



Avaliação de desempenho de peças de concreto para pavimentação com agregado reciclado de concreto

Bruno Mendes Giovannini ¹,

Luis Henrique Saute Zago ²,

Dante Dora Donadel ³

Ricardo Girardi ⁴

Resumo: Este artigo tem como objetivo avaliar o desempenho de peças de concreto para pavimentação produzidas com a utilização de agregado reciclado de concreto. A avaliação foi realizada por meio da resistência à compressão e da determinação de absorção de água, e a posterior análise junto à NBR 9781 (ABNT, 2013), a fim de verificar o atendimento aos requisitos. Através dos resultados obtidos é possível concluir que as peças de concreto para pavimentação com o uso de agregado reciclado de concreto atendem aos requisitos da NBR 9781 (ABNT, 2013) para as propriedades avaliadas.

Palavras-chave: Peças de concreto, pavimentação; Agregado Reciclado; NBR 9781.

Abstract: This article seeks to assess the performance of concrete paving blocks produced with recycled concrete aggregate. The assessment of the obtained results in the compressive strength test and the water absorption test and their later comparison to the NBR 9781 (ABNT, 2013), as to verify if the normative requirements are met. The obtained results show that it is possible to produce concrete paving blocks utilizing recycled concrete aggregate meeting the requirements of NBR 9781 (ABNT, 2013) for the assessed properties.

Keywords: Concrete blocks; paving, Recycled Aggregate; NBR 9781.

Introdução

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da PUCRS, bruno.giovannini@acad.pucrs.br

² Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da PUCRS, luis.zago@edu.pucrs.br

³ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da PUCRS, dante.donadel@edu.pucrs.br

⁴ Professor Adjunto da Escola Politécnica da PUCRS/Curso de Eng. Civil, ricardo.girardi@pucrs.br



Ao longo de muitos anos as pedras foram utilizadas como principal meio de pavimentação de ruas. Fernandes (2013) destaca que ao decorrer dos anos as primeiras necessidades de encontrar meios alternativos para pavimentação de ruas foram se consolidando até que no ano de 1960 o alemão Fritz Von Langsdorff patenteou a primeira peça de concreto para pavimentação. Já a primeira utilização de concreto com agregado reciclado, segundo Helene e Levy (2002), data do pós-guerra, na reconstrução das cidades europeias que tiveram grande parte de suas edificações demolidas.

Nesse contexto, verifica-se a possibilidade de estudar as peças de concreto para pavimentação de uma maneira em que elas possam ser mais sustentáveis, pois a reutilização de materiais é de fundamental importância para o meio ambiente e o mercado já está apresentando uma tendência de adesão aos produtos sustentáveis.

Segundo Levy (2001), os agregados reciclados provenientes de resíduos de concreto são agregados obtidos da britagem de fragmentos de materiais minerais, provenientes da demolição de estruturas de concreto. Conforme o caso, estes materiais podem estar contaminados por agentes agressivos como cloretos e ou sulfatos. No caso do concreto com resíduos sua resistência à compressão dependerá da resistência à compressão dos agregados naturais utilizados na produção do concreto original.

Lauritzen (1998), apresenta que a maior parte do RCD é composta por calça de concreto e cerâmica que poderia ser reciclada e reutilizada. Além disso, demonstrou terem sido alcançadas possibilidades de reciclagem muito favoráveis. Porém, o autor ressalta que de um ponto de vista exclusivamente econômico, o RCD só se torna atrativo quando apresentar preço e qualidade competitivos com o agregado natural. Isso pode ser atingido de dois modos, pela falta de locais para o descarte apropriado dos resíduos, ou pela escassez de agregados naturais de boa qualidade.

