi realizado com base na NBR 15630 [28], sendo as medições realizadas por um aparelho de ultrassom PUNDIT (marca CNS Farnell), nos mesmos corpos de prova moldados para os ensaios de tração e compressão. A *densidade de massa aparente* foi calculada de acordo com a NBR 13280 [29]. Para avaliação da retração linear foi realizado o ensaio de *variação dimensional* de acordo com a NBR 15261 [30]. Os corpos de prova foram moldados conforme indicação da norma [30] e cobertos por filme de PVC pelas primeiras 72 horas, evitando a perda de umidade. Foram realizadas leituras de comprimento e determinações de massa nas idades 8, 14, 28, 35 e 42 dias após a moldagem, equivalentes a 1, 7, 21, 28 e 35 dias da data de desforma.

Porosidade e permeabilidade

A porosidade e a permeabilidade das argamassas foram avaliadas por três ensaios, sendo o coeficiente de capilaridade, a permeabilidade ao vapor e a permeabilidade à água, analisando como cada tipo e teor de aditivo age sobre essas propriedades.

O *coeficiente de capilaridade* foi obtido segundo o procedimento recomendado pela NBR 15259 [31].

A permeabilidade ao vapor de água foi determinada baseada na EN 1015-19 [32], conforme utilizado também por Jantsch [17]. Para cada mistura foram moldados 3 corpos de prova circulares, com diâmetro de 100 mm e espessura de 20 mm, os quais foram ensaiados aos 28 dias. A Fig. 2a mostra um esquema do copo formato “chapéu” em corte, recebendo o corpo de prova da argamassa sobre berço de massa de calafetar. Dentro do copo foi colocada uma solução salina de Nitrato de Potássio (KNO_3) a qual fornece uma umidade relativa de 93,2% ao sistema. Como os conjuntos são colocados em câmara climática com temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $50 \pm 5\%$, o fluxo de vapor se dá de dentro para fora do copo (Fig. 2b). Um esquema do fluxo de vapor durante o ensaio é apresentado com o modelo em 3D na Fig. 2c.

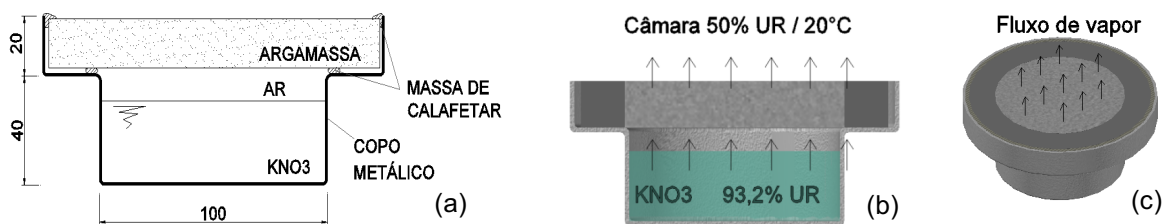


Fig.2. Esquema do copo de ensaio, com solução e corpo de prova, utilizado no ensaio de permeabilidade ao vapor.

As amostras foram avaliadas a cada 24 h, por meio da determinação da massa de cada conjunto durante 15 dias consecutivos, a fim de se obter a perda de massa diária e o coeficiente de permeabilidade ao vapor de água, o qual foi calculado pela EN 998-1 [33].

A permeabilidade à água líquida foi determinada pelo método do cachimbo (Tubo *Karsten*) baseado na NBR 14992[34] e RILEM -*Test Method* no 11.4 [35].

Foram moldadas 3 placas de dimensões 50x26x2,5cm para cada mistura, sendo cada uma delas ensaiada metade aos 28 dias e outra metade aos 42 dias. Foram acoplados 3 cachimbos de vidro em cada placa, totalizando 9 amostras por idade, fixados com silicone, de forma com que não houvesse interferência na absorção de água de cada um dos cachimbos (Fig. 3).

As leituras foram realizadas nos tempos 5, 10, 15, 30 e 60 min ou quando os cachimbos atingissem o nível de 4 cm³. O coeficiente de absorção de água foi calculado em função do volume de água absorvido pela argamassa em função do tempo [36].

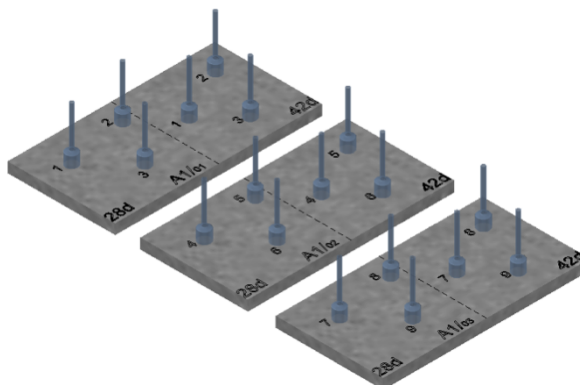


Fig. 3. Esquema de divisão das placas para ensaio de permeabilidade à água aos 28 e 42 dias.

O grau de hidratação das argamassas foi determinado por meio da identificação dos compostos hidratados por análise termogravimétrica (TGA) e difração de raio X (DRX). O preparo das amostras utilizadas para ambos ensaios foi o mesmo. Assim, em cada idade de ensaio, foi retirada uma amostra da parte central de um corpo de prova 4x4x16, removendo-se as extremidades rasadas e em contato com a forma, a qual foi moída e recolhido o material passante em peneira 0,075 mm. As análises foram realizadas nos mesmos dias em que foram preparadas, dispensando tratamentos para a paralisação do processo de hidratação.

A *análise termogravimétrica (TGA)* fornece a perda de massa em função da degradação térmica das amostras, que ocorrem devido às mudanças na sua composição química em função do tempo ou da temperatura. O ensaio foi realizado utilizando o equipamento TGA-50 (marca Shimadzu).

Assim, o aquecimento da amostra (15 ± 1 mg) se deu a partir da temperatura ambiente até ser atingida a temperatura de 1000 °C, a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min. A perda de massa percentual foi plotada em função da temperatura. Foi obtida também a curva da derivada primeira da TGA, a derivada termogravimétrica (DTG). Os resultados foram registrados no software TA-60WS Collection Monitor (Shimadzu) e analisados no software TA60 (Shimadzu).

A análise das curvas foi realizada com base nas faixas de temperaturas estabelecidas pela bibliografia para a classificação e vinculação das perdas de massa com a formação/decomposição dos compostos, com adaptações para os resultados obtidos. Assim, adotou-se:

- 20°C a 120°C: água evaporável ou livre (AL) [8, 37,38,39];
- 120°C a 400°C: decomposição dos hidratos (C-S-H, aluminatos e compostos de magnésio) [40];
- 400°C a 465°C: desidratação/desidroxilação do hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) ou portlandita [8, 38,41,42];
- 465°C a 1000°C: decomposição do carbonato de cálcio e volatilização do anidrido carbônico [8, 38,40,41,43].

Dessa forma, as perdas de massa obtidas nas curvas para cada idade de ensaio foram separadas por associação a cada composto, sendo o teor de Ca(OH)₂ e o teor de CaCO₃ determinados pela aplicação de fatores relacionando as massas moleculares dos compostos (Equação 01 e Equação 02):

$$Ca(OH)_2 = \frac{M_{Ca(OH)_2}}{M_{H_2O}} \cdot PM = \frac{74}{18} \cdot PM = 4,11 \cdot PM \quad (1)$$

Ca(OH)₂ = teor de portlandita (%);

$M_{Ca(OH)_2}$ = massa molecular da portlandita (=74mol);

M_{H_2O} = massa molecular da água (=18mol);

PM = perda de massa referente à decomposição da portlandita (%).

$$CaCO_3 = \frac{M_{CaCO_3}}{M_{CO_2}} \cdot PM = \frac{100}{44} \cdot PM = 2,27 \cdot PM \quad (2)$$

CaCO₃ = teor de carbonato de cálcio (%);

M_{CaCO_3} = massa molecular do carbonato de cálcio (=100mol);

M_{CO_2} = massa molecular do anidrido carbônico (=44mol);

PM = perda de massa referente à decomposição do anidrido carbônico (%).

Para a faixa dos hidratos, como se trata de mais de um composto, não foi aplicado fator de ajuste, pois seriam necessárias aplicar a relação entre a massa molecular de cada composto e da água, dificultando a análise.

A água quimicamente combinada (AQC) foi calculada por meio da Equação 03 [40].

$$\text{AQC (\%)} = \text{Hidratos}_{(120^{\circ}\text{C a } 400^{\circ}\text{C})} + \text{Ca(OH)}_2_{(400^{\circ}\text{C a } 465^{\circ}\text{C})} \quad (3)$$

A *Difração de raios X (DRX)* foi realizada para a identificação dos compostos hidratados do cimento Portland formados em cada idade. Os resultados do ensaio geraram um difratograma com picos característicos para cada fase cristalina, os quais foram comparados com fichas padrão (American Mineralogist Crystal Structure Database [44]), permitindo a identificação dos compostos. Os difratogramas foram obtidos em um Difratorômetro de raios X de pó modelo Miniflex®300 (marca Rigaku), operando em modo Step, com Scan speed de 0,5 s e Scan step de 0,03°, em ângulos de 5 a 100°. Este equipamento possui radiação de Cu K α ($\lambda = 1,54051 \text{ \AA}$) e fonte de energia com 30 kV e 10 mA.

Para observar o formato e as características dos poros, bem como, a conexão entre eles nas argamassas estudadas, foi utilizada a *microscopia eletrônica de varredura (MEV)*. O equipamento utilizado para as análises foi o VEGA3, da marca Tescan, utilizando-se o detector do tipo Elétrons Secundários (“secondary electron” – SE), resultantes de baixa energia (<50eV) que formam imagens com alta resolução (3-5 nm).

As amostras foram retiradas da parte central do corpo de prova prismático (4x4x16 cm), após o ensaio de compressão, excluindo as extremidades, sendo submetidas ao forno com temperatura de 40°C durante 24 horas.

Foram obtidas imagens com ampliações em 120 e 300 vezes para uma análise geral da morfologia da amostra. Em seguida foram geradas imagens variando as ampliações entre 700 e 8.000 vezes, a fim de melhor analisar os poros e possíveis conectividades de cada amostra.

Por fim, ampliou-se em 10.000 vezes a imagem buscando a visualização dos cristais obtidos da hidratação de cimento Portland.

2.3 Análise dos dados

Os dados foram analisados no programa SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*, versão 20.0). A normalidade de distribuição dos dados foi verificada com o teste de Shapiro-Willk. Os resultados entre as diferentes argamassas e idades de ensaio foram comparados com os testes T e ANOVA com *Post Hoc* de Tukey ($p < 0,05$). Foram consideradas diferenças estatisticamente significativas quando $p < 0,05$. O resultado do Teste *Post Hoc de Tukey* foi apresentado por meio de letras sobrescritas. Letras iguais indicam resultados semelhantes ($p > 0,05$), e letras diferentes, determinam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

3. Resultados e discussão

Os valores obtidos de resistência à tração na flexão, resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico das argamassas nas idades de 7, 28 e 42 dias são apresentados na tabela 7.

Tabela 7.
Resistência mecânica das argamassas nas idades 7, 28 e 42 dias.

Argamassa	Tração (MPa)				Compressão (MPa)				Módulo de Elasticidade Dinâmico (MPa)			
					M±DP							
	7	28	42	p*	7	28	42	p*	7	28	42	p*
A1(0,0/0,0)	3,31± 0,16 ^{Ea}	4,12± 0,28 ^{Db}	4,24± 0,08 ^{Db}	<0,001	11,00± 0,78 ^{Fa}	13,80± 1,05 ^{Fb}	13,86± 1,01 ^{Fb}	0,001	20,38± 0,73 ^D	20,77± 0,68 ^{CD}	19,92± 1,37 ^C	0,532
A2(0,6/0,0)	3,96± 0,23 ^{Fa}	6,04± 0,32 ^{Eb}	6,08± 0,61 ^{Fb}	<0,001	12,65± 0,48 ^{Ga}	15,88± 1,07 ^{Gb}	17,15± 0,94 ^{Gb}	<0,001	20,74± 0,51 ^{Da}	22,50± 1,42 ^{Db}	22,75± 0,18 ^{Cb}	0,005
A3(0,9/0,0)	2,32± 0,02 ^{Cda}	4,21± 0,69 ^{Db}	5,08± 0,65 ^{Eb}	0,001	5,27± 0,58 ^{DEa}	11,87± 0,90 ^{Eb}	11,72± 0,92 ^{Eb}	<0,001	14,17± 1,39 ^{Ba}	18,18± 2,70 ^{Cab}	20,35± 0,32 ^{Cb}	0,009
A4(0,0/0,2)	2,26± 0,18 ^{BCDa}	2,74± 0,26 ^{ABb}	2,75± 0,28 ^{ABb}	<0,001	4,96± 0,69 ^{CDEa}	6,84± 0,61 ^{BCb}	6,54± 0,60 ^{BCb}	<0,001	12,10± 0,51 ^{Ca}	13,30± 0,67 ^{Bb}	12,03± 0,90 ^{ABa}	0,002
A5(0,0/0,4)	2,01± 0,11 ^{ABCa}	2,33± 0,15 ^{Ab}	2,52± 0,25 ^{Ab}	<0,001	3,70± 0,64 ^{Ba}	4,68± 0,80 ^{Ab}	4,86± 0,74 ^{Ab}	<0,001	10,02± 0,47 ^{BC}	10,24± 0,25 ^{AB}	10,18± 0,45 ^{AB}	0,536
A6(0,6/0,2)	2,63± 0,26 ^{Da}	3,77± 0,21 ^{CDb}	3,78± 0,56 ^{CDb}	<0,001	5,96± 0,68 ^{Ea}	7,91± 0,73 ^{Db}	7,52± 0,78 ^{CDb}	<0,001	10,23± 0,92 ^{BCa}	13,05± 0,91 ^{Bb}	13,50± 0,18 ^{Bb}	<0,001
A7(0,6/0,4)	1,92± 0,38 ^{ABCa}	3,29± 0,52 ^{BCb}	3,01± 0,38 ^{ABb}	<0,001	4,03± 0,68 ^{BCa}	6,38± 0,75 ^{Bb}	6,27± 0,52 ^{Bb}	<0,001	8,15± 0,68 ^{Ba}	10,40± 2,16 ^{ABb}	9,85± 2,39 ^{ABa}	0,008
A8(0,9/0,2)	1,72± 0,04 ^{ABa}	3,19± 0,35 ^{BCb}	3,40± 0,13 ^{BCb}	<0,001	4,29± 0,25 ^{BCDa}	7,55± 0,47 ^{CDb}	8,48± 0,80 ^{Dc}	<0,001	4,71± 1,59 ^{Aa}	9,38± 1,48 ^{Ab}	10,07± 1,51 ^{ABb}	<0,001
A9(0,9/0,4)	1,54± 0,08 ^{Aa}	2,40± 0,07 ^{Ab}	2,82± 0,42 ^{ABb}	<0,001	2,57± 0,30 ^{Aa}	5,20± 0,34 ^{Ab}	6,53± 0,68 ^{BCc}	<0,001	4,16± 1,10 ^{Aa}	8,30± 1,45 ^{Ab}	9,06± 1,34 ^{Ab}	<0,001
p**	<0,001	<0,001	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,001	-	<0,001	<0,001	<0,001	-

p* = comparações de cada argamassa nos diferentes tempos: ANOVA e *Post Hoc de Tukey* (letras minúsculas); p** = comparações entre as argamassas para cada tempo: ANOVA e *Post Hoc de Tukey* (letras maiúsculas) (letras diferentes: com diferenças estatisticamente significantes; letras iguais: sem diferenças estatisticamente significantes).

Observa-se na Tabela 7 a influência do aditivo AEH nos valores de resistência à tração na flexão e resistência à compressão. Quando o aditivo AEH foi utilizado isoladamente e em teor moderado, A2(0,6/0,0), verificou-se um ganho de resistência, como também foi referenciado por Bauer e Oliveira [23].

Assim, sua resistência à compressão aos 7 e 28 dias ficou 15% superior à A1(0,0/0,0), passando a 23,7% em 42 dias. Já a argamassa A3(0,9/0,0), com o maior teor de AEH isolado, atingiu a metade da resistência de A1(0,0/0,0) aos 7 dias. Essa diferença diminuiu em 42 dias, porém ainda ficou 15% menor que o valor obtido pela argamassa de referência nessa idade. Isso ocorreu, pois, o emprego do AEH em altos teores, além de aumentar o tempo de pega das argamassas [45] retardou a hidratação do cimento e a formação dos compostos, como será visto posteriormente. Assim, a velocidade de formação dos compostos pode ter sido alterada, conseqüentemente a argamassa não atingiu a resistência prevista (referência) aos 42 d. Essa redução de resistência mecânica associada a altos teores de AEH também foi verificada por outros autores [20,21,23]. O efeito do uso isolado do AEH sobre a resistência à compressão pode ser melhor visualizado na Fig.4 (a), aos 7, 28 e 42 dias.

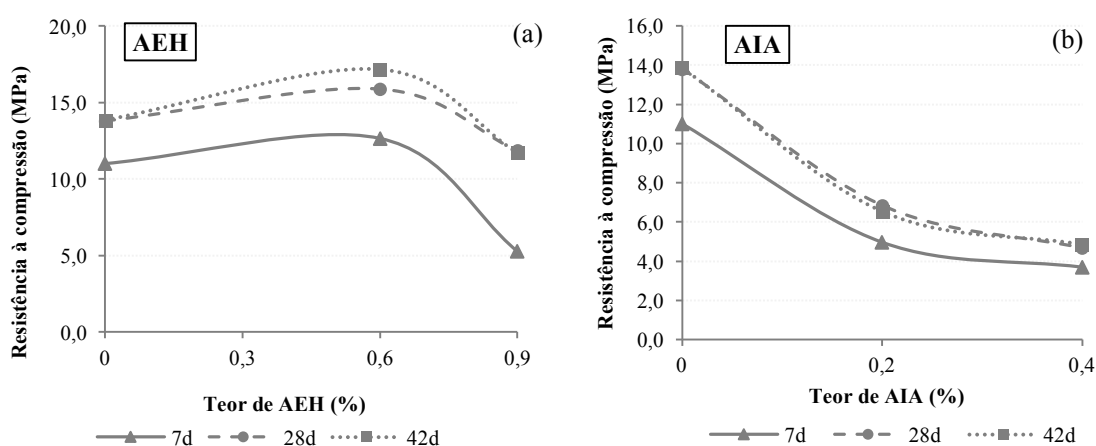


Fig. 4. Ação do teor dos aditivos isolados na resistência à compressão das argamassas. (a) Efeito do AEH; (b) Efeito do AIA.

O emprego isolado do AIA diminuiu a resistência das argamassas em todas as idades ensaiadas (Tabela 7). Mesmo em A4(0,0/0,2), com o menor teor empregado, a resistência à compressão

atingiu 53% da resistência de A1(0,0/0,0) aos 28 dias, enquanto A5(0,0/0,4) alcançou apenas 39%. Isso demonstra que a incorporação de ar nas argamassas promove redução de resistência, possivelmente, devido ao aumento de porosidade e teor de vazios [13], como mostra a Fig.4 (b), para 7, 28 e 42 dias, diferentemente do obtido por Bauer e Oliveira [23].

Para as argamassas com os dois aditivos, analisando misturas com os mesmos teores de AIA, observou-se uma diminuição de resistência inicial (7d) ao se aumentar o teor do AEH. Esse efeito pode ser observado comparando-se A6(0,6/0,2) com A8(0,9/0,2) e A7(0,6/0,4) com A9(0,9/0,4), aos 7 dias. Logo, foram encontradas diferença de até 36% na resistência em função do maior teor de AEH, devido a menor formação de compostos, conforme mencionado anteriormente. No entanto, com o tempo essas diferenças não foram mais observadas, conforme também encontrado por outros autores [23].

Comparando-se as argamassas com mesmo teor de AEH e diferentes teores de AIA, também foi perceptível a redução de resistência com o aumento do AIA. Em A9(0,9/0,4) obteve-se resistência 40% inferior do que em A8(0,9/0,2) aos 7 dias, diferença essa, diminuída ao longo do tempo. Mesmo com ambos os aditivos atuando nessas argamassas, verificou-se aqui o efeito predominante do AIA, diminuindo a resistência assim como quando foi empregado isoladamente. Para Bauer e Oliveira [23] o comportamento das argamassas com os dois aditivos apresentou tendências variadas de acordo com a proporção areia/cimento empregada.

Em uma análise ao longo do tempo, verificou-se um aumento significativo ($p < 0,05$) da resistência dos 7 para os 28 dias para todas as argamassas, como já era esperado. Nesse período, o aumento mais expressivo (125%) foi detectado para A3(0,9/0,0), que recebeu o maior teor de AEH isolado, fazendo com que sua resistência aos 7 dias fosse baixa devido ao maior retardo na hidratação do cimento. Já entre os 28 e 42 dias, foram detectadas diferenças estatisticamente significativas apenas em A8(0,9/0,2) e A9(0,9/0,4), o que em termos numéricos representou um ganho médio de 1,0 MPa na resistência à compressão. A resistência à compressão de

A8(0,9/0,2) aumentou em 76% e 97% aos 28 e 42 dias, respectivamente, em relação aos 7 dias, enquanto A9(0,9/0,4) aumentou em 102% e 154%. Essas argamassas também receberam alto teor de AEH (0,9%) combinado ao AIA, possivelmente fazendo com que a formação de seus compostos sofresse maior atraso e, assim, de 28 para 42 dias ainda fosse verificado ganho de resistência pela hidratação tardia do cimento.

A Fig. 5 mostra a influência do teor de AEH (Fig. 5 a) e do teor de AIA (Fig. 5 b) na resistência à compressão das argamassas com os dois aditivos combinados (AEH e AIA), para as diferentes idades.

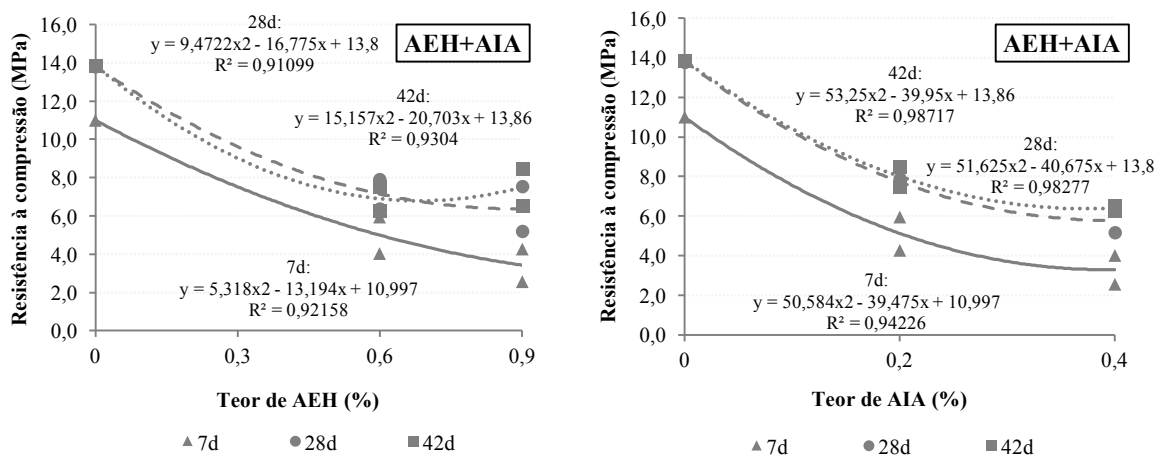


Fig. 5. Ação do teor dos aditivos na resistência à compressão das argamassas combinadas. (a) Efeito do AEH; (b) Efeito do AIA.

Os resultados do módulo de elasticidade dinâmico e resistência à tração também se comportaram de forma parecida com a resistência à compressão. No entanto, as argamassas A1(0,0/0,0) e A5(0,0/0,4) não apresentaram variações significativas para o módulo de elasticidade dinâmico ao longo do tempo. Uma boa correlação ($R^2=0,88$) foi obtida entre a resistência a compressão e o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas estabilizadas nas idades ensaiadas (Fig.6), conforme também obtido por Silva e Campiteli [46] para outros tipos de argamassas.

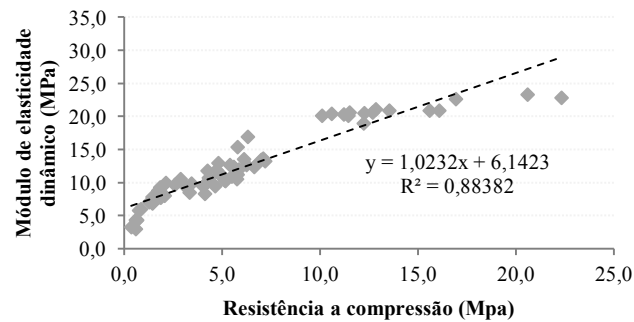


Fig. 6. Correlação entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas.

A diferença de resistência mecânica proporcionada pelo emprego dos aditivos nas argamassas também foi observada na densidade de massa, como mostra a Fig. 7.

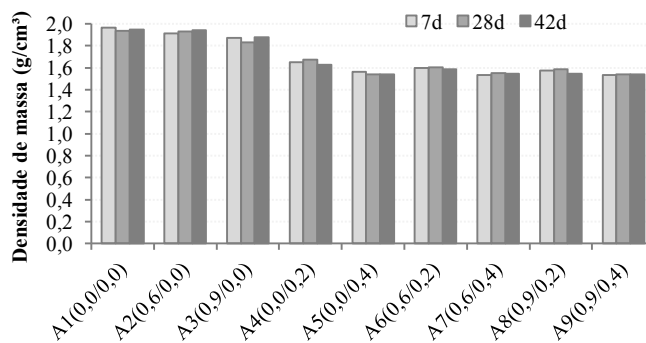


Fig. 7. Densidade de massa no estado endurecido das argamassas aos 7, 28 e 42 dias.

Percebe-se que o emprego do AIA, isoladamente ou combinado ao AEH, reduziu a densidade das argamassas devido ao ar incorporado. O uso apenas de AEH não proporcionou alterações significativas na densidade em relação à A1(0,0/0,0). As maiores densidades foram observadas para as mesmas argamassas onde se verificaram as maiores resistências, isso é, aquelas sem AIA. As argamassas apresentaram pequenas alterações na densidade ao longo do tempo, com oscilação, não sendo verificada uma tendência.

Como o emprego do AEH nas argamassas estabilizadas aumenta os tempos de pega, pode ocorrer uma maior quantidade de água livre no sistema, tornando-se importante a avaliação da retração proporcionada em cada argamassa [12]. Assim, a Fig. 8 apresenta a retração linear parcial e total das argamassas ao longo de 42 dias.

