XV SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
Porto Alegre/RS - 11 a 13 de junho de 2025

COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS FRESCAS SOB EFEITO DOS ADITIVOS ESTABILIZADOR DE HIDRATAÇÃO E INCORPORADOR DE AR

Behavior of fresh mortars under the effect of hydration stabilizing and air entrained admixtures

JULIANA ANTONIAZZI[1], GIHAD MOHAMAD[2], JULIANA MACHADO CASALI[3]
[1] Professora da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), juliana.antoniazzi@ufsm.br
[2] Professora da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), gihad.civil@gmail.com
[3] Professora, Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), juliana.casali@ifsc.edu.br

RESUMO
Esse estudo avaliou o comportamento de argamassas no estado fresco, sob a ação dos aditivos estabilizador de hidratação (AEH) e incorporador de ar (AIA). Nove misturas foram confeccionadas com três diferentes teores de aditivos, avaliando-se teor de ar incorporado, índice de consistência e exsudação em cinco tempos. O uso e teor dos aditivos influenciaram as propriedades da argamassa: retardaram as exsudações iniciais e o AIA diminuiu a consistência. Com o tempo, reduziram-se os efeitos do AEH, diminuindo o ar incorporado e aumentando consistência. As propriedades avaliadas demonstraram ser mais suscetíveis aos teores de AIA do que aos teores de AEH.

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

ABSTRACT
This study evaluated the mortars behavior over time, during the fresh state, under the action of hydration stabilizing (HSA) and air entrained (AEA) admixtures. Nine mortars were made with three different contents of HSA and AEA. The air entrained content, consistency index and exudation were determined in five times in this study. The use and content of admixtures influenced the mortar properties: they delayed initial exudation and the AIA reduced the consistency. Over time, the effects of HAE reduced, reducing the entrained air and increasing consistency. The properties have been shown to be more susceptible to AEA contents than to HSA contents.

Key-words: Ready mix mortar. Air entrained admixture. Hydration stabilizing admixture. Fresh state.

Como citar:
ANTONIAZZI, J., MOHAMAD, G., CASALI, J. M. Comportamento de argamassas frescas sob efeito dos aditivos estabilizadores de hidratação e incorporadores de ar. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

INTRODUÇÃO

O comportamento das argamassas no estado fresco está vinculado 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 nessas características reológicas, podendo desencadear alterações também no estado endurecido, a depender dos teores empregados. O tipo e quantidade de aglomerantes e agregados, bem como, suas granulometrias, o tempo e intensidade da mistura, o uso de aditivos e o tempo de estabilização irão influenciar de forma significativa nas propriedades da argamassa [3][4][5][6][7][8][9].

A utilização de AIA e AEH nas argamassas tem como objetivo principal proporcionar maior trabalhabilidade e um tempo prolongado de utilização (até 72 horas) [1]. Essa melhora na trabalhabilidade se deve à introdução de microbolhas de ar (AIA), que 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 [11][12][13]. No entanto, quando utilizado em proporções inadequadas, o AIA pode proporcionar porosidade e permeabilidade elevadas, reduzindo a resistência mecânica e deixando a argamassa mais suscetível aos agentes agressivos [14][15][16][17].

A introdução do AEH nas argamassas promove a formação de uma película hidrorepelente ao redor dos grãos de cimento, impedindo que os mesmos se hidratem até que essa barreira seja dissolvida, retardando o início das reações [11][12][18]. 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 [19][20]. 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 [21].

A argamassa estabilizada, em seu 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, como já mostraram muitos estudos [22][23][24][25][26][27][28][9]. No entanto, para que seja viável a sua aplicação, suas propriedades precisam se enquadrar em uma faixa de aceitabilidade [29], porém ainda não foi estabelecida por norma. Logo, o processo de padronização dessas misturas por parte dos fabricantes torna-se mais difícil, resultando muitas vezes em grande variabilidade entre lotes [29][30].

Assim, um melhor entendimento sobre a ação desses aditivos e seus teores sobre as propriedades frescas das argamassas poderá contribuir para uma padronização do produto e para a prevenção de futuras manifestações patológicas. Dessa forma, o estudo 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.