Brasileiro e Matos (2015) apontam que as questões ambientais estão cada vez mais presentes na legislação dos países, e o Brasil deve tratar a reciclagem como rotina e não como opção. No país, segundo Simiele (2010), o custo do transporte por 50 km de pedra britada em caminhões é considerado equivalente ao preço na origem, isto é, ao custo total da extração, beneficiamento e comercialização, acrescido ao lucro. Esse fator é determinante para que a



maioria das pedreiras se localize próximas de grandes aglomerações urbanas. Porém, esta proximidade acaba se tornando um problema tanto para as mineradoras como para os habitantes da cidade. Diante deste fato, Simiele (2010) cita que é evidente que a opção pela implantação de usinas recicladoras localizadas junto aos centros consumidores desponta como uma solução política e ecologicamente correta.

Purificação (2009) elenca como uma das principais vantagens na utilização de agregado reciclado para produção de concreto o menor gasto com matérias primas, o que possibilitaria uma economia de recursos minerais. Também ressalta que a geração de resíduos gera custos e leva uma imagem desfavorável ao consumidor final. Portanto, vale ressaltar que a reutilização de resíduos está sendo implantada com mais frequência e apresenta um bom desempenho no aspecto econômico e social.

A NBR 9781 (ABNT, 2013) descreve a peça de concreto para pavimentação como sendo um componente pré-moldado de concreto, utilizado como material de revestimento em pavimento intertravado. Assim, Fernandes (2013) destaca que devido a função da peça de concreto para pavimentação, a sua camada superficial deve apresentar acabamento confortável para o trânsito de pessoas e que sua estrutura deve suportar o trânsito de veículos leves ou pesados, conforme a categoria de aplicação.

Debieb, Courard, Kenai e Degeimbre (2010) apresenta que deve ser avaliada a presença de contaminantes no agregado reciclado, especialmente cloretos e sulfatos, que poderiam influenciar na durabilidade do concreto, e apresentam a lavagem e imersão prolongada em água como solução para reduzir a presença de cloretos em agregados contaminados. Os autores concluíram que a durabilidade do agregado reciclado é fortemente afetada pela sua porosidade elevada absorção de água. Já Mehta e Monteiro (1994) afirmam que a água, como agente principal, é capaz de criar e degradar materiais naturais e artificiais, como o concreto.

Simiele (2010) relata que os pavimentos intertravados destacam-se por suas características funcionais e que propiciam simplicidade tanto no processo construtivo quanto no processo de manutenção. Ainda, Simiele (2010) menciona algumas das características dos pavimentos intertravados, tais como: permitir fácil reparação na ocorrência de recalque, facilidade de acesso e reparo às instalações subterrâneas, permitir liberação do tráfego logo



após conclusão das obras, reutilizar as peças, permitir a incorporação de sinalização horizontal com a utilização de peças coloridas, entre outras.

Para Purificação (2009) várias são as vantagens da utilização do piso intertravado, e por isso o seu uso está crescendo a cada dia. Dentre os fatores preponderantes, Purificação (2009) destaca o conforto, pois apresenta uma baixa condutividade térmica e dá mais conforto ao usuário que trafega, a versatilidade, pois a variedade de tipos, cores e formatos de blocos existentes é muito grande e isso permite inúmeras adequações estéticas e ambientais ao produto e a economia de manutenção, pois as peças reaproveitáveis quando há necessidade de retirada das peças do local onde se encontram. No entanto, apesar de poder ser utilizado em vias de tráfego pesado, conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013), o Manual de Pavimentos Rígidos (DNIT, 2005) recomenda a aplicação desse tipo de pavimento em locais onde o volume de tráfego é pequeno e a velocidade é baixa. Dessa forma, o uso desse tipo de pavimento fica mais restrito a vias urbanas, acostamentos, recuos e pátios.

O objetivo do presente trabalho é avaliar o desempenho de peças de concreto para pavimentação com o uso de agregado reciclado de concreto. Foi analisado o comportamento de diferentes traços, em massa, quando submetidos à resistência à compressão e à absorção de água, conforme as metodologias apresentadas na NBR 9781 (ABNT, 2013).

