

Análise comparativa de argamassas alternativas produzidas com diferentes tipologias de resíduos

Comparative analysis of alternative mortars produced with different types of waste

Análisis comparativo de morteros alternativos producidos con diferentes tipos de residuos

Recebido: 22/09/2022 | Revisado: 02/10/2022 | Aceitado: 04/10/2022 | Publicado: 10/10/2022

Ana Paula Sturbelle Schiller

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5639-2355>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-riograndense, Brasil
E-mail: eng.anapschiller@gmail.com

Francieli Priebbernow Pinz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2558-8683>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-riograndense, Brasil
E-mail: franciellipinz@gmail.com

Monica Navarini Kurz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7450-383X>
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
E-mail: monicanavarini@yahoo.com.br

Charlei Marcelo Paliga

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0521-4764>
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
E-mail: charleipaliga@gmail.com

Ariela da Silva Torres

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4686-9759>
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
E-mail: arielatorres@gmail.com

Resumo

A busca por materiais alternativos que garantam o desempenho adequado e a redução dos impactos ambientais, visando garantir nossas necessidades sem comprometer a capacidade de sobrevivência das gerações futuras, é um dos maiores desafios da atualidade. Desta forma, este trabalho tem como objetivo comparar os efeitos da incorporação de resíduos de diferentes tipologias em argamassas, através do método comparativo, que busca verificar semelhanças e explicar divergências entre as amostras avaliadas. Para realizar a comparação foram selecionados três trabalhos de um mesmo grupo de pesquisa e analisou-se os resultados dos ensaios comuns entre os três estudos, sendo eles: resistência à compressão axial (aos 28 dias), absorção de água por capilaridade, absorção de água por imersão e índice de vazios. O resultado da análise demonstrou que a tipologia do resíduo e o teor de substituição podem exercer influência nas propriedades físicas e mecânicas das misturas. Observou-se entre as substituições do agregado a redução nas propriedades mecânicas, no entanto, houve melhor desempenho nos parâmetros físicos das misturas. Já em relação as argamassas com substituição parcial do aglomerante, notou-se que tanto para os parâmetros mecânicos quanto para os parâmetros físicos analisados apresentaram resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Argamassa; Resíduo de construção civil; Resíduo de cerâmica vermelha; Resíduo de borracha; Tecnologia da arquitetura.

Abstract

The search for alternative materials that ensure adequate performance and reduction of environmental impacts, aiming to ensure our needs without compromising the survivability of future generations, is one of the biggest challenges today. Thus, this work aims to compare the effects of the incorporation of residues of different typologies in mortars, through the comparative method, which seeks to verify similarities and explain divergences between the samples evaluated. To perform the comparison, three studies from the same research group were selected and the results of the common trials were analyzed among the three studies: axial compressive strength (at 28 days), water absorption by capillarity, water absorption by immersion and void index. The result of the analysis showed that the typology of the residue and the substitution content can influence the physical and mechanical properties of the mixtures. Among the substitutions of the aggregate was the reduction in mechanical properties, however, there was better performance in the physical parameters of the mixtures. In relation to mortars with partial replacement of the binder, it was noticed that both for the mechanical parameters and for the physical parameters analyzed presented satisfactory results.

Keywords: Mortar; Construction waste; Red ceramic residue; Rubber residue; Architecture technology.

Resumen

La búsqueda de materiales alternativos que aseguren un rendimiento adecuado y la reducción de los impactos ambientales, con el objetivo de garantizar nuestras necesidades sin comprometer la capacidad de supervivencia de las generaciones futuras, es uno de los mayores desafíos en la actualidad. Así, este trabajo pretende comparar los efectos de la incorporación de residuos de diferentes tipologías en morteros, a través del método comparativo, que busca verificar similitudes y explicar divergencias entre las muestras evaluadas. Para realizar la comparación, se seleccionaron tres estudios del mismo grupo de investigación y se analizaron los resultados de los ensayos comunes entre los tres estudios: resistencia a la compresión axial (a los 28 días), absorción de agua por capilaridad, absorción de agua por inmersión e índice de vacío. El resultado del análisis mostró que la tipología del residuo y el contenido de sustitución pueden influir en las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas. Entre las sustituciones del agregado estuvo la reducción de las propiedades mecánicas, sin embargo, hubo un mejor desempeño en los parámetros físicos de las mezclas. En relación con los morteros con reemplazo parcial del aglutinante, se observó que tanto para los parámetros mecánicos como para los parámetros físicos analizados presentaban resultados satisfactorios.

Palabras clave: Mortero; Residuos de construcción; Residuo cerámico rojo; Residuo de caucho; Tecnología de arquitectura.

1. Introdução

É notável a importância socioeconômica da construção civil, visto que este setor exerce considerável parcela de contribuição na geração de empregos diretos, isto é, na própria construção civil, e de milhares de empregos indiretos em outras áreas industriais, como da ciência e tecnologia (Vieira & Nogueira, 2018). Apesar disso, esse setor é um dos que mais impactam o meio ambiente, devido à quantidade de matéria-prima utilizada, à poluição sonora e à considerável quantidade de resíduos gerados (Fonseca & Maintinguer, 2019). Desta forma, para garantir a satisfação das necessidades da sociedade na qual estamos inseridos sem comprometer a capacidade de sobrevivência das gerações futuras é fundamental a busca por técnicas alternativas que reduzam os impactos causados pela construção civil (Lucas & Benatti, 2008).

