

## Análise de concretos para peças de pavimentação preparados com agregado reciclado e natural

### RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o estudo de inserção de resíduos de construção civil na produção de peças de concreto para pavimentação de passeios, vias e ciclovias com resistência à compressão de 35MPa. Diante do fato de a construção civil ser uma grande geradora de resíduos e que isso tem impacto ambiental, têm-se estudado a reutilização destes resíduos como matéria prima, a inserção de Resíduo de Construção e Demolição (RCD) ajuda a reduzir os impactos que são gerados assim minimizando também o desperdício e visando um melhor destino para estes materiais. No presente estudo foi utilizada a substituição de 100% de agregado graúdo e verificada a resistência à compressão e absorção de água das peças de concreto preparadas com os diferentes traços. Através das resistências obtidas foi possível determinar a equação que modela a Curva de Abrams, permitindo assim a determinação do traço para a resistência à compressão de 35MPa e posteriormente verificar o custo de produção por metro cúbico de concreto. Assim, ao final o preço do concreto preparado com agregado reciclado, fixando-se a mesma resistência à compressão de 35MPa.

**PALAVRAS-CHAVE:** resíduo de construção e demolição (RCD); peça de pavimentação; pavers; NBR 9781.

**Ricardo Ispanhol Salbego**

[ricardoisalbego@hotmail.com](mailto:ricardoisalbego@hotmail.com)

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Porto Alegre, Brasil.

**Ricardo Girardi**

[ricardo.girardi@pucrs.br](mailto:ricardo.girardi@pucrs.br)

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Porto Alegre, Brasil.

## INTRODUÇÃO

A necessidade de pavimentar vias não é recente. Segundo Cruz (2003), já entre 800 e 350 a.C. povos Etruscos após conquistarem a Itália, foram os precursores em construir caminhos utilizando materiais disponíveis e conhecidos na época a fim de garantir uma melhor superfície para transportar bens e pessoas com melhor conforto e segurança. Estas técnicas vieram sendo aprimoradas pelos Romanos para a expansão do seu império, as vias construídas por eles serviam para o deslocamento das tropas, onde criaram estruturas de até quatro camadas de materiais diferentes. Na construção das vias, os solos retirados das laterais para a construção das camadas do pavimento geravam canais ao longo das vias, que serviam para drenagem de águas provenientes de chuvas. Em 150 a.C. houve a descoberta de novos materiais, como a pozolana, descoberta em Pozzuoli (Itália), na qual sua utilização gerou melhoria e ganho de resistência em argamassas que antes eram feitas somente com a mistura de cal e areia, porém, ainda não eram utilizadas para pavimentação.

Com o passar dos séculos houve a utilização de blocos de madeira, pedras talhadas e aparelhadas a mão e blocos de argila, onde muitas destas técnicas foram utilizadas no Brasil. Conforme afirma Cruz (2003), em torno de 1600 os portugueses utilizavam pedras irregulares de até 50 cm organizadas sobre terreno natural, para construção de caminhos para transporte de ouro entre as cidades de São João Del Rey/MG e Ouro Preto/MG que era levado até as cidades de Paraty/RJ e Tiradentes/MG. Essa técnica, chamada de pé-de-moleque, antecedeu o chamado pavimento de paralelepípedo utilizado até hoje em cidades interioranas de todo o Brasil, nada mais é do que pedras talhadas de 20 cm de comprimento por 12 cm de largura com alturas variáveis próximas de 20 cm e organizadas uniformemente para que a superfície ficasse o mais regular possível. Em 1940 houve emprego de blocos de argila na cidade de Rio Branco, no Acre, pois na localidade havia ausência de material para a confecção de paralelepípedos e a abundância de material para confecção de blocos cerâmicos (BITTENCOURT, 2012; CRUZ, 2003; GODINHO, 2009).

A produção de peças pré-moldadas de concreto teve início no final do século XIX, com grande utilização na Alemanha e Holanda, onde teve grande avanço nos estudos após a Segunda Guerra Mundial, devido a necessidade de pavimentar rapidamente suas vias e aproveitar escombros diminuindo assim a quantidade de resíduos gerados pela guerra (GODINHO, 2009). A melhor qualidade, variedades de formas das peças e necessidade de mão de obra pouco especializada, fez com que a utilização das peças intertravadas se espalhasse rapidamente pela Europa, Américas e África do Sul, seguidas do restante do mundo mostrando uma boa aceitação deste tipo de pavimentação. Com essa grande proliferação pelo mundo, em 1970 chegou ao Brasil e desde então vem sendo empregado, no qual a utilização do pavimento intertravado apresentou um crescimento de 35% somente entre os anos de 2002 e 2003 (CRUZ, 2003).

A construção civil tem utilizado muito os recursos naturais existentes, e com o passar dos anos tem ficado mais claro que se deve racionalizar e reutilizar os recursos disponíveis. Diversas construções são demolidas para novas edificações serem construídas, ou até mesmo as antigas passam por reformas, estas ações geram resíduos que necessitam de um descarte adequado para não prejudicar o meio ambiente e até mesmo a saúde humana. Buscando um melhor destino para

os materiais descartados foi estudado a possibilidade de inserção de agregados reciclados na composição de traços para a produção de peças intertravadas.