MATERIAIS E MÉTODOS

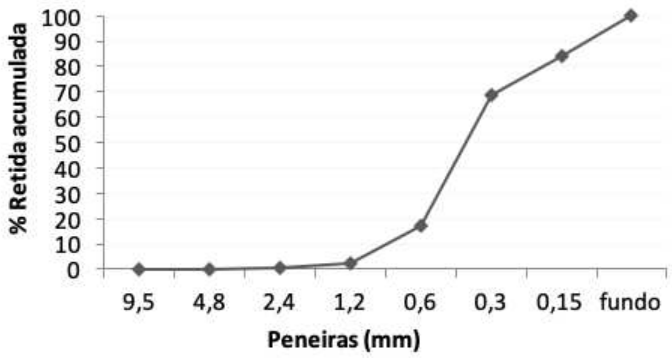
Os materiais utilizados nessa pesquisa foram cimento Portland composto com fíler (CP II F – 40, Votorantin, Brasil), agregado miúdo (areia, proveniente de rio, Santa Maria, RS, Brasil), aditivo incorporador de ar (AIA) e aditivo estabilizador de hidratação (AEH) do mesmo fornecedor. Os ensaios de caracterização dos materiais encontram-se nas Tabelas 1 e 2. A granulometria do agregado foi realizada conforme a NBR NM 248 [31] (Figura 1). Antes de serem utilizados, os agregados foram secos em estufa por 24h.

Tabela 1- Características físicas do cimento CPII F-40 e agregado miúdo.

Propriedades		CPII F-40	Método
Massa específica (g/cm³)		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 (m²/g)		1,2592	BET
Volume dos poros (cm³/g)		0,004791	BET
Dimensão dos poros (nm)		20,0047	BJH/BET
Blaine (cm²/g)		4521,50	NBR 16372 (ABNT, 2015)
Expansibilidade a quente (mm)		0,38	NBR 11582 (ABNT, 2016)
Resistência à compressão	1 dia	23,73	NBR 7215 (ABNT, 1997)
	3 dias	34,47	
	7 dias	40,25	
	28 dias	47,68	
Perda ao fogo (%)		4,86	NBR NM 18 (ABNT, 2012)
Óxido de magnésio (%)		5,90	NBR NM 14 (ABNT, 2012)
Anidrido sulfúrico (%)		3,56	NBR NM 16 (ABNT, 2012)
Resíduo insolúvel (%)		0,82	NBR NM 22 (ABNT, 2012)
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/cm³)		2,64	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Massa unitária (g/cm³)		1,63	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Teor de material pulverulento (%)		4,94	NBR NM 46 (ABNT, 2003)
Área superficial (m²/g)		0,5424	BET
Volume dos poros (cm³/g)		0,001156	BET
Dimensão dos poros (nm)		8,4833	BJH/BET

Fonte: Os autores (2025).

Figura 1 - Granulometria do agregado miúdo utilizado.



Fonte: Os autores (2025).

Tabela 2 - 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/cm3)	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.

O estudo analisou as propriedades no estado fresco de nove misturas de argamassas confeccionadas e ensaiadas no Laboratório de Materiais e Construção Civil –LMCC (UFSM, Brasil). Foram adotados um único tipo de cimento e agregado miúdo, mantendo-se o mesmo traço em massa e a mesma relação água/aglomerante (A/a). 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 (Tabela 3).

Tabela 3 - 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			

Fonte: Os autores (2025).

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 [32] 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 20 s em velocidade baixa. Posteriormente procedeu-se a mistura totalizando um tempo total de 270 s [7].

As argamassas foram armazenadas em potes fechados, em ambiente de laboratório, durante o período de avaliação, sendo homogeneizadas manualmente por 2 minutos antes dos ensaios. As misturas de argamassas foram submetidas as avaliações nos cinco tempos de utilização, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Ensaios 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)	●	●	●	●	●
Exsudação	3	RILEM MR-6	**	●	●	●	●

*N = Número de amostras por idade.
** = 15min, 30min, 1h, 2h e 4h.

