

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE PÓ RESIDUAL DO PROCESSO DE RETÍFICA À SECO DE PLACAS CERÂMICAS EM ARGAMASSAS COLANTES INDUSTRIALIZADAS

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE RESIDUAL POWDER APPLICATION OF THE DRY GRINDING PROCESS OF CERAMIC PLATES IN INDUSTRIALIZED ADHESIVE MORTARS

RENATA PEREIRA SARTOR | UNESC

JAISON ARAÚJO SPECK | UNESC

ALINE EYNG SAVI, Dra. | UNESC

JORGE HENRIQUE PIVA, M.Sc. | UNESC

ELAINE GUGLIELMI PAVEI ANTUNES, Dra. | UNESC

RESUMO

O uso de revestimentos cerâmicos é muito utilizado na construção civil, principalmente no Brasil, pelas vantagens que confere à edificação. No processo de fabricação das placas cerâmicas, atualmente, muitas delas passam pelo processo de retificação, que consiste na padronização das dimensões e retificação das laterais. Como resultado do processo de retificação, é gerado um pó residual (RRC – resíduo de retificação cerâmica) seco e de granulometria fina e que conforme os ensaios realizados, possui alto teor de sílica e alumina, porém pelo difratograma de raio x verifica-se a presença de cristais. Para o assentamento dos revestimentos cerâmicos tradicionalmente são empregadas as argamassas colantes industrializadas, às quais são compostas, essencialmente, de aglomerante hidráulico, agregado mineral, aditivos (dependendo a finalidade) e água. Sendo materiais correlacionados e buscando analisar a possibilidade de reinclusão do resíduo como material útil na construção civil, o objetivo deste estudo foi verificar as influências da substituição parcial da areia pelos RRC de monoporosa e de porcelanato, separadamente. Para tal, foram estudados sete formulações de traço, sendo 1 padrão e 3 diferentes composições em percentuais de substituição de 10, 15 e 20% para cada tipo de resíduo. Foram realizados ensaios com a argamassa no estado fresco e endurecido, sendo eles: índice de consistência, retenção de água, resistência de aderência à tração, determinação do tempo em aberto e absorção de água por capilaridade. Como resultado, foi possível observar que a inclusão de uma maior fração de finos na composição da argamassa afeta diretamente as características da mistura no estado fresco e endurecido. O aumento da área específica do agregado mineral acarreta demanda maior quantidade de pasta nas composições, o que reduz o índice de consistência, a redução da resistência de aderência e o não atendimento do tempo em aberto de 15 minutos, conforme o aumento do percentual de resíduo aplicado.

PALAVRAS CHAVE: argamassa colante; resíduo; reutilização; cerâmica; construção civil

ABSTRACT

The use of ceramic tiles is widely used in civil construction, especially in Brazil, due to the advantages it confers on the building. In the process of manufacturing ceramic tiles, many of them currently go through the grinding process, which consists of standardizing the dimensions and grinding the sides. As a result of the grinding process, a dry, fine grained residual powder (RRC - ceramic grinding waste) is generated. According to the tests performed, it has a high silica and



alumina content, but an x-ray diffractogram verifies the presence of crystals. For the laying of ceramic tiles, industrialized adhesive mortars are traditionally used, which are essentially composed of hydraulic binder, mineral aggregate, additives (depending on the purpose) and water. Being correlated materials and seeking to analyze the possibility of reincluding the residue as a useful material in civil construction, the objective of this study was to verify the influences of the partial replacement of sand by Monoporous and Porcelain tile RRC, separately. For this, seven mix formulations were studied, being 1 standard and 3 different compositions in substitution percentages of 10, 15 and 20% for each type of waste. Tests were performed with the mortar in the fresh and hardened states, such as: consistency index, water retention, tensile bond strength, determination of open time and capillary water absorption. As a result, it was possible to observe that the inclusion of a larger fraction of fines in the mortar composition directly affects the characteristics of the mixture in the fresh and hardened states. The increase in the specific area of the mineral aggregate leads to a greater demand for paste in the compositions, which reduces the consistency index, the reduction of bond strength and the non-compliance with the open time of 15 minutes, according to the increase in the percentage of residue applied.

KEY WORDS: *adhesive mortar; residue; reuse; ceramics; construction*

1. INTRODUÇÃO

As placas de revestimento cerâmico são largamente utilizadas para acabamento, em pisos, paredes, fachadas e piscinas, conforme BOSCHI (2002), o principal aspecto positivo, referente às vantagens competitivas dos revestimentos cerâmicos em relação aos demais tipos de revestimentos, consiste na combinação da facilidade de limpeza, durabilidade e seu potencial decorativo.

Segundo dados da ANFACER (Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos), o Brasil é um dos principais protagonistas no mercado mundial de revestimentos cerâmicos, ocupa a terceira posição em produção e consumo. Em 2018, foram produzidos 795 milhões de metros quadrados para uma capacidade instalada de 1.064 milhões de metros quadrados. As vendas totais no mercado interno atingiram 694,5 milhões de metros quadrados.

A variedade de tipos, acabamentos e design de revestimentos cerâmicos é bastante abrangente no cenário atual do setor cerâmico brasileiro e mundial, com suas tipologias e características classificadas conforme as normas técnicas vigentes, a NBR 13818: 1997 (Placas Cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios) e NBR 15463: 2013 (Placas Cerâmicas para Revestimento – Porcelanato).

