



## ARGAMASSA COM RESÍDUO DE BORRACHA: PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

KURZ, M. N.<sup>1</sup>; BRANDELLI, T. M.<sup>2</sup>; PALIGA, C. M.<sup>3</sup>; TORRES, A. D. S.<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Eng. Civil, Mestre em Arquitetura e Urbanismo – PROGRAU – UFPel

<sup>2</sup>Arq. Urb., Mestranda em Arquitetura e Urbanismo – PROGRAU – UFPel

<sup>3</sup>Eng. Civil, Prof. Dr. do Departamento de Tecnologia da Construção – FAUrb – UFPel

<sup>4</sup>Eng. Civil, Profa. Dra. do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – FAUrb – UFPel

**Palavras-chave:** resíduo de pneu; argamassa; sustentabilidade; inovação na construção

### Resumo

A crescente quantidade de veículos fabricados resulta no aumento de consumo de pneu e de seu descarte irregular, portanto estudos vêm analisando a incorporação destes resíduos em argamassas e concretos, como uma maneira de absorvê-los. Este estudo teve como objetivo avaliar o comportamento de argamassas com diferentes percentuais de substituição de agregado miúdo por resíduo de borracha de pneu, analisando seu comportamento físico e mecânico. As argamassas foram avaliadas em relação ao índice de consistência, absorção por capilaridade e por imersão, índice de vazios e resistência à compressão e à tração por compressão diametral. Os resultados para o ensaio fresco mostraram diminuição no índice de consistência com o aumento de substituição de resíduo de borracha. Os ensaios de absorção mostram que algumas argamassas com resíduo obtiveram melhor comportamento que a argamassa referência, no entanto, houve diminuição da resistência mecânica.

## MORTAR WITH RUBBER WASTE: EVALUATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

**Keywords:** tire residue; mortar; sustainability; innovation in construction

### Abstract

The increasing number of vehicles manufactured results in the increase of tire consumption and its irregular disposal, therefore studies have been analyzing the incorporation of these residues in mortars and concretes, as a way to absorb them. This study aims to evaluate the behavior of mortars with different aggregate substitutions for rubber tire residue, analyzing their physical and mechanical behavior. The mortars were evaluated for consistency index, capillarity absorption, immersion absorption, void index and compressive strength and diametral compression traction. The results for the fresh assay showed a decrease in the consistency index with the increased substitution of rubber residue. The absorptions tests showed that some mortars with residue obtained better behavior than the reference mortar, however, there was a decrease in the mechanical resistance.

## INTRODUÇÃO

A preocupação sobre impacto ambiental causado pelo homem tem desencadeado aos pesquisadores a busca contínua por novos materiais e avanço de técnicas de reaproveitamento de materiais alternativos, principalmente no setor construção civil (Bezerra, 2010). Conforme Marques (2005), estudos vêm investigando alternativas de reciclagem do pneu, por ser um resíduo de difícil absorção no ambiente e pelo aumento do número de pneus, resultante do crescente avanço na produção de veículos.

De acordo com Canova (2008), a reutilização de pneus inservíveis se torna viável devido à sua alta durabilidade, seu alto índice de elasticidade e sua função isolante. O estudo de Canova et al. (2015) apresentou redução na fissuração e taxa de capilaridade nas argamassas com uso de resíduo de borracha.

Meneguini (2003) verificou que o uso de resíduo de pneu em argamassas melhora a resistência ao desgaste por abrasão e a trabalhabilidade, não provocando alterações significativas na absorção por capilaridade.

Os trabalhos de Turatsinze et al. (2005), Uygunoğlu & Topçu (2010), Abd. Aziz et al. (2017) e Kristiawan & Hapsari (2017) constataram que a utilização de resíduo de borracha nas argamassas provocou decréscimo nos valores de resistência à compressão.

Sales e Mendes (2013) avaliaram argamassas com borracha em relação ao ensaio de resistência à compressão e à tração e ao módulo de elasticidade, verificando redução em todos os desempenhos, no entanto, apresentando resultados favoráveis em termos de deformação.

