

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ANA PAULA MACHADO DA FRANÇA

**VIABILIZAÇÃO DO USO DE AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO NA
CONFECÇÃO DE PAVERS DE CONCRETO PERMEÁVEL**

**Alegrete
2019**

ANA PAULA MACHADO DA FRANÇA

**VIABILIZAÇÃO DO USO DE AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO NA
CONFECÇÃO DE PAVERS DE CONCRETO PERMEÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia.

Orientador: Fernanda Bianchi Pereira da
Costa

Coorientador: Simone Dornelles
Venquiaruto

**Alegrete
2019**

ANA PAULA MACHADO DA FRANÇA

VIABILIZAÇÃO DO USO DE AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO NA
CONFEÇÃO DE PAVERS DE CONCRETO PERMEÁVEL

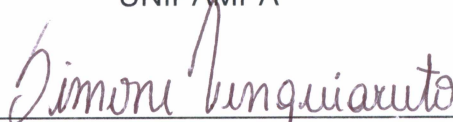
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 28 de junho de 2019.

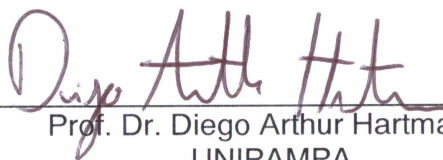
Banca examinadora:



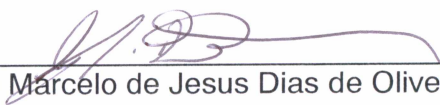
Prof. Mestre. Fernanda Bianchi Pereira da Costa
Orientadora
UNIPAMPA



Prof. Dra. Simone Dornelles Venquiaruto
Coorientadora
UNIPAMPA



Prof. Dr. Diego Arthur Hartmann
UNIPAMPA



Engenheiro Marcelo de Jesus Dias de Oliveira
UNIPAMPA

A Deus e aos meus pais, Vera Lúcia e
Catarino.

AGRADECIMENTO

Primeiramente eu agradeço a Deus por direcionar meu caminho e sempre me mostrar nos momentos mais improváveis o quanto seu amor é infinito.

À prof.^a Fernanda Costa, orientadora deste trabalho, pelos ensinamentos transmitidos, cobranças, críticas, ajudas e paciência. Por estimular meu desenvolvimento acadêmico e humano.

Agradeço à prof.^a Simone Venquiaruto, coorientadora, por toda a contribuição para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos técnicos Marcelo e Raquel pela perícia e pela fonte de experiência que transmitem aos alunos no laboratório, fundamental para a realização dos ensaios.

Aos meus pais, Vera e Catarino, meu eterno agradecimento pelo conforto, pelas preces, pelo apoio incondicional, por serem minha fonte infindável de paz todas as vezes que pensei em desistir. Por todo amor e carinho que têm por mim. Por acreditarem em mim muitas vezes até mais do que eu acredito. Mãe, seu carinho e atenção foram o que muitas vezes me deram esperança para seguir.

Agradeço às colegas Fernanda e Caroline pela ajuda no laboratório.

Agradeço ao meu namorado, Matheus, que de uma forma ímpar sempre me transmitiu força e coragem, necessárias em momentos difíceis. Muito obrigada por todo carinho paciência e capacidade de me trazer paz. Com você os meus dias ficam mais leves. Meus mais sinceros agradecimentos a todos os meus amigos por todo apoio e parceria ao longo desses anos. Agradeço a Deus por ter vocês comigo.

“A vida não é fácil para nenhum de nós.
Temos que ter persistência e, acima de
tudo, confiança em nós mesmos”.

Marie Curie

RESUMO

A verticalização das edificações e o crescimento dos centros urbanos vêm acontecendo em uma proporção superior ao que o meio ambiente suporta, constituindo assim uma ameaça à preservação do meio ambiente. A ênfase na sustentabilidade na construção civil se justifica porque este setor é preponderante em relação a impactos ambientais, pois essa gera grandes porcentagem de resíduos sólidos, diminui a capacidade de infiltração e aumenta as ilhas de calor. O concreto convencional, o mais utilizado na construção civil, atualmente, por possuir superfície impermeável, acarreta na alteração da qualidade da água, pois os poluentes depositados em tal superfície acabam sendo transportados para corpos de águas, pelas águas pluviais. Outro grande problema é o descarte inadequado dos resíduos de concreto (RC), uma vez que não há espaço e informações sobre qual finalidade é ecologicamente correta para estes materiais, gerando grande preocupação em escala global. Assim, uma forma de contribuir para a redução dos impactos gerado pela impermeabilização do solo, é a produção de concreto permeável, material que permite a percolação da água através de seus poros, e a redução do escoamento superficial das águas pluviais. A contribuição para a redução dos resíduos de concreto é reutilizá-los para a produção de concreto permeável, reaproveitando o material e dando uma adequada destinação, contribuindo para ambas vertentes de impacto. Para tanto, este trabalho tem como objetivo verificar a substituição parcial do agregado graúdo convencional por agregado reciclado de RC, avaliando as propriedades hidráulicas e mecânicas de pavers de concreto permeável. Como resultado, evidencia-se a possibilidade do uso de agregado reciclado de RC como substituição do agregado convencional em pavers de concreto permeável, para uso em vias de estacionamento de veículos e de pedestres.

Palavras-Chave: Concreto permeável; Resíduo de concreto; Pavers.

ABSTRACT

The verticalization of buildings and the growth of urban centers has been happening in a proportion higher than the environment supports, thus constituting a threat to the preservation of the environment. The emphasis on sustainability in construction is justified because this sector is prevalent in relation to environmental impacts, since it generates a large percentage of solid waste, decreases infiltration capacity and increases heat islands. Conventional concrete, the most used in civil construction, currently has a waterproof surface, which changes the water quality. The pollutants that are deposited on such surface end up being transported to water systems by rainwater. Another problem is the inadequate disposal of concrete wastes (CW) since there is no space and information on what purpose is ecologically correct for these materials, generating great concern on a global scale. Thus, one way of contributing to the reduction of the impacts generated by the waterproofing of the soil is the production of pervious concrete, a material that allows the percolation of water through its pores, and the reduction of the surface runoff of the rainwater. The contribution to the reduction of concrete residues is to reuse them to produce pervious concrete. This enables to give an appropriate destination to the material, contributing to both aspects of impact. Therefore, this work aims to verify the partial replacement of the conventional aggregate by recycled aggregates of CW, evaluating the hydraulic and mechanical properties of pervious concrete pavers. As a result, was evidenced the possibility of using recycled CW aggregate as a replacement of the conventional aggregate in pervious concrete pavers, for use in pedestrian areas and parking lots.