A incorporação de resíduos como matéria-prima para a produção de argamassas é uma alternativa para a minimização dos impactos no meio ambiente e vem sendo estudada por diversos autores. No estudo de Araújo (2017), a autora avaliou a influência da incorporação de resíduos de cerâmica vermelha (RCV), proveniente de telhas, nas propriedades de argamassas mistas. Utilizado o traço 1:1:6 (cimento, cal e areia), o cimento Portland foi substituído por RCV com partículas menores que 0,036 mm, em teores de 0, 10, 20 e 30%. As misturas foram avaliadas no estado fresco através dos ensaios de consistência, densidade, teor de vazios e retenção de água e no estado endurecido através do ensaio de absorção de água, resistência à tração na flexão e à compressão, e módulo de elasticidade. Os resultados indicaram que o RCV possui características pozolânicas que contribuíram para o melhoramento das propriedades da argamassa, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

Monte Júnior (2016) realizou a substituição do agregado natural por resíduos de construção civil com partículas menores que 4,75 mm. Utilizando o cimento Portland CP II Z 32, o autor testou o efeito da substituição dos teores de 30, 60 e 100% em dois traços distintos, sendo eles: 1:2:8 (cimento, cal e areia) e 1:4,5 (cimento e areia). As misturas foram testadas no estado fresco e endurecido e os resultados indicaram que a presença de finos melhorou a trabalhabilidade em ambos os traços. Além disso, verificou-se que o resíduo reduziu a densidade de massa aparente das misturas, não afetou o desempenho mecânico das misturas e reduziu o índice de absorção por capilaridade.

Pinz (2019) estudou o efeito da substituição do cimento e do agregado por resíduos de cerâmica vermelha (RCV) em dois tipos de argamassas, hidráulica e mista, confeccionadas com traço 1:6 e 1:2:8, respectivamente. Foram testados os teores de substituição de 5, 10 e 15% do aglomerante, e de 10, 15 e 20% do agregado. As argamassas foram avaliadas quanto ao desempenho mecânico e físico. Os resultados mostraram melhoramento da resistência mecânica das argamassas hidráulicas com substituição do aglomerante nos teores de 5 e 15%. Já nas argamassas mistas, verificou-se que o teor de 5% propicia um melhor desempenho físico. Em relação a substituição do agregado por RCV, observou-se entre as argamassas de cimento e areia maior teor de absorção por capilaridade. Já entre as argamassas mistas, verificou-se menor resistência no ensaio de resistência à compressão axial e acréscimo nos índices de absorção por imersão.

Schiller (2021) testou o efeito da substituição do cimento Portland CP IV por dois resíduos cimentícios, um proveniente da demolição de um prédio industrial (RCD), e o outro, proveniente de uma fábrica de artefatos cimentícios (RIPM). Neste experimento a autora utilizou como traço de referência as proporções 1:2:8 (cimento, cal e areia) e testou os teores de substituição de 5, 10 e 15% do cimento por RIPM e RCD. O teor de água/aglomerante das misturas mudou de forma a atender o índice de consistência de 260 ± 5 mm. Os resultados encontrados foram promissores, uma vez que a substituição do cimento por RIPM com teores de substituição de até 15% proporcionaram confecção de argamassas de revestimento sustentáveis, com desempenho mecânico e físico equivalente ao traço de referência na idade de 28 dias. Já no RCD, o teor de 5% apresentou resistência mecânica proporcional ao traço de referência aos 28 dias e os demais traços necessitaram de um período maior para equivalerem-se.

Souza, Lobo, Moreira, Brito e Pereira Júnior (2021) avaliaram a possibilidade do aproveitamento de resíduos da construção civil como substituinte total do agregado graúdo em concretos. Os corpos de prova foram testados quanto a resistência à compressão e os resultados indicaram a viabilidade da utilização do agregado reciclado para concreto com fim não estrutural. Já Pimentel, Rizzo, Jacintho e Fontanini (2020) analisaram a durabilidade de concreto, para uso em estruturas, produzido com agregado reciclado. Foram testados quatro tipos de agregados graúdos, sendo eles: agregado natural (AN), agregado reciclado de concreto (ARCO), agregado reciclado de material cimentício (ARCI) e agregado reciclado de material cimentício tratado (ARCI tratado). O teor de substituição do agregado natural por agregado reciclado utilizado foi de 30%. Os resultados indicaram que o agregado reciclado proveniente do concreto (ARCO) proporcionou características similares ao concreto de referência.

Além dos resíduos provenientes da construção civil, este setor apresenta um grande potencial para incorporar como matéria prima resíduos de outros setores. Neste sentido, diversos estudos vêm sendo conduzidos nos últimos anos testando o efeito da incorporação de outros resíduos, entre eles: cinza da casca de arroz (CCA), resíduo de corte de mármore (RCMG), resíduos de celulose, borracha e policloreto de vinila, vidro.

A viabilidade da aplicação da cinza da casca de arroz (CCA) foi testada por Lemes (2013). Utilizando os teores de substituição de 10, 15, 20 e 30% do cimento por resíduo, a autora testou os efeitos em dois traços, sendo eles: 1:3 (cimento e areia) e 1:2:8 (cimento, cal e areia). Os resultados dos ensaios demonstraram que os teores de 10 e 15% apresentaram resultados superiores ao traço de referência em ambas às argamassas para o teste de resistência à tração na flexão. Já o ensaio de resistência à compressão demonstrou que as misturas com resíduos apresentaram desempenho superior ao traço de referência. Em relação a absorção de água, o estudo apontou que o melhor desempenho foi registrado nas argamassas com teor de substituição de 15%.