Portanto, este estudo teve como objetivo geral avaliar o comportamento de argamassas com diferentes substituições parciais de agregado miúdo por resíduo de borracha de pneu, verificando sua influência nas propriedades físicas e mecânicas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Programa experimental

O traço utilizado para o programa experimental foi de 1:3 (cimento:agregado miúdo), baseado na norma brasileira NBR 7215 (ABNT, 1996). As proporções de substituição adotadas foram de 2,5%, 5%, 10% e 15%, ampliando a abrangência estudada por Sales e

Mendes (2013), que utilizaram os percentuais de 5% e 10%.

Previamente a confecção das argamassas, os agregados foram divididos em quatro frações passantes nas peneiras granulométricas: 2,00; 1,18; 0,600; 0,300 mm. As peneiras escolhidas foram baseadas nos estudos de Cincotto et al. (2012) e o procedimento foi fundamentado na pesquisa de Meneguini (2003), que constatou que o peneiramento da borracha, resultando na diminuição de suas partículas, permite um melhor comportamento do material.

Assim, com o intuito de verificar a influência das diferentes frações da granulometria nas argamassas, as famílias de substituição (2,5%, 5%, 10% e 15%) foram subdivididas em quatro subfamílias: subfamília 4 (substitui o percentual da família nas quatro frações de areia); 3 (substituição nas três frações mais finas); 2 (substituição nas duas frações mais finas); 1 (substituição somente na fração mais fina), resultando em 16 subfamílias mais a subfamília de referência.

### Materiais

Para a confecção das argamassas foi utilizado cimento Portland CP IV-32, por ser o cimento de maior utilização local; água potável fornecida na rede de distribuição municipal pela concessionária local; areia quartzosa lavada, de granulometria média; e resíduo de borracha de pneu adquirido junto a uma reformadora de pneus situada na cidade de Pelotas/RS. O resíduo provém da banda de rodagem, por meio da recapagem dos pneus, portanto possui tanto pó quanto partículas maiores em formato alongado. As características físicas do resíduo estão mostradas na tabela a seguir.

TIPO DE ENSAIO	RESULTADOS	
	Peneiras	Retido acumulado (%)
Composição granulométrica NBR NM 248 (ABNT, 2003)	9,5	1,41
	6,3	6,64
	4,75	14,89
	2,36	39,99
	1,18	74,49
	0,600	90,41
	0,300	95,46
	0,150	99,26
	Fundo	100,01
	Ø máx (mm)	9,5
	Módulo de Finura	4,22
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> ) NBR NM 52 (ABNT, 2009),	1,20	
Massa unitária solta (g/cm <sup>3</sup> ) NBR NM 45 (ABNT, 2006)	0,34	
Índice de volume de vazios (%) NBR NM 45 (ABNT, 2006)	71,67	

Tabela 1. Características físicas do resíduo

### Confecção das argamassas e propriedades medidas

A confecção das argamassas foi realizada conforme as exigências da NBR 13276 (ABNT, 2005). Com o objetivo de manter a trabalhabilidade da argamassa nos diferentes traços, fixou-se um índice de consistência de  $255 \pm 10$  mm, conforme Canova et al. (2007). O ensaio do índice de consistência seguiu a NBR 13276 (ABNT, 2005).

Na sequência foram moldados 15 corpos de prova cilíndricos para cada subfamília de argamassa, de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Conforme a NBR 7215 (ABNT, 1996), os corpos de prova foram mantidos dentro dos moldes por 24 horas, cobertos com uma placa de vidro, após foram desmoldados e imersos num tanque com água a temperatura ambiente para o período de cura.

