INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR NA RESISTÊNCIA DE ARGAMASSAS ESTABILIZADAS

Tema: Tecnologia dos materiais
Grupo[1]: 2

LUCAS BALBUENO KARKOTLI[1], MARIA EDUARDA DA SILVA KNOBLAUCH[2], ALEXANDRE LIMA DE OLIVEIRA[3], JULIANA MACHDO CASALI[4], LUCIANA MALTEZ CALÇADA[5]

[1]Estudante de Eng. Civil, Instituto Federal de Santa Catarina/IFSC, lucaskarkotli@gmail.com
[2]Estudante de Eng. Civil, Instituto Federal de Santa Catarina/IFSC, dudaknoblauch@gmail.com
[3]Prof Dr., Instituto Federal de Santa Catarina/IFSC, alexandre@ifsc.edu.br
[4]Profª Dra., Instituto Federal de Santa Catarina/IFSC, juliana.casali@ifsc.edu.br
[5]Profª Dra., Instituto Federal de Santa Catarina/IFSC, lucianamaltez@ifsc.edu.br

RESUMO

As condições climáticas influenciam o ganho de resistência de produtos cimentícios e no funcionamento dos aditivos. Considerando o emprego de aditivo estabilizador de hidratação, este trabalho teve como objetivo verificar a influência da temperatura e da umidade relativa do ar na resistência de argamassas estabilizadas. Avaliou-se a resistência de corpos de prova expostos a diferentes ambientes, que combinaram duas temperaturas com três umidades relativas do ar distintas. Os resultados mostraram que as condições de exposição (temperatura e umidade) têm influência diferente para argamassas estabilizadas e convencionais.

Palavras-chave: argamassa estabilizada, resistência, estabilizador de hidratação.

INFLUENCE OF TEMPERATURE AND AIR RELATIVE HUMIDITY IN THE RESISTANCE OF READY MIX MORTAR

ABSTRACT

Cimentitious materials strength evolution as well as admixtures behavior is influenced by climatic conditions. Considering the use of hydration stabilizing admixture, the objective of this study was to verify the influence of temperature and relative air humidity on the compressive strength of ready mix mortars, that contains hydration stabilizing admixture. The compressive strength was evaluated after exposure to different environments combining two temperatures with three different air relative humidity. The results showed that exposure conditions have different influence for ready mix and conventional mortars.

Key-words: ready mix mortar, compression strength, hydration stabilizing admixture.

[1] **Grupo 1:** Oriundos de teses, dissertações e relatórios finais de projetos de pesquisa; ou **Grupo 2:** oriundos de disciplinas de pós graduação, iniciação científica, trabalhos de conclusão de curso (TCC), pesquisas aplicadas e outros.

1. INTRODUÇÃO

O uso de argamassas estabilizadas vem se intensificando no Brasil principalmente pelas vantagens de logística e gerência do canteiro de obras. A utilização de aditivos estabilizadores de hidratação permite seu armazenamento e aplicação ao longo de períodos de até 72 horas. Logo após o emprego, as argamassas sofrem perda de água para as superfícies com as quais fazem contato, bem como para o ambiente. Estas perdas de água têm influência direta sobre as propriedades da argamassa no estado endurecido, sendo influenciadas pela temperatura e umidade relativa do ar.

De acordo com Pereira (2007)[(1)], normalmente as argamassas no estado fresco têm excesso de água que permanece no estado livre em um sistema de poros saturado e partículas em suspensão. Quando a umidade relativa do ar do ambiente em que um revestimento se encontra é inferior a 100% haverá evaporação de água com consequente redução da umidade nos poros capilares, gerando tensões internas que podem afetar a resistência mecânica do material. Segundo Neville e Brooks (2013)[(2)], em se tratando de concreto, é necessário o preenchimento dos poros capilares para que a hidratação do cimento ocorra. Em compilação de estudos de diversos pesquisadores, Neville (1997)[(3)] apresenta que para umidades relativas do ar inferiores a 80% considerando não haver sol nem vento incidentes e que a temperatura se mantenha estável, há influência significativa sobre a hidratação do cimento. Considerando que a argamassa é, em geral, mais porosa e que o concreto o efeito da umidade relativa do ar tende a ser mais pronunciado.