Keywords: Pervious concrete; Concrete waste; Pavers

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Formas de geração de resíduos de construção e demolição	18
Figura 2 – Pavimento de intertravamento com aberturas	31
Figura 3 – Paver de concreto permeável	32
Figura 4 – Pavimento de pavers de concreto permeável	32
Figura 5 – Pavimento com blocos de concreto vazado	33
Figura 6 – Estrutura típica de pavimento intertravado	33
Figura 7 – Curva granulométrica brita 0, com os limites normativos	36
Figura 8 – Brita tipo 0	37
Figura 9 – Britador de mandíbula	38
Figura 10 – Curva granulométrica agregado RC, com os limites normativos.....	39
Figura 11 – Agregado reciclado de RC	39
Figura 12 – Teste visual da mistura	41
Figura 13 – Compactação paver	42
Figura 14 – Procedimento para obtenção da massa seca	43
Figura 15 – Procedimento para obtenção da massa submersa	43
Figura 16 – Placa de intertravamento	45
Figura 17 – Ensaio de compressão	47
Figura 18 – Corpo de prova após ensaio	47
Figura 19 – Máquina de abrasão Los Angeles	48
Figura 20 – Corpos de prova antes do ensaio	48
Figura 21 – Corpos de prova após o ensaio	49
Figura 22 – Densidade x porosidade	50
Figura 23 – Taxa de infiltração	51
Figura 24 – Porosidade x resistência à compressão	52
Figura 25 – Resistência à compressão	53
Figura 26 – Abrasão Los Angeles	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de agregados já utilizados	24
Tabela 2 – Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável	28
Tabela 3 – Ensaio químicos, físicos e mecânicos do cimento Portland CP V – ARI	34
Tabela 4 – Composição granulométrica brita 0	36
Tabela 5 – Composição granulométrica agregado RC	38
Tabela 6 – Proporção RC e B0	40
Tabela 7 – Fator multiplicativo p	45
Tabela 8 – Coeficiente de Student (nível de confiança de 80%)	46
Tabela 9 – Valores de densidade e porosidade das composições analisadas	51
Tabela 10 – Infiltração.....	52
Tabela 11 –Valores de resistência à compressão e porosidade	53
Tabela 12 – Resistência característica estimada à compressão	53
Tabela 13 – Valor-P para resistência à compressão e porosidade respectivamente	54
Tabela 14 – Perda por abrasão Los Angeles	55
Tabela 15 – Abrasão Los Angeles	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa	15
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 Estrutura da pesquisa	16
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Resíduos de construção	17
2.1.1 Produção de resíduos sólidos na construção civil	18
2.1.2 Classificação dos resíduos sólidos na construção civil	19
2.1.3 Aplicação dos resíduos de construção	20
2.1.4 Resíduo de concreto (RC)	21
2.2 Concreto permeável	22
2.2.1 Materiais utilizados e propriedades no estado fresco	24
2.2.2 Textura e densidade	25
2.2.3 Propriedades hidráulicas	26
2.2.4 Propriedades mecânicas	27
2.3 Pavimentos de concreto permeável	28
2.3.1 Benefícios dos pavimentos de concreto permeável	29
2.3.2 Tipos de blocos para pavimentos permeáveis	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 Materiais	34
3.1.1 Cimento.....	34
3.1.2 Água.....	35
3.1.3 Agregado graúdo.....	35

3.1.3.1 Agregado de rocha basáltica...	35
3.1.3.2 Agregado reciclado	37
3.1.3.3 Aditivo modificador de viscosidade ...	40
3.2 Métodos	40
3.2.1 Especificação dos traços ...	40
3.2.2 Procedimento de moldagem e cura	40
3.2.3 Ensaio de porosidade ...	42
3.2.4 Ensaio de infiltração ...	44
3.2.5 Ensaio de resistência à compressão	45
3.2.6 Ensaio de abrasão	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1 Densidade x porosidade	50
4.2 Taxa de infiltração	51
4.3 Resistência à compressão x porosidade ...	52
4.4 Abrasão Los Angeles	55
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

Com o rápido avanço do mercado da construção civil há um crescimento na demanda por matéria prima que compõe o concreto como, brita, areia, cimento e água. Esse crescimento acelerado não vem sozinho, mas, traz com ele uma preocupação, já que a exploração destes compromete o meio ambiente. Sabe-se que o meio ambiente não está preparado para uma demanda tão grande, com isso o equilíbrio natural se encontra perturbado, ocasionando diversos efeitos negativos como o fencimento de recursos naturais, a extinção de espécies, a ocorrência de mudanças climáticas e a escassez de água. Outra perturbação ao equilíbrio natural está na impermeabilização do solo provocado pelas edificações e pelo uso de pavimentos impermeáveis.

Segundo Ipea (2012), além do crescente consumo de recursos naturais, as grandes construções acarretam a alteração da paisagem e, como todas as demais atividades da sociedade, geram resíduos. Dentre eles, os resíduos de construção representam um grave transtorno para a sociedade de um modo geral. Assim, há uma urgente necessidade por busca de conhecimento para a reutilização destes resíduos e, portanto, transformar o problema em oportunidade. Neste contexto, a reciclagem apresenta inúmeras vantagens tanto econômicas como ambientais, tendo em vista que os entulhos provenientes da construção civil podem ser reciclados, quase, em sua totalidade.

Outro grande problema envolvendo questões de sustentabilidade, é a gradual impermeabilização do solo e o aumento do escoamento superficial das águas pluviais, que vem exacerbando a probabilidade de ocorrência de picos de cheia, majorando os problemas relativos a enchentes e inundações. Isso traz como consequências agentes proliferadores de doenças, entre outros prejuízos para a população. Tal fato se deve a explosão demográfica priorizando o crescimento econômico, independente do custo ambiental (HOLTZ, 2011). Além disso, a impermeabilização do solo é um dos fatores agravantes quando se trata da alteração da qualidade da água. Os poluentes que ficam depositados sobre as superfícies impermeáveis são transportadas, pelas águas das chuvas, para os corpos hídricos causando sua contaminação.

1.1 Justificativa

Visando minimizar os impactos gerados pela impermeabilização do solo e a sustentabilidade, tem-se estudado alternativas mitigadoras como a substituição do pavimento impermeável por pavimento de concreto permeável, pois este permite a passagem, total ou parcial, das águas pelas suas camadas, visando a diminuição das vazões e volumes de água. Outras alternativas sustentáveis são a utilização dos resíduos de concreto na confecção de concreto estrutural, em obras de pavimento, entre outros, tendo em vista a diminuição de descarte.

É importante salientar a escassez de pesquisas referentes ao concreto permeável com o uso de RC. Assim, considerando as vantagens econômicas e ambientais referente a este material como pavimento, evidencia-se a importância de estudos sobre o assunto. Tais vantagens estão relacionadas a diminuição do custo de instalação relacionada a drenagem de pavimentos convencionais, a redução da impermeabilização do solo e, conseqüentemente, a redução da ocorrência de enchentes e inundações.

Partindo da necessidade de maiores estudos sobre alternativas eficientes e sustentáveis, este estudo visa ampliar uso de materiais recicláveis de construção na fabricação de pavimento de concreto permeável. Assim o presente trabalho objetiva avaliar a substituição parcial e total do agregado graúdo convencional por agregado graúdo de resíduo de concreto (RC), verificando as propriedades hidráulicas e mecânicas do concreto permeável.

1.2 Objetivos

Neste item serão apresentados os objetivos (geral e específicos) propostos para este trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

Verificar determinadas propriedades hidráulicas e mecânicas dos pavers de concreto permeável substituindo parcialmente o agregado graúdo convencional por agregado reciclado de resíduo de concreto.

1.2.2 Objetivo específicos

Com base no objetivo geral tem-se como objetivos específicos:

- a) Adaptar curva granulométrica do agregado reciclado de concreto, conforme requisitos normativos, para que possa ser usado como brita do tipo 0 nas misturas de concreto permeável;
- b) Confeccionar pavers de concreto permeável com variação do teor de substituição do agregado convencional por agregado reciclado de concreto;
- c) Avaliar a porosidade dos pavers de concreto permeável;
- d) Verificar a capacidade de infiltração dos pavers através da construção de uma placa;
- e) Avaliar a resistência à compressão dos pavers;
- f) Verificar a perda de massa por abrasão das misturas obtidas;
- g) Analisar a possibilidade de aplicação do material em vias de estacionamento de veículos e vias de pedestres.

1.3 Estrutura da pesquisa

A pesquisa foi organizada em capítulos, no capítulo 1 está a introdução, os objetivos e a delimitação da pesquisa.

No capítulo 2 é realizada uma revisão da literatura existente, expondo os problemas de drenagem e impermeabilização devido ao crescimento dos centros urbanos e o papel do concreto permeável como um material ecológico, apresentando suas principais características.

No capítulo 3 é apresentado os materiais e métodos empregados para atingir os objetivos propostos, descrevendo a moldagem das amostras e a realização dos ensaios.

No capítulo 4 apresenta os resultados e discussões encontrados a partir dos ensaios laboratoriais realizados, comparando as composições analisadas.

No capítulo 5 apresenta as conclusões finais.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Resíduos de construção

Conforme a Resolução CONAMA n° 307, de 5 de julho de 2002, os resíduos da construção civil são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, além dos resultantes da preparação e da escavação de terrenos. Neste cenário estão: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, entre outros comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Segundo Dakwalea e Ralegaonkar (2014), os resíduos de construção podem ser gerados devido a várias razões, ou seja, demolição da estrutura, excesso de material de construção, não utilização de material devido a alteração na especificação, mudanças no design durante a construção, erros cometidos, planejamento inadequado da quantidade necessária, armazenamento inadequado, entre outros.

Atualmente, os resíduos de concreto gerados têm atingido grandes proporções. Como destaca Dakwalea e Ralegaonkar (2014), a quantidade estimada de resíduos de construção foi de 12 bilhões de toneladas no ano de 2002. Na maioria dos casos estes não recebem uma solução adequada, e acabam em aterros sanitários. Ou como destaca Inojosa (2010), muitas vezes os resíduos de construção nem chegam aos aterros, sendo estes deixados em locais irregulares, as áreas verdes costumam ser alvo de disposições clandestinas de entulho, podendo levar à contaminação do solo e da água devido à presença de produtos como, solvente, tintas, lâmpadas fluorescentes, entre outros. Sendo estes simplesmente descartados de forma ilegal gerando prejuízos econômicos e ambiente.

As áreas de deposição irregulares como “solução” para o descarte de pequenos volumes de resíduos de construção e o esgotamento dos bota-foras em função da disposição incessante dos grandes volumes, em razão desse processo sempre emergencial, são um grande problema pois geram impactos significativos em todo ambiente urbano (PINTO, 1999). Muitos impactos são visíveis, comprometendo a qualidade do ambiente, a paisagem local, o tráfego de pedestre e de veículos e a drenagem urbana.

Pinto (1999), destaca que a presença dos resíduos de construção cria um ambiente propício a proliferação de vetores prejudiciais às condições de saneamento e saúde humana. Nestes locais podem ter a presença de roedores, insetos peçonhentos (aranhas e escorpiões) e transmissores de endemias perigosas como o mosquito *Aedes Aegyptis*, transmissor da dengue. Os resíduos descartados de forma indevida constituem uma ameaça à saúde pública.

A sustentabilidade da construção é uma responsabilidade tanto dos empresários como da sociedade e deve ser levada em conta no projeto, na construção, e até no planejamento da qualidade de vida dos moradores. Para isso, é necessário a utilização de recursos sustentáveis para a construção de novos empreendimentos (GONÇALVES, 2011).

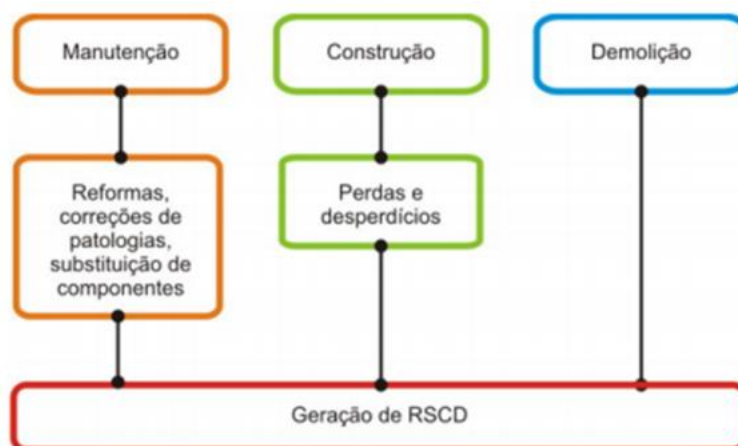
Diante da situação de deposição dos resíduos nas cidades, o poder público municipal atua com medidas paliativas, realizando serviços de coleta. No entanto, essa prática não soluciona, definitivamente, o problema pois não alcança a remoção da totalidade dos resíduos (KARPINSK *et al.*, 2009).

2.1.1 Produção de resíduos sólidos na construção civil

Segundo Faria (2011), o homem criou um sistema onde os recursos naturais utilizados de forma incompleta são perdidos, pois não retornam ao ciclo de produção, transformando-se em material descartado.

A produção de resíduo de construção e demolição tem origem de três formas, a manutenção, a construção e a demolição, conforme Figura 1.

Figura 1 – Formas de geração de resíduos de construção e demolição.



Como destaca Pinto (1999), as reformas e ampliações de edificações são responsáveis por aproximadamente 52% dos resíduos, sendo considerado um dos maiores geradores de resíduos em áreas urbanas e desenvolvido quase sempre de maneira informal.

Em reformas e manutenção, os resíduos gerados são para a conservação e melhorias das edificações, com métodos e técnicas que geram uma quantidade significativa de resíduos (VIDAL, 2014).

Segundo Pinto (1999), a taxa de geração de resíduo é na ordem de 150 kgs por metro quadrado construído. É preocupante a geração crescente dos resíduos de construções, no Brasil, essa perda está ligada diretamente ao contínuo desperdício, por ser uma área carente de tecnologias eficiente que busque gerar menos desperdício.