De acordo com Brito (2009), as cerâmicas tradicionais são produzidas a partir de três componentes básicos, argila, sílica e feldspato. O produto após a sinterização (queima), é constituído de uma matriz vítrea, na qual partículas de mulita e as partículas de quartzo que não se dissolveram totalmente estão dispersas (SANCHEZ, 2001). Tais mudanças ocorridas no processo de queima (sinterização), englobam também características dimensionais variáveis das placas cerâmicas, tanto com relação as suas dimensões (variação de tamanho, de ortogonalidade, etc.) quanto com relação a sua planicidade (curvaturas centrais, laterais e empeno). Para obtenção de placas cerâmicas com tamanho uniforme no processo de fabricação é realizado o processo de retificação, que consiste no corte das arestas das placas, de modo a garantir lados retos, maior estabilidade dimensional e cantos ortogonais no revestimento.

Na operação de retífica, obtém-se o esquadreamento das placas cerâmicas, que é efetuado por meio de rolos diamantados de alta capacidade de remoção, que trabalham sobre os lados contrapostos das placas cerâmicas firmadas e conduzidas por correias sobrepostas. Uma vez que o esquadreamento das bordas permite a produção de placas cerâmicas de um só tamanho, por vezes esta operação é realizada sobre todas as placas cerâmicas na saída do forno (BIFFI, 2002).

Como resultado do processo de retífica, existem dois produtos principais: a placa cerâmica retificada e o resíduo em pó gerado pelo processo. O resíduo trata-se de um pó com granulometria fina e seco, com grande presença de sílica (quartzo), conforme composição da massa cerâmica.

Com base na sua composição de massa, as peças cerâmicas apresentam diferentes índices de absorção de água, e são classificadas conforme ABNT NBR 13817: 1997, sendo que a Classe BIII (monoporosas) e a Classe BIa (porcelanato esmaltado) apresentam, respectivamente, absorção de água acima de 10% e menor que 0,5%.

Conforme dados fornecidos por empresa cerâmica, com matriz situada no sul do estado de Santa Catarina, estima-se atualmente a geração do resíduo de retífica cerâmica (RRC) em uma fração acerca de 1,00kg/m² de produto acabado, incluindo as tipologias monoporosas e porcelanatos. No total, são geradas aproximadamente 650 toneladas por mês deste insumo com uma produção média de 650.000,00 m² de placas retificadas, e a tendência deste número é crescer, decorrentes dos planos de expansão, conforme aumento da capacidade produtiva.

Com relação ao assentamento das placas cerâmicas, é essencial o uso da argamassa colante adequada, bem como sua aplicação conforme as diretrizes técnicas das normas vigentes para execução do assentamento com argamassa colante, sendo: NBR 13753:1996 (Revestimento de piso interno ou externo), NBR 13754: 1996 (Revestimento de paredes internas) e NBR 13755: 2017 (Revestimento cerâmico de fachadas e paredes externas).

De acordo com a definição normativa, citada na NBR 13754: 1996, a argamassa colante trata-se de uma mistura constituída de aglomerantes hidráulicos, agregados minerais e aditivos, que possibilita a formação de uma pasta viscosa, plástica e aderente. Mediante a larga escala de utilização de sistemas de revestimentos cerâmicos, as argamassas colantes tornam-se, também, um produto de elevado consumo. Deste modo, observa-se dentre os componentes da argamassa um meio em potencial para reinserção do resíduo de retífica na cadeia da construção civil.

Em alguns estudos já realizados no âmbito de investigar possíveis alterações em argamassas colantes, partindo do princípio de reutilização de resíduos sólidos, já foram analisadas as influências de diferentes materiais, como: pó de mármore estudado por Buyuksagis em 2017; resíduo de vidro proveniente do polimento de arestas desenvolvido por Azevedo et.al. em 2017, sílica ativa que é um subproduto industrial de fornos de arco elétrico estudado por Almeida et. al em 2006 e pellets de madeira por Marinho em 2017.

Sendo assim, a presente pesquisa tem como objetivo estudar a viabilidade de substituição parcial do agregado mineral de argamassas colantes pelo RRC, oriundo de placas de monoporosa (RM) e de porcelanatos (RP), por meio de formulações de argamassa com a incorporação do resíduo como substituto parcial da areia. Para tal, verificou-se se a incorporação do RRC proporcionou alterações nas características físicas e propriedades mecânicas das argamassas colantes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para elaboração do estudo, foram necessárias seis etapas. A primeira etapa refere-se a coleta dos resíduos junto à fábrica de revestimentos cerâmicos, provenientes de duas tipologias distintas: revestimento cerâmico, tipo BIII (monoporosa) e de placas de porcelanato esmaltado, tipo BIa.

Na segunda etapa realizou-se a caracterização do resíduo e, para tal, foram obtidos os resultados de distribuição de tamanhos de partículas (através de sedimentometria de raios X em analisador de tamanhos de partículas Sedigraph III Plus), análise química (através de fluorescência de raios X) e, por último, análise de fases (difração de raios X por meio do método do pó e refinamento RIR-Rietveld). Cabe mencionar que tais ensaios foram realizados por laboratório externo certificado, contratado pela empresa cerâmica.

Na terceira etapa ocorreu o desenvolvimento do traço padrão e das formulações das argamassas com incorporação do RRC, sendo seis (06) composições diferentes, três (03) para cada tipo de resíduo, RM – Resíduo Monoporosa e RP - Resíduo Porcelanato. Já, na quarta e quinta etapa, realizaram-se os ensaios no estado fresco (índice de consistência e determinação de retenção de água) e no estado endurecido (resistência de aderência à tração, determinação de absorção de água e determinação de tempo em aberto) da argamassa, respectivamente. Na sexta e, última etapa, fez-se a análise dos resultados.