Fonte: Os autores (2025).

A quantidade de água exsudada em cada argamassa foi determinada conforme a MR-6 [33], com adaptações. 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. Ao final, calculou-se a porcentagem total de água exsudada, em relação à água de mistura.

Os dados obtidos 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.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da ação dos aditivos no teor de ar incorporado e índice de consistência das argamassas analisadas são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Teor de ar incorporado e índice de consistência das argamassas ao longo de 72 h.

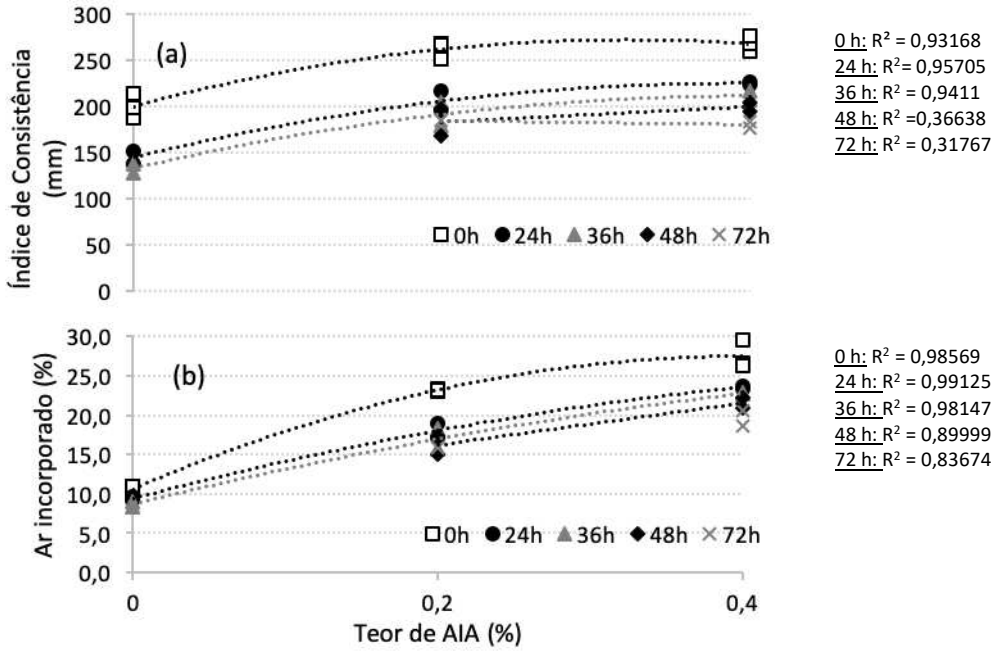
Arg (AEH/AIA)	0 h	24 h	36 h	48 h	72 h	p*
	Teor de ar incorporado (%)					
A1(0,0/0,0)	9,98±0,44^{A}	-	-	-	-	-
A2(0,6/0,0)	11,00±0,81^{A}	9,60±0,25^{A}	8,34±0,85^{A}	-	-	0,190
A3(0,9/0,0)	10,90±0,89^{Ab}	9,21±0,29^{Aa}	9,07±0,71^{Aa}	-	-	0,016
A4(0,0/0,2)	23,37±1,00^{B}	-	-	-	-	-
A5(0,0/0,4)	29,53±0,77^{D}	-	-	-	-	-
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	
	Índice de consistência (mm)					
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).
Fonte: Os autores (2025).

A argamassa A4(0,0/0,2), com o menor teor empregado, atingiu 13% a mais de ar incorporado e índice de consistência 65 mm superior à A1(0,0/0,0), para 0 h. Com o dobro do teor de AIA, A5(0,0/0,4) apresentou incorporação de ar 20% superior à A1(0,0/0,0), enquanto o espalhamento se deu 73 mm maior. Foram detectadas diferenças estatisticamente significativas no teor de ar incorporado entre todas as argamassas ao se dobrar o teor de AIA empregado, seja isolado ou combinado ao AEH. Verifica-se, assim, uma relação direta, porém, não linear, entre o teor de AIA e e o índice de consistência, o que fica evidenciado pela Figura 2a, e entre o teor de AIA e a incorporação de ar, pela Figura 2b.

