

ESTUDO DO TEOR DE SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUO DE BORRACHA EM ARGAMASSA DE CIMENTO E CAL

Study of the replacement content of small aggregate by rubber residue in cement and lime mortar

Mônica Navarini Kurz ¹, Charlei Marcelo Paliga ², Ariela da Silva Torres ³

Recebido em 24 de junho de 2017; aceito em 07 de março de 2018; disponível on-line em 25 de julho de 2018.



PALAVRAS CHAVE:

Resíduo de borracha;
 Argamassa de revestimento;
 Tecnologia da arquitetura;
 Inovação da construção;
 Propriedades mecânicas;

KEYWORDS:

Rubber residue;
 Coating mortar;
 Architecture technology;
 Construction innovation;
 Mechanical properties.

RESUMO: O setor da construção civil vem absorvendo resíduos e transformando-os em componentes para utilização nas construções, especialmente através da incorporação em materiais como argamassas e concretos. Com o crescente número de veículos automotivos, ocorreu um aumento na produção de pneus e, conseqüentemente, de seus resíduos. Portanto, o presente estudo tem o objetivo de avaliar o melhor teor de substituição de agregado miúdo por resíduo de borracha em argamassa de cimento e cal, a partir da comparação com uma argamassa de referência, analisando o comportamento físico e mecânico. Para verificar a melhor relação de substituição, os ensaios foram realizados em argamassa referência (traço 1:2:9) e em argamassas com resíduos nas proporções de 2,5%, 5%, 10% e 15% de substituição de areia por borracha. Para caracterização das argamassas foram realizados ensaios de índice de consistência, resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, absorção por capilaridade e absorção por imersão. Os resultados indicam que nas argamassas com resíduo ocorreu um aumento na relação a/c para se manter a trabalhabilidade e um decréscimo nas resistências. Além de, uma diminuição na absorção por capilaridade e um aumento na absorção por imersão. Apesar de provocar mudanças no comportamento da argamassa, aponta-se o uso desse resíduo como alternativa viável, tanto ambiental quanto de desempenho.

ABSTRACT: The construction industry has been absorbing and transforming them into components for use in construction, especially through the incorporation of materials such as mortars and concretes. With the increasing number of automotive vehicles, there has been an increase in the production of tires and, consequently, of their waste. Therefore, the present study has the objective of evaluating the best content of substitution of small aggregate by rubber residue in cement and lime mortar, from the comparison with a reference mortar, analyzing the physical and mechanical behavior. To verify the best substitution ratio, the tests were performed in reference mortar (trace 1:2:9) and mortar with residuals in the proportions of 2.5%, 5%, 10% and 15% of Sand for rubber. To characterize the mortars, tests of consistency index, axial compression strength, tensile strength by diametrical compression, capillary absorption and immersion absorption were performed. The results indicate that in the mortars with residue an increase in the w/c ratio was observed to maintain the workability and a decrease in the resistances. In addition to, a decrease in capillary absorption and an increase in absorption by immersion. Although it causes changes in mortar behavior, the use of this residue is indicated as a viable alternative, both environmental and performance.

* Contato com os autores:

¹ e-mail: monicanavarini@yahoo.com.br (M. N. Kurz)

Engenheira Civil, mestranda em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Pelotas.

² e-mail: charlei.paliga@ufpel.edu.br (C. M. Paliga)

Engenheiro Civil, Doutor, Professor na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Departamento de Tecnologia da Construção, Universidade Federal de Pelotas.

³ e-mail: arielatorres@gmail.com (A. S. Torres)

Engenheira Civil, Doutora, Professora, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Departamento de Tecnologia da Construção, Universidade Federal de Pelotas.

1. INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações que perturbam cidadãos, autoridades e organizações, de acordo com Paixão (2011), é como se pode garantir a sustentabilidade das cidades. Quando nos deparamos com os sinais de degradação do meio ambiente e de como o planeta está sentindo tudo que já retiramos e modificamos dele, através de atividades e ações predatórias, percebemos a necessidade de agir e modificar, ou ao menos minimizar, a situação atual.

Conforme salienta Paixão (2011), os setores de atividades humanas e processos produtivos geram, em sua maioria, grande quantidade de resíduos, que são descartados, muitas vezes, de forma incorreta e descontrolada, causando um impacto no sistema de urbanização das cidades, visto que estes resíduos lançados no meio ambiente, além de agredirem o mesmo, geram a ocupação de grandes vazios urbanos, prejudicando a estrutura das cidades.

Segundo Sales e Mendes (2013), a construção civil, além de possuir um grande potencial de geração de resíduos, consome grandes quantidades dos recursos naturais não renováveis. No entanto, vários segmentos desse setor desenvolvem estudos sobre como absorver esse material gerado, tanto pelo próprio segmento quanto por vários segmentos industriais, para transformá-lo em componentes a serem utilizados nas construções. Uma maneira de utilizar estes resíduos é incorporando esses materiais em argamassas e concretos, substituindo e mesclando, parcial ou total, um componente não (re)aproveitável ou renovável por resíduos.

De acordo com Bezerra (2010), a grande preocupação que envolve o desenvolvimento de novos materiais é a necessidade de investigações quanto à durabilidade, qualidade e viabilidade da utilização destes novos materiais, visto que estes são aspectos importantes para produtos da construção civil. Sobre a mesma questão, Souza (2008) aborda que o produto com uso de material reciclado necessita satisfazer às solicitações a que

será submetido e as recomendações previstas pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), devendo ser funcional para o usuário e para indústria da construção civil.

