

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO MISTO (ARM) NA PRODUÇÃO DE PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO – PAVERS

DANIELA EVANIKI PEDROSO¹, CLEBER LUIS PEDROSO², DENISE THÖLKEN³, FELIPE LUIZ PALUCOSKI⁴ e LETICIA SOARES DE OLIVEIRA⁵

¹Dra. em Engenharia Civil e Docente da Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba-PR, daniela.pedroso@utp.br;

²Dr. em Engenharia Civil e Discente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba-PR, cleber.ped@gmail.com;

³Dra. em Engenharia Mecânica e Docente da Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba-PR, denise.tholken@utp.br;

⁴Discente de Engenharia Civil da Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba-PR, felipe.palucoski@gmail.com;

⁵Discente de Engenharia Civil da Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba-PR, leticiasoareshdo@gmail.com.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: O setor de construção civil é responsável por uma alta taxa de geração de resíduos em todo o planeta. Além de causar impactos na fase inicial, com a extração de matérias-primas, a indústria da construção deixa um saldo negativo ao final, quando produz elevada quantidade de resíduos provenientes da própria construção ou da demolição. Buscando destinar esses resíduos de maneira positiva, realiza-se um processo de beneficiamento deste material, que irá resultar no chamado ARM (Agregado Reciclado Misto). Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar as propriedades físicas e mecânicas de peças de concreto para pavimentação (pavers) produzido com 100% de ARM. Como resultado observou-se que ARM possui uma alta absorção de água quando comparados com rochas naturais, implicando numa diminuição da resistência mecânica, todavia a resistência à compressão do paver analisado atingiu aos 28 dias de cura 29,6 MPa e aos 90 dias de cura 35,4 MPa. O resultado não satisfaz o proposto pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013) que estipula resistência característica à compressão igual ou superior à 35 MPa aos 28 dias de cura, porém a resistência à compressão poderia ser acrescida caso os ARM utilizados fossem parcialmente combinados com agregados naturais, estes que são mais densos e possuem uma resistência mecânica maior.

PALAVRAS-CHAVE: Agregado reciclado, Concreto reciclado, Paver.

ANALYSIS OF THE USE OF MIXED RECYCLED AGGREGATE (ARM) IN THE PRODUCTION OF CONCRETE PARTS FOR PAVING - PAVERS

ABSTRACT: The civil construction sector is responsible for a high rate of waste generation across the planet. In addition to causing impacts in the initial phase, with the extraction of raw materials, the construction industry leaves a negative balance at the end, when it produces a high amount of waste from the construction itself or from demolition. Seeking to dispose of these residues in a positive way, a process of processing this material is carried out, which will result in the so-called ARM (Mixed Recycled Aggregate). In this context, the objective of this work was to analyze the physical and mechanical properties of concrete paving pieces (pavers) produced with 100% ARM. As a result, it was observed that ARM has a high water absorption when compared to natural rocks, implying a decrease in mechanical strength, however the compressive strength of the analyzed paver reached 29.6 MPa at 28 days of cure and at 90 days of cure 35.4 MPa. The result does not meet the proposed by the NBR 9781 (ABNT, 2013) standard, which stipulates a characteristic compressive strength equal to or greater than 35 MPa at 28 days of cure, but the compressive strength could be increased if the ARM used were partially combined with aggregates natural, which are denser and have greater mechanical resistance.

KEYWORDS: Recycled Aggregate, Recycled Concrete, Paver.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil gera uma grande quantidade de resíduos com uma composição diversificada ao longo das múltiplas etapas de produção. A geração de um enorme volume de resíduos, juntamente com a restrição de locais para destinação, a escassez de minerais naturais, as altas taxas de emissões de gases de efeito estufa e o grande consumo de energia, incentivaram pesquisadores e profissionais a refletirem sobre diferentes alternativas sustentáveis, de forma a minimizar os impactos ao meio ambiente e resolver os problemas da gestão de resíduos industriais.

De acordo com a ABRECON (2021), além dos impactos gerados pela extração de matérias-primas da natureza, o setor da construção civil é responsável pela geração de 84 milhões de metros cúbicos de resíduos anualmente no Brasil, o RCD (Resíduo da Construção e Demolição). Diferentes pesquisadores investigam sobre essa alta geração, que atinge de 30% a 40% do total de resíduos gerados em todo o planeta (AKHTAR e SARMAH, 2018; ISLAM, *et al.*, 2019). Esse alto valor pode ser justificado pela urbanização acelerada das cidades, falta de planejamento, controle e fiscalização nas obras (JIN *et al.*, 2017).