Já Apolinário (2014) avaliou o comportamento do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) com partículas de 0,012 mm, adicionado às argamassas comuns de cimento Portland, mistas (cimento e cal) e industrializadas, nos teores de 5, 10 e 15%. Os resultados obtidos indicaram que o melhor teor de adição para as argamassas simples e mistas foi o de 10% de RCMG, visto que melhoraram fluidez e a plasticidade das misturas. De modo similar, Almada, Santos e Souza (2022) avaliaram o efeito da substituição do cimento por resíduo de mármore e granito (RMG) em argamassas confeccionadas com o traço 1:3 (cimento e areia) e teor de substituição de 20%. Através dos resultados, os autores constataram que o RMG atuou como fíler nas misturas, refinando as estruturas porosas e promovendo o melhor empacotamento das partículas.

A aplicação de resíduos de celulose foi testada por Marques et al. (2014), com a substituição do agregado miúdo com teores de 10, 20 e 30% em argamassas de cimento e areia com traço 1:2,3 (cimento e areia). De modo similar, Castro e Martins (2016) analisaram o comportamento de argamassas mistas, confeccionadas com traço 1:2:9 (cimento, cal e areia), mediante a substituição do agregado miúdo com teores de substituição de 5, 10, 15 e 20%. Já Bortoletto et al. (2017) utilizaram os fatores de substituição de 10, 20, 30, 40 e 50% do agregado miúdo por resíduos em argamassas confeccionadas com o traço 1:2

(cimento e areia). Os resultados destes estudos foram promissores, indicando um bom potencial de aproveitamento do resíduo na produção de argamassa de revestimento, podendo ser substituído com teores de até 10% em massa de agregado, sem redução do índice de consistência e perda de desempenho mecânico.

Lopes et al. (2018) avaliaram os efeitos da substituição parcial do cimento por resíduo de vidro moído, com percentuais de 10, 20, 30 e 40%, em argamassas confeccionadas com traço 1:2 (cimento e areia) e fator água/cimento de 0,50. Já Scherer (2019) investigou o comportamento da substituição parcial do agregado miúdo por vidro moído, em argamassas produzidas com traço de 1:4 (cimento e areia), nos teores de 5, 10, 15 e 20%. Em ambos os estudos os resultados indicaram que as misturas alternativas apresentaram menor desempenho que os traços de referência.

Aciu et al. (2018) testaram a influência da substituição da areia por resíduos de policloreto de vinila (PVC) em argamassas mistas, confeccionadas com traço de referência 1:0,6:4,5 (cimento, cal e areia), e substituições de 25, 50 e 100%. Os resultados demonstraram a viabilidade da utilização do resíduo de PVC, sendo que, o teor que apresentou melhor desempenho foi o de 25% de substituição.

Kurz (2017) estudou os efeitos da substituição do agregado miúdo por resíduos de borracha em argamassas de cimento e areia, moldadas com traço 1:3. Foram testados os teores de substituição de 2,5, 5, 10 e 15%. Os resultados indicaram que a incorporação da borracha na mistura ocasionou redução na resistência à compressão e resistência à tração por compressão diâmetral. Já em relação aos parâmetros físicos, as argamassas com resíduos apresentaram menores índices de absorção por capilaridade e maior absorção por imersão, comparadas ao traço de referência.

Considerando a importância da aplicação de alternativas que minimizem os impactos causados no meio ambiente, este trabalho teve como objetivo comparar os efeitos da incorporação de resíduos de diferentes tipologias em argamassas.

2. Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se o método comparativo. De acordo com Prodanov e Freitas (2013): “este método realiza comparações com o objetivo de verificar semelhanças e explicar divergências”.

Para verificar os efeitos da incorporação de resíduos de diferentes tipologias em argamassas, foram selecionados três trabalhos de um mesmo grupo de pesquisa desenvolvidos com incorporação de diferentes resíduos em argamassas. O primeiro estudo, chamado neste trabalho de estudo A, foi desenvolvido no ano de 2017 e testou o efeito da substituição do agregado natural por resíduo de borracha (RB). A autora testou os teores de 2,5; 5; 10 e 15% de substituição e para verificar a influência das diferentes frações de granulometria nas misturas, cada um dos teores foram testados em quatro subfamílias, sendo elas: substituição nas quatro frações de areia, nas três frações mais finas, nas duas frações mais finas e somente na fração mais fina. No entanto, para a comparação neste trabalho considerou-se apenas os dados das substituições nas quatro frações de agregado.

Já o segundo trabalho, aqui neste artigo chamado de estudo B, foi desenvolvido no ano de 2019 e testou o efeito da substituição do agregado e do aglomerante por resíduos de cerâmica vermelha (RCV). Neste caso, a autora examinou os teores de 5, 10 e 15% da substituição do cimento e os teores de 10, 15 e 20% do agregado natural. Por fim, o terceiro estudo, chamado aqui de Estudo C, foi desenvolvido no ano de 2021 e testou a substituição do cimento por dois resíduos de construção civil, sendo eles: Resíduo de Construção e Demolição (RCD), proveniente da demolição de um prédio industrial, e Resíduo da Indústria de Pré-moldado (RIPM), derivado de uma fábrica de artefatos cimentícios. Neste estudo foram testados os teores de 5, 10 e 15%

As Tabelas 1 e 2 apresentam os estudos que testaram a substituição da areia e do aglomerante, respectivamente, com informação do resíduo utilizado, percentual de substituição e traço testados.