Os resultados apresentados na Fig. 8 demonstram que a retração linear total das argamassas não divergiu muito entre as argamassas estudadas ($p^*=0,03$). A maior diferença obtida foi entre A1(0,0/0,0) e A6(0,6/0,2), onde se obteve, respectivamente, a maior (0,66mm) e a menor (0,36mm) retração linear obtidas. Todas as argamassas se enquadrariam como adequadas como argamassa de revestimento na classificação proposta por Bauer et al. [19].

Ao mesmo tempo, ao se analisar a retração parcial (por períodos) das argamassas, observou-se maiores diferenças, já que o emprego e interação dos aditivos resulta em comportamentos distintos da estrutura. No primeiro dia de medição (8d) A1(0,0/0,0) foi a argamassa com maior retração (0,13mm), atingindo seu pico (0,19mm) aos 14d, permanecendo com uma retração mais uniforme ($\approx 0,15$ mm) até 35d, caindo para 0,04mm em 42d.

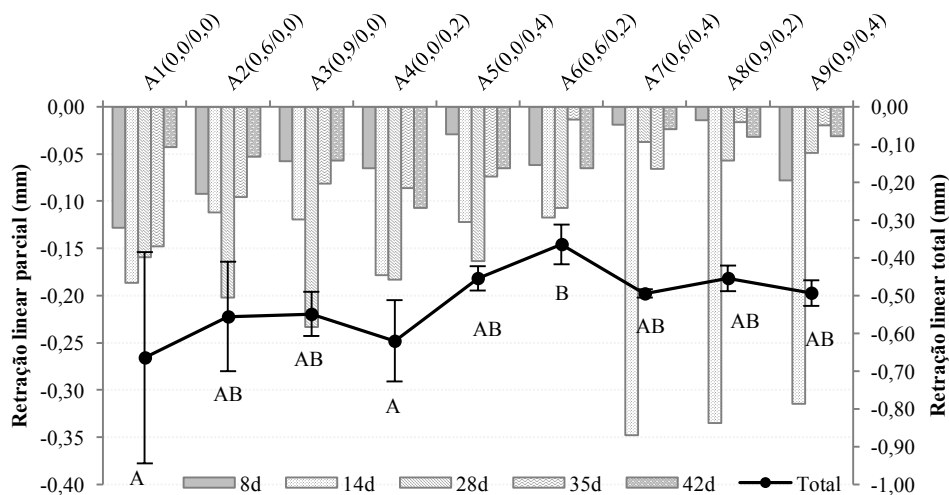


Fig. 8. Retração linear das argamassas ao longo de 42d.

Letras maiúsculas = comparação entre as retrações totais das argamassas ($p=0,03$) - ANOVA com *Post Hoc* de *Tukey* (letras iguais: sem diferenças estatisticamente significativas; letras diferentes: com diferença estatisticamente significativa).

As argamassas A2(0,6/0,0) e A3(0,9/0,0), somente com AEH, tiveram comportamentos semelhantes entre si, com retração linear crescente até 28d, onde atingiram seus maiores valores, 0,20mm e 0,23mm, respectivamente, passando a um decréscimo (em módulo).

As argamassas A4(0,0/0,2) e A5(0,0/0,4), somente com AIA, tiveram suas maiores retrações em 14d e 28d, diminuindo aproximadamente pela metade em 35d e 42d. Aos 42d, a argamassa A4(0,0/0,2) foi a que apresentou maior retração (0,11mm).

As argamassas contendo os dois aditivos apresentaram a maior retração em 14d, onde atingiram picos elevados entre 0,30mm e 0,35mm, valores esses, até 84% superiores ao obtido pela argamassa de referência no mesmo período. Nos demais períodos a retração foi inferior a 0,10mm. Esse comportamento possivelmente seja devido ao retardo no processo de hidratação do cimento, atingindo os picos de retração com o consumo da água na formação mais tardia dos compostos. A exceção foi A6(0,6/0,2), que recebeu os menores teores dos dois aditivos, apresentando maior regularidade nas retrações ao longo do tempo, sendo obtidas as maiores retrações entre 14d e 28d ($\approx 0,12$ mm). A Fig. 9 apresenta a variação parcial e total de massa das argamassas ao longo do ensaio de retração, monitoradas por 42d.

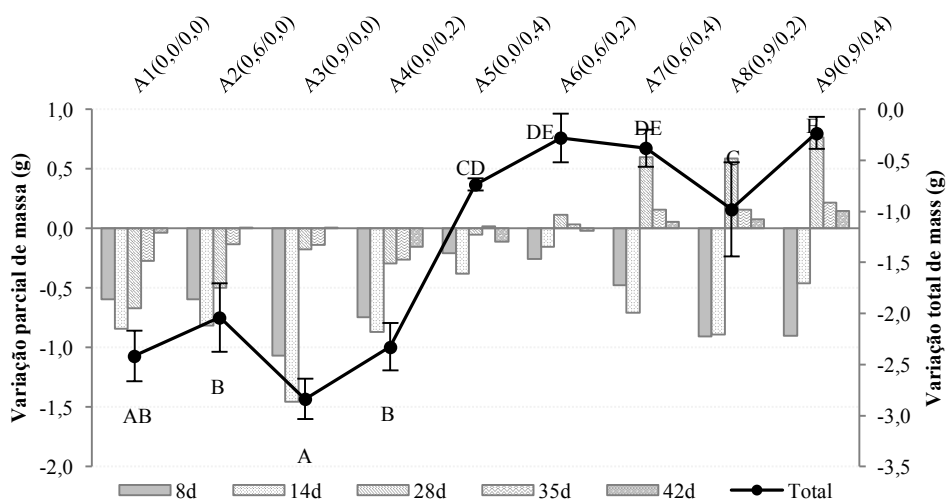


Fig. 9. Variação de massa das argamassas durante ensaio de retração.

Letras maiúsculas = comparação entre as retrações totais das argamassas ($p < 0,001$) - ANOVA com Post Hoc de Tukey (letras iguais: sem diferenças estatisticamente significativas; letras diferentes: com diferença estatisticamente significativa).

Pela Fig. 9 pode-se observar um ganho de massa parcial a partir dos 28d nas argamassas que receberam os dois aditivos, o que ocorre após o pico de retração sofrido aos 14d (Fig. 8). Esse aumento de massa possivelmente seja devido ao efeito da carbonatação ocorrida nessas argamassas, conforme será apresentado posteriormente. No processo de carbonatação, para cada mol de Ca(OH)_2 que se transforma em CaCO_3 ocorre um ganho de massa de 35% [47]

O volume de CaCO_3 é maior do que o de Ca(OH)_2 , mas mesmo assim a carbonatação pode induzir a retração devido a redistribuição e reorganização dos espaços na pasta [48]. Nota-se que durante a carbonatação ocorre perda de moléculas de água e diminuição de volume de pasta endurecida. Assim, ocorre dissolução do Ca(OH)_2 em zonas em que ele se encontra sob tensão e precipitação do CaCO_3 em espaços livres de tensão [48], proporcionando o rearranjo.

Segundo Neville [15] a retração por carbonatação aumenta a parcela de retração irreversível, podendo contribuir para a fissuração generalizada da superfície exposta. Para concretos esse efeito não é significativo na prática pois a parcela carbonatada representa pouco frente ao grande volume de concreto [48]. No entanto, para argamassas de revestimento onde se tem maior porosidade e uma área de exposição ao ar bastante ampla, com reduzida espessura de aplicação ($\approx 2,5$ cm), esse efeito pode ser relevante para a durabilidade e permeabilidade.

Os resultados de porosidade e permeabilidade das argamassas são apresentados a seguir, avaliadas por meio dos ensaios de capilaridade, permeabilidade ao vapor e à água líquida, sendo as características e conexão dos poros inspecionadas por microscopia eletrônica de varredura. Os coeficientes de capilaridade e absorção de água estão apresentados, respectivamente, na Fig. 10 e Fig. 11, para as idades 28 e 42 dias.

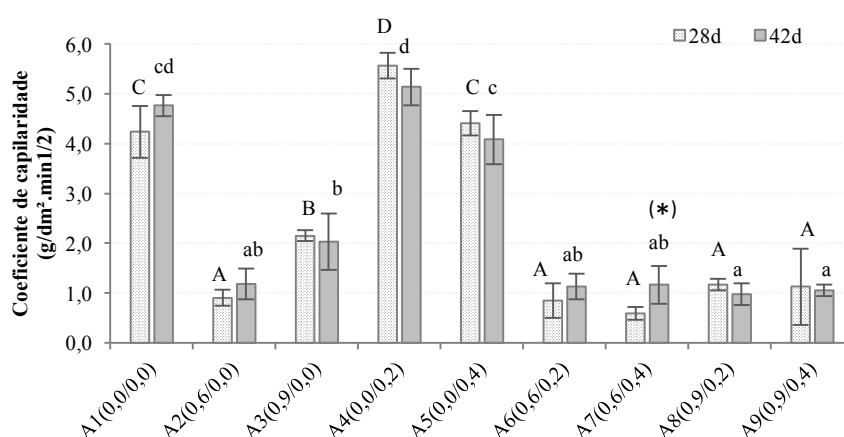


Fig. 10. Coeficiente de capilaridade das argamassas aos 28 e 42 dias.

(*) $p < 0,05$ = comparação entre as idades 28 e 42 dias - Teste T.

Letras maiúsculas = comparação entre as argamassas em 28 dias ($p < 0,001$) - ANOVA e *Post Hoc de Tukey*; letras minúsculas = comparação entre as argamassas em 42 dias ($p < 0,001$) - ANOVA e *Post Hoc de Tukey*; (letras iguais: sem diferenças estatisticamente significativas; letras diferentes: com diferença estatisticamente significativa).

Observa-se na Fig. 10 que as argamassas com apenas o AIA apresentaram maior coeficiente de capilaridade do que A1(0,0/0,0). O maior valor obtido foi para a argamassa A4(0,0/0,2), 31 % superior à A1(0,0/0,0), enquanto em A5(0,0/0,4) o resultado foi semelhante ao obtido para a argamassa de referência.

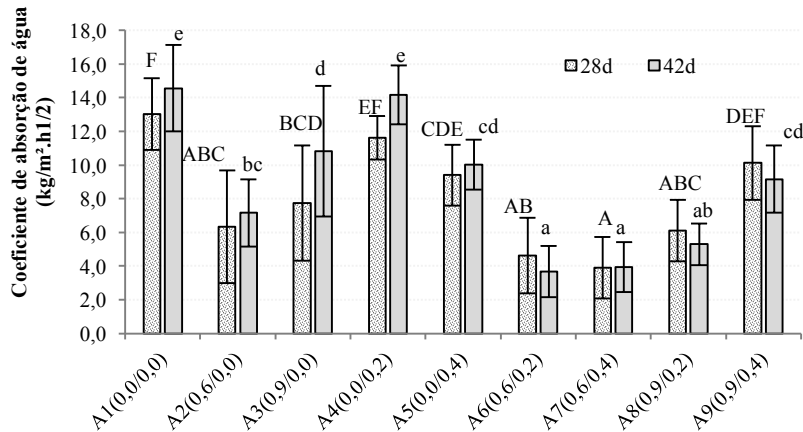


Fig. 11. Coeficiente de absorção de água das argamassas em 28d e 42d.

Letras maiúsculas = comparação entre as argamassas em 28 dias ($p < 0,001$) - ANOVA e *Post Hoc de Tukey*; letras minúsculas = comparação entre as argamassas em 42 dias ($p < 0,001$) - ANOVA e *Post Hoc de Tukey*; (letras iguais: sem diferenças estatisticamente significativas; letras diferentes: com diferença estatisticamente significativa).

Na Fig. 11 observa-se que não houve aumento na permeabilidade em relação à A1(0,0/0,0) com o uso de AIA. Esses resultados podem estar vinculados com a estabilidade das bolhas de ar e consequentes características de porosidade proporcionadas pelo AIA nas argamassas, onde pequenas quantidades do aditivo proporcionam bolhas de ar mais instáveis [6]. Dessa forma, é possível que tenha ocorrido uma taxa maior de colapso dessas bolhas em A4(0,0/0,2), assim como, maior conexão entre elas e/ou maior fragilidade da película envoltória, deixando-as mais suscetíveis à penetração da água para continuidade do fluxo. Com maior teor de AIA, é possível que em A5(0,0/0,4) possa ter se formado uma porosidade mais fechada devido à ação repelente do aditivo e maior estabilidade das bolhas de ar, as quais se afastam devido à repulsão por cargas de mesmo sinal.

Já nas argamassas somente com AEH, os coeficientes de capilaridade (Fig. 10) e de absorção de água (Fig. 11) diminuíram, quando comparados à A1(0,0/0,0). Esse comportamento também

foi observado nas argamassas com os dois aditivos, predominando o efeito do AEH. Possivelmente esses resultados foram obtidos em função da configuração e características de seus poros gerados com o emprego de AEH, os quais permitem colmatção pela expansão dos compostos, que adentram esses poros. Outro fator seria a carbonatação ocorrida nas argamassas, a qual será abordada posteriormente, podendo diminuir a permeabilidade devido à menor porosidade superficial.

Entre as argamassas com AEH, verificou-se uma tendência de aumento da permeabilidade por capilaridade e absorção de água com o aumento do teor de AEH. Esse comportamento também foi verificado por Jantsch [17] que obteve coeficientes médios de capilaridade de 0,5 e 1,1 $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$, e de absorção de água de 0,8 e 3,9 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{1/2})$, respectivamente, para as argamassas estabilizadas de 36 e 72 horas. Com o aumento do teor de AIA foi obtida uma diminuição da percolação de água nas argamassas que receberam somente esse aditivo. Já nas misturas com os dois aditivos não foi observada uma tendência de comportamento ao se aumentar o teor de AIA. Pela classificação proposta por Bauer et al. [19] para a capilaridade, baseada na NBR 13281 [49], as argamassas somente com AIA e a argamassa de referência se enquadrariam em C4, com desempenho insuficiente para revestimento. Já as argamassas que receberam AEH se enquadrariam em C1 e C2, demonstrando nível adequado de desempenho neste quesito.

Analisando-se os resultados obtidos ao longo do tempo de 28 e 42 dias (Fig. 10), observou-se que os coeficientes de capilaridade e absorção não sofreram alterações significativas ao longo do tempo avaliado, exceto em A7(0,6/0,4), onde o coeficiente de capilaridade dobrou de valor de 28 para 42 dias.

A Fig. 12 apresenta correlações regulares entre o coeficiente de capilaridade e a resistência mecânica das argamassas. A Fig. 12 (a) apresenta as argamassas com apenas AEH (A2 e A3),

e a Fig. 12 (b) as com apenas AIA (A4 e A5). Para as argamassas com os aditivos combinados não foram obtidas correlações com a capilaridade.

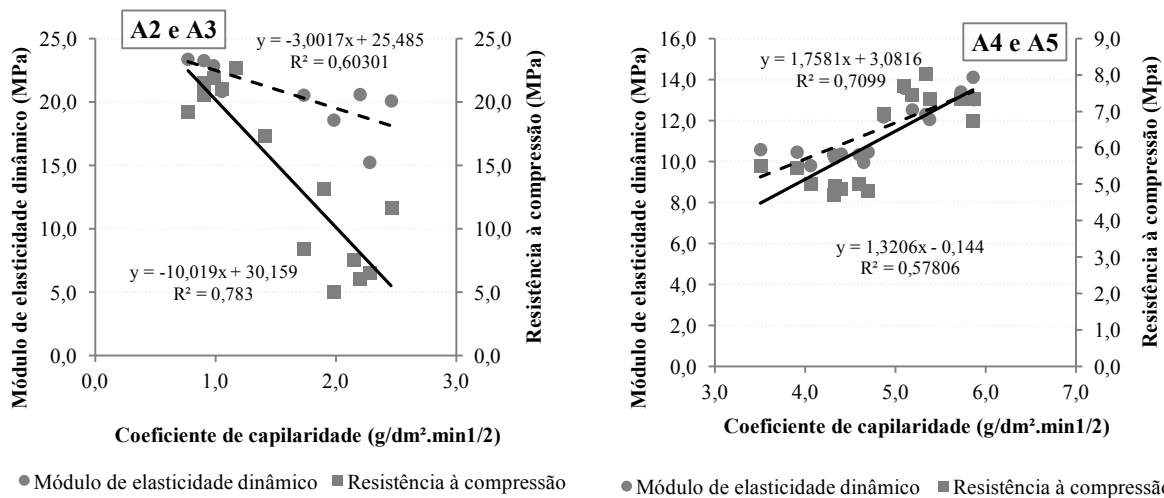


Fig. 12. Correlação entre o coeficiente de capilaridade e o módulo de elasticidade dinâmico e resistência à compressão das argamassas A2 e A3 (a) e A4 e A5 (b).

A Fig. 13 apresenta as correlações entre o coeficiente de absorção de água e a resistência mecânica. As argamassas foram separadas em grupos conforme semelhança de comportamento, sendo A1 a A3 (sem AIA), A4 a A5 (apenas com AIA) e A6 a A9 (com os dois aditivos). De forma geral, foram obtidos coeficientes de determinação mais expressivos com o módulo de elasticidade dinâmico (Fig. 13 a) do que com a resistência à compressão (Fig. 13 b).

Pela Fig. 12 (a) percebe-se uma correlação inversa entre o coeficiente de capilaridade e a resistência à compressão e ao módulo de elasticidade dinâmico para as argamassas apenas com AEH. Esse comportamento também é mostrado na Fig. 13 para o coeficiente de absorção de água da argamassa de referência e de todas as que receberam AEH em sua composição. Nessas argamassas, quanto maior a resistência, menor a permeabilidade, o que está atrelada a configuração dos poros formados.

Já para as argamassas A4(0,0/0,2) e A5(0,0/0,4) (Fig. 12 b) (Fig. 13), somente com AIA, foram obtidas correlações diretas, sendo a permeabilidade à água maior quanto mais alta a resistência e o módulo dinâmico.

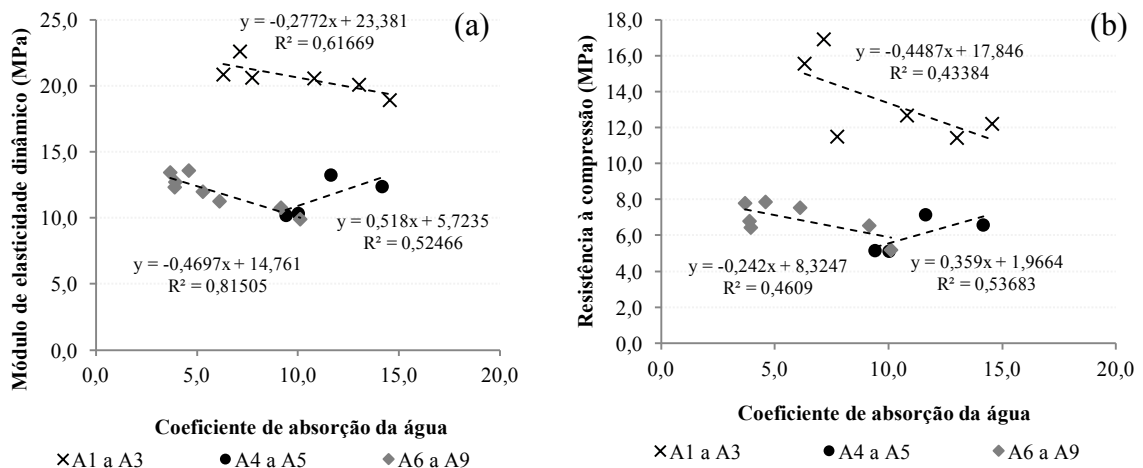


Fig. 13. Correlação entre o coeficiente de absorção de água e a resistência mecânica das argamassas. (a) módulo de elasticidade dinâmico (b) resistência à compressão.

As bolhas de ar formadas pelo AIA são delimitadas por uma película bem definida (Fig.21), as quais possivelmente acabam interrompendo e/ou desviando a percolação de água pelos poros [50]. Por essa teoria, com o aumento no teor de ar incorporado a absorção de água poderia ser reduzida, diminuindo também a resistência mecânica devido ao aumento de porosidade [13]. Logo, a estrutura da argamassa com maior quantidade de bolhas de ar, desde que isoladas, poderia proporcionar maior caminho para a percolação de água. Isso ocorre devido aos desvios de fluxo ocasionados quando a água não consegue penetrar pelas membranas estáveis que delimitam essas bolhas, tendendo a desviar ou interromper o fluxo. No entanto, na análise geral das argamassas estudadas essa hipótese não foi verificada, apenas nas misturas somente com AIA, demonstrando que o potencial capilar depende das características dos poros, como o raio, a tortuosidade e a conectividade entre eles [51].

Uma correlação regular ($R^2=0,67$) foi estabelecida na Fig. 14 (a) entre os coeficientes de capilaridade e de absorção de água. Percebe-se uma tendência geral da permeabilidade à água nas argamassas, onde, ao se aumentar a permeabilidade por absorção também se aumenta a percolação por capilares.

O coeficiente de absorção de água também apresentou uma correlação regular ($R^2=0,66$) com a retração total das argamassas (Fig 14 b). As argamassas mais propícias à absorção de água

foram as que sofreram as maiores retrações, devido ao aumento da permeabilidade pela fissuração ocorrida.

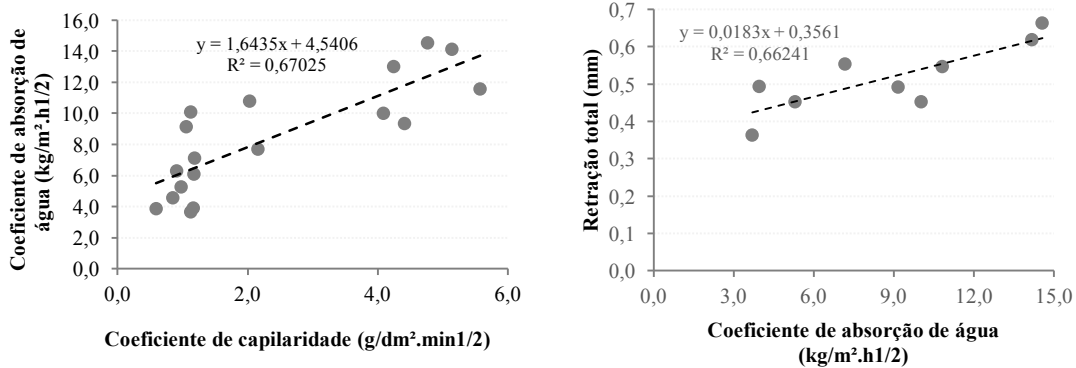


Fig. 14. Correlação entre o coeficiente de capilaridade e o coeficiente de absorção de água das argamassas (a), e entre o coeficiente de absorção de água e a retração total, ao longo do tempo.

A permeabilidade ao vapor das argamassas estudadas e os respectivos coeficientes de permeabilidade ao vapor são apresentados na Fig. 15. Observa-se que a permeabilidade ao vapor é pouco afetada com a introdução somente do AEH (A2(0,6/0,0) e A3(0,9/0,0)), sendo que o coeficiente se mantém igual ou até diminui, em comparação à A1(0,0/0,0). Já nas argamassas com AIA houve um aumento da permeabilidade ao vapor, seja quando utilizado sozinho ou em conjunto com o AEH, em uma relação direta com o teor empregado (Fig. 16).

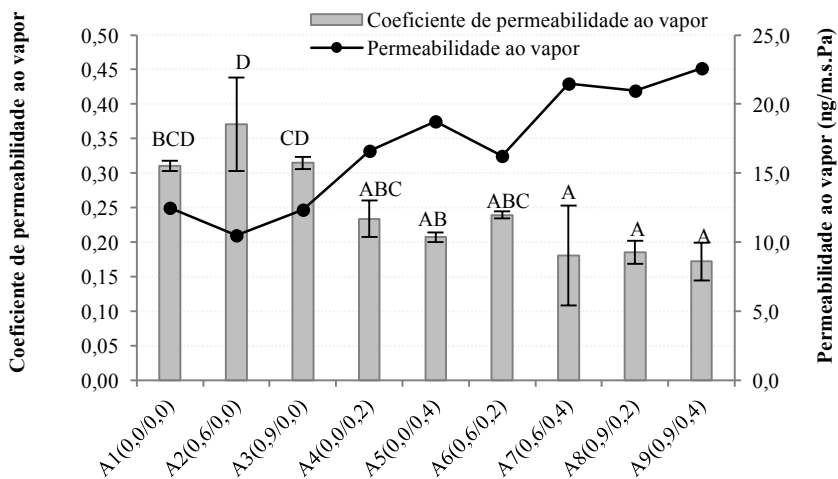


Fig. 15. Permeabilidade ao vapor e coeficiente de permeabilidade ao vapor das argamassas. Letras maiúsculas = comparação entre as argamassas ($p < 0,001$) - ANOVA com Post Hoc de Tukey (letras iguais: sem diferenças estatisticamente significativas; letras diferentes: com diferença estatisticamente significativa).

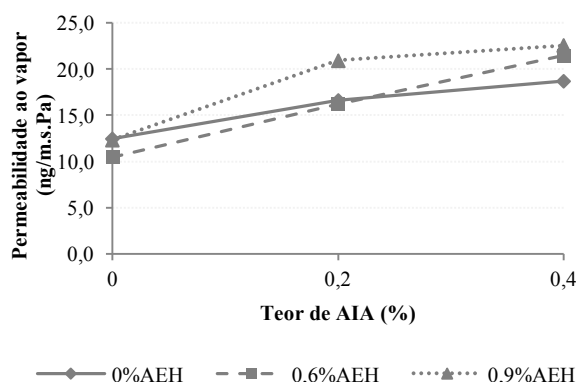


Fig. 16. Influência do teor de AIA na permeabilidade ao vapor das argamassas.

Esse comportamento possivelmente seja devido a maior porosidade proporcionada pelo AIA, tornando mais propícia a propagação do vapor, a qual pode ocorrer por difusão ou convecção [52]. Analisando os valores obtidos para as argamassas com mesmo teor de AIA, percebe-se que o aumento do teor de AEH proporcionou maior permeabilidade ao vapor das argamassas, como pode ser observado também pela Fig. 16.

As argamassas com os dois aditivos foram as mais permeáveis ao vapor de água, uma vez que uniram a porosidade proporcionada pelo emprego do AIA com uma estrutura interna das bolhas de ar com maior rugosidade e conectividade, devido ao emprego do AEH (como pode ser observado na Fig. 22).

Uma boa correlação ($R^2=0,76$ e $0,81$) entre a permeabilidade ao vapor e a resistência mecânica das argamassas pode ser observada na Fig. 17, onde quanto maior a resistência menor a permeabilidade ao vapor. Essa correlação obtida possivelmente seja em função das características e estrutura dos poros das argamassas endurecidas.