Conforme a Resolução N° 307, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2002, pg.2), agregado reciclado “é o material granular proveniente de beneficiamento de resíduos de construção e demolição que apresentam características técnicas para aplicação em obras [...]”. Podendo então, dessa forma, ser aplicado e minimizado a utilização de recursos naturais e dar um destino mais nobre aos resíduos visando a sustentabilidade. Como as peças são rejuntados por materiais granulares pétreos, segundo a NBR 15953 (ABNT, 2011), temos mais um ponto positivo para o uso de blocos intertravados que é a permeabilidade gerada pelas juntas permitindo uma infiltração de parte da água de chuvas e reduzindo a parcela de água que seria coletada pela rede de coleta pluvial.

Sabendo que há grande utilização desse tipo de pavimento em estacionamentos, vias secundárias, ciclovias, loteamentos e até mesmo vias principais de pequenas cidades, tem-se também um grande volume de materiais que são necessários para a produção de peças intertravadas. Este trabalho tem como objetivo o estudo do emprego de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na fabricação de peças de concreto para pavimento intertravado (Pavers), visando obter a resistência à compressão mínima de 35 MPa, requerida pela NBR 9781 (ABNT, 2013) para pavimentos com solicitações de tráfego de pedestres e veículos leves. Também a comparação de custos entre a produção de 1 m<sup>2</sup> de concreto com o uso de agregado graúdo reciclado e 1 m<sup>2</sup> de concreto com agregado graúdo de origem basáltica.

Dessa forma optou-se para esse estudo a utilização de materiais como a brita reciclada para substituir 100% de agregado graúdo de origem basáltica, a fim de possibilitar um destino ao material. Para a elaboração da curva de Abrams, foram utilizados os traços de 1:2,5; 1:5 e 1:7, em massa. Os ensaios realizados foram os de absorção de água e resistência à compressão, conforme NBR 9781 (ABNT, 2013).

## REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Bernucci et. al. (2010), o pavimento é um conjunto de camadas de diferentes materiais e distintas espessuras que são dispostas sobre a superfície do terreno regularizado, com o objetivo de garantir resistência suficiente ao conjunto para que possa absorver esforços gerados por veículos e fatores climáticos, garantindo boa rodagem aos veículos, segurança e conforto aos usuários respeitando condições técnicas e econômicas. Enquanto para DNIT (2006), é o conjunto de camadas constituídas por solos, britas, escória de alto forno ou também pela composição da união desses materiais, onde as camadas são flexíveis e estáveis devido a granulometria das mesmas. As peças de pavimentação fazem parte da camada final do pavimento trabalhando em contato direto com os pneus dos veículos, suportando a maior carga. Segundo Fernandes (2016, p. 27), “[...], são peças pré-moldadas de concreto, utilizadas para a construção de pavimentos ou calçamentos. Sua camada superficial apresenta acabamento confortável para o trânsito de pessoas e sua estrutura permite suportar o trânsito de veículos leves ou pesados”. Conforme afirma Fioriti (2007), os pavers constituem de fato a camada que recebe diretamente o carregamento composta pelas peças de

concreto que são postas sobre a camada de assentamento, nessa camada deve-se ter cuidado com acabamentos junto a meio fios, bordos, bueiros e outros, também garantir a vibração das peças de concreto para melhor travamento.

## LEGISLAÇÃO VOLTADA AO RCD

Com criação em 5 de julho de 2002, a Resolução nº307 do CONAMA tem como objetivo estabelecer critérios e técnicas, para que se possibilite proporcionar um melhor destino aos resíduos da construção civil. Nela se define a classificação dos detritos que são gerados em obras, de acordo com cada classificação se tem sugestões de possibilidades de uso para os mesmos, os resíduos são classificados em quatro ou grupos, Classe A, Classe B, Classe C e Classe D, essa separação em classes se dá de acordo com a dificuldade de reciclagem e da periculosidade a saúde humana e ao meio ambiente.

Os resíduos empregados neste trabalho estão compreendidos na Classe A, segundo a própria Resolução nº307 do CONAMA descreve como sendo materiais de demolição, reparos, reformas, tubos de concreto, blocos cerâmicos e outros materiais pré-moldados ou moldados em obra. Ou seja, nessa classe tem-se resíduos que podem ser reutilizados ou reciclados sem necessidade do uso de grandes tecnologias.

## UTILIZAÇÃO DE RCD

Há diversas possibilidades de utilização de agregado reciclado na construção civil como destaca Bazuco (1999), podendo ser empregado para enchimentos em geral, também em projetos de drenagem e em camadas de base ou sub-base de estradas, mas a utilização de maior valor para esses materiais é o seu emprego para a produção de novos concretos, ele também afirma que o agregado graúdo reciclado tem distintas características que dependem do material que é britado para sua produção.

Segundo Scott Hood (2006), os agregados reciclados podem ser utilizados em três diferentes áreas, como no emprego de concreto convencional, argamassas ou na produção de peças de concreto, sendo estas peças para alvenaria estrutural ou peças para pavimentação. Há diversos estudos com aplicação de RCD em várias áreas que visam dar uma melhor destinação aos resíduos, diminuir o custo da produção e fazer uso racional de materiais mais nobres e de maior custo.

As composições dos agregados reciclados são variadas, mas em geral podem ter, cerâmica, argamassa, piso, concreto, telhas, azulejos e pedras. Para a utilização, os materiais devem ser separados da melhor forma possível de galhos, plásticos, folhas, papéis e outras sujeiras e ser feita a britagem dos mesmos. Estudos feitos por Kazmierczak et. al. (2006) com resíduos de RCD de Novo Hamburgo/RS e São Leopoldo/RS buscaram a composição percentual dos materiais encontradas, um estudo parecido foi feito por Leite (2001) em Porto Alegre/RS, os resultados das composições encontradas estão no Quadro 1, a seguir.