Os ensaios no estado endurecido foram realizados de acordo com as normas da ABNT: ensaios de resistência à compressão axial (7 e 28 dias - NBR 7215, 1996) e à tração por compressão diametral (28 dias - NBR 7222, 2011), ensaios de absorção por capilaridade (28 dias -

NBR 9779, 2013), absorção por imersão e índice de vazios (28 dias - NBR 9778, 2009).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Para o ensaio do índice de consistência se observou que, devido ao aumento de substituição de resíduo de borracha, ocorreu diminuição no índice de consistência, com isso, a fim de manter a trabalhabilidade, aumentou-se a relação água/cimento para atingir o intervalo proposto. A argamassa com substituição de 15% de areia por resíduo foi a que necessitou de maior quantidade de água para atingir o índice de consistência dentro do parâmetro estabelecido. Portanto, verificou-se neste estudo que, a adição do resíduo de borracha diminui o índice de consistência da argamassa, diferente do obtido no estudo de Meneguini (2003), onde houve uma melhora na trabalhabilidade.

Os resultados do estado endurecido estão mostrados a seguir.

### Resultados propriedades mecânicas

A Figura 1 mostra os resultados obtidos para resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias e a tração diametral, também aos 28 dias.

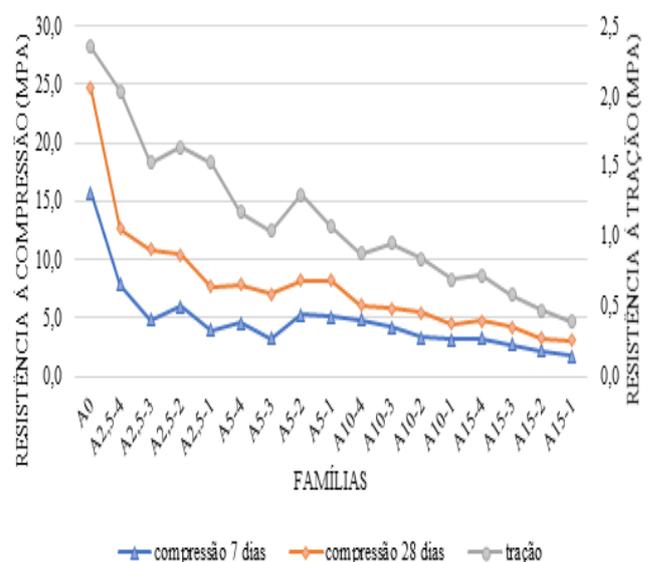


Figura 1. Resultados propriedades mecânicas das famílias de traço 1:3

Analisando os resultados, percebe-se que todas as argamassas com resíduo apresentaram

resistências inferiores à argamassa referência (A0). Para as argamassas com substituição, o decréscimo na resistência à compressão axial se mostra sempre mais elevado conforme o aumento na porcentagem de substituição do resíduo, apresentando comportamento diferente apenas na substituição de uma fração, onde a substituição de 5% apresenta um valor de 6,74% superior ao da família de 2,5%. Estes resultados também foram influenciados devido o aumento de relação a/c, além do acréscimo de resíduo de borracha.

Este decréscimo de resistência já era esperado, pois estudos, como de Turatsinze et al. (2005), Uygunoğlu & Topçu (2010), Abd. Aziz et al. (2017) e Kristiawan & Hapsari (2017), também obtiveram queda nas resistências. Este fato pode ser explicado visto que o resíduo, elemento de menor resistência, passou a substituir a areia, que é a responsável, também, pelo desempenho mecânico das argamassas. Portanto, quanto maior for a retirada de areia, maior será a perda da resistência à compressão axial.

Ademais, os resultados indicam como tendência que a substituição nas quatro frações conduz a melhores desempenhos mecânicos. Uma explicação possivelmente aceita, é que na substituição das quatro frações existem elementos de resíduo de maiores dimensões quando comparadas às substituições de somente uma fração. Neste caso, somente uma fração substituída, o tamanho das partículas de resíduo torna-se bastante reduzido, o que pode ter ocasionado menores resistências.

Quanto à resistência à tração por compressão diametral os resultados demonstram que para as argamassas com substituição, o decréscimo se mostra sempre mais elevado conforme o aumento na porcentagem de substituição do resíduo. Porém, entre as frações substituídas não há continuidade no comportamento, variando entre as famílias, possuindo famílias (A2,5 e A15) onde o melhor comportamento está na subfamília com quatro frações substituídas. Na família A5 a maior resistência é da subfamília com duas frações substituídas e na substituição de 10% o melhor resultado está na subfamília A10-3.