Isso ocorre devido a um limite de saturação das moléculas do AIA, a partir do qual a incorporação de ar tende a estabilizar [34]. Foram observados maiores valores de incorporação de ar para o emprego do AIA isoladamente do que quando combinado ao AEH, assim como obtido por Antoniazzi *et al.* [7]. Dobrando-se o teor de AIA, o índice de 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 0 h, 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, conforme também descrito por Romano, Cincotto e Pileggi [10].

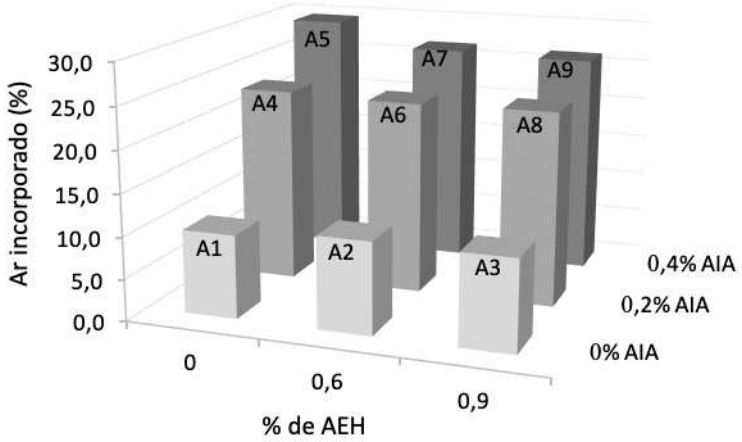
Figura 2 - Efeito do aumento do teor de AIA no índice de consistência (a) e no teor de ar incorporado (b) das argamassas durante o período de utilização.



Fonte: Os autores (2025).

O uso do AEH não contribuiu para a incorporação de ar das argamassas em 0 h, como pode-se perceber na comparação entre as misturas com mesmo teor de AIA, isoladamente e juntamente com AEH, ilustrados na Figura 3. 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 [35]. 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 [35] obtiveram aumento na incorporação de ar com o AEH combinado ao AIA.

Figura 3 - Ação do aumento no teor dos aditivos AEH e AIA no teor de ar incorporados das argamassas em 0 h.



Fonte: Os autores (2025).

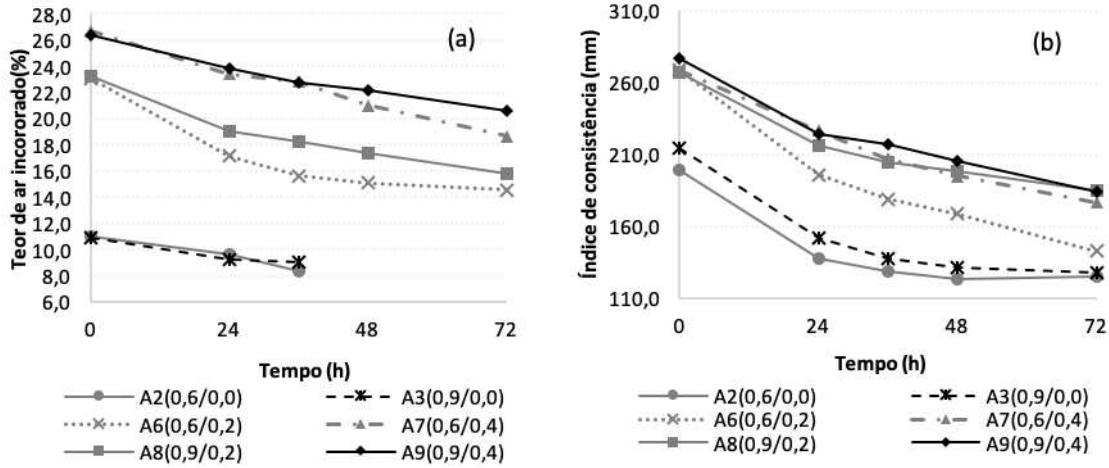
O AEH além de retardar o início das reações, proporcionando maior quantidade de água disponível para a trabalhabilidade, possui um efeito plastificante. Esse efeito promoveu pequenos incrementos no índice de consistência de A2(0,6/0,0) e A3(0,9/0,0), comparando-se com A1(0,0/0,0). Quando combinado ao 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 em estudos similares [5][36][37][38].

