

Estudo da viabilidade da utilização de resíduos de polimento e retificação de cerâmica para fabricação de argamassa

Feasibility study of the use of ceramic polishing and grinding residues for mortar manufacturing

Lucas da Silva Barboza¹ Vilsyane Martins Batista²,
Kesiane Viana Neves², Ramon Sousa Santos²

¹ Professor Doutor do Centro Universitário Adventista de São Paulo -UNASP, CP. 11, CEP: 13448-900, Engenheiro Coelho, SP, Brasil.

² Bacharel em Engenharia Civil do UNASP, CP 11, CEP: 13448-900, Engenheiro Coelho, SP, Brasil.
e-mail: lucas.barboza@unasp.edu.br, vilsyane.martins@outlook.com, kesiane.viana@hotmail.com, mrsantosramon@gmail.com

RESUMO

O setor da construção civil é responsável por consumir grande parte dos recursos naturais existentes. Neste contexto, a necessidade de estudos relativos à viabilização do uso de materiais alternativos na produção de adições de compósitos cimentícios tornam-se relevantes. A crescente e intensa taxa de geração de resíduos de elementos e processos ligados à construção civil aos longos dos anos justifica esta pesquisa. O uso destes finos em adição e/ou substituição ao cimento no preparo de argamassas e concretos, tem sido considerado uma alternativa viável, no que diz respeito aos benefícios ambientais, econômicos, ganho de propriedades mecânicas e aumento de durabilidade. Portanto, este estudo busca a valorização dos resíduos da indústria cerâmica, através da produção de argamassas com substituições parciais de 10 e 20% do cimento por Resíduo de Polidora (RP) e Resíduo de Polidora e Retífica (RPR) para dois tipos de cimento, CP II F 32 e CPV ARI, respectivamente. O efeito da substituição para cada tipo de cimento pelo RP e RPR, a influência do tipo de resíduo e a porcentagem de substituição foram analisadas para as propriedades frescas e endurecidas das argamassas. As argamassas produzidas com RP e RPR apresentaram menor fluidez, necessitando da utilização de aditivo quando comparada com as preparadas somente com cimento. A resistência à compressão das argamassas, respectivamente, obtidas com resíduos de RP e RPR, apresentaram comportamento superior e/ou igual a argamassa de referência. Os resultados superiores obtidos nas propriedades mecânicas das argamassas produzidas com RP e RPR estão relacionados natureza pozolânica do resíduo, a interface da pasta e areia na mistura.

Palavras-chave: Resíduo cerâmico; Argamassa; Resistência à compressão; CPV ARI; CP II F 32.

ABSTRACT

The civil construction sector is responsible for consuming a large part of the existing natural resources. In this context, the need for studies regarding the feasibility of using alternative materials in the production of cementitious composite additions becomes relevant. The growing and intense rate of waste generation of elements and processes linked to civil construction over the years justifies this research. The use of these fines in addition and / or substitution to cement in the preparation of mortars and concretes, has been considered a viable alternative, with regard to environmental, economic benefits, gain of mechanical properties and increased durability. Therefore, this study seeks the valorization of the residues of the ceramic industry, through the production of mortars with partial substitutions of 10 and 20% of cement by Polishing Residue (RP) and Polishing and Grinder Residue (RPR) for two types of cement, CP II F 32 and CPV ARI, respectively. The effect of substituting for each type of cement with RP and RPR, the influence of the type of residue and the percentage of substitution were analyzed for the fresh and hardened properties of mortars. Mor-

tars produced with RP and RPR showed less fluidity, requiring the use of additives when compared to those prepared only with cement. The compressive strength of mortars, respectively, obtained with residues of RP and RPR, presented a behavior superior and / or equal to the reference mortar. The superior results obtained in the mechanical properties of mortars produced with RP and RPR are related to the pozzolanic nature of the residue, the interface of the paste and sand in the mixture.

Keywords: Ceramic waste; Mortar; Compressive strength; CPV ARI; CP II F 32.

1. INTRODUÇÃO

O processo produtivo em qualquer âmbito industrial gera uma grande quantidade de resíduos, tanto na produção de bens duráveis como não duráveis. Na indústria da cerâmica, a quantidade de resíduos nos diferentes estágios de produção atinge cerca de 3 a 7% de sua produção global, o que representa milhões de toneladas de argila calcinada por ano [1]. Com as crescentes restrições em aterros sanitários e aumento do custo de deposição, as indústrias terão que encontrar maneiras de reutilização de seus resíduos [2].

A indústria da construção civil como usuário final de quase toda cerâmica produzida, está bem posicionada para resolver este impasse ambiental que é parcialmente seu. Sabe-se que a maior parte desses recursos não são renováveis e as matérias primas já estão se esgotando [3]. Diante dessa situação, cria-se a necessidade de estudos para a utilização de meios alternativos para minimizar os impactos ambientais causados pela mesma.

De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica - ANFACER [4], o Brasil é um país de destaque no mercado mundial como produtor de revestimentos cerâmicos, ocupando a terceira posição em produção e consumo. Segundo a ANFACER [4], as vendas totais no mercado brasileiro, em 2018, atingiram 694,5 milhões de metros quadrados.

Nota-se, com o aumento da produção de revestimentos cerâmicos, conseqüentemente, cresce o número de resíduos produzidos. Segundo PAIXÃO *et al.* [5] o processo produtivo de revestimentos cerâmicos gera uma quantidade significativa de resíduos. Segundo este mesmo autor, o volume de material descartado representa, em média, 3% de toda a produção nacional de revestimentos cerâmicos.

Este fato agrava quando os descartes destes resíduos ocorrem de forma descontrolada, ocupando grandes áreas, tornando-as ociosas. ÂNGULO, ZORDAN e JOHN [6] ainda complementam que muitas vezes as soluções encontradas pelas empresas, quanto ao descarte de tais resíduos, se dão em aterros sanitários e lixões, contribuindo com a poluição, aumento de entulhos e desperdício de matéria prima. DOREROGLU e KARA [7] e TIKUL e SRICHANDR [8] afirmaram que os resíduos de cerâmicas trazem sérios problemas ambientais e ocupam uma grande área de aterro. Segundo MODESTO *et al.* [9] esta área é correspondente a 80 km² anualmente.

CAVALCANTE, FERREIRA e YADAVA [10] apontaram que além da geração de entulho, o descarte industrial inapropriado intensifica o problema de contaminação e degradação do meio ambiente devido à natureza dos resíduos, em especial os resíduos sólidos.

MEDEIROS [11] afirmou que o descarte incorreto destes resíduos pode ser nocivo ao meio ambiente, uma vez que a maior parte dos constituintes são solúveis em água representando grande periculosidade à saúde humana, como é o caso do chumbo, cádmio e outros metais pesados.

Diante deste cenário a indústria cerâmica, especificamente o setor industrial de pisos e revestimentos cerâmicos, tem feito ao longo dos últimos anos, uma série de investimentos com o objetivo de otimizar o processo de fabricação, melhorar a qualidade do produto final e destinar de maneira correta os resíduos produzidos, baseando-se na filosofia de reciclagem e utilização máxima de rejeitos [9].

Dentre as formas de resíduos cerâmicos tem-se o pó de polimento e retífica, que são produzidos durante a fabricação de pisos cerâmicos e porcelanatos. Geralmente, elimina-se uma camada superficial de 0,5 - 0,7 mm de espessura, podendo atingir a marca de 1 - 2 mm quando ocorre uma grande deformação do elemento durante o processo fabril [12]. Segundo WANG [13] e LI *et al.* [14] a produção do pó de polimento e retífica são equivalentes a 1,9 - 2,1 kg por metro quadrado de pisos cerâmicos e/ou porcelanatos fabricados, de modo que o volume de resíduo seja incrivelmente alto.

