Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

AVALIAÇÃO DA DILATAÇÃO TÉRMICA DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO SOB CONDIÇÕES DO ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO DA NBR 15.575-4[1]

NENEVÊ, B.L. (1); COSTA, M.R.M.M. (2); MEDEIROS-JUNIOR, R.A. (3)

(1) Universidade Federal do Paraná, eng.neneve@gmail.com
(2) Universidade Federal do Paraná, mariennemaron@gmail.com
(3) Universidade Federal do Paraná, medeirosjunior.ufpr@gmail.com

RESUMO

O estudo do desempenho de argamassas possui um viés importante frente às solicitações térmicas. A relevância do tema é corroborada pela NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), que especifica a avaliação da durabilidade através de um ensaio de ação de calor e choque térmico. Todavia, este procedimento não compreende avaliação do comportamento termofísico. Destarte, este artigo objetivou avaliar a dilatação térmica de argamassas de revestimento no intervalo de temperatura especificado pelo procedimento em questão (20 a 80 °C). Assim, seis formulações de argamassas de revestimento foram caracterizadas no estado endurecido e, então, submetidas a um procedimento adaptado, proposto pelos autores, para verificação da dilatação térmica. A caracterização das argamassas industrializadas diferiu das tradicionais. O comportamento de dilatação térmica apresentado é não linear. O método adaptado proposto permitiu estimar o coeficiente de dilatação térmica, corroborando com outros estudos. Finalmente, para as argamassas tradicionais, o aumento da quantidade de cal e água na mistura implicaram em maior coeficiente de dilatação térmica linear. Ademais, observou-se possível influência da porosidade e deformabilidade sobre a dilatação térmica resultante da variação de temperatura.

Palavras-chave: *Argamassa. Revestimento. Dilatação térmica. Desempenho.*

ABSTRACT

The study of rendering mortars performance depends on thermal effects. In Brazil, the relevance of this issue is corroborated by national standard NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), which prescribes a durability evaluation through thermal shock. However, this procedure doesn't consider thermophysical behavior evaluation. Therefore, this research evaluated thermal expansion in rendering mortars under the temperatures specified by the method in question (20 to 80 °C), since it may lead to thermal stresses, which could result in degradation. Thus, six mixes were tested in hardened states. Also, an adapted method to evaluate the thermal expansion was proposed and carried out. It was verified that industrialized mortars characterization differs from traditional mortar mixes. The results showed that thermal expansion doesn't increase linearly. In addition, it was possible to estimate the thermal expansion coefficient, corroborating another research. Finally, it was observed that higher lime

[1] NENEVÊ, B. L.; COSTA, Marienne R.M.M.; MEDEIROS-JUNIOR, Ronaldo A. Avaliação da dilatação térmica de argamassas de revestimento sob condições do ensaio de ação de calor e choque térmico da NBR 15.575-4. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

and water contents in the mixture increases the thermal expansion. Furthermore, porosity and deformability may affect the thermal expansion coefficient.

***Keywords**: Mortars. Rendering. Thermal expansion. Performance.*

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o clima pode refletir em temperaturas médias anuais consideradas elevadas, tal que a variação de temperatura se apresenta como um dos agentes causadores de degradação dos revestimentos externos de uma edificação (BAUER, 1987). Numa situação real, a diferença de temperatura entre a superfície do sistema de revestimento e seu interior, associada às restrições de movimentação, pode provocar tensões elevadas, resultando em manifestações patológicas, tais como fissuração, desplacamento, entre outros (ESQUIVEL, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2014; BOCHEN, 2015).