Com relação aos resíduos RRC (tipologias, BIII e BIa), sua distribuição granulométrica segue descrito na Tabela 1, na qual observa-se que os diâmetros predominantes são de 17,41µm no RM (equivalente a 0,01741mm) e de 31,79µm para o RP (0,03179mm).

| Fração Passante | Ø (µm) – RM | Ø (µm) – RP |
|-----------------|-------------|-------------|
| D90 | 17,41 | 31,79 |
| D50 | 6,00 | 10,66 |
| D20 | 2,43 | 4,45 |
| D10 | 1,27 | 2,63 |
| Fração <10 % | 71,3 | 47,4 |
| Fração < 1 % | 7,5 | 3,1 |

Tabela 1 - Distribuição do tamanho de partículas dos resíduos RM e RP.
 Fonte: empresa cerâmica, 2018.

A análise química, descrita na Tabela 2, indica elevadas quantidades de Sílica (SiO₂) presente em grandes quantidades nas composições da massa cerâmica.

| Óxidos | RP (%) | RM (%) |
|--------------------------------|--------|--------|
| SiO ₂ | 69,23 | 64,81 |
| Al ₂ O ₃ | 19,58 | 17,08 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,17 | 2,93 |
| TiO ₂ | 0,55 | 0,48 |
| CaO | 0,81 | 10,09 |
| MgO | 1,02 | 1,40 |
| Na ₂ O | 1,47 | 0,15 |
| K ₂ O | 3,02 | 1,75 |
| MnO | 0,02 | - |
| P ₂ O ₅ | 0,03 | 0,05 |

Tabela 2 - Análise química dos resíduos.
 Fonte: empresa cerâmica, 2018.

Considerando os valores das análises químicas, o fato de demonstrar altos teores de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃, com sua soma ≥70%, e baixos percentuais de Alcalis Na₂O (≤1,5%), seria um indicativo de atividade pozolânica do material, conforme parâmetros da NBR 12653: 2014. No entanto, quando se relaciona estas informações com os resultados do difratograma de raio X, na qual ambos os resíduos formam em maior teor fases não cristalinas (amórfas), conforme apresenta a Tabela 3, percebe-se a baixa reatividade dos resíduos. Constatação do porquê, nesta pesquisa, optou-se por efetuar a substituição do RRC pelo agregado mineral e não pelo cimento Portland.

| Teor de fase encontrado | RP (%) | RM (%) |
|-------------------------|--------|------------------------|
| Não Cristalina | 60 | 41 |
| Quartzo | 25 | 29 |
| Mulita | 9 | 6* (presença duvidosa) |
| Feldspatos | 6 | - |
| Anortita | - | 20 |

Tabela 3 - Análise de fases por DRX.
 Fonte: empresa cerâmica, 2018.

Com embasamento nos percentuais de substituição em estudos já realizados na área, principalmente quanto ao resíduo de vidro desenvolvido por Azevedo et.al. (2017), que igualmente possui alto teor de sílica e 70% das partículas de tamanho inferior a 40µm (0,04mm), no qual as variações foram de 10, 15 e 20%, foram delimitadas as formulações dos testes, com variação em relação ao traço padrão variando o agregado mineral, conforme ilustrado na Tabela 4.

| Comp. | Cimento | Areia | Resíduo | HEC | Água |
|-------------|---------|-------|---------|-------|-------|
| Padrão | 1 | 2,33 | 0 | 0,009 | 0,766 |
| RM10 = RP10 | 1 | 2,097 | 0,233 | 0,009 | 0,766 |
| RM15 = RP15 | 1 | 1,980 | 0,349 | 0,009 | 0,766 |
| RM20 = RP20 | 1 | 1,864 | 0,466 | 0,009 | 0,766 |

Tabela 4 - Descrição dos traços das substituições realizadas.
Fonte: autores.

É válido, também, mencionar que inicialmente ao desenvolvimento deste estudo, foi pré-determinado uma composição de argamassa com um percentual de até 30% de resíduo. No entanto, durante o processo de homogeneização da argamassa houve grande dificuldade na mistura dos componentes e durante o espalhamento da argamassa colante no tardo da placa cerâmica não foi possível formar os cordões para assentamento das mesmas. A Figura 2 demonstra as dificuldades elencadas na frase anterior.



Figura 2 - Teste de mistura com 30% de resíduo, não foi possível realização.
Fonte: autores.

Para a caracterização das argamassas no estado fresco e endurecido, os ensaios foram realizados conforme as normativas vigentes, de modo a analisar as variações nas características da argamassa, por meio das substituições do agregado pelo RRC. Na Tabela 5, encontram-se identificados todos os ensaios realizados e sua respectiva normatização.

É válido mencionar que os ensaios de estado fresco da argamassa não se referem estritamente à normas de argamassas colantes, porém a aplicação delas foi determinada para possibilitar a comparação entre as diferentes composições.