Tabela 1: Amostras com substituição do agregado.

Estudo	Resíduos	% substituição	Traço
Estudo A	RB	2,5, 5, 10 e 15%	1:3 e 1:2:9
Estudo B	RCV	10, 15 e 20%	1:6 e 1:2:8

Fonte: Autores.

Tabela 2: Amostras com substituição do aglomerante.

Estudo	Resíduos	% substituição	Traço
Estudo B	RCV	5, 10, e 15%	1:6 e 1:2:8
Estudo C	RCD e RIPM	5, 10 e 15%	1:2:8

Fonte: Autores.

Para a análise comparativa foram selecionados os ensaios que foram realizados nos três estudos, sendo eles: resistência à compressão axial (aos 28 dias), absorção de água por capilaridade, absorção de água por imersão e índice de vazios. Assim sendo, procedeu a investigação em duas etapas: a primeira através da comparação das argamassas que testaram a substituição do agregado por resíduos e a segunda das misturas que testaram os efeitos da reposição do aglomerante por resíduos.

3. Resultados e Discussão

Considerando que o material utilizado nas misturas cimentícias podem exercer influência nos resultados, inicialmente realizou-se uma breve comparação entre as propriedades física e químicas dos materiais e a relação água/aglomerante da amostra.

A Tabela 3 apresenta a análise das propriedades físicas do cimento, pois embora todos os estudos tenham sido realizados com o cimento Portland CP IV 32, considerando o intervalo de tempo entre as pesquisas, os aglomerantes possuíam lotes de fabricação distintos.

Tabela 3: Análise das propriedades físicas do cimento.

Tipo de ensaio		Estudo A	Estudo B	Estudo C
Massa específica (g/cm ³)		-	-	2,77
Finura (%)	# 200	0,15	0,3	0,6
	# 325	-	1,6	2,8
Blaine (cm ² /g)		4779	4999	4252

Fonte: Autores.

Analisando os dados da Tabela 3, observa-se que o resultado do ensaio de Blaine indicou que o cimento utilizado na pesquisa do Estudo B apresentava maior área de superfície de contato. Esta característica indica um material mais fino, o que proporciona maior capacidade de reação inicial, assim como exposto por Battagin (2011).

De modo similar, as cales utilizadas também foram analisadas e a comparação é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4: Análise das propriedades físicas da cal.

Propriedades	Estudo A	Estudo B	Estudo C
Óxidos Totais	58,64	60	≤ 88
Óxidos não hidratados	-	11,56	≤ 15
CaO – Óxido de Cálcio	28,34	30,04	43,06
MgO – Óxido de Magnésio	21,37	20,52	26,63
R I – Resíduos Insolúveis	33,81	39,44	8,07
P F – Perda ao Fogo	15,24	11,35	22,11
Umidade	0,00	-	0,66
Densidade (g/l)	867	558,62	538
Peneira 0,6mm	100	0,00	0,00
Peneira 0,075mm	85,97	12,92	9,67

Fonte: Autores.

A comparação, apresentada na Tabela 4, indicou diferença entre as propriedades destes materiais. Cabe destacar, como foi explicado por Cincotto et al (2007), que quanto maior o teor de óxidos totais e menor o percentual de resíduos insolúveis, maior será a contribuição da cal no desempenho mecânico das argamassas. Os dados evidenciam a diferença na qualidade das cales entre os distintos lotes de fabricação. Nota-se que a cal utilizada pelo Estudo C apresentou teores de óxidos mais elevados e menor quantidade de resíduos insolúveis.

Da mesma forma, os agregados utilizados foram analisados e os resultados dos parâmetros físicos estão expostos na Tabela 5.

Tabela 5: Análise dos parâmetros físicos da areia.

Parâmetros físicos	Estudo A	Estudo B	Estudo C
Massa específica (g/cm ³)	2,63 g/cm ³	2,62 g/cm ³	2,41 g/cm ³
Massa unitária solta (g/cm ³)	1,46 g/cm ³	1,62 g/cm ³	1,49 g/cm ³
Índice de volume de vazios (%)	44,49%	33,97%	31,24%
Absorção (%)	6,88%	0,66%	0,61%
Módulo de finura	2,70	2,81	2,79

Fonte: Autores.

Observa-se, na Tabela 5, que apesar dos agregados terem sido adquiridos mesma cidade, os parâmetros físicos apresentaram variação. Apesar disso, a comparação do módulo de finura demonstrou que os agregados utilizados nas três pesquisas se enquadraram na zona ótima, conforme os critérios de classificação da NBR 7211/2009 (Agregados para concretos - Especificações).

Já os parâmetros físicos dos resíduos utilizados nas três pesquisas são apresentados na Tabela 6. Por se tratar de materiais de origens distintas, já era esperado que os parâmetros físicos apresentariam características diferentes.

Tabela 6: Análise dos parâmetros físicos entre os resíduos.

