

Substituição total ou parcial de agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial na produção de pisos intertravados

Daniela Evaniki Pedroso (Universidade Tuiuti do Paraná) daniela.pedroso@utp.br

Cleber Luís Pedroso (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) cleber.ped@gmail.com

Vsevolod (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) seva6219@gmail.com

Giovanna Bueno (Universidade Tuiuti do Paraná) gidoslash@gmail.com

Robson Caldeira da Silva (Universidade Tuiuti do Paraná) robson1caldeira@gmail.com

Resumo:

Este artigo tem por objetivo avaliar a substituição total ou parcial de agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial na produção de pisos intertravados. O estudo surgiu da necessidade de buscar novas alternativas para a produção de artefatos de concreto, pois os agregados de origem natural estão cada vez mais escassos. Para isso será utilizado o resíduo da britagem de rochas - agregado miúdo artificial - em diferentes percentuais de substituição pelo agregado miúdo natural na confecção de pisos intertravados de concreto (pavers). Foram moldados corpos de prova, utilizando os teores de substituição de agregado miúdo natural por artificial nas proporções 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, realizados ensaios de resistência à compressão nas idades de cura de 7, 14, 21 e 28 dias e analisados seus resultados, bem como os custos de produção de cada tipo. Os resultados demonstram que todos os teores de substituição atenderam a resistência mínima aos 28 dias, segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013) para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha. Já a análise de custos mostrou que está seria uma alternativa viável na produção dos pisos intertravados de concreto.

Palavras chave: Piso intertravado, agregado miúdo artificial, agregado miúdo natural.

Total or partial replacement of natural aggregate by artificial aggregate in the production of interlocked floors

Abstract

This article aims at a total or partial revision of natural aggregate by artificial aggregate in the production of interlocked floors. The study arose from the need to seek new alternatives for the production of concrete artifacts, since natural aggregates are increasingly scarce. In order to do this, the rock crushing residue (artificial aggregate) will be used in different percentages of replacement by the natural aggregate in the construction of interlocked concrete floors (pavers). The specimens were molded using the substitution rates of natural to artificial aggregate in the proportions 0%, 25%, 50%, 75% and 100%, with compressive strength tests at curing ages of 7, 14, 21 and 28 days and analyzed their results, as well as the production costs of each type. The results show that all substitution levels met the minimum resistance at 28 days, according to NBR 9781 (ABNT, 2013) for traffic of pedestrians, light vehicles and commercial vehicles of the line. Already the cost analysis showed that this would be a viable alternative in the production of interlocking concrete floors.

Key-words: Interlocked floor, Interlocked floor, natural aggregate.

1. Introdução

A extração do agregado miúdo natural proveniente dos leitos dos rios tem grande potencial de degradação ambiental, além de causar problemas sanitários à população local, visto que cavas provenientes da retirada desse material podem causar o acúmulo de água parada, criando um ambiente ideal para proliferação de mosquitos que transmitem doenças, como a dengue e da febre amarela.

Por outro lado, há um crescente aumento da demanda por agregado miúdo no mercado nacional, porém com a exaustão das reservas naturais, principalmente próximas às grandes metrópoles, e com a preocupação constante com a preservação do meio ambiente, surge a necessidade da busca de novas alternativas para substituição destes agregados naturais.

Uma das alternativas é o resíduo da britagem de rochas, pó-de-pedra, produto oriundo dos processos de beneficiamento de rochas e que, até pouco tempo atrás, possuía reduzidas opções de reaproveitamento.

Os resíduos do beneficiamento de rochas naturais geram em torno de 25% a 30% de pó, resultando em uma média de 240.000 toneladas ao ano gerados somente no Brasil, resíduos estes que, se não aproveitados, acabam descartados muitas vezes de forma incorreta, acarretando em maiores e graves impactos ambientais (SANTOS *et al.*, 2012 apud FORMIGONI, 2006).