A etapa de polimento tem como objetivo nivelar, remover imperfeições, além de dar brilho à peça. Sendo executada por meio de máquinas automatizadas com sistema de refrigeração com água. Originando assim, uma suspensão aquosa composta pela mistura de restos de porcelanato e material abrasivo, denominado Resíduo de Polidora (RP) [15]. Já a retificação, refere-se à fase de remoção do excesso de rebarba do piso cerâmico, o qual é misturado ao Resíduo de Polidora (RP), gerando assim o Resíduo de Polidora e Retificação (RPR).

Dentro das possibilidades de atribuir um fim útil para tais resíduos, PACHECO-TORGAL e JALLALI [2] afirmaram que pelo tamanho da partícula, componentes e atividades químicas, estes resíduos podem ser utilizados como um material complementar de cimentação na produção de argamassas e concretos.

Dada a natureza da indústria da construção civil, especialmente a indústria de concreto e argamassa, é possível que resíduos de cerâmicas possam ser usados com segurança, sem a necessidade de mudanças drásticas nos processos de produção e aplicação [16]. BINICI [17] ainda complementou que o custo de deposição em aterros será reduzido, matérias primas e recursos naturais serão substituídos, economizando energia e contribuindo para a proteção do meio ambiente.

PAIXÃO *et al.* [5] ainda complementaram que o uso dos resíduos fabris de pisos cerâmicos em argamassas na indústria da construção civil, pode ser uma alternativa eficiente para reduzir o volume disposto no meio ambiente e contribuir para a redução do consumo de cimento.

Para BARBOZA e ALMEIDA FILHO [18] o caminho para a indústria da construção civil se tornar mais sustentável é a utilização de resíduos de outras indústrias como materiais alternativos na substituição de cimento.

De acordo com FELIX e POSSAN [19], a nível de América Latina, o Brasil é considerado um dos países que mais produzem e consomem cimento, chegando a uma produção de 68 milhões de toneladas nos últimos anos. Paralelamente a essa produção são emitidos na atmosfera toneladas de CO₂, uma vez que para a fabricação de uma tonelada de clínquer, mundialmente são gerados de 700 a 1100 kg de CO₂ [20].

Portanto, a substituição do cimento em concretos e argamassas por resíduos de cerâmicas, representa uma metodologia efetiva, contribuindo com a redução de emissão de CO₂, redução de energia durante o processo de fabricação e benefícios ambientais. Além disso, tem um efeito significativo na redução de custos de concretos e argamassas, uma vez que o custo de cimento pode representar cerca de 45% do valor da mistura [21].

Na estratégia de substituição de cimento, os resíduos de cerâmica são adicionados como substituição parcial dos elementos cimentícios [14]. VEJMELOVÁ *et al.* [22] constataram que a resistência à compressão de misturas contendo até 40% de resíduos cerâmicos moídos como substituto do cimento atingiram marcas próximas as misturas sem a presença de resíduos. CHENG *et al.* [23] ainda comprovaram que utilizando resíduos de polimento cerâmico como substituição parcial do cimento aumentou a resistência à compressão das argamassas e contribuíram para maior durabilidade frente à carbonatação.

GONZALEZ-COROMINAS e ETXEBERRIA [24] revelaram que a utilização de 30% de resíduos de polimentos cerâmicos em misturas de concreto alcançou valores semelhantes e/ou melhores que o concreto de referência.

STEINER, BERNARDIN e PELLISSER [25] ainda complementaram que a substituição do cimento por resíduos de polimento de peças cerâmicas até 25%, não interferem de maneira negativa sobre a resistência à compressão das argamassas. Em contrapartida, MAS *et al.* [26] demonstraram que dependendo do teor de resíduos de polimento de peças cerâmicas como substituição parcial do cimento, pode comprometer as propriedades mecânicas da argamassa, desde que esta substituição não exceda a 35%. Neste contexto, LI *et al.* [27] verificaram que dependendo da finura do resíduo sólido utilizado como substituição parcial do cimento pode gerar interferência nas propriedades mecânicas das misturas. Desta maneira, materiais mais finos reduzem efetivamente o teor de cimento, aumentam a resistência e durabilidade de concretos e argamassas [28].

Ainda LAVAT, TREZZA e POGGI [16], PUERTAS *et al.* [21] e NACERI e HAMINA [29] confirmaram que os resíduos de polimento e retífica apresentam reatividades pozolânicas.

Consequentemente, o objetivo deste trabalho é avaliar a possibilidade da aplicação de resíduos cerâmicos como substituição parcial dos cimentos CP-II-F-32 e CPV-ARI, e sua influência no estado fresco e na resistência à compressão da argamassa de revestimento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente trabalho verificaram-se as características físicas dos materiais utilizados na produção das argamassas. Além disso, analisou-se por meio de ensaios as propriedades das argamassas no estado fresco e no estado endurecido, sendo elas: o índice de consistência e a resistência à compressão axial. É apresentado na Figura 1 o fluxograma de ações para o cumprimento das etapas desta pesquisa.

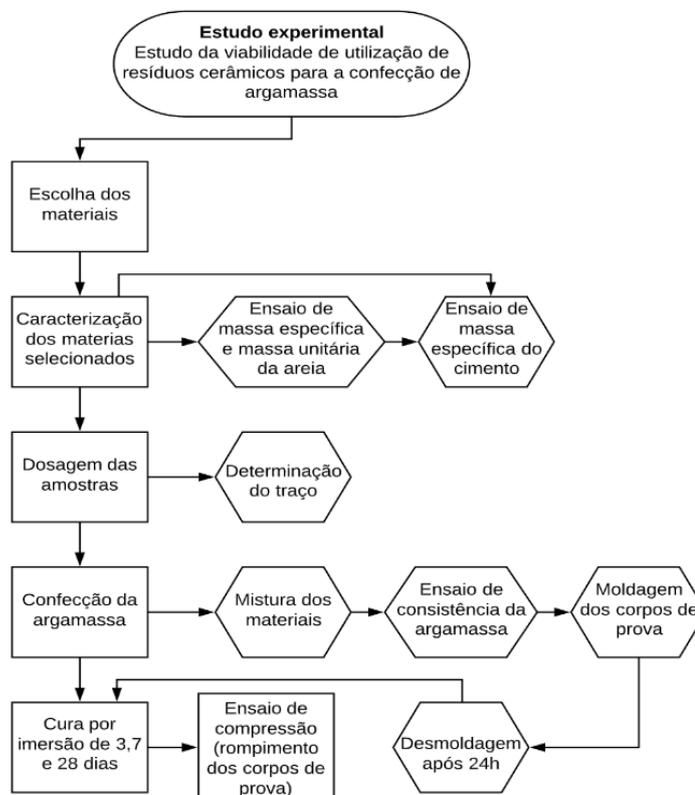


Figura 1: Fluxograma do estudo experimental (Autores, 2020).

2.1 Materiais utilizados

Os tipos de cimentos Portland utilizados para elaboração das argamassas foram o CPII F 32 e o CPV ARI, no qual apresentaram de acordo com a ABNT NBR 16605:2017 [30], massa específica de 3,00 kg/dm³ e 3,02 kg/dm³, respectivamente. Justifica-se a escolha do tipo do cimento pela facilidade de obtenção dos materiais na região de elaboração do estudo, região metropolitana de Campinas - SP.

A areia é de origem quartzosa, oriunda de cavas de rio, proveniente da região metropolitana de Campinas - SP, mais precisamente do município de Engenheiro Coelho - SP. De acordo com a ABNT NBR NM 248:2003 [31] apresenta Dimensão Máxima Característica (DMC) de 4,8 mm, módulo de finura de 2,52 e é classificada como areia média. De acordo com as ABNT NBR NM 45:2006 [32] e ABNT NBR NM 52:2009 [33] apresentou massa unitária em estado solto de 1,46 kg/dm³ e massa específica de 2,40 kg/dm³, respectivamente.

Como aditivo optou-se pelo ADVATM Cast 525, classificado como superplastificante, forma líquida, coloração laranja e densidade média de 1,06 g/cm³.

