

Análise de resistência de aderência de argamassas colantes com diferentes porcentagens de EVA expostas a ciclos higrotérmicos

Analysis of bond strength of adhesive mortars with different percentages of EVA exposed to hygrothermal cycles

Rafaela Cardoso Constantino¹, Leonardo Bergmann Coelho¹ , Jorge Henrique Piva¹ ,
Augusto Wanderlind¹, Elaine Guglielmi Pavei Antunes¹ 

¹Universidade do Extremo Sul Catarinense, Departamento de Engenharia Civil. Av. Universitária, 1105 – Bairro Universitário. 88806-000, Criciúma, SC, Brasil.

e-mail: constantino@unesc.net, leobergm@hotmail.com, jhpiva@gmail.com, acw@unesc.net, elainegpa@unesc.net

RESUMO

O Sistema de Revestimento Cerâmico de Fachadas é tradicionalmente composto por um conjunto de camadas aderidas entre si, sendo que, a falha de alguma destas camadas pode implicar no surgimento de manifestações patológicas. A argamassa colante é a principal responsável pela adesão da placa cerâmica e, a fim de atribuir melhores características às argamassas colantes, tradicionalmente, incorporam-se aditivos poliméricos na sua formulação. Os aditivos poliméricos mais comuns empregados na produção das argamassas colantes industrializadas são: o copolímero acetato de vinila etileno (EVA) e o hidroxietilmetilcelulose (HEMC). Apesar de auxiliarem no desempenho de algumas características das argamassas colantes, esses aditivos costumam ser sensíveis a altas temperaturas. O objetivo desta pesquisa consiste em analisar a resistência de aderência à tração de placas cerâmicas assentadas utilizando argamassas colantes produzidas com três diferentes percentuais de EVA, após o sistema ser exposto a um programa de envelhecimento acelerado. Para tal, realizou-se o ensaio de resistência de aderência a tração. Os resultados demonstraram que os sistemas assentados com maiores percentuais de EVA apresentaram maior resistência quando expostos à temperatura ambiente, porém também apresentaram maior perda de resistência após a exposição aos ciclos higrotérmicos quando comparados as argamassas colantes produzidas com menor percentagem de EVA.

Palavras-chave: Sistema de Revestimento Cerâmico; Argamassa Colante; Envelhecimento Acelerado; Aditivos Poliméricos; Resistência de Aderência.

ABSTRACT

The Ceramic Facade Coating System is traditionally composed of a set of layers adhered to each other, and the failure of any of these layers can lead to the appearance of pathological manifestations. The adhesive mortar is the main responsible for the adhesion of the ceramic tile and, thus, in order to attribute better characteristics to the adhesive mortars, traditionally, polymeric additives have been incorporated in their formulation. The most common polymeric additives used in the production of industrialized adhesive mortars are: ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) and hydroxyethyl methyl cellulose (HEMC). Although these additives help in the performance of some characteristics of adhesive mortars, they are usually sensitive to high temperatures. In this context, the aim of this research is to analyze the tensile bond strength in which ceramic slabs were laid using adhesive mortars produced with three different percentages of EVA, after the system was exposed to an accelerated aging program. To this end, tensile adherence strength testing was performed. The results showed that the systems laid with higher percentages of EVA showed greater strength when exposed to room temperature, but also showed greater loss of strength after exposure to hygrothermal cycles when compared to adhesive mortars produced with a lower percentage of EVA.

Keywords: Ceramic Coating System; Adhesive Mortar; Accelerated Aging; Polymeric Additives; Adhesion Strength.

1. INTRODUÇÃO

Os revestimentos têm um papel fundamental no desempenho das edificações, pois cobrem os edifícios e, conseqüentemente, são os principais responsáveis pela proteção das paredes e estruturas dos agentes ambientais de degradação [1].

No Brasil, umas das mais utilizadas formas de revestimento em edificações é através da implantação de Sistemas de Revestimentos Cerâmicos (SRCs), tanto em áreas internas quanto externas. Segundo Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica [2] durante os anos de 2009 e 2017 ocorreu um aumento de aproximadamente 10,5% na produção de revestimentos cerâmicos no Brasil, sendo que a maior parte desses produtos foi vendida ao mercado interno do país.

A ampla variedade das placas cerâmicas, sua versatilidade e manutenibilidade, faz com que seu uso se torne comum em fachadas externas, onde a variação de temperatura, dependendo da região, pode ser alta. Segundo Rashed [3], facilmente, fachadas externas de edificações, em determinadas regiões, podem chegar a temperaturas acima de 50 °C, devido à incidência direta do sol.

Um Sistema de Revestimento Cerâmico de Fachada (SRCF) é tradicionalmente constituído pelas seguintes camadas: substrato ou base (emboço); argamassa colante; placa cerâmica; diferentes tipos de juntas e, por último, a argamassa de rejuntamento [4]. A falha de alguma destas camadas pode implicar no surgimento de manifestações patológicas como, por exemplo: destacamentos, deslocamentos, fungo e alga no rejuntamento, falha no selante da junta de movimentação, entre outras [5]. Logo, o comportamento de cada camada influencia diretamente no desempenho do sistema [6].

Para evitar o surgimento das manifestações patológicas é necessário o uso de uma argamassa colante adequada, pois ela é a principal responsável pela adesão da placa cerâmica, sendo que, a argamassa colante indicada para uso em áreas externas e com variação de umidade, segundo NBR 14081-1 [7], é a do tipo ACIII. Segundo Luiz e Antunes [8], em estudo de argamassas colantes destinadas para uso em fachadas, após exposição de SRCs a envelhecimento acelerado, as mesmas apresentaram menores valores de resistência de aderência à tração quando comparadas a exposição ambiente.

A grande parte das argamassas colantes disponíveis no mercado são aditivadas com compósitos poliméricos. Esses aditivos poliméricos são empregados a fim de atribuir características específicas à mistura. Os aditivos poliméricos mais comuns empregados na produção das argamassas colantes industrializadas são: o copolímero acetato de vinila etileno (EVA) e o hidroxietilmetilcelulose (HEMC). Esses dois polímeros modificam a fase aquosa da mistura e, portanto, influenciam várias características das argamassas [9]. Segundo Ohama [10] estes aditivos poliméricos são também chamados de modificadores de cimento.

O EVA é empregado à mistura de argamassa colante com o intuito de melhorar propriedades como consistência e plasticidade no estado fresco e, além de atribuir maiores resistências mecânicas, quando em estado endurecido [11]. Já, o HEMC é adicionado com o propósito de aumentar a retenção de água da argamassa, e, por conseguinte, aumentar o tempo em aberto e, também, proporcionar uma melhor hidratação das partículas de cimento [12,13]. Contudo, as mudanças citadas estão intimamente ligadas aos teores utilizados de cada aditivo [9].

Apesar da utilização de aditivos poliméricos melhorar algumas características das argamassas colantes industrializadas, quando submetidas a elevadas temperaturas costumam apresentar uma diminuição da sua rigidez e resistência mecânica [14]. Segundo Rashed [3], os polímeros são sensíveis a temperaturas elevadas e a degradação da força de resistência de aderência é claramente observada quando essa argamassa polimerizada é exposta a ciclos térmicos.

Logo, nesse contexto, este estudo visa analisar a resistência de aderência à tração de argamassas poliméricas produzidas com diferentes percentuais de EVA, após exposição a ciclos higrótérmicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos ensaios foram utilizadas placas cerâmicas do grupo BIIa e do grupo BIII, classificadas segundo a porcentagem de absorção de água, segundo ABNT ISO 13006 [15]. As placas do grupo BIIa apresentam absorção de água entre 3 a 6%, enquanto as do grupo BIII apresentam absorção de água acima de 10%. Empregou-se esses dois tipos de placas cerâmicas a fim de atender as especificações dos ensaios de Resistência de aderência à tração, que requer BIIa, e o de Tempo em Aberto, que requer BIII, conforme as diretrizes da NBR 14081-4 [16] e NBR 14081-3 [17], respectivamente.

Para a execução dos sistemas de revestimento cerâmico, utilizou-se como base o substrato-padrão de concreto, com dimensões de 250 × 500 × 20 mm e características físicas que atendem as especificações da NBR 14081-2 [18], Para produção das argamassas colantes foi empregado o cimento Portland do tipo CII-F., que, segundo Silva [9] é indicado pelo fato de não apresentar adição mineral pozolânica e nenhuma adição de escória,

o que, teoricamente, resultaria em alterações na reação dos polímeros empregados as misturas. Foram executados doze sistemas de revestimento cerâmico, sendo quatro para cada traço de argamassa colante produzida. Para a produção das argamassas colantes empregou-se cimento Portland do tipo CII-F, agregado miúdo, água e dois tipos de aditivos; o copolímero acetato de vinila etileno (EVA) e o hidroxietilmetilcelulose (HEMC). Os percentuais de EVA para cada um dos traços da argamassa colante, foram de 10, 15 e 20%, em relação à massa de cimento. O traço da argamassa colante e os percentuais de EVA adotados nesta pesquisa foram embasados pelas pesquisas de Silva et al. [19], Silva [9], Oliveira [11], Almeida e Sichieri [20] e Vieira [21]. A Tabela 1 apresenta o detalhamento dos traços desenvolvidos.

Os polímeros HEMC e EVA, mostrados na Figura 1, foram adicionados à mistura de argamassa colante em forma de pó redispersível em água e suas características físicas e químicas estão dispostas na Tabela 2.

A Tabela 3 apresenta os ensaios realizados, com as respectivas normativas, quando utilizadas. Foram efetuados ensaios de caracterização do agregado miúdo e dos aditivos poliméricos, além de verificações no estado fresco e endurecido das argamassas colantes produzidas. Na Tabela 3, os ensaios de caracterização das argamassas colantes no estado endurecido, foram executados após período de cura normal, conforme descreve a NBR 14081-4 [16].

Para a análise de distribuição granulométrica dos aditivos utilizou-se um granulômetro, modelo CILAS 1064L de tecnologia multi-laser. A identificação das fases dos polímeros foi realizada por difração de raios-x (DRX), através de um difratômetro Shimadzu, modelo XRD 6000, com uma radiação Cu K α ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$), à potência de 40 kV e 30 mA, com intervalo de leitura (2 θ) entre 10° e 80° e passo de 2° por minuto. Já, a análise térmica deu-se por meio do DSC (Calorímetro Diferencial de Varredura), método de ensaio utilizado para definição da temperatura de transição vítrea das amostragens de HEMC e EVA, e, para tal, foi utilizado o equipamento de ensaio NETZSCH, modelo DSC 3500 Sirius, e adotadas as seguintes condições experimentais: taxa de aquecimento 10°C/min; atmosfera dinâmica de gás N₂ de 40 ml/min; massa da amostra 3,1 mg para HEMC e 7,0 mg para o EVA.

Tabela 1: Traços de argamassa colante utilizados.

TRAÇO	UNIDADE	CIMENTO	AGREGADO MIÚDO	EVA	HEMC	ÁGUA
T10	Kg	1,00	2,50	0,10	0,01	0,76
T15	Kg	1,00	2,50	0,15	0,01	0,76
T20	Kg	1,00	2,50	0,20	0,01	0,76

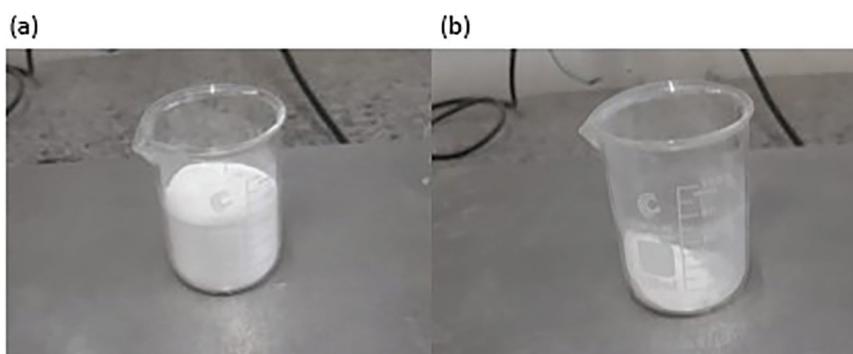


Figura 1: Aditivos poliméricos utilizados: (a) EVA, (b) HEMC.

Tabela 2: Propriedades físicas e químicas (Características informadas pelo fabricante, 2019) Solução 2% em água, Haake Rotovisko RV 100, taxa de cisalhamento 2,55s⁻¹, 20 °C.

PROPRIEDADES	EVA	HEMC
Umidade ^a	Máx 5,0%	Máx 7,0%
Teor de cinzas ^a	9,0 – 16,0%	–
Viscosidade ^{(1)a}	–	40.000 – 60.000 mPas
Densidade ^a	450 – 650 g/L	–
PH ^a	7,5 – 8,5	Neutro

Tabela 3: Ensaios de caracterização e suas respectivas normas técnicas de execução.

	ENSAIOS	NORMAS TÉCNICAS
Agregado miúdo	Módulo de finura	NBR NM 248 [22]
	Massa específica	NBR NM 52 [23]
	Massa unitária – solta e compactada	NBR NM 45 [24]
Aditivos poliméricos	Análise granulométrica a laser	–
	Difração de raios-X (DRX)	–
	Análise térmica (DSC) – Temperatura de transição vítrea (Tg)	–
Argamassa colante – estado fresco e estado endurecido	Retenção de água	NBR 13277 [25]
	Capilaridade	NBR 15259 [26]
	Densidade de massa aparente no estado endurecido	NBR 13280 [27] – Adaptada
	Resistência à compressão axial	NBR 13279 [28]
	Resistência à tração na flexão	NBR 13279 [28]
	Tempo em aberto	NBR 14081-3 [17]
	Resistência de aderência à tração	NBR 14081- 4 [16]

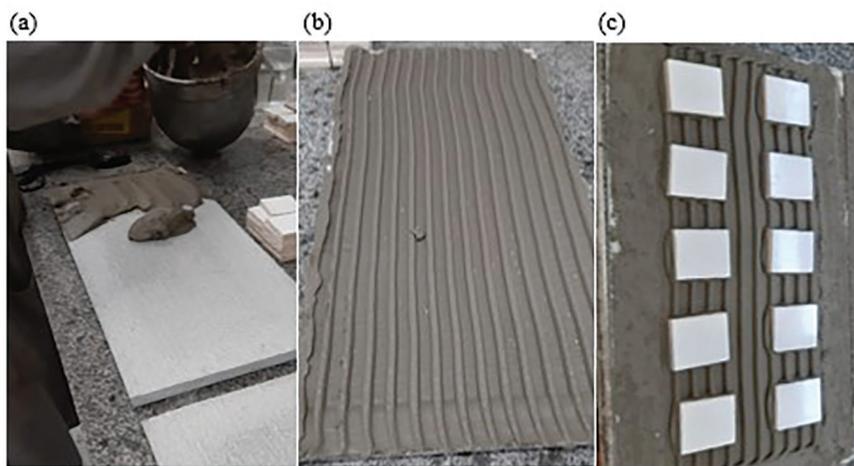


Figura 2: Assentamento de placas cerâmicas sobre o substrato-padrão: (a) aplicação da argamassa colante sobre o substrato-padrão, (b) extensão da argamassa colante na direção longitudinal do substrato, (c) placas assentadas sobre os cordões de argamassa colante.

Os equipamentos utilizados para realização dos ensaios de tempo em aberto, resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão foram, respectivamente, dinamômetro (marca Dinateste, com capacidade de carga de até 20kN), prensa EMIC (modelo PC200CS) e prensa EMIC (modelo DL10000).

Após a caracterização dos materiais foram produzidos dois sistemas de revestimento cerâmico, em substrato-padrão, segundo as diretrizes da DIN EN 12004-2 [29] e da NBR 14081-4 [16] para cada um dos traços de argamassa colante, como visualiza-se na Figura 2.

Cabe mencionar que o processo de assentamento das placas cerâmicas sobre o substrato-padrão seguiu as recomendações da NBR 14081-2 [18] e, portanto, não se executou a camada de chapisco e a formação dos cordões da argamassa colante foi realizada apenas na direção longitudinal. Os sistemas de revestimento cerâmicos, logo após sua execução, foram todos mantidos em tempo de cura normal por 27 dias, segundo prescreve as DIN EN 12004-2 [29] e da NBR 14081-4 [16]. Após a cura, um sistema de revestimento cerâmico de cada traço de argamassa colante, foi mantido em condições ambientes e o outro submetido a 160 ciclos higrotérmicos.

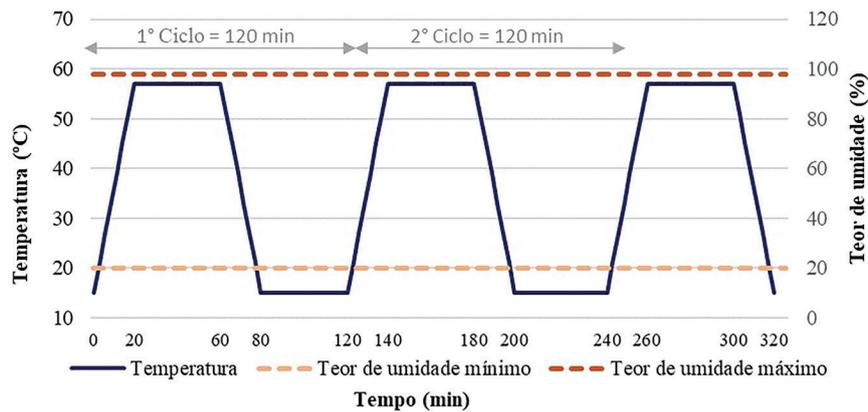


Figura 3: Gráfico representando o ciclo programado.

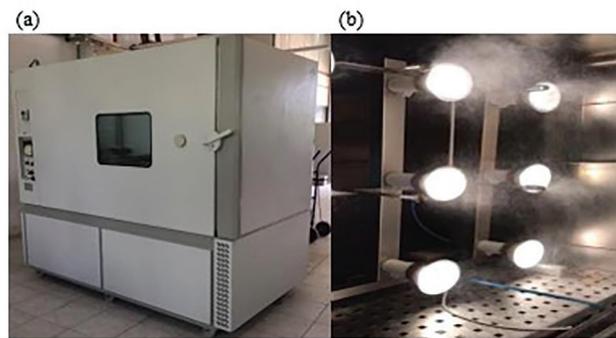


Figura 4: Câmara climática: (a) exterior, (b) inteiro.
Fonte: Antunes [1].

Os ciclos hogrotérmicos foram realizados em câmara de envelhecimento acelerado. O ciclo higrotérmico era composto pelas seguintes etapas: etapa de aquecimento e etapa de resfriamento. A etapa de aquecimento ocorreu por 60 min, uma vez que, eram 20 min para elevação da temperatura de 15 °C à 57 °C e permanência na temperatura de 57 °C por 40 min. A etapa de resfriamento dava-se pela diminuição da temperatura, de 57 °C à 15 °C, por 20 min e, posterior permanência, por 40 min, na temperatura de 15 °C. Ao total, cada ciclo completo durava 120 min. A Figura 3 esquematiza os ciclos de temperatura aplicados, e os teores de umidade, sendo 20% e 98% os valores mínimo e máximo, respectivamente. Os valores-limite foram estabelecidos de forma a simular condições de clima úmido para temperatura mínima, e de clima seco para a temperaturas máxima.

A câmara empregada para realização do envelhecimento acelerado foi a Fitoclíma 1500EDTU20 (Figura 4), da marca Aralab, com dimensões externas de 120 cm × 193 cm × 220 cm (largura × altura × comprimento). A programação dos ciclos foi feita pelo programador da marca Moeller, que possibilitava controlar o tempo de cada ciclo, o número de ciclos, a temperatura e o teor de umidade. Além do programador Moeller, instalou-se no interior da câmara instalou-se Datalogger Modelo HT-70 da marca Instrutherm, com o intuito de verificar a temperatura e teor de umidade real.

Após o término dos ciclos realizou-se o ensaio de resistência de aderência à tração, segundo NBR 14081-4 [16]. Para realização deste ensaio foi utilizado um dinamômetro, marca Dinateste. Além, da resistência de aderência a tração, foi avaliado o tipo de ruptura, que é classificado de acordo com a NBR 14081-4 [16] como: S: Ruptura do substrato; S/A: Ruptura na interface substrato e argamassa colante; A: Ruptura da camada de argamassa colante; A/P: Ruptura na interface argamassa colante e placa cerâmica; P: Ruptura da placa cerâmica e F: falha na colagem da peça metálica.

Por fim realizou-se a análise dos resultados por meio de análise estatística de variância ANOVA e Teste Tukey, quando necessário.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 4 apresenta os valores obtidos nos ensaios de caracterização do agregado miúdo utilizado.

Tabela 4: Caracterização do agregado miúdo.

ENSAIOS	RESULTADOS
Módulo de finura	1,00
Massa unitária – compactada	1640 kg/m ³
Massa unitária – no estado solto	1500 kg/m ³
Massa específica	2,66 g/cm ³

Tabela 5: Análise da composição granulométrica dos aditivos poliméricos.

	PROPRIEDADES	EVA (µM)	HEMC (µM)
Análise granulométrica a laser	Diâmetro a 10%	1,31	62,37
	Diâmetro a 50%	14,40	170,18
	Diâmetro a 90%	43,43	311,76
	Diâmetro médio	18,76	181,27

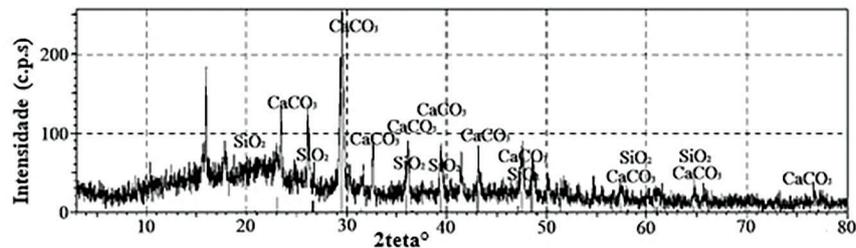


Figura 5: Espectro de difratograma de raios-X do EVA, com identificação das principais fases cristalinas.

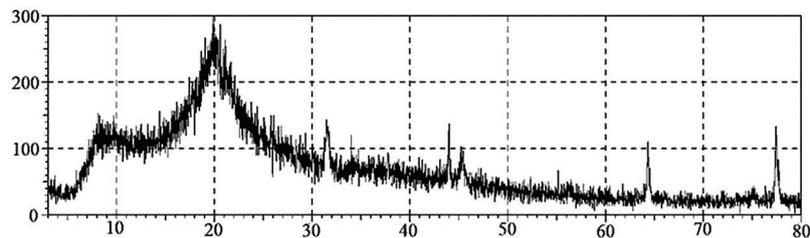


Figura 6: Difratograma de raio-X do HEMC.

Estudos com produção de argamassas colantes industrializadas, conforme realizados por Oliveira [11] e Almeida e Sichieri [20], utilizaram agregados miúdos com módulo de finura de 0,74 e 1,37, respectivamente. Logo, o agregado miúdo empregado nesta pesquisa, mostrou-se estar dentro de uma zona utilizável para a produção das argamassas colantes.

A Tabela 5 apresenta diâmetros das partículas, através da análise granulométrica a laser, dos aditivos poliméricos empregados.

A Figura 5 apresenta o difratograma de raio-X do EVA e, conforme visualiza-se, foram identificadas fases cristalinas como calcita (CaCO₃) e sílica (SiO₂).

Pelo difratograma de raio-X do EVA, Figura 6, não foram identificadas fases amorfas, porém, segundo Silva [9] em um estudo realizado utilizando o mesmo aditivo, a quantidade total de inorgânicos foi determinada pela calcinação a 1000°C e fases amorfas foram identificadas entre 10 e 30°.

A Figura 6 apresenta a difração de raios-X da amostra do pó de HEMC.

O difratograma de raio-X do HEMC não indicou a presença de fases cristalinas e o largo pico entre 10 e 30° é atribuído à parcela amorfa do polímero.

As temperaturas de transição vítrea, obtidas pela análise térmica (DSC), dos aditivos poliméricos estão dispostas na Tabela 6.

Tabela 6: Temperatura de transição vítrea (TG).

AMOSTRAS	TG (°C)
EVA	20,0
HEMC	95,7

Tabela 7: Resultados dos ensaios de caracterização das argamassas colantes.

ENSAIOS	T10		T15		T20	
	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Retenção de água (%)	99,00	–	98,72	–	99,42	–
Tempo em aberto (MPa)	1,47	0,13	1,32	0,07	1,64	0,19

Tabela 8: Resultados dos ensaios de caracterização das argamassas colantes.

AMOSTRAS	UNIDADE	T10	DESVIO PADRÃO	T15	DESVIO PADRÃO	T20	DESVIO PADRÃO
Absorção de água por capilaridade aos 10 min	g/cm ²	0,10	0,02	0,08	0,00	0,06	0,01
Absorção de água por capilaridade aos 90 min	g/cm ²	0,22	0,05	0,17	0,02	0,13	0,00
Densidade de massa aparente no estado endurecido	Kg/m ³	1407,23	15,30	1551,23	8,06	1554,84	11,89
Resistência à compressão axial	MPa	11,38	0,56	12,83	0,46	12,68	0,97
Resistência à tração na flexão	MPa	6,45	0,78	7,37	0,65	7,67	0,20

A temperatura de transição vítrea dos materiais pode ser definida como a passagem do estado vítreo para o estado elastomérico, também conhecido como comportamento de elasticidade de borracha [30]. O efeito da temperatura no comportamento dos polímeros é bem relevante, sendo que, eles amolecem frente a temperaturas mais altas, tornando-se deformáveis [11]. A temperatura de transição vítrea apresentada pelo EVA, na Tabela 7, de 20 °C, se mostra abaixo das temperaturas utilizadas ao longo das ciclagens realizadas nesta pesquisa e, conforme Rashid, Wang e Ueda [31], conforme a taxa de polímero-cimento, as argamassas podem apresentar perda de até 50% da resistência quando expostas a temperaturas superiores à 50°C.

A Tabela 7 apresenta os valores obtidos para retenção de água e tempo em aberto das argamassas colantes dosadas neste estudo.

A retenção de água é uma propriedade que está ligada diretamente com a capacidade de trabalhabilidade da argamassa colante. Portanto, quanto maior o percentual de retenção de água, melhor, pois maior a capacidade da argamassa de reter a água da mistura, ou seja, sem perder água para o meio, seja por contato com superfícies, seja por evaporação [32]. Logo, os resultados mostraram que as amostras atendem a este requisito, uma vez que todas apresentaram valores de retenção acima de 98%. A capacidade de manter a água auxilia na hidratação da matriz cimentícia.

Os resultados de resistência de aderência à tração obtidos no ensaio de tempo em aberto, para todos os traços de argamassa colante produzidos, atendem as especificações mínimas de resistência de aderência a tração, conforme NBR 14081-1 [7], que é de 1MPa para argamassa do tipo ACIII. Por meio do Teste Tukey, pode-se afirmar, com 95% de confiança, que a resistência apresentada pela amostragem T15 é menor que a resistência apresentada pela amostragem T20, assim como, constatou-se também que a amostragem T10 não apresentou diferença significativa quando comparada as demais amostragens.

A Tabela 8 e a Figura 7 apresentam os resultados dos ensaios de caracterização realizados para as argamassas colantes.

Por meio da análise de variância (ANOVA), verificou-se que o percentual de aditivo empregado é um fator de influência para os valores de absorção de água. E, através do Teste Tukey, pode-se afirmar que a amostra

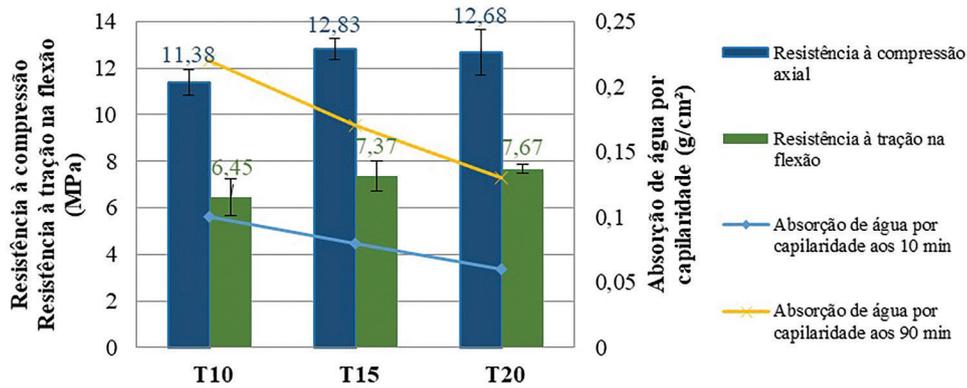


Figura 7: Representação gráfica de resistência à compressão e tração e absorção de água.

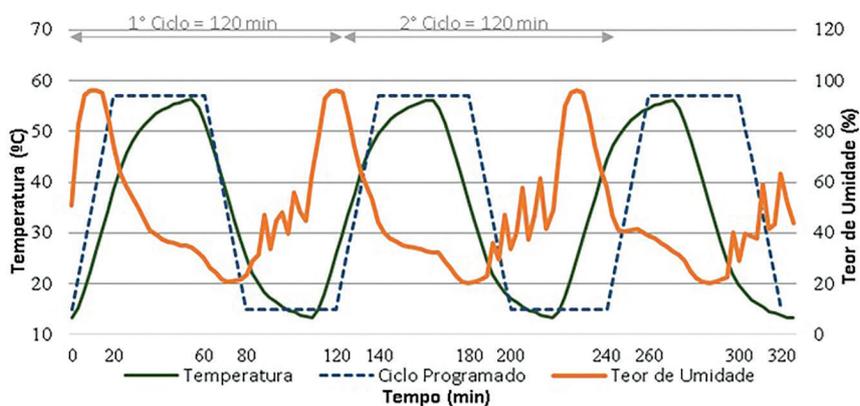


Figura 8: Variação de temperatura.