Comparando-se os resultados obtidos nessa pesquisa com os demais autores que realizaram este ensaio para argamassas estabilizadas, percebe-se semelhança de valores com os resultados de Jantsch [17], a qual utilizou a mesma solução salina (KNO_3). Assim, a permeabilidade da argamassa A6(0,6/0,2) (16,23 ng/m.s.Pa) ficou muito próxima à obtida na argamassa estabilizada de 72h (normal) (16,75 ng/m.s.Pa) [17]. Já as argamassas A7(0,6/0,4), A8(0,9/0,2) e A9(0,9/0,4), respectivamente com 21,49, 20,95 e 22,57 ng/m.s.Pa, se assemelharam mais aos

resultados obtidos para a argamassa estabilizada de 36h (normal) (19,78 ng/m.s.Pa) [17]. Os resultados de A1(0,0/0,0), A2(0,6/0,0) e A3(0,9/0,0) ficaram na faixa entre 10,0 e 12,0 ng/m.s.Pa, aproximando-se dos resultados obtidos por Temp [16] para argamassas de reboco médio e estabilizada ($\approx 9,0$ ng/m.s.Pa).

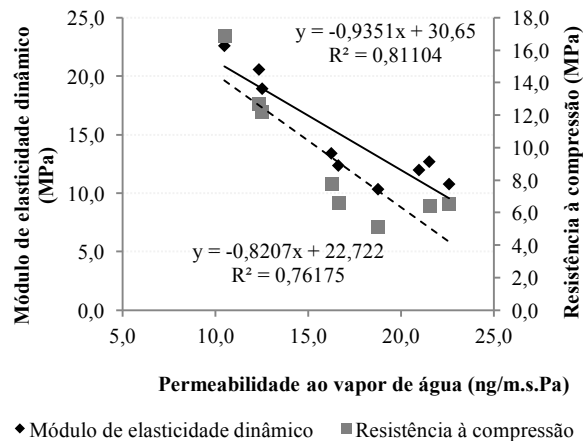


Fig. 17. Correlação da permeabilidade ao vapor de água com o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à compressão das argamassas.

Microscopia eletrônica de varredura

As argamassas foram submetidas a análises qualitativas no microscópio eletrônico de varredura aos 28 dias para avaliar características das estruturas formadas e a ação dos aditivos sobre a morfologia das mesmas. A Fig. 18 apresenta a argamassa A1(0,0/0,0) ampliada em 120 vezes. A argamassa A1(0,0/0,0) demonstra ser uma estrutura com poucos poros (Fig. 18), apresentando algumas bolhas de ar incorporado e aprisionado. As bolhas de ar apresentam formato circular uniforme de superfície lisa. Foram observadas fissuras nos poros sugestivas de retração, podendo também terem sido ocasionadas durante o processo de remoção das amostras. Foi realizada uma ampliação em 10.000 vezes da área demarcada e identificada com a letra “C”, localizada na extremidade da bolha de ar “A”, a fim de se observar a formação dos cristais. Consegue-se observar a presença de cristais de etringita e portlandita [53].

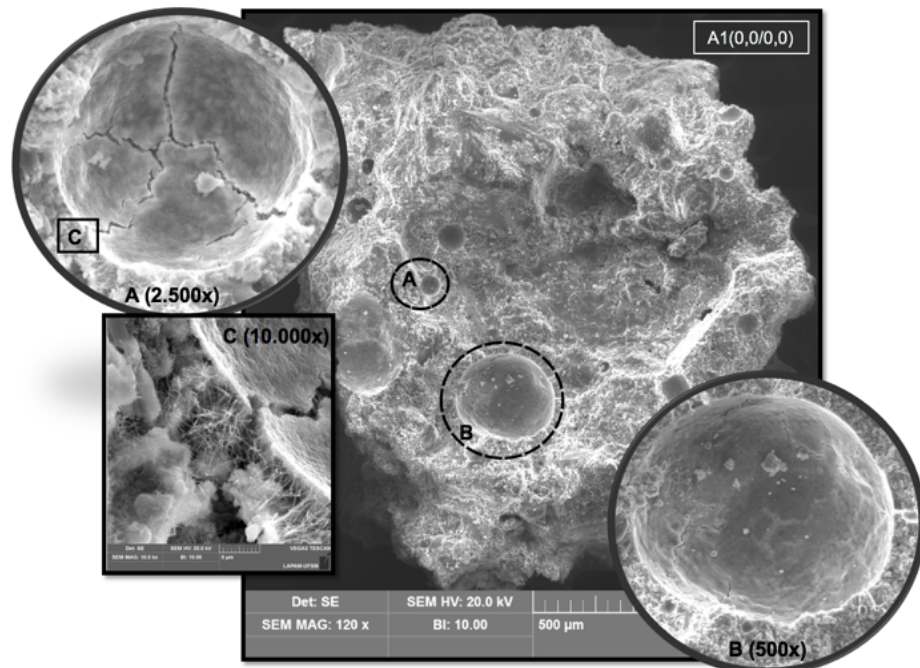


Fig. 18. Microscopia eletrônica de varredura da argamassa A1 (0,0/0,0) aos 28d.

Na Fig. 19 são apresentadas as imagens obtidas para as argamassas com apenas AEH, sendo A2(0,6/0,0) em Fig. 19 (a) e A3(0,9/0,0) em Fig. 19 (b).

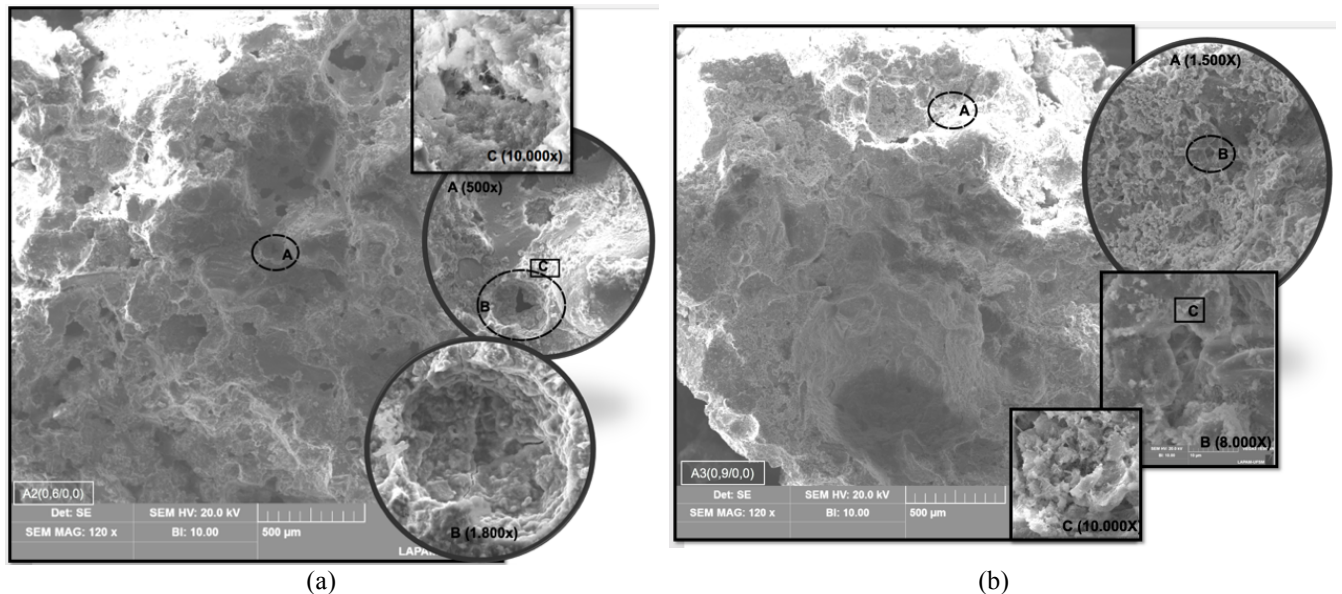


Fig. 19. Microscopia eletrônica de varredura das argamassas com AEH - A2(0,6/0,0) e A3(0,9/0,0), aos 28d.

Pela Fig. 19 observa-se a ação do AEH na estrutura das argamassas, as quais apresentam estruturas com poucos poros espaçados, de formatos irregulares e superfície rugosa. A Fig. 19 (a) mostra também na argamassa A2(0,6/0,0) a presença de supostos vazios capilares

localizados abaixo de grãos do agregado (removido), os quais tiveram o fluxo interrompido pela superfície desse agregado, não conseguindo contornar o grão, formando, assim, pequenas “bolsas” de ar nessa região (detalhes A e B). Pelo detalhe do poro ampliado em 1.800 vezes (“B”) na Fig. 19 (a), observa-se que não existe uma superfície bem definida, observando-se rugosidades internas de possíveis colmatações desses poros devido à invasão pelos compostos hidratados. A estrutura cristalina apresentada na ampliação “C” mostra agulhas de etringita e placas hexagonais de portlandita mal formada [53], provavelmente devido ao espaço restrito para a sua conformação. Já em A3(0,9/0,0) (Fig. 19 b) consegue-se identificar apenas algumas agulhas de etringita [53].

Na Fig. 20 são apresentadas as imagens das argamassas apenas com AIA, sendo verificadas mudanças na estrutura em relação à A1(0,0/0,0) e às argamassas com apenas AEH. Assim, é possível identificar-se um aumento na quantidade de poros, bem como, alterações em suas características.

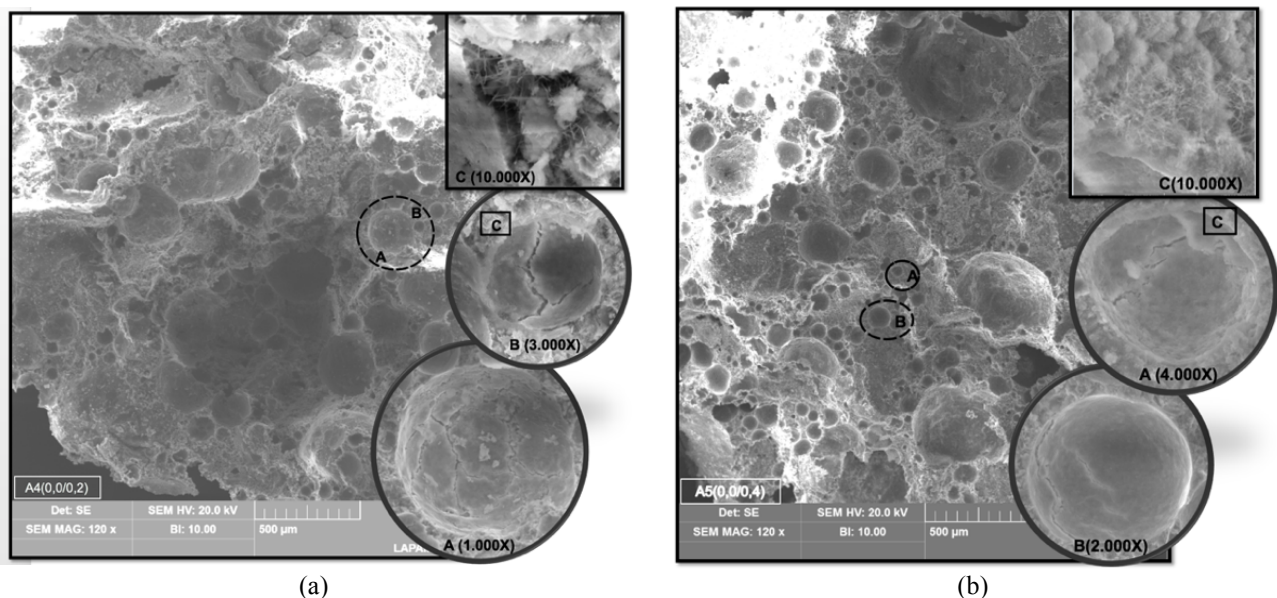


Fig. 20. Microscopia eletrônica de varredura das argamassas com AIA - A4(0,0/0,2) e A5(0,0/0,4), aos 28d.

Nota-se pela análise qualitativa que a quantidade de poros aumenta com o aumento no teor do aditivo, isso é, de A4(0,0/0,2) para A5(0,0/0,4). Os poros possuem formato circular uniforme e encontram-se espalhados ao longo da pasta e, também, concentrados ao redor dos agregados.

A superfície das bolhas é lisa e bem definida, com fissuras prováveis de retração, porém, também poderiam ser devido à extração da amostra. A ampliação em 10.000 vezes no detalhe “C” mostra agulhas de etringita bem definidas e placas hexagonais de portlandita [53].

As imagens das argamassas que receberam a composição dos dois aditivos, em diferentes teores, são apresentadas na Fig. 21.

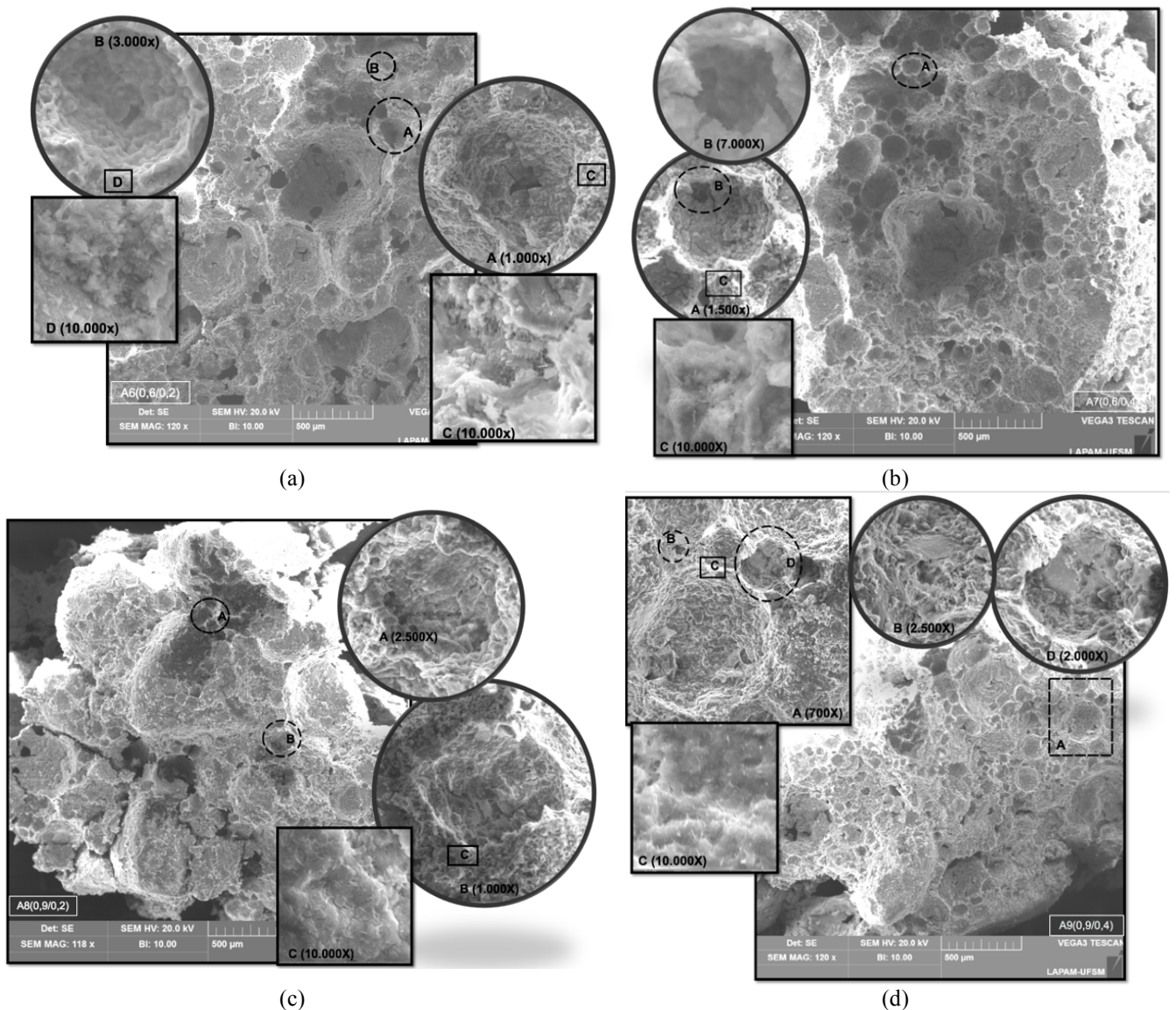


Fig. 21. Microscopia eletrônica de varredura das argamassas com AEH e AIA - A6(0,6/0,2), A7(0,6/0,4), A8(0,9/0,2) e A9(0,9/0,4), aos 28d.

Observa-se, aparentemente, maior quantidade de poros nas argamassas com maior teor de AIA, A7(0,6/0,4) e A9(0,9/0,4). Porém, a interação do AEH com o AIA não produziu bolhas de ar com películas tão delimitadas, verificando-se maior rugosidade nas paredes desses vazios e

possíveis conexões entre eles, seja por fissuras de retração ou por rede de capilares. Em A6(0,6/0,2) e A7(0,6/0,4) verifica-se uma maior definição da superfície das bolhas de ar, mesmo com uma rugosidade. Já em A8(0,9/0,2) e A9(0,9/0,4), com maior teor de AEH, ao se ampliar a área das bolhas de ar observou-se estruturas bastante irregulares, já não tão definidas, de maior rugosidade e com provável intrusão de compostos hidratados.

Nessas argamassas com os dois aditivos não foi possível a identificação com nitidez dos cristais formados. No entanto, foi possível se detectar nas superfícies das argamassas A8(0,9/0,2) e A9(0,9/0,4) a precipitação de CaCO_3 [53], possivelmente resultante do processo de carbonatação, conforme mencionado nos demais resultados obtidos.

A carbonatação é uma reação química que ocorre entre o hidróxido de cálcio e o gás carbônico, formando carbonato de cálcio e água, a qual se processa por difusão. Assim, essa reação depende, dentre outros fatores, do teor de CO_2 do ambiente, da quantidade de Ca(OH)_2 livre e das características de porosidade da argamassa (dimensão e distribuição dos poros, grau de umidade, etc) [54,55].

O ambiente mais propício para a propagação da carbonatação se dá em estruturas com poros interligados e parcialmente preenchidos com água, uma vez que, a reação necessita da presença de água para ocorrer, no entanto, a taxa de difusão do CO_2 é bem maior no ar do que na água [56]. Segundo Vaghetti [57], a profundidade de carbonatação será maior quanto mais alta for a porosidade, a permeabilidade e o fator água/cimento.

As argamassas com AIA tendem a ser mais porosas e, na presença de AEH podem conter maior umidade interna devido à maior quantidade de água livre proporcionada pelo retardo das reações de hidratação do cimento. Além disso, as argamassas estabilizadas, que fazem o uso desses dois aditivos, empregam traços com alto consumo de cimento. Dessa forma, essas argamassas apresentam-se mais propícias à carbonatação, conforme os resultados que serão apresentados no gráfico da Fig. 22 e difratograma da Fig.27.

A avaliação da evolução do grau de hidratação das argamassas com o tempo foi realizada pela análise termogravimétrica e difração de raios X, sendo os resultados apresentados a seguir.

As argamassas foram submetidas a análises termogravimétricas aos 7, 28 e 42 dias, sendo as curvas termogravimétricas derivadas (DTG) de cada argamassa apresentadas na Fig. 22 para as idades estudadas. Com a sobreposição das curvas de diferentes idades de ensaio para cada argamassa (Fig. 22) foi possível observar a ação dos aditivos, em diferentes teores, sobre a formação/decomposição dos compostos hidratados do cimento Portland. Para a análise das curvas, considerou-se as faixas de temperaturas estabelecidas no item 2.2, sendo os resultados quantificados na Tabela 8.

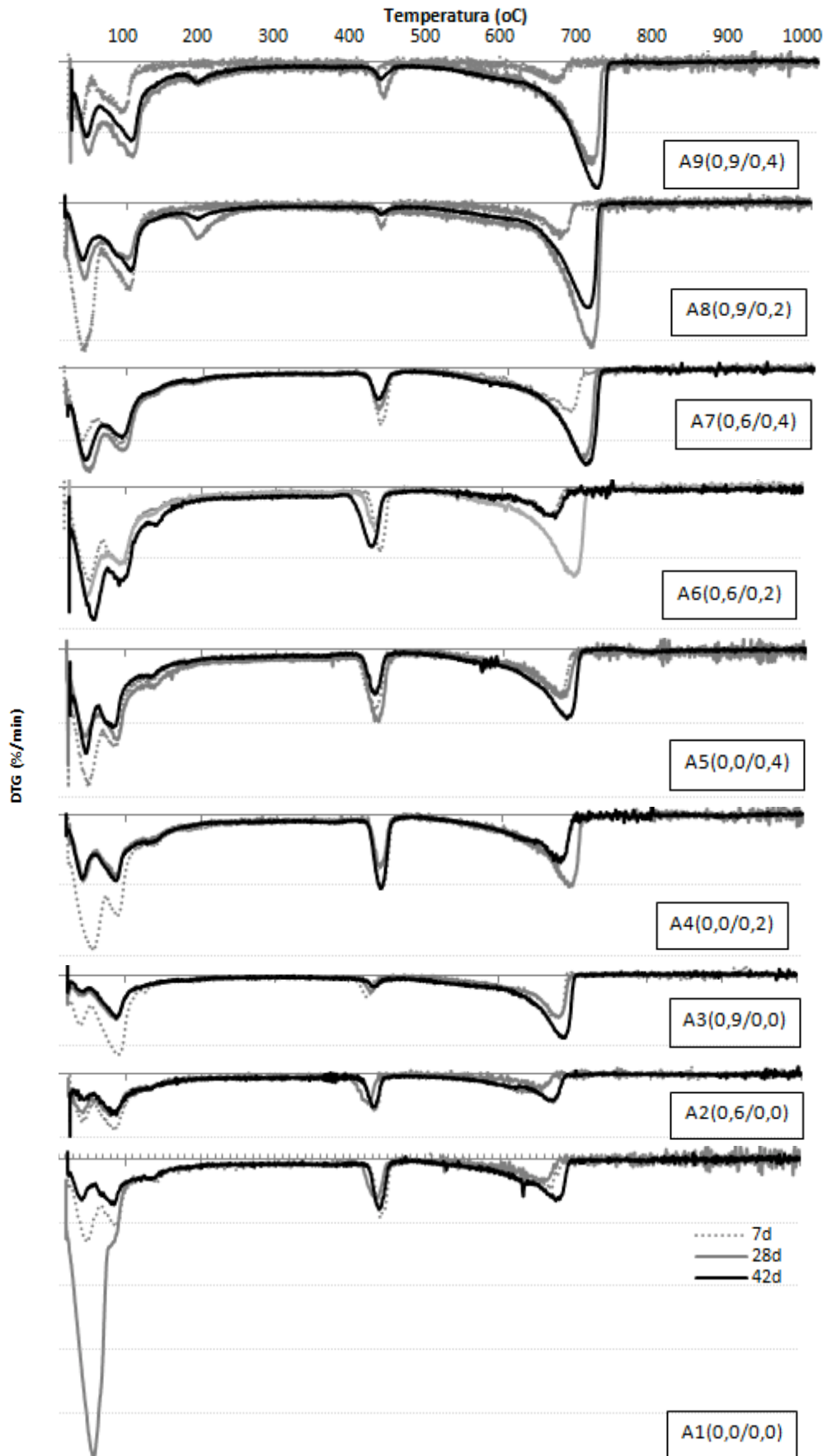


Fig. 22. Termogravimetria derivada das argamassas aos 7, 28 e 42 dias.

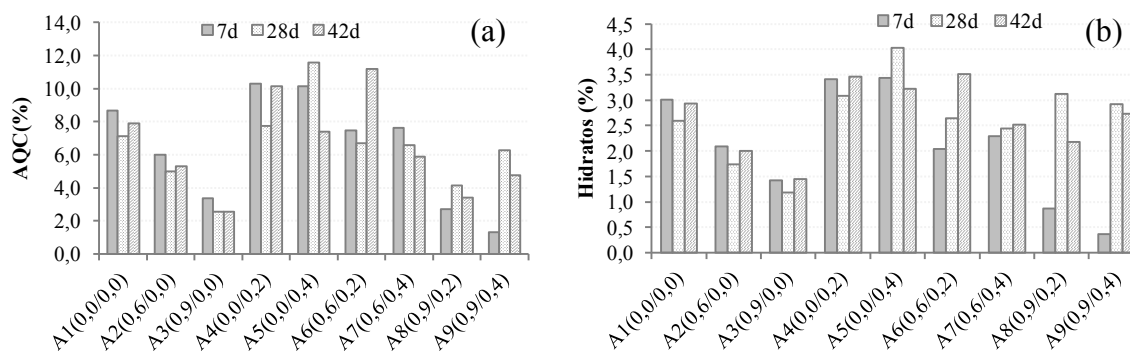
Tabela 8.

Perda de massa por termogravimetria das argamassas aos 7, 28 e 42 dias.

Idade	7D				28D				42D				
	%	AL	AQC		CaCO ₃ (x 2,27)	AL	AQC		CaCO ₃ (x 2,27)	AL	AQC		CaCO ₃ (x 2,27)
			Hidratos	Ca(OH) ₂ (x 4,11)			Hidratos	Ca(OH) ₂ (x 4,11)			Hidratos	Ca(OH) ₂ (x 4,11)	
Arg	20°C- 120°C	120°C- 400°C	400°C- 465°C	465°C- 1000°C	20°C- 120°C	120°C- 400°C	400°C- 465°C	465°C- 1000°C	20°C- 120°C	120°C- 400°C	400°C- 465°C	465°C- 1000°C	
A1(0,0/0,0)	6,32	3,01	5,66	6,37	16,63	2,60	4,52	4,65	3,64	2,93	4,96	9,79	
A2(0,6/0,0)	4,66	2,09	3,91	6,74	3,45	1,73	3,27	2,97	3,31	2,00	3,32	6,18	
A3(0,9/0,0)	4,99	1,42	1,93	6,61	2,69	1,18	1,38	7,13	2,24	1,44	1,12	10,78	
A4(0,0/0,2)	9,59	3,41	6,90	9,48	4,81	3,09	4,65	13,48	4,72	3,46	6,66	10,23	
A5(0,0/0,4)	8,84	3,44	6,71	9,17	6,84	4,04	7,55	9,52	6,27	3,22	4,18	13,23	
A6(0,6/0,2)	7,21	2,04	5,43	5,01	8,17	2,64	4,07	16,81	9,98	3,51	7,66	6,59	
A7(0,6/0,4)	6,47	2,29	5,32	8,08	8,36	2,45	4,13	15,52	7,07	2,51	3,35	17,88	
A8(0,9/0,2)	10,13	0,87	1,84	5,41	5,72	3,12	1,04	25,65	5,35	2,18	1,20	18,80	
A9(0,9/0,4)	4,43	0,37	0,93	1,57	8,38	2,92	3,35	17,64	6,73	2,73	2,03	22,20	

AL= água livre; AQC = água quimicamente combinada

A Fig. 23 mostra a água quimicamente combinada relativa aos hidratos e hidróxido de cálcio (120°C a 465°C) - AQC (Fig. 23 a) e a perda de massa referente aos hidratos (Fig. 23 b).