Karpinsk *et al.* (2009), desta que apesar dos resíduos de construção serem de baixa periculosidade, o seu impacto se dá pelo excessivo volume gerado, tanto que os municípios brasileiros de pequeno porte vivem situações similares às das grandes áreas urbanas, pois nestes resíduos também são encontrados materiais orgânicos, produtos perigosos e embalagens diversas que podem acumular água favorecendo a proliferação de insetos.

2.1.2 Classificação dos resíduos sólidos na construção civil

Conforme Faria (2011), ante a problemática que é a produção em massa de resíduos, sendo este um dos maiores e mais significativos impactos ambientais causados pelo homem, especialistas buscam desenvolver métodos de gestão específicos, com o objetivo de minimizar e controlar este grave problema. O primeiro passo é conhecer o resíduo gerado, ou seja, sua classificação e quantificação.

Segundo a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, os resíduos de construção estão classificados de acordo com as possibilidades de reciclagem, sendo estes:

- Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados tais como as rochas, solos, componentes cerâmicos, argamassa, concreto, blocos e meio-fios;

- Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;
- Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação, e;
- Classe D – são resíduos perigosos oriundos do processo de construção: tintas, solventes, óleos, telhas de amianto, caixa d'água de amianto.

Dentro deste contexto, observa-se que a classe A é a que possui mais pesquisas em busca de soluções para uma correta destinação, visto que possui uma maior possibilidade de reutilização.

2.1.3 Aplicação dos resíduos de construção

No Brasil, por não possuir um bom processo de separação dos resíduos sólidos, os agregados reciclados não apresentam homogeneidade de suas características, dificultando assim seu emprego, independente da aplicação do resíduo, quanto mais adequado às normas técnicas, maiores serão suas possibilidades de utilização (MORAND, 2016).

Segundo Morand (2016), apesar dos resíduos de construção possuírem um alto potencial para reutilização, apenas uma pequena parcela é efetivamente recuperada. Apesar de ser uma atividade bem antiga na Europa, a reciclagem e reutilização de resíduos neste continente é de apenas 30% do volume, já no Brasil ainda não se tem uma informação sobre a quantidade específica que é reutilizada.

Os resíduos de construção têm como aplicações mais recorrentes o preenchimento para preparação de terrenos, projetos de drenagem, fabricação de blocos de vedação entre outras aplicações que possuam baixa exigência de desempenho mecânico (ULSEN, 2006). Segundo Pinto (1999), a utilização do material nas camadas de base e sub-base de pavimentação, apresenta ótima capacidade de suporte com menor utilização de agregado reciclado.

A aplicação dos resíduos como agregados para concreto tem como principais vantagens a utilização de todos os componentes minerais de entulho, sem que tenha a necessidade de separação destes, tem também a economia de energia no processo de moagem do entulho, uma vez que parte do material permanece em granulometria

graúda, e a possibilidade de melhoria do concreto em relação aos agregados convencionais, quando utiliza baixo consumo de cimento (ABRECON, 2018).

Segundo Ulsen (2006), apesar da diversidade de aplicações para os resíduos, este tem sua integridade comprometida, fazendo-se um produto com menor valor. Esta prática é conhecida como *downcycling* (reciclagem de baixo valor), o que significa que o material é reduzido ao longo da cadeia, sendo utilizado em funções inferiores. Para aplicações mais nobres dos agregados reciclados exigem uma maior qualidade nas propriedades físicas e químicas.

2.1.4 Resíduo de concreto (RC)

Apesar da busca constante por técnicas que permitam a utilização dos RC's como agregados para a produção do concreto, e mesmo existindo a possibilidade deste melhorar suas características, ele ainda não é bem visto, o que acaba impedindo o crescimento desta prática sustentável.

A reciclagem dos RC's ajuda a reduzir o problema de armazenamento de resíduo e preservação dos recursos naturais. Neste contexto, o gerenciamento de resíduos de construção tem duas abordagens principais, a primeira é a minimização da quantidade gerada e a segunda é a reutilização dos resíduos gerados (DAKWALEA E RALEGAONKAR, 2014). A reciclagem de concretos pode proporcionar um agregado com características bastante semelhantes ao produto original, com matérias primas de custo muito baixo (CIOCCHI, 2003).

Hoje a reutilização dos RC's se faz necessário, pois a reciclagem é uma alternativa para minimizar e controlar os problemas ambientais causados pelo uso crescente dos recursos naturais. Segundo Gonçalves (2011), a forma de reciclagem comumente utilizada para RC's, no estado endurecido, é sua reutilização como agregados em novas misturas ou para confecção de sub-bases e bases de rodovias.

Para Ciochi (2013) é possível reciclar qualquer concreto, desde que um adequado uso seja escolhido e que respeite as limitações técnicas, a mistura do agregado reciclado e do agregado convencional traz bons resultados.

Segundo Morand (2016), a reutilização do resíduo de concreto, independente da finalidade, traz muitos benefícios, principalmente quando se pensa na preservação dos recursos naturais, sem contar as vantagens ambientais, econômicas e sociais.

Outras vantagens que podem ser adquiridas com a reciclagem são: matéria prima mais econômica, a diminuição do entulho e de suas consequências negativas como, enchentes e assoreamento de rios e córregos (MORAND, 2016). Além disso, podem-se reduzir o consumo de energia durante o processo de produção e diminuir a emissão de gás carbônico e redução do consumo de recursos naturais.

O uso de agregados reciclados apresentam grandes vantagens, as argamassas produzidas com o entulho, apresentam uma redução de 10% a 15% no consumo de cimento, 100% no consumo de cal, e de 15% a 30% no consumo de areia, além do aumento da resistência à compressão que varia entre 20% a 100%, em relação aos valores obtidos com argamassas convencionais, conforme traço utilizado (ZORDAN, 1997).

2.2 Concreto permeável

Segundo Monteiro (2010), a principal diferença entre o concreto convencional e o concreto permeável é que o concreto convencional possui alta resistência e é feito para ser estanque, já o permeável é feito para permitir a passagem de água e por isso apresenta resistência moderada.

O American Concrete Institute (ACI 522, 2010), define o pavimento permeável, como, um pavimento que se compõe de materiais com vazios contínuos suficientes para permitir que a água passe da superfície para as camadas subjacentes.

O concreto permeável é um concreto especial com conteúdo de vazios relativamente alto e alta permeabilidade à água em comparação com o concreto convencional. É um material ecologicamente correto e pode ser utilizado em várias aplicações de engenharia civil e arquitetura (ZAETANG *et al.*, 2016).

Segundo Henderson (2012), o concreto permeável se destaca quando se refere a meio ambiente, sociedade e economia. O baixo impacto no uso do pavimento de concreto permeável é um dos principais benefícios ambientais. A capacidade de drenagem do pavimento de concreto permeável, leva a certeza do baixo efeito, quando não nulo, no ciclo natural da água. Com o uso do concreto permeável pode-se chegar à redução ou eliminação do escoamento das águas pluviais, em comparação com o uso de concreto impermeável. Concreto permeável tem várias singularidades que podem melhorar a qualidade de vida da comunidade, estes

incluem minimizar as ilhas de calor e aumentar a refletividade, ambos os benefícios são atribuídos à cor do concreto que é mais claro que o pavimento convencional.