Materiais e Métodos

Nesta pesquisa utilizou-se o cimento Portland de alta resistência, conhecido como CP V ARI que é definido como aglomerante hidráulico que atende às exigências de alta resistência inicial. De acordo com Mizumoto, Simieli, Segantin e Salles (2007) o CP V-ARI, por ser o mais utilizado em fábricas de artefatos de cimento na produção de blocos para pavimentação e por possuir propriedades satisfatórias para a confecção de peças pré-moldadas de concreto é o mais indicado para ser utilizado nas peças de concreto para pavimentação.

A areia utilizada foi a de granulometria “média”, pois Fernandes (2013) sugere que o uso de uma areia fina proporciona maior superfície específica, aumentando o consumo de água. Entretanto a resistência do produto teria uma considerável diminuição, já que quanto mais fina a areia, mais grãos precisam ser envolvidos com pasta de cimento para uni-los.

O agregado reciclado no presente estudo foi britado em laboratório, sendo derivado de corpos de prova cilíndricos de concreto, ensaiados pelo Laboratório de Materiais de Construção da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Após a britagem foi realizada a separação nas peneiras com aberturas de 9,5; 6,3; 4,75 e 2,36mm. Esse procedimento foi definido para reduzir o efeito da variabilidade da granulometria sobre o estudo.

Tabela 1. Proporção do Agregado Graúdo

Abertura da peneira (mm)	Proporção (%)
9,5	5
6,3	60
4,75	30
2,36	5
Total	100

Os traços escolhidos para a produção das peças de pavimentação de concreto com agregado reciclado foram 1:2,5; 1:4,0; 1:5,5 e 1:7,0; em massa. A escolha desses, visa possibilitar a análise do desempenho das peças com diferentes quantidades de cimento. No presente estudo o agregado graúdo utilizado será do tipo reciclado.

Destaca-se que o teor de argamassa anidro foi definido pelo método proposto por Recena (2017), sendo quantificado em 70%, em massa. Isso vai ao encontro do exposto por Fernandes (2013), o qual cita que participação de agregado graúdo total na mistura, mais usual na confecção de peças de concreto para pavimentação é de 30%.

O teor de umidade total do concreto (H%) foi fixado em 8% para todos os traços. A Tabela 2 apresenta a constituição dos traços, em massa.

Tabela 2. Traços utilizados: proporção entre os materiais

Material	Traço (em massa)			
	1:2,5	1:4,0	1:5,5	1:7,0
Cimento	1,00	1,00	1,00	1,00
Areia	1,45	2,50	3,55	4,60
Agregado Reciclado	0,75	1,50	1,95	2,40
Água	0,28	0,40	0,52	0,64

Após os cálculos realizados separou-se o material necessário para a moldagem dos corpos de prova. Primeiramente foi pesada as frações do agregado graúdo reciclado, respeitando as proporções definidas na Tabela 1, e os demais (cimento e areia) na sequência.

Colocou-se o material correspondente a um traço na betoneira do laboratório e misturou-se aos poucos. Durante esse processo adicionou-se à mistura, água e o aditivo superplastificante até que a mistura ficasse totalmente homogênea. Com base nas condições de adensamento (compactação) a trabalhabilidade definida para o concreto é similar a uma “farofa” (FERNANDES, 2013). A Figura 1 apresenta o aspecto do concreto preparado para a moldagem das peças.

Figura 1. Concreto Fresco: aspecto de trabalhabilidade.



Com o concreto homogêneo distribui-se o mesmo com o auxílio de uma colher de pedreiro nas quatro formas destinadas para o traço. Em seguida, compacta-se o material em camada única por meio da aplicação de 15 golpes, com o auxílio de um martelo, tipo marreta de 5 kg.