**Fig.23.** Água quimicamente combinada- AQC (a) e perda de massa referente aos hidratos (b), das argamassas aos 7, 28 e 42 dias.

Os resultados de perda de massa referente ao hidróxido de cálcio são apresentados na Fig. 24 (a), enquanto as perdas de massa referentes à decomposição do carbonato de cálcio (CaCO₃) encontram-se na Fig. 24 (b).

Observa-se pela Fig. 23 e Fig. 24 (a) que uso somente do AEH, A2(0,6/0,0) e A3(0,9/0,0), diminuiu a formação de hidratos e portlandita, resultando em menor quantidade de AQC, em relação à A1(0,0/0,0). Esse efeito do AEH sobre a formação dos compostos hidratados foi mais significativo quanto maior o teor empregado, independente da idade de análise, conforme também verificado por Mees et al. [22]. A formação dos compostos hidratados manteve-se praticamente constante ao longo dos 42 para essas argamassas. Esse comportamento era

esperado já que o AEH age sobre as partículas de cimento, retardando a hidratação e aumentando os tempos de pega [11].

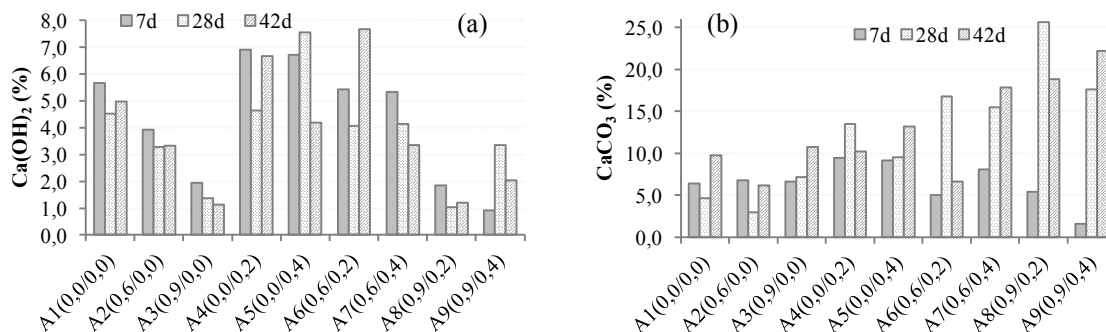


Fig. 24. Perda de massa referente ao Ca(OH)_2 (a) e ao CaCO_3 (b) 7d, 28d e 42d

As argamassas com o uso somente de AIA apresentaram maior quantidade de AQC, em relação à A1(0,0/0,0), não sendo verificada uma tendência de acordo com o teor de aditivo empregado. Com a introdução das microbolhas de ar incorporadas ocorre uma melhora na trabalhabilidade e um aumento no volume de pasta. Assim, tem-se maior espaço para a formação dos compostos hidratados [9].

Nas argamassas com os dois aditivos foram obtidos teores de AQC menores do que a argamassa de referência, com exceção de A6(0,6/0,2) aos 42d. Nessas argamassas novamente foram observadas taxas de hidratação menores quanto maior o teor de AEH, sem um comportamento definido para o aumento do teor de AIA. Assim, as argamassas com AIA associado à 0,6% de AEH apresentaram teores de AQC mais próximos ao obtido por A1(0,0/0,0). Já nas argamassas que associaram AIA à 0,9% de AEH, o efeito predominante foi o do AEH, diminuindo os teores de AQC. Isso demonstra o efeito predominante do AEH sobre a formação dos compostos hidratados.

Observando o comportamento das argamassas ao longo do tempo percebe-se uma diferença na quantidade de AQC, oscilando entre comportamentos crescentes e decrescentes, independente do tipo e teor de aditivos empregados. A maior variação nos teores de AQC foi observada para A9(0,9/0,4) entre as idades de 7 dias e 28 dias, com um aumento de aproximadamente cinco

vezes. Observou-se ao longo do tempo um crescimento significativo nos hidratos de $A8(0,9/0,2)$ e $A9(0,9/0,4)$, atingindo aos 28 dias um valor, aproximadamente, sete vezes maior que o valor obtido em 7 dias, para $A9(0,9/0,4)$. Esse aumento nos hidratos também foi acompanhado de um ganho expressivo na resistência mecânica (Tabela 7).

Esse comportamento possivelmente se deve ao aumento do tempo de pega proporcionado pelo maior teor de AEH, combinado com o uso de AIA, o que também contribui para o retardo do início das reações de hidratação do cimento [45]. No entanto, não foi possível obter uma tendência geral de comportamento para as argamassas ao longo do tempo, em relação à quantidade AQC.

Os teores referentes à desidroxilação da portlandita apresentados na Fig. 24(a) aos 7 dias foram menores para as argamassas com maior teor de AEH. Isso pode ser explicado pelo fato da portlandita ser um produto da hidratação dos silicatos (alita e belita). Logo, foi observada uma maior quantidade de alita, principal responsável pela formação da portlandita, nessas argamassas (Fig. 27), demonstrando o retardo na hidratação e formação desses compostos.

As argamassas que apresentaram o maior teor de $CaCO_3$ aos 7 dias foram as com somente AIA, porém, ao longo do tempo, os maiores teores foram obtidos nas argamassas que utilizaram os dois aditivos. Especialmente em $A8(0,9/0,2)$ e $A9(0,9/0,4)$ foram verificados aumentos significativos no teor de calcita aos 28 dias e 42 dias, o que pode também ser constatado no difratograma de raios X (Fig. 27) e refinamento Rietveld (Fig. 28), indicando possível carbonatação das amostras.

Comparando-se os gráficos da Fig. 24 (a) com o da Fig. 24 (b) pode-se observar nos comportamentos das argamassas ao longo do tempo que quando ocorre o aumento no teor de calcita, na maioria dos casos, ocorre o consumo de portlandita, o que também pode ser constatado no difratograma de raios X (Fig. 27) e refinamento Rietveld (Fig. 28). O teor de $CaCO_3$ também pode ser proveniente dos carboaluminatos formados durante a hidratação, no

entanto, essa parcela é muito pequena. Logo, esse comportamento também indicaria um possível processo de carbonatação.

Todos os resultados obtidos na análise termogravimétrica foram relacionados com a resistência à compressão e com o módulo de elasticidade dinâmico. Os coeficientes de determinação mais significativos foram obtidos entre a resistência mecânica e os hidratos (Fig. 25) e entre a resistência mecânica e água quimicamente combinada somada ao CaCO_3 (Fig. 26 a e Fig. 26 b).

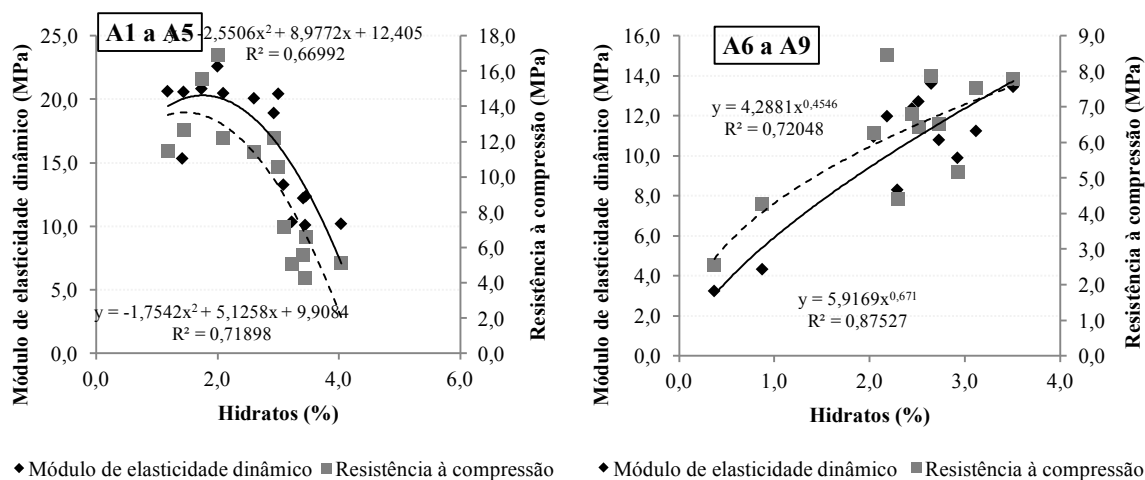


Fig. 25. Relação entre os hidratos e a resistência mecânica das argamassas.

Em todas as análises realizadas observou-se dois grupos de comportamentos distintos entre as argamassas. O grupo de A1 a A5 (Fig. 26 a e Fig.27 a) apresentou uma relação inversa entre hidratos e $\text{AQC} + \text{CaCO}_3$ com a resistência mecânica, com ajuste polinomial de grau 2. Enquanto o grupo de A6 a A9 (Fig. 25 b e Fig. 26 b), com a combinação dos dois aditivos, apresentou uma relação direta e potencial entre as variáveis, como também obtido por Hoppe Filho [40]. Esses comportamentos específicos entre os grupos de argamassas reforçam a importância de um estudo conjunto dos aditivos sobre as propriedades, já que a interação entre eles promove alterações distintas das obtidas com o emprego isolado.

Os hidratos podem ser bons indicadores do grau de hidratação da argamassa [58,59,60], possuindo também grande contribuição na formação de sua resistência mecânica [53], uma vez que, constituem uma malha reticulada que confere maior estruturação ao sistema. No entanto,

as argamassas em estudo utilizam AIA e AEH, formando estruturas com grande quantidade de poros e características específicas, o que interfere na formação da resistência mecânica.

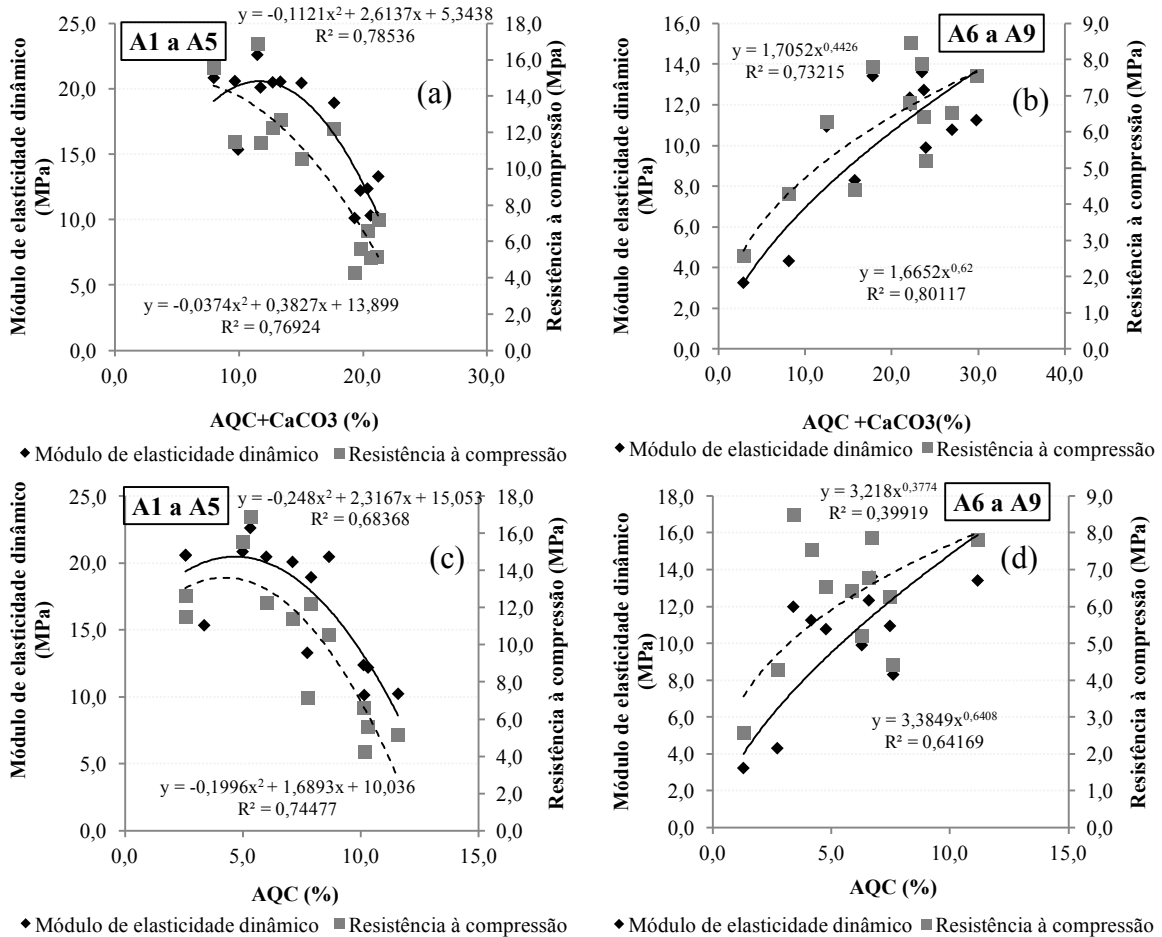


Fig. 26. Relação entre a resistência mecânica e a parcela de água quimicamente combinada somada ao CaCO₃ (AQC+CaCO₃) (a)(b) e somente com a parcela de água quimicamente combinada (AQC)(c)(d).

A Fig. 26 buscou relacionar a resistência mecânica das argamassas com a AQC, avaliando a contribuição do CaCO₃ devido ao processo de carbonatação. Observa-se que somando a parcela de CaCO₃ à AQC foram obtidos coeficientes de determinação mais significativos (Fig. 26 a e Fig. 26 b) do que apenas para AQC. Esse comportamento pode estar associado ao efeito da carbonatação, a qual também contribui para a compactação e resistência das argamassas. Quando o CaCO₃ se forma, provoca retração e rearranjo da estrutura devido ao maior volume e massa molar que o Ca(OH)₂. Dessa forma, ocorre a colmatção dos poros e a redução da porosidade, proporcionando um aumento na resistência.

Foram observadas diferenças mais significativas para o grupo das argamassas de A6 a A9, onde os coeficientes somente para AQC ($R^2= 0,39$ e $0,64$) foram bem inferiores aos obtidos para AQC+CaCO₃ ($R^2=0,73$ e $0,80$). Nesse grupo de argamassas (A6 a A9) foi onde se obteve resultados sugestivos de carbonatação, dessa forma, a parcela de CaCO₃ contribuiu para a formação de resistência das argamassas.

A incorporação de ar das argamassas não é levada em consideração nessas relações entre a resistência mecânica e a formação de compostos hidratados ao longo do tempo. Essa incorporação de ar não inibe a formação dos compostos hidratados, porém, possivelmente torne a estrutura mais porosa, podendo interferir na sua resistência. Além disso, há diferença na porosidade das argamassas contendo apenas AIA e das argamassas utilizando os dois aditivos (AIA+AEH). O AIA proporciona uma incorporação de ar com bolhas de superfície bem definida, com maior estabilidade, constituindo barreiras para a expansão dos compostos hidratados, como pode ser visto nas imagens de microscopia de A4(0,0/0,2) e A5(0,0/0,4) (Fig. 21 e Fig. 21 b). Já a porosidade gerada pela combinação dos dois aditivos resulta em estruturas de poros com superfícies mais instáveis e suscetíveis à invasão pelos compostos hidratados, tornando, dessa forma, sua superfície mais rugosa, como mostram as imagens de microscopia das argamassas A7(0,6/0,2), A8(0,6/0,4), A8(0,9/0,2) e A9(0,9/0,4) (Fig. 22). Assim, nestas argamassas o espaço vazio no interior das bolhas pode ser parcial ou totalmente colmatado pela formação dos compostos hidratados, gerando estruturas com maior resistência do que as obtidas nas argamassas apenas com AIA.

Então, comparando-se os valores de AQC obtidos nas argamassas com o mesmo teor de AEH - A2(0,6/0,0)/ A6(0,6/0,2)/A7(0,6/0,4) e A3(0,9/0,0)/A8(0,9/0,2)/A9(0,9/0,4) - tem-se valores maiores para as argamassas com os dois aditivos, devido à ação do AIA, conforme já explicado. No entanto, a resistência mecânica das argamassas somente com AEH é muito superior à das argamassas com os dois aditivos ao longo do tempo. Ocorre que com o acréscimo de AIA nas

argamassas o teor de ar incorporado é muito maior [26], tornando as estruturas mais porosas, o que acaba por afetar a resistência dessas argamassas.

Comparando as argamassas com mesmo teor de AIA – A4(0,0/0,2)/A6(0,6/0,2)/A8(0,9/0,2) e A5(0,0/0,4)/A7(0,6/0,4)/A9(0,9/0,4) – verifica-se maiores valores de AQC para as argamassas com AIA isolado, no entanto tem-se também as menores resistências mecânicas. A explicação para tal fenômeno baseia-se no fato das argamassas com os dois aditivos possuírem retardo na formação dos produtos hidratados devido à ação do AEH. Ao mesmo tempo, a configuração dos poros para as argamassas com os dois aditivos (Fig. 21) mostra possível invasão dos espaços internos pelos compostos hidratados, podendo conferir maior resistência. Além disso, conforme já visto, o processo de carbonatação ocorrido nessas argamassas também pode contribuir para o aumento da resistência mecânica.

Essa identificação dos compostos hidratados foi também analisada por difração de raios X (Fig. 27), sendo a análise quantitativa pelo método Rietveld apresentada na Fig. 28.

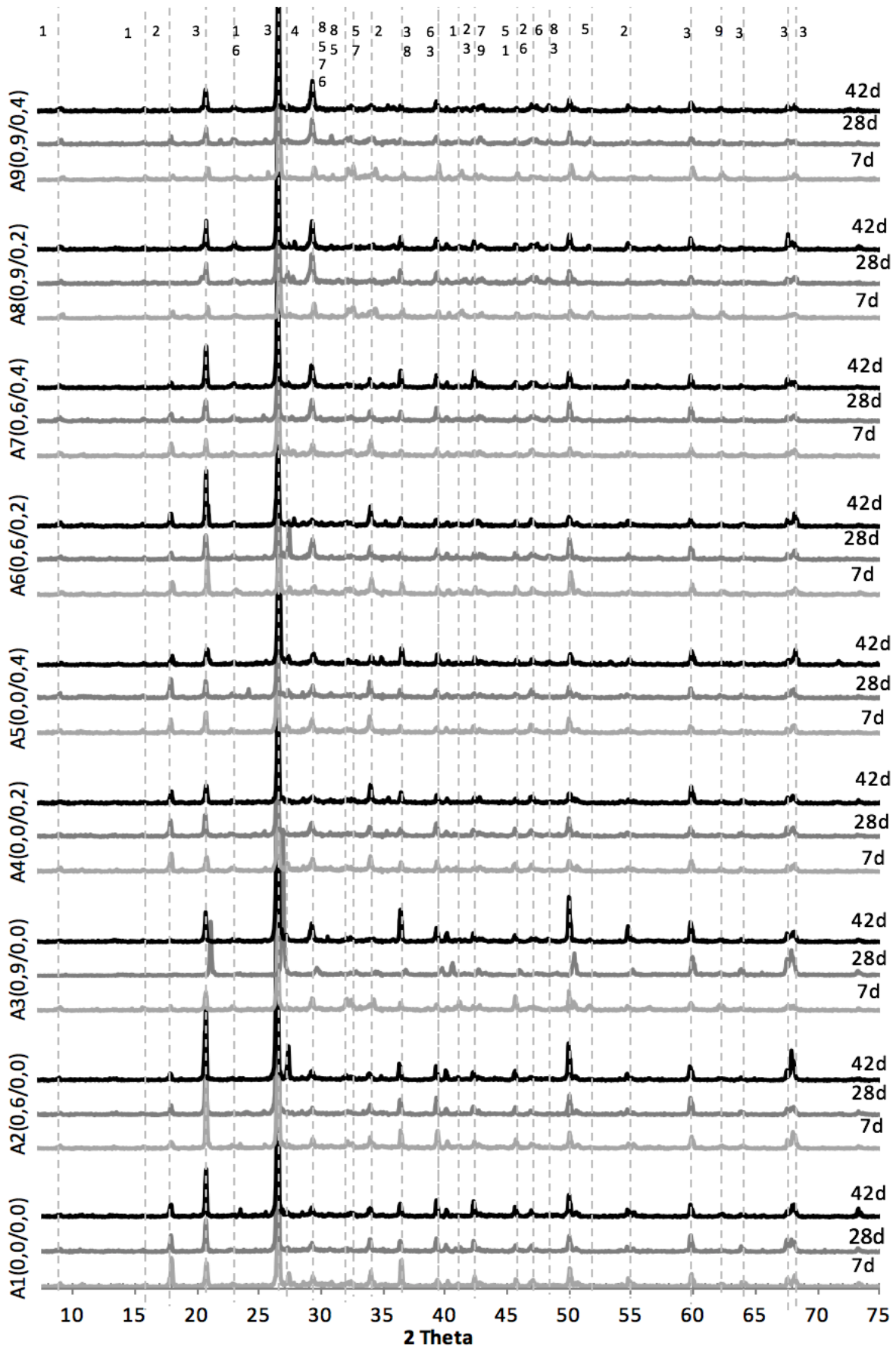


Fig. 27. DRX das argamassas aos 7d, 28d e 42d. Legenda: 1 -Etringita; 2 - Ca(OH)₂; 3 - Quartzo; 4 - Feldspato; 5 - C₃S; 6 - CaCO₃; 7 - C₂S; 8 - C-S-H; 9 - Periclásio

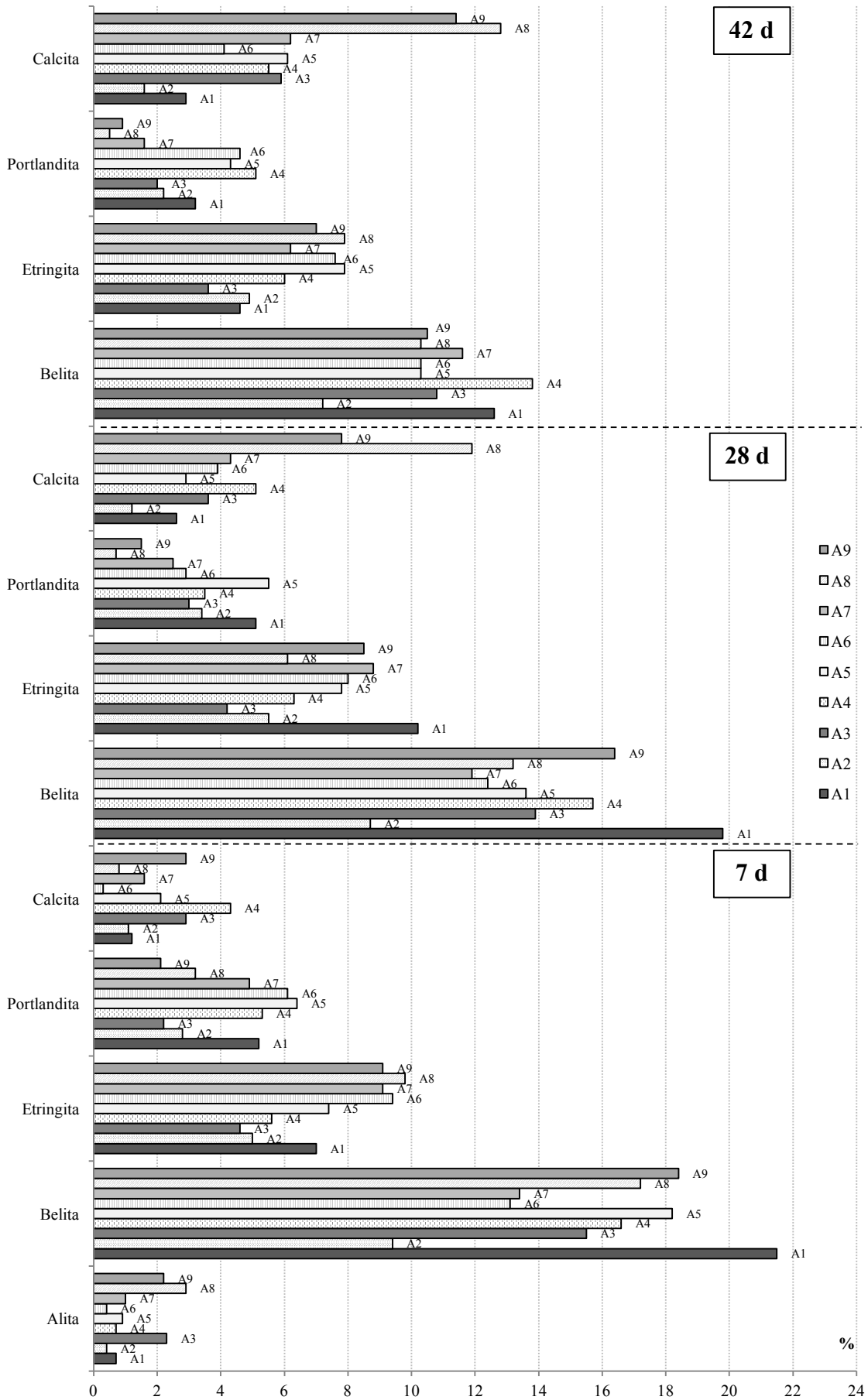


Fig. 28. Análise quantitativa dos compostos por idade (Método Rietveld).

Foram identificados nos difratogramas das argamassas ao longo do tempo, compostos de quartzo (2) e feldspato (3) oriundos do agregado miúdo, uma vez que as amostras foram extraídas das argamassas. De forma geral observou-se uma diminuição das quantidades de alita e belita ao longo do tempo nas argamassas, demonstrando o processo de hidratação progressivo. A alita só foi identificada aos 7 dias, observando-se os maiores teores nas argamassas com os 0,9% de AEH, sendo de três a quatro vezes maior que em A1(0,0/0,0).

Aos 7 dias foi observada maior formação de etringita nas argamassas com os dois aditivos. Já a formação de portlandita foi inferior (menos da metade) nas argamassas somente com AEH e nas argamassas com os dois aditivos associados à teores de 0,9% de AEH, o que, possivelmente, se deve a menor taxa de hidratação dos silicatos nessas argamassas.

As argamassas somente com AIA tiveram difratogramas muito similares entre si e também muito próximos ao obtido pela argamassa de referência, sendo obtidos os maiores teores de Ca(OH)_2 e C-S-H.