T10 apresentou maiores valores de absorção de água por capilaridade, em ambos os tempos (10 min e 90 min), quando comparada a amostra T20. Ainda, com base no Teste Tukey, pode-se afirmar que não houve diferença significativa nos valores de absorção por capilaridade das amostras T15 e T20 e entre as amostras T10 e T15, em ambos os tempos.

As densidades de massa aparente no estado endurecido se tornam maiores à medida que se tem maiores percentuais do aditivo EVA na composição das argamassas colantes, sendo que a amostra T20 apresentou a maior densidade e a amostra T10 a menor densidade. Conforme os resultados de densidade aparente e com base na análise granulométrica do EVA, que apresentou granulometria fina, uma possível justificativa para a relação do aumento de densidade com o aumento de percentual do EVA, pode ser devido ao efeito de preenchimento de vazios. Esse maior preenchimento de vazios pelo EVA pode ser uma possível justificativa também para os resultados de absorção de água por capilaridade.

Os valores de resistência à compressão foram influenciados pelo percentual de aditivo EVA empregado nas misturas, de acordo com a análise estatística ANOVA realizada, visto que, a argamassa colante T10 apresentou os menores valores de resistência a compressão. Tal fato, pode estar relacionado a duas possíveis justificativas, sendo que, a primeira a ser citada, é ao preenchimento dos vazios pelas partículas finas do EVA, já discutido para os resultados de absorção de água por capilaridade e densidade aparente. E, a segunda possível justificativa, é com base na identificação de fases do aditivo polimérico EVA. Conforme ensaio de DRX do EVA pôde ser observado fases cristalinas de sílica e calcita que, segundo Gomes [33], a adição de sílica em matrizes cimentícias pode resultar no aumento da resistência à compressão. Ainda, de acordo com o mesmo autor [33], as propriedades mineralógicas da sílica e calcita, juntamente com dimensões reduzidas – partículas finas, podem tornar o conjunto mais denso.

Já, para a resistência a tração na flexão, através do Teste Tukey, com 95% de confiabilidade, pode-se afirmar que as amostras não apresentaram diferença significativa de resistência, isto é, a distinção no percentual de EVA nas argamassas colantes não ocasionou diferença nos resultados de resistência à tração na flexão.

A Figura 8 demonstra a variação de temperatura entre o ciclo programado e o real executado.

Tabela 9: Resistência média de aderência à tração.

CONDIÇÃO DE EXPOSIÇÃO	TRAÇO	RESISTÊNCIA MÉDIA (MPa)	DESVIO PADRÃO (MPa)
Exposição ambiente	T10	1,74	0,12
	T15	1,89	0,16
	T20	1,98	0,10
Envelhecimento acelerado	T10	1,56	0,15
	T15	1,69	0,13
	T20	1,68	0,16

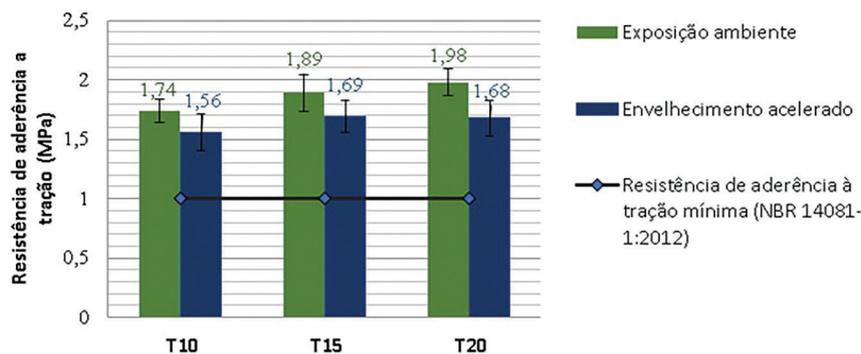


Figura 9: Resultados médios de resistência de aderência à tração.

A Tabela 9 apresenta os resultados médios obtidos no ensaio de resistência de aderência a tração em função das diferentes condições de exposição e porcentagem de EVA empregados a cada mistura.

De acordo com os requisitos da NBR 14081-1 [7], a resistência de aderência à tração mínima é de 1,0 MPa, para argamassas colantes do tipo ACIII. E, à vista disso, através dos valores verificados (Tabela 9), observa-se que todas as argamassas colantes produzidas, indiferente a exposição ao envelhecimento acelerado, apresentaram resistência de aderência à tração superior ao mínimo estabelecido pela NBR 14081 [7].

A Figura 9 representa graficamente os valores de tensões de resistência de aderência a tração.

A partir da análise de variância (ANOVA) e Teste Tukey, para exposição ambiente, entre os traços T10, T15 e T20, verificou-se diferença significativa do T10 em relação ao T15 e ao T20, visto que os traços T15 e T20 apresentaram resistência de aderência à tração superiores ao T10, enquanto não há distinção entre o T15 e o T20. A relação polímero/cimento exercem influência sobre a aderência e, segundo Riley e Razl [34], Ohama [10]) e Póvoas e Jhon [35], maiores teores de polímeros apresentam maior resistência, posto que, teores inferiores a 10% normalmente causam redução de resistência.

Quando realizou-se análise de variância (ANOVA) para os valores de resistência de aderência à tração entre T10, T15 e T20, para os sistemas de revestimento que foram expostos aos ciclos de envelhecimento acelerado, verificou-se que não houve diferença significativa entre os traços.

