Desenvolvimento de Pavimento Permeável de Concreto com Resíduos de Construção e Demolição (RCD)

Palavras-Chave: materiais alternativos, pavimentos permeáveis, resíduos de construção e demolição.

Yngrid Lohane Gouveia Lombelo, Faculdade de Tecnologia – UNICAMP
Profa. Dra. Rosa Cristina Cecche Lintz (orientadora), Faculdade de Tecnologia – UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Os pavimentos permeáveis são uma alternativa que favorece a infiltração das águas, tornando-se um meio de fortalecimento do sistema de drenagem urbano, amenizando os fenômenos ambientais causados pela pavimentação nas grandes cidades. Este projeto trata do estudo do pavimento permeável com agregados de resíduos de construção e demolição. A impermeabilização das superfícies urbanas, que cobre grande parte dessas áreas, impede a infiltração da água da chuva, levando a inundações e contaminação de lençóis freáticos, além do aumento das mudanças climáticas e do aquecimento global, trazendo desafios significativos, como secas, esgotamento de recursos hídricos e o efeito de Ilha de Calor Urbana (ICU). Gerenciar o escoamento e promover a recarga de aquíferos são essenciais, o que aumenta a adoção de pavimentos permeáveis, como o concreto permeável. Além da importância do emprego de pavimentos permeáveis, a utilização de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na sua produção aumentaria os benefícios ambientais.

METODOLOGIA:

O projeto foi desenvolvido em quatro etapas, sendo: (a) realização de uma revisão bibliográfica sobre o assunto utilizando-se bases de dados de artigos científicos do Portal Capes, manuais técnicos e revistas científicas qualificadas; (b) levantamento das normas técnicas relativas à reciclagem de RCD no Brasil; (c) coleta dos materiais e caracterização física dos agregados; (d) moldagem de dois traços de concreto permeável a fim de estudar suas propriedades, um deles contendo agregados convencionais e outro contendo agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Os materiais empregados nesta pesquisa foram coletados e levados ao Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade de Tecnologia da UNICAMP, sendo eles: cimento Portland, sílica, brita, RCD, água e aditivo.

O levantamento bibliográfico (Tabela 1) sobre pavimento permeável e as normas técnicas relativas à reciclagem de RCD no Brasil, podem afirmar que a aplicação do pavimento permeável com RCD pode minimizar os problemas ambientais relacionados a impermeabilidade das áreas urbanas e a proliferação de resíduos de construção civil e seu descarte incorreto. Assim a utilização de RCD como

material reciclável pode amenizar os impactos ambientais que ocorrem devido a impermeabilidade e a urbanização desordenadas nas grandes cidades.

Tabela 1 - *Resultados de algumas pesquisas referentes piso permeável com agregado reciclado.*

autores	Agregados (graudo/miudo/misto)	Tipo de RCD (material)	quantidade de AR/RCD (agregados reciclados)	consumo de cimento (kg/m³)	fator água/cimento (a/c)	resistência à Compressão (MPa)	resistência à tração (MPa)	resistência à flexão (MPa)	permeabilidade
Vieira *et al.* (2020)	graúdo	concreto, cerâmica, argamassas, pedras, papel e outros	50%	431	0,30	5,8	-	2,6	0,51 cm/s
Yang *et al.* (2021)	graúdo	concreto, tijolo e argila	1450 kg/m³	319	0,33	18,5	-	2,4	0,65 cm/s
Adresi *et al.* (2024)	misto	pedras	1440 a 1800 kg/m³	280 a 310	0,27 a 0,33	2,8 a 28,1	-	-	0,14 a 1,22 cm/s
Liu *et al.* (2019)	misto	concreto, cerâmica, argamassas, pedras, papel e outros	1392 kg/m³	409	0,34	17	1,5	-	0,40 cm/s

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Levantamento das normas técnicas relativas à reciclagem de RCD no Brasil

As normas brasileiras que tratam da reciclagem de RCD são:

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS) - Lei nº 12.305, de 2010, regulamentada pelo Decreto nº 7.404 de 2010 – trata sobre a gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos.

Resolução CONAMA nº 307 de 2002, e suas alterações - dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil.

ABNT NBR 15112:2004 - Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Tem como objetivo fixar os requisitos para projetos, implantações e operações da área de transbordo e triagem dos resíduos de construção civil e resíduos volumosos.