Parâmetros físicos	RB	RCV	RCD	RIPM
Massa específica (g/cm ³)	1,20	2,44	2,51	2,33
Massa unitária solta (g/cm ³)	0,34	0,31	1,46	1,56
Índice de volume de vazios (%)	71,67	85,6	30,5	25,4
Absorção (%)	-	10,26	8	4,7
Módulo de finura	4,22	3,57	3,32	3,09

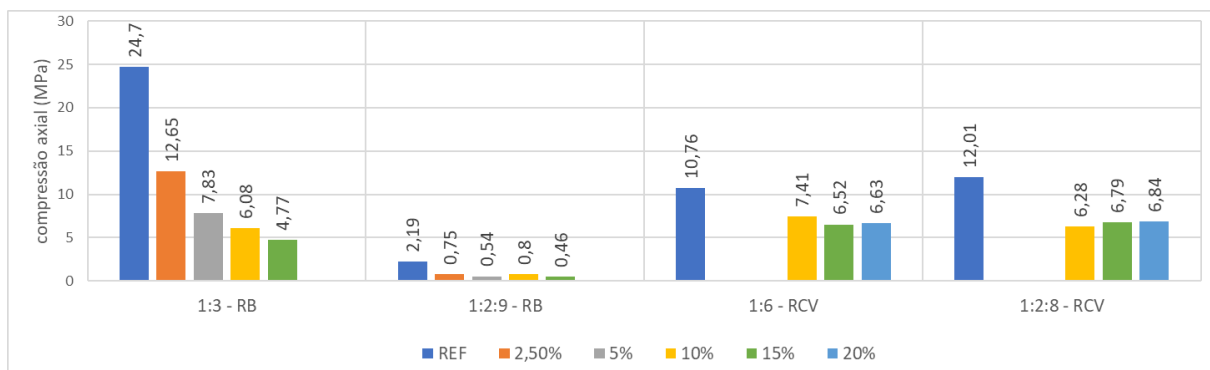
Fonte: Autores.

Nota-se, na Tabela 6, entre os valores apresentados, que o RCV apresentou o coeficiente de absorção mais elevado. Em relação ao resíduo de borracha, verifica-se que o parâmetro não foi verificado, visto que, de acordo com o Autor A, o material não absorve quantidade de água suficiente para execução do ensaio. Além disso, é possível observar que o índice de vazios do RCV foi três vezes mais elevado que o do RCD e RIPM.

Em relação ao índice de consistência, verifica-se que os três estudos variaram a relação água cimento com o objetivo de obter o mesmo nível de espalhamento na mesa de consistência. O Estudo A estabeleceu como índice de consistência o valor de (255 ± 10) mm e durante as aferições constatou que com o aumento da substituição de areia por borracha ocorreu um aumento na relação água/cimento para se manter a trabalhabilidade dentro do intervalo proposto. Já os estudos B e C fixaram o valor em (260 ± 10) mm, no entanto, comparando os dois trabalhos, observa-se que as misturas que utilizaram o resíduo de cerâmica vermelha como substituto do cimento necessitaram menor quantidade de água para atingir o parâmetro de consistência previamente estabelecido.

Os parâmetros mecânicos e físicos, no estado endurecido, das argamassas com substituição do agregado ou aglomerantes também foram analisados. A Figura 1 apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão axial, na idade de 28 dias, das misturas com substituição da areia por resíduo.

Figura 1: Comparação do resultado do ensaio de resistência à compressão argamassas com substituição do agregado.

