

COMPORTAMENTO DE ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE BORRACHA EM PÓ

Diego Silva Rosa (UNEURO) E-mail: diegosrosaeng@gmail.com

Mario Henrique Moreira de Moraes (UFPA) E-mail: demoraesmario@gmail.com

Diogo Pontes de Queiroz (UFPA) E-mail: diogo.femat@gmail.com

Luis Felipe Alencar Brandão (UFPA) E-mail: luisfelipe2357@gmail.com

Lucas Rezende Almeida (UFPA) E-mail: lucasreezendee@gmail.com

Sabino Alves de Aguiar Neto (UFPA) E-mail: sabino.neto@itec.ufpa.br

Aedjota Matos de Jesus (UFPA) E-mail: aedjota@gmail.com

Resumo: O anseio por um mundo ecologicamente sustentável e a obstinação do homem o leva a buscar novas tecnologias que contribuam para a redução de resíduos imprópriamente descartados no meio ambiente. Nesse sentido, o setor construtivo tem buscado reaproveitar resíduos gerados através de outras atividades econômicas, dentre eles o resíduo de pneu inservíveis. Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento físico e mecânico de argamassa cimentícia obtida a partir da substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de borracha moído. Para a confecção dos ensaios foram utilizados areia, cimento, água e resíduo de borracha, no qual adotou-se uma dosagem racional em massa na proporção de 1:3 (cimento:agregado) sendo realizado a substituição do agregado miúdo pelo resíduo de borracha nas proporções de 2,5% e 5%. Quanto aos resultados foi possível observar a diminuição dos índices de consistência e resistência à compressão a partir da substituição da areia pelo resíduo de borracha.

Palavras-chave: Argamassa, Resíduo de borracha, Sustentabilidade.

BEHAVIOUR OF BRICKLAYING MORTAR INCORPORATED WITH RUBBER WASTE POWDER

Abstract: The craving for an ecologically sustainable world and the obstinacy of man leads him to seek new technologies that contribute to the reduction of improperly disposed waste into the environment. The construction sector has sought to reuse waste generated through other economic activities, including tire waste. Thus, the present work aims to evaluate the physical and mechanical behavior of cementitious mortar obtained from the partial replacement of fine aggregate with rubber waste powder. For test preparations, sand, cement, water, and rubber waste powder were used with a dosage ratio of 1:3 (cement:aggregate) proportion established, replacing the fine aggregate with the rubber waste with 2.5% and 5% in mass proportions. As for the results, it was possible to observe the decrease in the values of mixture consistency and compression resistance from the replacement of sand for rubber waste.

Keywords: Mortar, Rubber waste, Sustainability.

1. Introdução

A trajetória do ser humano é caracterizada pelo uso de recursos renováveis e não renováveis necessários para sua própria sobrevivência. Com o passar do tempo, em busca desses recursos o homem adotou um comportamento agressor com relação à natureza, gerando assim o desequilíbrio ambiental (GRANZOTTO, 2010).

Dentre os recursos não renováveis, encontram-se os derivados do petróleo, como por exemplo, o pneu, que de acordo com a REICLANIP (2021), entidade que arca com os custos de coleta e destinação de pneus no Brasil, cerca de 5,23 milhões de toneladas de pneus inservíveis foram recolhidos e destinados adequadamente entre os anos de 1999 e

2019, sendo perceptível o elevado nível de consumo deste resíduo.

Contudo, em muitos casos os pneus são descartados em locais inadequados, que podem gerar graves problemas ambientais e sanitários, como a proliferação de mosquitos e doenças, a facilidade em causar incêndios contaminando o ar com a fumaça altamente tóxica e a água com o resíduo de óleo, e quando são depositados nos aterros podem reduzir o espaço, pois é um material de difícil compactação (MARTINS, 2005).