Os resíduos cerâmicos utilizados neste estudo são oriundos da cidade de Santa Gertrudes – SP. O processo de fabricação do Resíduo de Polidora (RP) e Resíduo de Polidora e Retificação (RPR) dão-se por meio da retificação dos pisos cerâmicos e afins, na estação de tratamentos do setor de polimento e retífica. É possível verificar na Figura 2 os resíduos utilizados.



Figura 2: Resíduos cerâmicos utilizados nas argamassas – RP: Resíduo de Polidora e RPR: Resíduo de Polidora e Retificação (Autores, 2020).

2.2 Dosagens das argamassas

Depois de realizada a caracterização dos materiais foram determinadas as dosagens das argamassas, apresentadas na Tabela 1. Sendo duas argamassas de referência sem a presença dos resíduos, uma para o cimento CPV ARI e a outra para o CII F 32. Posteriormente, substituiu-se 10% do cimento, para cada tipo de cimento, pelos resíduos RP e RPR, respectivamente. E por fim, substituiu-se 20% do cimento por resíduos para cada tipo de aglomerante. Portanto, um total de 10 misturas foram determinadas para verificação da influência da substituição do cimento por resíduos cerâmicos no estado fresco e endurecido em argamassas. As nomenclaturas utilizadas para as dosagens apresentam inicialmente o tipo de cimento por meio de siglas CPV (CPV ARI) ou CP II (CII F 32), em seguida a porcentagem e tipo de resíduo empregado.

É importante mencionar que para a substituição do RP por RPR, se fez necessário a compensação em massa devido as diferentes massas específicas dos materiais, mantendo assim a constância do volume da pasta de aglomerante.

Tabela 1: Dosagens das argamassas desenvolvidas.

MATERIAIS	CONSUMO DE MATERIAIS (KG/M³)					
	CIMENTO	RP	RPR	AREIA	ÁGUA	ADITIVO
CP V REF	485,61	-	-	1456,83	233,09	-
CP II REF	485,02	-	-	1455,06	232,81	-
CP V 10 RP	437,05	48,56	-	1456,83	233,09	5,73
CP V 10 RPR	437,05	-	55,64	1455,06	232,81	5,73
CP II 10 RP	436,52	48,51	-	1456,83	233,09	5,73
CP II 10 RPR	436,52	-	55,58	1455,06	232,81	5,73
CP V 20 RP	388,49	97,12	-	1456,83	233,09	6,29
CP V 20 RPR	388,49	-	111,28	1455,06	232,81	6,29
CP II 20 RP	388,02	97,00	-	1456,83	233,09	6,29
CP II 20 RPR	388,02	-	111,15	1455,06	232,81	6,29

Fonte: Autores, 2020.

O processo de mistura baseou-se nas diretrizes apresentadas pela ABNT NBR 7215:2019 [34]. A argamassadeira utilizada para a mistura apresenta capacidade de 5 litros com duas velocidades, baixa e alta. Após a moldagem, as amostras cilíndricas foram identificadas segundo o tipo de cimento, a porcentagem e tipo de resíduo.

Ressalta-se que neste estudo experimental a porcentagem de substituição dos resíduos de 10% e 20% e a relação água/cimento igual a 0,48 foram fixados. Portanto, a quantidade de água, fator este que influencia significativamente na consistência da argamassa, não sofreu variação. Assim, a consistência das misturas foi alcançada pela incorporação do aditivo durante o processo de mistura de maneira controlada.

2.3 Ensaio no estado fresco – ensaio de consistência

A verificação do índice de consistência da argamassa foi realizada baseada nos parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 13276:2016 [35].

Os procedimentos executados conforme esta norma, permite avaliar a consistência da argamassa moldada em um tronco-cônico, em função do diâmetro de abertura após a aplicação de 30 quedas na mesa de espalhamento. No estudo em questão, foi considerado como ideal um diâmetro de abertura de $250 \text{ mm} \pm 10$ para a produção de todas as dosagens das argamassas. Na Figura 3 podem ser observados os passos do ensaio, que incluem: moldagem da amostra, aplicação de quedas na mesa e espalhamento.



Figura 3: Ensaio do índice de consistência – a) Mesa *Flow Test*, b) Verificação do espalhamento e c) amostra deformada após aplicação das quedas (Autores, 2020).

2.4 Ensaio no estado endurecido – ensaio de resistência à compressão

O processo de moldagem e cura dos corpos de prova foram realizados de acordo com a ABNT NBR 7215:2019 [34]. Para cada dosagem foram moldados 12 corpos de provas cilíndricos com dimensões de $5 \times 10 \text{ cm}$, para verificação da resistência à compressão axial. Com o intuito da verificação da influência do tipo de resíduo, porcentagem de substituição e a influência do tipo de cimento nas idades de 3, 7 e 28 dias, foram moldados 4 corpos de prova para cada idade analisada, totalizando 120 amostras.

Na Figura 4 é possível observar os corpos de prova moldados e a aparência das amostras após a desmoldagem. Para a verificação da resistência à compressão axial foi utilizada a prensa Servo-hidráulica Universal – Classe I e velocidade de incremento de carga de $0,3 \text{ MPa/s}$.



Figura 4: Amostras de argamassa – a) Moldagem dos corpos de prova e b) Aparência final dos corpos de prova (Autores, 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados e análises de todo o estudo experimental, idealizado em argamassas com substituição parcial do cimento por resíduos cerâmicos RP e RPR, respectivamente.

3.1 Análise da composição física e química dos resíduos

Na Tabela 2 são apresentados os valores correspondentes as propriedades físicas dos resíduos RP e RPR.

Tabela 2: Características e propriedades físicas dos resíduos RP e RPR.

PROPRIEDADE	RP	RPR
Massa específica (kg/dm ³)	1,44	1,65
Temperatura de fabricação (°C)	1060	1150
Resíduo na malha #270	0,80	0,50

Fonte: Autores, 2020.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos por meio da análise do espectro de fluorescência de raio-x para as amostras dos resíduos RP e RPR, respectivamente.

Tabela 3: Composição química dos resíduos RP e RPR.

ÓXIDOS	RESULTADOS (RP)	RESULTADOS (RPR)
SiO ₂	64,85%	69,27%
Al ₂ O ₃	10,40%	17,90%
Fe ₂ O ₃	0,45%	2,26%
TiO ₂	0,30%	0,93%
CaO	9,97%	2,61%
MgO	1,95%	1,91%
Na ₂ O	2,00%	0,93%
K ₂ O	2,30%	2,91%
MnO	-	0,03%
P ₂ O ₅	0,14%	0,08%
BaO	0,90%	-
ZnO	3,01%	-
SrO	0,61%	-
Perda ao Fogo (P.F)	3,13%	0,34%

Fonte: Autores, 2020.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 3, pode-se constatar que a quantidade de Sílica (SiO₂) e Alumina (Al₂O₃) predominam a composição dos dois resíduos utilizados. A quantidade elevada destes compostos é relativa à proporção do mineral argiloso utilizado na fabricação dos pisos cerâmicos. Segundo SILVA *et al.* [36] e LI *et al.* [37], em geral os resíduos de RP e RPR apresentam um comportamento não plástico, tal como a grande maioria dos materiais cerâmicos tradicionais e seus constituintes químicos majoritários, expressos na forma de óxidos como a sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃), óxido de cálcio (CaO) e os óxidos alcalinos (Na₂O, K₂O).

Verifica-se também que o teor de Fe₂O₃ no resíduo RPR é maior quando comparado ao RP, o que pode ser confirmado pela coloração avermelhada do resíduo utilizado (Figura 2).

Na Tabela 3, observa-se o elevado teor de perda ao fogo (P.F) para o resíduo RP, o que significa que este material possui grande quantidade de hidróxidos, como o Al(OH)₃ e Fe(OH)₃ e componentes voláteis de matéria orgânica, sulfatos e carbonatos.

Neste contexto, pode-se afirmar que os resíduos RP e RPR apresentam como produtos predominantes a sílica e alumina, com percentuais de participação de 64,85% e 10,80% para o RP e 69,27% e 17,90% para o RPR, respectivamente. Este resultado constata, conforme a ABNT NBR 12653:2014 [38], que os resíduos empregados são materiais pozolânicos, pois a soma de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ é superior a 70%, sendo 75,70%

para o RP e 89,43% para o RPR.