O pavimento de concreto permeável pode oferecer benefícios econômicos aos indivíduos que o utilizam, pois mantém o ciclo natural da água. Como é um desenvolvimento de baixo impacto, ele garante que a vegetação circundante, como jardins e gramados, receba umidade natural. Isso limita as despesas para o dono da casa relacionadas à rega. No caso de propriedades privadas e comerciais, o concreto permeável pode ser usado em um sistema de coleta de água, reduzindo a demanda de água.

Hoje, as tecnologias buscam fornecer um novo modelo para o relacionamento entre centros urbanos e meio ambiente. Com o uso de pavimento permeável essa relação deixa de ser negativa e passa a ser otimista. O pavimento de concreto permeável torna a cidade mais multifuncional e dinâmica, ele unifica meio ambiente e humanos em um único sistema de contribuição bilateral, deixando de lado a visão dicotômica e pessimista que só se justifica no passado onde não havia opções mais sustentáveis (FERGUSON, 2010).

Como destaca Ferguson (2010), como os pavimentos permeáveis são absorventes, eles também permitem que as árvores cresçam até o tamanho total para o qual são plantadas, fornecendo ar e água para o solo de enraizamento. As árvores fornecem todos os valores para os quais a "floresta urbana" é defendida: sombra, resfriamento, qualidade do ar, remoção de dióxido de carbono. A sombra das árvores neutraliza a "ilha de calor" urbana, impedindo que os pavimentos absorvam o calor solar, enquanto a superfície permeável torna o solo de enraizamento viável.

Com o uso do concreto permeável os centros urbanos não precisariam mais preocupar-se com os problemas a jusante, pois este, ao contrário das tecnologias do passado, corresponde a construção visando a sustentabilidade.

De acordo com Henderson (2012), a composição dos concretos permeáveis apresenta de 15% a 30% do seu volume composto por vazios, permitindo que a água seja drenada da superfície, podendo chegar ao lençol freático ou ser direcionada através de uma rede de tubulação.

2.2.1 Materiais utilizados e propriedades no estado fresco

O concreto permeável é confeccionado com os mesmos materiais que são utilizados na composição do concreto convencional, a diferença é que o agregado que compõe o concreto permeável é na sua maioria graúdo. O agregado de graduação aberta tem faixa estreita de tamanhos de partículas, com pouco ou nenhuma finura (FERGUSON, 2006). Há uma necessidade de um alto controle principalmente visual, para que as características desejadas sejam atendidas (TENNIS *et al.*, 2004).

Para a escolha dos materiais a serem utilizados depende dos tipos disponíveis no local, é sempre necessário realizar experimentos em laboratórios para servir de parâmetros para uma melhor definição de dosagem.

Segundo Tennis *et al.* (2004), a massa específica e o índice de vazios característicos do concreto permeável variam em função das propriedades e proporções relativa de cada material constituinte da mistura, bem como do procedimento de compactação empregado. O processo de compactação e a relação agregado/cimento são dois fatores muito importantes e podem afetar diretamente as características do material.

O agregado graúdo utilizado em concreto permeável normalmente é do tipo uniforme, em que o diâmetro máximo utilizado é de 19 mm (BATEZINI, 2013). Para granulometria descontínua, as graduações comumente utilizadas variam entre, 19,00 mm a 4,75 mm, 9,50 mm a 2,36 mm, e 9,50 mm a 1,18 mm (TENNIS *et al.*, 2004). O American Concrete Institute (ACI 522R, 2010), sugere que o diâmetro dos agregados para utilizar em concreto permeável deve estar entre 19,00 mm e 9,5 mm.

Na Tabela 1 são apresentados alguns diâmetros máximos e módulos de finura já utilizados na confecção de concreto permeável.

Tabela 1 – Dados de agregados já utilizados

Autor	Diâmetro máximo	Módulo de finura
Batezini (2013)	12,5	5,88
Lamb (2014)	9,5	4,8
Monteiro (2010)	12,5	6,1
Oliveira <i>et al.</i> (2017)	9,5	5,94

Fonte: Próprio Autor

O uso do agregado fino na produção de concreto permeável ajuda a aumentar a resistência a compressão e a densidade, mas seu uso é muito limitado porque

compromete a conexão entre os poros do concreto, reduzindo a taxa de fluxo de água (ACI 522, 2010).

O aglomerante geralmente utilizado é o cimento Portland comum, mas, dependendo da situação, pode ser utilizado cimento especial, de acordo com condições específicas desejadas, visto que o concreto permeável mostra uma secagem rápida pois sua estrutura permite a circulação de ar, acelerando o processo de cura (OSPINA E ERAZO, 2007).

O concreto permeável no estado fresco é caracterizado por apresentar baixa trabalhabilidade, quando comparado com o concreto convencional. Em função da alta consistência, é incomum a utilização do ensaio de abatimento de tronco de cone como método de controle na produção de misturas de concreto permeáveis, os ensaios mais empregados são os de massa unitária e controle visual (BATEZINI, 2013).

Segundo Henderson (2012), uma ligeira compactação da superfície é necessária para desenvolver resistência no material, porém a compactação excessiva pode resultar na vedação da superfície, o que elimina as características de permeabilidade.

Como destaca Batezini (2013), os procedimentos padrão para a produção de corpos de prova e realização de ensaios em laboratórios utilizados para concretos convencionais, não se aplicam para o concreto convencional.

2.2.2 Textura e densidade

A textura é uma das características do concreto permeável quando comparado ao concreto convencional. Este tipo de textura pode trazer benefícios associados a segurança dos usuários, principalmente em períodos de chuva. Este fato está relacionado a pequena ou nula quantidade de agregados miúdos em sua composição, proporcionando um aumento no coeficiente de atrito atribuído a uma superfície mais rugosa, como o concreto permite a percolação da água pode ser bastante efetivo na diminuição de hidroplanagem, pois estes diminuem a formação de pouças de água (BATEZINI, 2013).

A densidade do concreto permeável depende das propriedades e proporções dos materiais utilizados, bem como, o procedimento usado na compactação. A densidade no estado endurecido na ordem de 1.600kg/m³ a 2.000kg/m³ são comuns, estando superior a concretos leves (TENNIS et al., 2004).

2.2.3 Propriedades hidráulicas

Permeabilidade é a capacidade que o material tem de deixar que a água possa percolar através da interconexão entre os vazios no concreto, para que isso aconteça é necessário que o concreto tenha um alto índice de vazios para garantir a passagem de grande quantidade de águas pluviais (SCHWETZ *et al.*, 2015).

Segundo Neithalath (2004), a permeabilidade não depende apenas da porosidade do concreto permeável, mas também da conectividade entre os poros, se estes não estiverem conectados a passagem de água entre os poros é impossibilitada. Porém não há uma metodologia simples capaz de medir a conectividade entre os poros do concreto permeável (ACI 522, 2010).