Os materiais utilizados para o desenvolvimento das formulações foram definidos com base em recomendações dos fabricantes de argamassa consultados. Utilizou-se o cimento do tipo CP II – F32, comumente utilizado na área de argamassas, pois apresenta como característica uma cura mais rápida e coloração mais clara, devido à adição de filer calcário e gesso. O agregado mineral usado trata-se de uma areia, caracterizada conforme as normas NM 52:2009 (massa específica), NM 45:2006 (massa unitária) e NM 248:2003 (distribuição granulométrica). Na formulação da argamassa colante, empregou-se ainda, o aditivo retentor de água (HEC) e água de fornecimento local.

| Estado Argamassa | Ensaio | Norma |
|------------------|--|-------------------|
| Fresco | Determinação do Índice de Consistência | NBR 13276:2016 |
| | Determinação de Retenção de Água | NBR 13277: 1995 |
| Endurecido | Determinação de Tempo em Aberto | NBR 14081-3: 2012 |
| | Resistência de Aderência a Tração | NBR 14081-4: 2012 |
| | Determinação de Absorção de Água | NBR 15259:2005 |

Tabela 5 - Normatização dos ensaios realizados.
Fonte: autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os primeiros resultados a serem apresentados referem-se a caracterização do agregado mineral utilizado no traço padrão, a fim de, com base nestes resultados, verificar-se as distinções mais proeminentes deste em relação aos resíduos, RM e RP, que o substituem nas novas composições.

O agregado mineral padrão trata-se de uma areia com módulo de finura igual a 1,00, ou seja, uma areia fina. Por meio da análise granulométrica, verificou-se que a mesma possui uma dimensão máxima característica de (D_{max}) 0,3mm, com a predominância de grãos retidos na peneira de 0,15mm. A Tabela 6 apresenta os resultados das caracterizações realizadas.

| Ensaio | Resultado (kg/m ³) |
|---------------------------|--------------------------------|
| Massa Específica | 2660 |
| Massa Unitária Compactada | 1640 |
| Massa Unitária Solta | 1500 |

Tabela 6 - Caracterização do agregado mineral.
Fonte: autores.

Os resultados médios dos ensaios pertinentes ao estado fresco da argamassa estão descritos na Tabela 7.

| Formulação | Índice de Consistência (mm) | Retenção de água (%) |
|---------------|-----------------------------|----------------------|
| Padrão | 213,67 | 99 |
| RM10 | 177,12 | 99 |
| RM15 | 170,10 | 99 |
| RM20 | 162,93 | 99 |
| Desvio Padrão | 22,56 | 0,2 |
| RP10 | 187,88 | 100 |
| RP15 | 163,10 | 99 |
| RP20 | 151,15 | 100 |
| Desvio Padrão | 27,74 | 0,2 |

Tabela 7 - Resultados dos ensaios de estado fresco da Argamassa.
Fonte: autores.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 7, é possível verificar que o índice de consistência sofreu maior influência com a substituição dos resíduos, seja para o RM como para o RP, que a retenção de água. Como manteve-se fixa a relação água/materiais secos em 0,23L/kg em todos os traços, percebe-se que quanto maior o percentual de resíduo incorporado na argamassa menor é o espalhamento da mesma.

Segundo Pillegi (1996), a inclusão de finos pode acarretar em um elevado aumento na área superficial e, conseqüentemente, necessitar de mais água para recobrir as partículas, diminuindo a água livre para o afastamento das mesmas. Ainda, conforme ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), no Manual de Revestimentos de Argamassas, a granulometria do agregado tem influência nas proporções de aglomerantes e água da mistura, de forma que quando há deficiências na curva granulométrica ou excesso de finos, ocorre a necessidade de maior consumo de água de amassamento.

Na Figura 3, é possível visualizar o menor espalhamento da argamassa padrão em relação a argamassa com substituição de 20% de RP, que apresentou o menor valor de espalhamento, demonstrando a perda da sua fluidez e trabalhabilidade.



Figura 3. Espalhamento argamassa: (a) argamassa padrão, (b) argamassa RP20 antes das quedas, (c) argamassa RP20 após as quedas.
Fonte: autores.

Com base nos resultados obtidos para o parâmetro retenção de água, é possível observar que os percentuais de substituição estudados não provocaram alterações significativas nesta propriedade, visto os valores permaneceram entre 99 e 100% entre as diferentes composições. A retenção de água refere-se a uma característica da argamassa colante que está intimamente relacionada a presença do aditivo polimérico HEC no traço e, como tal, não foi alterado em todos os traços, não se observou alterações significativas com a substituição do agregado mineral pelos resíduos. Tal fato pode estar relacionado principalmente ao HEC. Segundo Silva (2001), a incorporação do polímero HEC em argamassas dificulta a movimentação da água na mistura, e sua saída do sistema, seja por sucção quando em contato com materiais porosos ou por evaporação para o ambiente, diminui.

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência de aderência à tração e tempo em aberto de 15 min, seguem descritos na Tabela 8.

| Formulação | Resist. de Aderência a Tração (MPa) | Tempo em Aberto (MPa) / min | |
|---------------|-------------------------------------|-----------------------------|---------|
| Padrão | 1,37 | 1,18 | >15 min |
| RM10 | 0,39 | 0,18 | <15 min |
| RM15 | 0,24 | 0,09 | <15 min |
| RM20 | 0,13 | 0,03 | <15 min |
| Desvio Padrão | 0,57 | 0,53 | - |

| | | | |
|---------------|------|------|---------|
| RP10 | 0,58 | 0,32 | <15 min |
| RP15 | 0,34 | 0,06 | <15 min |
| RP20 | 0,30 | 0,05 | <15 min |
| Desvio Padrão | 0,50 | 0,54 | - |

Tabela 8 - Ensaio de resistência de aderência a tração e tempo em aberto.
Fonte: autores.