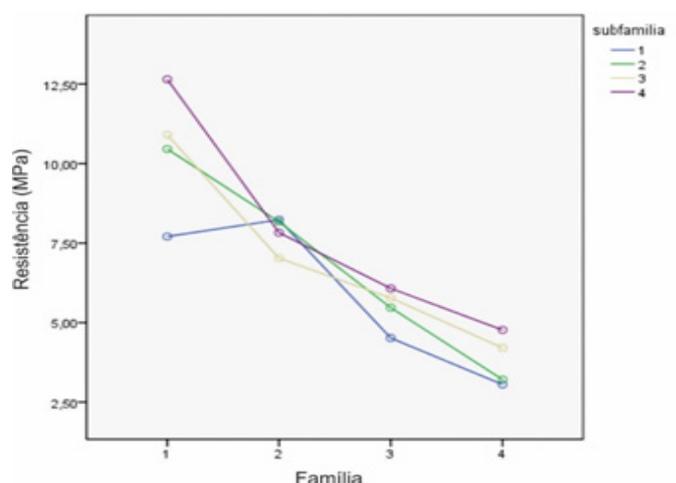
Segundo Turki et al. (2009), esta redução nas resistências mecânicas pode ser explicada por análise através de microscopia eletrônica de varredura, pois

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.

Ao realizar a análise estatística dos resultados, a ANOVA demonstrou que ocorreu efeito das variáveis “família” e “subfamília” na resistência à compressão axial dos elementos para o traço de argamassa 1:3, e interação entre estas variáveis independentes ( $p < 0,001$  para todas as análises, com nível de significância de 0,05). A análise pareada demonstrou que houve diferença significativa entre as médias das resistências para as famílias e subfamílias, ou seja, a hipótese de médias iguais para as resistências das argamassas pode ser rejeitada.

Na realização da ANOVA para resistência à tração por compressão diametral ocorreu efeito das variáveis “família” ( $p < 0,001$ ) e “subfamília” ( $p < 0,05$ ). Por outro lado, na interação entre estas variáveis independentes não se obteve 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 resistência à compressão axial (Figura 2a) e para resistência à tração diametral (Figura 2b). Resultados demonstraram que para resistência à compressão axial o melhor traço foi A2,5-4, e para resistência à tração diametral foram consideradas as famílias A2,5-2, A2,5-3 e A2,5-4 com melhores desempenhos. Salienta-se que as famílias 1, 2, 3 e 4 que aparecem no gráfico são as 2,5, 5, 10 e 15%, respectivamente.



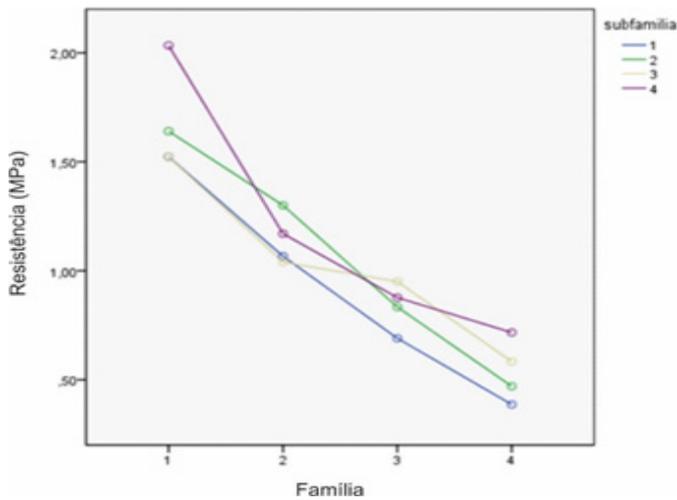


Figura 2. A. Análise de componentes principais para a variável resistência à compressão; B. Análise de componentes principais para a variável resistência à tração

A norma brasileira NBR 13281 (ABNT, 2001) define valores mínimos de resistência e as classifica em três identificações de acordo com a resistência obtida. Todas as argamassas estudadas se encontram dentro de uma das classes definidas pela norma, possuindo quatro argamassas na classe I ( $\geq 0,1$  e  $< 4,0$  MPa), sete presentes na classe II ( $\geq 4,0$  e  $\leq 8,0$  MPa) e seis argamassas classificadas na classe III ( $> 8,0$  MPa).