A temperatura tem duplo efeito sobre a resistência mecânica de materiais a base de cimento a medida que influencia na evaporação de água e na velocidade das reações de hidratação do cimento. Em temperaturas mais altas as moléculas de água se movimentam mais rápido favorecendo a perda de água por evaporação (MEHTA e MONTEIRO; 1994)[(4)]. Além disso, o aumento da velocidade de reação de hidratação do cimento é diretamente proporcional ao aumento da temperatura. Ainda, em temperaturas mais altas, o posicionamento dos produtos de hidratação no espaços intersticiais do material não é uniforme, prejudicando a resistência mecânica (SILVA et al., 2009)[(5)].

Considerando a hipótese de que as características climáticas do ambiente de exposição influenciam na quantidade de água que será perdida para o ambiente, bem como nas reações de hidratação do cimento, sobretudo quando do emprego de aditivo estabilizador de hidratação, este trabalho tem o objetivo de avaliar a influência da umidade relativa do ar e da temperatura na resistência de argamassas estabilizadas no estado endurecido.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizada uma argamassa estabilizada de traço 1:6, em massa, com relação água/materiais secos 13%, 0,35% de aditivo incorporador de ar e 0,8% de aditivo

estabilizador de hidratação, ambos em relação à massa de cimento. Como referência, utilizou-se uma argamassa com a mesma composição, porém sem o estabilizador de hidratação. As características do cimento e do agregado miúdo encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização do cimento e do agregado miúdo utilizados.

Propriedades do Cimento CP II-F 32		Características do Agregado Miúdo (areia natural silicosa)	
Item de Controle	valor	Composição Granulométrica	
Perda ao fogo (%)*	9,94	Abertura das peneiras (mm)	Porcentagem Retida Acumulada
Resíduo Insolúvel (%)*	1,45	4,8	0,0
Conteúdo retido #200 (%)*	0,88	2,4	0,1
Superfície Específica – Blaine (cm^2/g)*	3654	1,2	2,2
Tempo de início de pega (horas)*	3:56	0,6	13,5
Tempo de fim de pega (horas)*	4:42	0,3	44,7
Resistência à compressão aos 7 dias (MPa)*	35,3	0,15	87,7
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)*	41,2	Fundo	100
Massa específica (g/cm^3)	3,026	Módulo de Finura	1,48
		Massa específica (kg/dm^3)	2,64
*resultados fornecidos pelo fabricante		Teor Mat. Pulv. (%)	0,44

As argamassas foram produzidas em argamassadeira planetária de 5l de laboratório e a sequência de mistura utilizada foi a descrita por Melo *et al.* (2018)[6]. Foram produzidas cinco e dez argamassadas, respectivamente para a argamassa de referência e a estabilizada, para obtenção da quantidade necessária de argamassa, que foram homogeneizadas por cinco minutos em um misturador de capacidade de cuba de 40l de eixo vertical dotado de hélice tipo turbilhonador e pá raspadora em aço e motor com potência de 1CV e frequência de 60 hz. Metade da argamassa estabilizada produzida foi avaliada logo após a sua produção (denominada 0h) e a outra metade foi armazenada em recipiente hermético para avaliação após 48h de armazenamento (denominada 48h). Antes da avaliação da argamassa armazenada por 48 horas foi realizada a sua homogeneização por cinco minutos no misturador de eixo vertical descrito anteriormente.

As propriedades avaliadas no estado fresco foram: índice de consistência (NBR 13276: 2005)[7], densidade de massa e teor de ar(NBR 13278: 2005)[8]. Para análise das propriedades do estado endurecido, foram moldados corpos de prova (4x4x16 cm) para avaliação da resistência aos 28 dias. Devido ao espaço restrito nas câmaras que compunham os ambientes de estudo, os moldes permaneceram em ambiente de laboratório por sete dias. Após este período, procedeu-se a desmoldagem e a exposição dos corpos de prova, até a data de ensaio, em quatro diferentes condições ambientais, combinando temperaturas de 21 e 33ºC e umidades relativas do ar de 100, 76 e 55%, conforme a Tabela 2. As umidades foram obtidas colocando-se, em ambiente vedado, um recipiente com água deionizada e soluções supersaturadas de cloreto de cálcio e carbonato de potássio respectivamente. Foram determinadas no estado endurecido, a resistência à compressão (NBR 13279:2005)[9],

a densidade de massa no estado endurecido (NBR 13280:2005)[10] e a velocidade de propagação de pulso ultrassônico (NBR 15630:2008)[11].