O avanço da tecnologia no âmbito da construção civil tem buscado aperfeiçoar os recursos aplicados, elaboração e execução de projetos que visam seguir as normas e diretrizes da sustentabilidade, evitando assim maiores danos ao meio ambiente (GRANZOTTO, 2010).

Conforme Kurz et al. (2018) o reaproveitamento de pneus sem utilidade tem se tornado cada vez mais comum como combustível alternativo para a indústria do cimento, sendo usado como componentes na fabricação de manta asfáltica e asfalto-borracha. Tais destinações são aprovadas pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Nesse sentido, a construção civil, produtora em potencial de resíduos e consumidora de grandes quantidades dos recursos naturais não renováveis, passou a considerar a utilização da borracha incorporada em argamassas ou concretos, substituindo de forma parcial ou totalmente um componente por resíduos de pneu (KURZ et al., 2018).

Estudos relacionados à aplicabilidade da borracha em argamassas tem se tornando cada vez mais recorrente. Para Meneguini (2003) o uso da argamassa com resíduo de borracha pode ser efetivo, produzindo um material isolante, além de colaborar com a preservação ambiental.

A argamassa é usada na construção civil em revestimentos de parede, sendo definida pela NBR 7200 como a mistura homogênea de aglomerantes, agregados miúdo e água, podendo ter aditivos ou adições que geram a capacidade de endurecimento e aderência (MENEGUINI, 2003).

Em relação ao revestimento a argamassa pode ser usada para unir componentes de alvenaria, regularizar a aderência, corrigir imperfeições, revestir paredes, muros e tetos que geralmente recebem acabamento de pintura, revestimento cerâmico, entre outros (KURZ et al., 2018). Assim, pode ser composta por água, cimento e resíduo de borracha de pneu. Conforme estudos e análises, a argamassa composta por resíduo de borracha de pneu pode se tornar isolante devido a sua baixa condutividade elétrica e sonora (MENEGUINI, 2003).

Além disso, o uso do resíduo da borracha em argamassa de assentamento, contribui para a diminuição do acúmulo de pneus indesejáveis que não possuem utilização nenhuma, sendo viável por ser um material de alta durabilidade e elástico (KURZ et al., 2018).

Portanto, o objetivo do presente trabalho consiste na avaliação das propriedades físicas e mecânicas da argamassa para revestimento de parede, produzida através da utilização de resíduo de borracha de pneu, com a finalidade de buscar composições recicláveis no âmbito da engenharia civil que contribuam com a sustentabilidade.

2. Metodologia

2.1. Materiais

Empregou-se cimento Portland Ciplan CP II Z-32, pois trata-se de um cimento disponível na região comercial de Ouro Preto do Oeste/RO. Além disso, foi utilizado

areia média quartzosa lavada de origem fluvial de massa unitário $1,53 \text{ g/cm}^3$, cuja análise granulométrica encontra-se na Figura 1.

Em substituição parcial ao agregado foi utilizado o resíduo de borracha de massa específica $0,41 \text{ g/cm}^3$ oriundo da empresa Nacional Borracha, situada no município de Cacoal/RO. Este resíduo é classificado como médio, conforme mostra análise granulométrica encontra-se na Figura 1.