Quadro 1: Composição percentual de materiais

Classificação	Porto Alegre <sup>1</sup>	São Leopoldo <sup>2</sup>	Novo Hamburgo <sup>2</sup>
<b>Argamassa</b>	28,26%	22,00%	34,20%
<b>Cerâmicas</b>	26,33%	43,40%	22,90%
<b>Concreto</b>	15,18%	26,00%	26,80%
<b>Pedras</b>	29,84%	6,00%	14,10%
<b>Outros</b>	0,39%	3,00%	2,10%

Fonte: Leite (2001)<sup>1</sup> e Kazmierczak et. al. (2006)<sup>2</sup>

Com base nessas informações tem-se que o agregado reciclado tem características distintas dependendo das regiões e das fontes geradoras, portanto massa específica e teores de absorção são variados também. Agregados reciclados cerâmicos tem uma elevada porosidade e grau de absorção, portanto quanto maior a fração de materiais cerâmicos maior o consumo de água para a hidratação já que parte desta será absorvida pelo agregado como destaca (LEVY, 2007).

## BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

De acordo com a NBR 15953 (ABNT, 2011), as peças de concreto intertravado são peças pré-moldadas utilizadas como camada de revestimento no sistema de pavimento intertravado. Elas devem suportar as cargas aplicadas sobre as mesmas e apresentar uma superfície plana e confortável para o tráfego de veículos e pessoas, como é possível visualizar na Figura 1.

Figura 1: Aplicação de blocos de concreto intertravado



Fonte: <http://iporablocos.com.br> - último acesso em 01/10/2017

Existem algumas formas distintas de se produzir peças de concreto intertravado, como os métodos: dormido, prensado e virado (FERNANDES, 2016). Todos utilizam os mesmos materiais básicos para a confecção, cimento, areia brita e água, por vezes ainda se usam aditivos e adições. Certos materiais podem ser substituídos, como a areia e a brita, os materiais reciclados são muito bem vistos para fazerem a substituição, tendo diversos estudos nessa área, a substituição destes materiais nos possibilita uma maior vida útil das jazidas de areia e de brita,

também tem uma grande importância ambiental pois com isto acaba reduzindo a exploração excessiva e por muitas vezes irregular que causam danos quase que irreversíveis para o meio ambiente.

Mesmo sendo feitas as substituições de materiais, os pavers devem seguir as especificações descritas pela NBR 9781 (ABNT, 2013), como garantirem resistência característica a compressão maior ou igual a 35 MPa para pedestres, veículos leves e comerciais, e maior ou igual a 50 MPa para tráfego de veículos especiais. A absorção de água pelas peças de concreto deve ser em média de 6%, onde o valor individual não pode passar dos 7%. Ainda a NBR 9781 (ABNT, 2013) coloca como facultativo a avaliação da resistência ao desgaste por abrasão, sendo que neste caso a peça não deve ter uma perda maior do que 23mm para pedestres, veículos leves e comerciais; e para tráfego de veículos especiais deve ser inferior ou igual a 20mm.

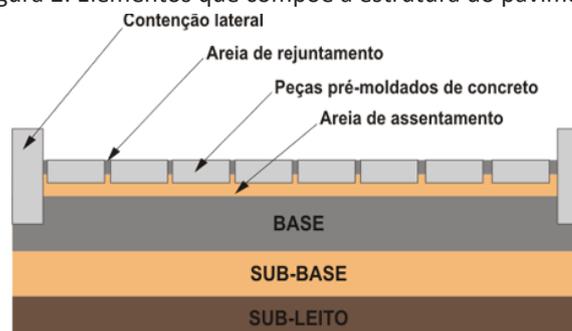
## CARACTERÍSTICAS DE UM PAVIMENTO INTERTRAVADO

A construção de pavimentos é diferenciada conforme variação a deformação das camadas que o compõe, de acordo com o DNIT (2006, pg. 95), apresenta-se as seguintes classificações:

“Flexível, é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Semi-Rígido caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias. Rígido é aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação das camadas inferiores e, portanto, absorve parcialmente todas as tensões proveniente sido carregamento aplicado”.

Os pavimentos constituídos de peças de pavimentação em concreto são considerados pavimentos flexíveis, devido às suas características, que se assemelham às dos pavimentos asfálticos, tais como de distribuição de cargas, a deflexão, entre outras Shackel (1990) apud Bittencourt (2012). A NBR 9781 (ABNT, 2013) também descreve pavimento intertravado como um pavimento flexível, por sua vez formado por camada de base seguida de peças de concreto justapostas com juntas preenchidas por areia, e tendo peças para contenção lateral para garantia de confinamento. Portanto tem-se os elementos que compõem a estrutura do pavimento apresentados na Figura 2.