No entanto, calculando-se a perda de resistência de aderência à tração de um mesmo traço, mas com exposições diferentes, constatou-se diferenças significativa. A partir da diferença entre o valor médio de resistência de aderência à tração obtido na exposição ambiente e o valor de resistência médio obtido na exposição ao envelhecimento acelerado, verificou-se maior queda na resistência de aderência à tração para o T20. A Figura 10 apresenta a perda de resistência à tração em percentual para cada traço.

Como pode ser visualizado na Figura 10, há uma perda crescente de resistência conforme maior porcentagem de EVA empregado na composição das argamassas colantes produzidas. Através do Teste Tukey pode-se afirmar que os traços T15 e T20 apresentaram perda significativa de resistência de aderência devido à exposição aos ciclos higrotérmicos. A perda de resistência devido ao envelhecimento acelerado dos traços T15 e T20, pode estar vinculada aos percentuais de EVA empregados. A temperatura de transição vítrea do EVA utilizado nesta pesquisa, aproximadamente 20 °C, tem valor inferior a temperatura máxima do ciclo e, por conseguinte, a perda de propriedades mecânicas do EVA pode ter afetado significativamente a resistência de aderência à tração das



Figura 10: Perda de resistência após envelhecimento acelerado.

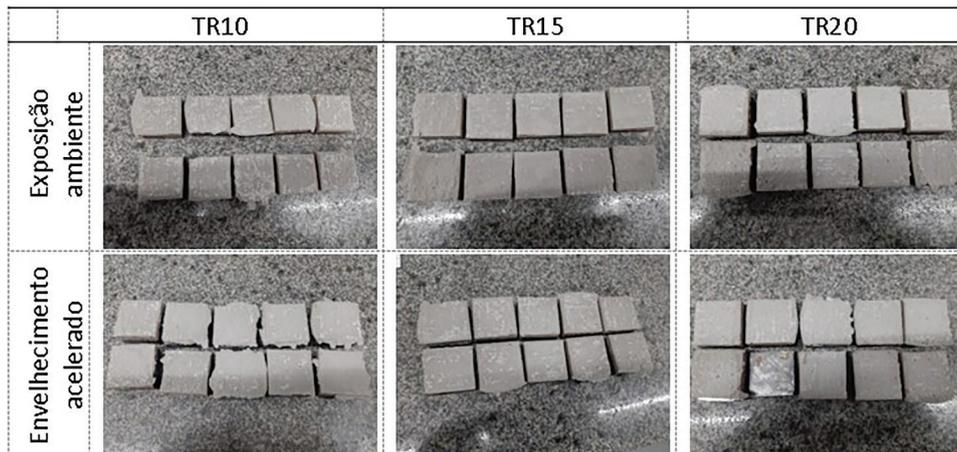


Figura 11: Rupturas apresentadas pelas amostragens segundo o estado de exposição e o tipo de traço.

Tabela 10: Tipos de rupturas x porcentagens de ocorrência.

CONDIÇÃO DE EXPOSIÇÃO	TRAÇO	TIPO DE RUPTURA (%)	
		S/A	A
Exposição ambiente	T10	100	–
	T15	69,0	31,0
	T20	98,5	1,5
Envelhecimento acelerado	T10	18,7	81,2
	T15	81,0	19,0
	T20	57,8	42,2

argamassas colantes dos traços T15 e T20. Segundo Rashed [3] a temperatura de transição vítrea apresentada pelos polímeros influencia negativamente na resistência de aderência a tração quando há variação de temperatura.

No ensaio de resistência de aderência à tração, além da mensuração do valor de resistência, fez-se também a análise do tipo de ruptura, como mostrado na Figura 11. Os corpos de prova que apresentaram tipo de ruptura F (falha na colagem) foram desconsiderados.

As porcentagens de cada tipo de ruptura podem ser visualizadas na Tabela 10. O tipo de ruptura S/A se refere a ruptura na interface entre substrato e argamassa colante e o tipo de ruptura A a ruptura da camada de argamassa colante.

Como pode ser constatado na Tabela 10 os tipos de ruptura com maior frequência para os sistemas de revestimentos expostos no ambiente foram do tipo S/A. Já, para os sistemas de revestimento cerâmico que foram expostos aos ciclos de envelhecimento acelerado a frequência dos tipos de ruptura na camada de argamassa colante tornaram-se mais expressivas, quando comparados com o tipo S/A. A ruptura do tipo “A” demonstra uma perda de resistência à tração da camada da argamassa colante, quesito que pode estar relacionado ao ciclos higrotérmicos. A redução das propriedades mecânicas de argamassa colante industrializada, após exposição a ciclo de envelhecimento acelerado também foi verificado no estudo de Antunes [1]. A queda da resistência pode

ser justificada pelos seguintes fatores: a alta temperatura (60 °C) aumenta a porosidade dos materiais cimentícios e, em argamassas aditivadas com polímeros, o filme polimérico que penetra nos poros pode ser desestruturado, reduzindo as resistências; e, os polímeros, adicionados tradicionalmente em nas argamassas poliméricas são sensíveis à temperatura [36].

As rupturas do tipo adesivas, que ocorrem nas interfaces, são mais graves que as rupturas coesivas, que ocorrem no interior da argamassa [37]. Além disso, ao se analisarem os tipos de ruptura juntamente com os valores de resistência, é preciso dobrar a atenção quando se tem maior número de rupturas na interface e baixos valores de resistência, quesito não verificado nesta pesquisa, posto que os valores de resistência foram acima de 1,00 Mpa [37].