Ao longo do tempo foi constatado um aumento no teor de calcita das argamassas, de forma mais significativa nas argamassas com os dois aditivos com teor de 0,9% de AEH, isto é, A8(0,9/0,2) e A9(0,9/0,4). Esse aumento no teor de calcita foi acompanhado de um consumo de portlandita, sendo quase total para essas argamassas citadas. Dessa forma, a Fig. 29 apresenta uma boa correlação inversa ($R^2=0,70$) entre a portlandita e a calcita para as argamassas com os dois aditivos (A6 a A9).

Os resultados obtidos no refinamento Rietveld reforçam os obtidos por termogravimetria, indicando possível carbonatação nessas argamassas.

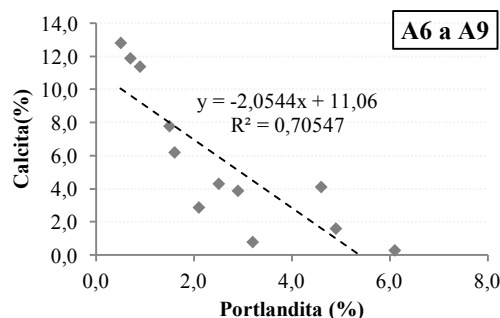


Fig. 29. Correlação entre os teores de portlandita e calcita (DRX) das argamassas com os dois aditivos, ao longo do tempo.

A carbonatação é uma reação química que ocorre de maneira esperada nas argamassas devido à reação dos produtos do cimento com o gás carbônico da atmosfera [55]. Primeiramente e em maior teor, ocorre a carbonatação da portlandita, e em segundo plano, dos silicatos de cálcio. Quando esse processo ocorre de forma acelerada pode proporcionar alterações em suas propriedades, no entanto, não foram encontradas evidências desses efeitos em argamassas sem cal. Para argamassas com cal, há relatos de baixa formação de cristais de carbonatos, prejudicando, assim, a durabilidade do produto final. Essa insuficiência de carbonatação da cal pode provocar a desagregação da camada de reboco, por isso recomenda-se um prazo de espera entre a execução do reboco e a aplicação da pintura, a fim de garantir esse tempo de carbonatação [55,61]. Enquanto a cal não estiver totalmente estabilizada (carbonatada) existe a possibilidade de suas partículas deformarem a superfície do reboco [62].

As argamassas A8(0,9/0,2) e A9(0,9/0,4) apresentaram carbonatação já em 28 dias, porém, expostas a um ambiente de laboratório, onde a concentração de CO_2 tende a ser inferior ao recebido em uma fachada. Assim, observou-se em comparação à argamassa de referência, um processo mais rápido de carbonatação. Isso provavelmente tenha ocorrido devido à configuração e disposição dos poros formados pela interação e teor dos aditivos utilizados. Esse processo mais rápido propiciado pela microestrutura que se formou nessas argamassas merece maior investigação, a fim de se avaliar os efeitos provocados nas propriedades da argamassa após aplicada.

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo determinaram o efeito dos aditivos nas propriedades endurecidas das argamassas em relação à argamassa de referência conforme segue:

O emprego de AEH isolado:

- aumentou a resistência quando em teores moderados, porém, para altos teores houve diminuição, principalmente aos nas primeiras idades;
- diminuiu a permeabilidade e a formação de compostos hidratados;
- proporcionou morfologia densa, com poucos poros de formato irregulares e com superfície interna rugosa.

O emprego de AIA isolado:

- reduziu a resistência mecânica, de acordo com o teor empregado, a absorção de água e a retração;
- aumentou a permeabilidade ao vapor, a capilaridade e a formação de compostos hidratados;
- resultou em uma morfologia altamente porosa, com poros de seção circular bem definida e superfície interna lisa.

O emprego dos aditivos combinados (AEH e AIA):

- diminuiu as resistências mecânicas, o fluxo de água por capilaridade e por absorção e a formação dos compostos hidratados, especialmente nas primeiras idades;
- aumentou a permeabilidade ao vapor de água
- resultou em teores elevados de calcita aos 28 e 42 dias, especialmente as argamassas com maior teor de AEH, sugerindo carbonatação mais acelerada que as demais argamassas, merecendo um estudo específico desses efeitos sobre as propriedades;
- apresentaram uma morfologia com grande quantidade de poros de superfície interna rugosa, aparentando invasão pelos compostos.

De forma geral as propriedades mecânicas e a permeabilidade das argamassas não sofreram alterações significativas em idade posterior aos 28 dias. Foi observado, ao longo do tempo, uma diminuição dos teores de alita e belita das argamassas, evidenciando a evolução da hidratação. No entanto, as resistências mecânicas previstas não foram alcançadas no período avaliado.

O emprego conjunto dos aditivos requer análise da viabilidade de aplicação com base nas funções em que a argamassa necessita desempenhar. Assim, devem ser consideradas, especialmente, as alterações causadas na resistência, porosidade, compostos hidratados e pelo processo de carbonatação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Santa Maria - UFSM pelo apoio, infraestrutura e recursos para a realização da pesquisa. Também agradecem às empresas Supermix e Supertex pelo fornecimento dos materiais.

Referências

- [1] NELSON, R. L.; SCHMIDT, S.; MUNRO, C.; LAUBER, R.; PISTILLI, M.; GATES, R.; SEYL, J. Ready mix mortar in the United States. 8th IBMAC International Brick and Block Masonry Conference. Dublin, 1988.
- [2] PAGNUSSAT, D.T.; VIDOR, D.; MASUERO, A.B. Avaliação de propriedades de argamassas estabilizadas ao longo do seu tempo de utilização. Artigo Técnico. Universidade de Caxias do Sul, RS, 2012.
- [3] CASALI, J. M. et al. Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para assentamento e revestimento. In: IX Simpósio Brasileiro de Argamassas, 2011, Minas Gerais. IX Simpósio Brasileiro de Argamassas, 2011.
- [4] CARASEK, H. Argamassas, Cap 26, In: ISAIA, G.C. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo, IBRACON, 2010.
- [5] PAILLERE A M. Application of admixtures in concrete Britain. RILEM, 2011.
- [6] ROMANO, R.C.O. Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicadas em construção civil. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- [7] CHAPPUIS, J. et al. Admixtures and calcium aluminates. Lafarge Aluminates Internal Report, 1991.
- [8] RAMACHANDRAN, V. S. et al. Handbook of thermal analysis of construction materials. Noyes Publications, New York, 2002.
- [9] MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. IBRACON, 2 Ed, 2014.
- [10] COUTO, L.G. Apostila de aditivos. Disciplina de Civ 361 – Materiais de Construção Civil II. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2011.

- [11] PAOLINI, M.; KHURANA, R. Admixtures for recycling of waste concrete. *Cement and concrete composites* 20, p221-229, 1998.
- [12] NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. *Tecnologia do concreto*. Bookman, 2 edição 2013.
- [13] ROMANO, R.C.O.; CINCOTTO, M.A.; PILEGGI, R.G. Incorporação de ar em materiais cimentícios: uma nova abordagem para o desenvolvimento de argamassas de revestimento. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v.18, n.2, 2018.
- [14] SABBATINI, F.H. *Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistentes*. ET-91, São Paulo, ABCP, 1998.
- [15] NEVILLE, A. M. *Propriedades do Concreto*. PINI, 2a Edição, 1997.
- [16] TEMP, A. L. *Avaliação de revestimentos de argamassa à permeabilidade ao vapor de água*. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- [17] 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, RS, 2015.
- [18] SANTOS, C.L.L. et al. *Análise de propriedades físicas, mecânicas e microestruturais de argamassa estabilizada*. In: XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia, GO, 2019.
- [19] BAUER, E. et al. *Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento*. XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas - SBTA, Porto Alegre, 2015.
- [20] FIORAVANTE, E. V. *Influência dos Aditivos nas Propriedades de Argamassas Estabilizadas*. Ponta Grossa, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Civil) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014.
- [21] BELLEI, P.; CATEN, A.T. *Avaliação do desempenho da argamassa estabilizada de 36 e 72 horas para revestimento externo em diferentes tempos de utilização e modo de armazenamento*. In: XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia, GO, 2019.
- [22] MEES, S.; BRITO, L.A.P.; OLIVEIRA, A.L.; CALÇADA, L.M.; CASALI, J.M. *Avaliação do grau de hidratação ao longo do tempo de argamassas estabilizadas por perda ao fogo*. In: Anais do XVII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu, PR, ISSN 2178-8960, 2018.
- [23] BAUER, E.; OLIVEIRA, V.C. *Comportamentos e propriedades das argamassas estabilizadas de revestimentos*. In: XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, São Paulo, 2017.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 248: *Agregados – Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003.
- [25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 7215: *Cimento portland - determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2019.
- [26] ANTONIAZZI, J.P.; MOHAMAD, G.; CASALI, J.M.; SCHIMIDT, R.P.B. *Incorporação de ar em argamassas estabilizadas: influência dos aditivos, agregados e tempo de mistura*. Artigo submetido à Revista Ambiente Construído, ISSN 1678-8621 em 16 de setembro de 2019 (submetido).
- [27] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão*. Rio de Janeiro, 2005.
- [28] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15630: *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica*. Rio de Janeiro, 2005.

- [29] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.
- [30] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15261: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retratação ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.
- [31] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.
- [32] EN. EUROPEAN NORM. 1015-19: Determinação da permeabilidade ao vapor de água de argamassas de reboco endurecidas. 2004.
- [33] EN. EUROPEAN NORM. 998-1: Specification for mortar for masonry: Rendering and plastering mortar. 2003.
- [34] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14992: A.R. - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2003.
- [35] RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET DE RECHERCHES SUR LES MATÉRIAUX ET LES CONSTRUCTIONS - RILEM Test Method N.11.4: Measurement of water absorption under low pressure. Paris, 1987.
- [36] FLORES-COLEN, I. Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, volume 1, 487p, 2009.
- [37] BHATTY, J.I.; REID, K.J. Use of thermal analysis in the hydration studies of a type 1 portland cement produced from mineral tailings. *Thermochimica Acta*, V. 91, 1985.
- [38] NOUMOWÉ, A. Effect des hautes températures (20oC-600oC) sur le béton. PhD Thesis, Institut National des Sciences Appliquées, 1995.
- [39] ALARCON-RUIZ, L.; PLATRET, G.; MASSIEU, E.; EHRLACHER, A. The use of thermal analysis in assessing the effect of temperature on a cement paste. *Cement and concrete research* 35, 609-613, 2005.
- [40] HOPPE FILHO, J. Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada: mecanismo de hidratação, microestrutura e carbonatação de concreto. Tese de doutorado. USP, 2008.
- [41] DWECK, J.; BUCHLER, P.M.; COELHO, A.C.V.; CARTLEDGE, F. Hydration of a Portland cement blended with calcium carbonate. *Thermochimica Acta*, V. 346, 2000.
- [42] PLATRET, G. Suivi de l'hydratation du ciment et de l'évolution des phases solides dans les bétons par analyse thermique. Caractéristiques microstructurales et propriétés relatives à la durabilité des bétons. Méthodes de mesure et déssai de laboratoire, n. 58, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 2002.
- [43] GRATAN-BELLEW, P.E. Microstructural investigation of deteriorated Portland cement concretes. *Construction and building materials*, n. 10, 3-16, 1996.
- [44] DOWNS, R.T.; HALL-WALLACE, M. The American Mineralogist Crystal Structure Database. *American Mineralogist* 88, 247-250, 2003.
- [45] ANTONIAZZI, J.P.; MOHAMAD, G.; CASALI, J.M. Influência do tipo de cimento e dos aditivos incorporador de ar e estabilizador de hidratação no tempo de pega de argamassas. Artigo submetido a Revista IBRACON de Estruturas e Materiais - RIEM, ISSN: 1983-4195, em 09 de setembro de 2019. (submetido)
- [46] SILVA, N.G.; CAMPITELI, V.C. Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 21-35, ISSN 1678-8621, 2008.
- [47] DIAS, W.P.S. Reduction of concrete sorptivity with age through carbonation. *Cement and concrete research*, v. 30, p. 1255-1261, 2000.

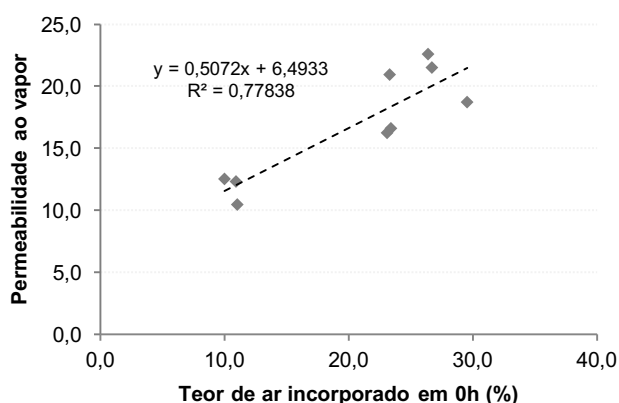
- [48] CASCUDO, O.; CARASEK, H. Ações da carbonatação no concreto. In: ISAIA, G. C. (Cord.) Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo. IBRACON, v 1, p 849-885, 2011.
- [49] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2001. 3p.
- [50] RAMACHANDRAN, V. S.. Concrete admixtures handbook. Noyes Publications, New York, 1984.
- [51] ALVES, N.J.D. Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, DF, 2002.
- [52] FREITAS, V. P. DE; TORRES, M. I.; GUIMARÃES, A. S. Humidade Ascensional. Porto, PT: F. Edições, 2008.
- [53] MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto Microestrutura, propriedades e materiais. 2 ed. São Paulo: Editora Nicole Pagan Hasparyk, 2014, 782p.
- [54] SPERB, Júlio Emanuel Klafke. Carbonatação e absorção capilar de concretos com adição minerais e ativadores químicos. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2003.
- [55] BAUER, Luiz Alfredo Falcão. Materiais de construção. 2 v. 5. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 538p.
- [56] BAKKER, R.F.M. Initiation Period corrosion of steel in concrete. State of the art report, cap. 3, RILEM TC 60-CSC, Ed. Chapman & Hall, 1998.
- [57] VAGHETTI, Marcos Alberto Oss. Efeitos da cinza volante com cinza de casca de arroz ou sílica ativa sobre a carbonatação do concreto de cimento portland. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 1999.
- [58] GONÇALVES, J.P.; TOLEDO FILHO, R.D.; FAIRBAIN, E.M.R. Estudo da hidratação de pastas de cimento Portland contendo resíduo cerâmico por meio de análise térmica. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 83-94 out./dez. 2006. ISSN 1415-8876
- [59] ROSZCZYNIANSKI, W. Determination of pozzolanic activity of materials by thermal analysis. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 70, p. 387-392, 2002.
- [60] GI GIERGICZNY, Z. The hydraulic activity of high calcium fly ash. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 83, p. 227-232, 2006.
- [61] MORES, G.A. et al. Análise da profundidade de carbonatação em argamassas de revestimento com substituição parcial de areia natural por resíduo de construção civil (RCC). Brazilian Journal of Development, ISSN: 2525-8761, vol. 4, n.6, 2018.
- [62] GUIMARÃES, José Eptácio Passos. A cal - Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil. 1. ed. São Paulo: Pini, 1997.

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esse capítulo tem como objetivo a discussão conjunta dos resultados por meio de correlações entre as variáveis estudadas nos diferentes artigos. Isso porque os aditivos afetam as propriedades no estado fresco (artigo 1, artigo 2 e artigo 3), as quais podem influenciar o comportamento da argamassa no estado endurecido (artigo 4).

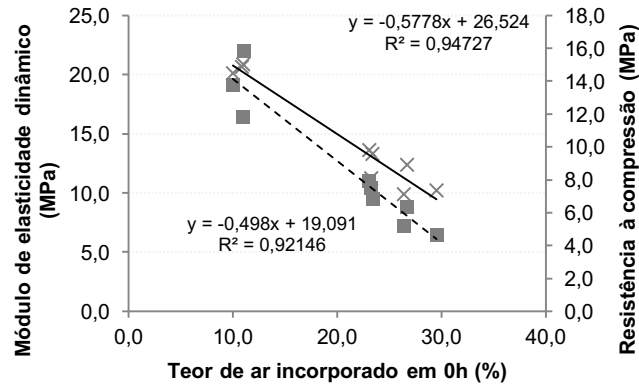
Como exemplo disso, a Figura 1 apresenta a correlação entre o teor de ar incorporado em 0h (artigo 3) e a permeabilidade ao vapor (artigo 4) das argamassas. Verifica-se que há boa correlação entre as propriedades ($R^2=0,78$). Logo, pode-se concluir que, quanto maior o teor de ar incorporado no estado fresco, maior a permeabilidade ao vapor. A permeabilidade ao vapor, por sua vez, é benéfica ao revestimento, pois permite a transpiração e a expulsão do vapor interno (SABATTINI, 1998; NEVILLE, BROOKS, 2013)

Figura 1 – Correlação entre o teor de ar incorporado (artigo 3) e a permeabilidade ao vapor das argamassas (artigo 4).



Ao mesmo tempo, com maior incorporação de ar, são geradas argamassas mais porosas, as quais sofrem redução da resistência mecânica (ROMANO, 2013) e possuem maior propensão a carbonatação (CASCUDO CARASEK, 2011), conforme verificado no artigo 4. Assim, a Figura 2 apresenta as correlações do teor de ar incorporado (artigo 3) com a resistência à compressão e com o módulo de elasticidade dinâmico (artigo 4).

Figura 2 – Correlação entre o teor de ar incorporado (artigo 3) e o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à compressão (artigo 4).



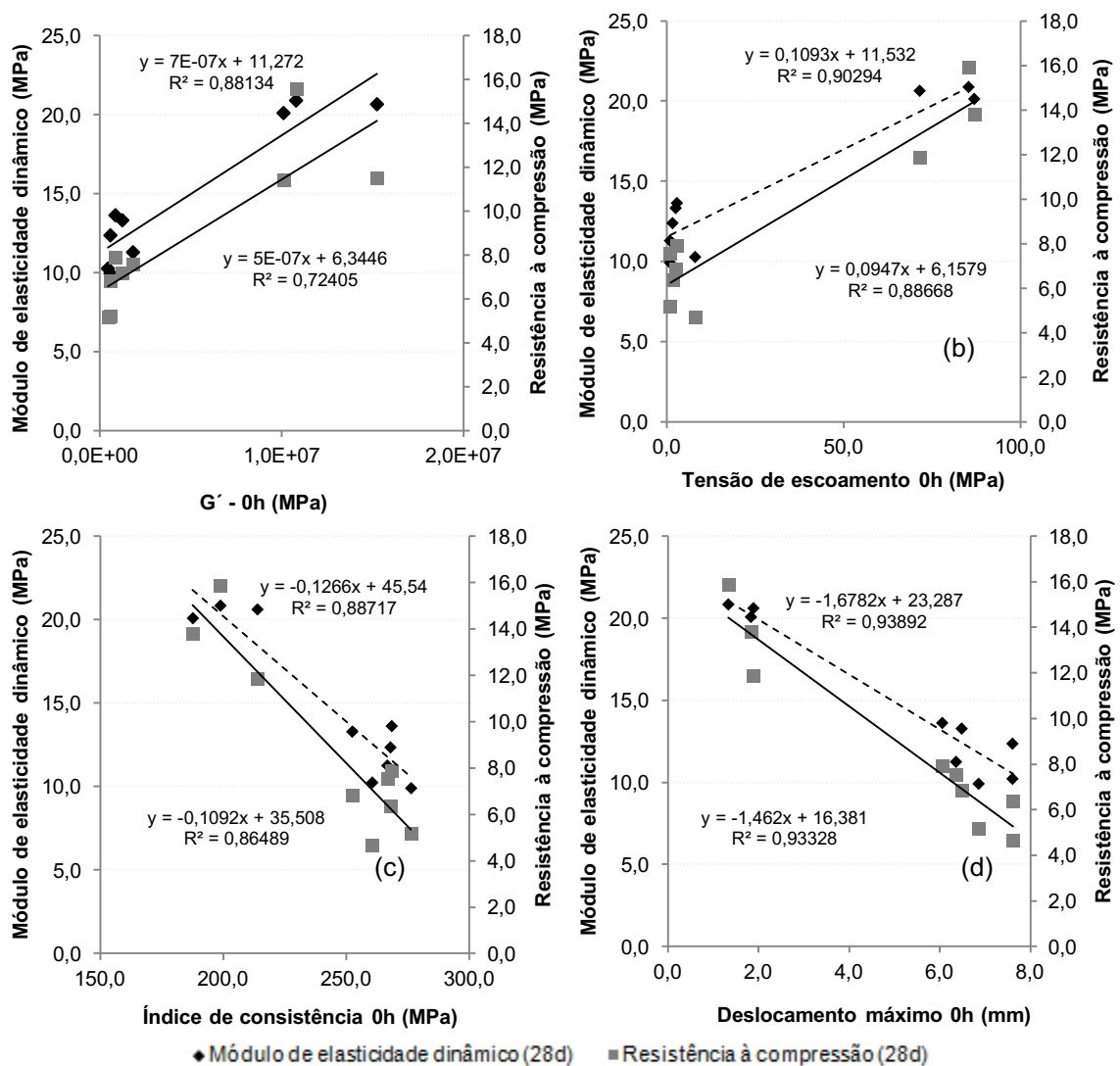
×Módulo de elasticidade dinâmico (28d) ■ Resistência à compressão (Mpa)

Observa-se, na Figura 2, por meio das ótimas correlações obtidas ($R^2 = 0,95$ e $0,92$), a influência que o teor de ar incorporado exerce sobre a resistência mecânica das argamassas, assim como no módulo de elasticidade dinâmico. Como já era esperado, quanto maior o teor de ar incorporado, menor foi a resistência da argamassa. Esse comportamento possivelmente seja devido à porosidade da argamassa proporcionada pelos aditivos, onde, quanto mais porosa era a estrutura, maior era a sua fragilidade e a sua facilidade de ruptura quanto comprimida. As argamassas sem aditivo incorporador de ar (AIA) apresentaram estrutura mais densa (artigo 4), com pequena incorporação de ar (artigo 1, artigo 3), resultando nas maiores resistências mecânicas (artigo 4). Nas argamassas com AIA, o aditivo introduziu bolhas de ar à mistura, seja quando empregado sozinho ou quando em conjunto com o aditivo estabilizador de hidratação (AEH) (artigo 3). Essas bolhas de ar se transformaram em poros na fase endurecida, adquirindo características distintas de acordo com os aditivos utilizados (artigo 4) e, conseqüentemente, influenciando na resistência à compressão. Assim, a maior incorporação de ar resultou na menor resistência mecânica, a qual foi verificada para A5(0,0/0,4), argamassa com apenas AIA no maior teor estudado (0,4%).

Da mesma forma com que o teor de ar incorporado demonstrou ter relação com os parâmetros reológicos (consistência, deslocamento sob compressão, módulo de armazenamento elástico e tensão de escoamento), conforme já demonstrado no artigo 3, estes também apresentaram correlação com a resistência mecânica das

argamassas. Assim, a Figura 3 mostra a relação direta obtida entre a resistência mecânica das argamassas (artigo 4) e o módulo de elasticidade dinâmico (G') (a), assim como também se verificou com a tensão de escoamento (b) (artigo 3). Já o índice de consistência (c) e o deslocamento máximo sob compressão (d) (artigo 3) apresentaram comportamento inversamente proporcional à resistência mecânica (artigo 4).

Figura 3 – Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à compressão (artigo 4) com os parâmetros reológicos (artigo 3).



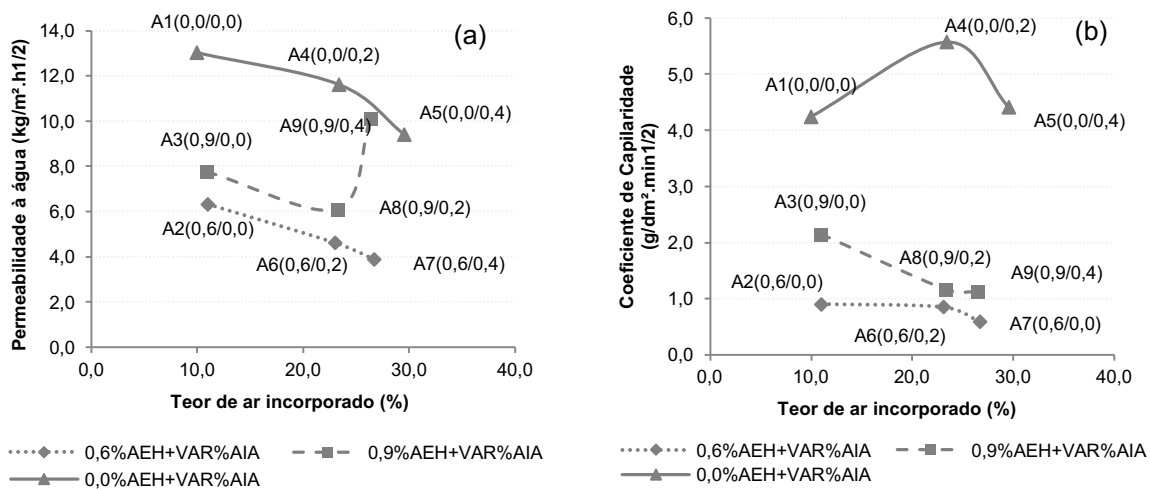
Correlação da resistência mecânica com o módulo de elasticidade dinâmico - G' (a); com a tensão de escoamento (b); com o índice de consistência (c) e com o deslocamento máximo (*Squeeze Flow*) (d).

Esses comportamentos eram esperados devido ao efeito que a incorporação de ar exerce sobre as argamassas, modificando não apenas as propriedades frescas

das argamassas, mas também as propriedades no estado endurecido. Assim, as argamassas sem AIA obtiveram os menores teores de ar incorporado, o que resultou em maiores tensões de escoamento e módulos de elasticidade dinâmico. Para essas argamassas, também foram obtidos os menores índices de consistência e deslocamentos sob compressão, conforme explicado no artigo 3. Logo, as argamassas sem AIA também apresentaram as maiores resistências mecânicas (artigo 4).

Em relação à absorção de água líquida e ao coeficiente de capilaridade (artigo 4), não foram encontradas boas correlações com o teor de ar incorporado (artigo 3). No entanto, a Figura 4 apresenta tendências de comportamento entre essas propriedades de acordo com os teores de aditivos empregados.

Figura 4 – Variação da permeabilidade à água (a) (artigo 4) e do coeficiente de capilaridade (b) (artigo 4) em função do teor de ar incorporado das argamassas (artigo 3) em 0h.