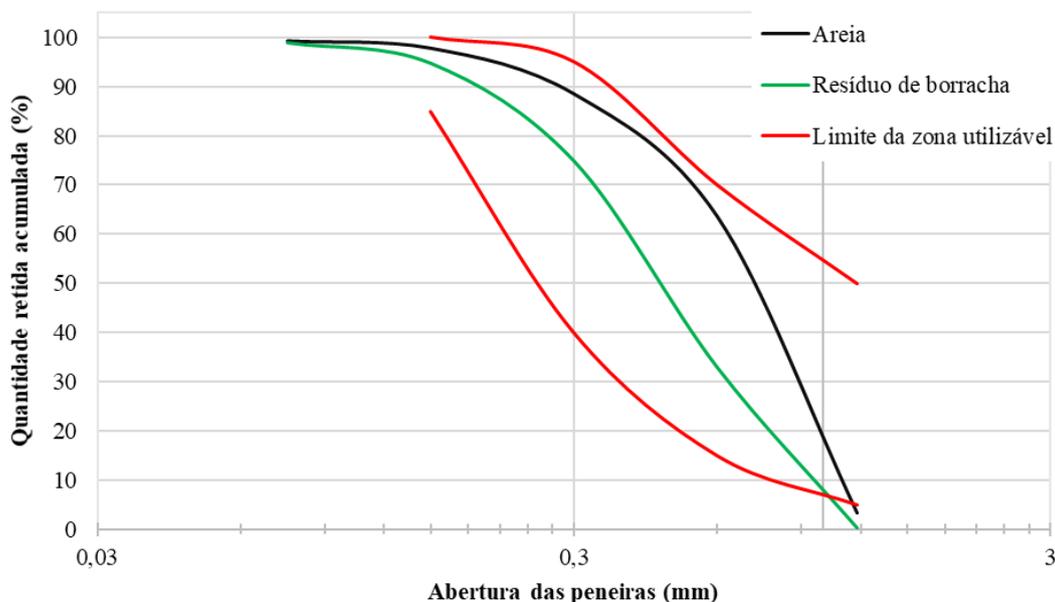


Figura 1 – Gráfico de dispersão com as curvas granulométricas da areia e do resíduo de borracha.

Tanto a areia quanto o resíduo de borracha moído enquadram-se na zona utilizável, segundo os critérios granulométricos estabelecidos pela norma NBR 7211 (ABNT, 2019).

2.2. Planejamento experimental, dosagem e preparo das argamassas

Na presente pesquisa foi realizado a substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo de borracha nas proporções de 2,5% e 5% sendo usado uma dosagem em massa na proporção 1:3 (cimento:areia). Kurz et al. (2018) aplicaram 2,5%, 5%, 10% e 15%, com a finalidade de verificar a influência do resíduo nas propriedades físicas e mecânicas da argamassa, todavia o estudo mostrou que substituições superiores a 5% alteram significativamente o comportamento da argamassa. Neste sentido, optou-se por fazer substituições em menor proporção.

Quanto ao fator água/cimento, utilizou-se a proporção de 0,69, sendo realizada uma média de cálculo do fator água e cimento determinados na pesquisa de Kurz et al. (2018).

Desta forma, foram moldados três lotes de corpos de prova, sendo um deles o lote de referência, sem a composição do resíduo de borracha. O segundo lote foi moldado com a substituição do agregado miúdo pelo resíduo de borracha na proporção de 2,5% e o terceiro lote moldado através da substituição de 5% do agregado miúdo pelo resíduo de borracha moído. Para tanto, as argamassas foram nomeadas ARG0, ARG2.5 e ARG5, pois apresentam substituição de agregado miúdo por resíduo de borracha moído nas proporções de 0%, 2,5% e 5%, respectivamente.

2.3. Ensaio de caracterização

Foram realizados os ensaios de caracterização física e mecânica, com a finalidade de obter dados para posterior análise das propriedades de cada composição estudada. Tendo como objeto de pesquisa a argamassa em estado fresco e argamassa em estado endurecido.

Para análise da argamassa em estado fresco foi realizado a determinação de índice da massa específica aparente e determinação do índice de consistência. Quanto à determinação do índice de consistência, foi preenchido o molde troco-cônico com a argamassa em estado plástico, seguindo a norma da NBR 13276 (ABNT, 2016). O ensaio de determinação da massa específica aparente foi realizado e orientado através da NBR 13278 (ABNT, 2005).

Na realização dos ensaios em estado endurecido, foram moldados 12 (doze) corpos de prova cilíndricos, medindo 50x100mm, para cada lote preparado, conforme estabelece a norma NBR 7215 (ABNT, 2019). Os ensaios realizados foram a determinação da resistência a compressão simples, determinação a tração por compressão diametral e determinação da absorção de água por capilaridade.