A reciclagem de resíduos além de ser uma das alternativas de variar a oferta de matéria-prima para a utilização como materiais de construção, é uma forma de contribuir para a preservação ambiental. Um desses resíduos, que vêm crescendo em grande quantidade, devido ao aumento no número de veículos automotivos produzidos, é o pneu. Tal material apresenta, segundo Lagarinhos e Tenório (2013), um rápido desenvolvimento tecnológico e de produção, devido ao aumento da população e da demanda por novas tecnologias com redução do ciclo de vida dos produtos e bens de consumo; e grande quantidade, devido ao aumento no número de veículos automotivos produzidos. Devido a este fato, como comenta Marques (2005), vários pesquisadores vêm investigando alternativas de reciclagem deste material, por se tratar de um resíduo de difícil absorção pelo meio ambiente.

2. OBJETIVO

O presente estudo tem o objetivo de avaliar o melhor teor de substituição de agregado miúdo por resíduo de borracha em argamassa de cimento e cal, a partir da comparação com uma argamassa de referência, analisando o comportamento físico e mecânico por meio de ensaios normatizados pela ABNT.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o aumento da conscientização da população pela preservação do meio ambiente e saúde pública, estudos vêm verificando a potencialidade de utilização de resíduos de borracha como agregado em argamassas e concretos. No qual representam um avanço para o setor de construção civil e para o meio ambiente, auxiliando a retirada dos resíduos da natureza e diminuindo a extração de materiais naturais para

fabricação de produtos utilizados nas construções.

Silva (2008) define as principais funções da argamassa como: unir componentes de alvenaria, regularizar a absorção da base ou melhorar a aderência, corrigir imperfeições da base, cobrir e regularizar a superfície da base, unir componentes do acabamento decorativo e dar acabamento final à superfície. Para o autor, as argamassas ainda possuem outras funções e particularidades como: beleza, dificultar a infiltração de água, impedir a proliferação de ácaros e alojamento de mosquitos, evitar doenças transmitidas por vetores e melhorar as condições respiratórias dos moradores.

De acordo com Caraseck (2007), as argamassas de revestimento são utilizadas para revestir paredes, muros e tetos, os quais, geralmente, recebem acabamentos como pintura, revestimentos cerâmicos, laminados, entre outros. Entre as propriedades essenciais ao bom desempenho das argamassas de revestimento, estão: trabalhabilidade, especialmente consistência, plasticidade e adesão inicial; retração; aderência; permeabilidade à água; resistência mecânica, principalmente a superficial; capacidade de absorver deformações.

Segundo Canova (2008), a reutilização de pneus inservíveis tem sido muito viável devido a sua alta durabilidade, por ser um material altamente elástico e ter a função de isolante devido à sua baixa condutividade térmica e sonora.

Muitos estudos vêm verificando a potencialidade de utilização de resíduos de borracha como agregado em argamassas. Pode-se verificar nas pesquisas que, em relação as resistências, tanto de compressão axial como de tração por flexão e tração por compressão diametral os estudos mostram que as argamassas com incorporação de resíduos de borracha apresentam queda nos valores de resistência, citando-se os trabalhos de Turatsinze et al. (2005), Marques et al. (2008), Uygunoğlu e Topçu (2010) e Abd. Aziz et al. (2017).

O módulo de elasticidade das argamassas

compostas com resíduos de borracha foi estudado, entre outros autores, por Meneguini (2003), Sales e Mendes (2013) e Kristiawan e Hapsari (2017). Os estudos mostraram que as argamassas com resíduo possuíram uma redução no módulo de elasticidade, sendo favorável em termos de deformação.

4. METODOLOGIA

O programa experimental se baseia em uma argamassa referência e argamassas com resíduo de borracha. O traço utilizado foi de uma argamassa de cimento, cal e agregado miúdo, na proporção de 1:2:9, sendo baseado na norma brasileira NBR 7200 (ABNT, 1992). Apesar desta norma já ter sido revisada (NBR 7200, ABNT 1998), na nova versão não possui indicação de traço de argamassa com cal, por este fato, optou-se por utilizar o traço exposto na penúltima revisão, a versão de 1992.

As proporções de substituição de areia por resíduo de borracha foram de 2,5%, 5%, 10% e 15%, visando verificar a influência do resíduo nas propriedades físicas e mecânicas da argamassa. Sales e Mendes (2013) utilizaram as proporções de 5% e 10%, porém optou-se por abranger outras duas substituições, com maior e menor porcentagem de substituição para se obter uma abrangência maior sobre o comportamento da argamassa com resíduo. Nestas proporções, a borracha substituirá o agregado miúdo, mantendo a relação do traço referência de 1:2:9 (cimento: cal: agregado miúdo - areia + borracha).

Para confecção das argamassas, os agregados, areia e borracha, foram divididos em quatro frações passantes nas peneiras granulométricas: 2,00; 1,18; 0,600; 0,300mm. As peneiras escolhidas foram baseadas em Cincotto et al. (2012) e o peneiramento do resíduo de borracha foi escolhido fundamentado em Meneguini (2003), o qual afirma que a diminuição do tamanho das partículas de borracha leva ao melhor desempenho de seu comportamento.

Para verificar a influência das diferentes frações da granulometria nas argamassas, as famílias de substituição de 2,5%, 5%, 10% e 15% foram subdivididas em quatro subfamílias: subfamília 4 (substitui a proporção nas quatro frações de areia por borracha); 3 (substituição nas três frações mais finas); 2 (substituição nas duas frações mais finas); 1 (substituição somente na fração mais fina), conforme mostrado na Figura 1.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizado o cimento Portland CP IV-32, escolhido por sua disponibilidade para aquisição e por ser um dos tipos mais empregados em obras

de construção civil da região; cal hidratada; água potável proveniente da rede de distribuição municipal, fornecida pela concessionária local (SANEP - Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas); areia quartzosa lavada, de granulometria média. O resíduo de borracha de pneu utilizado foi adquirido junto a reformadora de pneus localizada na cidade de Pelotas/RS. Este resíduo provém da banda de rodagem, por meio da recapagem dos pneus. Portanto, possui tanto o pó do resíduo, como partículas maiores em formato alongado, conforme apresentado na Figura 2.