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados de resistência de aderência à tração de sistemas de revestimentos cerâmicos assentados com argamassas colantes produzidas com diferentes percentuais de EVA em sua composição, pode-se concluir que o T15 e o T20 seriam os melhores teores de EVA, pois não apresentaram diferença significativa entre si, em relação a resistência, indiferente ao tipo de exposição, e demonstraram maior resistência que o traço T10. Além disso, o T15 e o T20 também apresentaram os menores valores de absorção de água por capilaridade e os maiores valores de resistência à compressão e resistência à tração, quando comparados ao T10. No entanto, cabe mencionar, que todos os traços produzidos (T10, T15 e T20) e indiferente ao tipo de exposição atenderam o valor mínimo de 1,00 MPa, repassado pela NBR 14081-1: 2012 [7], de resistência de aderência à tração. Já, a partir da análise do cálculo de perda de resistência de aderência à tração de um mesmo traço, mas com exposições diferentes, constatou-se perda significativa de resistência, devido à ciclagem, dos traços T15 e T20, quando comparados ao T10. E, em relação aos tipos de rupturas, verificou-se que nos sistemas de revestimento sem exposição ao envelhecimento acelerado, a maior frequência do tipo de ruptura foi do tipo S/A, isto é, na interface substrato e argamassa colante, enquanto, nos sistemas que foram expostos ao envelhecimento acelerado, constatou-se o tipo de ruptura S/A, mas também o tipo “A” (na camada de argamassa colante).

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] ANTUNES, E.G.P., *Avaliação dos efeitos da expansão por umidade (EPU) das placas cerâmicas na durabilidade dos sistemas de revestimentos cerâmicos internos*. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.
- [2] ANFACER. *Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres*. <http://www.anfacer.org.br>.
- [3] RASHED, K., WANG, Y., UEDA, T., “Influence of continuous and cyclic temperature durations on the performance of polymer cement mortar and its composite with concrete”, *Composite Structures*, v. 215, pp. 214–225, 2019.
- [4] REIS, W.P.S., *Revestimento cerâmico de fachada: Projeto do produto e da produção*. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- [5] RHOD, A.B., *Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos: Análise da frequência de ocorrência em áreas internas de edifícios em uso em Porto Alegre*. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- [6] ALMEIDA, L.L., *Patologias em revestimento cerâmico de fachada*. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Especialização em Construção Civil), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 1: Requisitos. NBR 14081-1*. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- [8] LUIZ, T.L., ANTUNES, E.G.P., *Análise da influência da espessura das juntas de assentamento na resistência de aderência do sistema de revestimento cerâmico de fachada*. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil), Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2018.
- [9] SILVA, D.A., *Efeitos dos polímeros HEC e EVA na microestrutura de pastas de cimento Portland*. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- [10] OHAMA, Y., *Polymer-based admixtures*. 20 ed. Vancouver: Cement and Concrete Composites, 1998.
- [11] OLIVEIRA, J., *Estudo das propriedades de argamassas colantes submetidas à saturação e secagem*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

- [12] PAIVA, H., SILVA, L.M., LABRINCHA, J.A., *et al.*, “Effects of a water-retaining agent on the rheological behaviour of a single-coat render mortar”, *Cement and Concrete Research*, v. 36, n. 7, pp. 1257–1262, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.02.018>
- [13] KNAPEN, E., VAN GEMERT, D., “Cement hydration and microstructure formation in the presence of water-soluble polymers”, *Cement and Concrete Research*, v. 39, n. 1, pp. 6–13, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.10.003>
- [14] AMORIM, F.C., *Influência da temperatura no comportamento mecânico do polímero dgeba (diglicidil éter bisfenol a)*. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Mecânica), Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Placas cerâmicas para revestimento – Classificação. NBR 13006*. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. NBR 14081-4*. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 3: Determinação do tempo em aberto. NBR 14081-3*. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios. NBR 14081-2*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- [19] SILVA, D.A., FREDEL, M.C., ROMAN, *et al.*, “Influência do teor de polímeros nas propriedades das argamassas colantes”, In: *VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: Qualidade no processo construtivo*, pp. 97–105, Florianópolis, 1998.
- [20] ALMEIDA, A.E.F.S., SICHIERI, E.P., “Study of the adherence between polymer-modified mortars and porcelain stoneware tiles”, *Materials Research*, v. 8, n. 3, pp. 245–249, 2005
- [21] VIEIRA, J.C., PELISSER, F., *Estudo da eficiência de composições de argamassas adesivas*. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil), Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2013.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Agregados – Determinação da composição granulométrica. NBR NM 248*. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. NBR NM 52*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. NBR NM 45*. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- [25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. NBR 13277*. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- [26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. NBR 15259*. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- [27] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. NBR 2005*. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- [28] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. NBR 13279*. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- [29] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN). *Adhesives for ceramic tiles – Part 2: Test methods. DIN EN 12004-2*. Berlin: DIN, 2017.
- [30] MANO, E.B., MENDES, L.C., *Introdução a polímeros*. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.
- [31] AFRIDI, M.U.K., OHAMA, Y., IQBAL, M.Z., *et al.*, “Water retention and adhesion of powdered and aqueous polymer-modified mortars”, *Cement Concrete Compos*, v. 17, n. 2, pp. 113–118, 1995. [https://doi.org/10.1016/0958-9465\(95\)00007-Y](https://doi.org/10.1016/0958-9465(95)00007-Y)

- [32] COELHO, A.R., PEREIRA, H.R.S., FAGANELLO, L., *et al.*, “Análise da retenção de água em argamassas com resíduo de fundição”. In: *58º Congresso Brasileiro de Cerâmica 18 a 21 de maio de 2014*, Bento Gonçalves, 2014.
- [33] GOMES, V.L.L., *Efeito da adição de diatomita no comportamento reológico e mecânico de argamassas colantes*. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.
- [34] RILEY, V.R., RAZL, I., “Polymer additives for cement composites”. *Composites*, v. 5, n. 1, pp. 27–33, 1974.
- [35] PÓVOAS, Y.V., MOACYR, J.V., CINCOTTO, M.A. “A influência de HEC e PVAc na perda de água por sucção das argamassas colantes”. In: *Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, Vitória, 1999.
- [36] RASHID, K., UEDA, T., ZHANG, D., *et al.*, “Experimental and analytical investigations on the behavior of interface between concrete and polymer cement mortar under hygrothermal conditions”, *Construction and Building Materials*, v. 94, n. 4, pp. 414–425, 2015.
- [37] CARASEK, H., “Argamassas”, In: ISAIA, G.C., (org.), *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. 2 ed. v. 2, São Paulo: IBRACON, 2007.