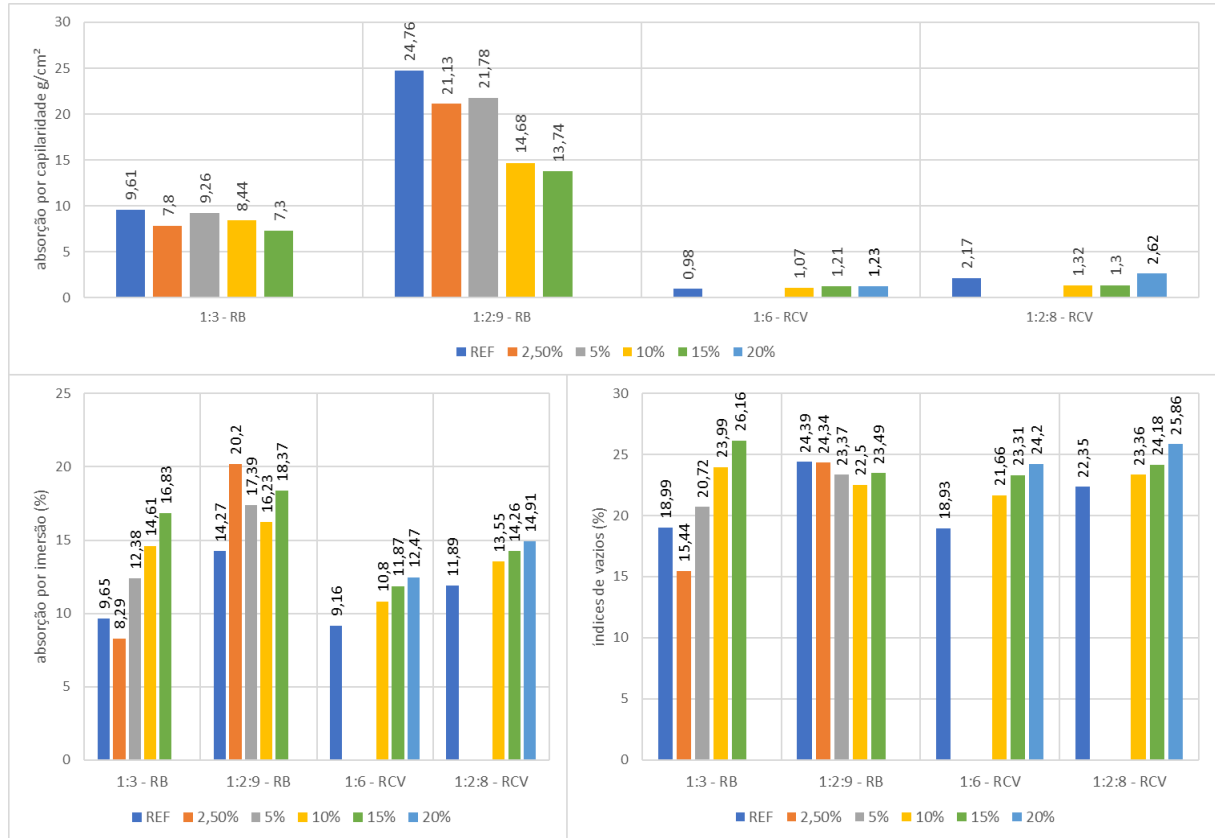


Fonte: Autores.

Observa-se, na Figura 1, que as argamassas confeccionadas com resíduos apresentaram desempenho a resistência à compressão axial estatisticamente inferior ao traço de referência nas quatro composições testadas. De acordo com Pinz (2019), os agregados naturais e reciclados exercem influência nas misturas, desta forma o menor desempenho pode estar relacionado à menor resistência do resíduo em comparação com o agregado natural.

Os dados dos ensaios de absorção de água por capilaridade, absorção de água por imersão e índice de vazios, também foram analisados. O resultado desta análise é apresentado na Figura 2.

Figura 2: Comparação dos resultados dos ensaios físicos das argamassas com substituição do agregado.



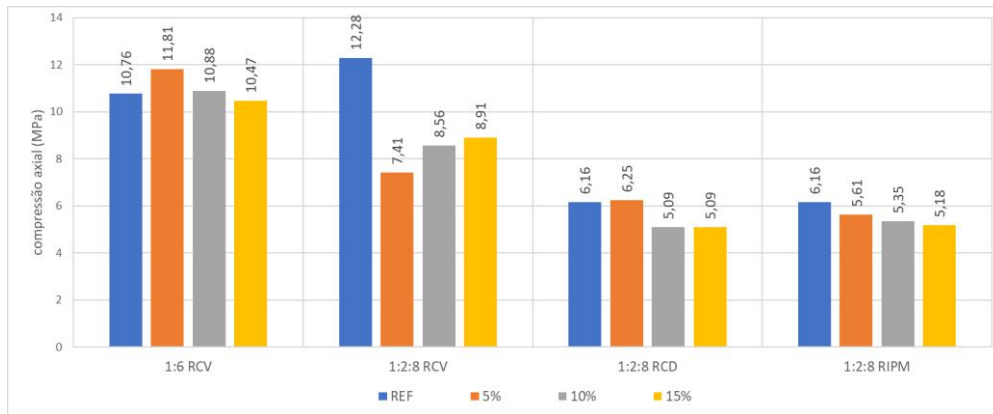
Fonte: Autores.

Nota-se na imagem superior da Figura 2 que, com relação a absorção de água por capilaridade, as argamassas com resíduo de borracha apresentaram menor absorção de água que o traço de referência. Sendo que, o melhor comportamento foi registrado pelo teor de substituição de 5% no traço 1:3 (cimento e areia) e 15% na proporção 1:2:9 (cimento, cal e areia). Já em relação as misturas que utilizaram resíduos de cerâmica vermelha, observa-se que no traço 1:6 houve um acréscimo de absorção de água. No entanto, ao verificar as substituições no traço 1:2:8 (cimento, cal e areia), nota-se que não há alteração deste parâmetro, visto que os teores de 5, 10 e 15% são estatisticamente iguais ao traço de referência.

No que se refere aos resultados de absorção por imersão e índice de vazios apresentados na Figura 2 à esquerda abaixo e à direita abaixo, respectivamente, verifica-se que o resíduo de borracha no teor de 2,5% apresentou redução destes parâmetros no traço 1:3 (cimento e areia). Já no traço 1:2:9 (cimento, cal e areia), identifica-se que o teor de vazios das argamassas foi muito semelhante ao traço de referência. Para as substituições com RCV, percebe-se valores mais elevados do que o traço de referência, sendo o teor de 15% o que mais se afastou do comportamento de referência.

Da mesma forma, as substituições do aglomerante por resíduos foram aferidas. Observa-se na Figura 3 os resultados do ensaio de resistência à compressão axial das argamassas que utilizaram RCV, RCD e RIPM.