Conforme a NBR 7215 (ABNT, 2019) realizou-se o ensaio de resistência a compressão simples, no qual foram rompidos três corpos de prova com a idade de 28 dias.

A norma NBR 7222 (ABNT, 2011) estabelece a determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova e recomenda que seja usado tira de chapa duro de fibra de madeira ou aglomerado, assim, o ensaio de resistência à tração por compressão diametral realizado na presente pesquisa é caracterizado pela aplicação de uma carga na direção transversal do corpo de prova e é distribuído através de tira de madeira.

Quanto a absorção de água por imersão a norma NBR 9778 (ABNT, 2009) orienta que são necessários três corpos de prova com idade de 28 dias para realização do experimento. Durante o ensaio deve ser observado a massa dos corpos de prova após permanência na estufa entre os períodos de 24h, 48h e 72h.

Após determinada a massa seca, as amostras foram imersas em água, sendo mantido por 72 horas conforme recomenda a norma. Posteriormente deve ser feito o cálculo de absorção e seu resultado dado em porcentagem.

3. Resultados e discussão

Na Figura 2 tem-se o gráfico com os valores das massas específicas das argamassas estudadas, no qual observa-se que todas as argamassas podem ser classificadas como normais, visto que possuem massa unitária entre 1,40 e 2,30 g/cm³, estabelecido como normal por Carasek (2010 *apud* KURZ *et al.*, 2018).

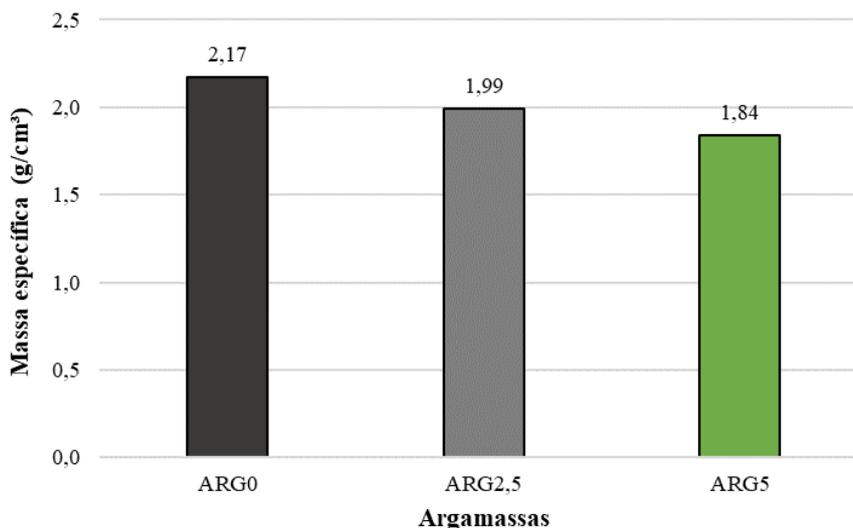


Figura 2 – Massas específicas no estado fresco das argamassas desenvolvidas no estudo.

Na Figura 3 observa-se o índice de consistência de cada argamassa desenvolvida neste estudo, no qual nenhuma atingiu o abatimento 255 ± 10 mm exigido pela norma NBR 13276 (ABNT, 2016).