Basicamente, a britagem de rochas gera 5 tipos de produtos, classificados granulometricamente segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009): as britas 3 (70 a 50mm), 2 (50 a 25mm), 1 (25 a 12,5mm), 0 (12,5 a 4,75mm) e o pó de pedra ou agregado miúdo artificial (menores que 4,76mm), sendo que os únicos que possuem usos mais nobres são as britas 1, 2 e 3, ficando as britas 0 e o pó-de-pedra destinados a usos mais secundários, quando não ficam estocados em grandes pilhas nas pedreiras, gerando acúmulo de poeira e graves problemas ambientais (ALMEIDA *et al.*, 2003). Por outro lado, quando são processados de maneira correta, estes finos podem substituir os agregados miúdos naturais, desde que atendam alguns parâmetros como: a distribuição granulométrica adequada, resistência mecânica, entre outras características. Estes parâmetros vêm sendo mais facilmente atingidos devido aos avanços tecnológicos, com o desenvolvimento de novos equipamentos capazes de adequar as formas das partículas, transformando seus formatos lamelares em formatos cúbicos e, permitindo assim, sua eficiente utilização em concretos e argamassas.

Para Passos *et al.*, (2007), com relação ao agregado miúdo natural, o agregado miúdo artificial apresenta algumas vantagens, dentre as quais se destacam: menor degradação ao meio ambiente; menor distância entre as fontes produtora e distribuidora; menor custo, quando comparado ao agregado natural; maior confiabilidade no volume de produto entregue e maior aderência com a pasta de cimento e os demais agregados, devido à sua superfície irregular.

Nesta perspectiva, o artigo irá apresentar um estudo de caso, oriundo de uma indústria de artefatos de concreto localizada no município de Colombo-PR e que já vem utilizando o agregado miúdo artificial em substituição parcial ao agregado natural na produção de tubos de concreto, porém, esta substituição ainda não é feita na produção de pisos intertravados de concreto. Desta forma, a empresa disponibilizou sua estrutura e materiais para a realização desta pesquisa, apoiando o estudo e também com o intuito de analisar posteriormente os resultados, verificando a possibilidade e viabilidade da substituição dos agregados também em sua produção de pisos intertravados de concreto.

Para isso, será analisado a viabilidade da utilização do resíduo da britagem de rochas (agregado miúdo artificial) em diferentes percentuais de substituição pelo agregado miúdo natural na confecção de pisos intertravados de concreto (pavers). As substituições do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial foram nas proporções de 25%, 50%, 75% e 100%, em um traço de concreto convencional já utilizado em uma indústria de pré-moldados; também serão verificadas as resistências à compressão dos pisos intertravados de concreto aos 7, 14, 21 e 28 dias e avaliado a viabilidade econômica da substituição do agregado.

2. Referencial teórico

Agregados são materiais granulares que possuem formas e volumes variáveis, além de serem geralmente inertes (VIACELLI, 2012).

Bauer (2000), afirma que os agregados também são classificados de acordo com a dimensão de suas partículas, sendo considerados como agregados miúdos as areias e, como agregados graúdos, os cascalhos e britas.

De acordo com a NBR 9935 (ABNT, 2011), os agregados miúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 4,75 mm e que ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm. Já os agregados graúdos, são aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e que ficam retidos na peneira com malha de 4,75 mm.

Quanto à sua origem, podem ser classificados como naturais ou artificiais, sendo que os naturais são obtidos diretamente na natureza na forma de agregados, grupo em que se enquadram as areias, tanto de minas quanto as de cursos d'água, bem como os seixos rolados e pedregulhos. Já os agregados artificiais são aqueles que passam por um processo de aperfeiçoamento feito pelo homem, com o intuito de chegar às condições necessárias de ser utilizado como agregado. Neste grupo encontram-se as pedras e areias obtidas através da moagem de fragmentos de rocha maiores (PETRUCCI, 1981).

As características dos agregados são levadas em consideração na análise da resistência de concretos e argamassas, existem fatores como forma, dimensão, textura superficial, granulometria e mineralogia dos agregados que são conhecidas por afetarem a resistência do concreto em vários graus, devendo, portanto, ser considerados (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

A primeira peça de concreto pré-moldada foi fabricada ao final do século XIX, sendo que algumas patentes destes materiais foram registradas antes da primeira Guerra Mundial. Porém, foi após o fim da segunda Guerra Mundial que ocorreram os primeiros avanços no desenvolvimento da utilização de pavimentação com elementos pré-moldados de concreto, durante a reconstrução de países, como a Holanda e a Alemanha, no período pós guerra (CRUZ, 2003). Atualmente existem variados modelos de blocos intertravados de concreto disponíveis no mercado, com diversos formatos geométricos.

Segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013) pavimento intertravado é definido como um pavimento flexível, cuja estrutura é composta por uma camada de base, seguida por uma camada de revestimento constituída de peças de concreto sobrepostas em uma camada de assentamento, onde as juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento é proporcionado pela contenção.

A resistência característica à compressão dos pavimentos intertravados de concreto devem

atender às especificações da NBR-9781 (ABNT, 2013) para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha $\geq 35\text{MPa}$ e para tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados $\geq 50\text{MPa}$.

Segundo o T&A (2004), algumas das principais vantagens da utilização de pavimentos intertravados de concreto são:

- A fabricação industrializada e em série, por meio de processos mecânicos e automáticos, os quais garantem baixo custo, qualidade e uniformidade das peças;
- Menor consumo de energia na sua fabricação, principalmente quando comparados a pavimentos asfálticos;
- Facilidade no assentamento;
- Facilidade no transporte e estocagem dos pisos, os quais podem, inclusive, ficar expostos às intempéries;
- Vida útil média de 25 anos, quando produzidos e aplicados corretamente;
- O pavimento pode ser liberado ao tráfego imediatamente após a limpeza final;
- Por ser um tipo de pavimento parcialmente permeável, proporciona a drenagem de águas pluviais;
- Baixo custo de manutenção e reparos.

3. Materiais e métodos

De acordo com os objetivos propostos, nesta pesquisa foram utilizados os seguintes procedimentos:

- Revisão bibliográfica: com relação à classificação, origem propriedades físicas dos agregados e do concreto fresco e endurecido, além dos materiais para fabricação de pisos intertravados de concreto;
- Levantamento dos conceitos e princípios fundamentais de dosagem experimental para pisos intertravados de concreto, com traços propostos para sua substituição.
- Execução do concreto, moldagem, cura dos pisos intertravados de concreto;
- Realização de ensaios de resistência à compressão;
- Levantamento de viabilidade técnica e econômica do experimento, através da comparação entre os traços propostos e o traço padrão.

Buscando atingir os objetivos propostos inicialmente, foi utilizado o método para o cálculo do traço empregado pela empresa em estudo, o qual foi desenvolvido com base em parâmetros propostos pela ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. O traço utilizado para confecção do concreto foi de 1 : 1,4 : 2,3 : 0,00385 : 0,31 (cimento : agregado miúdo fornecedor 1 : agregado miúdo fornecedor 2 : aditivo superplastificante : água).

O modelo de piso intertravado de concreto escolhido para o estudo proposto possui as seguintes características:

Piso intertravado de concreto retangular 35,0 MPa.

Dimensões: Largura = 10 cm
 Comprimento = 20 cm
 Espessura = 6 cm

Utilização: Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha.

Cor: Natural.

Classificação (NBR 9781:2013): Tipo I – Retangular.

Aplicações: Estradas, acostamentos, ruas, calçadas, praças, estacionamentos, pátios e galpões industriais, aeroportos, terminais rodoviários, entre outros.

Na Figura 1, é apresentado os blocos para pisos intertravados de concreto, confeccionados pela empresa em estudo:



Figura 1 – Piso intertravado de concreto retangular

Conforme observado na Figura 1, os blocos de concreto para pavimentos intertravados que estão ilustrados com o número 100, foi que houve 100% de substituição de agregado natural por artificial, o que claramente é visível devido sua coloração. Já o de 25% possui colocação mais próxima do agregado natural.

Na Tabela 1, são apresentados os teores de substituição do agregado natural e as idades de cura para rompimento dos corpos de prova:

Quantidade de Pavers	Teores de substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial				
Idades de cura	0%	25%	50%	75%	100%
7 dias	6	6	6	6	6
14 dias	6	6	6	6	6
21 dias	6	6	6	6	6
28 dias	6	6	6	6	6

Fonte: Os autores (2018)

Tabela 1 – Número de pavers a serem moldados, com relação aos teores de substituição e idades de cura

Como pode ser observado na Tabela 1, são 24 corpos de prova para cada teor de substituição, sendo eles: 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, totalizando, desta maneira, 120 corpos de prova. Para confecção dos pisos intertravados de concreto, foram seguidas as seguintes etapas:

- Seleção de dois agregados miúdos de diferentes mineralogias, sendo um artificial proveniente da região de Rio Branco do Sul e outro natural proveniente da região de Balsa Nova;
- Caracterização dos materiais selecionados através de ensaios específicos, tais como: granulometria, massa específica e massa unitária;
- Execução do concreto com as proporções definidas pelo traço 1 : 1,4 : 2,3 : 0,00385 : 0,31, utilizando as substituições do agregado miúdo.
- Moldagem de 120 unidades de pisos intertravados de concreto retangulares, com espessura de 6 cm, para serem rompidos aos 7, 14, 21 e 28 dias, conforme indicado na Tabela 1;

- Após a cura, regularização e capeamento dos corpos de prova com argamassa;
- Realização dos ensaios de resistência à compressão para avaliação da evolução da resistência dos diferentes teores de agregados artificiais.

Os materiais empregados no desenvolvimento deste trabalho e que serão caracterizados em laboratório serão:

- Cimento Portland CP-II-F, proveniente de uma indústria cimenteira da Região Metropolitana de Curitiba;
- Agregado Miúdo Natural proveniente de Rio Branco do Sul;
- Agregado Miúdo Artificial proveniente de Bolsa Nova;
- Brita 0 proveniente de Rio Branco do Sul.

Os traços foram rodados na empresa em estudo, obedecendo as seguintes etapas de execução dos pavers:

- Programação da central de concreto com os traços e substituições propostos para estudo;
- Determinação do teor de umidade dos agregados para correção do traço;
- Pesagem dos insumos;
- Execução do concreto;
- Moldagem dos corpos de prova por vibro-prensagem;
- Cura em estufa úmida, sem alimentação de calor, até 3 dias de idade. Após, as amostras foram recolhidas ao laboratório, onde permaneceram imersas em água até as datas de rompimento;
- Rompimento dos corpos de prova em prensa hidráulica para verificação de suas resistências à compressão.

Esses procedimentos estão ilustrados na Figura 2:



Figura 2 - a) Baías estoque agregados para produção de paver; b) Silos de agregado e cimento e central de concreto; c) Concreto sendo misturado; d) Molde e contra molde paver 6 cm; e) Paver sendo produzido por processo de vibro compactação; f) Racks com pavers do estudo, armazenados na câmara de cura; g) Exemplo paver capeado com argamassa, para regularização da base; h) Amostra de paver após ensaio de rompimento: peça rompida de forma ideal, fissura no centro da peça e retilínea; i) Amostra após ensaio de rompimento.

4. Resultados e discussões

Na Tabela 2 é possível observar as médias das resistências à compressão dos corpos de prova em função dos teores de substituição e tempos de cura:

Idades de cura	Médias das resistências à compressão (MPa)				
	Teores de substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial				
	0%	25%	50%	75%	100%
7 dias	26,67	32,20	35,05	38,40	44,55
14 dias	29,65	33,43	33,31	43,91	48,41
21 dias	34,46	36,26	34,25	44,74	51,84
28 dias	36,14	38,49	37,20	43,50	51,49

Fonte: Os autores (2018)

Tabela 2 – Média das resistências à compressão dos corpos de prova em função dos teores de substituição e tempos de cura

Conforme Tabela 2, é possível constatar que as resistências à compressão dos corpos de prova aumentam em função dos teores de substituição dos agregados artificiais, exceto para 25% e 50% em que as resistências à compressão são muito próximas. No caso da resistência à compressão aos 14 dias, com teor de substituição de 50%, nota-se que houve um decréscimo na resistência, não acompanhando a tendência dos resultados observados nos outros teores. Acredita-se que esta diferença tenha sido causada por questões relacionadas à etapa de execução. Observou-se que, na fase de moldagem dos corpos de prova, os blocos moldados e submetidos à vibro-prensagem mecânica que se localizam nos cantos da parte frontal do molde, têm uma tendência a apresentarem resistência à compressão mais baixa que os demais, pois sofrem menos vibração e compressão neste local. Outro fator que pode resultar em resistência mecânica menor que a esperada são as peças moldadas com o final do concreto que fica no silo da máquina, pois tende a ocorrer segregação do mesmo, prejudicando a resistência e acabamento, sendo necessário o descarte destas peças na maioria das vezes.

Além da análise da resistência mecânica, também foram analisados os custos de produção das peças de piso intertravado de concreto, nos diferentes teores de substituição de agregado miúdo propostos.