Com a análise de variância (ANOVA) e o teste Tukey, observou-se que para os dois tipos de resíduo houve uma diferença significativa das composições em relação ao padrão. Para as composições com substituição por RM, verificou-se que houve diferença significativa apenas entre RM10 e RM20. Para o resíduo RP, os resultados apontam que a média da mistura de RP10 foi significativamente diferente e as misturas de RP15 e RP20 não apresentaram diferenças significativas entre si, sendo inferior às demais. Assim, percebe-se influência da inserção dos resíduos, ao passo que, com maior quantidade de resíduo incluso, menor foi a capacidade de aderência da argamassa, tanto para RM quanto para RP.

A tendência do comportamento quanto à resistência de aderência dos traços executados pode ser melhor visualizado na Figura 4.

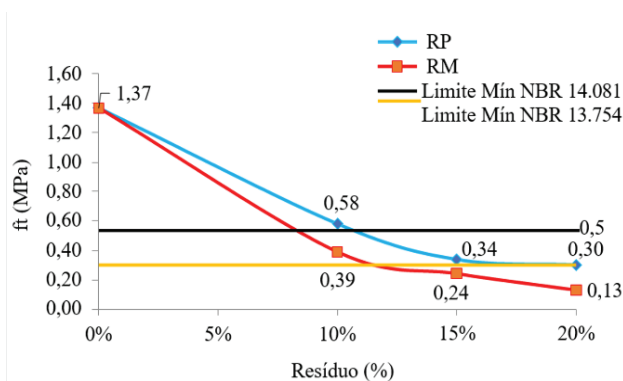


Figura 4 - Resistência de aderência a tração.
Fonte: autores.

É possível identificar que apenas as argamassas padrão e RP10 atenderam à resistência mínima requerida pela NBR 14081: 2012, que é de 0,5 MPa. No entanto, quando verificada à NBR 13754: 1996, somente as formulações RM15 e RM20 não atenderam ao valor mínimo preconizado.

Conforme já mencionado, a adição de finos na argamassa resulta no aumento da superfície específica, de maneira que requer maior quantidade de pasta (água e aglomerante) entre os grãos para manter a resistência. Segundo Rato (2006), maior superfície específica implica em um acréscimo significativo de quantidade de poros, sendo que, a maior porosidade da argamassa endurecida

traz como consequência menores resistências. Conforme Martinho (2017), a adição de resíduo leva ao aumento de superfície específica, apresentando como consequência a existência de menor quantidade de ligante disponível para garantir a aderência, ou seja, a aderência tende a reduzir com o aumento da quantidade de resíduo incorporado.

Corroborando com este resultado, apresenta-se a análise dos tipos de ruptura do ensaio de resistência de aderência à tração, ilustrado nas Figuras 5 e 6, enquanto a compilação quantitativa consta na Tabela 9.

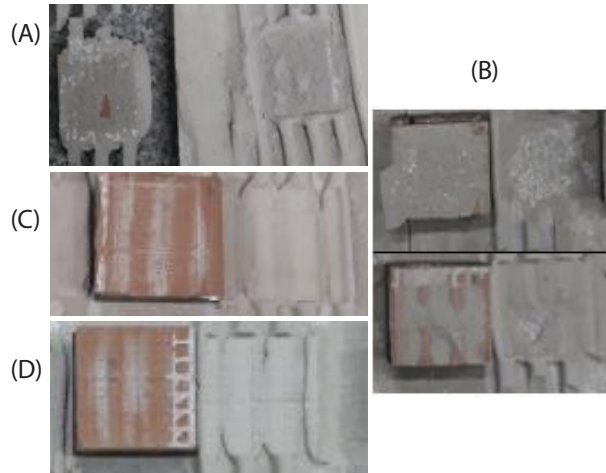


Figura 5 - Tipos de ruptura dos ensaios de aderência à tração, para resíduo RP: (a) argamassa padrão, (b) argamassa RP10 – 60% ruptura tipo A e 40% ruptura tipo A/P, (c) argamassa RP15 e (d) argamassa RP20.
Fonte: autores.

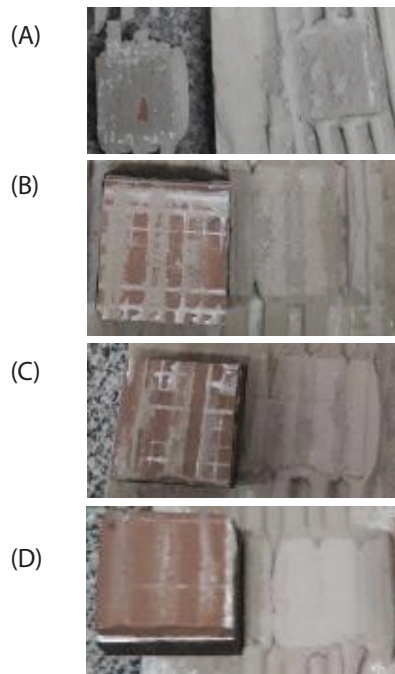


Figura 6 - Tipos de ruptura dos ensaios de aderência à tração, para resíduo RM: (a) argamassa padrão, (b) argamassa RM10, (c) argamassa RM15 e (d) argamassa RM20.
Fonte: autores.

Por meio das Figuras 5 e 6 e pelos dados apresentados na Tabela 9, nota-se que, para as argamassas colantes com maior percentual de resíduos, menor é a ancoragem da argamassa na placa cerâmica, mesmo que os cordões de argamassa tenham sido amassados.

| | Ruptura Camada Argamassa (A) | Ruptura da Interface entre Argamassa e Peça (A/P) |
|--------|------------------------------|---|
| Padrão | 100% | - |
| RM10 | - | 100% |
| RM15 | - | 100% |
| RM20 | - | 100% |
| RP10 | 60% | 40% |
| RP15 | - | 100% |
| RP20 | - | 100% |

Tabela 9 - Tipos de rupturas, ensaio de aderência a tração.
 Fonte: autores.

Segundo Francescatto (2016), a aderência mecânica nas argamassas colantes refere-se à penetração da argamassa nos poros ou entre a rugosidade do substrato, caracterizada pelo engaste entre as partículas dos materiais constituintes do sistema de revestimento. Com os tipos de ruptura resultantes dos arrancamentos efetuados, observa-se nas argamassas com 20% de substituição, a maior dificuldade de ancoragem quando comparado com a padrão.

As composições com adição de RM, que é mais fino em relação ao RP, apresentaram resultados inferiores aos obtidos com formulações de RP, reforçando a relação entre área superficial e necessidade de maior quantidade de pasta em sua composição.

No ensaio de tempo em aberto foi adotado o intervalo de tempo de 15 minutos, contado entre o espalhamento da argamassa e o início do assentamento das peças cerâmicas, conforme requisito para atendimento de tempo em aberto para argamassas do tipo ACI, conforme NBR 14081-1: 2012, os resultados seguem ilustrados no Figura 6. A propriedade de tempo em aberto das argamassas, de acordo com Póvoas (1999), refere-se a uma das propriedades mais importantes da argamassa colante, sendo que, trata-se do período de tempo após o espalhamento da argamassa sobre o substrato, em que é possível o assentamento da placa cerâmica obtendo-se a resistência de aderência adequada.

A partir dos resultados expostos na Figura 7, verifica-se a tendência à redução da resistência conforme é incorporado um maior percentual de resíduos em sua composição, tanto para RM quanto para RP. Pode-se perceber que

apenas a argamassa padrão atendeu a resistência de aderência superior ao limite normativo para os 15 minutos de tempo em aberto, enquanto todas as demais composições mostraram-se com baixo desempenho nesta característica.

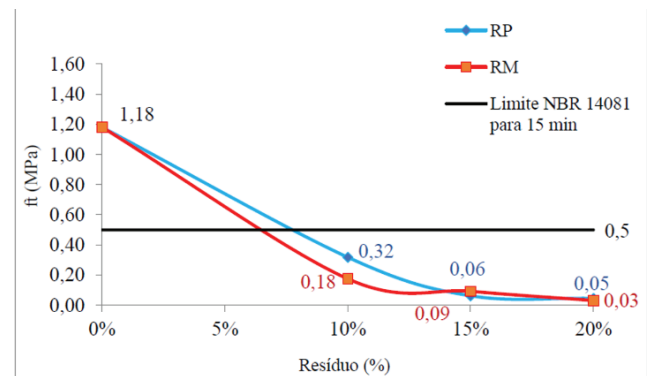


Figura 7 - Determinação do tempo em aberto.
 Fonte: autores.

Por meio da ANOVA do teste Tukey, estatisticamente percebe-se que somente a média do padrão foi significativamente superior aos outros seis traços. No caso do resíduo RM, não foi verificada variação significativa entre as misturas RM10, RM15 e RM20. Já, com relação ao resíduo RP, foi identificada variação significativa apenas entre RP10 e RP20.

Segundo Oliveira (2015), a perda de aderência das placas assentadas após o tempo em aberto está associada com a formação de uma película que interfere na adesão inicial da argamassa colante, sendo que a velocidade de formação de tal película depende, dentre outros fatores, da quantidade de água e de polímeros adicionados na argamassa colante. Neste caso, sendo a quantidade de aditivo mantida constante entre as 7 formulações, é possível notar a influência da adição de resíduo.

Os valores obtidos com o ensaio de absorção de água por capilaridade, são apresentados na Tabela 10.

| Formulação | A10 (g/cm ²) | A90 (mm) | Coefficiente de Capilaridade |
|---------------|--------------------------|----------|------------------------------|
| Padrão | 0,09 | 0,26 | 2,7 |
| RM10 | 0,11 | 0,28 | 2,7 |
| RM15 | 0,13 | 0,35 | 3,4 |
| RM20 | 0,09 | 0,22 | 2,1 |
| Desvio Padrão | 0,02 | 0,05 | 0,56 |
| RP10 | 0,11 | 0,32 | 3,1 |
| RP15 | 0,14 | 0,34 | 3,3 |
| RP20 | 0,08 | 0,23 | 2,4 |
| Desvio Padrão | 0,02 | 0,05 | 0,39 |

Tabela 10 - Ensaio de absorção de água por capilaridade.
 Fonte: autores.

Por meio da ANOVA e do Teste Tukey verifica-se nas absorções no tempo 10 minutos, que não houveram diferenças significativas entre os resultados da padrão e 20%, contudo a composição com 15% apresenta variação significativa e superior as outras, sendo este comportamento identificado tanto nas argamassas com RM quanto nas com RP.

Já para o tempo de 90 minutos, observou-se variação significativa entre as médias para composições de mesmo resíduo, sendo esta diferença influenciada pelo maior valor de absorção nas argamassas com substituições de 15%. Analisando estatisticamente as variações entre os tipos de resíduo, não ocorreram diferenças significativas entre os resultados de uma mesma composição (10, 15 ou 20%).

Por meio da Figura 8, verifica-se que o percentual de substituição de 15%, para o RM e para o RP, é o que apresenta argamassa no estado endurecido com maior absorção de água.