Figura 3: Comparação do resultado do ensaio de resistência à compressão argamassas com substituição do aglomerante

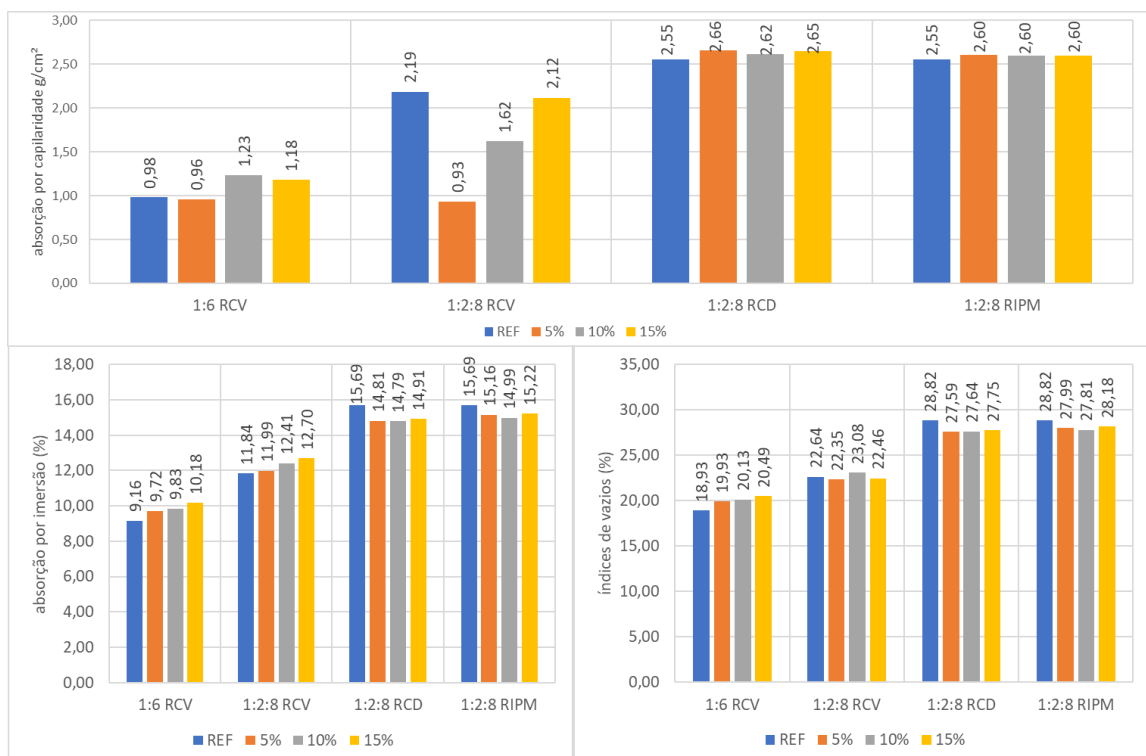


Fonte: Autores.

Ao analisar a Figura 3, percebe-se que o resíduo de cerâmica vermelha, ao ser utilizado como substituto do cimento no traço 1:6 (cimento e areia) em teores de 5, 10 e 15%, proporciona argamassas com resistência a compressão estatisticamente equivalentes ao traço de referência. Entretanto, quando aplicado em argamassas mistas de cimento e cal, com proporção de 1:2:8 (cimento, cal e areia), nota-se que ocorreu uma redução no desempenho das misturas. Já entre as argamassas que testaram a incorporação do resíduo de construção e demolição, a análise estatística demonstrou que o teor de substituição de 5% apresentou resistência equivalente ao traço de referência. Semelhantemente, as misturas com resíduo da indústria de pré-moldados, com teores de 5, 10 e 15%, também demonstraram comportamento análogo a esse traço.

De modo similar, os ensaios de absorção de água por capilaridade, absorção de água por imersão e índices de vazios das argamassas com substituição do aglomerante foram analisadas. Os resultados desta análise são expostos na Figura 4.

Figura 4: Comparação dos resultados dos ensaios físicos das argamassas com substituição do aglomerante.



Fonte: Autores.

O resultado do ensaio de absorção de água por capilaridade, apresentado na parte superior da Figura 4, demonstrou que nas argamassas preparadas com a proporções 1:6, apenas o teor de 10% de substituição do cimento por RCV é estatisticamente diferente do traço de referência. Já entre as argamassas confeccionadas com traço 1:2:8, observa-se que houve maior variabilidade entre as misturas, sendo que o teor de 5% do RCV apresentou desempenho superior ao traço de referência e os percentuais de 10 e 15% apresentaram equivalência estatística. Já as argamassas com RIPM e RCD, apesar dos valores de absorção de água por capilaridade serem muito próximos, verifica-se que estatisticamente os teores de 5, 10 e 15% do RIPM e 10% do RCD são equivalentes ao traço de referência.

Por fim, os resultados de absorção por imersão e índice de vazios apresentados na Figura 4 à esquerda abaixo e à direita abaixo, respectivamente, demonstra que entre as argamassas que utilizaram o traço 1:2:8, apenas o teor de 10% de substituição do RCV não se equiparou estatisticamente com o traço de referência. Já a argamassa hidráulica, confeccionada com proporções de 1:6, identificou ocorrência de diferença estatística entre todas as médias analisadas.