Mesmo a norma realizando a classificação das argamassas, esta não especifica qual deve ser o uso de acordo com a classe obtida. Silva (2006) salienta que apesar da NBR 13281 (ABNT, 2001) exigir que seja indicado o tipo de argamassa e a classe em que ela se enquadra a norma não define o requisito e a classe que deve ser exigida para cada utilização

### Resultados propriedades físicas

#### Absorção por capilaridade

A Figura 3 apresenta a absorção de água por capilaridade para as argamassas na idade de 72 horas. No gráfico pode-se observar que o melhor (menor absorção) e o pior comportamento (maior absorção) estão em subfamílias com apenas uma fração de substituição, sendo a menor na A10-1 e a maior na A15-1. Das dezesseis subfamílias com resíduo, apenas seis obtiveram absorção superior a argamassa de referência. Ressalta-se que para as subfamílias com quatro frações substituídas, todos os traços obtiveram melhor comportamento que a argamassa sem resíduo.

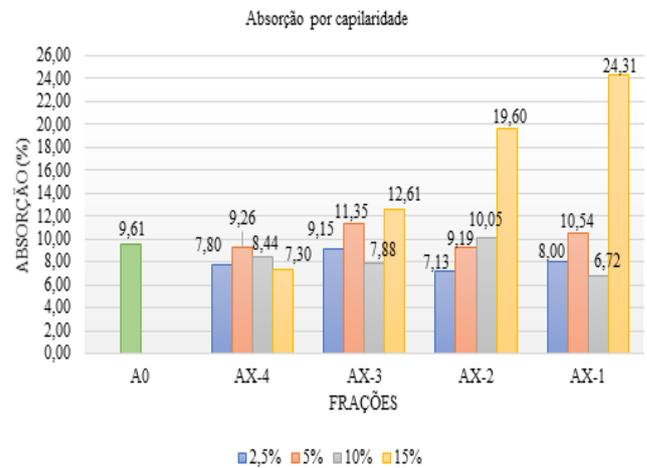


Figura 3. Resultados ensaio de absorção por capilaridade na idade de 72 horas traço 1:3

Observa-se que, para família com 2,5% de substituição, a absorção das argamassas com resíduo é menor do que a observada para argamassa de referência, se tornando uma vantagem para utilização de resíduos em argamassas. Sendo que a subfamília com melhor comportamento, com menor absorção, é a A2,5-2.

Para a variável dependente absorção por capilaridade, assim como na resistência à compressão axial, os resultados estatísticos evidenciaram a influência das variáveis “família” e “subfamília” ( $p < 0,001$  para todas as análises, com nível de significância de 0,05) neste comportamento, com um valor de variabilidade dos valores de  $r^2 = 95,4\%$ .

O programa Primer, indicou como resultado de argamassa com melhor desempenho em relação à absorção por capilaridade a subfamília A2,5-4, conforme pode ser visto na Figura 4.

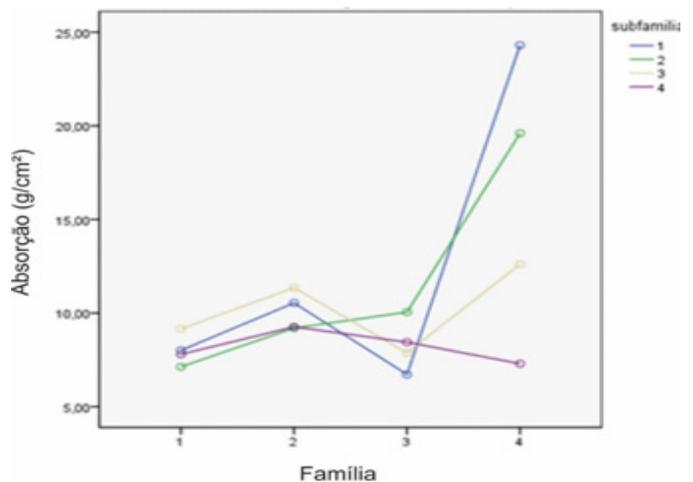


Figura 4. Análise de componentes principais para a variável absorção por capilaridade