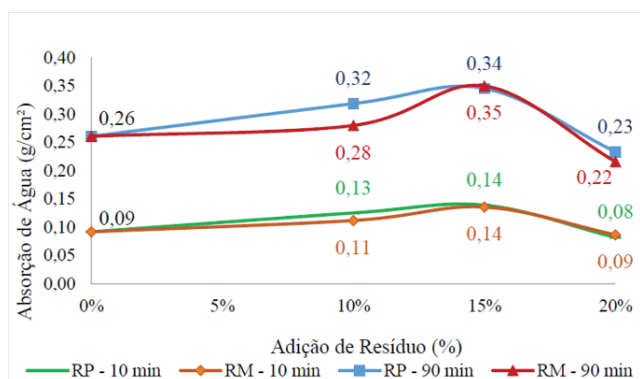


Figura 8 - Determinação do tempo em aberto.
Fonte: autores.

Segundo Rato (2006), o coeficiente de absorção de água por capilaridade depende de fatores como a quantidade de poros, a conectividade dessa rede porosa e a dimensão dos poros, sendo que, quanto menor for o tamanho dos poros, maior serão as forças capilares. Ainda, segundo o mesmo autor, o aumento da finura das areias dá origem a um aumento da porosidade aberta das argamassas, independentemente do tipo de ligante, embora areias mais finas impliquem, em argamassas endurecidas, poros de menores dimensões. Portanto, devido a tais fatores percebe-se a oscilação dos resultados de absorção de água, tanto para o tempo de 10 minutos quanto para o de 90 minutos, em função da quantidade dos resíduos incorporados.

Vale citar que os resultados obtidos por Azevedo et.al. (2017), indicaram também um conteúdo de ar incorporado crescente da argamassa quando comparado com a argamassa referência, apresentando maior disponibilidade de espaços vazios correlacionado ao fato de as partículas de

vidro serem granuladas, causando o pior arranjo entre os agregados da composição. Ainda, nos resultados verificados por Buyuksagis (2017), observou-se o aumento da absorção de água conforme o maior teor de resíduo substituído, resultando no aumento na porosidade.

4. CONCLUSÕES

Com o presente estudo, foi possível observar as alterações provocadas pela adição dos resíduos na composição de argamassas colantes, tanto no estado fresco quanto no endurecido.

Em relação ao estado fresco das misturas realizadas, percebeu-se que, conforme o aumento do percentual de substituição do agregado, menos fluída a argamassa de torna, o que indica uma possível insuficiência de pasta de (aglomerante hidráulico). Com a redução dos tamanhos das partículas de agregado, mantendo a mesma relação água/material seco, por ter uma fração de finos maior, a área superficial do sistema aumenta, e assim exige uma maior quantidade de água para a mistura.

Estas informações se correlacionam com os resultados de índice de consistência, no qual se observa um decréscimo resultante da adição dos resíduos, tanto do tipo RM quanto do RP. A retenção de água das argamassas avaliadas não sofreu grandes variações, sendo todas consideradas com alta retenção conforme a NBR 13281: 2001.

Para os ensaios endurecidos da argamassa, percebe-se que ocorre a redução das propriedades de resistência de aderência à tração e de tempo em aberto, também influenciadas pelo fato da carência de água nas composições com maior teor de finos, de modo que se torna necessário uma correção da relação água/material anidro ou inclusão de aditivos conforme o implemento de resíduos finos.

Com os resultados obtidos para os ensaios de aderência à tração e tempo em aberto, foi possível adotar uma linha de tendência polinomial e estimar um percentual de resíduo a ser substituído na argamassa, sem que a mesma deixe de atender aos quesitos normativos necessários, sendo este valor em torno de 6% de resíduo. Observou-se, também, o aumento na absorção por capilaridade para as argamassas com 15% de RM e RP, indicando o aumento na porosidade da argamassa (rede porosa) com a adição de finos, no entanto, com os percentuais de 20% se observou a redução da permeabilidade, podendo estar associado à poros isolados na argamassa.

Em relação às duas tipologias de resíduos avaliadas, percebeu-se que, devido à ambos serem mais finos em comparação com a areia utilizada, apresentam comportamentos semelhantes, com as mesmas tendências.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento a empresa cerâmica parceira e também, a empresa de argamassa colante que indicou as possibilidades para o traço utilizado.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A.E.F.S.; SICHIERI, E.P. Experimental study on polymer-modified mortars with silica fume applied to fix porcelain tile. *Building and Environment* (Vol. 42). São Paulo, p. 2645-2650. 07 Set. 2006.

ANFACER. Setor Cerâmico. Disponível em: <<https://www.anfacer.org.br/brasil>>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653: Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14081-1: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica - Especificações. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14081-2: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica - Execução do substrato padrão e aplicação de argamassa para ensaios-. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14081-3: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica - Determinação do tempo em aberto. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14081-4: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13817: Placas cerâmicas para revestimento: classificação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15463: Placas cerâmicas para revestimento - Porcelanato. 2. ed. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818: Placas cerâmicas para revestimento - especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR

NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13753: Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13754: Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13755: Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Requisitos. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

AZEVEDO, A. R. G.; ALEZANDRE, J.; ZANELATO, E. B.; MARVILA, M. T. Influence of incorporation of glass waste on the rheological properties of adhesive mortar. *Construction and Building Materials*. Campos dos Goytacazes, Brasil, p 360. 15 Maio. 2017.

BIFFI, G. O Grês Porcelanato: manual de fabricação e técnicas de emprego. Faenza Editrice do Brasil Ltda, São Paulo, p. 262, 2002.

BOSCHI, A. O. Uma Análise Crítica do Setor de Revestimentos Cerâmicos. *Cerâmica Industrial*. São Carlos, p. 08, Abril, 2002.