O ARM (Agregado Reciclado Misto) é um material resultante do beneficiamento do RCD, esse que de acordo com a NBR15116 (ABNT, 2004) é composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas naturais. Muitas vezes, quando não se há um controle tecnológico nas edificações que geram o resíduo ou na indústria que realiza o beneficiamento, este pode vir contaminado com matéria orgânica ou outros materiais que prejudicam sua resistência. À presença de sulfato em agregados de RCD reciclados, teores de 0,3 a 0,8% de sulfato (em massa) não produzem efeitos significativos na resistência mecânica e na expansão, porque grande parte dos sulfatos vem dos cimentos hidratados na matéria-prima (GALLIAS, 1998). São as impurezas do gesso que em percentuais superiores a 1% da massa, causam expansão significativa em argamassas (GALLIAS, 1998).

Segundo Tosic *et al.*, (2015), durante o processamento do ARM os elementos constituídos por cimento Portland, principalmente o concreto, perdem uma certa quantidade de pasta e outra permanece ligada ao agregado natural, esta pasta de cimento residual que fica fixada ao agregado natural é a principal causa da menor qualidade do agregado reciclado comparado com o agregado natural. A pasta de cimento residual aderida à sua superfície do agregado natural, torna o ARM mais poroso, com menor massa específica e maior capacidade de absorção de água (LIMBACHIYA, MEDDAH e OUCHAGOUR, 2012 e KAPOOR, SINGH e SINGH, 2016). Além disso, as tensões de impacto causado pelo processamento do resíduo fazem com que a camada superficial de pasta de cimento fique fraca, porosa e quebradiça (OGAWA E NAWA, 2012).

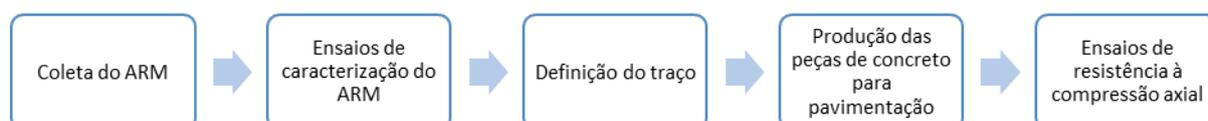
Com base no exposto, vem crescendo o número de pesquisas sobre a utilização do ARM em diferentes materiais, sendo uma alternativa a aplicações em peças de concreto para pavimentação, popularmente conhecida como pavers. De acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013), as peças de concreto para pavimentação são componentes pré-moldados de concreto, utilizado como material de revestimento em pavimentos intertravados. O conceito básico desse tipo de pavimentação é o intertravamento, ou seja, a transmissão de parte da carga entre as peças através do atrito lateral entre elas. Além disso os pavimentos intertravados possuem uma estrutura composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto. Uma das principais características desse sistema é o fato de ser levemente permeável, ou seja, permite a passagem da água para o solo através de suas juntas (FERNANDES, 2015).

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi analisar as propriedades físicas e mecânicas de peças de concreto para pavimentação (pavers) produzido com 100% de agregado reciclado misto (graúdo e miúdo).

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia empregada na presente pesquisa é composta por cinco etapas principais, exposta na Figura 1.

Figura 1. Metodologia empregada no desenvolvimento da pesquisa



Visando a obtenção de dados qualitativos quanto ao ARM, foi realizado os ensaios de determinação de massa específica NM 52 (ABNT, 2009) e massa unitária NM 53 (ABNT, 2009), obtendo como resultado os valores expostos na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização do agregado reciclado misto

Ensaio de caracterização	ARM miúdo	ARM graúdo
Massa específica (g/cm ³)	2,365	2,532
Massa unitária (g/cm ³)	1,487	1,671

Com os dados apresentados na Tabela 1 foi dosado um traço para a produção das peças de concreto para pavimentação, sendo o traço determinado 1 : 1,09 : 2,09 : 0,3 (cimento : agregado miúdo : agregado graúdo : água). Para a dosagem e execução também foi utilizado 1% de aditivo superplastificante, este em função da massa do cimento CII-Z-32 utilizado no concreto. A utilização do aditivo superplastificante teve por objetivo melhorar a trabalhabilidade do concreto visto a baixa relação água/cimento utilizada na mistura, além da alta porosidade dos agregados.