Posteriormente ao período de cura (14 dias), iniciou-se a etapa de ensaios, a determinação da resistência característica à compressão foi realizada de acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013). Então, realizou-se o capeamento, preparo das bases para o ensaio. Duas placas auxiliares de 85mm de diâmetro com uma variação de ± 5 mm e espessura de 20mm são acopladas à máquina posicionadas uma no prato superior e outra no prato inferior de maneira que seus eixos verticais centrais fiquem perfeitamente alinhados. A Figura 2 ilustra o ensaio de resistência à compressão para o traço, em massa de 1:7,00.

Figura 2. Ensaio de Resistência à Compressão.



Para cada traço foram ensaiadas três peças à compressão aos 14 dias. A NBR 9781 (ABNT, 2013) define que os ensaios sejam feitos aos 28 dias, porém por se tratar de uma peça produzida com o cimento CP V-ARI de alta resistência inicial, os ensaios puderam ser realizados antecipadamente.

A determinação da absorção de água foi realizada de acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013), para isso, utilizou-se uma peça de cada traço de concreto. Primeiramente o pó das peças é removido com o auxílio de uma escova e depois desse procedimento as peças são imersas em um tanque com água potável à temperatura de $23(\pm 5)$ °C, por 24h.

Passadas às 24h secam-se as superfícies de cada corpo de prova e pesam-se os corpos de prova individualmente na condição saturada com superfície seca. Anotam-se os valores de massas obtidos na condição saturada e então se levam os corpos de prova saturados para a estufa com temperatura a (110 ± 5) °C, mantendo-se essa condição por 24h. Novamente, após 24h pesam-se os corpos de prova individualmente na condição seco em estufa e anotam-se os valores obtidos.

Resultados e Discussões

Realizou-se o ensaio de determinação da resistência à compressão média aos 14 dias de idade. Isso foi possível, pois se utilizou o cimento CP V-ARI para moldagem dos corpos de prova. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resistência à Compressão Média

Traço	Resistência à Compressão Média (MPa)	Desvio-padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
1:2,5	56,5	3,65	6,46
1:4,0	39,3	2,87	7,30
1:5,5	30,1	2,96	9,83
1:7,0	16,0	1,32	8,25

A NBR 9781 (ABNT, 2013) define que para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha a resistência característica à compressão deve ser maior ou igual a 35 MPa. Já para tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados a resistência característica à compressão deve ser maior ou igual a 50 MPa.

Purificação (2009), substituindo totalmente os agregados graúdo e miúdo naturais pelo agregado reciclado de concreto, atingiu resultados de resistência característica à compressão superiores a 35 MPa, e o presente trabalho, com a utilização de traços com maior consumo de cimento, atingiu resultados superiores a 50 MPa, comprovando a aplicabilidade do uso do agregado reciclado para diversas aplicações.

Em relação ao ensaio de absorção de água, ao analisar os dados apresentados na Tabela 4, foi possível observar que a relação entre traço e absorção de água são diretamente proporcionais, ou seja, quanto mais rico em cimento é o traço, menor é absorção de água. Isso se deve ao fato de que as peças confeccionadas com maior quantidade de areia, apresentam índice de vazios mais elevado, em função da ausência necessário de pasta para selar a estrutura de vazios.

Tabela 4. Resultados de absorção de água

Traço	Absorção de água (%)	Desvio-padrão (%)	Coefficiente de Variação (%)
1:2,5	3,28	0,08	2,44
1:4,0	5,14	0,12	2,33
1:5,5	5,36	0,10	1,87
1:7,0	6,26	0,18	2,88

Os resultados obtidos indicam que as peças produzidas com os traços 1:2,5, 1:4,0 e 1:5,5 atendem ao limite máximo de absorção de água previsto na NBR 9781 (ABNT, 2013) de 6%. Smiele (2010), estudando peças de pavimentação com a substituição de 60% de agregado



natural por agregado reciclado, obteve um índice médio de absorção de 4,06%. Esse valor é semelhante à média entre os valores obtidos no presente estudo para os traços 1:2,5 e 1:4,0, que é igual a 4,21%.