A avaliação do tempo de utilização de 72 h 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 36 h, pois houve diminuição da trabalhabilidade devido à perda de água, impossibilitando a sua execução.

Ao longo das 72 h, 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 significativas no teor de ar incorporado das argamassas, as quais se intensificaram com o passar do tempo.

Assim, a Figura 4 (a) mostra o teor de ar incorporado das argamassas com AEH ao longo do período de utilização.

Figura 4 - Comportamento do teor de ar incorporado (a) e do índice de consistência (b) das argamassas durante o período de utilização.



Fonte: Os autores (2025).

Nas primeiras 24 h 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 36 h, 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 72 h com 78,1% do seu teor de ar inicial, taxa essa, próxima a obtida por Trevisol e Koman [36] 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, como também demonstrado em Romano, Cincotto e Pileggi [10].

Pela classificação da NBR 13281[39] as argamassas sem AIA, em 0 h, se enquadrariam na Classe A (< 8%). Já as argamassas com AIA se enquadrariam na Classe C (> 18%) em 0 h, semelhante ao obtidos por outros autores [22][40][41]. No entanto, A6(0,6/0,2) e A8(0,9/0,2) passam para a Classe B (≥8% e ≤18%) a partir dos tempos de utilização de 24 h e 48 h, respectivamente. Essa perda de trabalhabilidade e o consequente aumento na consistência das argamassas podem ser observados por meio do declínio no índice de consistência ao longo do tempo (Figura 4 b), conforme já demonstrado por outros autores [22][30]. 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 72 h, porém, as misturas perderam fluidez já em 24 h, 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).

As argamassas que continham os dois aditivos mantiveram-se trabalháveis por até 72 h, porém com consistência mais seca dependo 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 72 h, 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 72 h. 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 143 mm em 72 h.

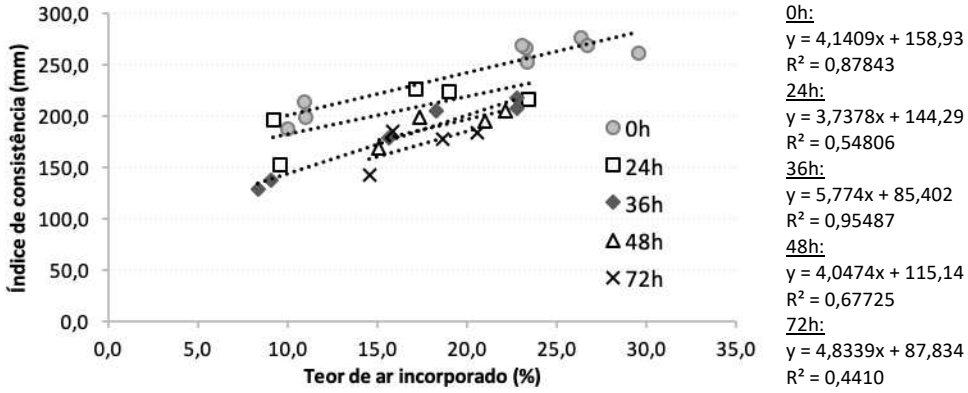
Observou-se que para o teor de ar incorporado e a consistência, o período mais crítico dentro do tempo de utilização avaliado deu-se nas primeiras 24 h, visto que, foi onde se constataram as perdas mais significativas de propriedades. Trevisol e Koman [36] obtiveram esse mesmo período crítico para a 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 0 h (R2=0,88) e de 36 h (R2=0,95), conforme mostra a Figura 5. Para os tempos de utilização de 24 h (R2=0,55) e de 48 h (R2=0,68), obteve-se uma correlação mais baixa, passando para fraca em 72 h (R2=0,44).