3.2 Dosagens das argamassas

O teor de cimento para cada mistura de argamassa é apresentado na segunda coluna da Tabela 1 e plotados em relação a substituição dos resíduos na Figura 5. Os resultados comprovaram que, como já esperado, o teor de cimento era menor quando se aumentava o consumo de resíduos. Nota-se também na Figura 5 que, ambos cimentos, CPV ARI e CPII F, respectivamente, apresentaram consumos bem próximos. Ressalta-se que a variação do consumo de cimento obtida entre os tipos de aglomerantes, se deu pela diferença obtida na massa específica de cada material, no qual esta característica física é considerada no processo do cálculo de dosagem das misturas.

Os consumos necessários de superplastificante para atingir o fluxo ideal de espalhamento para as diferentes argamassas não eram os mesmos. Nesse sentido, os resultados podem ser verificados na última coluna da Tabela 1 e correlacionados na Figura 5. Verifica-se que, conforme ocorre a redução do consumo de cimento, consequentemente, aumenta-se o consumo de resíduos e de superplastificante.

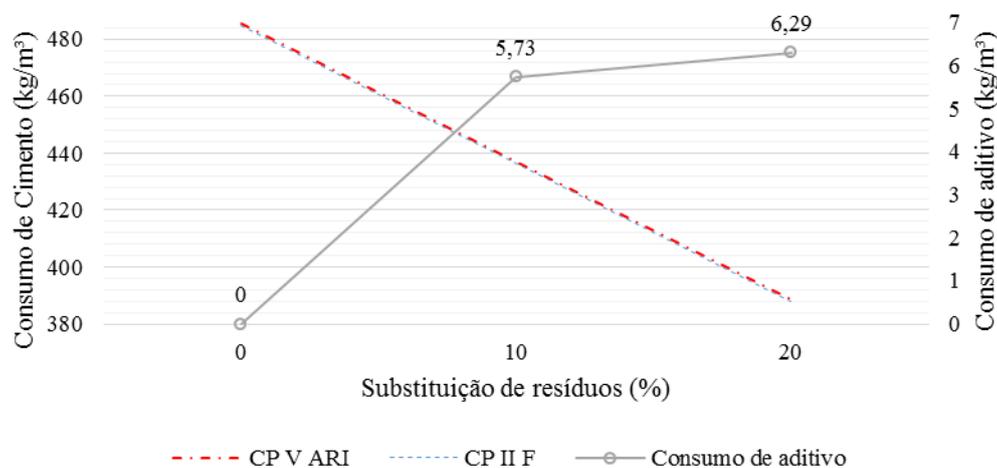


Figura 5: Relação do consumo de cimento e aditivo (kg/m^3) pela substituição de resíduos (%) (Autores, 2020).

Concluiu-se ainda que a substituição parcial do cimento pelos resíduos (RP e RPR) exigia um consumo de água maior. Tal fato está relacionado ao aumento da superfície específica dos resíduos empregados, pois o RP e RPR são mais finos e menos densos que os cimentos substituídos. No entanto, GUERRA *et al.* [39] afirmaram que o uso de aditivo em argamassas pode contribuir para a melhoria da trabalhabilidade e da fluidez. Para tanto, utilizou-se teores de 1,31% de aditivo para argamassas com 10% de resíduo e 1,62% para 20% de resíduos, equivalentes aos consumos de $5,73 \text{ kg}/\text{m}^3$ e $6,29 \text{ kg}/\text{m}^3$, respectivamente.

3.3 Ensaio no estado fresco – ensaio de consistência

É apresentado na Figura 6 os resultados médios dos índices de consistência, obtidos em todos os ensaios realizados com as argamassas. Os valores apresentados permitem a verificação da variação percentual desses índices para todas as dosagens formuladas.

Mediante os valores apresentados na Figura 6, nota-se que ocorreu uma diminuição significativa do índice de consistência das argamassas produzidas com CPVARI, independentemente do tipo de resíduo. Justifica-se tal comportamento pelo módulo de finura do cimento CPVARI ser maior que o CP II, além de se tratar de um material 20% mais fino que os outros tipos de cimentos. E assim, exigindo-se um volume de água e/ou aditivo maior para obtenção da consistência ideal [40].

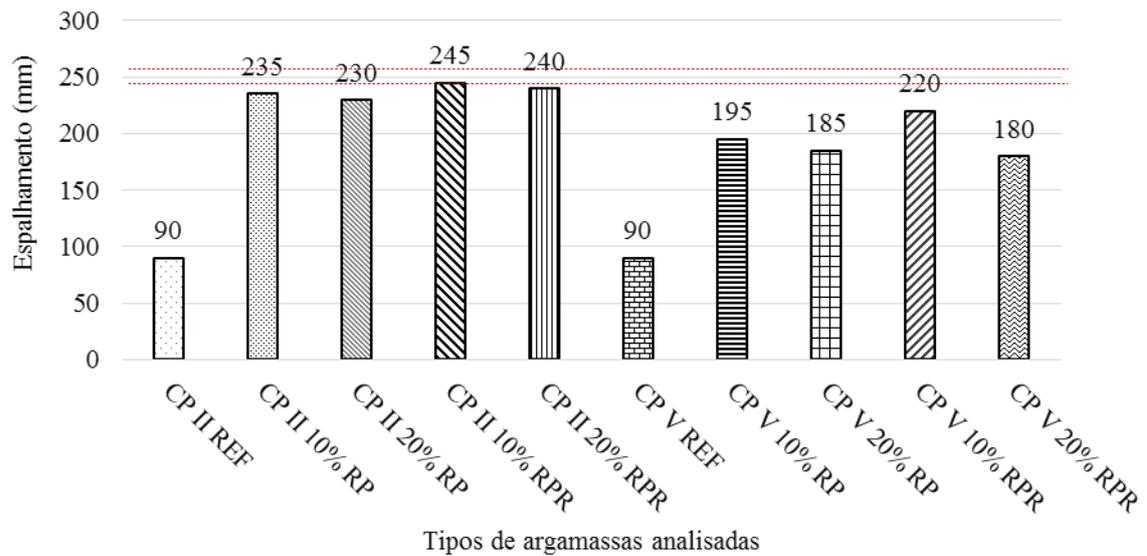


Figura 6: Resultado do espalhamento das argamassas ensaiadas (Autores, 2020).

Observou-se ainda que, à medida que aumentava-se o teor de substituição do cimento pelo resíduo, tanto para o RP como para o RPR, aumentava-se a necessidade de água para obtenção do índice de consistência adequado, o que pode justificar a redução do diâmetro de espalhamento para as argamassas com 20% de substituição quando comparadas as com 10% de resíduo.

MOHAMMADHOSSEINI *et al.* [41] afirmaram que a adição de partículas mais finas, como o RP e RPR, nas argamassas geralmente densifica a matriz preenchendo os vazios e reduzindo a porosidade, devido a menor massa específica apresentada pelos resíduos em relação a massa específica do cimento. Assim, o volume substituído de pó cerâmico seria maior e, conseqüentemente, tornaria a matriz mais densa, resultando em menor fluidez.

AWOYERA *et al.* [42] ainda complementou que a trabalhabilidade das argamassas reduzem com a adição de resíduos cerâmicos.

Quando se compara os índices de consistência das argamassas com o mesmo cimento em relação ao tipo de resíduo utilizado nas suas formulações, constata-se que as argamassas produzidas com RP (massa específica de 1,44 kg/dm³) apresentaram diminuição do índice de consistência inferior àquelas produzidas com RPR (massa específica de 1,65 kg/dm³). Diante disso, provavelmente, quanto maior a massa específica do material menor será a necessidade de água para que o mesmo possa atingir o índice de consistência desejado. Além disso, os resultados deste estudo foram semelhantes aos encontrados por MATIAS *et al.* [43], que investigaram os efeitos das substituição parcial de resíduos cerâmicos em argamassa. Seus resultados mostraram que os resíduos tem influência direta no comportamento da argamassa fresca devido à significativa absorção dos resíduos durante a preparação.

As argamassas de referência, para os dois tipos de cimento, apresentaram uma carência visível de água, no qual a consistência obtida foi muito abaixo do esperado. O aumento da quantidade de água alteraria a relação água/cimento fixada em 0,48, resultando no comprometimento da resistência mecânica pelo aumento da porosidade e perdendo o efeito comparativo entre as demais misturas, uma vez que as demais apresentavam a mesma relação água/cimento. Também, foi tomada a decisão de não aumentar o consumo de aditivo até se atingir a consistência adequada, uma vez que o teor de saturação do aditivo atingia-se com o consumo especificado na dosagem, sendo 1,31% de aditivo para argamassas com 10% de resíduo e 1,62% para 20% de resíduos, equivalentes aos consumos de 5,73 kg/m³ e 6,29 kg/m³, respectivamente.

Ressalta-se que parte das argamassas produzidas se aproximaram do diâmetro de abertura ideal de 250 mm \pm 10, de acordo com ABNT NBR 13276:2016 [35], mais especificamente as argamassas produzidas com CP II F 32. Portanto, pode-se concluir que o ideal seria a incorporação de um teor maior de aditivo no processo de mistura das argamassas. No entanto, a redução da consistência e/ou aumento da coesão das argamassas pode proporcionar ganhos relativos à qualidade e produtividade quando da elevação e revestimento de alvenarias, podendo ainda influenciar na redução de perdas das argamassas, reduzindo assim o desperdício e, conseqüentemente, a geração de resíduos.

3.4 Ensaio no estado endurecido – ensaio de resistência à compressão

Na Tabela 6 estão os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial correspondentes as idades de 3, 7 e 28 dias para as argamassas com cimento CP II F 32.

Tabela 6: Resultados do ensaio de resistência à compressão média das argamassas com CP II-F-32

3 DIAS					
	CP II REF	CP II 10 RP	CP II 20 RP	CP II 10 RPR	CP II 20 RPR
Média (MPa)	25,87	26,07	23,07	25,07	21,68
Desvio (MPa)	0,70	0,30	0,55	2,61	0,81
C.V. (%)	2,69	1,14	2,37	10,39	3,73
7 DIAS					
	CP II REF	CP II 10 RP	CP II 20 RP	CP II 10 RPR	CP II 20 RPR
Média (MPa)	30,78	34,34	37,18	32,11	28,30
Desvio (MPa)	0,81	1,85	1,17	1,49	0,55
C.V. (%)	2,63	5,37	3,15	4,64	1,95
28 DIAS					
	CP II REF	CP II 10 RP	CP II 20 RP	CP II 10 RPR	CP II 20 RPR
Média (MPa)	37,87	42,23	56,53	43,24	38,50
Desvio (MPa)	1,23	2,28	1,55	2,10	0,68
C.V. (%)	3,25	5,40	2,75	4,85	1,77

Fonte: Autores, 2020.

São apresentados na Figura 7 os resultados médios obtidos para os ensaios de resistência à compressão das argamassas confeccionadas com o CP II F 32.

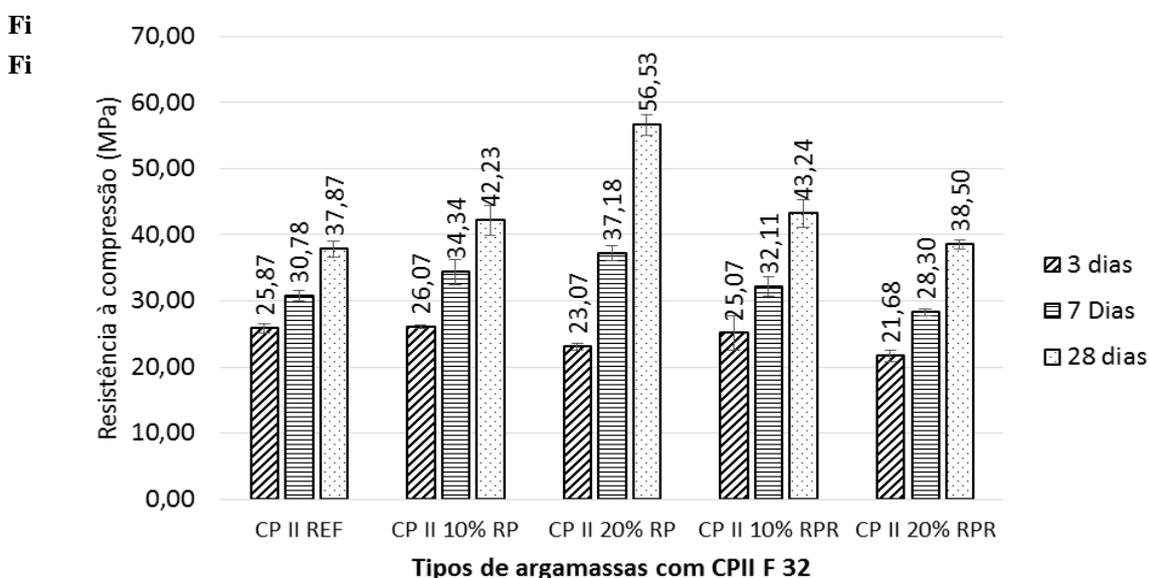


Figura 7: Resultados da resistência à compressão média das argamassas com CP II F 32 (Autores, 2020).

Analisando-se os valores apresentados nas Figuras 6 e 7, observa-se que todas as dosagens com Resíduo de Polimento (RP) e Resíduo de Polidora e Retífica (RPR), tanto para a substituição de 10% e 20% do CP II F 32, obtiveram melhores resultados quando comparados à argamassa de referência que atingiu a marca

de 37,87 MPa aos 28 dias. Chegando ao maior porcentual de ganho de resistência de 33%, quando comparado a argamassa de referência com a argamassa com substituição parcial do cimento de 20% com RP.

O comportamento superior das argamassas constituídas com resíduos em relação a argamassa de referência, pode ser justificado pela elevada porcentagem de silicato (SiO_2) e aluminato (Al_2O_3) na composição química do resíduo, os quais de acordo com METHA e MONTEIRO [40] são integrantes básicos para a formação do silicato de cálcio hidratado (C-S-H), este por sua vez, tem grande influência na maioria das propriedades físicas e mecânicas dos materiais cimentícios, tendo a capacidade de elevação da resistência à compressão. MOHAMMADHOSSEINI e YATIM [44] ainda complementam que, com o desenvolvimento do C-S-H extra na mistura proporcionado pela composição básica dos resíduos, ocorre a redução da porosidade e, consequentemente, resultam maior resistência à compressão com períodos mais longos de cura.

Observações semelhantes foram feitas por MATIAS *et al.* [45] e MEDINA *et al.* [46], que obtiveram que a substituição parcial do cimento por partículas de resíduos cerâmicos aumentaram significativamente a resistência à compressão da argamassa.

No entanto, comparando as três dosagens de argamassa (referência, uso de RP e uso de RPR), verifica-se que as produzidas com RP apresentaram melhor desempenho mecânico, devido a presença de 9,97% de CaO em sua composição. Segundo NEVILLE [47], o Óxido de Cálcio (CaO) é componente essencial do cimento, estando presente de 58 a 66% em sua composição. SANTOS [48] ainda complementou que o Ca e O reagem quimicamente, contribuindo na formação do hidróxido de cálcio, no qual constitui de 20 a 25% do volume de uma matriz de cimento Portland.

A presença em grande quantidade da sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), óxido de cálcio (CaO) no resíduo de polidora (RP) contribui para a presença predominante do Ca, Si, O e Al, elementos fundamentais que contribuem na formação dos cristais de etringita. E ao reagirem o Ca e Si contribuem para a formação dos silicatos de cálcio hidratados [48].