Figura 2: Elementos que compõe a estrutura do pavimento



Fonte: <http://solufacil.com.br> - último acesso em 11/09/2017

Sabendo das camadas e classificação que se enquadra o pavimento intertravado é necessário compreender quais os movimentos que devem ser restringidos pelas peças de concreto, para que se tenha de fato o intertravamento e a estrutura se comporte como tal. Conforme a NBR 15953 (ABNT, 2011) e Hallack (1998) apud Bittencourt (2012), descrevem o que é intertravamento e quais as restrições de movimento necessárias para que o pavimento garanta sua estabilidade e resistência aos esforços, presumindo assim que a característica de intertravamento é a capacidade de as peças de concreto resistirem aos deslocamentos verticais, horizontais, rotacionais ou giratório em conjunto com as peças ao redor, os intertravamentos são:

- Intertravamento vertical: É a competência do pavimento de resistir aos esforços de cisalhamento entre as peças de concreto, essa capacidade é gerada através da resistência de suporte das camadas inferiores e também pela distribuição de parte desses esforços para as peças vizinhas através do rejuntamento de areia, por isso é necessário a acomodação dos grãos através de vibração após o rejuntamento.
- Intertravamento horizontal: É a competência que o pavimento deve ter ao receber esforços gerados por frenagem e aceleração dos veículos e conseguindo impedir o deslocamento horizontal, essa capacidade é gerada principalmente pelo arranjo das peças sobre a camada de areia e pela distribuição de esforços entre as peças de concreto.
- Intertravamento rotacional ou giratório: É a capacidade de resistir a esforços perpendiculares excêntricos aos eixos das peças de concreto não podendo girar em relação ao seu próprio eixo independente da direção ou sentido da força aplicada, também causado por aceleração ou frenagem de cargas distribuídas de maneira não uniforme sobre as peças, peças vizinhas ajudam na dissipação das cargas reduzindo o esforço que seria sofrido pela peça de concreto.

## ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

No Brasil há apenas uma norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que se refere a pavimentos intertravados de concreto, é a NBR 9781 (ABNT, 2013), a qual estabelece as condições necessárias para a aceitação de peças de concreto para pavimentação intertravada que tenha utilização em vias urbanas e pátios de estacionamentos deixando de lado a aplicação em aeroportos e rodovias de tráfego pesado. Assim como as normas internacionais, European Committee for Standardization – CEN, BS EN-1338 (2003) e American Society for Testing and Materials, ASTM-C936 (1996), por exemplo, a norma brasileira tem como seu principal ensaio de referência para avaliação das peças de concreto para pavimentação o ensaio de resistência mecânica à compressão, tendo ainda ensaios a absorção de água e de desgaste por abrasão.

Contudo a NBR 9781 (ABNT, 2013) não faz especificações distintas quanto a utilização de RCD para a produção das peças de concreto intertravadas. Porém o item 4.1.3 descreve que os materiais podem ser de origem industrial, natural ou reciclado, devendo atender aos requisitos da NBR 7211 (ABNT, 2009).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais escolhidos foram o cimento CP V ARI (Alta Resistência Inicial), areia natural quartzosa, foi selecionada brita basáltica para os traços de referência e britas recicladas para os traços experimentais. Tanto para o traço com brita basáltica quanto o com agregado reciclado, o teor de argamassa estabelecido foi de 68% (em massa). Segundo Fernandes (2016) o teor de argamassa comumente utilizado fica próximo a 70% para peças pré-moldadas. O Quadro 2 apresenta a massa específica e unitária dos materiais utilizados na dosagem dos concretos para as peças e no Quadro 3 se tem a composição granulométrica da areia seguindo a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Quadro 2: Massa específica e unitária

<b>Materiais</b>	<b>Massa Específica Absoluta (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa unitária (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>Cimento CP-V</b>	3,03	1,00
<b>Areia Média</b>	2,60	1,66
<b>Brita basáltica</b>	2,91	1,62
<b>Brita reciclada</b>	2,57	1,42

Fonte: autor

Quadro 3: Composição granulométrica

<b>Areia média</b>	
<b>Peneiras (mm)</b>	<b>% Retida Acumulada</b>
<b>1,18</b>	1
<b>0,6</b>	6
<b>0,3</b>	31
<b>0,15</b>	84
<b>Fundo</b>	100
<b>Módulo de finura</b>	1,22
<b>Dimensão max. (mm)</b>	1,18

Fonte: autor

Os métodos utilizados para a determinação das características descritas no Quadro 2 foram; NBR 16605 (ABNT, 2017), para a massa específica absoluta de aglomerante e o Método do Picnômetro para a massa específica absoluta dos agregados. Já para a massa unitária do aglomerante e agregados foi utilizado Método C da NBR NM 45 (ABNT, 2006). Para cálculos em que era necessário o volume de areia, foi utilizado o coeficiente médio de inchamento igual a 1,29 como citado por (RECENA, 2011).

## MATERIAIS UTILIZADOS

A escolha na utilização do cimento CP V ARI, foi devido a sua grande aplicação para a fabricação de produtos pré-moldados. Fernandes (2016), salienta que há

casos em que o CP V ARI pode ter um custo de até 20% maior ao comparar com o uso de cimentos compostos, porém esta diferença é compensada com a garantia de desfôrma mais rápida dos produtos pré-moldados permitindo assim uma maior produção, pois o CP V ARI, apresenta maior ganho de resistência nas primeiras idades.

A areia empregada na produção das peças de pavimentação provém da extração de leitos de rios próximos da região metropolitana de Porto Alegre/RS, sendo de fácil obtenção, conhecida no mercado como de graduação média. Segundo Fernandes (2016) é melhor escolher uma areia média que contenha finos ou utilizar uma mistura de areia fina e grossa, não utilizando areia fina somente, pois pode ocasionar menor resistência ou ainda o maior consumo de pasta de cimento para envolver a grande quantidade de grãos aumentando assim a quantidade de cimento utilizado.