Tabela 2 – Ambientes de exposição dos corpos de prova.

Ambiente	Temperatura Nominal (°C)	Umidade Relativa do Ar Nominal (%)	Temperatura Medida (°C)*		Umidade Relativa do Ar Média (%)*	
			Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
A	33	76	33,00	2,04	75,50	2,31
B	21	55	20,94	0,44	55,21	0,75
C	21	76	21,16	0,59	76,15	1,68
D	21	100	21,04	0,38	99,87	0,73

* as medições foram feitas por sensores de temperatura e umidade do ar acoplados a sistema de aquisição de dados com intervalo entre leituras de 10 minutos

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As propriedades das argamassas no estado fresco estão apresentadas na Tabela 3. Pode-se observar que as argamassas apresentaram consistências similares, diferindo 13mm do valor mais alto para o mais baixo obtido. Os valores de densidade de massa e teor de ar apresentaram-se inversamente proporcionais, como já esperado. Vale ressaltar a obtenção do maior teor de ar foi verificado para a argamassa armazenada por 48h, indicando que com a homogeneização foi possível recuperar a trabalhabilidade da argamassa e que não houve perda de eficiência do aditivo incorporador de ar.

Tabela 3 – Características das argamassas utilizadas no estado fresco.

Argamassa	Índice de Consistência (mm)	Densidade de Massa (kg/dm³)	Teor de ar (%)
Referência	232	1,546	31,3
0h	242	1,583	29,7
48h	229	1,486	34,0

Na Tabela 4, são apresentados os resultados obtidos no estado endurecido para as argamassas nos diversos ambientes de exposição. A partir destes resultados foram construídos os gráficos das figuras 1 e 2.

Na Figura 1 são apresentados os resultados de resistência à compressão obtidos para as argamassas nos diferentes ambientes de exposição, sendo na Figura 1a os referentes à temperatura de 21°C com umidades diferentes e na Figura 1b, para a umidade relativa do ar de 76% com temperaturas diferentes. Pode-se observar que para a mesma temperatura (Figura 1a), com o aumento da umidade relativa do ar há uma tendência de aumento da resistência das argamassas estabilizadas. No entanto, o comportamento da argamassa de referência foi o contrário, ao apresentar redução da resistência com o aumento da umidade. Quando analisadas as argamassas expostas à umidade relativa de 76% (Figura 1b), observa-se aumento da resistência com o aumento da temperatura para as argamassas estabilizadas,

mas para as de referência a resistência não se mostrou sensível ao aumento de temperatura, tendo apresentado valores muito próximos para as temperaturas estudadas. Uma possível explicação para este comportamento é o fato de as argamassas terem ficado no ambiente de laboratório pelos primeiros sete dias. Neste período as argamassas de referência adquiriram resistência já desde as primeiras horas, no entanto as argamassas estabilizadas, que possivelmente têm o início das reações retardado, perdeu água necessária à hidratação do cimento. Assim, a devolução de água ao sistema, por meio de ambientes mais úmidos provavelmente propiciou o aumento de resistência. Esta hipótese vem de encontro ao apresentado na literatura. Segundo Lorenzetti *et al.* (2002)[12], para que a quantidade de água na pasta seja adequada ao processamento das reações de hidratação, a umidade relativa do ar deve ser tal que o material se mantenha saturado. Neville (1997)[3] apresenta que, para umidade relativa do ar abaixo de 80% sem incidência de vento nem sol, considerando uma mesma temperatura, há perda significativa de água para o ambiente com consequente comprometimento da hidratação do cimento.

Tabela 4 – Propriedades das argamassas no estado endurecido aos 28 dias

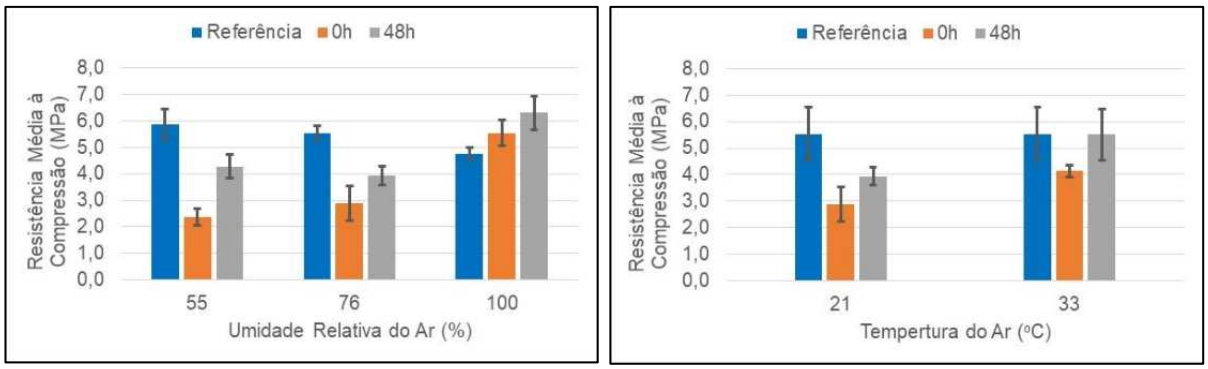
Ambiente	Argamassa	Resistência à Compressão (MPa)		Densidade de Massa (kg/dm³)		Velocidade de propagação de onda ultrassônica (mm/μs)	
		média	Desvio padrão	média	Desvio padrão	média	Desvio padrão
A	Referência	5,54	0,23	1,394	0,028	2,568	0,070
	0h	4,14	0,22	1,421	0,004	2,584	0,029
	48h	5,51	0,89	1,412	0,017	2,888	0,014
B	Referência	5,86	0,58	1,451	0,053	2,606	0,061
	0h	2,38	0,32	1,405	0,007	2,300	0,064
	48h	4,28	044	1,362	0,006	2,952	0,019
C	Referência	5,54	0,25	1,442	0,053	2,601	0,031
	0h	2,90	0,65	1,425	0,031	2,428	0,032
	48h	3,94	0,35	1,366	0,007	2,619	0,037
D	Referência	4,75	0,23	1,490	0,009	2,754	0,029
	0h	5,55	0,48	1,444	0,027	2,851	0,001
	48h	6,30	0,64	1,419	0,014	2,993	0,028

Outra constatação é a de que a resistência da argamassa estabilizada com tempo de armazenamento de 48 horas é maior do que a que foi moldada logo após a produção. Este comportamento é o contrário do esperado, considerando que obteve o maior teor de ar no estado fresco (Tabela 3) em relação as demais argamassas e o menor valor de densidade de massa no estado endurecido (Tabela 4), em relação às demais argamassas expostas ao mesmo ambiente.

Na Figura 2 pode-se observar correlações entre a resistência à compressão e as demais propriedades determinadas no estado endurecido para as argamassas estudadas. Percebe-se, pela Figura 2a que a resistência à compressão é diretamente proporcional à velocidade

de propagação do pulso ultrassônico para as argamassas estabilizadas e inversamente proporcional no caso da argamassa de referência. No caso da argamassa de referência, com o aumento da umidade relativa do ar pode ter ocorrido um aumento do teor de água nos poros, aumentando a velocidade de propagação da onda ultrassônica e reduzindo a resistência à compressão. No caso das argamassas estabilizadas o aumento a umidade pode ter proporcionado maior grau de hidratação, capaz de compensar a redução de resistência por conta do aumento do teor de umidade nos poros. Esta teoria vem de encontro ao comportamento representado na Figura 2b que demonstra aumento de resistência com o aumento da densidade de massa para as argamassas estabilizadas, mas redução para a argamassa de referência. Este comportamento da argamassa de referência pode ser explicado pelo possível aumento da quantidade de água nos poros, que acarretaria aumento de densidade de massa e, ao mesmo tempo prejudicaria a resistência.