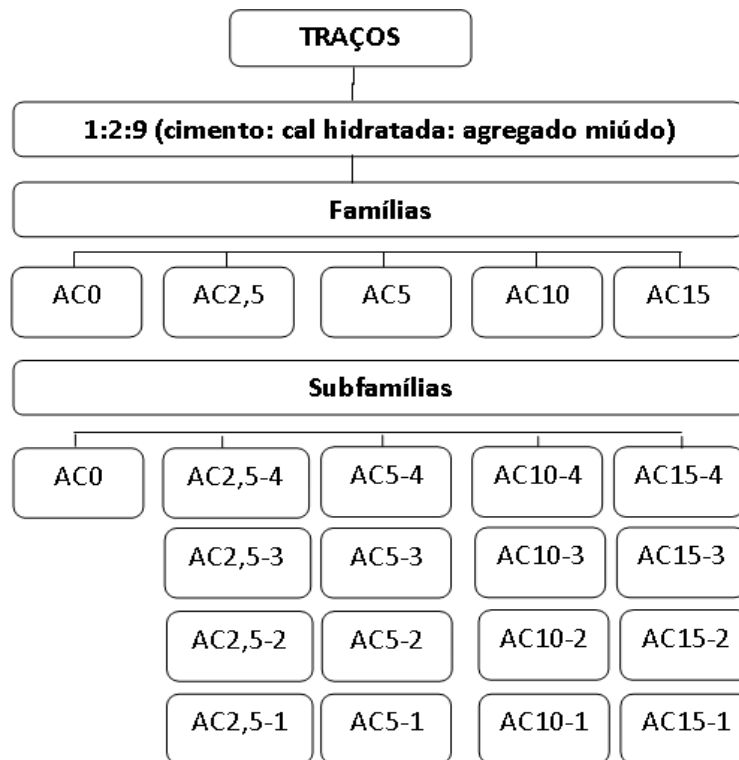


FIGURA 1: Fluxograma das famílias e subfamílias de argamassas.

FONTE: Autoria Própria.



FIGURA 2: Resíduo de borracha de pneu.

FONTE: Autoria Própria.

Para confecção dos corpos-de-prova, os agregados foram peneirados e a areia foi mantida em estufa por 24 horas. A confecção das argamassas ocorreu de acordo com a NBR 13276 (2005).

Com intuito de manter a trabalhabilidade dos diferentes traços de argamassa, fixou-se o índice de consistência ao invés da relação água/cimento. Portanto, a quantidade de água que foi acrescida à mistura foi determinada a partir do índice de consistência adotado para argamassa, que é o intervalo de (255 ± 10) mm, conforme referenciado por Canova et al. (2007). O ensaio do índice de consistência foi realizado seguindo as diretrizes da norma NBR 13276 (2005), realizado com a argamassa em estado plástico sob a mesa de fluidez. Após o ensaio de consistência foram moldados 15 corpos de prova cilíndricos, de 50x100mm, para cada subfamília de argamassa, seguindo a norma NBR 7215 (1996) para moldagem de corpos de prova.

Para avaliação das argamassas em estado endurecido, os ensaios realizados foram: resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, absorção por capilaridade, absorção por imersão e índice de vazios.

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado de acordo com a norma NBR 7215 (1996), em duas idades da argamassa, aos 28

dias, na qual foram rompidos três corpos-de-prova de cada traço. Os valores de resistência à compressão axial das argamassas foram classificados conforme a norma NBR 13281 (ABNT, 2001), que define valores mínimos de resistência e as classifica em três identificações de acordo com a resistência obtida, conforme mostra a Tabela 1.

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral consiste em aplicar uma carga na direção transversal do corpo de prova (geratriz), distribuindo a carga por meio de uma tira de madeira. Conforme a norma NBR 7222 (2011), as tiras de madeira foram colocadas entre o prato da máquina e o corpo de prova, sendo que foram rompidos três corpos de prova de cada traço na idade de 28 dias.

A absorção de água por capilaridade foi realizada de acordo com a norma NBR 9779 (2013) em três corpos de prova de cada traço na idade de 28 dias. Foi determinada a massa saturada dos corpos de prova com idades de 3h, 6h, 24h, 48h e 72h, contadas a partir da colocação destes em contato com a água.

O ensaio de absorção por imersão baseou-se no procedimento da NBR 9778 (2009), realizado em três corpos de prova de cada traço na idade de 28 dias. Por meio deste ensaio foi determinada a absorção, o índice de vazios e as massas específicas das amostras.

TABELA 1: Exigências mecânicas para argamassas.

Característica	Classe	Limites
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $< 4,0$
	II	$\geq 4,0$ e $\leq 8,0$
	III	$> 8,0$

FONTE: Adaptado da NBR 13281 (ABNT, 2001).

Para análise dos resultados obtidos nos ensaios do estado endurecido, foi realizada uma análise estatística, onde inicialmente foi feita uma análise exploratória dos dados para o conhecimento de algumas de suas propriedades e até mesmo verificar o quanto as suposições do modelo teórico utilizado se verificavam. Após, foi realizada uma análise ANOVA com teste F para as argamassas com adição de borracha, com intuito de identificar qual seria a melhor combinação.

A análise estatística utilizou como variáveis independentes as famílias (2,5%, 5%, 10% e 15%) e as subfamílias (1, 2, 3 e 4), e como variáveis dependentes: resistência à compressão axial; resistência à tração por compressão diametral; absorção por capilaridade; e absorção por imersão. Após estas análises utilizou-se o programa *Primer* para realizar a Análise de Componentes Principais e obter um resultado de argamassa com melhor desempenho para cada ensaio.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio do ensaio de índice de consistência se observou que com a adição de resíduo de borracha ocorreu um aumento na relação água/cimento para se manter a

trabalhabilidade dentro do intervalo proposto, conforme mostrado na Figura 3. Este fato também foi obtido no estudo de Ferreira (2009), onde observou que com a adição de resíduo de borracha ocorreu uma diminuição no índice de consistência.

Outro fator observado é que a relação a/c aumenta para as subfamílias com menores frações de substituição. Ao analisar uma família, nota-se que a que possui maior relação a/c é a com substituição de apenas uma fração, e a com menor relação é a com substituição das 4 frações.

Verifica-se que, para este estudo, o resíduo de borracha atua como um material que aumenta a exigência de água para a mistura, a fim de manter a trabalhabilidade da argamassa.

As propriedades no estado endurecido foram estudadas por meio de ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, absorção por capilaridade, absorção por imersão e índice de vazios. Os resultados obtidos estão mostrados a seguir e referem-se à média dos valores obtidos para três corpos de prova para cada idade.

5.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

A Figura 4 mostra os resultados obtidos para resistência de compressão axial aos 28 dias de idade. Verifica-se que o aumento na

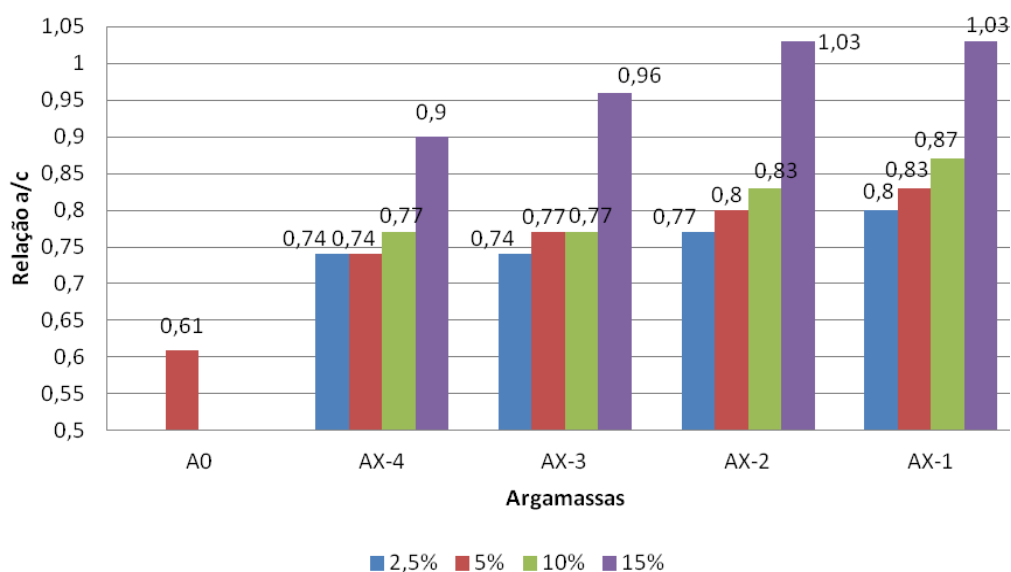


FIGURA 3: Relação a/c das argamassas ensaiadas.

FONTE: Autoria Própria.

porcentagem de incorporação de resíduo de borracha resultou em uma diminuição na resistência à compressão axial, devido ao fato da borracha ser um material com menor resistência do que a areia, sendo que todas as argamassas com resíduo de borracha obtiveram valores inferiores à referência.

Segundo Turki et al. (2009), esta redução nas resistências mecânicas pode ser explicada por análise através de microscopia eletrônica de varredura, pois na argamassa com substituição parcial de borracha, existem espaços vazios entre os agregados de borracha e a matriz de cimento. Já na mistura de referência existe uma aderência

completa entre a matriz de cimento e os agregados naturais.

Avaliando os dados, nota-se que, de acordo com NBR 13281 (ABNT, 2001), todas as argamassas de cimento e cal estudadas foram classificadas na classe I, que possuem resistência aos 28 dias entre 0,1 e 4,0MPa.

A Tabela 2 mostra a porcentagem de decréscimo ocorrida entre as resistências das argamassas compostas com resíduo e da argamassa referência, aos 28 dias. Percebe-se que a subfamília que obteve o menor decréscimo foi a AC10-3, com 60,27%.

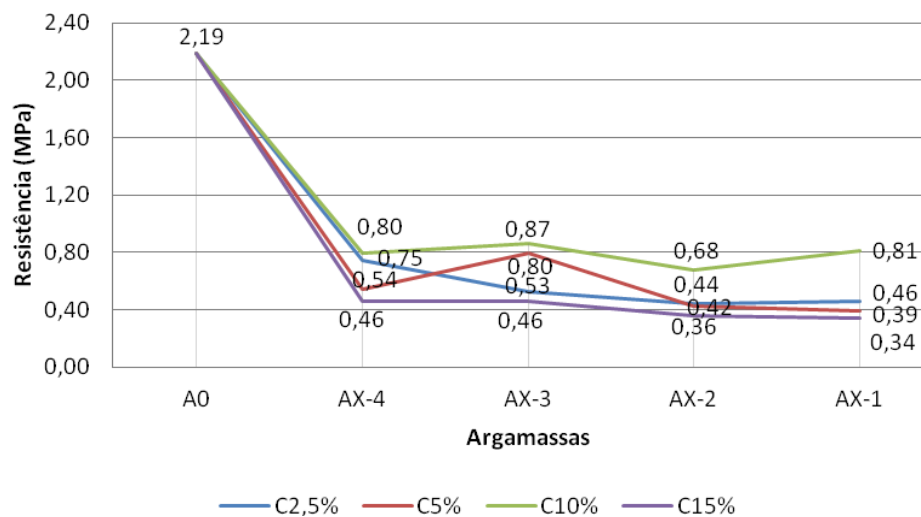


FIGURA 4: Resistência à compressão axial aos 28 dias.

FONTE: Autoria Própria.

TABELA 2: Decréscimo ocorrido entre argamassas compostas e argamassa referência - Resistência à compressão axial.