Os tamanhos dos poros no concreto permeável são um fator muito importante que influencia suas propriedades (ACI 522, 2010). Conforme Neithalath (2004), o tamanho do agregado reduz a resistência a flexão à medida que o tamanho deste é aumentado, isso ocorre porque um aumento no tamanho do agregado resulta em um aumento no tamanho dos poros e na porosidade total da mistura. Logo, quanto maior o agregado, maior será o tamanho dos poros no material.

De acordo com Pieralisi *et al.* (2015), a permeabilidade à água depende da curva granulométrica, da forma do agregado, da dimensão máxima característica do agregado, da quantidade de pasta e do nível de compactação aplicado.

A ciência mostrou que pavimentos permeáveis corretamente instalados têm taxas de infiltração maiores do que qualquer solo natural e qualquer taxa de chuva natural, e não geram mais escoamento do que qualquer condição de pré-desenvolvimento, logo eles são considerados muito permeáveis (FERGUSON, 2010).

Segundo Pieralisi *et al.* (2015), essa porosidade pode variar entre 15% a 30% do volume de concreto, podendo ser dividido em três tipos: poros da pasta, ar retido e poros da estrutura granular. Ele ainda destaca que os poros apresentados pela pasta e os originados pelo ar retido são muito pequenos, e não são definidos como importantes para o concreto permeável, já os poros formados pela baixa quantidade de finos é considerado o principal responsável pela permeabilidade característica do concreto.

Schwetz *et al.* (2015) destaca que permeabilidade é uma das mais importantes características deste material, sendo que as taxas de fluxo típicas de passagem de água através do concreto permeável variam de 120 l/min/m² (2 mm/s) a 320 l/min/m²

(5,4 mm/s), com uma média de 200 l/min/m² e picos de até 700 l/min/m², que são valores muito superiores à capacidade de infiltração da maioria dos solos.

Quando é usado em pavimento de concreto permeável, o fluxo de água pluvial durante os eventos de chuva é menor do que seria se fosse um concreto convencional, podendo toda água ser drenada para o lençol freático ou direcionado para um local de armazenamento previamente instalado, reduzindo o escoamento de águas pluviais (HENDERSON, 2012).

A selagem da superfície da camada de revestimento é um dos principais problemas existentes quando se refere a capacidade drenante do concreto permeável, podendo ocorrer por meio de excesso de compactação, durante processo construtivo, ou ainda decorrente da incrustação de partículas de areia ou solo nos poros do revestimento (BATEZINI, 2013).

2.2.4 Propriedades mecânicas

O uso do concreto permeável, normalmente, é limitado a áreas de tráfego leve e pouco intenso, porque devido sua alta porosidade a sua resistência é inferior quando comparado com o concreto convencional. Segundo American Concrete Institute (ACI 522, 2010), as resistências típicas de compressão do concreto permeável estão na ordem de 2,8 a 28 MPa, Perialisi *et al.* (2015) destaca alguns ensaios realizados que apresentaram resistência superiores a 30 MPa, chegando a 50 MPa. Ou seja, apesar do elevado índice de vazios o contato entre os agregados que compõem o concreto permeável garante uma resistência razoável, pois a pasta de cimento, usada em pequenas quantidades, garante união entre os agregados evitando desmoronamento (SCHWETZ *et al.*, 2015).

Como destaca Batezini (2010), as resistências à compressão e à tração na flexão, são inversamente proporcionais ao volume de vazios existentes, ou seja, quanto maior o volume de vazios, menor será a resistência mecânica.

Neithalath *et al.* (2010) investigaram a utilização de diferentes tamanhos de agregados em misturas de concretos permeável e chegaram à conclusão que o aumento do tamanho do agregado resulta em uma redução das propriedades mecânicas do concreto permeável, devido ao aumento da porosidade total e do tamanho dos poros.

A Tabela 2 apresenta os requisitos de resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável de acordo com a NBR 16416:2015 (Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos).

Tabela 2 - Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (MPa)	Método de ensaio
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 35,0^a$	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 20,0^a$	
	Tráfego leve	80,0		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 2,0^b$	ABNT NBR 15805
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	$\geq 1,0^c$	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	100,0	$\geq 2,0^c$	
^a determinação da resistência à compressão, conforme na ABNT NBR 9781. ^b determinação da resistência à tração, conforme na ABNT NBR 15805. ^c determinação da resistência à tração na flexão, conforme na ABNT NBR 12142.				

Definições:

Peça de concreto permeável – componente pré-moldado de concreto permeável, utilizado como material de revestimento em pavimento intertravado e cujo índice de forma¹ é igual ou inferior a 4.

Placa de concreto permeável – componente pré-moldado de concreto permeável, utilizado como material de revestimento em pavimento permeável e cujo índice de forma¹ é superior a 4.

2.3 Pavimentos de concreto permeável

Segundo a American Concrete Institute (ACI 522, 2010), o pavimento de concreto permeável reduz o impacto gerado pela expansão das cidades, eliminando ou reduzindo as taxas de escoamento das águas pluviais e protegendo o abastecimento de água.

¹ Relação entre o comprimento e a espessura da peça ou da placa de concreto, descontando a espessura do espaçador.

Henderson (2012), destaca que o pavimento de concreto permeável é uma solução para um desafio existente em áreas urbanas. Este desafio consiste em lidar com a grande quantidade de áreas urbanas impermeáveis, criadas durante o crescimento e desenvolvimento do ambiente urbano.

O pavimento de concreto permeável, dependendo da sua composição, possui uma elevada porosidade e boa drenabilidade através de sua estrutura porosa. A utilização dessas estruturas, quando projetada e implantada de forma correta, influencia significativamente nas vazões de pico em eventos de chuva (BATEZINI, 2013). Ainda de acordo com Batezini (2013), as pesquisas sobre esse tipo de material se tornaram atrativas, visto que o concreto permeável pode apresentar bom desempenho e durabilidade quando utilizado como revestimento de pavimentos em área de veículos leves, o que, aliado à capacidade drenante traz grandes benefícios econômicos e ambientais.

2.3.1 Benefícios dos pavimentos de concreto permeável

Segundo Henderson (2012), esse tipo de pavimento oferece muitos benefícios, quando integrados em áreas urbanas, abrangendo vários setores, incluindo o ambiente, a sociedade e a economia.

Um dos principais fatores atribuído aos benefícios ambientais do concreto permeável é o baixo impacto no meio ambiente, por causar impactos mínimos ou nulos no ciclo natural da água. A redução ou, muitas vezes, eliminação do escoamento em áreas pavimentadas com pavimento de concreto permeável, em comparação ao pavimento de concreto convencional, significa um grande ganho ambiental (HENDERSON, 2012).

O pavimento permeável tem grande potencial em fornecer controle hidrológico e químico para águas pluviais, como destacam Kuang *et al.* (2007). Os autores estudaram a capacidade de remoção de partículas existentes nas águas pluviais através do sistema de pavimento permeável. A redução total de fósforo excedeu 80%. As reduções de turbidez do efluente também foram significativas, chegando a reduzir de 50% a 90% dos valores de influentes.