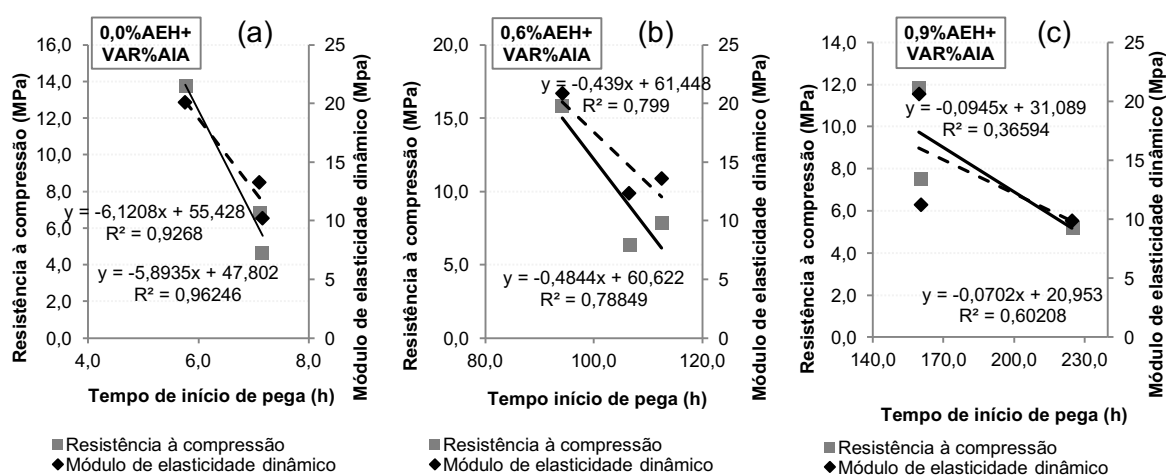
Observa-se que as argamassas sem AEH são mais permeáveis à água do que as que contêm AEH, mesmo para teores de ar incorporado iguais. Isso pode estar relacionado com as características da porosidade gerada por cada aditivo e com o teor utilizado (artigo 4), uma vez que essas propriedades estão associadas à porosidade aberta das argamassas. O uso do AIA promove uma incorporação de ar com bolhas circulares, de superfícies lisas e bem delimitadas. A introdução do AEH altera as características dessas bolhas de ar, resultando em superfícies rugosas e com aparente invasão por compostos hidratados (artigo 4). No entanto, o emprego de AEH em altos teores (0,9%) proporcionou maiores permeabilidades às argamassas

do que quando utilizado em teor moderado (0,6%). Uma hipótese para explicar tal comportamento baseia-se na maior quantidade de água livre contida no sistema com o maior teor de AEH, propiciando maior evaporação de água e formação de canais internos, o que aumenta a permeabilidade. Além disso, as análises termogravimétricas e por difração de raios X indicaram possível carbonatação nas argamassas, especialmente em A8(0,9/0,2) e A9(0,9/0,4), o que poderia alterar a configuração dos poros e, assim, a permeabilidade.

Para um mesmo teor de AEH, o aumento do teor de AIA proporcionou maior teor de ar incorporado e conduziu à diminuição da permeabilidade à água (Figura 4). Isso ocorre porque as bolhas de ar tendem a interromper e/ou desviar o fluxo dos canais por onde a água percola, diminuindo a permeabilidade com a maior incorporação de ar (RAMACHANDRAN, 1984).

Outra variável que influenciou no comportamento endurecido das argamassas foi o tempo de início de pega (artigo 2), conforme mostram as correlações estabelecidas na Figura 5 com a resistência à compressão e o módulo de elasticidade dinâmico (artigo 4).

Figura 5 - Correlação entre o tempo de início de pega (artigo 2) e a resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico (artigo 4) das argamassas, agrupadas conforme teor de AEH utilizado.



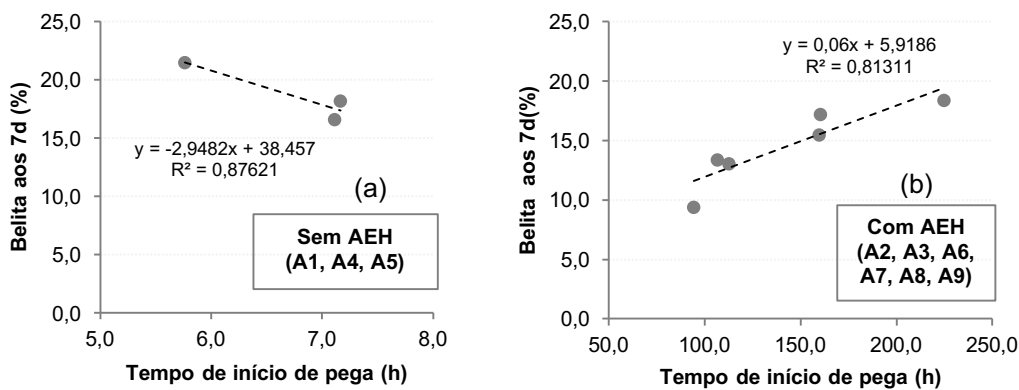
Teores variados de AIA combinados à 0,0% de AEH (a); 0,6% de AEH (b) e 0,9% de AEH (c).

Observa-se, pela Figura 5, uma tendência de diminuição da resistência mecânica com o aumento do tempo de início de pega das argamassas. Esse comportamento pode ser atribuído ao maior retardo na hidratação dos compostos

responsáveis pela resistência das argamassas devido à ação dos dois aditivos, conforme visto no artigo 2. O uso do AIA, além contribuir nesse retardo da hidratação quando combinado ao AEH, aumenta a porosidade das argamassas, o que diminui a sua resistência mecânica (artigo 4).

Logo, como já era esperado, o tempo de pega também influenciou o consumo de belita, estimado por meio da termogravimetria (TGA) e difração de raios X (DRX) com refinamento Rietveld. Assim, a Figura 6 correlaciona o tempo de início de pega (artigo 2) com a quantidade de belita (artigo 4) contida na amostra aos 7 dias, separadas em dois grupos: (a) argamassas sem AEH e (b) argamassas com AEH.

Figura 6 – Correlação entre o tempo de início de pega das argamassas (artigo 2) e o teor de belita (artigo 4) em 7d (DRX).



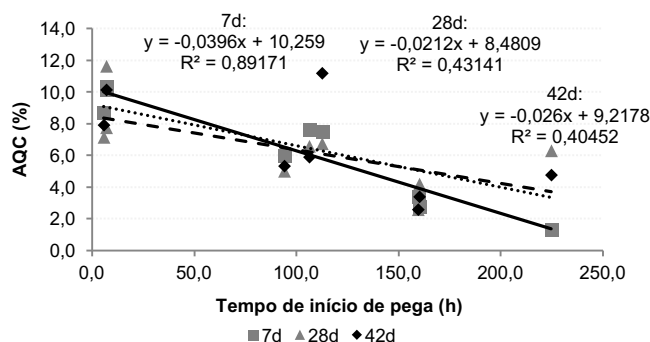
(a) Argamassas sem AEH; (b) argamassas com AEH.

Dentre as argamassas sem AEH – A1(0,0/0,0), A4(0,0/0,2) e A5(0,0/0,4) – os menores teores de belita encontrados aos 7 dias foram nas argamassas com os maiores tempos de início de pega ($R^2=0,88$), isto é, as quais receberam AIA (Figura 3a). Conforme já explicitado no artigo 4, o AIA aumenta o volume de pasta das argamassas pela introdução de ar incorporado, propiciando maior espaço para a formação dos compostos e, assim, possivelmente uma maior hidratação da belita (MEHTA, MONTEIRO, 2014). Isso também foi confirmado pelo maior teor de água quimicamente combinada - AQC (artigo 4) obtido nas argamassas apenas com AIA. Logo, a Figura 7 apresenta uma boa correlação entre o tempo de início de pega (artigo 2) e a AQC (artigo 4) aos 7 dias ($R^2=0,89$), passando a ser mais fraca em 28 e 42 dias.

Na Figura 6 (b), tem-se a evidência da ação do AEH sobre as argamassas, o qual aumenta o tempo de início da pega e, assim, retarda a hidratação dos compostos

do cimento Portland (maiores teores de belita) ($R^2=0,81$), o que se reforça pelos menores teores de AQC obtidos (artigo 4 e Figura 7).

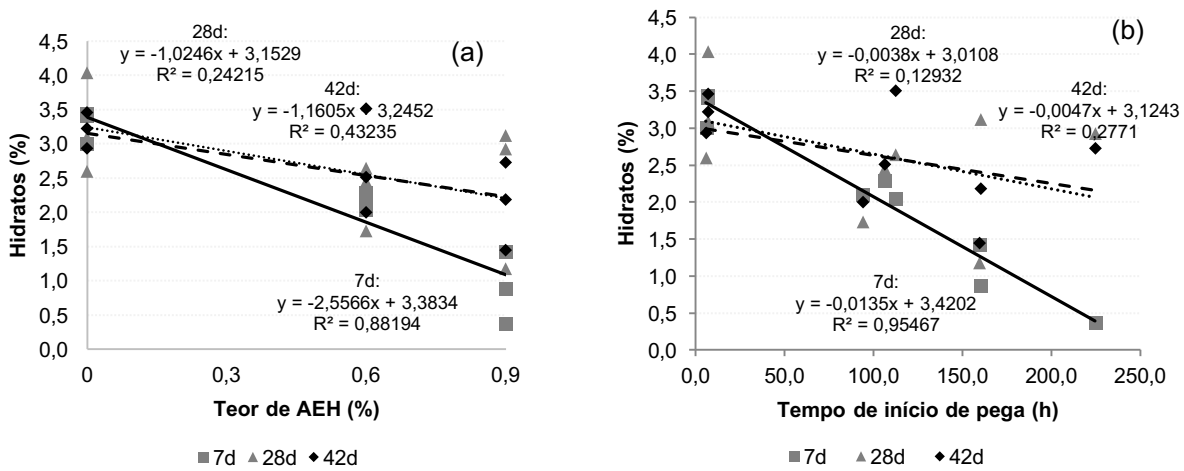
Figura 7 - Correlação entre o tempo de início de pega (artigo 2) e a AQC (artigo 4) das argamassas aos 7, 28 e 42 dias.



A formação de hidratos (120°C a 400°C) (artigo 4) aos 7 dias também demonstrou boa correlação com o teor de AEH utilizado ($R^2=0,88$), passando a ser excelente ($R^2=0,95$) quando relacionada com o tempo de início de pega das argamassas (artigo 2), conforme mostram a Figura 8 (a) e a Figura 8 (b), respectivamente. Essa correlação ocorreu de forma mais significativa com o tempo de início de pega aos 7 dias, provavelmente pelo fato do AIA também contribuir nesse retardo da formação dos hidratos, assim como demonstrou influenciar na pega (artigo 2). Já em 28 e 42 dias, essas correlações foram baixas, observando-se coeficientes menores com o tempo de início de pega.

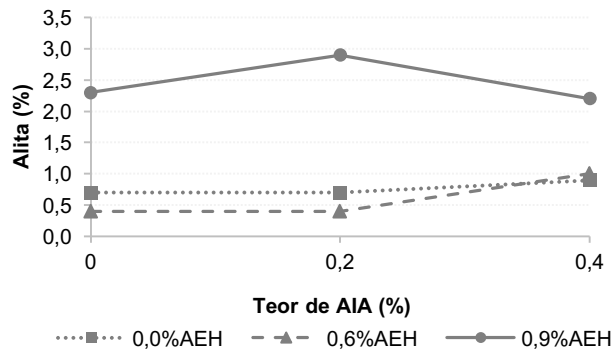
Assim, observa-se que com o maior tempo de início de pega proporcionado pelo emprego dos aditivos, obteve-se também retardo na formação dos hidratos nas primeiras idades. Esses resultados são confirmados pelo maior teor de composto anidro (alita) (artigo 4) (Figura 5) encontrado nas argamassas com 0,9% de AEH, A3(0,0/0,9), A8(0,9/0,2) e A9(0,9/0,4), as quais também alcançaram os maiores tempos de início de pega. Quanto maior o teor de alita encontrado na argamassa, demonstra o maior efeito do retardo na hidratação proporcionado pelos aditivos, já que trata-se de uma fase anidra do cimento Portland.

Figura 8 - Correlação entre o teor de hidratos (artigo 4) com o teor de AEH e com o tempo de início de pega das argamassas (artigo 2) aos 7, 28 e 42 dias.



Dessa forma, observa-se pela Figura 9 que, além do efeito do AEH sobre a hidratação do cimento, o aumento do AIA também proporcionou maior quantidade de alita nas argamassas, exceto para 0,9% de AEH. Essa contribuição do AIA na ação de retardo da hidratação dos compostos também foi verificada no artigo 2, com o aumento dos tempos de pega das argamassas.

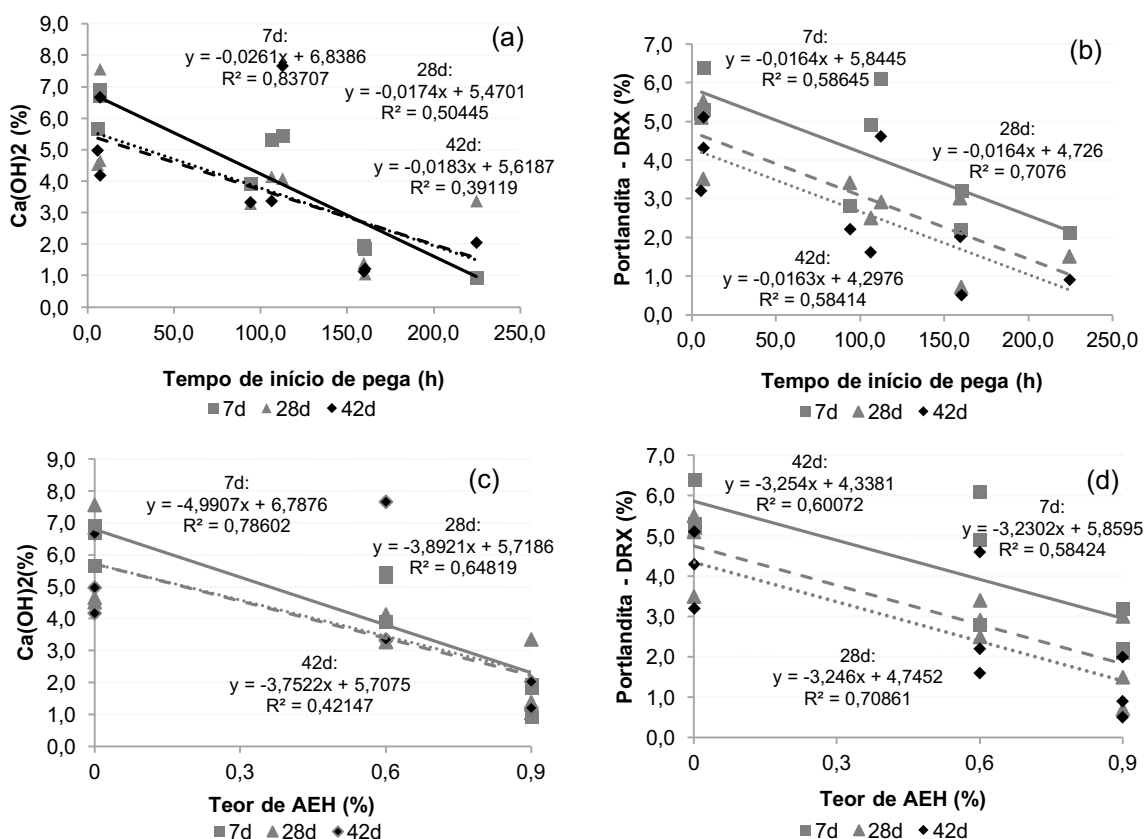
Figura 9 - Teor de alita (artigo 4) em função dos teores de aditivos utilizados nas argamassas aos 7 dias.



O tempo de início de pega também demonstrou correlação com o teor de portlandita (Figura 10) (400°C a 465°C) obtido tanto por TGA (Figura 10 a) quanto por DRX (Figura 10 b). Como mostram as Figuras 10 (a) e 10 (b), quanto menor o tempo de início de pega das argamassas, maior foi a quantidade de portlandita encontrada ao longo do tempo. Essa correlação está bastante vinculada ao teor de AEH empregado (Figura 10 c e Figura 10 d). No entanto, assim como ocorreu com os

hidratos, os coeficientes de determinação obtidos aos 7 dias foram maiores nas correlações com o tempo de pega, provavelmente pela ação do AIA, conforme já mencionado.

Figura 10 - Correlação entre o teor de portlandita (artigo 4) com o tempo de início de pega (artigo 2) e o teor de AEH, aos 7, 28 e 42 dias.



Correlação entre o tempo de início de pega e o teor de portlandita obtida por TGA (a) e por DRX (b); correlação entre o teor de AEH e o teor de portlandita obtida por TGA (c) e por DRX (d).

Assim, quanto maior o teor de AEH, maior o tempo de início de pega e menor a quantidade de portlandita, conforme já visto no artigo 2 e artigo 4, respectivamente. Além disso, os maiores tempos de início de pega foram obtidos para as argamassas com maior teor de AEH (0,9%) combinado ao AIA (Figura 11), onde também foram obtidos os maiores teores de carbonato de cálcio (Figura 12), indicando o processo de carbonatação, o qual consome a portlandita.

Figura 11 – Correlação entre o tempo de início de pega e o teor de AEH.

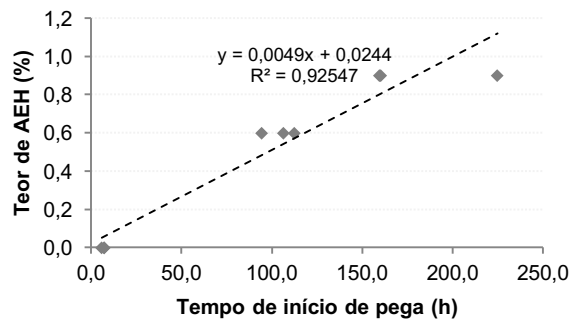
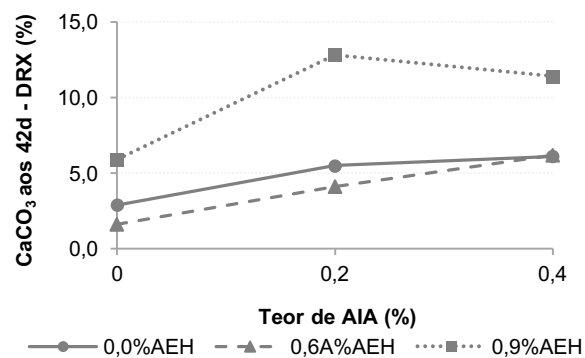


Figura 12 - Teor de CaCO_3 em função dos teores dos aditivos, aos 42 dias.



Por meio dessa análise conjunta entre as variáveis estudadas em cada artigo conseguiu-se perceber como as propriedades se correlacionam entre si e o quanto os aditivos são capazes de interferir tanto no estado fresco como no endurecido das argamassas.

7 CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo avaliar a interação dos aditivos incorporadores de ar (AIA) e estabilizadores de hidratação (AEH) com o cimento Portland nas propriedades de argamassas estabilizadas. Por meio de análises do comportamento reológico, físico-químico, mecânico e microestrutural das argamassas foi possível uma melhor compreensão dos efeitos dos aditivos sobre as propriedades das argamassas. Assim, as propriedades foram avaliadas durante o período de estabilização e ao longo do tempo no estado endurecido. As conclusões de cada etapa foram apresentadas ao final de cada artigo, no entanto, a seguir são retomadas as principais contribuições resultantes desse estudo.

Os estudos quanto a incorporação de ar mostraram que:

- para argamassas estabilizadas existe uma tendência de estabilização da incorporação de ar com um tempo de mistura de 270s e para um teor do AIA entre 0,3% e 0,4%;
- o AEH, além de não contribuir para a incorporação de ar, apresentou uma tendência em diminuir esses teores;
- o tempo de mistura influenciou a incorporação de ar apenas quando utilizado AIA em teores acima de 0,3%. Assim, as argamassas sem AIA ou com teores inferiores a 0,3% não demonstraram sensibilidade ao tempo de mistura;
- a granulometria do agregado só influenciou na incorporação de ar quando empregados baixos teores de AIA. Isso porque as bolhas de ar preenchem os espaços vazios e as lacunas deixadas pela distribuição granulométrica. A partir desse preenchimento, as granulometrias se tornaram similares e não mais interferiram na incorporação de ar.

Quanto aos tempos de pega das argamassas, concluiu-se que:

- demonstraram ter correlação diretamente proporcional ao teor de AEH empregado;
- foram influenciados também pelo emprego do AIA, o qual quando associado ao AEH, contribuiu para o aumento do tempo de início de pega;
- sofreram interferência do tipo de cimento utilizado somente quando receberam AEH na composição. Assim, o cimento de maior granulometria, somado ao

efeito retardante do AEH, teve o tempo de início de pega aumentado em relação ao cimento mais fino;

- possuem correlação inversa com a resistência mecânica e com a formação dos compostos hidratados.

Quanto ao efeito do AIA nas propriedades das argamassas:

- proporcionou menor atrito interno e melhor rolamento entre os grãos, melhorando a trabalhabilidade devido a incorporação de microbolhas de ar;
- foram observadas menores exsudações devido à menor taxa de sedimentação das partículas sólidas proporcionada pela presença das bolhas de ar;
- reduziu a resistência mecânica devido à grande quantidade de poros gerados no estado endurecido;
- proporcionou maior grau de hidratação das argamassas, pelo maior volume de pasta disponível para o desenvolvimento dos compostos hidratados.

Quanto ao efeito do AEH nas propriedades das argamassas:

- não causou alterações significativas no estado fresco inicial;
- diminuiu consideravelmente a formação dos compostos hidratados em todas as idades, de acordo com o teor empregado, demonstrando o efeito prolongado do aditivo sobre o processo de hidratação;
- quando utilizado em teores moderados, aumentou a resistência mecânica. Quando utilizado em altos teores, diminuiu a resistência mecânica, especialmente nas primeiras idade, devido ao efeito do retardo na formação dos compostos hidratados.

Quanto ao efeito da combinação de AEH e AIA nas propriedades das argamassas:

- no estado fresco houve o predomínio dos efeitos do AIA pelo fato da incorporação de ar alterar a reologia das misturas. Assim, essas argamassas apresentaram maior fluidez e menor resistência ao fluxo do que a referência;
- as taxas de exsudação totais também foram inferiores à referência, porém se observaram exsudações parciais por maior período de tempo devido ao efeito do retardo no tempo de início de pega, proporcionando maior quantidade de água livre;

- a perda das propriedades ao longo do período de estabilização variou de acordo com os teores de aditivos utilizados, porém também demonstrou maior sensibilidade ao teor de AIA;
- no estado endurecido, verificaram-se comportamentos intermediários aos obtidos por cada aditivo isolado para a resistência mecânica e formação dos compostos hidratados. Para a retração foi observado nessas argamassas um somatório dos efeitos isolados dos aditivos. Enquanto isso, para a permeabilidade à água, houve predomínio do efeito do AEH, enquanto para a permeabilidade ao vapor, predominou o do AIA;
- as características da porosidade gerada por cada aditivo e pela combinação dos dois também foram distintas. O AIA gerou poros circulares, com superfície lisa e bem definida. Com a introdução do AEH, os poros passaram a ser irregulares e com superfície rugosa;
- as condições microestruturais formadas pela combinação dos dois aditivos propiciaram uma carbonatação mais rápida nessas argamassas, podendo vir a alterar as propriedades e, até mesmo, causar prejuízos ao revestimento pela má formação dos cristais.

O Quadro 2 apresenta um resumo das principais alterações geradas pelo efeito combinado dos aditivos nas propriedades das argamassas, em relação à argamassa de referência, ao aumento no teor dos aditivos e ao tempo.

Quadro 2 – Resumo das alterações nas propriedades das argamassas devido ao efeito combinado dos aditivos (AEH+AIA).

Propriedades	Efeito dos AEH+AIA em relação a		
	Argamassa REF	↑ Teor aditivos	↑ Idade
Teor de ar incorporado	↑	↑	↓
Tempo de pega	↑	↑	-
Índice de consistência	↑	≈	↓
Exsudação	↓	VAR	↓
Deslocamento máximo	↑	↑	↓*
Tensão de escoamento	↓	VAR	↑
Componente elástica (G')	↓	VAR	↑
Resistência mecânica	↓	↓	↑
Retração linear (total)	≈	≈	VAR
Permeabilidade à água	↓	↑	≈
Permeabilidade ao vapor	↑	≈	-
Poros	↑ Irregulares e rugosos		
Grau de hidratação	↓	↓	↑
Carbonatação	↑	↑	↑

Diante disso, pode-se dizer que o emprego dos aditivos incorporador de ar e estabilizador de hidratação modificam as propriedades das argamassas, proporcionando características específicas, distintas das argamassas convencionais, não estabilizadas. Reforça-se, então, a necessidade do desenvolvimento de normativas apropriadas para nortear a produção, o controle e a aplicação das argamassas estabilizadas.

Dessa forma, sugere-se que nessa norma sejam contemplados quesitos específicos quanto ao maior prazo de desforma dos corpos de prova, ao tempo de mistura para uma máxima eficiência do AIA, à dosagem e ao momento de aplicação dos aditivos na mistura; a análise do tempo de pega do cimento considerando a ação do AEH e AIA, especificação de idades mais avançadas para a determinação da resistência, controle e monitoramento dos efeitos da carbonatação. Cabe salientar que, para isso, deverão ser reproduzidas as análises realizadas, expandindo-se os estudos para outras combinações e proporcionamentos de materiais.

Sugestões para trabalhos futuros:

A fim de complementar as contribuições desse estudo, sugerem-se alguns temas a serem desenvolvidos em trabalhos futuros na área, sendo eles:

- avaliação dos efeitos do tempo de mistura nas propriedades frescas e endurecidas das argamassas;
- análise do efeito da granulometria nas propriedades frescas e endurecidas das argamassas;
- estudo do efeito do tipo de cimento nas propriedades frescas e endurecidas das argamassas;
- execução de estudo avaliando as propriedades das argamassas com aditivos produzidos por diferentes fabricantes;
- avaliação do efeito da carbonatação nas propriedades das argamassas estabilizadas;
- realização de estudos com monitoramento da profundidade de carbonatação das argamassas;
- comparação de propriedades obtidas para argamassas confeccionadas em laboratório com argamassas confeccionadas na indústria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, N.J.D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, DF, 2002.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 494/C**: Standard specification for chemical admixtures for concrete. United States, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.
- BARCELOS, A.S.; PELISSER, F. **Efeito de inibidores de hidratação na resistência de aderência à tração em argamassas de revestimento**. Artigo técnico em Tecnologia e Ambiente, UNESC, Criciúma, SC, 2011.
- BAUER, E.; OLIVEIRA, V.C. **Comportamentos e propriedades das argamassas estabilizadas de revestimentos**. In: XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, São Paulo, 2017.
- BELLEI, P. et al. **Estudo comparativo do desempenho no estado fresco e endurecido de argamassas estabilizadas de 36h e 72h**. Artigo técnico em XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Porto Alegre, RS, 2015.
- BENINGFIELD, N. **Ready-to-use mortars**. Structural Survey, Vol 4, ISS 2 pp. 109-113, 1986.
- BENINGFIELD, N. **Air entrainment of mortar**. In 8th International Brick/Block Masonry Conference Ireland, UK, P. 118-130, 1988.
- BISHOP, M.; BARRON, A.R. **Cement hydration inhibition with sucrose, tartaric acid and lignosulfonate: analytical and spectroscopic study**. Ind. Eng. Chem. Res. 45, 2006.
- BRUGALI, D.R.; CASAGRANDE, E.; STOLZ, C.M. **Caracterização de argamassas industrializadas e estabilizadas disponíveis em Caxias do Sul/RS**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2019.
- CALÇADA, L.M.L. et al. **Influência das características do molde e da superfície de contato nas propriedades da argamassa estabilizada**. X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza, CE, 2013.
- CAMPOS, G.M.; MACIOSKI, G.; CASALI, J.M. **Estudo do tempo de início de pega de argamassas com aditivo estabilizador de hidratação**. In: Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto, Ibracon. Gramado, 2013.