Família	4 Frações de substituição	3 Frações de substituição	2 Frações de substituição	1 Frações de substituição
AC2,5	65,75	75,80	79,91	79,00
AC5	75,34	63,47	80,82	82,19
AC10	63,47	60,27	68,95	63,01
AC15	79,00	79,00	83,56	84,47

FONTE: Autoria Própria.

5.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

As resistências à tração por compressão diametral, aos 28 dias, estão mostradas na Figura 5. Analisando os resultados, percebe-se que a argamassa com melhor comportamento em todas as frações de substituição foi da família AC10. Na substituição das quatro frações, a menor resistência foi da família AC15. Nos resultados das subfamílias com três frações e com uma fração substituída, as famílias AC2,5 e AC15 obtiveram as mesmas resistências, e na substituição de duas frações duas famílias (AC2,5 e AC5) também atingiram o mesmo resultado.

A Tabela 3 mostra a porcentagem de decréscimo ocorrida entre as resistências das argamassas com cal compostas com resíduo e da argamassa referência. Percebe-se que três subfamílias obtiveram o maior decréscimo, sendo a AC2,5-1, AC15-4 e AC15-1 com um valor de 72,73%. A subfamília com menor porcentagem de decréscimo foi a AC10-3 com 40,91%. Ao comparar

a porcentagem de decréscimo de resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral, percebe-se que à compressão axial possui uma redução mais elevada do que à tração por compressão diametral, assim como ocorreu nas argamassas só de cimento, visto que, ao compararmos os valores da argamassa AC15-1, onde ocorreu a maior diminuição de resistência em ambos os ensaios, esta possui um decréscimo de 84,47% na compressão axial e 72,73% na tração por compressão diametral. Neste último caso, as argamassas AC15-4 e AC2,5-1 também obtiveram esta porcentagem de diminuição. Assim como nas argamassas de cimento, provavelmente este fato pode ser explicado devido à capacidade elástica do resíduo de borracha, fazendo com que ocorra menor interferência no desempenho da tração por compressão diametral. Outro fator a ser observado é que em ambos ensaios de resistência, à compressão axial e à tração por compressão diametral, a subfamília com melhor desempenho foi a AC10-3.

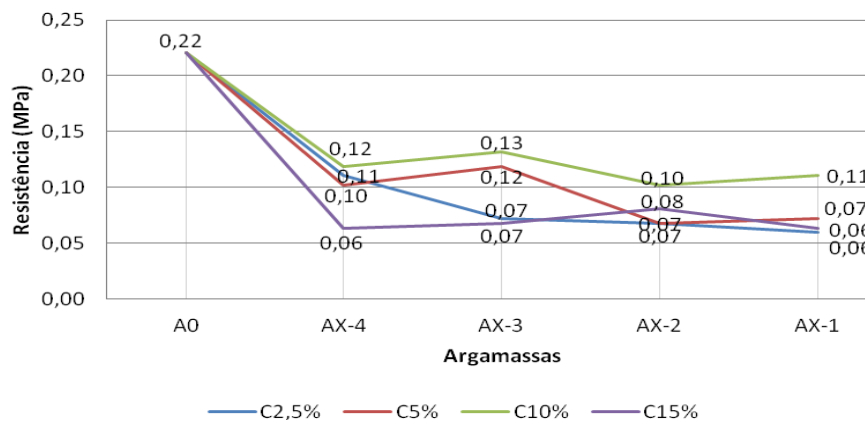


FIGURA 5: Resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias.

FONTE: Autoria Própria.

TABELA 3: Decréscimo ocorrido entre argamassas compostas e argamassa referência - Resistência à tração por compressão diametral.

Família	4 Frações de substituição	3 Frações de substituição	2 Frações de substituição	1 Frações de substituição
AC2,5	50,00	68,18	68,18	72,73
AC5	54,55	45,45	68,18	68,18
AC10	45,45	40,91	54,55	50,00
AC15	72,73	68,18	63,64	72,73

FONTE: Autoria Própria.

5.3 ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

A Figura 6 apresenta a absorção de água por capilaridade na idade de 72 horas. Verifica-se que o melhor (menor absorção) e o pior comportamento (maior absorção) estão em subfamílias com três frações de substituição, sendo a menor absorção da argamassa AC15-3 e a maior absorção da AC10-3. Todas as argamassas com resíduo obtiveram absorção inferior a argamassa referência, se tornando uma vantagem a utilização de resíduos em argamassas de revestimento.

Analisando a família com 2,5% de substituição de resíduo, percebe-se que todas as argamassas resultaram em uma absorção muito próxima entre elas, sendo iguais para as substituições de duas e uma fração e iguais entre as subfamílias com quatro e três frações substituídas, onde estas últimas apresentaram o melhor desempenho

com uma absorção inferior as demais.

Para família com 5% de substituição, a argamassa com menor absorção foi a AC5-3. Na substituição de 10% de areia por resíduo, a subfamília com melhor desempenho é a AC10-4, e para família com 15% a menor absorção foi da argamassa AC15-3.

5.4 ABSORÇÃO POR IMERSÃO

A Figura 7 apresenta a absorção obtida na argamassa referência e nas argamassas compostas com resíduo. Analisando os resultados, verifica-se que todas as argamassas contendo resíduo de borracha obtiveram absorção superior a argamassa referência, sendo que não houve uma continuidade no acréscimo de absorção, conforme ocorreu o aumento de substituição de areia por resíduo de borracha. O traço com incorporação de resíduo que obteve melhor desempenho foi o AC2,5-2.