Conclusões

Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de peças de concreto para pavimentação confeccionadas com agregado reciclado de concreto, quanto a resistência à compressão e absorção de água conforme as metodologias apresentadas na NBR 9781 (ABNT, 2013).

Os traços escolhidos permitiram produzir peças de pavimentação sem a utilização de agregado graúdo natural, contribuindo com a redução do consumo dos recursos minerais. Os traços 1:2,5 e 1:4,0 apresentaram resultados de resistência característica à compressão e de absorção de água que atendem os requisitos normativos brasileiros para tráfego de veículos leves e comerciais de linha. O traço 1:2,5 atendeu também os requisitos da NBR 9781 (ABNT, 2013) para tráfego de veículos especiais, mostrando que o uso de agregado reciclado é possível mesmo quando as peças são submetidas a elevadas solicitações.

Assim, é possível afirmar que estudos no âmbito da utilização de agregados reciclados em peças de concreto para pavimentação, apresentam potencial de aplicação prática. Isso vai de encontro com a redução de consumo de agregados naturais, bem como com a utilização de um resíduo passível de descarte e poluição do meio ambiente, permitindo reduzir o passivo ambiental gerado na construção civil.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação: Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland: Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

AMORIM, R. P. F.; CAVALCANTI, E. C. M.; JUNIOR, S. A. **Pavimentação Intertravada: Utilização de Resíduo de Construção e Demolição para Fabricação e Assentamento de**



Pavers. Anais do XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica. Jacareí: UNIVAP, 2011.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E.. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, [S.L.], v. 61, n. 358, p. 178-189, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>.

CAGNETI, C.; MICHELS, B.; SANTOS, A. D. **Avaliação da resistência mecânica de blocos de concreto para pavimentação usando em sua composição agregado miúdo reciclado.** Anais do XXIV Seminário de Iniciação Científica. Joinville: UDESC.

DEBIEB, F.; COURARD, L.; KENAI, S.; DEGEIMBRE, R. Mechanical and durability properties of concrete using contaminated recycled aggregates. **Cement And Concrete Composites**, [S.L.], v. 32, n. 6, p. 421-426, jul. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.03.004>.

DNIT (2005). **Manual de Pavimentos Rígidos.** Publicação IPR – 714. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

FERNANDES, I. D. **Blocos e Pavers – Produção e Controle de Qualidade.** 4ª ed. São Paulo – SP, 2013.

LAURITZEN, E. K. The Global Challenge of Recycled Concrete. In: DIHR, HENDERSON, LYMBACHIYA (Org.). **Use of Recycled Concrete Aggregate.** Eds Thomas Telford, 1998. P. 506-519.

LEVY, S. M. **Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Concretos, Produzidos com Resíduos de Concreto e Alvenaria.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

HELENE P. R. L.; LEVY S. M. **Evolução histórica da utilização do concreto como material de construção.** EPUSP, São Paulo, 2002.

MEHTA P.K.; MONTEIRO P.J.M. **Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais,** PINI, São Paulo, 1994.

MIZUMOTO, C.; SALLES, F. M.; SEGANTINI, A. A. S.; SIMIELE, D. **Utilização de agregados reciclados em pavimentos intertravados.** Exacta (Universidade Nove de Julho), São Paulo, v. 5, n. 2, 2 de julho de 2007.

PURIFICAÇÃO, E. B. **Estudo do uso de agregados reciclados de concreto e substituição do cimento por resíduo de polimento de porcelanato na produção de piso intertravado de concreto.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Belo Horizonte – MG, 2009.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland.** 3ª ed. Porto Alegre – RS, 2017.



SIMIELE, D. Aproveitamento de Resíduos de Concreto na Confeção de Peças para Pavimento Intertravado de Concreto. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista – UNESP - Ilha Solteira – SP, 2010.