Logo após a execução do concreto, realizou-se o ensaio de abatimento de tronco de cone, seguindo as especificações da NBR NM 67 (ABNT,1998). Para este ensaio, o molde e a placa de base foram umedecidos com a finalidade de não haver atrito entre os materiais, em seguida o molde foi preenchido em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde, em cada camada foram aplicados 25 golpes com uma haste de compactação.

Também foram moldadas as peças de concreto para pavimentação, conforme pode-se observar na Figura 2.

Figura 2. Desmoldagem de uma peça de concreto para pavimentação



Para moldagem das peças foi utilizada a mesa vibratória. Inicialmente colocou-se os moldes vazios com desmoldante em cima da mesa vibratória ainda desligada, em seguida foi inserido uma quantidade de concreto suficiente para encher metade das formas. Ligou-se a mesa vibratória para que o concreto preenchesse todo o fundo do molde, ainda com a mesa ligada inseriu-se o restante de concreto até que o molde ficasse totalmente preenchido. Por fim, a mesa vibratória foi desligada e retirou-se os moldes para desforma imediata, conforme observado na Figura 2.

A cura dos corpos de prova foi realizada conforme orientações da NBR 5738 (ABNT, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estado fresco do concreto, pode-se perceber que a utilização de ARM tem influência na trabalhabilidade, isso se deve principalmente a alta absorção de água, em função da capa de argamassa aderida no agregado natural. Além disso na composição do ARM havia partículas de materiais cerâmicos que possuem uma maior quantidade de poros, quando comparados com rochas naturais. O slump-test determinado pelo ensaio de abatimento de tronco de cone, seguindo as especificações da NBR NM 67 (ABNT,1998) foi de zero. Estas misturas mais secas (slump-teste igual a zero) é ideal para peças adensadas em mesas vibratórias.

No estado endurecido foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial aos 7, 14, 28 e 90 dias, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2. Resistência à compressão axial para concretos com 100% de ARM

Idade do concreto	7 dias	14 dias	28 dias	90 dias
Resistência à compressão axial	11,2	17,8	29,6	35,4

A resistência à compressão axial dos corpos de prova analisados atingiu aos 28 dias de cura 29,6 MPa e aos 90 dias 35,4 MPa. Esse resultado não satisfazem o proposto pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013) que estipula resistência característica à compressão igual ou superior à 35 MPa aos 28 dias de cura. Apesar disto, pode-se afirmar que o ARM possui grande potencial, sobretudo quando o processo de beneficiamento, triagem do resíduo que chega de uma determinada obra, é mais rigoroso, fazendo com que o produto final possua uma quantidade mínima de impurezas. As impurezas, geralmente, encontradas no ARM são pedaços de madeira, papel, vidro e plástico, esses elementos prejudicam a resistência do concreto.

Também foi analisado a resistência do material aos 7 e 14 dias, porém a resistência à compressão foi bastante baixa, quando comparada à NBR 9781 (ABNT, 2013). Essa resistência poderia aumentar caso a cura das peças fosse térmica. A cura térmica acelera o ganho de resistência mecânica nas primeiras idades do concreto, devido as reações químicas do cimento também serem aceleradas devido à alta temperatura.

Outro aspecto analisado é que a resistência à compressão axial poderia ser acrescida caso os ARM utilizados fossem parcialmente combinados com agregados naturais, estes que são mais densos e influenciam na resistência mecânica. Outra possibilidade seria a utilização de adições, essas quando bem dosadas melhoram as propriedades mecânicas do concreto.

Por fim, pode-se afirmar que o maior beneficiado quando se utiliza o ARM é o meio ambiente, uma vez que o resíduo da construção civil quando descartados de forma incorreta pode implicar em danos tanto para questões de saúde, qualidade de vida e ocupação do espaço urbano. A utilização de ARM mostra uma possibilidade do material voltar a compor um dos elementos que movem uma indústria que emprega milhões de pessoas ao redor do mundo de forma benéfica, a indústria da construção civil.