Ademais, a relevância do efeito térmico sobre o desempenho de revestimentos verticais é corroborada pelo procedimento contido no Anexo E da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), que, através da verificação do comportamento frente a solicitações de ação de calor (80° C) e choque térmico (20° C), avalia a durabilidade destes elementos. Todavia, o referido ensaio não especifica avaliação quanto ao comportamento térmico em si, apenas permite inferir empiricamente quanto ao desempenho ao final do ensaio. Ademais, não existe procedimento técnico nacional normatizado específico para argamassas de revestimento que permita avaliar o comportamento termofísico destes materiais na faixa de temperatura mencionada. Assim, dentre as propriedades que caracterizam o comportamento termofísico, destaca-se a dilatação térmica, que corresponde à deformação resultante de uma variação de temperatura. Sabe-se que ao passo que um material sofre um incremento de temperatura (ΔT), ocorrerá uma expansão deste, implicando em uma dilatação linear (ΔL), a qual é proporcional ao seu coeficiente de dilatação térmica linear (α) e seu comprimento inicial (L_0), conforme elucida a Equação 1. Tendo em vista que a argamassa é uma mistura de diferentes insumos, seu coeficiente de dilatação térmica depende dos materiais e proporções empregados.

$$\Delta L = L_0 . \alpha . \Delta T \quad (1)$$

Destarte, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a dilatação térmica de argamassas de revestimento nas condições de temperatura do ensaio de ação de calor e choque térmico (20° a 80° C), prescrito pelo Anexo E da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Foram avaliadas 6 (seis) formulações de argamassas de revestimento, sendo três industrializadas, do tipo massa pronta, e três tradicionais misturadas em laboratório, vide apresentado na Tabela 1. Aplicou-se o procedimento de mistura em argamassadeira planetária, conforme prescrito pela NBR 16.541 (ABNT, 2016). A água utilizada nas misturas é a disponível na rede local.

Para as argamassas industrializadas, a quantidade de água empregada na mistura

é equivalente à recomendada pelo fabricante na embalagem do produto. Por outro lado, para as argamassas tradicionais desenvolvidas em laboratório, a quantidade de água adicionada foi a necessária para atingir o índice de consistência de 260±10 mm (*flow table*), frequentemente empregado na literatura (SELMO; HELENE, 1991; SANTOS, 2014). As consistências resultantes são apresentadas na Tabela 1. A caracterização física dos materiais secos empregados na mistura encontra-se na Tabela 2. Foram utilizados dois tipos de aglomerante: Cimento Portland (CP II-F-32) e Cal Hidratada (CH-III), usualmente utilizados em revestimento.

Tabela 1 – Formulações de argamassas estudadas

Formulação	**Traço (volume)**	**a/ms**	**Código**	**Consistência**
Industrializada X	-	0,14	X	211 mm
Industrializada Y	-	0,16	Y	225 mm
Industrializada Z	-	0,14	Z	203 mm
Mista (cimento e cal)	1:1:6 (cimento:cal:areia)	0,19	M1	259 mm
Mista (cimento e cal)	1:2:9 (cimento:cal:areia)	0,19	M2	259 mm
Simples (cal)	1:2 (cal:areia)	0,22	S	259 mm

Fonte: Os autores

Tabela 2 – Caracterização física dos matérias secos.

Característica	**CP II-F-32**	**CH-III**	**Areia média**
Massa unitária	1,24 g/cm³	0,60 g/cm³	1,40 g/cm³
Massa específica	3,11 g/cm³	2,78 g/cm³	2,60 g/cm³

Fonte: Adaptado do fabricante (2019)