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 [22][40]. 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 [13][38][42]. 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, conforme também mostraram os estudos avaliando apenas o uso desse aditivo [13][38].

Figura 5 - Correlação entre o teor de ar incorporado e o índice de consistência das argamassas em 72 h de estabilização.



Fonte: Os autores (2025).

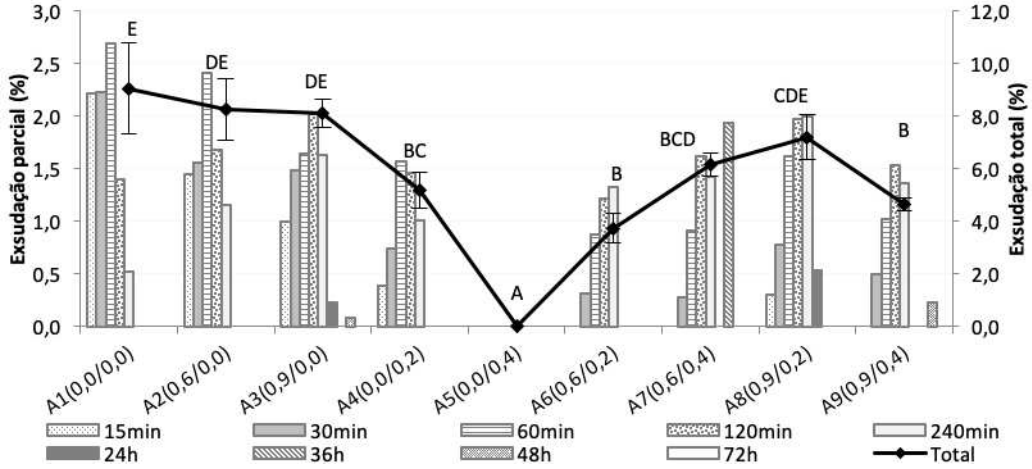
Por retardar o início da hidratação do cimento, o AEH também pode promover maior exsudação nas argamassas [21]. Assim, a Figura 6 apresenta os resultados da exsudação parcial e (15min, 30min, 60min, 120min, 240min, 24h, 36h, 48h e 72h) e total por argamassa.

Observa-se na Figura 6 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 [21]. 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). Assim, a Figura 7 mostra uma boa correlação entre o teor de ar incorporado em 0h e a exsudação nos primeiros 15min.

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 et al. [40] constatou exsudações muito baixas (0,15%) ou até nulas nos lotes estudados de argamassa estabilizada.

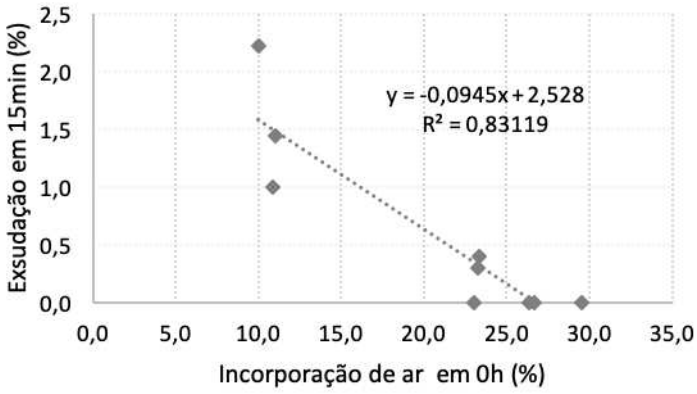
Assim, constatou-se que a utilização dos dois aditivos (AIA e AEH) proporcionou exsudações totais moderadas, inferiores à A1(0,0/0,0). Ou seja, mesmo com maior teor de água livre proporcionada pelo AEH devido ao maior tempo de início de pega das argamassas, o emprego conjunto com o AIA provavelmente fez com que as bolhas de ar mantivessem as partículas sólidas em suspensão, dificultando a sedimentação e, assim, a ascensão da água. Essa teoria tem como base os fenômenos descritos por Neville e Brooks [21].