**Absorção por imersão e índice de vazios**

A Figura 5 apresenta a absorção e o índice de vazios obtidos na argamassa referência e nas argamassas com resíduo.

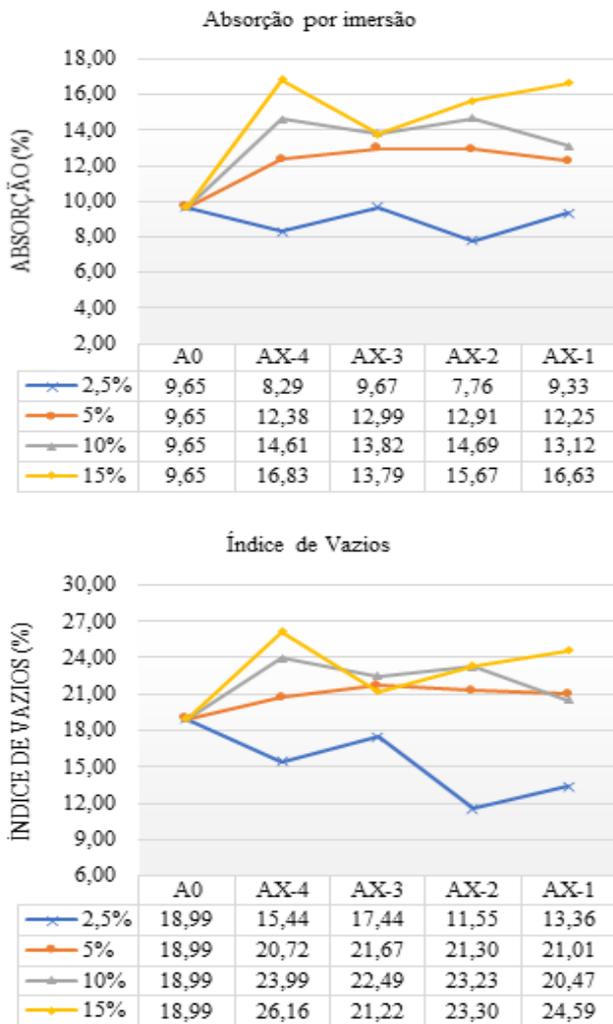


Figura 5. A. Absorção por imersão; B. Índice de vazios

Conforme verificado, a única família que obteve absorção inferior a argamassa referência foi a com 2,5% de substituição. As demais obtiveram resultados superiores, sendo que este acréscimo foi aumentando com o aumento de substituição de areia por resíduo de borracha, onde a família A15 apresentou os resultados com maior absorção. Vale ressaltar, que o traço A2,5-4 apresentou absorção pouco superior a A2,5-2, podendo ser considerada como uma subfamília com bom comportamento.

Para os valores de índice de vazios verifica-se que a família A2,5 apresentou o melhor comportamento, possuindo o menor índice de vazios para todas as frações de substituição. Tal fato ajuda a explicar

os menores valores de absorção por imersão destas argamassas. Ademais, demonstram que o aumento na absorção com o aumento da quantidade de resíduos é devido ao aumento na porosidade das argamassas.

A análise estatística mostrou, para a variável dependente absorção por imersão, que ocorreu efeito da variável “família” e na interação entre as variáveis “família” e “subfamília”. Entretanto, para a variável “subfamília” não se obteve efeito significativo da mesma sobre os valores médios de absorção, indicado por  $p > 0,05$ .