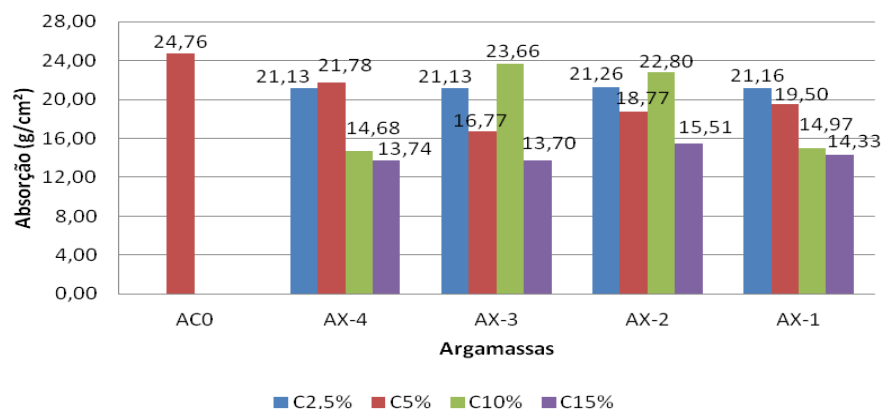


FIGURA 6: Resultados ensaio absorção por capilaridade.

FONTE: Autoria Própria.

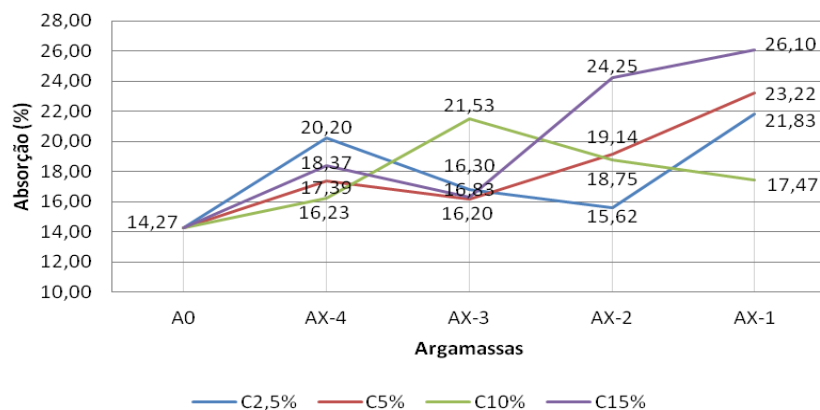


FIGURA 7: Resultados ensaio absorção por imersão.

FONTE: Autoria Própria.

Para os valores de índice de vazios, assim como na absorção, não ocorreu uma continuidade no acréscimo de índice de vazios com o acréscimo de incorporação de resíduo, sendo que o traço com menor índice de vazios foi o AC15-3 e com maior índice de vazios foi o AC15-1.

Os valores de massas específicas mostraram que todas as argamassas com resíduos apresentaram massa específica inferior a argamassa referência. Este fato pode ser explicado devido à borracha possuir uma massa específica inferior à da areia.

5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

De acordo com a análise ANOVA, para as variáveis dependentes resistência à compressão axial, absorção por capilaridade e absorção por imersão ocorreu efeito das variáveis “família” e “subfamília” nos resultados dos elementos, e na interação entre estas variáveis independentes ($p < 0,05$ para todas as análises, com nível de significância de 0,05). Portanto esta análise demonstrou que houve diferença significativa

entre as médias das resistências para as famílias e subfamílias, ou seja, a hipótese de médias iguais para estas variáveis das argamassas pôde ser rejeitada.

Entretanto para variável resistência à tração por compressão diametral a análise mostra que ocorreu efeito das variáveis “família” e “subfamília” na resistência à tração por compressão diametral. Entretanto, na interação entre estas variáveis independentes não foi observado efeito significativo, indicado por $p > 0,05$.

Após estas análises, o programa Primer, por meio da Análise de Componentes Principais, indicou um resultado de argamassa com melhor desempenho em relação a cada uma das variáveis dependentes. Para resistência à compressão axial o resultado indicou como subfamílias com melhor comportamento a AC10-3 e a AC10-4, conforme pode ser visto na Figura 8. Salienta-se que as famílias 1, 2, 3 e 4 que aparecem no gráfico são as 2,5%, 5%, 10% e 15%, respectivamente.

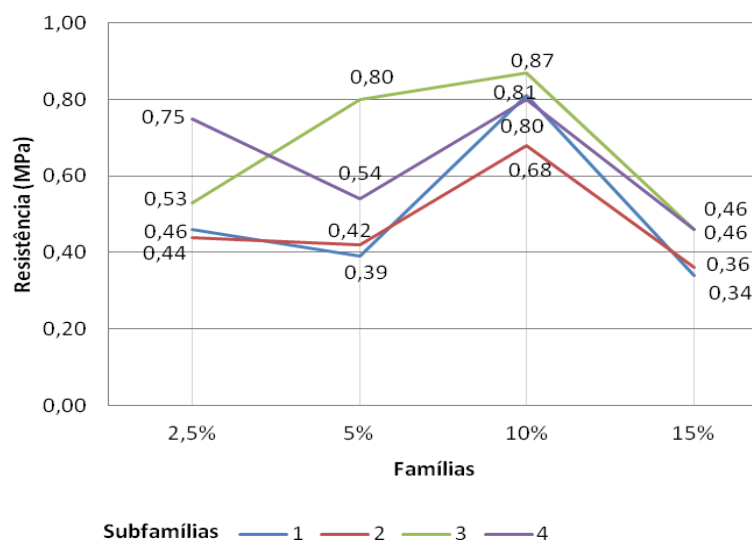


FIGURA 8: Análise componentes principais para a variável resistência à compressão axial.

FONTE: Autoria Própria.

Agora, fazendo-se a avaliação da variável resistência à tração por compressão diametral, foram consideradas as famílias AC10-2, AC10-3 e AC10-4 com melhores desempenhos, conforme Figura 9.

Já para a variável absorção por capilaridade, onde o menor teor de absorção é considerado o melhor, as famílias AC15-1, AC15-3 e AC15-4 foram as de melhores desempenhos, conforme Figura 10.