Na Tabela 7 são apresentados os valores referentes a análise dos resultados do ensaio de resistência à compressão da argamassa com CP V-ARI.

Tabela 7: Resultados dos ensaios de resistência à compressão da argamassa com CP V-ARI

3 DIAS					
	CP V REF	CP V 10 RP	CP V 20 RP	CP V 10 RPR	CP V 20 RPR
Média (MPa)	39,50	42,75	41,85	42,43	42,79
Desvio (MPa)	2,35	0,63	0,84	12,48	0,67
C.V. (%)	5,94	1,46	2,00	29,41	1,56
7 DIAS					
	CP V REF	CP V 10 RP	CP V 20 RP	CP V 10 RPR	CP V 20 RPR
Média (MPa)	49,81	50,57	55,94	48,01	49,45
Desvio (MPa)	1,38	0,89	1,80	2,45	1,11
C.V. (%)	2,77	1,77	3,22	5,09	2,25
28 DIAS					
	CP V REF	CP V 10 RP	CP V 20 RP	CP V 10 RPR	CP V 20 RPR
Média (MPa)	56,93	62,95	68,97	56,50	59,10
Desvio (MPa)	1,77	2,18	1,93	9,12	2,52
C.V. (%)	3,11	3,46	2,80	16,15	4,27

Fonte: Autores, 2020.

Na Figura 8 são discretizados os resultados médios da resistência à compressão da argamassa com o CP V-ARI.

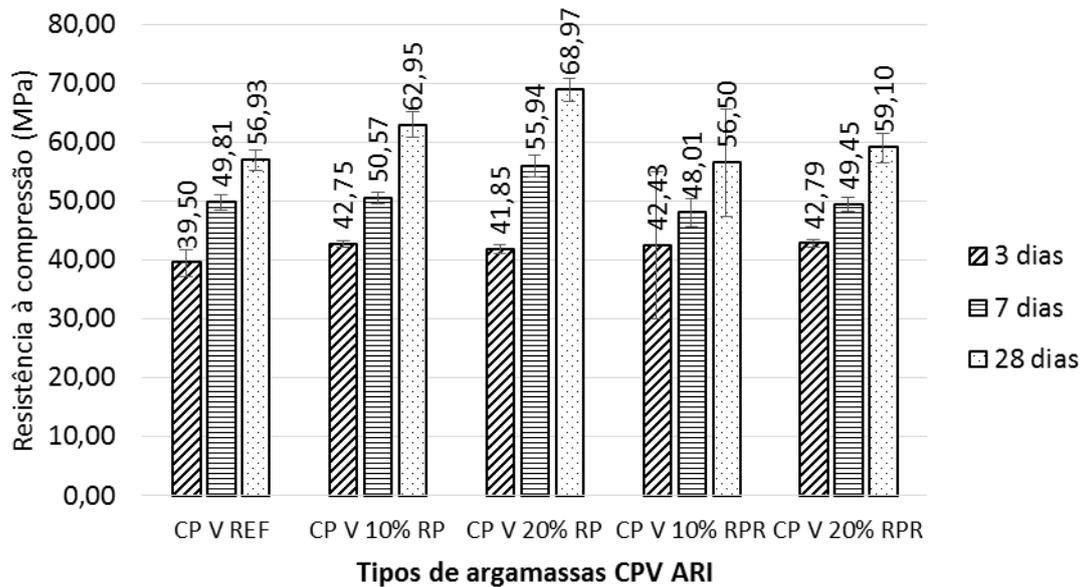


Figura 8: Resultados da resistência à compressão média das argamassas com CP V ARI (Autores, 2020).

Observa-se que em todas as amostras analisadas (Figura 8), a resistência à compressão aumentou com o avanço das idades. É possível verificar também, que o acréscimo de resistência variou de 10,57% a 21,15% no traço com a utilização do RP. Já para os traços com RPR os resultados não foram tão satisfatórios, o menor valor apresentou perda de 0,75% de resistência e o maior apresentou ganho de 3,86%. Esta diferença nos resultados da resistência à compressão pode ser justificada pela presença do óxido de cálcio, o qual tem propriedades que auxiliam no aumento da resistência à compressão da argamassa, e que de acordo com a Tabela 2 se mostra superior na composição do RP.

Concluindo assim, que de forma geral, as argamassas produzidas com RP apresentaram desempenho mecânico superior às produzidas com RPR. No entanto, essa redução da resistência à compressão não inviabiliza a sua utilização, pois as propriedades mecânicas deste não diferem significativamente das amostras de referência.

Assim sendo, a reciclagem de tal resíduo contribui tanto no aspecto ambiental, como no financeiro, já que é viável seu reaproveitamento como substituição parcial do cimento, sem causar danos a resistência mecânica da argamassa. Diminuindo, desta forma, as despesas com descarte em aterros sanitários geradas para as empresas de revestimento cerâmico.

Na Figura 9 são apresentados os resultados médios obtidos por meio do ensaio de resistência à compressão de todas as misturas elaboradas.

Segundo SANTOS [48] a substituição parcial do cimento por percentuais de RP e RPR, independentemente do tipo de cimento, influencia na microestrutura das argamassas. As argamassas produzidas com RP, independente do cimento e substituição utilizada, apresentaram mais resistência à compressão. Tal fato se deve ao RP possuir menor massa específica.

De forma geral, as argamassas produzidas com o CPVARI foram as que apresentaram melhor resistência à compressão. Resultados que já eram esperados, pois de acordo com Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP [49] devido ao processo de fabricação deste cimento, o mesmo possui alta reatividade nas primeiras horas de aplicação, fazendo com que o CPVARI atinja resistências elevadas nos primeiros dias, alcançando também resistência maior que os cimentos convencionais aos 28 dias.

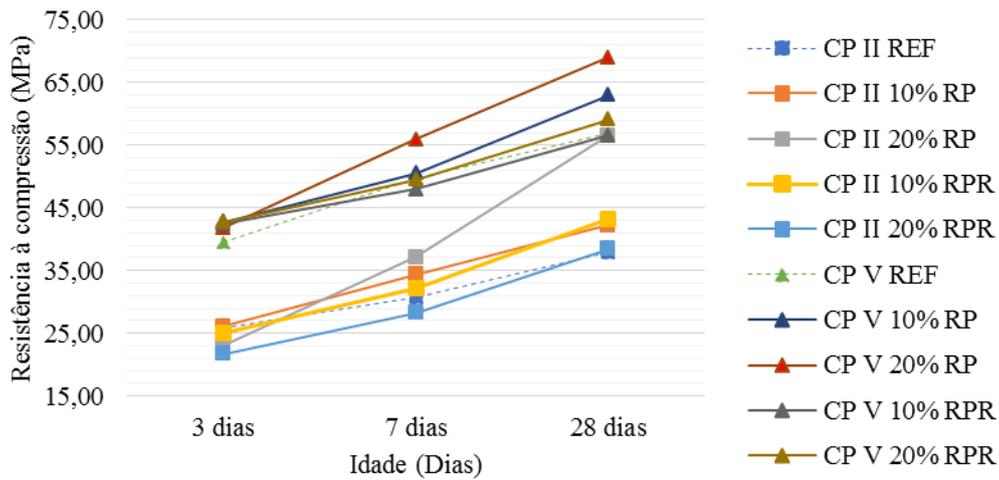


Figura 9: Comparação dos resultados da resistência à compressão de todas as misturas (Autores, 2020).

Comparando com o estudo experimental desenvolvido por CASTRO *et al.* [50], o qual constatou que o concreto produzido com o CPV-ARI apresentou maior resistência do que o concreto produzido com CP II E 32, devido ao seu maior teor de C₃S e superior área superficial, nota-se coerência nos resultados obtidos.

Observa-se que, entre todas as dosagens analisadas, os que alcançaram maior ganho de resistência foram as misturas produzidas com 20% de RP em substituição parcial do CP II-F-32 e do CPV-ARI, atingindo respectivamente aos 28 dias, aumento de resistência de 49,27% e 21,15% em relação ao traço de referência. Analisando a Figura 9, nota-se que com o aumento do teor de RP houve aumento da resistência à compressão, comprovando assim a eficiência de tal resíduo.