4. Considerações Finais

A partir da análise dos resultados das argamassas estudadas, nota-se que a tipologia do resíduo e o teor de substituição deste pode exercer influência nas propriedades físicas e mecânicas das misturas. De modo geral, pode-se concluir, através desta análise comparativa, que as misturas com substituição do agregado apresentaram queda em seu desempenho mecânico, mas, em contrapartida, a substituição da areia por RCV no traço 1:2:8 apresentou parâmetros físicos equivalentes ao traço de referência. Em relação as substituições do aglomerante, percebe-se desempenho satisfatório para misturas confeccionadas com traço 1:2:8, tanto para a resistência a compressão axial quanto para os parâmetros físicos analisados, nas três tipologias de resíduos, sendo eles: RCV, RCD e RIPM.

Além disso, é importante salientar a relevância de pesquisas experimentais que possibilitem o reaproveitamento dos resíduos gerados, pois além de reduzir os custos com o descarte contribui para a minimização dos impactos ambientais e a preservação do meio ambiente. A incorporação de diferentes tipologias de resíduos em argamassas é uma alternativa para o destino do produto, proporcionando uma opção de destinação adequada, visto que algumas vezes ele se encontra depositado sobre áreas urbanas.

Referências

- ABNT NBR 7211, de 29 de abril de 2009. Agregados para concretos - Especificações). Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Aciu, C, Varvara, D.A.I, Manea, D.L, Orban, Y.A, Babota, F. (2018) Recycling of plastic waste materials in the composition of ecological mortars. *Procedia Manufacturing*, 22, 274–279.
- Almada, B. S., Santos, W. J. D., & Souza, S. R. (2022). Marble and granite waste as mineral addition in mortars with different water-cement ratios. *Ambiente Construído*, 22, 7-22. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212022000400624>
- Apolinário, E. C. D. A. (2014). *Influência da adição do resíduo proveniente do corte de mármore e granito (RCMG) nas propriedades de argamassas de cimento Portland* (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil.
- Araújo, R. A. (2017). *Influência da utilização de resíduo de cerâmica vermelha nas propriedades de argamassas mistas* (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil.
- Battagin, A. F. Cimento Portland. In: ISAIA, G. C (Org.) (2011). *Concreto: Ciência e Tecnologia*. IBRACON.
- Bortoletto, M., Guimarães, P. V. C., da Silva, R. G., & Akasaki, J. L. (2017). Avaliação do resíduo Cinza da Madeira de Eucalipto como substituição parcial da areia em argamassas de cimento. *Revista Científica ANAP Brasil*, 10(18).
- Castro, T. R. D., & Martins, C. H. (2016). Avaliação da adição de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar em argamassas mistas. *Ambiente Construído*, 16, 137-151.
- Cincotto, M. A., Quarcioni, V. A., John, V. M. Cal na construção civil. In: ISAIA, G. C (Org.) (2007). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. IBRACON, 1, 695-726.

- Fonseca, M. J. M., & Maintinguer, S. I. (2019). Aplicação da logística reversa na construção civil como mecanismo ambiental sustentável em políticas públicas. *Brazilian Journal of Development*, 5(1), 140-149. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n1-872>
- Kurz, M. N. (2017). *Análise da potencialidade do uso de resíduo de borracha de pneu, em argamassa de revestimento externo, na cidade de Pelotas/RS cimento* (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.
- Lemes, S. P. D. S. (2013). *Análise de desempenho em argamassa de assentamento e de revestimento com incorporação de cinza de casca de arroz em alvenaria de bloco estrutural e de vedação*.
- Lopes, R. K., Piovesan, J.C., Ribeiro, M.P., Costa, F.M., & Jardim, P.I.G. (2018). Utilização de resíduo moído de vidro na substituição parcial do cimento Portland em argamassas. In: 60º Congresso Brasileiro do Concreto, 17 a 21 de setembro de 2018, Foz do Iguaçu.
- Lucas, D., & Benatti, C. T. (2008). Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. *Revista em agronegócio e meio ambiente*, 1(3), 405-418.
- Marques, M. L., Silva, E. J., Velasco, F. G., & Junior, C. C. M. F. (2014). Potencialidades do uso de resíduos de celulose (DREGS/GRITS) como agregado em argamassas. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 16(4), 423-431.
- Monte Júnior, Í. V. (2017). *Influência do agregado reciclado de concreto no comportamento de argamassas mistas para uso em revestimento* (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil.
- Pimentel, L. L., Rizzo, G. F., Jacintho, A. E. P. G. D. A., & Fontanini, P. S. P. (2020). Concrete produced with recycled aggregate: a durability analysis for structural use. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 13. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952020000600013>
- Pinz, F. P. (2019). *Influência do resíduo de cerâmica vermelha em argamassas na substituição parcial do agregado ou do cimento* (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.
- Prodanov, C. C., & De Freitas, E. C. (2013). *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-* (2a ed.). Editora Feevale.
- Scherer, C. B. (2019). *Avaliação de desempenho de argamassas modificadas com agregados finos de vidro*. Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS, Brasil.
- Schiller, A. P. S. (2022). *Análise do uso de resíduos da construção civil como substituinte parcial do aglomerante em argamassa de revestimento* (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.
- Souza, L. L., Lobo, R. R., Moreira, D. A., Brito, R. P., & Júnior, A. P. (2021). Estudo da viabilidade técnica de reutilização dos rejeitos da construção civil e reforma. *Research, Society and Development*, 10(9), e20710917842-e20710917842. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.17842>
- Vieira, B. A., & Nogueira, L. (2018). Construção civil: crescimento versus custos de produção civil. *Sistemas & Gestão*, 13(3), 366-377. <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2018.v13n3.1419>