2.2 Métodos

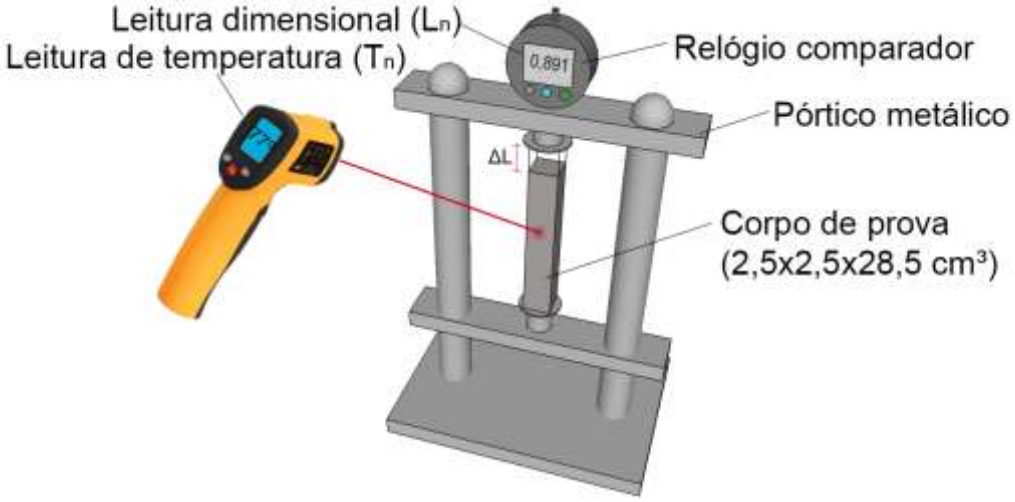
Inicialmente, exclusivamente para fins de ajuste da quantidade de água na mistura das argamassas tradicionais, determinou-se o índice de consistência conforme NBR 13.276 (ABNT, 2016). No estado endurecido, determinou-se o Índice de vazios, vide NBR 9.778 (ABNT, 2009) e o Módulo de elasticidade dinâmico, conforme NBR 15.630 (ABNT, 2008), para fins de caracterização. Os corpos de prova foram ensaiados aos 28 dias de idade, com cura ao ar em ambiente de laboratório (U.R.: 60±5 %; T: 23±5 °C).

Ademais, para avaliação da dilatação térmica, na ausência de procedimento específico, tomou-se por base a NBR 12.815 (ABNT, 2012) que possibilita a determinação do coeficiente de dilatação térmica linear para concretos no estado endurecido. A faixa de temperatura compreendida por este procedimento varia de 4 a 38 °C, não contemplando a totalidade do intervalo de temperatura prescrito pelo Anexo E da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013). Portanto, neste estudo, empregou-se a temperatura máxima de ciclagem de ação de calor da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), equivalente à (80±3) °C, e temperatura mínima de (20±3) °C. Para tal, foram empregados três corpos de prova de dimensão 2,5x2,5x28,5 cm³ – vide NBR 15.261 (ABNT, 2005) por formulação. Assim, para a leitura de variação dimensional, empregou-se pórtico com relógio comparador. O esquema do ensaio realizado está ilustrado na Figura 1. Foram empregados três corpos de prova por formulação de estudo.

Primeiramente, foi realizado aquecimento em estufa, na qual as amostras permaneceram por 48 horas (tal como prescrito pela norma base). Os corpos de

prova foram, então, conduzidos, imediatamente após a sua retirada da estufa, para leitura da variação dimensional (pórtico com relógio comparador) e temperatura (por meio de um termômetro digital infravermelho a laser afastado a uma distância padrão de (3±2) cm), a fim de aferir a temperatura superficial do corpo de prova (no ponto central da face externa). Este procedimento foi realizado em ambiente de laboratório com condições equivalentes à cura das amostras. Após esta primeira leitura (instante zero), empregaram-se na sequência mais oito instantes de leituras ao longo do tempo, vide apresentado em Tabela 3. Para estas demais leituras, os corpos de prova permaneceram em ambiente de laboratório à (23±5) °C, fora da estufa, de modo que fossem resfriando ao longo do tempo, ou seja, as leituras registram as quedas de temperatura ao longo de 30 minutos com intervalos de tempo apresentados na Tabela 3.

Figura 1 – Esquema do ensaio de verificação da dilatação térmica



Fonte: Os autores

Tabela 3 – Leituras ao longo do ensaio de verificação da dilatação térmica.

Instante (min)	**0***	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**10**	**20**	**30**
Leitura de temperatura (°C) [T_n]	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_{10}	T_{20}	T_{30}
Leitura dimensional (mm) [L_n]	L_0	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_{10}	L_{20}	L_{30}

Fonte: Os autores

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

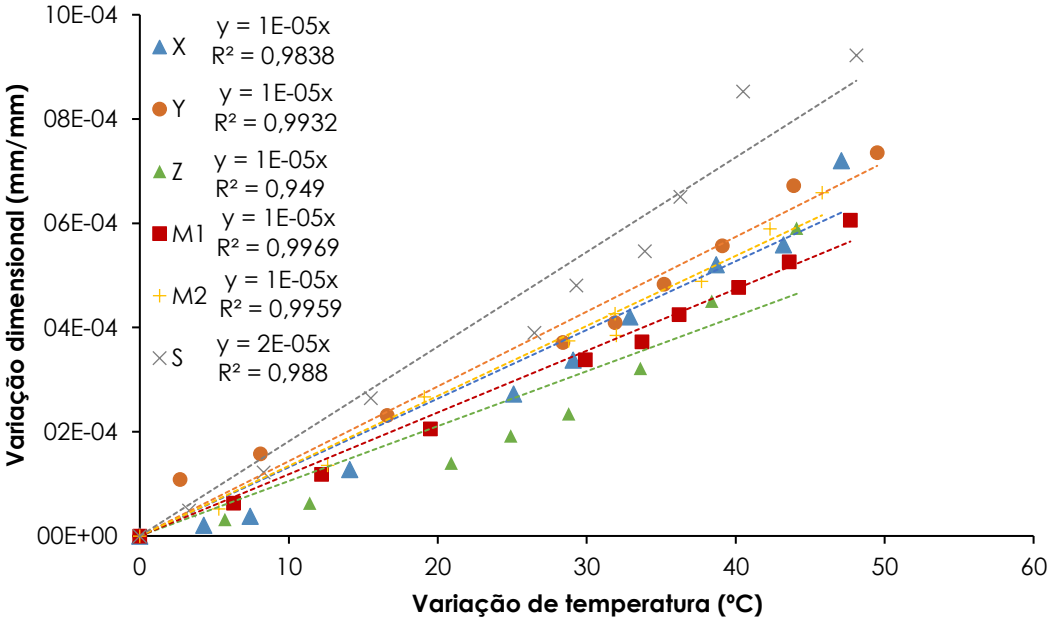
Para fins de avaliação da dilatação térmica, tomou-se por base os instantes de leitura listados na Tabela 3. Calculou-se, primeiramente, a deformação específica (equivalente à dilatação térmica específica) [ε_n], conforme Equação (2). Assim, tomou-se a dimensão [L_{30}] acrescida do comprimento da barra padrão de ensaio (285 mm) como comprimento inicial de cada amostra em relação às demais dimensões [L_n]. Analogamente, determinou-se a variação de temperatura [ΔT_n] para cada um destes instantes [T_n] em relação à temperatura [T_{30}], conforme Equação (3). Destarte, foi possível plotar o gráfico apresentado na Figura 2, que correlaciona a variação de temperatura (eixo das abcissas) com dilatação térmica (deformação) específica (eixo das ordenadas).

$$\varepsilon_n = (L_n - L_{30})/(L_{30} + 285) \quad (2)$$

$$\Delta T_n = (T_n - T_{30}) \quad (3)$$

Obtiveram-se três curvas (uma por corpo de prova). Assim, o resultado ora apresentado é correspondente à curva média obtida. Indo mais adiante, foi possível ainda – por meio de regressão linear, fixando a origem (0,0) como interseção – determinar a equação linear do comportamento, com o respectivo R^2.

Figura 2 – Gráfico de dilatação térmica das argamassas.



Fonte: Os autores

Entende-se que, possivelmente, o complexo comportamento da matriz cimentícia, a interação das fases da mistura, distribuição dos poros (tensões decorrentes do ar nos poros quando da aplicação de temperatura), além de outros fatores de ordem microestrutural, justifiquem este comportamento não perfeitamente linear, uma vez que para temperaturas mais elevadas (sendo as máximas próximas à 80 °C, neste caso) o acréscimo de temperatura implica numa variação dimensional superior àquela causada para faixas de temperatura mais amenas (próximas à 20° C para este procedimento).

Ressalta-se que as argamassas industrializadas possuem insumos distintos entre si (aditivos químicos dentre eles) que tornam seu comportamento consideravelmente mais complexo que o das tradicionais. Ademais, através dos resultados da Tabela 4, observa-se que as médias de índice de vazios para as argamassas industrializadas são superiores às tradicionais, sugerindo que as argamassas X, Y e Z sejam mais porosas – o que de fato espera-se em virtude do emprego de aditivos incorporadores de ar nestas formulações.

Tabela 4 – Caracterizações das argamassas.

Argamassa	Índice de vazios (Desvio padrão)	Módulo de elasticidade dinâmico (Desvio padrão)
Y	25,4 % (0,5%)	7,04 GPa (0,11 GPa)
Z	28,6 % (0,7%)	4,91 GPa (0,10 GPa)
X	32,1 % (1,6%)	4,38 GPa (0,05 GPa)
M1	20,8 % (0,3%)	11,20 GPa (0,09 GPa)
M2	24,3 % (0,1%)	6,36 GPa (0,02 GPa)
S	24,9 % (0,5%)	4,58 GPa (0,18 GPa)

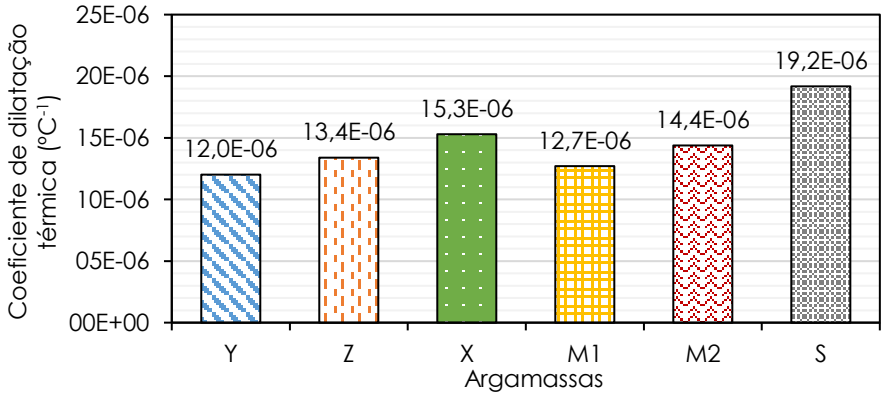
Fonte: Os autores

Comparando-se internamente as formulações de cada grupo entre si, para a caracterização apresentada na Tabela 4, nota-se que há uma relação inversamente proporcional entre índice de vazios e módulo de elasticidade, tal que, ao passo que se aumentou o índice de vazios, reduziu-se o módulo de elasticidade. Esta correlação era esperada vez que a ondas ultrassônicas do ensaio atingem velocidades mais altas em materiais mais densos e menos porosos (ANDREUCCI, 2008). Embasando tal discussão, observa-se que o acréscimo de cal reduziu o módulo de elasticidade da argamassa, tal como observado em outros estudos (CINCOTTO *et al.*, 1995), tornando-a mais deformável.

Sequencialmente, estimaram-se os coeficientes de dilatação térmica (a), conforme Equação (4). Consideraram-se: a dimensão do instante zero [L_0]; a dimensão final [L_{30}] somada ao comprimento da barra padrão (285 mm); a temperatura do instante zero [T_0]; e a temperatura final [T_{30}] de ensaio para cada formulação. Basicamente, a equação equivale à divisão da deformação específica pela variação de temperatura entre os instantes final e inicial de leituras. O resultado é apresentado em Figura 3.

$$a = (L_0 - L_{30})/[(L_{30}+285).(T_0 - T_{30})] = \varepsilon_0 / \Delta T_0 \quad (4)$$

Figura 3 – Coeficiente de dilatação térmica linear.



Fonte: Os autores

Os resultados obtidos condizem com os comportamentos apresentados na Figura 2, conforme esperado. Ademais, analisando separadamente os dois grupos, observa-se correlação dos coeficientes de dilatação térmica com a caracterização apresentada na Tabela 4. Ou seja, tanto para as argamassas industrializadas quanto para as tradicionais, o aumento do índice de vazios e a redução do módulo de elasticidade resultaram em maiores coeficientes de dilatação térmica. A

proporcionalidade direta entre porosidade e dilatação térmica é descrita na literatura (GHABEZLOO, 2010). Por outro lado, o módulo de elasticidade, além de estar relacionado aos vazios, afeta a deformabilidade dos materiais – possivelmente explicando maiores dilatações conforme o seu decréscimo.

Finalmente, os resultados obtidos corroboram com as faixas de valores de coeficiente de dilatação térmica determinados experimentalmente por outros autores para argamassas e pastas de cimento, variando entre 9 e 20x10^{-6} (MEYERS, 1940; RANSOM, 1987; FIORITO, 1994; SARAIVA, 1998; ZENG *et al.*, 2012), indicando validação do método utilizado.

4 CONCLUSÕES

Finalmente, conclui-se que:

- O comportamento de dilatação térmica das argamassas estudadas é não linear, possivelmente em decorrência de: complexo comportamento da matriz cimentícia; interação das fases da mistura; tensões internas decorrentes da quantidade e distribuição de ar nos poros; além de outros fatores de ordem microestrutural;
- Para a faixa de temperatura ensaiada (20 a 80 °C), as argamassas industrializadas apresentaram coeficientes de dilatação térmica entre 12 e 15x10^{-6} mm/mm, enquanto as tradicionais variaram de 12 a 19x10^{-6} mm/mm, aproximadamente;
- Os valores de coeficiente de dilatação térmica, índice de vazios e módulo de elasticidade demonstraram correlação entre si. Assim, avaliando separadamente as argamassas tradicionais e industrializadas, notou-se que o acréscimo da porosidade (índice de vazios) acompanhou uma maior deformabilidade (menor módulo de elasticidade) e, igualmente, um aumento do coeficiente de dilatação térmica;
- O método utilizado permitiu avaliar a dilatação térmica no intervalo de temperatura do ensaio de ação de calor e choque térmico (20 a 80 °C) do Anexo E da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013). Além disso, foi possível determinar o coeficiente de dilatação térmica, obtendo faixas de valores condizentes a outros estudos em argamassas e pastas de cimento (MEYERS, 1940; RANSOM, 1987; FIORITO, 1994; SARAIVA, 1998; ZENG *et al.*, 2012), elucidando a validação do mesmo.

REFERÊNCIAS

ANDREUCCI, R. **Ensaio por Ultrassom.** Assessoria e Serviços Técnicos Ltda. São Paulo, p. 98. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9.778:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro. 2005.

_____. **NBR 12.815:** Concreto endurecido — Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 13.276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 15.261:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retratação ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15.575-4:** Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15.630:** 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.

_____. **NBR 16.541:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro. 2016.

BAUER, E. **Resistência a Penetração da Chuva em Fachadas de Alvenaria de Materiais Cerâmicos** – Uma Análise de Desempenho. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987, 168p.

BOCHEN, J. **Weathering effects on physical–chemical properties of external plaster mortars exposed to different environments**. Construction and Building Materials. 79. 10.1016/j.conbuildmat.2014.12.079. 2015.

CINCOTTO, M.A.; SILVA, M.A.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. 1995. IPT 2378, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1995.

ESQUIVEL, J.F.T. **Avaliação da influência do choque térmico na aderência dos revestimentos de argamassa.** Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos: estudos e procedimentos de execução.** São Paulo: Pini, 1994.

GHABEZLOO, S. **Effect of porosity on the thermal expansion coefficient:** a discussion of the paper 'Effects of mineral admixtures on the thermal expansion properties of hardened cement paste by Z.H. Shui, R. Zhang, W. Chen, D. Xuan, Constr Build Mater 24(9) (2010) 1761–1767. Constr. Build. Mater. 2010.

MEYERS, S.L. **Thermal coefficient of expansion of Portland cement:** long time tests. Ind Eng Chem 1940;32:1107–12.

OLIVEIRA, L. A.; FONTENELLE, J. H. MITIDIERI FILHO, C. V. **Durabilidade de fachadas: métodos de ensaio para verificação da resistência à ação de calor e choque térmico.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p.53-67. out./dez. 2014.

RANSOM, W. H. **Building Failures:** diagnosis and avoidance. Abingdon: ROUTLEDGE.1987.

SANTOS, W. J. **Desenvolvimento de metodologia de dosagem de argamassas de revestimento e assentamento.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa (UFV). 2014.

SARAIVA, A. G. **Contribuição ao estudo de tensões de natureza térmica em sistemas de revestimento cerâmico de fachada.** Brasília, 1998 (Dissertação – Mestrado) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília.

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