O custo total foi calculado com base nas quantidades de insumos utilizados para produção de uma masseira completa, que resulta em 5,5 m² de pavers. Portanto, para obter-se o valor para o custo unitário por metro quadrado de paver, dividiu-se o custo total por 5,5. Os custos, por metro quadrado, estão apresentados na Figura 3:

COMPARATIVO DOS CUSTOS



Fonte: Os autores (2018)

Figura 3 – Custo de produção, por metro quadrado, em função dos teores de substituição

Conforme a Figura 3, é possível perceber que os pavers executados com substituição do agregado miúdo natural apresentaram custo mais elevado em comparação aos pavers executados com teores de substituição de agregado miúdo artificial 75% e 100%. Além disso, os teores de 75% e 100% apresentaram resistência mais elevada em comparação ao teor de substituição do agregado miúdo de 0%. Porém, mesmo com a diferença significativa no custo e na resistência, não se pode considerar que estes fatores sejam os ideais para serem aplicados na produção, pois o agregado miúdo artificial utilizado, conta atualmente, com um único fornecedor na região de Curitiba e Região Metropolitana. Com isto, a produção dos pavers ficaria dependente de fornecimento de uma única empresa, o que afetaria a produção em caso de problemas com a produção ou com o fornecimento do material.

Desta forma, acredita-se que o teor ideal de substituição do agregado miúdo a ser adotado para a produção em larga escala seria o teor de 50%, pois este apresentou custo competitivo em comparação ao teor de substituição de 0% e resistência média superior aos 28 dias (36,14 MPa com 0% versus 37,19 MPa com 50% de teor de substituição), porém com a vantagem de não depender de um único fornecedor para o agregado miúdo.

Como os resultados da substituição com teor de 100% de agregado miúdo apresentou resultados muito significativos em relação ao teor de substituição de 0%, sendo mais barato e apresentando resistência média muito superior aos 28 dias (36,14 MPa com 0% versus 51,49 MPa com 100% de teor de substituição), considera-se também que sua produção deva ser levada em consideração, porém, em casos pontuais, onde seja exigida maior resistência, mas que a produção não venha a ser comprometida por algum possível contratempo ocasionado pelo fornecimento do agregado miúdo artificial.

5. Conclusão

Pode-se concluir que os pisos intertravados executados com substituição do agregado miúdo natural apresentaram custo mais elevado em comparação aos pisos intertravados executados com teores de substituição de agregado miúdo artificial 75% e 100%. Além disso, os teores de 75% e 100% apresentaram resistência mais elevada em comparação ao teor de substituição do

agregado miúdo de 0%, logo pode-se utilizar o agregado miúdo artificial em substituição ao agregado miúdo natural, tanto pelo aspecto técnico como econômico.

Do mesmo modo, foi confirmado que todos os teores de substituição atenderam a resistência mínima aos 28 dias, segundo a NBR-9781 (ABNT, 2013) para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7211: Agregados para Concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 9935: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 9781: Peças de Concreto para Pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ALMEIDA, S.L.M.; BISPO, L.H.O.; AGUIAR, T.D. Areia artificial a partir de finos de pedreiras brasileiras. Centro de Tecnologia Mineral: Rio de Janeiro, 2003.

BAUER, L.A.F. Materiais de Construção 1. 5. ed. Revisada. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2000.

CRUZ, L.O.M. Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3 ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

PASSOS, A.J.P.; STOCO, C.E.; SILVA, R.C. Estudo de Dosagem para Substituição Parcial ou Total da Areia Natural por Areia Artificial em Tubos de Concreto de $\varnothing = 0,40\text{m}$. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2007.

PETRUCCI, E.G.R. Concreto de Cimento Portland. 8ed. Rio de Janeiro: Globo, 1981.

SANTOS, R.A.; LIRA, B.B.; RIBEIRO, A.C.M. Argamassa com Substituição de Agregado Natural por Resíduo de Britagem de Granito. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – Set-Dez/2012. Universidade Federal da Paraíba, 2012.

T&A BLOCOS E PISOS. Manual técnico de piso intertravado de concreto. 46 p. Fortaleza, 2004. Disponível em: http://www.tea.com.br/wp-content/uploads/2011/05/Manual_Tecnico_Pisos_2010.pdf. Acesso em: 22/08/2018.

VIACELLI, L. Estudo da Viabilidade da Utilização do Agregado Miúdo Britado em Concreto Convencional. 59 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2012.