Os agregados graúdos utilizados foram brita basáltica e outra brita obtida pela cominuição de corpos de prova de concreto (RCD). O basalto é uma rocha ígnea extrusiva proveniente de derrames de lava ocorridos na superfície da crosta, este tipo de rocha tem absorção em geral inferiores 0,5% e raramente chegam a 1,0% (FARIAS; PALMEIRA, 2007). De acordo com Mehta e Monteiro (2008), o basalto é uma rocha resistente com granulação média a grossa, a sua britagem gera partículas com dimensões semelhantes, não alterando significativamente de um lote ao outro.

O agregado reciclado utilizado neste trabalho para a produção dos blocos, foi gerado a partir da cominuição de corpos de prova de concreto ensaiados pelo Laboratório de Materiais da Construção Civil (LMCC) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), dessa maneira não se tem conhecimento da resistência do agregado empregado. O aditivo utilizado foi o superplastificante à base de policarboxilatos, assim se tornou possível a moldagem das peças de concreto, sem utilização de mesa vibratória ou equipamento dotado de vibro-compactação. O aspecto do concreto para a fabricação de peças de concreto assemelha-se ao popular concreto “farofa”, o qual demanda uma alta energia para o seu correto adensamento (FERNANDES, 2016).

Segundo Mehta e Monteiro (2008) os plastificantes agiam por repulsão eletrostática das partículas de cimento, mas isso gerava uma perda rápida de consistência. Depois de 1990 foram desenvolvidos novos superplastificantes que agem por repulsão estérica, através da formação de estruturas moleculares físicas que acabam afastando as partículas de modo a anular a atração das forças de Van der Waals, aumentando assim a fluidez da mistura.

## MÉTODOS

Os métodos empregados para a elaboração deste estudo seguem as recomendações de Fernandes (2016) para a escolha de traços e substituições, os ensaios realizados nos blocos foram feitos conforme descritos em norma procurando manter as especificações exigidas. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais da Construção Civil (LMCC) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS).

## Traços e Substituições

A escolha dos traços se deu a partir da necessidade de obter traços mais ricos e mais pobres em cimento gerando diferentes resistências, para isso se optou pelos seguintes traços: 1:2,5 ; 1:5 e 1:7, em massa, tanto para os com agregado graúdo reciclado (RCD) quanto para os com agregado graúdo natural de basalto. A brita reciclada e a basáltica foram selecionadas, foram utilizadas as frações retidas nas peneiras de abertura 19mm, 12,5mm, 9,5mm e 6,3mm, sendo utilizado 15% de dimensão 19mm, 30% de dimensão 12,5mm, 30% de dimensão 9,5mm e 25% de dimensão 6,3mm, fixando-se assim a mesma granulometria para ambos agregados graúdos nos 3 traços.

Para cada traço de concreto, foi reproduzido uma quantidade suficiente para moldar as peças necessárias aos ensaios. Dessa maneira, procedeu-se a obtenção do concreto seco comumente utilizados na indústria, ao atingir visualmente o ponto da mistura, acrescentou-se o aditivo superplastificante para facilitar a moldagem. No Quadro 4 pode-se ver relação água/cimento, teor de umidade e percentual de aditivo para cada traço, com brita natural e RCD.

Quadro 4: Traços reproduzidos

Traços	a/c	H (%)	Aditivo (%) "Natural"	Aditivo (%) "RCD"
<b>1:2,5</b>	0,34	10,0	0,55	0,89
<b>1:5,0</b>	0,54	9,0	0,84	1,46
<b>1:7,0</b>	0,80	10,0	1,06	1,60

Fonte: autor

## Formas e Moldagem

As peças de concreto podem ser produzidas em diversos formatos. Fernandes (2016), destaca que existem mais de 100 modelos diferentes de pavers sendo que no Brasil os mais comuns são: prismas 16 faces, paviesse, sextavado, duplo T, raquete e estrela. Levando em conta os modelos de blocos mais utilizados se optou pelo modelo de peça de concreto retangular (prisma), classificado como tipo I pela NBR 9781 (ABNT, 2013).

As dimensões devem estar dentro das descritas pela NBR 9781 (ABNT, 2013) onde o comprimento máximo das peças é de 250 mm, largura mínima de 97mm e espessura mínima de 60mm e superiores múltiplas de 20 mm. Desse modo as dimensões escolhidas foram as de 200mm de comprimento, 100mm de largura e 80mm de espessura.

Para cada um dos traços foram feitos três corpos de prova sendo dois para ensaio à compressão e um para ensaio de absorção. Nas formas em que foram moldados os corpos de prova que seriam submetidos aos ensaios de compressão foi aplicado desmoldante, já nas formas dos blocos que seriam feitos o ensaio de absorção não foi aplicado o desmoldante, pois dificultaria a entrada de água nos poros das peças. Na Figura 3 estão apresentadas as peças de pavimentação destinadas a verificação da resistência à compressão.

Figura 3: Peças de pavimentação preparadas com enxofre



Fonte: autor

### Ensaio das peças de pavimentação

As propriedades das peças de concreto que serão testadas, seguindo os critérios descritos pela NBR 9781 (ABNT, 2013), serão a resistência a compressão e a absorção de água pelos pavers. Os métodos realizados para os ensaios das peças de concreto serão descritos a seguir conforme a norma.

#### Resistencia mecânica a compressão

A determinação da resistência à compressão é realizada conforme o anexo "A" da NBR 9781 (ABNT, 2013). As placas de apoio para a transferência da carga devem ter diâmetro de  $(85 \pm 5)$  mm espessura de 20 mm e as peças para o ensaio devem ficar no mínimo 24 horas antes do ensaio em estado de saturação com água a  $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ , devem ter as superfícies de carregamento retificadas ou capeadas.

Após esse preparo as peças são colocadas centralizadas e alinhadas entre as placas metálicas, sendo então iniciado o carregamento com velocidade entre 0,35 a 0,75 MPa/s. O carregamento prossegue até o momento da ruptura completa do corpo de prova, a resistência à compressão é obtida através da divisão da carga de ruptura dada em newtons (N), pela área de carregamento em  $(\text{mm}^2)$  e multiplicando por um fator devido à altura da peça de concreto, esse fator se encontra no Quadro 5 a seguir.

Quadro 5: Fator multiplicativo "p"

Espessura nominal da peça (mm)	Fator "p"
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte: NBR 9781 (ABNT, 2013)

### Determinação de absorção de água

Deve-se remover o pó dos corpos de prova e após colocar submersos em água com temperatura de  $(23\pm 5)$  °C por um período de 24 horas, passado o período para a absorção, os corpos de prova devem ser retirados e postos sobre uma tela metálica durante 1 min e devem ser secos com um pano retirando o excesso de água para então serem pesados individualmente. Dado um prazo de 2 horas fazer nova secagem e pesagem e repetir de 2 em 2 horas até que a diferença das massas não varie mais do que 0,5% em relação a pesagem anterior, anotar o valor ( $m_2$ ), então colocar os corpos de prova em uma estufa com temperatura de  $(110\pm 5)$  °C por um período de 24 horas.

Depois de retirar da estufa, pesar os corpos de prova e anotar o valor, e em no máximo 10 min recolocar o corpo de prova na estufa, repetir a pesagem a cada 2 horas até que a diferença das massas não varie mais do que 0,5% em relação a pesagem anterior, anotar o valor ( $m_1$ ), a absorção de água é calculada através da Equação 1.

$$A (\%) = \left( \frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

A: porcentagem de absorção de água das amostras (%)

$m_1$ : massa da amostra seca em gramas (g)

$m_2$ : massa da amostra saturada em gramas (g)

Conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013) o valor médio da absorção de água das peças de concreto deve ser menor ou igual a 6% e não sendo tolerados valores de absorção individuais superiores a 7%.

## RESULTADOS

Nos itens a seguir será descrito como foram realizados os ensaios, os resultados obtidos a partir das análises realizadas com os ensaios de compressão e de absorção de água. Dessa maneira se pode comparar os parâmetros dos pavers com agregados graúdos naturais (referência) e os pavers com agregado graúdo de RCD.

### ENSAIOS DE ABSORÇÃO

Os resultados obtidos no ensaio de absorção, conforme a metodologia descrita no item 3.2.3.2 estão apresentados no Quadro 6.

Quadro 6: Absorção de água

Agregado (origem)	Traços (em massa)		
	1:2,5	1:5,0	1:7,0
Natural	4,57 %	5,68 %	8,36 %
Reciclado	6,11 %	8,16 %	9,74 %

Fonte: autor

Os traços 1:5 e 1:7 com agregado reciclado tiveram resultados acima do limite estabelecido pela NBR 9781 (ABNT, 2013) onde o (valor médio) deve ser menor do que 6% e mantendo valores (individuais) abaixo de 7%. Os traços com substituição tiveram maiores porcentagens de água absorvida, isso pode ter ocorrido devido a própria porosidade do agregado reciclado, que por meio dos canais formados nas peças de concreto a água migra até o agregado que tem maior absorção que o agregado natural, causando então uma maior absorção na peça.

## RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Duas peças de concreto por traço foram submetidas ao ensaio de compressão aos 28 dias, os traços escolhidos variavam em suas porções tendo assim traços mais fracos e mais fortes em cimento. O objetivo desta variação foi de obter diferentes resistências a compressão e através dos resultados para traçar as curvas de Abrams para o agregado reciclado e para o de origem natural, sendo possível verificar assim a relação água/cimento para qualquer resistência.

Com base na NBR 12655 (ABNT, 2015) tomou-se a maior resistência à compressão no ensaio de um exemplar. Ainda, salienta-se que se trata de um estudo de dosagem e não de controle de produção, no qual deveria ser avaliada a resistência característica de acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013). Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 7.

Quadro 7: Resistências a compressão

Traços	a/c	Agregado Reciclado (MPa)	Agregado Natural (MPa)
<b>1:2,5</b>	0,34	61,3	56,0
<b>1:5,0</b>	0,54	30,8	32,4
<b>1:7,0</b>	0,80	17,2	16,7

Fonte: autor

A partir dos resultados é possível observar que a maior diferença nos resultados, comparando os traços com agregado reciclado e natural, se deu no traço mais rico em cimento e com menor relação água cimento, como não é conhecida a resistência do agregado reciclado, uma hipótese é que neste caso o agregado tenha sido tão competente quanto o de origem natural e que por ter uma superfície mais rugosa tenha tido uma melhor aderência entre agregado e argamassa do que o agregado natural, onde então o agregado natural pode gerar um traçado dentro da peça de maior fragilidade tendo menor aderência entre o agregado e a argamassa.