Figura 6 - 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).
Fonte: Os autores (2025).

Figura 7 - Correlação entre o teor de ar incorporado em 0h e a exsudação em 15min das argamassas.



Fonte: Os autores (2025).

CONCLUSÃO

Com os resultados desse estudo pode-se concluir que:

- a combinação dos aditivos incorporador de ar e estabilizador de hidratação melhoraram as propriedades frescas das argamassas, em comparação a ausência ou uso isolado desses, permitindo manuseio por um maior período de tempo;

- as propriedades no tempo de utilização de 0 h demonstraram maior sensibilidade ao emprego e teores de AIA do que de AEH;

- 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 das argamassas devido à menor sedimentação e dificuldade da água em ascender;

- ao longo do tempo de utilização houve perda de ar incorporado e diminuição do efeito do AEH, aumentando a consistência das argamassas;

- a utilização do AEH não contribuiu para a incorporação de ar das argamassas;

- o AEH isoladamente não proporcionou alterações importantes na exsudação total das argamassas, no entanto, reduziu as exsudações nos primeiros 60 minutos de ensaio;

- a combinação dos aditivos proporcionou maior retenção inicial de água, retardando as exsudações iniciais;

- a exsudação inicial das argamassas demostrou boa e inversa correlação ao teor de ar incorporado em 0h;

- as argamassas necessitam do AEH para se manterem trabalháveis ao longo do período de estabilização, no entanto, suas propriedades demonstraram ser mais suscetíveis aos teores de AIA do que aos teores de AEH.

REFERÊNCIAS

[1] 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.

[2] 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, 1995, Goiânia, **Anais** [...]. Goiânia, 1995.

[3] HAACH., V.G.; VASCONCELOS,G.; LOURENÇO, P.B. Influence of aggregates grading and water/cement ratio in workability and hardened properties of mortars. **Construction and building materials**, V.25, Issue 6, pg.2980-2987, Junho 2011. http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.011

[4] CHEUNG, J.; JEKNAVORIAN, A.; ROBERTS, L.; SILVA, D. Impact of admixtures on the hydration kinetics of Portland cement. **Cement and Concrete Research**, 41:1289–1309, 2011. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011. 03. 005

[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] FUKUI, E.; MARTINS, E.J.; CAMPOS, H.F.; PINTO, M.C.C.; SILVA, S.H.L.D.; ROCHA, T.M.S.; KUDLANVEC JUNIOR, V.L.; COSTA, M.R.M.M. Efeito do procedimento de mistura no comportamento no estado fresco de argamassas de revestimento produzida em obra e industrializada, **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 23, n.01, 2018.

[7] ANTONIAZZI, J.P. *et al.* Incorporação de ar em argamassas estabilizadas: influência dos aditivos, agregados e tempo de mistura. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p.

285-304, jul./set. 2020. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000300429

[8] ANTONIAZZI, J. P.; MOHAMAD, G.; CASALI, J. M. Influence of cement type, air-entrained admixture and hydration stabilizing admixture on mortars' setting time. **Revista IBRACON Estruturas e Materiais,** vol. 14, no. 1, e14114, 2021, https://doi.org/10.1590/S1983-41952021000100014

[9] POLLI, F.H. *et al.* Influência da ação combinada de aditivos, incorporador de ar e estabilizador de hidratação, nas propriedades da argamassa estabilizada por até 48 horas. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, V. 28, n. 01, 2023, https://doi.org/10.1590/S1517-707620230001.1336

[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] CHAPPUIS, J. *et al.* **Admixtures and calcium aluminates.** Lafarge Aluminates Internal Report, 1991.

[12] RAMACHANDRAN, V. S. et. al. **Handbook of thermal analysis of construction materials.** Noyes Publications, New York, 2002.

[13] 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.