O programa Primer apresentou todas as subfamílias com 2,5% de substituição obtiveram os melhores comportamentos, conforme pode ser visto na Figura 6.

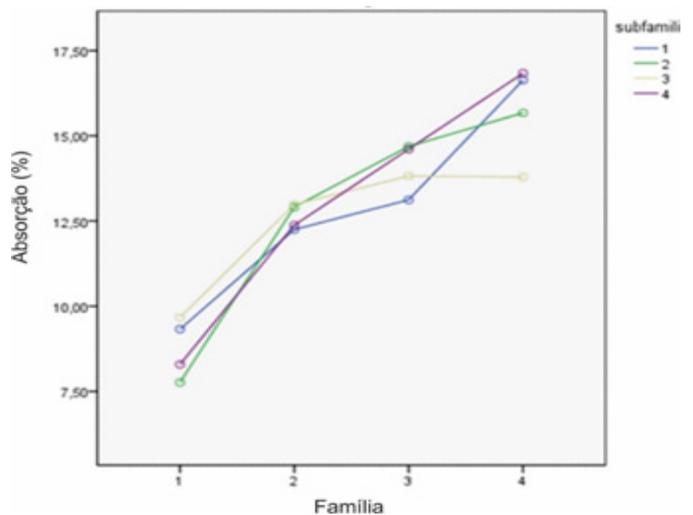


Figura 6. Análise componentes principais para a variável absorção por imersão

De acordo com a análise estatística, os melhores desempenhos de acordo com cada propriedade analisada foram todos da família com 2,5% de substituição, sendo as subfamílias com melhores comportamentos as seguintes: compressão axial - subfamília 4; tração por compressão diametral - subfamílias 2, 3 e 4; absorção por capilaridade - subfamília 4; absorção por imersão - subfamílias 1, 2, 3 ou 4. Assim, indica-se que a argamassa que possui um padrão de melhor comportamento é a subfamília A2,5-4.

**CONCLUSÃO**

Os ensaios realizados 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 há um maior aumento 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 mecânicas.

Na absorção por capilaridade todas as famílias de substituição possuem ao menos uma subfamília com absorção inferior a argamassa referência, sendo vantagem o uso de resíduo de borracha em argamassas de revestimento.

A absorção por imersão aumenta conforme aumenta a porcentagem de resíduo de borracha presente no traço, sendo que a família A2,5 resultou em uma absorção inferior a encontrada na argamassa referência.

Contudo, conclui-se que a utilização de resíduo de borracha em argamassa provoca mudanças no seu comportamento. Apesar dos valores mais baixos de resistência, seu emprego pode ser viável, pois todas argamassas estudadas se encontram dentro das classes definidas pela norma e em muitas utilizações a resistência não é o ponto mais importante. A utilização do resíduo de borracha na argamassa tem potencial de utilização. Aponta-se o uso desse resíduo em substituição parcial ao agregado natural, como alternativa viável, tanto ambiental quanto de desempenho. Indica-se continuação no estudo para verificar se o uso de um aditivo plastificante nas argamassas com resíduo manteria a trabalhabilidade sem o aumento da relação a/c, identificando mudanças no seu desempenho mecânico.

## LITERATURA CITADA

- 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. Determinação da resistência à compressão. NBR 7215. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. NBR NM 30. Rio de Janeiro, 2001. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados - Determinação da composição granulométrica. NBR NM 248. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- 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. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. NBR NM 45. Rio de Janeiro, 2006. 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.
- 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.
- CANOVA, J. A.; ANGELIS NETO, G. de; BERGAMASCO, R. Dry ripened mortar with quarry waste and rubber powder from unserviceable tires. *Acta Scientiarum Technology*, vol. 37, n. 1, p. 25-31, Maringá, 2015.
- 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.
- KRISTIawan, S. A.; HAPSARI, A. N. D. Delamination tendency of repair mortar incorporating crumb rubber. *Procedia Engineering*, vol. 171, p. 734-743, 2017.
- 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.
- 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.
- 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, N. G. Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

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.