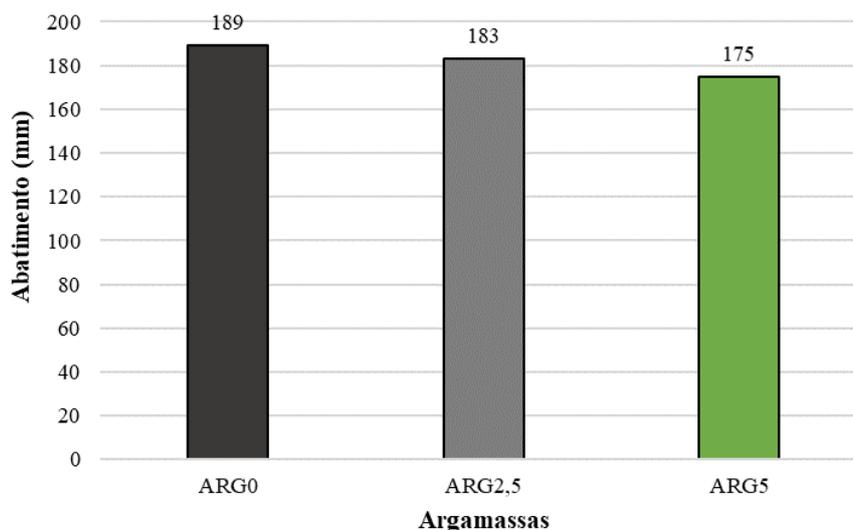


Figura 3 – Índices médio de consistência das argamassas desenvolvidas no estudo.

Ao adicionar o resíduo de borracha foi possível observar a diminuição do índice de consistência decorrente da substituição do agregado miúdo, sendo necessário aumentar o fator água/cimento para manter a trabalhabilidade da argamassa, sendo que tais resultados também foram constatados nos estudos de Kurz *et al.* (2018).

Na Figura 4 tem-se o gráfico com os valores da resistência média à compressão dos corpos de provas cilíndricos das argamassas desenvolvidas neste estudo, em que é possível notar que houve a redução da resistência à compressão axial das argamassas ao realizar a substituição de agregado miúdo por resíduo de pó de borracha, em relação a argamassa de referência (ARG0).

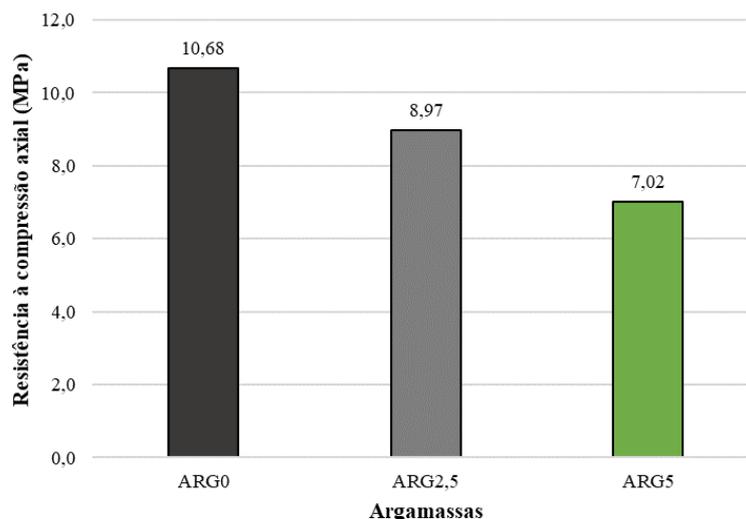


Figura 4 – Resistência média à compressão axial das argamassas desenvolvidas no estudo.

Em estudos desenvolvidos por Meneguini (2003), também foi possível observar que o aumento da quantidade de resíduo de borracha na argamassa ocasionou a diminuição da resistência à compressão. Além disso, na presente pesquisa, notou-se que a redução da resistência foi em média 16% menor que a argamassa de referência comparada com a argamassa ARG2.5 e 34% menor quando comparada a ARG5.

Segundo Granzotto (2010), a perda da resistência com o incremento do resíduo de borracha pode estar relacionada pelo módulo de deformação elástica e a má aderência entre a pasta de cimento e a borracha, além do fato das partículas de borracha atuarem como vazios no interior da argamassa.

Cabe ainda destacar que a diminuição da resistência a compressão através do aumento da quantidade de resíduo de borracha na argamassa também pode ter ocorrido devido ao aumento do teor de ar incorporado na argamassa, conforme destacado pelo estudo conduzido por Pcziczek (2017).

