

PAVIMENTO INTERTRAVADO UTILIZANDO RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Ivan César Previato LUCHETI*

Odair PASTORIN JÚNIOR**

Cleiton João MENDES***

RESUMO

No mundo contemporâneo, a escassez de matéria-prima causada pelo extrativismo inconsciente ao longo dos anos proporciona uma preocupação constante com a busca de novos materiais, do mesmo modo, tenta-se encontrar soluções viáveis para a destinação dos resíduos sólidos provenientes da construção civil, gerados pelo desenvolvimento social da humanidade. Assim, esta pesquisa visa à criação de novos conceitos utilizando resíduos sólidos reciclados provenientes da construção civil para a substituição de materiais extraídos de jazidas naturais, objetivando a inclusão de um ciclo sustentável para o desenvolvimento urbano por meio da confecção de blocos de concreto do tipo intertravado para pavimentação, substituindo-se os agregados tradicionais por agregados reciclados, obtidos por meio do processo de reciclagem dos resíduos sólidos da construção civil. Foram realizados ensaios técnicos afim de verificar as propriedades mecânicas dos blocos de concreto, compostos por diferentes combinações de materiais, buscando compor um concreto que atenda as expectativas de aplicabilidade. Concluiu-se, no ensejo desta pesquisa, que a substituição da areia média lavada por areia de resíduos sólidos na confecção dos blocos torna-se plausível para a utilização destes em passeios públicos voltados ao tráfego de pedestres, retirando-se, deste modo, do meio ambiente, os resíduos antes inservíveis, transformando-os em benefícios urbanísticos de maneira sustentável.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Intertravado. Reciclagem. Construção civil. Sustentável.

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização, acreditava-se que os recursos naturais eram ilimitados e que sua exploração era sinônimo de desenvolvimento. Porém, com o progresso da sociedade e os avanços de seus conhecimentos, foi possível compreender melhor nosso planeta e notar que vivemos em um mundo de fontes esgotáveis e que se não nos precavermos e zelarmos por nossos bens naturais, chegará o momento em que cessarão nossas riquezas (BERTOLDO, 2009).

Diante dos fatos, mesmo após uma conscientização global nos últimos anos, são poucos os que se preocupam em fazer sua parte a respeito do assunto, pois vivemos em uma sociedade em que os interesses financeiros são mais relevantes que os ambientais.

*Graduado em Engenharia Civil do Centro Universitário de Santa Fé do Sul, SP - Unifunec, ivanlucheti@hotmail.com

**Graduado em Engenharia Civil do Centro Universitário de Santa Fé do Sul, SP - Unifunec, odairjunior_sfs@hotmail.com

***Docente do Centro Universitário de Santa Fé do Sul, SP - Unifunec, cleitonjoaomendes@hotmail.com

Com o crescimento urbano e a constante busca pelo conforto e aprimoramento das edificações, sejam elas residenciais ou comerciais, o nosso planeta encontra-se em um interminável canteiro de obras. Butler (2005) aponta a construção civil como grande geradora de resíduos, chamando a atenção para a ordem de um bilhão de toneladas/ano que, na maioria das vezes, não possui destinação apropriada, sendo simplesmente transportados a lixões ou bota-foras e esquecidos, não se importando com os impactos ambientais proporcionados, contaminando o solo e cursos d'água devido às substâncias químicas nocivas presentes nos resíduos sólidos.

De acordo com Santos (2005), aproximadamente 40% dos recursos naturais extraídos do planeta são destinados à oficina da construção civil, sendo esta também responsável pela maior geração de resíduos.

A geração de resíduos sólidos da construção civil, de acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2012), significa um grave problema em muitas cidades brasileiras, visto que tais restos representam de 50 a 70% da massa de resíduos sólidos urbanos e sua disposição irregular, além de causar problemas estéticos, ambientais e de saúde pública, também sobrecarregam os sistemas de limpeza pública municipais.

Com a finalidade de compartilhar a responsabilidade sobre os resíduos gerados, a Resolução Nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (Brasil, 2002), alterada pela Resolução Nº 348 (Brasil, 2004), determinou que o gerador fosse responsável pelo gerenciamento dos resíduos.

Assim, por meio de órgãos fiscalizadores, nas três esferas governamentais, os resquícios passaram a ser destinados a aterros especialmente preparados para receber, classificar e acumular esses resíduos.

Dessa maneira, aspirando sanar tais problemas em nosso país, alguns municípios vêm implantando usinas de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil, buscando dar uma destinação mais adequada aos entulhos gerados, separando de forma correta e transformando o que antes era descarte em agregados reciclados.

No município de Santa Fé do Sul, estado de São Paulo, onde esta pesquisa foi realizada, existe, em pleno funcionamento, um aterro municipal para a destinação final dos resíduos sólidos da construção civil, incumbido de coletar e condicionar todos os resquícios provenientes da construção civil produzidos na cidade.

Considerando que o município também possui uma pequena fábrica de peças pré-moldadas de concreto destinadas à manutenção urbana, com estrutura para produzir guias de sarjetas, tubos, blocos para alvenaria e blocos para pavimento tipo intertravado, esta pesquisa

busca avaliar a viabilidade de se produzirem blocos intertravados de concreto, substituindo totalmente o agregado miúdo por substrato de resíduo sólido da construção civil, no intuito de diminuir o custo da matéria-prima, proporcionando alternativas sustentáveis para a produção de blocos para calçamento de diversas áreas públicas.

Assim, os resíduos gerados pelas construções nos novos empreendimentos retornariam ao local de origem, reciclados em forma de blocos intertravados, beneficiando o meio ambiente com a retirada dos entulhos gerados e aos munícipes com o melhoramento das áreas públicas, fechando, assim, um ciclo sustentável de desenvolvimento responsável.

2 METODOLOGIA

Em laboratório, foram realizados ensaios técnicos de absorção de água e de compressão axial simples que demonstraram as propriedades mecânicas e higroscópicas dos blocos de concreto intertravados produzidos por meio da substituição dos agregados tradicionais por agregados oriundos da britagem dos resíduos sólidos da construção civil. Para tanto, produziram-se quatro tipos de blocos com diferentes combinações de agregados, conforme especificado na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição dos blocos analisados.

TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4
-	-	Areia Média Lavada	-
Brita 1	-	-	-
Cimento CP-II-32	Cimento CP-II-32	Cimento CP-II-32	Cimento CP-II-32 (2x)
Areia de Resíduo	Areia de Resíduo	-	Areia de Resíduo
-	Pedrisco de Resíduo	Pedrisco de Resíduo	Pedrisco de Resíduo

Fonte: Dos próprios autores, 2016.

Para cada tipo de combinação, foram produzidas três amostras para a obtenção de um valor médio entre os resultados dos ensaios, além da aquisição de três unidades de blocos produzidos outrora pela fábrica municipal, sendo estes últimos utilizados como amostras padrão para fins de comparação.

Para a confecção dos traços e produção dos blocos, tomaram-se como base as quantidades de insumos costumeiramente utilizadas pela fábrica do município, com o objetivo de avaliar se a substituição dos agregados, em mesma proporção dos originais, proporcionaria resultados satisfatórios.

A Tabela 2 demonstra os quantitativos, correspondentes a 1m³ (um metro cúbico) de concreto, utilizados pela fábrica municipal na produção dos blocos intertravados.

Tabela 2 - Quantitativos padrões utilizados para a fabricação dos blocos.

INSUMOS	QUANTIDADES PADRÃO
Areia Média Lavada	0,506m ³
Brita 1	0,721m ³
Cimento CP-II-32	463,000 kg

Fonte: Dos próprios autores, 2016.

O dimensionamento padrão dos blocos produzidos pela fábrica municipal segue as recomendações da ABNT NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação, peças do tipo 1, de formato retangular, com dimensões de 10x20x6 cm, utilizando-se moldes de plástico rígido, os quais também foram utilizadas nesta pesquisa, conforme Figura 1.

Figura 1 - Moldes para a fabricação dos blocos intertravados.



Fonte: Dos próprios autores, 2016.

Assim, com base nas informações adquiridas, determinaram-se as quantidades para cada insumo utilizado na produção dos blocos intertravados, considerando, além do traço padrão, os quatro demais traços (Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3 e Tipo 4), conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Quantitativo dos insumos utilizados.

QUANTITATIVO REFERENTE A 1 M³					
	PADRÃO	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4
Areia Média Lavada	0,506m ³	-	-	0,506m ³	-
Brita 1	0,721m ³	0,721 m ³	-	-	-
Cimento CP-II-32	463,00kg	463,00kg	463,00kg	463,00kg	926,00kg
Areia de Resíduo	-	0,506m ³	0,506m ³	-	0,506m ³
Pedrisco de Resíduo	-	-	0,721m ³	0,721 m ³	0,721m ³

Fonte: Dos próprios autores, 2016.

As Figuras 2, 3, 4, 5 e 6 a seguir demonstram os materiais que foram utilizados para a confecção dos blocos intertravados, objetos de estudo desta pesquisa.

Figura 2 - Areia média lavada.



Fonte: Dos próprios autores, 2016.

Figura 3 - Brita 1.



Fonte: Dos próprios autores, 2016.

Figura 4 - Cimento CP-II-32



Fonte: Dos próprios autores, 2016.

Figura 5 - Areia de resíduo.



Fonte: Dos próprios autores, 2016.

Figura 6 - Pedrisco de resíduo.



Fonte: Dos próprios autores, 2016.

Desse modo, para a produção dos traços utilizados na confecção dos blocos intertravados, tomaram-se os valores expostos na Tabela 3. Os concretos foram produzidos de forma manual, todos no mesmo dia e com as mesmas condições climáticas e de assessorios. Inicialmente, misturaram-se os agregados finos (reciclados), cimento e areia, em seguida, adicionaram-se a brita e a água de amassamento à mistura até se obter uma massa homogênea e com boa trabalhabilidade. Por fim, efetuou-se a moldagem dos blocos, conforme a Figura 7.

Figura 7 - Blocos moldados em processo de cura.



Fonte: Dos próprios autores, 2016.

Após três dias de cura, sendo umedecidos com um leve esguicho de água potável no início da manhã e ao final da tarde, efetuou-se a desforma dos blocos. Todo o processo de cura se deu por exatos 28 dias.

Finalizado o período de cura dos blocos, eles foram transportados ao laboratório de Engenharia da Fundação Municipal de Educação e Cultura de Santa Fé do Sul para a realização dos ensaios pertinentes, conforme Figura 8.

Figura 8 - Blocos preparados para os ensaios mecânicos.



Fonte: Dos próprios autores, 2016.

Os ensaios foram realizados de acordo com a Norma ABNT NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) que estabelece os requisitos e métodos de ensaios exigidos para aceitação de peças de concreto para pavimentação intertravada sujeitas ao tráfego de pedestres, de veículos dotados de pneumáticos e áreas de armazenamento de produtos.

Em princípio, realizou-se inspeção visual nos blocos para análise de possíveis defeitos de fabricação, verificando se as dimensões estavam compatíveis com a citada norma, com auxílio de trena e paquímetro.

Em seguida, foi realizado o ensaio de determinação da absorção de água, expressa em porcentagem, representando o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de água em seus poros permeáveis em relação a sua massa em estado seco.

Todos os blocos, após limpeza das impurezas de suas faces, foram imersos em um tanque com água, onde repousaram por exatas 24 horas. Transcorrido o período de imersão, com o auxílio de um pano úmido, retirou-se o excesso de água da superfície dos blocos, efetuando-se a pesagem de cada um.

Assim, os blocos saturados foram levados à estufa com temperatura de 110 C° (Figura 9), permanecendo nesta condição por 24 horas. Ao final deste período, os blocos secos foram novamente pesados, obtendo-se os valores para a determinação da absorção d'água.

Figura 9 - Secagem dos blocos em estufa.



Fonte: Dos próprios autores, 2016.

O valor da absorção de água de cada corpo de prova foi calculado utilizando-se a Equação 1.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad [\text{Eq. 1}]$$

Onde:

- A = absorção do corpo de prova, expressa em porcentagem;

- m_1 = massa do corpo de prova seco, expressa em gramas;

- m_2 = massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas.

Por fim, realizou-se o ensaio para a determinação da resistência característica à compressão, com o auxílio de máquina de ensaio de compressão, conforme Figura 10.

Figura 10 - Ensaio de compressão axial simples.



Fonte: Dos próprios autores, 2016.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os cinco tipos de blocos considerados (Padrão, Tipo 1, 2, 3 e 4), foram coletados os dados referentes às massas secas e saturadas, após 24 h de imersão, conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Massas médias verificadas.

MASSAS MÉDIAS VERIFICADAS					
	PADRÃO	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4
Blocos saturados	3,54kg	2,58kg	1,86kg	0,86kg	2,32kg
Blocos secos	3,14kg	2,29kg	1,47kg	0,73kg	1,93kg

Fonte: Dos próprios autores, 2016.

Assim, foram determinadas, para cada tipo de traço, as respectivas absorções de água, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Porcentagens de absorção.

PORCENTAGEM DE ABSORÇÃO DE ÁGUA					
Tipo	PADRÃO	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4
Porcentagem	11,29%	11,24%	26,53%	17,80%	20,20%

Fonte: Dos próprios autores, 2016.

Por fim, foi realizado o ensaio de compressão axial simples, para três amostras (A, B e C) de cada um dos cinco tipos de blocos, obtendo-se os valores apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Resistência à compressão simples dos blocos.

AMOSTRAS	RESULTADOS (MPA)			MÉDIA
	ENSAIO A	ENSAIO B	ENSAIO C	
PADRÃO	32,00	31,94	30,40	31,45
Tipo 1	13,70	13,80	14,10	13,86
Tipo 2	5,40	6,00	4,90	5,43
Tipo 3	11,50	10,36	11,38	11,08
Tipo 4	13,00	13,70	14,50	13,73

Fonte: Dos próprios autores, 2016.

Os resultados de resistência emitidos pela máquina de ensaio de compressão são expressos em Mega Pascal (MPa), pois na realização do ensaio foi informada à máquina a área de carregamento em milímetros quadrados (mm²), obtendo-se os valores finais pela divisão da carga de ruptura, expressa em newtons (N), pela área carregada.

Referente às medidas reais de comprimento, largura e espessura das peças, os resultados foram satisfatórios, uma vez que se utilizaram formas padronizadas para a confecção dos blocos.

Para o ensaio de absorção, o valor médio conforme a ABNT NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio (Brasil, 2013) deve ser menor ou igual a 6%, o que não ocorreu nas amostras analisadas, em que até mesmo o bloco padrão, confeccionado pela fábrica da Prefeitura Municipal, demonstrou um resultado acima do esperado, de 11,29%. Assim, observou-se que para os blocos Tipo 2, 3 e 4 ocorreram elevados graus de absorção, comparando-se com a amostra Padrão e do Tipo 1, devido ao fato de que, na composição dos blocos Tipo 2, 3 e 4, utilizou-se pedrisco de resíduos substituindo a brita 1 que, por ser um material poroso, possui uma elevada capacidade de absorção.

No ensaio de compressão axial simples, os resultados também se apresentaram insatisfatórios, pois os blocos não atingiram a resistência mínima exigida por norma para o

tráfego de pedestre, veículos leves e veículos comerciais de linha, ou seja, maior ou igual a 35 MPa, incluindo-se o bloco fabricado pela fábrica da Prefeitura Municipal, demonstrando, assim, a dificuldade no controle de produção.

Porém, conforme afirma Cavalcanti:

Por se tratar de um concreto sem finalidade estrutural, a sua utilização para fabricação de pavimentos intertravados, para utilização em calçadas, ruas de baixo movimento, e jardins, não deverá ser influenciado pelos testes de compressão que não apresentaram a resistência mínima de 35 MPa indicada na NBR 9781. (CAVALCANTI, 2011, p. 4)

Desse modo, os resultados apresentados pelos blocos do Tipo 1 demonstram-se satisfatórios para a utilização proposta nesta pesquisa que é a pavimentação de passeios para urbanização de áreas públicas, com tráfego apenas para pedestres. Nestes blocos, apenas substituiu-se a areia tradicional pela areia de resíduos sólidos, mantendo-se a brita 1, viabilizando, assim, a utilização do resíduo sólido da construção civil para a fabricação dos blocos intertravados de concreto.