CONCLUSÃO

Buscando uma opção de destino ecologicamente correta para o resíduo gerado pelo setor da construção civil, a utilização do agregado reciclado misto (ARM) para confecção de pavers se mostrou uma alternativa interessante. Pode-se observar, entretanto, que o ARM possuía uma quantidade significativa de impurezas, sendo estes restos de madeira, plástico, papel e terra. Além disso, pode-se verificar que o ARM possui maior absorção de água, isso por dois motivos, o primeiro devido à capa de argamassa aderida ao agregado natural e o segundo que materiais cerâmicos fazem parte da constituição do ARM, e estes materiais possuem uma maior quantidade de poros, quando comparados com rochas naturais. Esses são alguns fatores determinantes na resistência à compressão de um concreto, todavia, mesmo com esses elementos desfavoráveis, a resistência à compressão axial dos corpos de prova analisados atingiu aos 28 dias de cura 29,6 MPa e aos 90 dias 35,4 MPa. O resultado não satisfaz o proposto pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013) que estipula resistência característica à compressão igual ou superior à 35 MPa aos 28 dias de cura. Apesar disto, percebe-se que o ARM possui grande potencial, sobretudo quando o processo de beneficiamento, triagem do resíduo que chega de uma determinada obra, é mais controlado, fazendo com que o produto final possua uma quantidade mínima de impurezas.

Outro aspecto analisado é que a resistência à compressão axial poderia ser acrescida caso os ARM utilizados fossem parcialmente combinados com agregados naturais, estes que são mais densos e influenciam na resistência mecânica. Por fim, pode-se afirmar que o maior beneficiado quando se utiliza o ARM é o meio ambiente, visto que todos esses resíduos que antes poderiam implicar em questões de saúde, qualidade de vida e ocupação do espaço urbano, tem a chance de compor novamente um dos elementos que movem uma indústria que emprega milhões de pessoas ao redor do mundo de forma benéfica.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Tuiuti do Paraná por disponibilizar toda infraestrutura do curso de Engenharia Civil para a realização dos ensaios e a Coordenadoria de Pesquisa, Iniciação Científica e Editoração Científica - PROPPE pelo seu apoio e incentivo à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- _____. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio-Requisitos. Rio de Janeiro, 2013.
- _____. NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização e pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. NM 52: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
- ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil. Resíduos da construção e demolição: geração de emprego e renda. Disponível em <<https://abrecon.org.br/>> Acesso em: 10. mai. 2021.
- AKHTAR, A., SARMAH, A.K. C&D waste generation and properties of recycled aggregate concrete: a global perspective. J. Clean. Prod. v.186, p. 262–281, 2018.
- FERNANDES, Idário. Blocos e Pavers: Produção e controle de qualidade. 6. ed. Ribeirão Preto/ SP: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2015.
- GALLIAS, J. L. Actiob of gypsum on recycled aggregate concrete. In: CIB BUILDING CONGRESS – MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION. Suíça, 1998. Proceedings. Suíça, 1998. P.175-82
- ISLAM, R., NAZIFA, T. H., YUNIARTO, A., SHANAWAZ, A. S. M., SALMIATI, S., SHAHID, S. An empirical study of construction and demolition waste generation and implication of recycling. Waste Management, Volume 95, 15 July 2019, Pages 10-21.
- JIN, R., LI, B., ZHOU, T., WANATOWSKI, D., PIROOZFAR, P., 2017. An empirical study of perceptions towards construction and demolition waste recycling and reuse in China. Resour. Conserv. Recycling 126, 86–98.
- KAPOOR, K.; SINGH, S. P. P.; SINGH, B. “Durability of self-compacting concrete made with Recycled Concrete Aggregates and mineral admixtures”, Construction and Building Materials. v. 128, p. 67-76, 2016.
- LIMBACHIYA, M.; MEDDAH, M. S.; OUCHAGOUR, Y. Use of recycled concrete aggregate in flyash concrete, Construction and Building Materials. v. 27, n. 1, p. 439-449, 2012.
- OGAWA H.; NAWA T. Improving the quality of recycled fine aggregate by selective removal of brittle defects. Journal Of Advanced Concrete Technology, v.10, p. 395–410, 2012.
- TOSIC N.; MARINKOVIC S.; DASIC T.; STANIC M. Multicriteria optimization of natural and recycled aggregate concrete for structural use. Journal of Cleaner Production, v. 87, p. 766-776, 2015.