É apresentada na Figura 10 a regressão linear e o coeficiente de correlação (R²), respectivamente, para cada mistura realizada. Pelos valores obtidos, é possível verificar a boa confiança para os resultados obtidos para as argamassas.

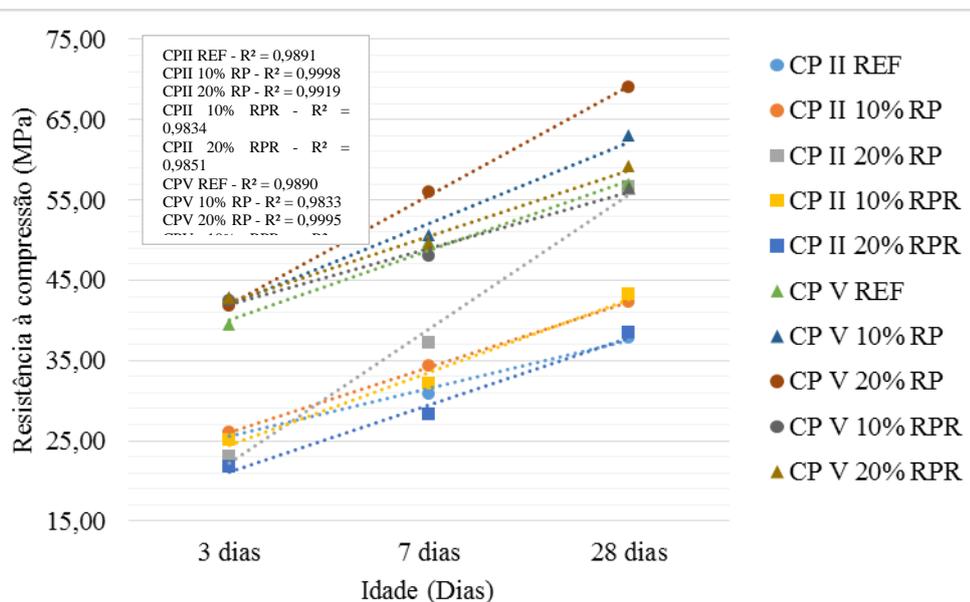


Figura 10: Linha de tendência para as argamassas analisadas (Autores, 2020).

4. CONCLUSÕES

Estudar a viabilidade e o potencial da reutilização de resíduos cerâmicos obtidos a partir de polidora (RP) e polidora e retífica (RPR) como substituição parcial do cimento na pasta da argamassa, mostrou-se extremamente promissor para as proporções de 10% e 20%.

- Com a substituição parcial do cimento pelos resíduos de RP e RPR, a trabalhabilidade da argamassa fresca foi reduzida. Este comportamento é resultado da menor densidade apresentada pelos resíduos em relação ao cimento. Além disso, o formato mais angular dos grãos dos resíduos levou a uma consistência mais seca nas argamassas. Portanto, nota-se que boa parte das misturas desenvolvidas não atingiram o parâmetro de consistência padrão (250 ± 10 mm) conforme citado na ABNT NBR 16541:2016 [51].
- De forma geral, pode-se afirmar que a adição dos resíduos melhorou significativamente o desempenho mecânico das argamassas. O desenvolvimento da resistência à compressão das argamassas com resíduos na idade de 3 dias, independentemente do cimento, foi bem próximo as misturas de referência. No entanto, aos 28 dias de cura, a resistência à compressão da argamassa com resíduos excedeu a resistência da argamassa de referência. De uma forma mais detalhada, verifica-se que o RP apresenta grande potencial de utilização por fornecer melhor desempenho mecânico, conferindo até 49,27% a mais de resistência na argamassa aos 28 dias. Percebe-se também que com o aumento do teor de RP houve ganho de resistência. Já o uso do RRP, não apresentou grande influência como substituto parcial do cimento, já que este manifestou pouco ganho de resistência em relação ao RP. No entanto, esta condição não inviabiliza seu aproveitamento, visto que não houve comprometimento no desempenho mecânico das argamassas.
- Quando comparados os dois tipos de cimentos, percebe-se que as amostras produzidas com o CPVARI apresentaram resistência à compressão superiores, devido à alta reatividade que este cimento possui nas primeiras horas de aplicação. Entre todos os traços analisados o que apresentou maior resistência foi o produzido com 20% de substituição do CPVARI pelo RP. O qual resultou em 68,97 MPa aos 28 dias.

De forma geral, conclui-se que, mediante a parametrização da resistência à compressão, o uso de resíduos cerâmicos é viável para a produção de argamassas mediante a sua atividade pozolânica, pois além dos benefícios mecânicos, a utilização destes resíduos contribui para o alcance de uma produção mais sustentável. No entanto, salienta-se a necessidade da realização de novos ensaios, considerando parâmetros de durabilidade, como absorção, retração e resistência à tração na flexão, para verificar melhor o comportamento dos resíduos cerâmicos na argamassa.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as empresas, Grace pelo fornecimento do aditivo e Embramarco pelo apoio e fornecimento dos resíduos para o desenvolvimento desta pesquisa.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] MATOS, P.R., OLIVEIRA, A.L., PELISSER, F., *et al.*, “Rheological behavior of Portland cement pastes and self-compacting concretes containing porcelain polishing residue”, *Construction and building materials*. v. 175, pp. 508-518, Jun. 2018.
- [2] PACHECO-TORGAL, F., JALALI, S. “Reusing ceramic wastes in concrete”, *Construction and building materials*. v. 24, n.5, pp. 832-838, May. 2010.
- [3] BARBOZA, L.S., ALMEIDA FILHO, F.M. “Self-compacting concrete with low cement consumption: impact of the reduction of cement consumption on the compressive strength”, *Revista Matéria*. v. 23, n.3, pp. 10-20, 2018.
- [4] A indústria brasileira de cerâmica para revestimento – 2018, ANFACER (São Paulo), <https://www.anfacer.org.br/brasil>. Acessado em Agosto de 2019.
- [5] PAIXÃO, C.A., CAETANO, L.F., COLIANTE, J.G.R., *et al.*, “Estudo da viabilidade de utilização de resíduos cerâmicos para confecção de argamassas”, *Revista Cerâmica Industrial*. v. 16, n. 4, pp. 33-38, 2011.
- [6] ANGULO, S. C, ZORDAN, S. E, JOHN, V. M. “Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil”. In: *Materiais reciclados e suas aplicações: comitê técnico 206 meio ambiente*. São Paulo: IBRACON, 2001.
- [7] DOREROGLU, T., KARA, S. “Ceramic floor-tile kiln fluoride emission factors”, *America Ceramic Society Bulletin*. v. 81, n. 6, pp. 50-52, 2002.