Como o concreto permeável possui um alto índice de vazios e baixa densidade, ele absorve menos calor que o concreto convencional e resfria mais rapidamente em

ambientes quentes, minimizando os efeitos de ilha de calor dos centros urbanos (HOLTZ, 2011).

O uso do concreto permeável pode melhorar a qualidade de vida da comunidade local, estes incluem minimizar as ilhas de calor e aumentar a refletividade, ambos os benefícios são atribuídos à cor do concreto, cinza claro, em comparação com o pavimento asfáltico de cor preta. A cor clara da superfície pode reduzir a quantidade de iluminação necessária no local.

Segundo Holtz (2011), com a utilização do pavimento de concreto permeável, há a possibilidade de eliminação da necessidade de grandes obras de drenagem por causa da capacidade que este concreto tem em infiltrar as águas pluviais, representando um ganho ambiental e econômico. Este pavimento reduz a necessidade de criar poços de detenção, já que ele age como uma área de detenção, levando a custos menores com mão-de-obra, construção e manutenção, pois evita a necessidade de poços de detenção, encanamentos, drenos, entre outros sistemas de águas pluviais. Além disso, com o reabastecimento hídrico pode reduzir ou eliminar a necessidade do sistema de irrigação.

O uso de pavimentos de concreto permeável como um sistema de retenção ou infiltração é eficaz para melhorar a qualidade da água de escoamento e reduzir o volume de escoamento quando mantido adequadamente. Estes podem ser projetados para acomodar não apenas a chuva que cai em sua superfície, mas também capturar uma boa parte do excesso de escoamento de áreas adjacentes (ACI 522, 2010).

2.3.2 Tipos de blocos para pavimentos permeáveis

Segundo a NBR 9781 (2013), pavimento intertravado é um pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camadas de revestimento constituídas por peças de concreto justapostas em uma camada de assentamento cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado por contenção.

Virgiliis (2009) define o pavimento permeável como aquele que possui porosidade e permeabilidade significativamente elevada, de maneira a influenciar a hidrologia e causando algum efeito positivo ao meio ambiente, logo, os pavimentos com teor de vazios baixo, e que possuam baixa taxa de infiltração de água não são considerados permeáveis.

De acordo com Marchioni e Silva (2010), os pavimentos permeáveis reduzem o escoamento superficial em até 100%, dependendo da intensidade da chuva, e pode retardar a chegada da água ao subleito reduzindo a erosão. Já a camada de base granular funciona ainda como um filtro para águas da chuva, reduzindo a sua contaminação.

Em relação a crescente impermeabilização dos centros urbanos, Marchioni e Silva (2010) afirmam que os pavimentos permeáveis podem contribuir muito mais que áreas urbanas livres de pavimentação. A justificativa seria que na maioria das vezes estas áreas livres de pavimentação, já se encontram compactadas, independente de apresentar vegetação ou não.

A escolha do tipo de bloco depende principalmente do local onde será aplicado (VIRGILIIS, 2009). Smith (2006) e Gonçalves e Oliveira (2014) definem alguns tipos de blocos para pavimentos permeáveis de concreto, que possibilitam a passagem da água pluvial:

a) Pavimento de intertravamento com aberturas: Possuem padrões que criam aberturas ou orifícios de drenagem para entrada da chuva, enquanto mantem alto contato lateral entre as unidades para estabilidade sob cargas veiculares, conforme ilustrado na Figura 2.

b) Pavers de concreto permeável: Sua composição é similar ao concreto convencional, com retirada de fração de finos da mistura, permitindo que a água entre diretamente e passe através dela, conforme ilustrado na Figura 3 e 4.

Figura 2 – Pavimento de intertravamento com aberturas



Fonte: Smith (2006)

Figura 3 – Paver de concreto permeável



Fonte: Virgiliis (2009)

Figura 4 – Pavimento de pavers de concreto permeável.



Fonte: Virgiliis (2009)

c) Pavimento de blocos de concreto vazado – Os blocos de concreto são assentados sobre material granular, como areia, e preenchidos com vegetação rasteira, como grama, é importante a colocação de filtros geotêxtis sob a camada de areia, para prevenir o carregamento de areia fina (Figura 5).

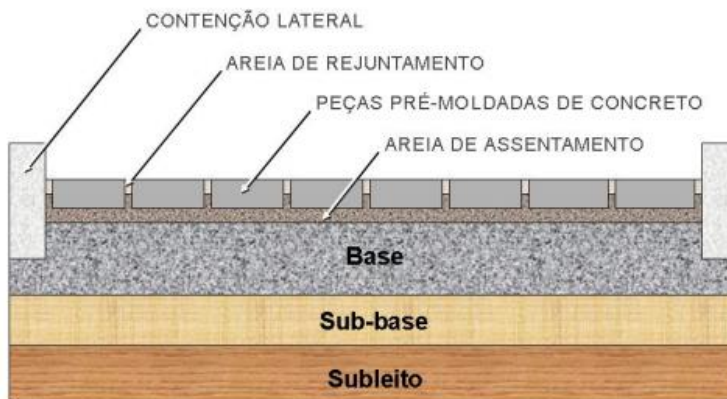
d) Pavimentos intertravados de concreto – Estes também possuem permeabilidade, cuja magnitude depende da permeabilidade do bloco de concreto em si e da granulometria do material de assentamento e das juntas. A permeabilidade desse tipo de pavimento que já é menor que a dos demais tipos, diminui com o tempo e chega à metade do valor original após alguns anos. O sistema deste tipo de pavimento pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 5 – Pavimento com blocos de concreto vazado



Fonte: Gonçalves e Oliveira (2014)

Figura 6 – Estrutura típica de pavimento intertravado



Fonte: Hallack (1998)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para a confecção dos pavers de concreto permeável foram empregados agregado graúdo, cimento Portland, água e aditivo modificador de viscosidade. Na sequência são apresentados os materiais que foram utilizados nesta pesquisa.

3.1.1 Cimento

O cimento Portland que foi empregado neste trabalho é o CP V – ARI, pois é um cimento mais puro e fino, e desenvolve uma alta resistência em idades iniciais. Fato importante para o concreto permeável, uma vez que o material já apresenta baixa resistência. Essa alta resistência desenvolvida ocorre pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, e pela moagem mais fina do cimento, quando estes reagem com a água adquire elevadas resistências, com maior velocidade. Na Tabela 3 encontram-se os resultados dos ensaios químicos, físicos e mecânicos relacionados ao cimento Portland que foi utilizado neste trabalho.