CARASEK, H. **Argamassas, Cap 26 In: ISAIA, G.C. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** São Paulo, IBRACON, 2010.

CASALI, J. M. et al. **Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para assentamento e revestimento.** In: IX Simpósio Brasileiro de Argamassas, 2011, Minas Gerais. IX Simpósio Brasileiro de Argamassas, 2011.

CASALI, J.M. et al. **Influence of cement type and water content on the fresh state properties of ready mix mortar.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v.18, n.2, p.33-52, 2018.

CASCUDO, O.; CARASEK, H. **Ações da carbonatação no concreto.** In: ISAIA, G. C. (Cord.) **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo. IBRACON, v 1, p 849-885, 2011.

CHAPPUIS, J. et al. **Admixtures and calcium aluminates.** Lafarge Aluminates Internal Report, 1991.

CHEUNG, J. et al. **Impact os admixtures on the hydration kinetics of portland cement.** Cement and concrete research 41, 2011.

CINCOTTO, M.A.; SILVA, M.A.C.; CASCUDO, H.C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** Boletim Técnico, IPT, São Paulo, 1995.

COUTO, L.G. **Apostila de aditivos. Disciplina de Civ 361 – Materiais de Construção Civil II.** Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2011.

FERRARIS, C. F.; OBLA, K. H.; HILL, R. **The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete.** Cement and Concrete Research, Kidlington, v. 31, n. 2, p. 245-255, 2001.

FERNANDEZ, A.; SALAGER, J.L.; SCORZZA, C. **Surfactantes noniônicos.** Cuaderno FIRP, 33p, 2004.

GARCIA, J.R.; OLIVEIRA, I.R.; PANDOLFELLI, V.C. **Processo de hidratação e os mecanismos de atuação dos aditivos aceleradores e retardadores de pega do cimento de aluminato de cálcio.** Cerâmica 53, p42-56, 2007.

GRUPO HOBI. **Manual técnico- argamassa estabilizada.** Curitiba, 2014.

HOLMBERG, K. et al. **Surfactants and polymers in aqueous solution.** John Wiley & Sons Ltd, 2002.

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, RS, 2015.

JOLICOEUR, C. e SIMARD, M-A. **Chemical admixture-cement interactions: phenomenology and physico-chemical concepts.** Cement and Concrete

Composite, v. 20, p. 87-101, 1998.

KARKOTLI, L.B. et al. **Influência da temperatura e umidade relativa do ar na resistência de argamassas estabilizadas**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia, GO, 2019.

MACIOSKI, G. et al. **Avaliação de propriedades no estado fresco e endurecido de argamassas estabilizadas**. Artigo técnico em X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza, CE, 2013.

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

MARCONDES, C.G. **Características e benefícios da argamassa estabilizada**. Cimento Itambé, 2009. Disponível em <<http://www.cimentoitambe.com.br/massacinzenta/caracteristicas-e-beneficios-daargamassa-estabilizada>> Acesso em: 01 de novembro de 2016.

MARTINS NETO; N. A. A. A.; DJANIKIAN, J. G. **Aspectos de desempenho da argamassa dosada em central**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo serie BT/PCC/235, p. 23, 1999.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. IBRACON, 2 Ed, 2014.

MELO, F.D. et al. **Influência da cura úmida em revestimentos executados em argamassa estabilizada**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia, GO, 2019.

MIELENZ, R.C. et al. **Origin, evolution, and effects of the air void system in concrete: Part 1**. Entrained air in unhardened concrete, J. Am. Concr. Inst., . 95-121, 1958.

NELSON, R. L.; SCHMIDT, S.; MUNRO, C.; LAUBER, R.; PISTILLI, M.; GATES, R.; SEYL, J. **Ready mix mortar in the United States**. 8th IBMAC (International Brick and Block Masonry Conference. Dublin, 1988.

NETO, A. M.; ANDRADE, D.C.; SOTO, N.T.A. **Estudo das propriedades e viabilidade técnico-econômica da argamassa estabilizada**. 2010.127p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. Bookman, 2 edição 2013.

PAGNUSSAT, D.T.; VIDOR, D.; MASUERO, A.B. **Avaliação de propriedades de argamassas estabilizadas ao longo do seu tempo de utilização**. Artigo Técnico.

Universidade de Caxias do Sul, RS, 2012.

PAILLERE A M. **Application of admixtures in concrete Britain**. RILEM, 2011.

PANARESE, W. C, KOSMATKA, S. H., RANDALL, F. A. **Concrete Masonry Handbook for architects**, Engineers, Builders. Portland Cement Association, 5a ed. Estados Unidos da América, 219p, 1991.

PAOLINI, M. & KHURANA, R. **Admixtures for recycling of waste concrete**. Cement and concrete composites 20, p221-229, 1998.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. São Paulo, 1998.

RAMACHANDRAN, V. S.. **Concrete admixtures handbook**. Noyes Publications, New York, 1984.

RAMACHANDRAN, V. S. et al. **Handbook of thermal analysis of construction materials**. Noyes Publications, New York, 2002.

RICKERT, J. **Influence of retarders on the hydration of clinker and cement**. **Concrete Technology Reports 2001–2003**, Verlag Bau+Technik, Duesseldorf, 2004.

RIXON, R.; MAILVAGANAM, N. **Chemical admixtures for concrete**. E & FN SPON, London, 1999.

ROMANO, R.C.O. et. al. **Impacto do tipo de misturador e do tempo de mistura nas propriedades de argamassas industrializadas**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 109-118, out./dez, 2009.

ROMANO, R.C.O. **Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicadas em construção civil**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ROMANO, R.C.O.; TORRES, D.R.; PILEGGI, R.G. **Impact of aggregate grading and air-entrainment on the properties of fresh and hardened mortars**. Construction and Building Materials 8, p. 219–226, 2015.

ROMANO, R.C.O.; CINCOTTO, M.A.; PILEGGI, R.G. **Incorporação de ar em materiais cimentícios: uma nova abordagem para o desenvolvimento de argamassas de revestimento**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.18, n.2, 2018.

SABBATINI, F.H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistentes**. ET-91, São Paulo, ABCP, 1998.

SALAGER, J.L. **El mundo de los surfactantes**. Cuaderno FIRP, Universidade de los Andes, Merida, Venezuela, p. 3-4, 1992.

SALAGER, J.L. **Surfactantes em solução acuosa**. Cuaderno FIRP, Universidade de los Andes, Merida, Venezuela, p. 1-28, 1993.

SALAGER, J.L. **Surfactantes – typos y usos**. Cuaderno FIRP, Universidade de los Andes, Merida, Venezuela, p. 1-54, 2002.

SALAGER, J.L.; FERNANDES, A. **Surfactantes aniônicos**. Cuaderno FIRP, Universidade de los Andes, Merida, Venezuela, p. 1-30, 2004.

SALVADOR, A.J. **Desempenho de concretos bombeáveis fabricados com aditivo estabilizador de hidratação**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2011.

SANTOS, A. **Características e benefícios da argamassa estabilizada**. Cimento Itambé, São Paulo, 2009. Disponível em <http://www.cimentoitambe.com.br/caracteristicas-e-beneficios-da-argamassa-estabilizada/>. Acesso em 10 de outubro de 2016.

SANTOS, C.L.L. et al. **Análise de propriedades físicas, mecânicas e microestruturais de argamassa estabilizada**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia, GO, 2019.

SOUZA, A.F. **Otimização do uso de aditivo estabilizador de hidratação do cimento em água de lavagem dos caminhões-betoneira para produção de concreto**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 182p, 2007.

THOMÉ, M.W. et al. **Estudo da influência da lâmina-d'água utilizada no armazenamento da argamassa estabilizada**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Goiânia, GO, 2019.

TREVISOL JUNIOR, L.A. **Estudo comparativo entre as argamassas: estabilizada dosada em central, industrializada e produzida em obra por meio de ensaios físicos nos estados fresco e endurecido**. Dissertação de mestrado. PPGDT, Instituto de Engenharia do Paraná, 2015.

WEIDMANN, D. F. et al. **Avaliação do desempenho de aditivos redutores de água para uso em centrais de concreto: estudo de caso**. In: 49º Congresso Brasileiro de Concreto CBC, Bento Gonçalves, RS. Anais. 16p, 2007.

ANEXO A - NORMAS PARA A PUBLICAÇÃO NA REVISTA AMBIENTE CONSTRUÍDO

Título em Português: deve ser breve e suficientemente específico e descritivo, contendo palavras-chaves que representam o conteúdo do texto (máximo de 15 palavras)

Título em Inglês: tradução do título original

[No artigo submetido não deve conter os dados de identificação do(s) autor(es), completá-lo no sistema]

RESUMO

O resumo deve apresentar clara e sucintamente o contexto, o problema de pesquisa, objetivo, uma descrição sucinta do método, e resultados alcançados, caracterizando a contribuição para o conhecimento científico. Palavras-chave: termos que identifiquem os principais assuntos tratado no artigo, sendo no mínimo três e no máximo cinco separados por ponto.

Texto em português entre 100 a 200 palavras, em bloco único. Os títulos, resumos e palavras-chave tanto em português quanto em inglês devem ficar em apenas uma página.

ABSTRACT

Versão do resumo em inglês, em bloco único.

Keywords: Tradução.

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo deve informar o leitor sobre o tema que será abordado e colocá-lo a par do conhecimento já existente. Os artigos podem ser apresentados em português, espanhol ou inglês.

O texto deve ser justificado, com entrelinhas simples e espaço entre parágrafos zero.

O artigo deve ter no máximo de 7.000 palavras e 5MB, contando-se a partir da introdução do artigo, até as conclusões. O original deverá ser formatado em folha A4, com espaço simples, fonte Times New Roman, tamanho 12, justificado. As margens superior e esquerda devem apresentar 3 cm e as margens inferior e direita, 2 cm.

Os capítulos devem ser numerados a partir da introdução até as conclusões.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O original deverá ser formatado em folha A4, com espaço simples, fonte Times New Roman, tamanho 12, justificado. As margens superior e esquerda devem apresentar 3 cm e as margens inferior e direita, 2 cm.

Devem ser evitadas referências no corpo do texto:

- para conhecimento geral do tema abordado;
- secundárias (*apud*);
- predominância de referências próprias.

As citações devem seguir a NBR 10520:2001:

Conforme Moraes *et al.* (2000) ...

... (BRANDÃO; HEINECK, 1998).

A NBR 6461 (ABNT, 1983a) especifica

Sakai e Sugita (1995) sugerem ...

... (SILVA; ROMAN, 2001; LAVELLE, 1998).

... bem como proposto na ASTM C-780 (ASTM, 1991).

2.1 Continuação do Referencial Teórico

O original deverá ser formatado em folha A4, com espaço simples, fonte Times New Roman, tamanho 12, justificado. As margens superior e esquerda devem apresentar 3 cm e as margens inferior e direita, 2 cm.

Notas inseridas no corpo do artigo devem ser indicadas por meio de algarismos romanos, em formato sobrescrito, imediatamente depois da frase a que diz respeito. As notas deverão vir no rodapé do texto, na página em que aparecem.

2.1.1 Continuação do Referencial Teórico

O original deverá ser formatado em folha A4, com espaço simples, fonte Times New Roman, tamanho 12, justificado. As margens superior e esquerda devem apresentar 3 cm e as margens inferior e direita, 2 cm.

2.1.2 Continuação do Referencial Teórico

O original deverá ser formatado em folha A4, com espaço simples, fonte Times New Roman, tamanho 12, justificado. As margens superior e esquerda devem apresentar 3 cm e as margens inferior e direita, 2 cm.

As Figuras, Tabelas e Quadros devem ser numeradas de acordo com cada nome e devem aparecer logo após serem citadas no texto. Deve haver uma contagem para Figuras, outra para Tabelas e outra para Quadros. Ex.: Conforme a Figura 1, o A descrição deve ficar acima da Figura e a Fonte abaixo.

Figura 1 – Logo da revista Ambiente Construído



Fonte: Ambiente Construído (2002).

Quadros e Tabelas devem ser inseridas no *word* e **não** como imagem.

2.2 Continuação do Referencial Teórico

O original deverá ser formatado em folha A4, com espaço simples, fonte Times New Roman, tamanho 12, justificado. As margens superior e esquerda devem apresentar 3 cm e as margens inferior e direita, 2 cm.

As Equações devem ser citadas no texto e numeradas sequencialmente conforme o modelo da Equação 1:

$$A = \pi r^2 \qquad \text{Eq. 1}$$

3 MÉTODO

O método de pesquisa deve ser detalhadamente apresentado, incluindo delineamento ou estratégias utilizadas, e instrumentos de coleta e análise de dados claramente especificados.

O original deverá ser formatado em folha A4, com espaço simples, fonte Times New Roman, tamanho 12, justificado. As margens superior e esquerda devem apresentar 3 cm e as margens inferior e direita, 2 cm.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O original deverá ser formatado em folha A4, com espaço simples, fonte Times New Roman, tamanho 12, justificado. As margens superior e esquerda devem apresentar 3 cm e as margens inferior e direita, 2 cm.

5 CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se imprescindível um item contendo comentários conclusivos, destacando-se os principais produtos da pesquisa e suas contribuições para o conhecimento existente.

O original deverá ser formatado em folha A4, com espaço simples, fonte Times New Roman, tamanho 12, justificado. As margens superior e esquerda devem apresentar 3 cm e as margens inferior e direita, 2 cm.

REFERÊNCIAS

As referências devem ser reunidas no final do artigo em uma única ordem alfabética, de acordo com NBR 6023 - Referências – Elaboração (2002). Alinhado à esquerda e entrelinhas depois em 6 pontos.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-780**: standard test method for preconstruction and construction evaluation of mortars for plain and reinforced unit masonry. Philadelphia, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6461**: blocos cerâmicos para alvenaria: verificação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1983a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: agregado para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 1983b.

BARROS, M. M. B. **Metodologia Para Implantação de Tecnologias Construtivas Racionalizadas na Produção de Edifícios**. São Paulo, 1996. 410 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BLEDZIK, A. K. *et al.* A Comparison of Compounding Process and Wood Type For Wood Fibre-pp Composites. **Composites Part A: applied Science and Manufacturing**, v. 36, p. 789-797, 2005.

RAPOPORT, A. Environmental Cognition in Cross-Cultural Perspective. In: MOORE, G. T.; GOLLEDGE, R. G. (Eds.). **Environmental Knowing**. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson and Ross, 1976. p. 220-234.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos para agências de fomento à pesquisa, a instituições que não a do(s) autor(es) e a eventuais orientadores ou inspiradores do trabalho poderão ser mencionados no final do artigo, apenas na versão final, após aprovação do artigo para publicação.

O original deverá ser formatado em folha A4, com espaço simples, fonte Times New Roman, tamanho 12, justificado. As margens superior e esquerda devem apresentar 3 cm e as margens inferior e direita, 2 cm.

ANEXO B - NORMAS PARA A PUBLICAÇÃO NA REVISTA IBRACON DE ESTRUTURAS E MATERIAIS

Título

Title

Resumo

Texto com no máximo 10 linhas ou 300 palavras que deve ser redigido em português ou espanhol. O resumo deve fornecer ao leitor uma idéia clara sobre o assunto tratado no artigo e sobre a sua abordagem. Deve ser sucinto e conter as seguintes informações: objetivo do trabalho, descrição resumida da metodologia usada no trabalho destacando os principais aspectos, principais resultados obtidos e conclusão ou considerações finais.

Abstract

Texto com no máximo 10 linhas ou 300 palavras que deve ser redigido em inglês. O resumo deve fornecer ao leitor uma idéia clara sobre o assunto tratado no artigo e sobre a sua abordagem. Deve ser sucinto e conter as seguintes informações: objetivo do trabalho, descrição resumida da metodologia usada no trabalho destacando os principais aspectos, principais resultados obtidos e conclusão ou considerações finais.

Palavras-chave: no máximo cinco palavras em português ou em espanhol de acordo com o idioma do texto.

Keywords: no máximo cinco palavras em inglês.

Introdução

Nesse item pode-se apresentar um breve relato sobre o estado da arte, a justificativa para o estudo e os objetivos. A sugestão de itemização desta Folha de Estilos é adequada a artigos que tratam de avaliação de resultados experimentais, porém, pode ser alterada a critério dos autores.

O artigo deve ter no máximo 25 páginas de texto (incluindo agradecimentos e referências) com o espaçamento e fonte indicados.

No texto, figuras e tabelas as referências devem ser indicadas por um número entre colchetes [1] e, se conveniente, pelo sobrenome do autor seguido do número (Cox [1]).

Justificativa

Quando necessário pode haver subtítulos para maior clareza do texto.

Materiais e programa experimental

Apresentar a caracterização física, química e mecânica dos materiais usados no programa experimental. Descrever o método de amostragem e o preparo dos corpos-de-prova, as condições e métodos de ensaio.

As tabelas e figuras devem ser referenciadas no texto e seus títulos devem refletir precisamente o seu conteúdo. A numeração deve ser seqüencial. As tabelas e figuras não devem ser inseridas no texto, mas mostradas em páginas separadas no fim do artigo. É importante ressaltar que cada página deve ter apenas uma figura ou tabela.

Resultados e discussões

Neste item devem ser incluídos os resultados na forma de figuras e tabelas. Os resultados devem ser discutidos para que substanciem as considerações e conclusões a que o artigo se dispõe.

Conclusões

As conclusões devem limitar-se ao escopo do trabalho e preferencialmente devem ser apresentadas de forma itemizada.

Agradecimentos

Nesse item podem ser feitos os agradecimentos às instituições de fomento à pesquisa, às empresas privadas patrocinadoras do trabalho, aos pesquisadores e profissionais que auxiliaram na execução dos ensaios e fornecimento de dados e materiais.

Referências bibliográficas

- [1] Cox HL. The elasticity and strength of paper and other fibrous materials. *British Journal of Applied Physics*, v.3, n.1, 1952; p.72-79.
- [2] TAYLOR, H. F. W. *Cement Chemistry*, London: Thomas Telford, 2ed, 1997, 459 p.
- [8] International Union of Pure and Applied Chemistry – IUPAC. *Manual of Symbols and Terminology*, Appendix 2, Part 1, “Colloid and Surface Chemistry”, *Pure Applied Chemistry*, n.31, p.578, 1972.
- [9] JOHN, V. M. *Cimentos de escória ativada com silicatos de sódio*, São Paulo, 1995, Tese (doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 189 p.
- [10] BROWN, P. W. The implications of phase equilibria on hydration in the tricalcium silicate-water and the tricalcium aluminate-gypsum water systems. *In: Congresso Internacional da Química do Cimento*, 8º, Rio de Janeiro, 1986, Anais, Rio de Janeiro, 1986, v.3, p.231-38.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Cimento Portland Composto*. - NBR 11578, Rio de Janeiro, 1991.

TABELAS

O tamanho da fonte usada nas tabelas é de 10 ou 11 pontos. A Tabela 1 é um exemplo de tabela. Apresente uma tabela por página!

Tabela 1 Composição provável da cal hidratada.

Determinação	Teor em massa (%)
Ca(OH) ₂	91,00
Mg(OH) ₂	0,56
CaSO ₄	0,49
CaCO ₃	5,60
SiO ₂	1,50
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	0,89
Água livre	0,36
Óxidos totais na base não volátil	92,00

FIGURAS

O exemplo da Figura 1 ilustra um modelo que deve ser adotado para a apresentação de figuras no texto. São considerados figuras os seguintes elementos: fotos, diagramas, fluxogramas, gráficos em geral. As informações das figuras devem ser nítidas e claramente distinguíveis em impressão monocromática. A fonte usada deve ser igual a usada no texto. O uso de cores não é recomendado.

Apresente uma figura por página!

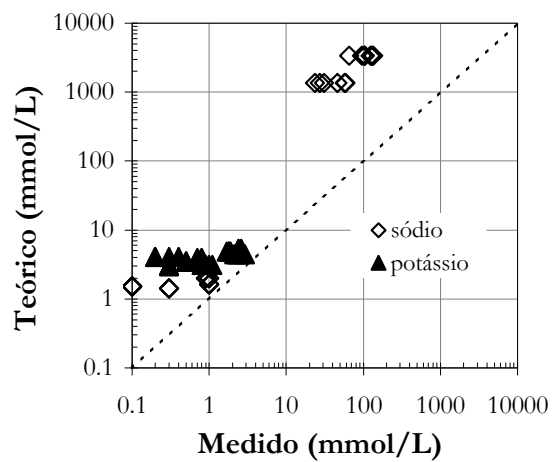


Figura 1. Teor de íons sódio e potássio na água de equilíbrio. Relação entre a concentração medida e a concentração teórica dos íons alcalinos.

IDENTIFICAÇÃO DOS AUTORES

As fotos dos autores podem ser omitidas, porém somente há duas possibilidades: as fotos de todos os autores serem apresentadas ou nenhuma foto.



T. N. BITTENCOURT^a, G. MELO^b

^a Instituto, Departamento, Escola, Empresa de origem, endereço eletrônico, endereço postal, cidade, país;

^b Instituto, Departamento, Escola, Empresa de origem, endereço eletrônico, endereço postal, cidade, país.

ANEXO C - NORMAS PARA A PUBLICAÇÃO NO PERIÓDICO CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS

GUIDE FOR AUTHORS

Your Paper Your Way

We now differentiate between the requirements for new and revised submissions. You may choose to submit your manuscript as a single Word or PDF file to be used in the refereeing process. Only when your paper is at the revision stage, will you be requested to put your paper in to a 'correct format' for acceptance and provide the items required for the publication of your article.

To find out more, please visit the Preparation section below.

INTRODUCTION

Construction and Building Materials provides an international forum for the dissemination of research and development in the field of construction and building materials and their application in new works and repair practice.

Authors must supply the names, addresses and institutional email addresses of 5 independent referees from outside their own country. Papers will be returned to the author if institutional email addresses are not provided.

All Authors are expected to help in the peer review process by reviewing at least 3 papers. We reserve the right to decline to consider papers from potential Authors who are too busy or unwilling to take part in the peer review process.

Types of paper

Contributions falling into the following categories will be considered for publication: Research papers, occasional reviews, calendar inserts, replication studies and book reviews.

Discussions: Any comment on or discussion of a published paper should be emailed directly to the Editor, NOT submitted via the electronic submission system. It must be received by the Editor within three months of the online publication of the paper under discussion.

Replication Studies: This journal encourages the submission of replication studies.

When submitting your manuscript select the replication study article type from the drop down menu in EES. Also ensure that the original study is clearly referenced by providing a link to the original study. Replication studies should include [brief] introduction and discussion sections that succinctly report the goal of the original paper. The original paper should be the work of a different author or group of authors.

For replication studies please also deposit your data in Mendeley data or another trusted repository and ensure your data is properly cited. Please refer to the section on Research data for further guidance on data deposition and citation.

Contact details for submission

The entire submission and review process for *Construction and Building Materials* is handled electronically, which shortens publication times. All papers should be submitted electronically through <http://ees.elsevier.com/conbuildmat> Prior to submitting your paper, please follow the instructions given below. Please note that you must have an e-mail address to use the online submission system. Authors submit their article online simply by registering, logging-in and submitting. Editors will then invite potential reviewers by e-mail.

Submission checklist

You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

Manuscript:

- Include keywords
- All figures (include relevant captions)
- All tables (including titles, description, footnotes)
- Ensure all figure and table citations in the text match the files provided
- Indicate clearly if color should be used for any figures in print

Graphical Abstracts / Highlights files (where applicable)

Supplemental files (where applicable)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'
- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)
- A competing interests statement is provided, even if the authors have no competing interests to declare
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed
- Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements

For further information, visit our [Support Center](#).

BEFORE YOU BEGIN***Ethics in publishing***

Please see our information pages on [Ethics in publishing](#) and [Ethical guidelines for journal publication](#).

Declaration of interest

All authors must disclose any financial and personal relationships with other people or organizations that could inappropriately influence (bias) their work. Examples of potential conflicts of interest include employment, consultancies, stock ownership, honoraria, paid expert testimony, patent applications/registrations, and grants or other funding. Authors should complete the declaration of interest statement using [this template](#) and upload to the submission system at the Attach/Upload Files step. If there are no interests to declare, please choose: 'Declarations of interest: none' in the template. This statement will be published within the article if accepted. [More information](#).

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract, a published lecture or academic thesis, see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service [Crossref Similarity Check](#).

Preprints

Please note that [preprints](#) can be shared anywhere at any time, in line with Elsevier's [sharing policy](#). Sharing your preprints e.g. on a preprint server will not count as prior publication (see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information).

Use of inclusive language

Inclusive language acknowledges diversity, conveys respect to all people, is sensitive to differences, and promotes equal opportunities. Articles should make no assumptions about the beliefs or commitments of any reader, should contain nothing which might imply that one individual is superior to another on the grounds of race, sex, culture or any other characteristic, and should use inclusive language throughout. Authors should ensure that writing is free from bias, for instance by using 'he or she', 'his/her' instead of 'he' or 'his', and by making use of job titles that are free of stereotyping (e.g. 'chairperson' instead of 'chairman' and 'flight attendant' instead of 'stewardess').

Author contributions

For transparency, we encourage authors to submit an author statement file outlining their individual contributions to the paper using the relevant CRediT roles: Conceptualization; Data curation; Formal analysis; Funding acquisition; Investigation; Methodology; Project administration; Resources;

Software; Supervision; Validation; Visualization; Roles/Writing - original draft; Writing - review & editing. Authorship statements should be formatted with the names of authors first and CRedit role(s) following. [More details and an example](#)

Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors **before** submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only **before** the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the **corresponding author**: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed.

Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors **after** the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

Article transfer service

This journal is part of our Article Transfer Service. This means that if the Editor feels your article is more suitable in one of our other participating journals, then you may be asked to consider transferring the article to one of those. If you agree, your article will be transferred automatically on your behalf with no need to reformat. Please note that your article will be reviewed again by the new journal. [More information.](#)

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (see [more information](#) on this). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. [Permission](#) of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has [preprinted forms](#) for use by authors in these cases.

For gold open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' ([more information](#)). Permitted third party reuse of gold open access articles is determined by the author's choice of [user license](#).

Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. [More information.](#)

Elsevier supports responsible sharing

Find out how you can [share your research](#) published in Elsevier journals.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some funding bodies will reimburse the author for the gold open access publication fee. Details of [existing agreements](#) are available online.

Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research:

Subscription

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our [universal access programs](#).
- No open access publication fee payable by authors.
- The Author is entitled to post the [accepted manuscript](#) in their institution's repository and make this public after an embargo period (known as green Open Access). The [published journal article](#) cannot be shared publicly, for example on ResearchGate or Academia.edu, to ensure the sustainability of peer-reviewed research in journal publications. The embargo period for this journal can be found below.

Gold open access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse.
- A gold open access publication fee is payable by authors or on their behalf, e.g. by their research funder or institution.

Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards.

For gold open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following [Creative Commons user licenses](#):

Creative Commons Attribution (CC BY)

Lets others distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), include in a collective work (such as an anthology), text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND)

For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The gold open access publication fee for this journal is **USD 3200**, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <https://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

Green open access

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our [open access page](#) for further information. Authors can also self-archive their manuscripts immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public. This is the embargo period and it begins from the date the article is formally published online in its final and fully citable form. [Find out more](#).

This journal has an embargo period of 24 months.

Elsevier Researcher Academy

[Researcher Academy](#) is a free e-learning platform designed to support early and mid-career researchers throughout their research journey. The "Learn" environment at Researcher Academy offers several interactive modules, webinars, downloadable guides and resources to guide you through the process of writing for research and going through peer review. Feel free to use these free resources to improve your submission and navigate the publication process with ease.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the [English Language Editing service](#) available from Elsevier's Author Services.

Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

Additional information

Manuscript length preferably no more than 20 double line spaced manuscript pages, including tables and illustrations. Acceptance of a manuscript for publication in the journal carries with it an understanding that the author, when requested, will fulfil an obligation to contribute their expertise to the review of others' manuscripts. Authors who are unwilling to assist with the review of a colleague's paper may in extreme cases find that their manuscripts are no longer welcomed for publication in Construction and Building Materials.

PREPARATION

NEW SUBMISSIONS

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts your files to a single PDF file, which is used in the peer-review process.

As part of the Your Paper Your Way service, you may choose to submit your manuscript as a single file to be used in the refereeing process. This can be a PDF file or a Word document, in any format or layout that can be used by referees to evaluate your manuscript. It should contain high enough quality figures for refereeing. If you prefer to do so, you may still provide all or some of the source files at the initial submission. Please note that individual figure files larger than 10 MB must be uploaded separately.

References

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

Formatting requirements

There are no strict formatting requirements but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for example Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Artwork and Tables with Captions.

If your article includes any Videos and/or other Supplementary material, this should be included in your initial submission for peer review purposes.

Divide the article into clearly defined sections.

Please ensure that you have included page numbers in your paper and that the text is single spaced with consecutive line numbering these are essential peer review requirements.

Figures and tables embedded in text

Please ensure the figures and the tables included in the single file are placed next to the relevant text in the manuscript, rather than at the bottom or the top of the file. The corresponding caption should be placed directly below the figure or table.

Peer review

This journal operates a single blind review process. All contributions will be initially assessed by the editor for suitability for the journal. Papers deemed suitable are then typically sent to a minimum of two independent expert reviewers to assess the scientific quality of the paper. The Editor is responsible for the final decision regarding acceptance or rejection of articles. The Editor's decision is final. [More information on types of peer review.](#)

REVISED SUBMISSIONS

Use of word processing software

Regardless of the file format of the original submission, at revision you must provide us with an editable file of the entire article. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the [Guide to Publishing with Elsevier](#)). See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

LaTeX

You are recommended to use the Elsevier article class [elsarticle.cls](#) to prepare your manuscript and [BibTeX](#) to generate your bibliography.

Our [LaTeX site](#) has detailed submission instructions, templates and other information.

Article structure*Subdivision - numbered sections*

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient details to allow the work to be reproduced by an independent researcher. Methods that are already published should be summarized, and indicated by a reference. If quoting directly from a previously published method, use quotation marks and also cite the source. Any modifications to existing methods should also be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. You can add your name between parentheses in your own script behind the English transliteration. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.

• **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. This responsibility includes answering any future queries about Methodology and Materials. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**

• **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal as they help increase the discoverability of your article via search engines. They consist of a short collection of bullet points that capture the novel results of your research as well as new methods that were used during the study (if any). Please have a look at the examples here: [example Highlights](#).

Highlights should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point).

Abstract

A concise and factual abstract not exceeding 100 words is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. You can view [Example Graphical Abstracts](#) on our information site.

Authors can make use of Elsevier's [Illustration Services](#) to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 10 keywords, and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, "and", "of"). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Formatting of funding sources

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, please include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Math formulae

Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Preferred fonts: Arial (or Helvetica), Times New Roman (or Times), Symbol, Courier.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Indicate per figure if it is a single, 1.5 or 2-column fitting image.
- For Word submissions only, you may still provide figures and their captions, and tables within a single file at the revision stage.
- Please note that individual figure files larger than 10 MB must be provided in separate source files.

A detailed [guide on electronic artwork](#) is available.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'.

TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low.
- Supply files that are too low in resolution.
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. [Further information on the preparation of electronic artwork.](#)

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules and shading in table cells.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is highly encouraged.

A DOI is guaranteed never to change, so you can use it as a permanent link to any electronic article. An example of a citation using DOI for an article not yet in an issue is: VanDecar J.C., Russo R.M., James D.E., Ambeh W.B., Franke M. (2003). Aseismic continuation of the Lesser Antilles slab beneath northeastern Venezuela. *Journal of Geophysical Research*, <https://doi.org/10.1029/2001JB000884>. Please note the format of such citations should be in the same style as all other references in the paper.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

Data references

This journal encourages you to cite underlying or relevant datasets in your manuscript by citing them in your text and including a data reference in your Reference List. Data references should include the following elements: author name(s), dataset title, data repository, version (where available), year, and global persistent identifier. Add [dataset] immediately before the reference so we can properly identify it as a data reference. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support [Citation Style Language styles](#), such as [Mendeley](#). Using citation plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide. If you use reference management software, please ensure that you remove all field codes before submitting the electronic manuscript. [More information on how to remove field codes from different reference management software.](#)

Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following link:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/construction-and-building-materials>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice.

Reference formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/ book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

Reference style

Text: Indicate references by number(s) in square brackets in line with the text. The actual authors can be referred to, but the reference number(s) must always be given.

Example: '..... as demonstrated [3,6]. Barnaby and Jones [8] obtained a different result'

List: Number the references (numbers in square brackets) in the list in the order in which they appear in the text.

Examples:

Reference to a journal publication:

[1] J. van der Geer, J.A.J. Hanraads, R.A. Lupton, The art of writing a scientific article, *J. Sci. Commun.* 163 (2010) 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.Sc.2010.00372>.

Reference to a journal publication with an article number:

[2] J. van der Geer, J.A.J. Hanraads, R.A. Lupton, 2018. The art of writing a scientific article. *Heliyon.* 19, e00205. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00205>.

Reference to a book:

[3] W. Strunk Jr., E.B. White, *The Elements of Style*, fourth ed., Longman, New York, 2000.

Reference to a chapter in an edited book:

[4] G.R. Mettam, L.B. Adams, How to prepare an electronic version of your article, in: B.S. Jones, R.Z. Smith (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*, E-Publishing Inc., New York, 2009, pp. 281–304.

Reference to a website:

[5] Cancer Research UK, *Cancer statistics reports for the UK*. <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/>, 2003 (accessed 13 March 2003).

Reference to a dataset:

[dataset] [6] M. Oguro, S. Imahiro, S. Saito, T. Nakashizuka, Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions, *Mendeley Data*, v1, 2015. <https://doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to the [List of Title Word Abbreviations](#).

Video

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. . In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the file in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB per file, 1 GB in total. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including [ScienceDirect](#). Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our [video instruction pages](#). Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

Data visualization

Include interactive data visualizations in your publication and let your readers interact and engage more closely with your research. Follow the instructions [here](#) to find out about available data visualization options and how to include them with your article.

Supplementary material

Supplementary material such as applications, images and sound clips, can be published with your article to enhance it. Submitted supplementary items are published exactly as they are received (Excel or PowerPoint files will appear as such online). Please submit your material together with the article

and supply a concise, descriptive caption for each supplementary file. If you wish to make changes to supplementary material during any stage of the process, please make sure to provide an updated file. Do not annotate any corrections on a previous version. Please switch off the 'Track Changes' option in Microsoft Office files as these will appear in the published version.

Research data

This journal encourages and enables you to share data that supports your research publication where appropriate, and enables you to interlink the data with your published articles. Research data refers to the results of observations or experimentation that validate research findings. To facilitate reproducibility and data reuse, this journal also encourages you to share your software, code, models, algorithms, protocols, methods and other useful materials related to the project.

Below are a number of ways in which you can associate data with your article or make a statement about the availability of your data when submitting your manuscript. If you are sharing data in one of these ways, you are encouraged to cite the data in your manuscript and reference list. Please refer to the "References" section for more information about data citation. For more information on depositing, sharing and using research data and other relevant research materials, visit the [research data](#) page.

Data linking

If you have made your research data available in a data repository, you can link your article directly to the dataset. Elsevier collaborates with a number of repositories to link articles on ScienceDirect with relevant repositories, giving readers access to underlying data that gives them a better understanding of the research described.

There are different ways to link your datasets to your article. When available, you can directly link your dataset to your article by providing the relevant information in the submission system. For more information, visit the [database linking page](#).

For [supported data repositories](#) a repository banner will automatically appear next to your published article on ScienceDirect.

In addition, you can link to relevant data or entities through identifiers within the text of your manuscript, using the following format: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Mendeley Data

This journal supports Mendeley Data, enabling you to deposit any research data (including raw and processed data, video, code, software, algorithms, protocols, and methods) associated with your manuscript in a free-to-use, open access repository. During the submission process, after uploading your manuscript, you will have the opportunity to upload your relevant datasets directly to *Mendeley Data*. The datasets will be listed and directly accessible to readers next to your published article online.

For more information, visit the [Mendeley Data for journals page](#).

Data in Brief

You have the option of converting any or all parts of your supplementary or additional raw data into one or multiple data articles, a new kind of article that houses and describes your data. Data articles ensure that your data is actively reviewed, curated, formatted, indexed, given a DOI and publicly available to all upon publication. You are encouraged to submit your article for *Data in Brief* as an additional item directly alongside the revised version of your manuscript. If your research article is accepted, your data article will automatically be transferred over to *Data in Brief* where it will be editorially reviewed and published in the open access data journal, *Data in Brief*. Please note an open access fee of 600 USD is payable for publication in *Data in Brief*. Full details can be found on the [Data in Brief website](#). Please use [this template](#) to write your Data in Brief.

MethodsX

You have the option of converting relevant protocols and methods into one or multiple MethodsX articles, a new kind of article that describes the details of customized research methods. Many researchers spend a significant amount of time on developing methods to fit their specific needs or setting, but often without getting credit for this part of their work. MethodsX, an open access journal, now publishes this information in order to make it searchable, peer reviewed, citable and reproducible. Authors are encouraged to submit their MethodsX article as an additional item directly alongside the revised version of their manuscript. If your research article is accepted, your methods article will

automatically be transferred over to MethodsX where it will be editorially reviewed. Please note an open access fee is payable for publication in MethodsX. Full details can be found on the [MethodsX website](#). Please use [this template](#) to prepare your MethodsX article.

Data statement

To foster transparency, we encourage you to state the availability of your data in your submission. This may be a requirement of your funding body or institution. If your data is unavailable to access or unsuitable to post, you will have the opportunity to indicate why during the submission process, for example by stating that the research data is confidential. The statement will appear with your published article on ScienceDirect. For more information, visit the [Data Statement page](#).

AFTER ACCEPTANCE

Online proof correction

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author will, at no cost, receive a customized [Share Link](#) providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](#). The Share Link can be used for sharing the article via any communication channel, including email and social media. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's [Author Services](#). Corresponding authors who have published their article gold open access do not receive a Share Link as their final published version of the article is available open access on ScienceDirect and can be shared through the article DOI link.

AUTHOR INQUIRIES

Visit the [Elsevier Support Center](#) to find the answers you need. Here you will find everything from Frequently Asked Questions to ways to get in touch.

You can also [check the status of your submitted article](#) or find out [when your accepted article will be published](#).

ANEXO D - NORMAS PARA A PUBLICAÇÃO NO PERIÓDICO CEMENT AND CONCRETE RESEARCH

GUIDE FOR AUTHORS

INTRODUCTION

The aim of *Cement and Concrete Research* is to publish the best research on cement, cement composites, concrete and other allied materials that incorporate cement. In doing so, the journal will present: the results of research on the properties and performance of cement and concrete; novel experimental techniques; the latest analytical and modelling methods; the examination and the diagnosis of real cement and concrete structures; and the potential for improved materials. The fields which the journal aims to cover are:

- Processing: Cement manufacture, mixing and rheology, admixtures and hydration. While the majority of articles will be concerned with Portland cements, we encourage articles on other cement systems, such as calcium aluminate.
- Structural and Microstructural Characterisation of the unhydrated components and of hydrated systems including: the chemistry, crystal structure, pore structure of cement and concrete, characterisation techniques, and structural and microstructural modelling.
- The properties of cement and concrete, including: fundamental physical properties; transport, mechanical and other properties, the processes of degradation of cement and concrete; and the modelling of properties, both as a means of predicting short and long performance, and as a means of relating a material's structure to its properties.
- Applications for cement and concrete, including: concrete technology, fibre reinforcement, waste management, and novel concretes.

Types of Paper

The journal accepts four types of article: Research Papers, Reviews, Communications (maximum submitted length of 6 manuscript pages) and Discussions (maximum submitted length of 4 manuscript pages) - the maximum number of manuscript pages includes tables and figures. The Journal publishes papers in English only. All papers deemed within the scope of the journal will be independently refereed.

Reprint order forms will be sent to the authors whose papers have been accepted for publication. There are no mandatory page charges.

Submission checklist

You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

Manuscript:

- Include keywords
- All figures (include relevant captions)
- All tables (including titles, description, footnotes)
- Ensure all figure and table citations in the text match the files provided
- Indicate clearly if color should be used for any figures in print

Graphical Abstracts / Highlights files (where applicable)

Supplemental files (where applicable)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'
- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)
- A competing interests statement is provided, even if the authors have no competing interests to declare
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed

- Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements

For further information, visit our [Support Center](#).

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

Please see our information pages on [Ethics in publishing](#) and [Ethical guidelines for journal publication](#).

Declaration of interest

All authors must disclose any financial and personal relationships with other people or organizations that could inappropriately influence (bias) their work. Examples of potential conflicts of interest include employment, consultancies, stock ownership, honoraria, paid expert testimony, patent applications/registrations, and grants or other funding. Authors should complete the declaration of interest statement using [this template](#) and upload to the submission system at the Attach/Upload Files step. If there are no interests to declare, please choose: 'Declarations of interest: none' in the template. This statement will be published within the article if accepted. [More information](#).

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract, a published lecture or academic thesis, see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service [Crossref Similarity Check](#).

Preprints

Please note that [preprints](#) can be shared anywhere at any time, in line with Elsevier's [sharing policy](#). Sharing your preprints e.g. on a preprint server will not count as prior publication (see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information).

Use of inclusive language

Inclusive language acknowledges diversity, conveys respect to all people, is sensitive to differences, and promotes equal opportunities. Articles should make no assumptions about the beliefs or commitments of any reader, should contain nothing which might imply that one individual is superior to another on the grounds of race, sex, culture or any other characteristic, and should use inclusive language throughout. Authors should ensure that writing is free from bias, for instance by using 'he or she', 'his/her' instead of 'he' or 'his', and by making use of job titles that are free of stereotyping (e.g. 'chairperson' instead of 'chairman' and 'flight attendant' instead of 'stewardess').

Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors **before** submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only **before** the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the **corresponding author**: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed.

Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors **after** the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

Article transfer service

This journal is part of our Article Transfer Service. This means that if the Editor feels your article is more suitable in one of our other participating journals, then you may be asked to consider transferring the article to one of those. If you agree, your article will be transferred automatically on your behalf with no need to reformat. Please note that your article will be reviewed again by the new journal. [More information](#).

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (see [more information](#) on this). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. [Permission](#) of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has [preprinted forms](#) for use by authors in these cases.

For gold open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' ([more information](#)). Permitted third party reuse of gold open access articles is determined by the author's choice of [user license](#).

Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. [More information](#).

Elsevier supports responsible sharing

Find out how you can [share your research](#) published in Elsevier journals.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some funding bodies will reimburse the author for the gold open access publication fee. Details of [existing agreements](#) are available online.

Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research:

Subscription

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our [universal access programs](#).
- No open access publication fee payable by authors.
- The Author is entitled to post the [accepted manuscript](#) in their institution's repository and make this public after an embargo period (known as green Open Access). The [published journal article](#) cannot be shared publicly, for example on ResearchGate or Academia.edu, to ensure the sustainability of peer-reviewed research in journal publications. The embargo period for this journal can be found below.

Gold open access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse.
- A gold open access publication fee is payable by authors or on their behalf, e.g. by their research funder or institution.

Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards.

For gold open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following [Creative Commons user licenses](#):

Creative Commons Attribution (CC BY)

Lets others distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), include in a collective work (such as an anthology), text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND)

For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The gold open access publication fee for this journal is **USD 3500**, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <https://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

Green open access

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our [open access page](#) for further information. Authors can also self-archive their manuscripts immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public. This is the embargo period and it begins from the date the article is formally published online in its final and fully citable form. [Find out more](#).

This journal has an embargo period of 24 months.

Elsevier Researcher Academy

[Researcher Academy](#) is a free e-learning platform designed to support early and mid-career researchers throughout their research journey. The "Learn" environment at Researcher Academy offers several interactive modules, webinars, downloadable guides and resources to guide you through the process of writing for research and going through peer review. Feel free to use these free resources to improve your submission and navigate the publication process with ease.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the [English Language Editing service](#) available from Elsevier's Author Services.

Submission

Articles may be submitted online to this journal. The online system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail. Contributions to this journal may be submitted either online or outside the system. Please do not submit via both routes; doing so may cause your manuscript to be reviewed and published twice!

Submit your article

PREPARATION

Manuscripts should be typed, double spaced, with wide margins. Concise writing is required: do not repeat data, i.e., use either tabular or graphical presentation of a set of data, not both. All textual elements should begin flush left, with no paragraph indents. Two returns should be placed after every element such as title, headings, paragraphs, and figure legends. Automatic numbering or footnoting features must not be used.

Peer review

This journal operates a single blind review process. All contributions will be initially assessed by the editor for suitability for the journal. Papers deemed suitable are then typically sent to a minimum of two independent expert reviewers to assess the scientific quality of the paper. The Editor is responsible for the final decision regarding acceptance or rejection of articles. The Editor's decision is final. [More information on types of peer review](#).

Use of word processing software

It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the [Guide to Publishing with Elsevier](#)). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

LaTeX

You are recommended to use the Elsevier article class [elsarticle.cls](#) to prepare your manuscript and [BibTeX](#) to generate your bibliography.

Our [LaTeX site](#) has detailed submission instructions, templates and other information.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient details to allow the work to be reproduced by an independent researcher. Methods that are already published should be summarized, and indicated by a reference. If quoting directly from a previously published method, use quotation marks and also cite the source. Any modifications to existing methods should also be described.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. You can add your name between parentheses in your own script behind the English transliteration. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.

• **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. This responsibility includes answering any future queries about Methodology and Materials. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**

• **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Highlights

Highlights are optional yet highly encouraged for this journal, as they increase the discoverability of your article via search engines. They consist of a short collection of bullet points that capture the novel results of your research as well as new methods that were used during the study (if any). Please have a look at the examples here: [example Highlights](#).

Highlights should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point).

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

The abstract should not be more than 150 words for Reviews, Papers, and Communications, and not more than 100 words for Discussions.

Keywords

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Formatting of funding sources

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, please include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Units

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other units are mentioned, please give their equivalent in SI.

Math formulae

Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors can build footnotes into the text, and this feature may be used. Otherwise, please indicate the position of footnotes in the text and list the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Embed the used fonts if the application provides that option.
- Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Size the illustrations close to the desired dimensions of the published version.
- Submit each illustration as a separate file.
- Ensure that color images are accessible to all, including those with impaired color vision.

A detailed [guide on electronic artwork](#) is available.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format.

Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. [Further information on the preparation of electronic artwork.](#)

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules and shading in table cells.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

Data references

This journal encourages you to cite underlying or relevant datasets in your manuscript by citing them in your text and including a data reference in your Reference List. Data references should include the following elements: author name(s), dataset title, data repository, version (where available), year, and global persistent identifier. Add [dataset] immediately before the reference so we can properly identify it as a data reference. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support [Citation Style Language styles](#), such as [Mendeley](#). Using citation plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide. If you use reference management software, please ensure that you remove all field codes before submitting the electronic manuscript. [More information on how to remove field codes from different reference management software.](#)

Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following link:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/cement-and-concrete-research>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice.

Reference style

Text: Indicate references by number(s) in square brackets in line with the text. The actual authors can be referred to, but the reference number(s) must always be given.

Example: '..... as demonstrated [3,6]. Barnaby and Jones [8] obtained a different result'

List: Number the references (numbers in square brackets) in the list in the order in which they appear in the text.

Examples:

Reference to a journal publication:

[1] J. van der Geer, J.A.J. Hanraads, R.A. Lupton, The art of writing a scientific article, *J. Sci. Commun.* 163 (2010) 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.Sc.2010.00372>.

Reference to a journal publication with an article number:

[2] J. van der Geer, J.A.J. Hanraads, R.A. Lupton, 2018. The art of writing a scientific article. *Heliyon*. 19, e00205. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00205>.

Reference to a book:

[3] W. Strunk Jr., E.B. White, *The Elements of Style*, fourth ed., Longman, New York, 2000.

Reference to a chapter in an edited book:

[4] G.R. Mettam, L.B. Adams, How to prepare an electronic version of your article, in: B.S. Jones, R.Z. Smith (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*, E-Publishing Inc., New York, 2009, pp. 281–304.

Reference to a website:

[5] Cancer Research UK, *Cancer statistics reports for the UK*. <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/>, 2003 (accessed 13 March 2003).

Reference to a dataset:

[dataset] [6] M. Oguro, S. Imahiro, S. Saito, T. Nakashizuka, Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions, *Mendeley Data*, v1, 2015. <https://doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to the [List of Title Word Abbreviations](#).

Video

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the file in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB per file, 1 GB in total. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including [ScienceDirect](#). Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our [video instruction pages](#). Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

Data visualization

Include interactive data visualizations in your publication and let your readers interact and engage more closely with your research. Follow the instructions [here](#) to find out about available data visualization options and how to include them with your article.

Supplementary material

Supplementary material such as applications, images and sound clips, can be published with your article to enhance it. Submitted supplementary items are published exactly as they are received (Excel or PowerPoint files will appear as such online). Please submit your material together with the article and supply a concise, descriptive caption for each supplementary file. If you wish to make changes to supplementary material during any stage of the process, please make sure to provide an updated file. Do not annotate any corrections on a previous version. Please switch off the 'Track Changes' option in Microsoft Office files as these will appear in the published version.

Research data

This journal encourages and enables you to share data that supports your research publication where appropriate, and enables you to interlink the data with your published articles. Research data refers to the results of observations or experimentation that validate research findings. To facilitate reproducibility and data reuse, this journal also encourages you to share your software, code, models, algorithms, protocols, methods and other useful materials related to the project.

Below are a number of ways in which you can associate data with your article or make a statement about the availability of your data when submitting your manuscript. If you are sharing data in one of these ways, you are encouraged to cite the data in your manuscript and reference list. Please refer to the "References" section for more information about data citation. For more information on depositing, sharing and using research data and other relevant research materials, visit the [research data](#) page.

Data linking

If you have made your research data available in a data repository, you can link your article directly to the dataset. Elsevier collaborates with a number of repositories to link articles on ScienceDirect with relevant repositories, giving readers access to underlying data that gives them a better understanding of the research described.

There are different ways to link your datasets to your article. When available, you can directly link your dataset to your article by providing the relevant information in the submission system. For more information, visit the [database linking page](#).

For [supported data repositories](#) a repository banner will automatically appear next to your published article on ScienceDirect.

In addition, you can link to relevant data or entities through identifiers within the text of your manuscript, using the following format: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Mendeley Data

This journal supports Mendeley Data, enabling you to deposit any research data (including raw and processed data, video, code, software, algorithms, protocols, and methods) associated with your manuscript in a free-to-use, open access repository. During the submission process, after uploading your manuscript, you will have the opportunity to upload your relevant datasets directly to *Mendeley Data*. The datasets will be listed and directly accessible to readers next to your published article online.

For more information, visit the [Mendeley Data for journals page](#).

Data in Brief

You have the option of converting any or all parts of your supplementary or additional raw data into one or multiple data articles, a new kind of article that houses and describes your data. Data articles ensure that your data is actively reviewed, curated, formatted, indexed, given a DOI and publicly available to all upon publication. You are encouraged to submit your article for *Data in Brief* as an additional item directly alongside the revised version of your manuscript. If your research article is accepted, your data article will automatically be transferred over to *Data in Brief* where it will be editorially reviewed and published in the open access data journal, *Data in Brief*. Please note an open access fee of 600 USD is payable for publication in *Data in Brief*. Full details can be found on the [Data in Brief website](#). Please use [this template](#) to write your Data in Brief.

Data statement

To foster transparency, we encourage you to state the availability of your data in your submission. This may be a requirement of your funding body or institution. If your data is unavailable to access or unsuitable to post, you will have the opportunity to indicate why during the submission process, for example by stating that the research data is confidential. The statement will appear with your published article on ScienceDirect. For more information, visit the [Data Statement page](#).

AFTER ACCEPTANCE

Online proof correction

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author will, at no cost, receive a customized [Share Link](#) providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](#). The Share Link can be used for sharing the article via any communication channel, including email and social media. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's [Author Services](#). Corresponding authors who have published their article gold open access do not receive a Share Link as their final published version of the article is available open access on ScienceDirect and can be shared through the article DOI link.