Os resíduos da construção civil são provenientes de construções, reparos, reformas e demolições, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: blocos de cerâmicos, concretos em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Estes resíduos são classificados segundo o Resolução CONAMA nº 307 de 2002, e suas alterações:

Classe A - resíduos recicláveis ou reutilizáveis como agregados de construção, demolição, de pavimentação, de processo de fabricação/demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios, etc.).

Classe B - os resíduos recicláveis como papel, plástico, papelão, metais, vidros, madeira e outros que possam ser destinados a outras áreas.

Classe C - são resíduos para os quais ainda não tem tecnologias ou aplicações que permitam a sua reciclagem.

Classe D - Resíduos perigosos do processo de construção, tais como tintas, óleos solventes e outros, ou aqueles contaminados pela demolição, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outras.

Esta norma condiciona que os projetos devem conter informações cadastrais, croqui de empreendimento, responsabilidade e autoria do projeto, relatórios fotográficos, memorial descritivo e outros, com o intuito de padronizar e fixar requisitos para assim ter um melhor controle sobre os projetos realizados.

ABNT NBR 15113:2004 - Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Tem como objetivo fixar os requisitos para projetos, implantações e operações de aterros de resíduos sólidos da construção civil classe A e de resíduos inertes.

ABNT NBR 15114:2004 - Resíduos sólidos da Construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Tem como objetivo fixar os requisitos para projetos, implantações e operações de áreas de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil classe A.

ABNT NBR 15115:2004 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos. Esta norma estabelece um padrão para execução das camadas de reforço do subleito, base e sub-base de pavimento, bem como revestimento primário, com agregados reciclados em obras de pavimento.

ABNT NBR 15116:2021 - Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios. Esta estabelece requisitos para a recepção e produção de agregados reciclados (miúdos e graúdos), obtidos a partir do beneficiamento de resíduos da construção civil classe A, abordando sobre o tipo e teor de agregado reciclado indicado para argamassa e concreto.

Ensaios de caracterização física dos agregados e ensaios mecânicos

Os materiais foram caracterizados fisicamente de acordo com as normas para determinação da densidade do agregado (ABNT NBR 16917:2021) e determinação da composição granulométrica do agregado (NBR 17054:2022) como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - *Resultados da caracterização dos agregados empregados na pesquisa.*

Agregados Graúdos		
	RCD	**Brita**
Densidade do Agregado Seco	1,54 g/cm3	2,94 g/cm3
Densidade do Agregado Saturado Superfície Seca	1,58 g/cm3	2,97 g/cm3
Densidade do Agregado	1,59 g/cm3	3,04 g/cm3
Dimensão Máxima Característica:	19 mm	19 mm
Módulo de finura	6,64	6,85

Após a caracterização dos materiais, foram testadas e moldadas seis peças retangulares (10x20x8cm) de cada traço, sendo realizados o traço de referência e o traço com RCD. Estas peças foram ensaiadas

aos 28 dias de cura conforme a norma de Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio (ABNT NBR 9781:2013) cujos resultados estão na Tabela 3.

Tabela 3 - *Resultados da resistência à compressão das peças moldadas na pesquisa.*

Resistência à Compressão (MPa)		
Amostras	Traço com RCD	Traço de referência
Peça 1	27,47	43,32
Peça 2	16,3	46,85
Peça 3	23,3	49,65
Peça 4	24,11	52,76
Peça 5	15,24	61,2
Peça 6	15,24	54,15
Média	20,28	51,32
Desvio Padrão	5,33	6,24
fpk = fp-t x s	15,37	45,58

A resistência característica estimada à compressão (fpk) = 15,37 MPa para o traço com RCD e 45,58 MPa para o traço de referência.

CONCLUSÕES:

Conforme a norma brasileira ABNT NBR 16416:2015 referente a peças de concreto permeável, o traço de referência atende o limite mínimo de 20 MPa destinado a tráfego leve.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16917 - Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 17054 - Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16416 - Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15112 - Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15113 - Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15114 - Resíduos sólidos da Construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15115 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15116 - Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2021.

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS) - Lei nº 12.305, de 2010, regulamentada pelo Decreto nº 7.404 de 2010 – trata sobre a gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos.

Resolução CONAMA nº 307 de 2002, e suas alterações - dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil.