Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA EM PLACAS CERÂMICAS NAS CORES CLARA E ESCURA COM VARIAÇÃO DE TEMPERATURA

R. B. DE OLIVEIRA
Engenheiro Civil
Universidade FUMEC
Minas Gerais; Brasil
renato@g3engenharia.com.br

N. CARVALHO JUNIOR
Prof. Dr.
EEUFMG
Minas Gerais; Brasil
ancj@ufmg.br

L. A. M. N. BRANCO
Prof. Dr.
Universidade FUMEC
Minas Gerais; Brasil
luizmelg@gmail.com

RESUMO

A execução de revestimentos de fachadas utilizando placas cerâmicas é uma atividade de rotina da cadeia construtiva e o uso de argamassa colante industrializada ACII é recomendado quando seu local de uso é em ambiente externo. Fachadas de edificações estão sujeitas a diversos tipos de manifestações patológicas, onde comumente é observado o descolamento e desplacamento do revestimento, que pode ocorrer na interface entre placa cerâmica e argamassa colante ou entre argamassa colante e a argamassa de emboço. É conhecido e citado por diversos autores, que variações térmicas podem romper gradativamente por fadiga a ligação revestimento/suporte. Neste estudo investigou-se a aderência do conjunto substrato-adesivo-placa cerâmica de cor branca e cor preta, com determinação da resistência de aderência à tração na condição de cura ao ar e cura com aplicação de ciclo de calor controlado por tempo e quantidade de dias no conjunto teste confinado em caixa térmica. A partir dos resultados obtidos concluiu-se que a condição de temperatura da cura com aplicação de ciclo de calor reduziu em 28,2% a tensão de ruptura para cerâmica preta e em 33,3% para a cerâmica branca, comparativamente à condição de cura ao ar, evidenciando que manifestações patológicas, como o descolamento e desplacamento no sistema de revestimento cerâmico podem ser influenciadas por variações de temperatura.

Palavras-chave: revestimento cerâmico, aderência, variação de temperatura.

ABSTRACT

The execution of facade coatings using ceramic plates is a constructive chain routine practice of the construction and the use of adhesive mortar industrialized ACII is recommended when their place of use is in the external environment. Building facades are subject to different types of pathological manifestations and which is commonly observed displacement and detachment and peeling of the coating which may occur at the interface between the ceramic plate and between adhesive mortar or adhesive mortar and the plastering mortar. It is known and quoted by several authors, that temperature variations can gradually break by fatigue the connection coating/support. In this study it is investigated the adhesion of the adhesive-plate-substrate ceramic set of white and black, with determination of tensile bond strength at air at the curing conditions and curing with application of heat cycle controlled by time and amount of days in the test group confined to built cooler. From the results obtained it was concluded that the healing of the temperature condition of heat application cycle decreased by 28.2% the breakdown voltage for black ceramic and 33.3% in white for pottery, compared to the condition air-curing, demonstrating that pathological manifestations such as detachment and peeling the ceramic coating system can be influenced by temperature variations.

Keywords: ceramic coating, adhesion, temperature variation.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais protagonistas no mercado mundial de revestimentos cerâmicos, ocupando a segunda posição em produção e consumo. Com uma produção de 903,3 milhões de m² de cerâmica e vendas no mercado interno de 853,2 milhões de m^2 em 2014, o uso da cerâmica possui um importante mercado dentro da construção civil [1].

Em função da quantidade considerável de fabricação, a concepção de sistemas de revestimentos de fachadas utilizando cerâmica engloba diferentes disposições construtivas, materiais e componentes. Novos métodos e tecnologias estão sempre em evolução na construção civil e, a utilização de revestimentos cerâmicos em fachadas vem, ao longo de algumas décadas, acompanhando esse avanço com o emprego de diversas formas de acabamento nas edificações e uso das mais variadas peças cerâmicas em formato, cores e utilizadas em toda a envoltória de um edifício.

Apesar do grande desenvolvimento da indústria cerâmica e dos processos de fixação dos revestimentos cerâmicos, os problemas relacionados com seu destacamento são hoje uma manifestação patológica grave e frequente, registrada nos primeiros anos de utilização, ou ainda após longos períodos de desempenho adequado [2].

2. REVISÃO TEMÁTICA

2.1 Descrição do sistema de revestimento cerâmico

De acordo com os autores [3], as placas cerâmicas de revestimento podem ser utilizadas como acabamento de fachadas de duas principais maneiras, em função da técnica construtiva utilizada:

- Sistemas aderidos: são sistemas nos quais as placas cerâmicas trabalham completamente aderidas sobre bases e substratos que lhes servem de suporte;

- Sistemas não aderidos: são sistemas nos quais as placas cerâmicas são fixadas por dispositivos especiais não estando diretamente aderidas a um substrato.

Sistemas aderidos são os mais utilizados no Brasil e usualmente aplicado sobre uma camada de argamassa de regularização, conhecida como emboço, executada sobre os substratos de concreto e alvenarias ou peça estrutural que fazem parte da vedação da edificação [4].

A ABNT NBR 13.755/96 [5] define revestimento externo como sendo o conjunto de camadas superpostas e intimamente ligadas, constituído pela estrutura-suporte, alvenarias, camadas sucessivas de argamassas e revestimento final, cuja função é proteger a edificação da ação de chuva, umidade, agentes atmosféricos, desgaste mecânico oriundo da ação conjunta do vento e partículas sólidas, bem como dar acabamento estético.

Na figura 1 identifica-se: (1) representa o substrato; (2) é a argamassa de preparo do substrato, usualmente denominada chapisco; (3) corresponde à argamassa de regularização, denominada emboço; (4) é a argamassa colante industrializada de fixação das placas cerâmicas e (5) corresponde ao conjunto formado pelas peças cerâmicas e a argamassa de preenchimento das juntas de assentamento [6].

Ainda os autores [6], citam a existência de juntas de assentamento entre as placas e são preenchidas com argamassa de rejuntamento industrializada. Faz parte do sistema, também importante, as juntas de movimentação, dessolidarização e estruturais projetadas para alívio das tensões acumuladas na edificação e no próprio sistema de revestimento.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

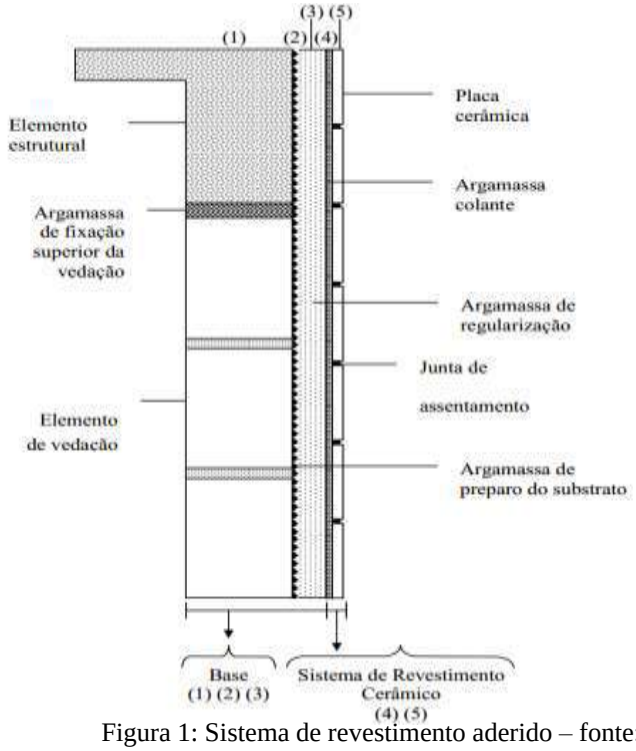


Figura 1: Sistema de revestimento aderido – fonte: [6].

2.2 Placa cerâmica

Os materiais cerâmicos podem ser definidos como sendo materiais formados por compostos de elementos metálicos (Al, Na, K, Mg, Ca, Si, dentre outros) e um dos cinco seguintes elementos não-metálicos: O, S, N, C e P[3]. Tais elementos são unidos por ligações fortes iônicas e/ou covalentes. As características típicas dos materiais cerâmicos, devido suas ligações iônicas e covalentes, são: alta dureza, boa resistência mecânica, (a resistência à compressão é muito maior do que a resistência à tração), ruptura frágil, alta estabilidade química e térmica (alto ponto de fusão) e baixas condutividades elétrica e térmica [7].

De acordo com [8], placas cerâmicas são componentes cujas duas dimensões (largura e altura) predominam sobre uma terceira (espessura), produzidas a partir de argilas e/ou outras matérias químicas inorgânicas, conformadas através de extrusão (tipo A) ou prensagem (tipo B) e sinterizadas por meio de processo térmico, e utilizadas como componentes principais da camada mais externa de revestimentos cerâmicos de pisos e paredes.

As placas cerâmicas devem atender condições de acordo com a norma ABNT NBR 13.755/96 [5], item 4.2.1, que são as seguintes:

a) ser apropriado para revestimentos externos e fachadas;
b) estar seco por ocasião do seu assentamento;
c) seu tardoz deve estar isento de pó, engobes pulverulentos ou partículas que impeçam a sua boa aderência à argamassa colante;
d) a codificação (número e/ou modelo) do produto deve estar de acordo com o que foi especificado;
e) o código da tonalidade deve ser idêntico para utilização em uma mesma fachada;
f) estar conforme classificação indicada na embalagem.

Segundo [9], as placas cerâmicas disponíveis comercialmente apresentam características físicas e químicas diversas. O seu desempenho, quando assentadas, depende das condições de uso e do ambiente às quais estarão sujeitas. Assim, para uma correta especificação, é fundamental o conhecimento de tais características. Destaca-se neste estudo, dentre as demais características, a absorção de água que indica o percentual de água que é absorvida pela placa cerâmica, podendo ser determinada de acordo com o anexo B da norma ABNT NBR 13.818/97 [10]. A absorção de água é dependente da porosidade da placa cerâmica e relaciona-se com a sua resistência ao impacto e com o módulo de resistência à flexão determinados conforme os anexos C e Q, respectivamente, da norma ABNT NBR 13.818/97 [10].

Ainda de acordo com [9], a faixa de absorção de água é um dado importante na especificação de placas cerâmicas para utilização em locais onde as placas estão sujeitas a cargas diferentes, como por exemplo, em pisos industriais, pisos em áreas públicas, garagens, paredes e fachadas, conforme visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Absorção de água em função da tipologia do produto (ABNT 13.818/1997)

Nomenclatura comercial do produto	Absorção (%)
Porcelanato	≤ 0,5
Grés	0,5 < abs ≤ 3
Semigrés	3 < abs ≤ 6
Semiporoso	6 < abs ≤ 10
Poroso	10 > abs

2.2 Argamassa colante industrializada

A norma ABNT NBR 14.081/12 [11] define argamassa colante industrializada como um produto industrial, no estado seco, composto de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos, que, quando misturado com água, forma uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento. Designada pela sigla AC seguida dos algarismos romanos I, II, ou III, indicativos de seu tipo, acrescidos das letras E/ou D quando aplicável. A argamassa colante AC II, exemplificando, possui características que permitem absorver esforços existentes em revestimentos de pisos e paredes internas e externas sujeitas a ciclos de termo-higrométrica e à ação do vento, conforme mostrado na Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 2 – Propriedades fundamentais para argamassas colantes (ABNT NBR 14.081/12).

Requisito	Método de ensaio	Unidade	Tipo			
			AC I	AC II	AC III	AC III-E
Tempo em aberto	ABNT NBR 14081-3	min	≥ 15	≥ 20	≥ 20	≥ 30
Resistência de Aderência à tração aos 28 dias, em função do tipo de cura	ABNT NBR 14081-4 cura normal	MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0	≥ 1,0
	ABNT NBR 14081-4 cura submersa	MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0	≥ 1,0
	ABNT NBR 14081-4 cura em estufa	MPa	-	≥ 0,5	≥ 1,0	≥ 1,0

Tabela 3 – Propriedades opcionais para argamassas colantes (ABNT NBR 14.081/12).

Requisito	Método de ensaio	Critério
Tempo em aberto estendido (E)	ABNT NBR 14081-3	Argamassa do tipo I, II ou III, com tempo em aberto estendido no mínimo 10 min além do especificado como propriedade fundamental.
Deslizamento reduzido (D)	ABNT NBR 14081-5	Argamassa do tipo I, II ou III, com deslizamento menor ou igual a 2 mm

No estado fresco, a propriedade de retenção de água possui papel importante segundo [12], quando esta é aplicada sobre substratos com alta sucção de água ou as condições climáticas estão mais desfavoráveis, como altas temperaturas, baixa umidade e ventos fortes. [3] também reforçam que esta propriedade permite que o material depois de aplicado não perca para a base ou para o ar, a quantidade de água necessária à hidratação do cimento Portland.

Quando no estado endurecido, a resistência mecânica diz respeito à propriedade do material argamassa de possuir um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento [12].

2.3 Influência da temperatura no sistema de revestimento cerâmico

De acordo com [13], a variação de temperatura no sistema de revestimento, dependendo da sua intensidade, é o fator predominante para o aumento ou diminuição das tensões, e somada a outros fatores, pode provocar manifestações patológicas ao sistema.

[14] considera que a diminuição uniforme da temperatura provocará tensões de compressão nos revestimentos cerâmicos. Dentro do sistema de revestimento cerâmico, as camadas subjacentes que contém elementos cimentícios também tem a tendência de contrair mais do que os revestimentos. Há então, uma componente diferencial do movimento que fica restringido e origina o surgimento de tensão de compressão. Inversamente, um aumento uniforme da temperatura provocará o surgimento de tensões de tração nos revestimentos cerâmicos, uma vez que tais revestimentos dilatam menos comparativamente aos elementos cimenticios das camadas adjacentes.

De acordo com análises elaboradas por [15] para um aumento de temperatura uniforme no sistema de revestimento intimamente ligado, mas com deslocamento livre nas laterais, pode-se concluir que:

- Há tensão de tração no revestimento;
- Não há variação significativa das tensões térmicas de compressão em função da espessura das argamassas;
- As juntas entre as peças do revestimento cerâmico, ou outro revestimento rígido, mais as juntas dividindo o revestimento em painéis e, mais as juntas entre o revestimento e outros acabamentos ou saliências, são imprescindíveis para a estabilidade do revestimento.

2.4 Possíveis manifestações patológicas causadas pela influência da variação de temperatura

[16] afirmam que a temperatura é um dos principais fatores de degradação que atuam nos revestimentos de fachada de edifícios e pode causar comportamentos diversos nos materiais, provocando variações físicas e/ou químicas. Dentre as alterações provocadas pela temperatura, a variação dimensional, sendo ela dilatação ou contração, pode levar ao surgimento de tensões que causam deformações ou rupturas.

Já [17] em sua pesquisa, relata que a exposição à variação térmica cria gradientes internos de temperatura e estes, provocam tensões térmicas que podem causar trincas e possivelmente a falha do sistema de revestimento. Tensões e deformações de origem termo-mecânica são as observadas no desplacamento do revestimento cerâmico.

De acordo com [15] no que diz respeito às principais manifestações patológicas que são encontradas no sistema de revestimento, a mais frequente é o desplacamento do revestimento cerâmico. Tal manifestação pode ser provocada por inúmeros fatores como, por exemplo: (1) Falta de aderência entre as camadas dos diversos materiais; (2) A expansão, por umidade, das peças cerâmicas; (3) A retração excessiva das argamassas ocasionando fissuras que podem provocar uma futura perda de aderência das camadas do revestimento; (4) O surgimento de tensões decorrentes de efeito térmico que pode romper o sistema de revestimento cerâmico por fadiga, resultado em situações como a mostrada na Figura 2.



Figura 2: Desplacamento de revestimento cerâmico de fachada – fonte: [13]

2.5 Mecanismos de aderência mecânico

Segundo [18] o sistema de aderência mecânica apresenta-se como o principal sistema responsável pela aderência da argamassa à base descrita como um sistema complexo que envolve o transporte de fluidos e dos finos da argamassa para a interface da argamassa/base seguido da hidratação dos materiais cimentícios.

[19] identificam que o termo aderência é usado para descrever a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e uma base porosa; esta base, o substrato, geralmente é representada não só pela alvenaria, a qual pode ser de tijolos ou blocos cerâmicos, blocos de concreto, blocos de concreto celular, etc., como também pela estrutura de concreto moldado "in loco". Didaticamente, pode-se dizer que a aderência deriva da conjunção de três propriedades da argamassa-substrato: a resistência de aderência à tração, a resistência de aderência ao cisalhamento, e a extensão de aderência, sendo esta correspondente à razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida.

[12] descreve também, que a propriedade de aderência depende de uma série de fatores, como a característica do material de assentamento, as características do substrato, do revestimento, das condições de exposição e também dos procedimentos de assentamento.

Ainda de acordo com os estudos realizados por [12] observa-se que a aderência da argamassa colante no substrato decorre do intertravamento principalmente da etringita, que é um dos produtos da hidratação do cimento. Ressalta-se ainda a análise de [21] que com uso de microscopia eletrônica de varredura, verificou em pastas de cimento hidratado submetidas a diferentes temperaturas, que há perdas na fase de hidratação, uma diminuição na quantidade de etringita e formações de agulhas de etringita muito curtas.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

Para realização da pesquisa, foram utilizados a argamassa colante industrializada AC II, placa cerâmica com dimensão (10x10) cm de cor preta, esmaltada, prensada e do grupo BIIa, placa cerâmica com dimensão (10x10) cm cor branca, esmaltada, prensada e do grupo BIIa, usualmente aplicados na construção civil na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, e substrato padrão da Associação Brasileira de Cimento Portland.

3.1 Ensaios de caracterização

Para caracterização dos materiais, foram usados os resultados dos ensaios realizados pelos fabricantes e pelos autores, sendo os mesmos descritos abaixo:
- O substrato padrão utilizado foi caracterizado pela Associação Brasileira de Cimento Portland, de acordo com o anexo C da norma [11] – Parte 2.
- A placa cerâmica de cor branca e de cor preta foi caracterizada quanto ao índice de absorção de água pelos autores da pesquisa. A determinação do coeficiente de absorção de água seguiu os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 13.818/97 [10] - anexo B.
- A argamassa colante industrializada foi caracterizada quanto a determinação da resistência de aderência à tração e determinação do tempo em aberto realizado pelo fabricante em atenção ao prescrito pela norma ABNT NBR 14.081/12 [11] – Parte 4 e parte 5.

3.2 Caixa térmica para aplicação de ciclo de temperatura

Para construção da caixa térmica, seguiu-se o modelo proposto por [20]. A estrutura da caixa foi construída em compensado de madeira plastificado de 13 mm de espessura revestida internamente com um isolante térmico. Foram instalados 02 refletores com lâmpadas halógenas de 150 W de potência fixados um do lado do outro distante 35 cm do suporte do conjunto a ser ensaiado, com as seguintes medidas: altura = 30 cm - comprimento = 110 cm e largura = 55 cm de acordo com a Figura 3.

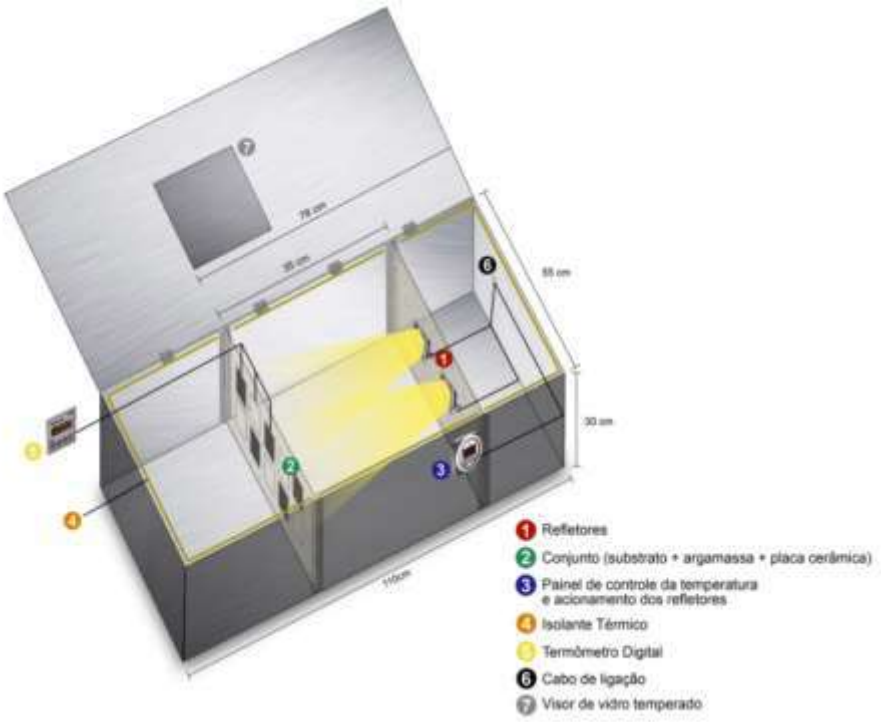


Figura 3: Desenho esquemático da caixa térmica

3.3 Confecção dos conjuntos de ensaio

Para desenvolvimento desta pesquisa de avaliação do desempenho de aderência, foram confeccionados 12 conjuntos compostos de: substrato + argamassa colante + placa cerâmica. Cada conjunto foi assentado com cinco placas cerâmica cor branca e cinco placas cerâmica cor preta totalizando 10 corpos de prova no conjunto e 120 no total, conforme descrito na Tabela 4 e visto na Figura 4.

Tabela 4 - Distribuição dos conjuntos confeccionados

Identificação	Placa cerâmica no substrato	Condição de cura	Quantidade
C-7	05 placas cor preta + 05 placas cor branca	Cura ao ar	02 conjuntos
C-28	05 placas cor preta + 05 placas cor branca	Cura ao ar	05 conjuntos
C-7	05 placas cor preta + 05 placas cor branca	Cura térmica	03 conjuntos
C-28	05 placas cor preta + 05 placas cor branca	Cura térmica	02 conjuntos

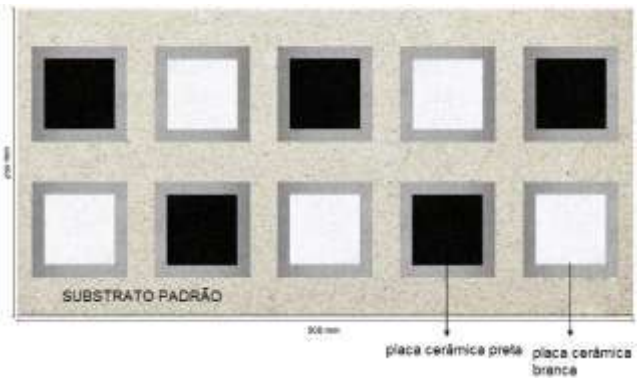


Figura 4: Conjunto ensaiado

3.4 Aplicação do ciclo de temperatura

Para aplicação do ciclo de temperatura, o sistema foi programado para acionar as lâmpadas em dias e horários definidos – durante 07 e 28 dias e 02 horas de aquecimento por dia. A faixa de temperatura programada no controlador captada por termopar para o acionamento e desligamento dos refletores foi 53 °C ≤ T ≤ 57 °C.

As temperaturas na face da placa cerâmica, entre a placa cerâmica e a argamassa e também atrás do substrato foram medidas através de termopar tipo K (Figura 5) e lidas por termômetro digital com dois canais de leitura com precisão básica de ± (0.1%+1°C) para -60°C a 1372°C.

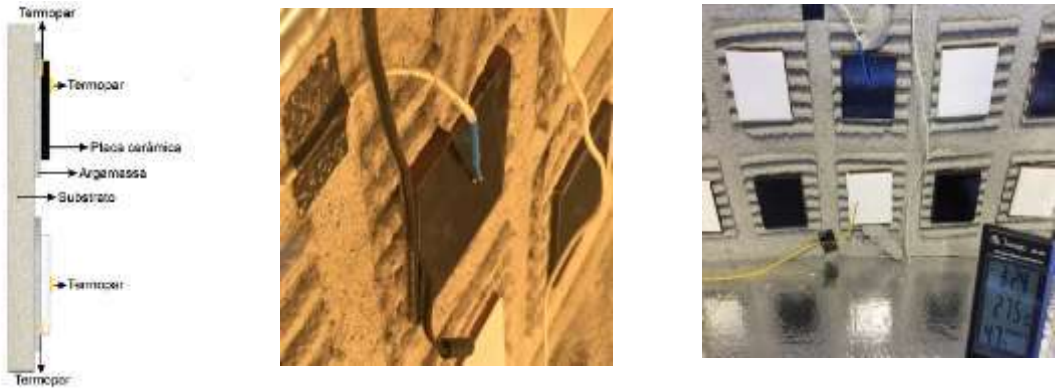


Figura 5: Posicionamento dos termopares

3.5 Determinação da resistência de aderência à tração

O ensaio de resistência de aderência à tração foi realizado nos corpos de prova na idade de 7 e 28 dias. O ensaio foi adaptado da norma ABNT NBR 14.081/12 [11] - parte 4 em função do assentamento da placa cerâmica em duas cores no mesmo substrato quando a norma prevê a análise por um único tipo. As siglas das formas de ruptura foram seguidas no previsto por esta norma.

4. RESULTADOS

Os resultados de resistência de aderência à tração na idade de 7 e 28 dias para placa cerâmica branca e preta são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados de tensão de ruptura – placa cerâmica branca e preta – 7 e 28 dias

Resultado da tensão de ruptura - Idade: 7 dias		
Placa cerâmica	**Cura ao ar**	**Cura térmica**
BRANCA	0,49 MPa	0,36 MPa
PRETA	0,47 Mpa	0,37 Mpa

Resultado da tensão de ruptura - Idade: 28 dias		
Placa cerâmica	**Cura ao ar**	**Cura térmica**
BRANCA	0,39 MPa	0,26 MPa
PRETA	0,39 Mpa	0,28 Mpa

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Os resultados da forma de ruptura e tipo de ruptura nas idades de 7 e 28 dias são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados da forma e tipo de ruptura – placa cerâmica branca e preta – 7 e 28 dias

Forma de ruptura - Placa cerâmica branca				
	07 dias		28 dias	
RUPTURA	Cura ao ar	Cura térmica	Cura ao ar	Cura térmica
A	86%	57%	77%	44%
A/P	14%	43%	20%	21%
S/A	0%	0%	3%	35%

Forma de ruptura - Placa cerâmica preta				
	07 dias		28 dias	
RUPTURA	Cura ao ar	Cura térmica	Cura ao ar	Cura térmica
A	77%	44%	74%	47%
A/P	23%	56%	23%	27%
S/A	0%	0%	3%	26%

Tipo de ruptura - Placa cerâmica branca				
	07 dias		28 dias	
RUPTURA	Cura ao ar	Cura térmica	Cura ao ar	Cura térmica
COESIVA	87%	58%	85%	77%
ADESIVA	13%	42%	15%	23%

Tipo de ruptura - Placa cerâmica preta				
	07 dias		28 dias	
RUPTURA	Cura ao ar	Cura térmica	Cura ao ar	Cura térmica
COESIVA	84%	42%	82%	75%
ADESIVA	16%	58%	18%	25%

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 8 e 9 apresentam a análise de resultados.

Tabela 8 – Análise dos resultados de tensão de ruptura – cura ao ar / cura térmica – 7 dias

ANÁLISE DO RESULTADO - PLACA CERÂMICA BRANCA E PLACA CERÂMICA PRETA					
ITEM	PLACA CERÂMICA BRANCA		PLACA CERÂMICA PRETA		OBSERVAÇÕES
	07 DIAS		07 DIAS		
ABSORÇÃO DE ÁGUA	4,1%		4,6%		Coeficiente de absorção maior na placa cerâmica preta
TENSÃO DE RUPTURA	0,49 MPa	0,36 MPa	0,46 MPa	0,30 MPa	A redução da tensão de ruptura na condição de cura térmica é 8% maior na cerâmica preta
FORMA DE RUPTURA	86% - A e 14% - A/P	57% - A e 43% - A/P	77% - A e 23% - A/P	44% - A e 56% - A/P	A forma de ruptura foi mais influenciada na cerâmica preta na condição de cura térmica
TIPO DE RUPTURA	87% - Coesiva e 13% - Adesiva	58% - Coesiva e 42% - Adesiva	84% - Coesiva e 16% - Adesiva	42% - Coesiva e 58% - Adesiva	O tipo de ruptura apresentou percentuais próximos na condição de cura ao ar. A condição de cura térmica aumentou o percentual de ruptura adesiva.
CONDIÇÃO DE CURA	cura ao ar	cura térmica	cura ao ar	cura térmica	-

Tabela 9 – Análise dos resultados de tensão de ruptura – cura ao ar / cura térmica – 28 dias

ANÁLISE DO RESULTADO - PLACA CERÂMICA BRANCA E PLACA CERÂMICA PRETA					
ITEM	PLACA CERÂMICA BRANCA		PLACA CERÂMICA PRETA		OBSERVAÇÕES
	28 DIAS		28 DIAS		
ABSORÇÃO DE ÁGUA	4,1%		4,6%		Coeficiente de absorção maior na placa cerâmica preta
TENSÃO DE RUPTURA	0,39 MPa	0,26 MPa	0,39 MPa	0,28 MPa	A tensão de ruptura na cerâmica branca teve uma redução de 33,3%. A cerâmica preta, redução de 28,2%
FORMA DE RUPTURA	74% - A , 23% - A/P e 3% - S/A	44% - A , 21% - A/P e 35% - S/A	77% - A , 20% - A/P e 3% - S/A	47% - A , 27% - A/P e 26% - S/A	A condição de cura térmica aumentou consideravelmente o percentual de ruptura entre substrato e argamassa (S/A)
TIPO DE RUPTURA	85% - Coesiva e 15% - Adesiva	77% - Coesiva e 23% - Adesiva	82% - Coesiva e 18% - Adesiva	75% - Coesiva e 25% - Adesiva	O tipo de ruptura apresentou percentuais próximos entre as duas cerâmicas em ambas condições de cura - comportamento similar
CONDIÇÃO DE CURA	cura ao ar	cura térmica	cura ao ar	cura térmica	-

Na Figura 6 são apresentados os mecanismos de ruptura (coesiva e adesiva).

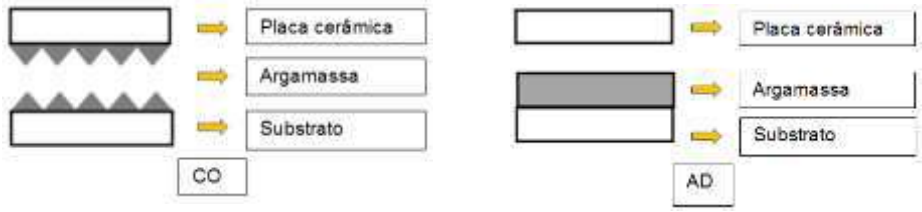


Figura 6: Forma simplificada do mecanismo de ruptura coesiva e adesiva – CO (coesiva) AD (adesiva) – Fonte: adaptado de [18]

Na Tabela 9 são apresentadas as médias das temperaturas finais entre argamassa colante e placa cerâmica após 02 horas de aplicação de ciclo de calor.

Tabela 9 – Média das temperaturas finais entre argamassa colante e placa cerâmica

Placa cerâmica	**Temperatura medida (°C)**
BRANCA	48,64
PRETA	50,27

Considerando que os valores de tensão de ruptura seguem uma distribuição normal, fez-se a análise estatística pela análise da regressão utilizando o programa Minitab. Foi verificado se os valores da tensão são influenciados pela condição de cura, pela cor da placa cerâmica, pelo coeficiente de absorção, pelo tipo de ruptura e pela forma de ruptura.

Pela análise da regressão, determinou-se uma equação algébrica em que o valor da tensão de ruptura (variável Y) é calculado em função do tipo de cura, da cor da placa cerâmica, do coeficiente de absorção, do tipo de ruptura e da forma de ruptura (variáveis X). Equação do modelo proposto (1.0):

$$Tensão\ de\ ruptura = 1{,}609 - 0{,}1087X1 - 0{,}0707X5 + 0{,}006665\,X1^2 \qquad (1.0)$$

Onde:
X1 = condição de cura; X5 = tipo de ruptura.

As variáveis: cor, forma de ruptura e coeficiente de absorção não foram consideradas na equação pelo programa. O valor calculado do R^2 pelo programa foi de 42,52% indicando que o modelo de regressão não se ajusta bem aos dados.

Como o valor-p foi inferior ao nível de significância, a relação entre as variáveis Y e X no modelo é estatisticamente significativa.

6. CONCLUSÃO

- Os valores da resistência de aderência à tração são alterados quando há variação de temperatura;
- A resistência de aderência à tração aos 28 dias para placa cerâmica de cor branca reduziu 33,3% e para placa cerâmica preta reduziu 28,2% quando ocorre ciclo de calor de até 60 °C durante 02 horas por dia em comparação com a resistência na condição de cura ao ar na mesma idade;
- Em termos percentuais, a morfologia de ruptura altera significativamente para a placa cerâmica branca e placa cerâmica preta quando a condição de cura é térmica na idade de 07 dias. Já para a idade de 28 dias estas alterações foram mais brandas;
- Pela análise estatística não foi possível estabelecer um modelo de regressão capaz de predizer o valor da tensão de ruptura a partir das variáveis respostas consideradas e definidas. Porém é possível verificar que a condição de cura é a variável que mais influencia na alteração da tensão de ruptura do ensaio de resistência de aderência à tração. Na equação do modelo final a variação cura foi a que mais contribuiu com a equação proposta;
- A cor da placa cerâmica, pela análise estatística, não foi suficiente para alterar a equação proposta pelo modelo estatístico calculado pelo programa Minitab.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Foi possível concluir neste estudo que, uma elevação da temperatura externa de até 60ºC aferindo medições entre argamassa e placa cerâmica de até 51ºC, altera o desempenho de aderência final da argamassa colante, reduzindo a resistência de aderência à tração, com modificações na morfologia e tipologia das rupturas.

6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

[1] Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmicas para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres, 2015.

[2] Silva, S. C. B. – *Estudo da degradação acelerada da argamassa em um sistema de revestimento cerâmico de fachadas*. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Criciúma, SC, 2014.

[3] Medeiros, J. S.; Sabbatini, F. H. " Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios*"*. São Paulo: EPUSP, 1999. Boletim Técnico n.246.

[4] Mansur, A. A. P. *Mecanismo físico-químico de aderência na interface argamassa modificada com polímeros/cerâmica de revestimento*. Tese Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2007, 35p.

[5] Associação Brasileira de Normas Técnicas. " Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – procedimento ". NBR 13755. Rio de Janeiro, 1996.

[6] Nascimento, O. L., Mansur, H. S., Mansur, A. A. P., "Mapeamento de patologias em sistemas de revestimento cerâmico de fachadas", Revista Construindo, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, Jan/Jun. 2012.

[7] Carasek, H., Cascudo, O., Hasparyk, N. P., - *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais* - Ed. G.C. Isaia. – São Paulo: IBRACON, 2007 – Capítulo 11 – Microestrutura dos Materiais Cerâmicos.

[8] Antunes, G. R. - *Estudo de manifestações patológicas em revestimentos de fachada em Brasília – Sistematização da incidência de casos*. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-001A /10. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010,178p.

[9] Gastaldini, A. L., Sichieri, E. A. – *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais* , ed. G.C. Isaia. – São Paulo: IBRACON, 2007 – Capítulo 19 – Materiais cerâmicos para Acabamentos e Aparelhos.

[10] Associação Brasileira de Normas Técnicas. "Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio". NBR 13818. Rio de Janeiro, 1997.

[11] Associação Brasileira de Normas Técnicas. "Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Partes 1 a 4 ". NBR 14081. Rio de Janeiro, 2012.

[12] Carasek, H. - *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais* - ed. G.C. Isaia. – São Paulo: IBRACON, 2007 p. 892-944.

[13] Barleta, J. C. - *Procedimento experimental e numérico para a avaliação da resistência à fadiga de sistemas de revestimento* - Universidade de Brasília – Departamento de Engenharia e Ambiental. Brasília. 2007.

[14] Sá, A. V. - *Durabilidade de cimentos-cola em revestimentos cerâmicos aderentes de fachada* - Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Departamento de engenharia Civil. Porto, 2005.

[15] Fiorito, A. J. S. I. - *Manual de Argamassas e Revestimentos - Estudos e Procedimentos de execução,* Editora Pini Ltda. São Paulo, 1994.

[16] Resende, M. M.; Barros, M. M. S. B.; Medeiros, J. S. "A influencia da manutenção na durabilidade dos revestimentos de fachada de edifícios". In: Workshop de Durabilidade das Construções 2, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: Workdur, 2001.

[17] Moscoso, Y. F. M. *Estudo Numérico e Experimental das Tensões Atuantes na Argamassa Colante de Fachadas de Edificações sob ação da Fadiga Termo-mecânica*. Dissertação de mestrado. Distrito Federal, 2013, p. 56

[18] Nascimento, O. L.; - *Estudo do comportamento de aderência de argamassas de chapisco para revestimento sobre superfícies de concreto de cimento Portland CPIII* - Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação da Engenharia Metalúrgica e de Minas, UFMG, 2005.

[19] Carasek, H., Cascudo, O., Scartezini, L. M. " Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa ". In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, IV, Brasília. Anais... Brasília: PECC/ANTAC, 2001. P43-67

[20] Rego, S.R. *Aderência de placas cerâmicas submetidas a variações térmicas cíclicas* - Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Eng. Mecânica da Universidade Federal da Paraíba – PB, 2008.

[21] Kotoviezy, L. A. M. - *Desempenho de composições de argamassas colantes formuladas em laboratório com ênfase no efeito da cura térmica segundo a NBR 14081-4* - Dissertação de Mestrado. Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção – Universidade Federal do Paraná, 2014.