## COMPARATIVO DE TRAÇOS

Através das resistências obtidas aos 28 dias para cada traço é possível calcular as equações de Abrams pelo método dos mínimos quadrados e obter valores de a/c para a resistência à compressão de 35 MPa. As Equações 2 e 3 apresentam, respectivamente as equações de Abrams para o agregado natural e reciclado.

$$\log R = 2,1326 - \left( \frac{a}{c} \times 1,1406 \right) \quad (\text{Equação 2})$$

$$\log R = 2,1696 - \left( \frac{a}{c} \times 1,1888 \right) \quad (\text{Equação 3})$$

A determinação do novo traço, parte da obtenção do H (%) por interpolação linear entre a relação água/cimento e os valores de H (%) que constam no Quadro 4 e da relação a/c obtida pela equação de Abrams, mantendo fixo o teor de argamassa em 68%. O Quadro 8 apresenta o traço, em massa, para cada tipo de agregado, considerando a resistência à compressão de 35 MPa.

Quadro 8: Traços para 35 MPa

Agregado	a/c	H(%)	Traço
Natural	0,52	9,03	1:4.76
Reciclado	0,53	9,02	1:4.88

Fonte: autor

Com a utilização de agregado reciclado composto somente de resíduos de concreto, foi obtido um traço muito semelhante ao traço encontrado com agregado natural (brita basáltica). Uma nova comparação com os traços obtidos deveria ser realizada com intenção de garantir ou não que a resistência a compressão e a absorção das peças esteja dentro dos parâmetros limitados pela NBR 9781 (ABNT, 2013).

A partir dos traços encontrados foi calculado custo dos materiais para produção de 1m<sup>3</sup> de concreto, os valores dos materiais utilizados foram pesquisados em lojas da região metropolitana de Porto Alegre/RS, considerou-se no cálculo os seguintes materiais: água, superplastificante, cimento CP V ARI, areia média de rio, brita 0/1 e brita reciclada. O uso do plastificante foi estimado a partir dos traços reproduzidos.

Os custos referentes ao agregado reciclado não foram encontrados no Rio Grande do Sul, com isto empregou-se os valores do estado de São Paulo, considerado assim que o preço do material não seria diferente. O Quadro 9 apresenta os custos referente ao traço para a resistência à compressão de 35 MPa para cada tipo de agregado.

Quadro 9: Custos por m<sup>3</sup> de concreto

Traço 1:4,76 (Brita Natural)				Traço 1:4,88 (Brita Reciclada)			
Material	kg/m <sup>3</sup>	R\$	Custo/m <sup>3</sup>	Material	kg/m <sup>3</sup>	R\$	Custo/m <sup>3</sup>
Cimento	384	0,75/kg	R\$ 287,90	Cimento	364	0,75/kg	R\$ 273,18
Areia Média	1117	78,40/m <sup>3</sup>	R\$ 68,05	Areia Média	1093	78,40/m <sup>3</sup>	R\$ 66,56
B.Natural	710	70,00/m <sup>3</sup>	R\$ 30,66	B. Reciclada	685	35,00/m <sup>3</sup>	R\$ 16,87
Água	200	5,10/m <sup>3</sup>	R\$ 1,02	Água	193	5,10/m <sup>3</sup>	R\$ 0,98
Aditivo	0,022	7,82/kg	R\$ 0,17	Aditivo	0,037	7,82/kg	R\$ 0,29
			<b>TOTAL</b>				<b>R\$ 387,80</b>
							<b>TOTAL</b>
							<b>R\$ 357,88</b>

Fonte: autor

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade de substituição de agregados graúdos de origem natural por agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição, para produção de pavers. A substituição empregada foi de 100% do material graúdo tendo este uma granulometria definida. Os parâmetros em estudo foram a absorção de água e resistência à compressão para as peças de pavimentação moldadas. Ainda realizou-se a determinação do traço a partir da equação da curva de Abrams, para a resistência à compressão de 35MPa, mínimo requerido pela NBR 9781 (ABNT, 2013).

A utilização de RCD composto somente com resíduo de concreto não contendo materiais cerâmicos ajudou a ter uma menor absorção de água da mistura destinada a hidratação do cimento Portland. Assim a água mantida nos concretos de referência com agregado natural, propiciou apenas a utilização pouco superior de aditivo superplastificante nos concretos preparados com RCD, a fim de reproduzir as mesmas características de trabalhabilidade. Os concretos preparados ora com agregado reciclado, ora com agregado natural foi possível no mesmo traço em massa, verificar que as resistências à compressão são similares.

Claramente não ocorre o mesmo quando o RCD contém restos de outros materiais a não ser concreto como concluído por Bazuco (1999), onde os resultados de resistência à compressão foram em torno de 15% a 30% menores em relação a utilização de agregados naturais. Bittencourt (2012) também concluiu que quanto maior percentagem de substituição menor a resistência das peças.

Os resultados de absorção de água nas peças de concreto não atenderam a exigência da NBR 9781 (ABNT, 2013), exceto o traço mais rico em cimento, cuja relação água/cimento é menor. Os traços com substituição tiveram maiores porcentagens de água absorvida devido a própria porosidade do agregado, que por meio dos canais formados pela exsudação do concreto a água penetra na peça de concreto e migra até o agregado, como a brita basáltica tem níveis inferiores de absorção se tem uma menor quantidade de água absorvida nas peças de pavimentação, portanto o aumento de absorção, as possíveis causas indicadas condizem com as citadas no estudo realizado por Alves (2016).

Ao avaliar o custo dos concretos, mesmo o material reciclado sendo 50% mais barato do que o agregado natural se teve alteração de apenas 7,72% no valor total de produção de 1m<sup>3</sup> de concreto para produção dos pavers, a diferença de R\$ 29,82 se torna economicamente atrativa, mas deve se considerar a grande variação de materiais que compõe a brita reciclada e que esses materiais podem não garantir a mesma resistência a compressão encontrada, já para os resultados de absorção, uma menor proporção de substituição de agregado graúdo poderia ajudar a adequar a norma, porém diminuindo a quantidade de brita reciclada e aumentando a porção de brita natural o custo se elevaria, tornando a diferença de custo menor e não se apresentando tão viável economicamente, deixando como única vantagem a questão ambiental.

Muitos estudos relacionados a utilização de RCD tem sido feitos, isso mostra um interesse geral em reaproveitamento de resíduos e preocupação com o meio ambiente, existem muitas possibilidades em que podem ser empregados esses resíduos. Atualmente ainda se tem recursos naturais disponíveis, porém a tendência futura é a escassez desses recursos, sendo dessa forma necessário o

aprofundamento técnico e econômico para a utilização deste tipo de material. Corroborando, caso a utilização não se aplique a fins estruturais, pode-se elencar diversas possibilidades, como a utilização em peças de concreto para pavimentação – objeto deste estudo.

## **Concrete analysis for paving parts prepared with recycled and natural aggregation**

### **Abstract**

The objective of this work is the study of the insertion of civil construction waste in the production of concrete pieces for paving roads, tracks and cycle paths with compressive strength of 35MPa. Due to the fact that construction is a major waste generator and that this has an environmental impact, the reuse of this waste as a raw material has been studied, the insertion of Construction and Demolition Waste (RCD) helps to reduce the impacts that are generated thereby minimizing waste and aiming at a better destination for these materials. In the present study, 100% of large aggregate replacement was used and the compressive strength and water absorption of the concrete pieces prepared with the different traces were verified. Through the obtained resistances it was possible to determine the equation that models the Abrams curve, thus allowing the determination of the trait for the compressive strength of 35 MPa and later to verify the cost of production per cubic meter of concrete. Thus, at the end the price of the concrete prepared with recycled aggregate, setting the same compressive strength of 35 MPa.

**KEYWORDS:** construction and demolition waste (RCD); paving; pavers

## REFERÊNCIAS

- ALVES, P. B. **Concreto permeável para pavimentação urbana com uso de resíduos de construção e demolição produzidos na usina de reciclagem de São José do Rio Preto**. 2016. 90 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, 2016.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM-C936 (1996)**: Standard specification for solid concrete interlocking paving units. Conshohocken, Pennsylvania, USA 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_\_. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação — Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.
- \_\_\_\_\_. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15953**: Pavimento intertravados com peças de concreto — Execução. Rio de Janeiro, 2011.
- \_\_\_\_\_. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para produção de novos concretos**. 1999. 112 f. Dissertação de (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.
- BERNUCCI. L. B.; MOTTA. L. M. G.; CERATTI. J. A. P.; SOARES. J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3° Ed. Rio de Janeiro. PETROBRAS: ABEDA, 2010.
- BITTENCOURT, S. F. **Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição e areia de fundição**. 2012. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2012.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº.307**. Diário Oficial da União (DOU), 2002.
- CRUZ, L. O. M. **Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento**. 2003. 281f.Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2003.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de pavimentação**. IPR – 719. 3° ED. Rio de Janeiro, 2006.
- Determinação da massa específica em agregados para concreto pelo método do picnômetro**. CIENTEC: Porto Alegre, 2015.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – CEN. **BS EN – 1338 (2003)**: Concrete paving blocks, requirements and test methods. Brussels, Belgium. 2003.
- FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. **Agregados para a construção civil**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. *Materiais de construção civil e princípios de ciências e engenharia de materiais*. São Paulo: Ibracon, 2007. 2v. p. 481-523.
- FERNANDES, I. D. **Blocos e Pavers: produção e controle de qualidade**. 7ª ed. Ribeirão Preto, São Paulo: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais LTDA, 2016. 200 p.

- FIORITI, C. F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. São Carlos. 202 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.
- GODINHO, D. P. **Pavimento intertravados: uma reflexão na ótica da durabilidade e sustentabilidade**. 2009. 157 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, Belo Horizonte, 2009.
- KAZMIERCZAK, C. S.; KULAKOWSKI, M. P.; BOITO, D.; GARCIA, A. C. A. **Estudo Comparativo da geração de resíduos de construção e demolição em São Leopoldo e Novo Hamburgo-RS**. RS. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 11, 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2006. p. 1862 - 1871.
- LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2001.
- LEVY, S. M. **Materiais reciclados na construção civil**. In: ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciências e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007. 2v. p. 1629-1657.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **CONCRETO**. Microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Ibracon, 2008. 3º ed. 674 p.
- RECENA, F. A. P. **Dosagem e Controle da Qualidade de Concretos Convencionais de Cimento Portland**. 3º ed. Porto alegre, Rio Grande do Sul: EDIPUCRS, 2011. 120 p.
- SCOTT HOOD, R. S. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção de demolição como agregados miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado) – PPGEC / Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

**Recebido:** 12/12/2017

**Aprovado:** 10/05/2018

**DOI:**

**Como citar:** SALBEGO, R. I.; GIRARDI, R. Análise de concretos para peças de pavimentação preparados com agregado reciclado e natural. R. Eletr. Cient. Inov. Tecnol, Medianeira, v. 09, n. p141- p158, set/dez 2018..Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/recit>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Ricardo Ispanhol Salbego

[ricardoisalbego@hotmail.com](mailto:ricardoisalbego@hotmail.com)

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