BRITO, J. F. Brito (2009), Produção de Gres Porcelanato a partir Matérias-primas do Estado da Bahia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Salvador, p. 18. Outubro. 2009.

BUYUKSAGIS, I. S.; UYGUNOGLU, T.; TATAR, E. Investigation on the usage of waste marble powder in cement-based adhesive mortar. *Construction and Building Materials*. Turkey, p. 02-03-04. 17 Agosto. 2017.

CARASEK, H. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais*. São Paulo: Arte Interativa, 2007.

COSTA, I. Estudo Comparativo Entre as Argamassas de Revestimento Externo: Preparada em Obra, Industrializada Fornecida em Sacos, e Estabilizada Dosada em Central. *Centro De Ciências Exatas E Tecnológicas*. Lajeado, 2016.

FRANCESCATTO, T. R. Análise da Resistência de Aderência de Placas Cerâmicas em Chapas de Gesso Acartonado. *Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão*, 2016.

GRIPP, R. A. A Importância do Projeto de Revestimento de Fachada para a Redução de Patologias. 2008. 80 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2008.

MARTINHO, P.A.G. Análise do comportamento de argamassas com a incorporação de “pellets” de madeira. *Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa*. Lisboa, p. 57. Maio, 2017.

MODOLO, R.C.E.; SILVA, T.; SENFF, L.; TARELHO, L.A.C.; LABRINCHA, J.A.; FERREIRA, V.M.; SILVA, L. Bottom ash from biomass combustion in BFB and its use in adhesive mortars. *Fuel Processing Technology*, Vol. 129. Aveiro, Portugal, p. 192–202. Jan. 2015.

OLIVEIRA, M. J. D. Avaliação do Tempo de Consolidação de Argamassas Colantes Através de Métodos Reológicos. *Universidade Federal de Santa Maria*. Santa Maria, p. 19 – 26. Agosto, 2015.

PETIT, J-Y.; COMELLI, B.; PERRIN, R.; WIRQUIN, E. Effect of formulation parameters on adhesive properties of ANSI 118-15 and 118-11 compliant tile adhesive mortars. *International Journal of Adhesion & Adhesives*. France, p. 01-02. 19 Dez. 2015.

PILEGGI, R. G. Efeito da distribuição granulométrica sobre o comportamento reológico de concretos refratário. *Dissertação de Mestrado*. Universidade de São Carlos. São Carlos, 1996.

PÓVOAS, Y.V. Tempo em aberto da argamassa colante: método de medida e influência dos aditivos HEC e resina PVAc. São Paulo, 1999. p.154. *Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo*.

RATO, V. N. P. M. Influência da Microestrutura Morfológica no Comportamento de Argamassas. *Universidade Nova de Lisboa*, p. 48-50. 2006.

SANCHEZ, E. et al. Efeito da composição das matérias-primas empregadas na fabricação de grês porcelanato sobre as fases formadas durante a queima e as propriedades do produto final. *Revista Cerâmica Industrial*, p. 15. Out. 2001.

SILVA, D. A. Efeitos dos Polímeros HEC e EVA na Microestrutura de Pastas de Cimento Portland. *Universidade Federal de Santa Catarina*, p. 46-50. Julho. 2001.

AUTORES

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7812-0753>

RENATA PEREIRA SARTOR | UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE | Curso Engenharia Civil | Criciúma, Santa Catarina, Brasil | Correspondência para: Av. Universitária, 1105 - Bairro Universitário CEP: 88806-000 - Criciúma-SC | e-mail: renata.sartor@unesc.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5785-5913>

JAISON ARAÚJO SPECK | UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE | Curso Engenharia Civil | Criciúma, Santa Catarina, Brasil | Correspondência para: Av. Universitária, 1105 - Bairro Universitário CEP: 88806-000 - Criciúma-SC | e-mail: jspeck@casan.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6114-8725>

ALINE EYNG SAVI, Dra. | UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE | Curso Engenharia Civil | Criciúma, Santa Catarina, Brasil | Correspondência para: Av. Universitária, 1105 - Bairro Universitário CEP: 88806-000 - Criciúma-SC | e-mail: arquiteta.alinesavi@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1753-4944>

JORGE HENRIQUE PIVA, Msc. | UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE | Curso Engenharia Civil | Criciúma, Santa Catarina, Brasil | Correspondência para: Av. Universitária, 1105 - Bairro Universitário CEP: 88806-000 - Criciúma-SC | e-mail: jhpiva@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9698-1100>

ELAINE GUGLIELMI PAVEI ANTUNES, Dra. | UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE | Curso Engenharia Civil | Criciúma, Santa Catarina, Brasil | Correspondência para: Av. Universitária, 1105 - Bairro Universitário CEP: 88806-000 - Criciúma-SC | email: elainegpa@gmail.com

COMO CITAR ESTE ARTIGO

SARTOR, Renata Pereira; SPECK, Jaison Araújo; SAVI, Aline Eyng; PIVA, Jorge Henrique; ANTUNES, Elaine Guglielmi Pavei. Estudo Da Influência Da Aplicação De Pó Residual Do Processo De Retífica À Seco De Placas Cerâmicas Em Argamassas Colantes Industrializadas. **MIX Sustentável, [S.l.], v. 7, n. 3, p.29-40, ago. 2021.** ISSN 24473073. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel>>. Acesso em: dia mês. ano. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n3.29-40>.

DATA DE ENVIO: 04/11/2020

DATA DE ACEITE: 01/04/2021