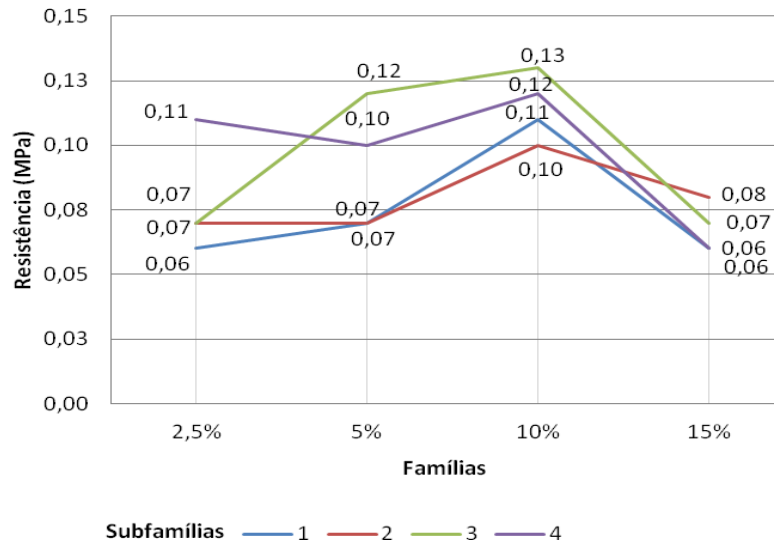


FIGURA 9: Análise componentes principais para a variável resistência à tração por compressão diametral.
FONTE: Autoria Própria.

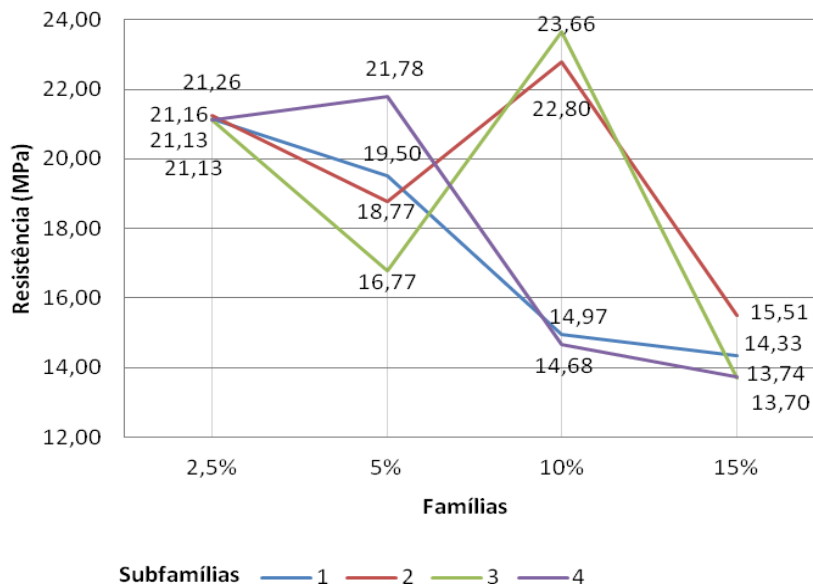


FIGURA 10: Análise componentes principais para a variável absorção por capilaridade.
FONTE: Autoria Própria.

Partindo-se agora para última variável, absorção por imersão (Figura 11), verificam-se os melhores desempenhos nas famílias com 2,5%, 5% e 10% de substituição, associadas às subfamílias 2, 3 e 4.

A Tabela 4 apresenta um resumo das

famílias com melhores desempenhos, de acordo com a análise estatística. Indica-se, por estas análises, que a argamassa que possui um padrão de melhor comportamento é a família AC10-3, ou seja 10% de substituição nas três proporções mais finas.

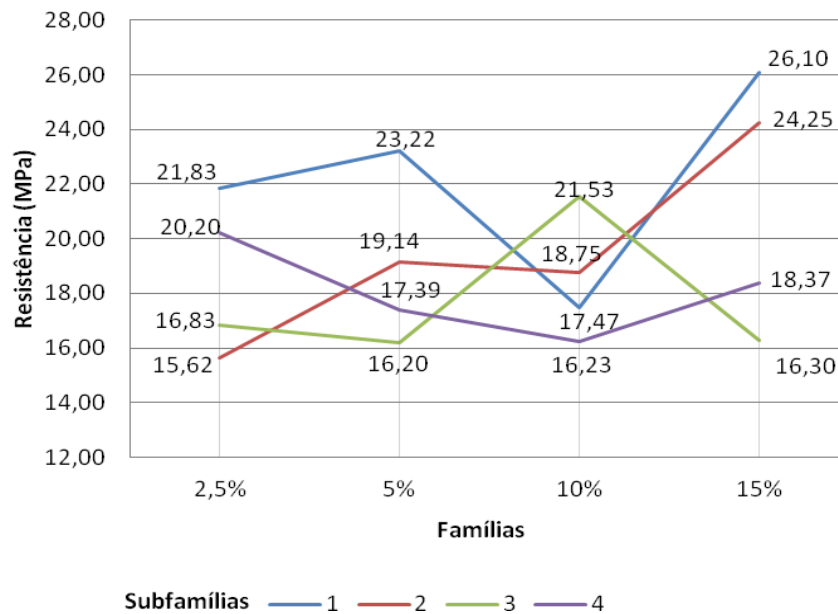


FIGURA 11: Análise componentes principais para a variável absorção por imersão.
FONTE: Autoria Própria.

TABELA 4: Resumo dos melhores desempenhos argamassas com resíduo de borracha.

Propriedade	Família	Subfamília
Compressão axial	10	3 ou 4
Tração por compressão diametral	10	2, 3 ou 4
Absorção por capilaridade	15	1, 3 ou 4
Absorção por imersão	2,5, 5 ou 10	1, 2 ou 3

FONTE: Autoria Própria.

6. CONCLUSÕES

Os ensaios realizados nas argamassas demonstraram que a substituição de areia por resíduo de borracha ocasiona um aumento na relação a/c para manter a trabalhabilidade e o índice de consistência dentro do especificado, sendo que este aumento se mostra superior nas argamassas com maior substituição de areia por resíduo.