Os blocos do Tipo 2, compostos de areia de resíduo, pedrisco de resíduo e cimento, apresentaram os menores valores no ensaio de compressão axial, devido à baixa resistência dos materiais reciclados.

Os blocos do Tipo 3, compostos de areia média lavada, brita de resíduo e cimento, obtiveram resultados duas vezes maiores do que os blocos do Tipo 2, demonstrando que apenas a substituição da brita 1 seria o suficiente para um resultado razoável, porém, não adequados devido aos valores de absorção apresentados.

Já os blocos do Tipo 4, utilizando-se areia de resíduo, brita de resíduo e cimento, com dosagem duplicada, obtiveram resultados equiparáveis aos apresentados pelos blocos do Tipo 1. Todavia, como já citado, sua absorção apresentou-se elevada.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se, com base na revisão de literatura e na análise dos resultados obtidos por meio dos ensaios realizados, que a substituição dos agregados tradicionais pelos agregados obtidos através do processo de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil para a confecção de blocos de concreto para pavimento permeável do tipo intertravado não é viável para fins de comercialização, pois não atendem aos requisitos mínimos exigidos por norma. Contudo, para a aplicação sugerida por esta pesquisa, ou seja, utilização dos blocos para pavimentação de passeios públicos em áreas de desenvolvimento do município, a substituição

torna-se viável, pois os resultados apresentados pelos blocos do Tipo 1, descritos nesta pesquisa, demonstraram propriedades mecânicas aceitáveis para a utilização proposta.

INTERSPERSED PAVEMENT USING CONSTRUCTION INDUSTRY WASTE: MECHANICAL PROPERTIES STUDY

ABSTRACT

Nowadays, the shortage of raw material caused by unconscious extractivism all over the years, concerns people constantly with looking for new material, in the same way, attempts to find possible solutions to the destination of solid waste resulting from civil construction industry generated by social and human development. Thus, this paper aims to create new concepts by using recycled solid waste derivate from construction industry to replace material extracted from natural quarry, aiming to include a sustainable cycle to urban development by manufacturing interspersed concrete blocks to pavement, replacing the regular bricks to recycled ones, obtained through a recycling process of the solid waste from construction industry. Technical trials were made in order to verify the concrete blocks mechanical properties, composed by different material compositions, testing them for a composition of concrete that meets expectations of applicability. It was concluded that, wishing this research, the replacement of washed medium sand to solid waste sand when manufacturing blocks turns them conceivable when using in public pavements designed for pedestrian transit, thus removing waste from environment that were useless before and transforming them into benefits to urban sustainability.

Keywords: Solid waste. Interspersed. Recycling. Construction Industry. Sustainable.

REFERÊNCIAS

BERTOLDO, A. S. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. **Revista IGAPÓ**, jan. 2009. Disponível em: <<http://200.129.168.183/ojs/index.php/igapo/article/viewFile/214/179>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

IPEA – Instituto de Pesquisa e Econômica Aplicada. Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil: relatório de pesquisa. Brasil: Ipea, 2012 Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120911_relatorio_construcao_civil.pdf> Acesso em: 19 abr.2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: peças de concreto para pavimentação – especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. Disponível em: <<http://sinprocim-es.org.br/download/NORMA%20ABNT%20NBR%209781%20PISOS.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

BRASIL. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2002_307.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2016.

BRASIL. Resolução nº 348, de 16 de agosto de 2004. **Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449>>. Acesso em: 01 mai. 2016.

BUTLLER, A. M. Agregados reciclados na produção de artefatos de concreto. **Revista do Concreto – IBRACON**. Fev. 2005, p. 26 -29.

CAVALCANTI, E. C. M. **Pavimentação intertravada: Utilização de resíduo de construção e demolição para fabricação e assentamento de pavers.** XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e XI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, RN, 2011. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2011/anais/arquivos/RE_0111_0102_01.pdf> Acesso em: 19 abr.2016.

SANTOS, J. R. Betão com agregados grossos reciclados de betão. **Revista Concreto**, São Paulo, 2005, p. 10-14.

Recebido em: 16 de novembro de 2017.

Aprovado em: 28 de junho de 2018.