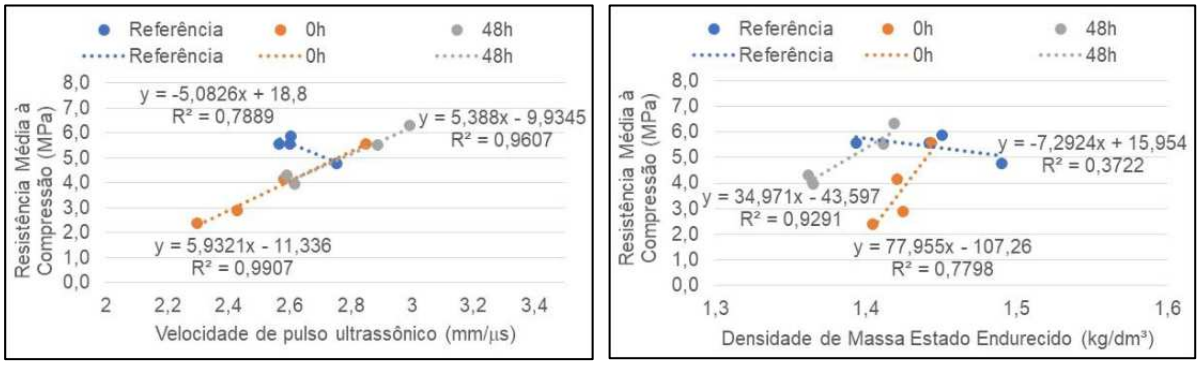
Figura 1 – Resistência à Compressão aos 28 dias (a) argamassas expostas à temperatura de 21°C; (b) argamassas expostas à umidade relativa do ar de 76%



(a) (b)

Fonte: Autores

Figura 2 – Correlação entre a Resistência à Compressão e as demais propriedades determinadas no estado endurecido aos 28 dias (a) Velocidade de Pulso Ultrassônico; (b) Densidade de massa



(a) (b)

Fonte: Autores

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o método adotado para homogeneização da argamassa após um período de armazenamento é capaz de retomar a trabalhabilidade da argamassa estabilizada, indicando que este pode ser um procedimento a ser adotado em obra durante o período de estabilização.

Para uma mesma temperatura (21°C), com o aumento da umidade relativa do ar houve tendência de aumento da resistência da argamassa estabilizada tanto para tempo de armazenamento de 0h quanto para o tempo de 48h. Para a argamassa sem adição de estabilizador de hidratação (argamassa de referência), os resultados mostraram tendência de redução da resistência com o aumento da umidade relativa do ar. Para as umidades relativas do ar de 55% e 76%, as resistências da argamassa estabilizada foram inferiores às de referência, no entanto para umidade de 100% foram superiores.

Considerando apenas a umidade relativa do ar de 76% o aumento de temperatura representou aumento de resistência para a argamassa estabilizada, o que não foi observado para a argamassa de referência.

Foram obtidas relações diretamente proporcionais da resistência com a velocidade de propagação de pulso ultrassônico e com a densidade de massa no estado endurecido para a argamassa estabilizada, o que não foi observado para a argamassa de referência. Provavelmente, neste caso, o aumento de densidade de massa e de velocidade de propagação do ultrassom foi decorrente de aumento na umidade dos corpos de prova ensaiados.

Considerando que este experimento simulasse a cura de um revestimento, pode-se dizer que, após um período necessário para o início das reações de hidratação de uma argamassa estabilizada, sua cura úmida proporcionaria considerável ganho de resistência mecânica.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Santa Catarina pelo apoio financeiro à realização deste trabalho. E, em especial, ao Departamento Acadêmico de Construção Civil e ao Laboratório de Solos e Tecnologia dos Materiais, do Campus Florianópolis, da mesma Instituição, onde os experimentos foram realizados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PEREIRA, C. H. A. F. **Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa**. 200.. Tese (Doutorado). Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

2. NEVILLE, A. M. e BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

3. NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1997.

4. MEHTA, P.K. E MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994

5. SILVA, Angelo Just da Costa et al. **Influência da temperatura na evolução da resistência à compressão do Cimento Portland.** *In*: 51º Congresso Brasileiro do Concreto, 2009, Curitiba. 51º Congresso Brasileiro do Concreto, 2009.

6. MELO, F.; KRETZER, R.; BRITO, L; CASALI, J.; OLIVEIRA, A.; CALÇADA, L. M. **Influência da Cura Úmida em Argamassas Estabilizadas**. *In*: XVII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2018, Foz do Iguaçú. XVII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2018. p. 136-144

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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, 2008.

12. LORENZETTI, U. V.; FREDEL, M. C.; GLEISE, P. **Avaliação da eficiência dos procedimentos de cura na durabilidade do concreto: resistência à compressão, perda de massa e absorção de água por capilaridade**. *In*: II Workshop Sobre Durabilidade Das Construções, V.2, São José dos Campos., 2001., p. 115-127.