Nos ensaios de resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral, foi verificado que o aumento de incorporação de resíduo de borracha resultou em uma diminuição nas resistências. No entanto, mesmo possuindo uma queda nos valores obtidos na resistência à compressão axial, todas as argamassas foram classificadas dentro das classes propostas pela norma brasileira regulamentadora, mostrando que para este parâmetro todas as subfamílias se encontram aptas a serem utilizadas.

Na absorção por capilaridade todas as argamassas com resíduo obtiveram absorção inferior à argamassa referência, sendo vantagem no uso do resíduo de borracha em argamassa de revestimento.

Pode-se verificar, também, que a absorção por imersão todas as argamassas contendo resíduo de borracha obtiveram absorção superior à argamassa referência.

Por meio da análise estatística pode-se concluir que para estas argamassas utilizadas a que possuiu um melhor desempenho foi a AC10-3, ou seja, com 10% de substituição de areia por resíduo de borracha nas três frações granulométricas mais finas.

Para tanto, conclui-se que a utilização de resíduo de borracha em argamassas provoca mudanças de comportamento. Apesar dos valores mais baixos de resistência, seu emprego pode ser viável, pois em muitas utilizações, a resistência não é o ponto mais importante. Tendo a utilização de resíduo de borracha um potencial de melhoria de uma importante propriedade nos revestimentos de argamassa (diminuição no

aparecimento fissuras), aponta-se o uso desse resíduo em substituição ao agregado natural, como alternativa viável, tanto ambiental quanto de desempenho.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecimento a CAPES/CNPQ pela disponibilidade da bolsa e ao laboratório da Engenharia Civil da UFPel pela utilização do espaço para realização dos ensaios.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD. AZIZ, F. N. A.; SANI, M. B.; NOOR AZLINE, M. N.; JAAFAR, M. S. A Comparative Study of the Behaviour of Treated and Untreated Tyre Crumb Mortar with Oil Palm Fruit Fibre Addition. *Pertanika Journal of Science & Technology*, vol. 25, p. 101-120, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** NBR 9778. Rio de Janeiro, 2009. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade.** NBR 9779. Rio de Janeiro, 2013. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** NBR 13276. Rio de Janeiro, 2005. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos.** NBR 13281. Rio de Janeiro, 2001. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da resistência à compressão.** NBR 7215. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** NBR 7222. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento.** NBR 7200. Rio de Janeiro, 1992.

- BEZERRA, I. M. T. **Cinza da casca do arroz utilizada em argamassas de assentamento e revestimento**. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.
- CANOVA, J. A.; BERGAMASCO, R.; ANGELIS NETO, G. de. A utilização de resíduos de pneus inservíveis em argamassa de revestimento. **Acta Scientiarum Technology**, vol. 29, n. 2, p. 141-149, Maringá, 2007.
- CANOVA, J. A. **Influência da adição de pó de borracha em argamassa de revestimento**. Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.
- CARASEK, H. **Argamassas**. In: Instituto Brasileiro do Concreto. Livro Materiais de Construção Civil, 2007.
- CINCOTTO, M. A.; ÂNGULO, S. C.; CARNEIRO, A. M. P. Composições granulométricas de argamassas e seus efeitos no estado fresco e endurecido. **4º Congresso Português de Argamassas e Etics**, Coimbra, 2012.
- FERREIRA, C. R. G. **Análise de propriedades térmicas e mecânicas de compósitos de argamassa e resíduo de borracha**. Dissertação ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.
- KRISTIAWAN, S. A.; HAPSARI, A. N. D. Delamination Tendency of Repair Mortar Incorporating Crumb Rubber. **Procedia Engineering**, vol. 171, p. 734-743, 2017.
- LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. Logística reversa dos pneus usados no Brasil. **Polímeros**, vol. 23, n. 1, p. 49-58, São Carlos, 2013.
- MARQUES, A. C. **Estudo da influência da adição de borracha vulcanizada em concreto à temperatura ambiente e elevada temperatura**. Dissertação da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.
- MARQUES, A. C., AKASAKI, J. L., TRIGO, A. P. M., MARQUES, M. L. Influence of the surface treatment of tire rubber residues added in mortars. **Revista IBRACON Estruturas e Materiais**, vol. 1, n.2, p. 113-120, São Paulo, Jun. de 2008.
- MENEGUINI, E. C. A. **Comportamento de argamassas com emprego de pó de borracha**. Dissertação do Curso de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- PAIXÃO, C. A. B. **Utilização de refugos de revestimentos cerâmicos (porcelanato e azulejo) em substituição à areia em argamassas cimentícias**. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- SALES, A. T. C.; MENDES, J. S. S. Argamassas com agregado miúdo de resíduos de recauchutagem de pneus. In: **Simpósio Internacional em Inovação Tecnológica**, 4, Anais SIMTEC, Vol. 1/n. 1/ p. 10-25, Aracaju, 2013.
- SILVA, A. S. R. da. **Argamassas: Conceitos, tipos e funções**. Comunidade da construção. Salvador, 2008. Acessado em: 18/11/2015 <https://pt.scribd.com/doc/24767831/11/ARGAMASSAS-Classificacao#logout>
- SOUZA, J. de. **Estudo da durabilidade de argamassas utilizando cinzas e casca de arroz**. Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.
- TURATSINZE, A.; BONNET, S.; GRANJU J. L. Mechanical characterisation of cementbased mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres. **Building and Environment**, p. 221-226, fev. 2005.
- TURKI, M.; BRETAGNE, E.; ROUIS, M.J.; QUÉNEUDEC, M. Microstructure, physical and mechanical properties of mortar-rubber aggregates mixtures. **Construction and Building Materials**, 23(7), p. 2715-2722, 2009.
- UYGUNOĞLU, T.; TOPÇU, I.B. The role of scrap rubber particles on the drying shrinkage and mechanical properties of self-consolidating mortars. **Construction and Building Materials** 24(7), p. 1141-1150, 2010.