[14] BABIAK, M.; RATAJCZAK, M.; KULCZEWSKI, P.; KOSNO, J. Effect of Modern Air Entraining Admixtures on Physical Properties of Construction Mortars. **Mater Sci Forum,** 923:115–119, 2018. https:// doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.923.115

[15] CUENCA-MOYANO, G.M.; MARTIN-PASCUAL, J.; MARTIN-MORALES, M.; VALVERDE-PALACIOS, I.; ZAMORANO, M. Effects of water to cement ratio, recycled fine aggregate and air entraining/plasticizer admixture on masonry mortar properties. **Construction and Building Materials**, 230:116929, 2020. https://doi. org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116929

[16] QIAO, M.; SHAN, G.; CHEN, J.;WU, S.; GAO, N.; RAN, Q.; LIU, J. Effects of salts and adsorption on the performance of air entraining agent with different charge type in solution and cement mortar. **Construction and Building Materials**, 242: 118188, 2020. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118188

[17] MA, J.; SHANG, Y.; PENG, C.; LIU, H.; ZHENG, S.; ZHAO, H.; QI, S.; RAN,Q. Synthesis, characterization, and performance of novel phosphate-modified polymers as air-entraining agents. **Construction and Building Materials,** 232:117231, 2020. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117231

[18] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. IBRACON, 2014.

[19] PAOLINI, M.; KHURANA, R. Admixtures for recycling of waste concrete. **Cement and concrete composites,** 20, p221-229, 1998.

[20] WATTS, B.E.; FERRARO, C.C. Prediction of setting for admixture modified mortars using the VCCTL. **Cement and concrete composites,** 78:63–72, 2017. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.11.002

[21] NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto.** Bookman, 2 Edição 2013.

[22] 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. **Anais** [...], 2011.

[23] 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.

[24] 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.

[25] CALÇADA, L.M.L. *et al.* Influência das características do molde e da superfície de contato nas propriedades da argamassa estabilizada. In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza, CE, 2013. **Anais** [...], 2013.

[26] 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.

[27] SCHACKOW, A.; FERRARI, A.K.; EFFTING, C.; ALVES, V.O.; GOMES, I. R. Stabilized mortar with air incorporator agent and plasticizer set retarder: performance measurement. **Rev. Ibracon Estruturas e Materiais,** 12(06), nov/dec, 2019. http://doi.org/10.1590/S1983-41952019000600002

[28] MORAIS, S.C.; LORDSLEEM JÚNIOR, A.C.; ROCHA, J.H.A.; SILVA, J.L.; PÓVOAS, Y.V. Stabilized mortar: property evaluation according to stabilization time. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation,** 7:47, 2022. http://doi.org/10.1007/s41024-022-00186-x

[29] BAUER, B. *et al.* Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, 11, Porto Alegre, 2015. **Anais** [...], 2015.

[30] MACIOSKI,G et. al. Avaliação de propriedades no estado fresco e endurecido de argamassas estabilizadas. In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza, CE, 2013. **Anais** [...], 2013.

[31] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR **NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro:ABNT, 2003.

[32] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR **7215**: Cimento portland - determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

[33] INTERNATIONAL UNION OF LABORATORIES AND EXPERTS IN CONSTRUCTION MATERIALS, SYSTEMS AND STRUCTURES, RILEM **MR 6**: Tendency of water to separate from mortars (bleeding), 1982.

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

[35] BAUER, E.; OLIVEIRA, V.C. Comportamentos e propriedades das argamassas estabilizadas de revestimentos. In: XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, São Paulo, 2017. **Anais** [...], 2017.

[36] 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. **Anais** [...], 2019.

[37] 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. **Anais** [...], 2019.

[38] ALVES,N.J.D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, DF, 2002.

[39] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR **13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

[40] JANTSCH, A.C.A; MOHAMAD, G.; SCHMIDT, R.P.B.; ANTONIAZZI, J.P.; LUBECK, A. Avaliação do comportamento de revestimentos em argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes. **Ambiente Construído**, Porto alegre, v. 21, n.1, p.81-99, jan./mar. 2021, http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000100495

[41] 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. **Anais** [...], 2019.

[42] PAILLERE A M. Application of admixtures in Concrete Britain. **RILEM**, 2011.