Em relação à compressão diametral, a Figura 5 apresenta os valores obtidos através dos ensaios realizados, no qual nota-se que através da substituição ocasionou a diminuição da resistência.

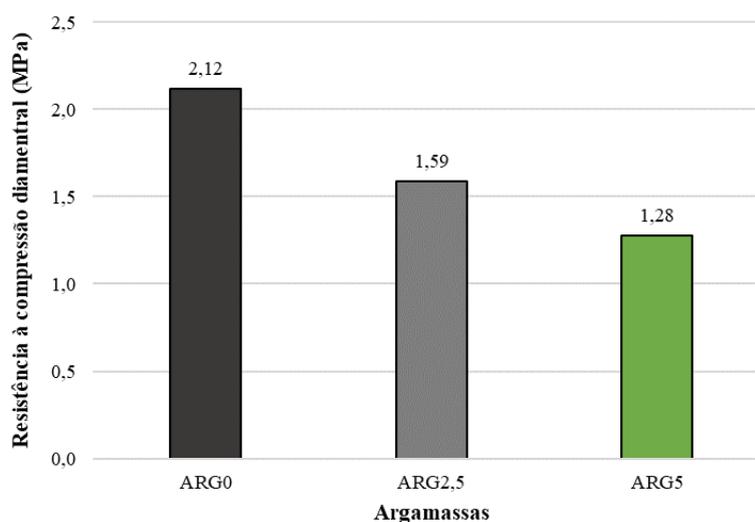


Figura 5 - Resistência média à compressão diametral das argamassas desenvolvidas no estudo.

Assim como o ensaio de compressão axial, o aumento da quantidade do resíduo de borracha adicionado a argamassa ocasionou a diminuição da resistência a compressão diametral. Em comparação com o estudo de Kurz *et al.* (2018), foi possível constatar de igual forma, que ao aumentar a porcentagem da substituição do resíduo houve o decréscimo na resistência.

Foi possível notar que a substituição do agregado miúdo pelo resíduo de borracha demonstrou uma fissuração reduzida em relação à argamassa de referência, tendo as fibras de borracha mantendo as partes unidas, sendo necessário um esforço manual para dividi-los ao meio como também observou Granzotto (2010).

Por meio do ensaio de absorção por imersão, verificou-se o comportamento do índice de absorção da argamassa, conforme mostra a Figura 6. Observa-se que a incorporação de resíduo de promoveu um aumento de absorção de água nas argamassas.

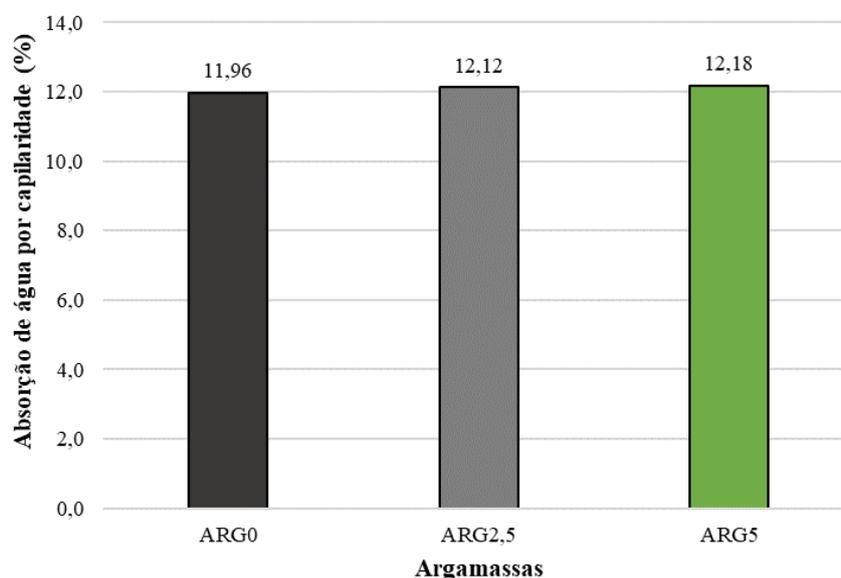


Figura 6 – Absorções médias de água por capilaridade das argamassas desenvolvidas no estudo.