- [8] TIKUL, N., SRICHANDR, P. “Assessing the environmental impact of ceramic tile production in Thailand”, *Journal Ceramic Society Japan*. v.118, pp. 887-894, 2010.
- [9] MODESTO, C., BRISTOT, V., MENEGALI, G., *et al.*, “Obtenção e caracterização de materiais cerâmicos a partir de resíduos sólidos industriais”, *Revista Cerâmica Industrial*, n. 8, v. 4, pp. 14-18, 2003.
- [10] FERREIRA, R.A.S., YADAVA, Y.P. “Estudo do potencial de produção de massas para revestimento cerâmico utilizando resíduos do processo de fabricação de louças sanitárias”, *Revista Cerâmica Industrial*. v. 13, n. 5, pp. 39-33, Set./Out. 2008.
- [11] MEDEIROS, E.S., *Proposta para recuperação de áreas degradadas pelos depósitos sólidos gerados na indústria cerâmica*, Monografia do Curso de pós-graduação Lato-Sensu, UNESC, Santa Catarina, SC, Brasil, 1999.
- [12] ZENG, L., JIN, X., LI, Y. “Ceramic waste recycling technology”. *Beijing: Chemical industry press*; pp. 6, 2010.
- [13] WANG, G. “Pozzolanic activity of ceramic polishing powder as supplementary cementitious material”, *Journal of the Chinese Ceramic Society*. n. 38, v. 7, pp. 1229-1234, 2010.
- [14] LI, L.G., WANG, Y.M., TAN, Y.P., *et al.*, Filler technology of adding granite dust to reduce cement content and increase strength of mortar, *Powder Technology*. n. 342, pp. 388–396, 2019.
- [15] OLIVEIRA, E.M., OLIVEIRA, E.M., PETERSON, M., *et al.*, “Efeito da Adição do Resíduo do Polimento de Porcelanato RPP na Durabilidade de Argamassa de Revestimento”, *Revista Cerâmica Industrial*, v. 23, n. 4, pp. 42-49, Out/Dez. 2018.
- [16] LAVAT, A., TREZZA, M., POGGI, M. “Characterization of ceramic roof tile wastes as pozzolanic admixture”, *Waste Management*, v. 29, n. 5, pp. 1666-1674, May. 2009.
- [17] BINICI, H. “Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortar properties”, *Construction and building materials*, v. 21, n. 6, pp. 1191-1197, Jul. 2007.
- [18] BARBOZA, L.S., ALMEIDA FILHO, F.M. “Study on reduction of cement consumption and CO₂ emission for high performance concrete”, *Science e Engineering Journal*. v. 24, n.2, pp. 131-141, Jul.-Dez. 2018.
- [19] FELIX, E.F., POSSAN, E. “Balanço das emissões e da captura de CO₂ em estruturas de concreto em função do consume e tipo de cimento”, *Structures and Materials Journal - IBRACON*. v. 11, n.7, pp. 135-162, Fev. 2018.
- [20] LIMA, J. *Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas*, Tese de D.Sc., EPUSP/USP, São Paulo, SP, Brasil, 2010.
- [21] PUERTAS, F., GARCIA-DIAZ, I., BARBA, A., *et al.*, “Ceramic wastes as alternative raw materials for Portland cement clinker production”, *Cement and Concrete Composites*. v. 30, n. 9, pp. 798–805, Oct. 2008.
- [22] VEJMEJKOVÁ, E., KEPPERT, M., ROVNANÍKOVÁ, P., *et al.*, “Properties of high-performance concrete containing fine-ground ceramics as supplementary cementitious material”, *Cement and Concrete Composites*. v. 34, n. 1, pp. 55-61, Jan. 2012.
- [23] CHENG, Y., HUANG, F., LI, G.L., *et al.*, “Test research on effects of ceramic polishing powder on carbonation and sulphate-corrosion resistance of concrete”, *Construction and building materials*. v. 55, pp. 440-446, Mar. 2014.
- [24] GONZALEZ-COROMINAS, A., ETXEBERRIA, M. “Properties of high-performance concrete made with recycled fine ceramic and coarse mixed aggregates”, *Construction and building materials*, v. 68, pp. 618-626, Oct. 2014.
- [25] STEINER, L.R., BERNARDIN, A.M., PELISSER, F. “Effectiveness of ceramic tile polishing residues as supplementary cementitious materials for cement mortars”, *Sustainable Materials and Technologies*, v.4, pp. 30-35, Jul. 2015.
- [26] MAS, M.A., MONZÓ, J., PAYÁ, J., *et al.*, “Ceramic tiles waste as replacement material in Portland cement”, *Advances in Cement Research*, v. 28, n. 4, pp. 221–232, 2016.
- [27] LI, L.G., HUANG, Z.H., TAN, Y.P., *et al.*, “Use of marble dust as paste replacement for recycling waste and improving durability and dimensional stability of mortar”, *Construction and building materials*, v. 166, pp. 423-432, Mar. 2018.
- [28] LI, L.G., HUANG, Z.H., TAN, Y.P., *et al.*, “Recycling of marble dust as paste replacement for improving strength, microstructure and eco-friendliness of mortar”, *Journal of Cleaner Production*, v. 210, pp. 55-65, Jan. 2019.
- [29] NACERI, A., HAMINA, M. Use of waste brick as a partial replacement of cement in mortar, *Waste Management*, v. 29, n. 8, pp. 2378-2384, Aug. 2009.
- [30] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó - determinação da massa específica*. 1. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

- [31] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 248*: Agregados - determinação da composição granulométrica. 1. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [32] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 45*: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. 1. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006
- [33] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 52*: Agregado miúdo - determinação da massa específica e massa específica aparente. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- [34] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7215*: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. 1. ed. Rio de Janeiro, 2019.
- [35] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13276*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. 1. ed. Rio de Janeiro, 2016.
- [36] SILVA, J.B., HOTZA, D., SEGAÃES, A.M., *et al.*, “Incorporção de lama de mármore e granito em massas argilosas”, *Revista Cerâmica*, v. 51, n. 351, pp. 325-330, Oct/Dec. 2005.
- [37] LI, L.G., ZHUO, Z.Y., CHEN, J.J., *et al.*, “Reutilizing ceramic polishing waste as powder filler in mortar to reduce cement content by 33% and increase strength by 85%”, *Powder Technology*. n. 355, pp. 119-126, 2019.
- [38] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12653*: Materiais pozolânicos - Requisitos. 1. ed. Rio de Janeiro, 2014.
- [39] GUERRA, I., VIVAR, I., LLAMAS, B., *et al.*, “Eco-efficient concretes: the effects of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete”, *Waste Management*, v. 29, n. 2, pp. 643–646, 2009.
- [40] MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*, 2 ed., IBRACON, São Paulo, 2014.
- [41] MOHAMMADHOSSEINI, H., LIM, N. H.A.S., TAHIR, M.M., *et al.*, “Enhanced performance of green mortar comprising high volume of ceramic waste in aggressive environments”, *Construction and Building Materials*. n. 212, pp. 607-617, 2019.
- [42] AWOYERA, P.O., NDAMBUKI, J.M., AKINMUSURU, J.O., *et al.*, “Characterization of ceramic waste aggregate concrete”, *HBRC Journal*. v. 14, n. 3, pp. 282-287, 2016.
- [43] MATIAS, G. FARIA, P., TORRES, I. “Lime mortar with ceramic wastes: characterization of components and their influence on the mechanical behavior”, *Construction Building and Materials*. n. 73, pp. 523-534, 2014.
- [44] MOHAMMADHOSSEINI, H., YATIM, J. M. “Microstructure and residual properties of green concrete composites incorporating waste carpet fibers and palm oil fuel ash at elevated temperatures”, *Journal of Cleaner Production*. n. 144, pp. 8-21, 2017.
- [45] MATIAS, G. FARIA, P., TORRES, I. “Lime mortar with heat treated clays and ceramic waste: a review”, *Construction Building and Materials*. n. 73, pp. 125-136, 2014.
- [46] MEDINA, C., FRÍAS, M., DE ROJAS, M.S., *et al.*, “Gas permeability in concrete containing recycled sanitary ware aggregate”, *Construction Building and Materials*. n. 37, pp. 597-605, 2012.
- [47] NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 5. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2016.
- [48] SANTOS, M.L.L.O. Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil, Tese de D.Sc., UFRN, Natal, RN, Brasil, 2008.
- [49] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Guia básico de utilização do cimento portland*. 7.ed. São Paulo, 2002.
- [50] CASTRO, A.L., LIBORIO, J.B.L., PANDOLFELLI, V.C. “A influência do tipo de cimento no desempenho de concretos avançados formulados a partir do método de dosagem computacional”, *Revista Cerâmica*, v. 57, n. 341, p. 10-21, Mar. 2011.
- [51] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 16541*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. 1. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.



ORCID

Lucas da Silva Barboza
Vilsyane Martins Batista
Kesiane Viana Neves
Ramon Sousa Santos

<http://orcid.org/0000-0003-0027-9104>
<https://orcid.org/0000-0002-1899-3069>
<https://orcid.org/0000-0002-6325-8127>
<https://orcid.org/0000-0001-5052-2403>