Os resultados obtidos na Figura 6 indicam o aumento da absorção de água através da substituição do agregado miúdo pelo de resíduo de pó de borracha na argamassa, que pode estar associado ao aumento no índice de vazios decorrente desta substituição tornando as argamassas com resíduo de borracha com maior permeabilidade em relação à amostra de referência (PCZIECZEK, 2017).

4. Considerações finais

Com a finalidade de observar o comportamento físico e mecânico das argamassas de revestimento ao fazer a incorporação de resíduo de borracha, por meio do presente trabalho foi possível verificar que a substituição de agregado miúdo por resíduo de borracha em argamassa obteve resultados satisfatórios quando utilizada em baixas proporções podendo ser empregue no mercado construtivo.

Durante os ensaios em estado fresco foi possível compreender que devido os índices de massa unitária e massa específica do resíduo de borracha serem menores que o agregado miúdo houve a redução da massa específica das argamassas com a substituição da

borracha. Além disso constatou-se que a incorporação do resíduo de borracha ocasionou a diminuição do índice de consistência, sendo necessário aumentar o fator água/cimento para manter a consistência da argamassa.

Nos ensaios realizados em estado endurecido foi verificado que a substituição da areia pelo resíduo de borracha resultou a diminuição da resistência à compressão axial e a resistência a compressão diametral em mais de 16%, no qual quanto maior a substituição percentual do resíduo de borracha menores tende a ser os índices de resistência.

Quanto ao ensaio de absorção por imersão, foi possível constatar um aumento menor que 2% da absorção de água por capilaridade devido a incorporação do resíduo de borracha na argamassa, no qual considerou que isso ocorreu devido ao aumento do índice de vazios, apresentando maior permeabilidade em relação a argamassa de referência.

Em virtude dos resultados mencionados é possível constatar a viabilidade ambiental do uso das argamassas de revestimento com a substituição nas proporções estudadas do agregado miúdo pelo resíduo de borracha, visto que a substituição de agregado miúdo por resíduo de borracha pode ser considerada uma possível alternativa para reutilização de pneus inservíveis e diminuir os impactos causados pelo descarte desse material.

Para as referências, deve-se utilizar texto com fonte *Times New Roman*, tamanho 10, espaçamento simples, prevendo 6 pontos depois de cada referência, exatamente conforme aparece nas referências aleatórias incluídas a seguir. As referências devem aparecer em ordem alfabética e não devem ser numeradas. Todas as referências citadas no texto, e apenas estas, devem ser incluídas ao final, na seção Referências. O estilo a ser usado na seção Referências deve ser o “Bibliografia”.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

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

GRANZOTTO, Laura. **Concreto com adições de borracha**: uma alternativa ecologicamente viável. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual do Maringá, Maringá, 2010.

KURZ, Mônica Navarini *et al.* A potencialidade do uso de resíduo de borracha de pneu em argamassa: análise das propriedades físicas e mecânicas. **Matéria, Rio de Janeiro**, v. 23, n. 3, 2018.

MARTINS, Israel Rodrigo de Freitas. **Concreto de alto desempenho com adição de resíduos de borracha de pneu**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

MENEGUINI, Eduardo Cesar Antonelli. **Comportamento de argamassas com emprego de pó de**

borracha. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

RECICLANIP. **Volumes de pneus destinados.** Disponível em: <https://www.reciclanip.org.br/destinados/>. Acesso em: 06 nov. 2021.

SLAIFFER, Cíntia. **Influência de fibras de borracha nas propriedades físicas, mecânicas e térmicas em argamassa de revestimento.** Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2019.