Tabela 3 – Ensaio químicos, mecânicos e físicos do cimento Portland CP V – ARI
(Continua)

Químicos			
Ensaio	UN.	Resultado	Exigências
Perda ao Fogo - PF	%	4,1	≤ 6,5 - NM 18/12
Óxido de Magnésio - MgO	%	6,2	≤ 6,5 - NM 21/12
Trióxido de Enxofre - SO ₃	%	3,2	≤ 4,5 - NM 16/12
Resíduo Insolúvel - RI	%	0,8	≤ 3,5 - NM 15/12
Mecânicos - NBR 7215/96			
Ensaio	UN.	Resultado	Exigências
Resistencia à compressão - 1 dia	MPa	24,2	14
Resistencia à compressão - 3 dias	MPa	35,5	24
Resistencia à compressão - 7 dias	MPa	40,9	34
Resistencia à compressão - 28 dias	MPa	48,7	não aplicável

Tabela 3 – Ensaio químicos, mecânicos e físicos do cimento Portland CP V – ARI
(Conclusão)

Ensaio	Físicos		
	UN.	Resultado	Exigências
Índice de Finura - #75 μm (nº 200)	%	0	$\leq 6,0$ - NBR 11579/13
Resíduo na Peneira - # 325	%	0,6	não aplicável - NBR 9202/85
Área Específica (Blaine)	cm^2/g	4976	≥ 3.000 - NM 76/98
Água de consistência normal	%	30,3	não aplicável - NM 43/03
Início de Pega	minutos	224	≥ 60 - NM 63/03
Fim de Pega	minutos	286	≤ 600 - NM 65/03
Expansibilidade à quente	mm	0,3	$\leq 5,0$ - NBR 11582/12
Massa Específica	g/cm^3	3,1	não aplicável - NM 23/01

Fonte: Dados fornecidos pela empresa Votorantim (2018).

3.1.2 Água

A água potável que foi utilizada é fornecida pela rede de abastecimento local em Alegrete/RS. Sua distribuição é realizada pela empresa CORSAN.

3.1.3 Agregado graúdo

3.1.3.1 Agregado de rocha basáltica

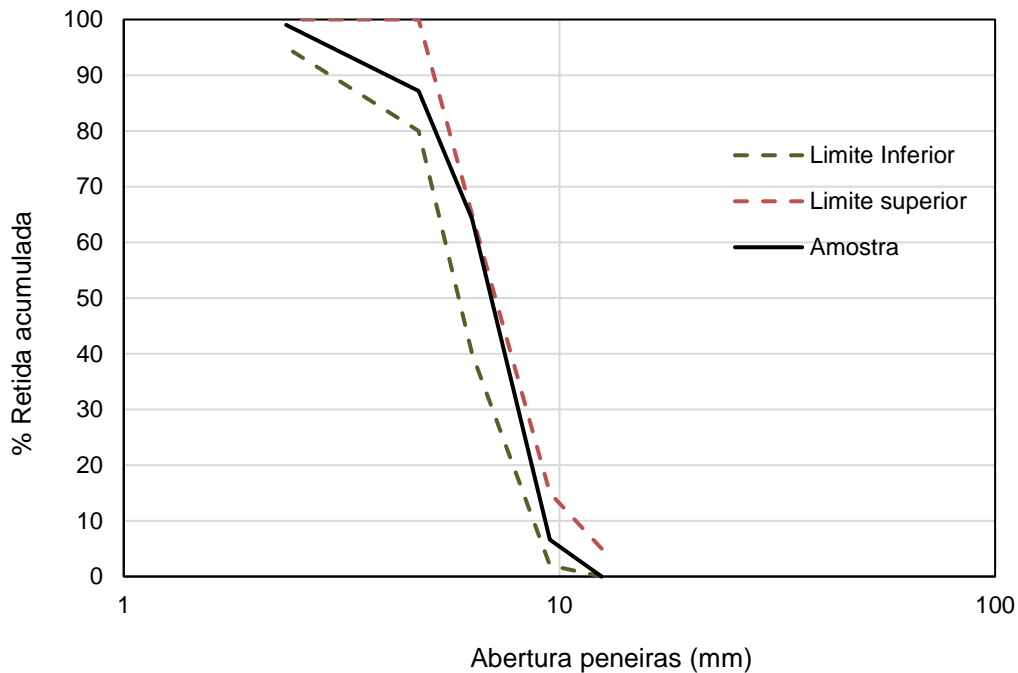
Na produção do concreto permeável para pavimento foi utilizado agregado graúdo de rocha basáltica (brita 0) com diâmetros máximos de 9,5 mm e módulo de finura de 6,01 prescrito de acordo com a NBR NM 248 (2003), massa específica e absorção da água determinados conforme a NBR NM 53 (2003), a perda por abrasão Los Angeles foi determinada segundo a NBR NM 51 (2001) e o fator de forma conforme NBR 7809 (2019). Segundo a NBR 7211 (2005), o desgaste por abrasão não pode ser superior a 50% em massa do agregado. Na Tabela 4 pode ser visualizada a composição granulométrica e características físicas da brita tipo 0, do qual foram eliminados os percentuais abaixo de 2,36mm e os limites de acordo com a NBR NM 15116 (2004). A curva granulométrica e o agregado da brita tipo 0 podem ser visualizados nas Figuras 7 e 8, respectivamente.

Tabela 4 – Composição granulométrica brita 0

Peneiras (mm)	Amostra 1 (g)	% Retida	% Retida acumulada
12,50	0,00	0,00	0,00
9,50	330,60	6,63	6,63
6,30	2869,50	57,57	64,21
4,75	1143,90	22,95	87,16
2,36	591,60	11,87	99,03
Fundo	48,50	0,97	100
Total	4984,10	100	-
Diâmetro máximo (mm)		9,50	≤ 63 (NBR 15116)
Módulo de finura		6,01	-
Massa específica (g/cm ³)		2,66	-
Absorção de água (%)		2,43	≤ 7 (NBR 15116)
Perda por abrasão Los Angeles (%)		11,79	-
Fator de forma		2,42	≤ 3 (NBR 15116)

Fone: Próprio autor

Figura 7 – Curva granulométrica brita 0, com os limites normativos.



Fonte: Próprio autor

Figura 8 – Brita tipo 0.



Fonte: Próprio autor

3.1.3.2 Agregado reciclado

O reaproveitamento do agregado reciclado sucedeu através da britagem de corpos de prova descartados no Laboratório de Materiais e Construção Civil do curso de Engenharia Civil da UNIPAMPA. A britagem foi realizada com o britador de mandíbula (Figura 9). Através da britagem, foi obtido um material, cuja curva granulométrica foi adaptada conforme NBR NM 248 (2003) para curva ótima em brita tipo 0 e módulo de finura de 6,07, a massa específica e absorção da água foram determinados conforme a NBR NM 53 (2003), a perda por abrasão Los Angeles foi determinada segundo a NBR NM 51 (2001) e o fator de forma conforme NBR 7809 (2019), os limites de acordo com a NBR NM 15116 (2004). Na Tabela 5 pode ser visualizada a composição granulométrica e características físicas do agregado de RC, do qual foram eliminados os percentuais abaixo de 2,36mm. A curva granulométrica do agregado e o agregado reciclado de RC podem ser visualizados nas Figuras 10 e 11, respectivamente.

Figura 9 – Britador de mandíbula.



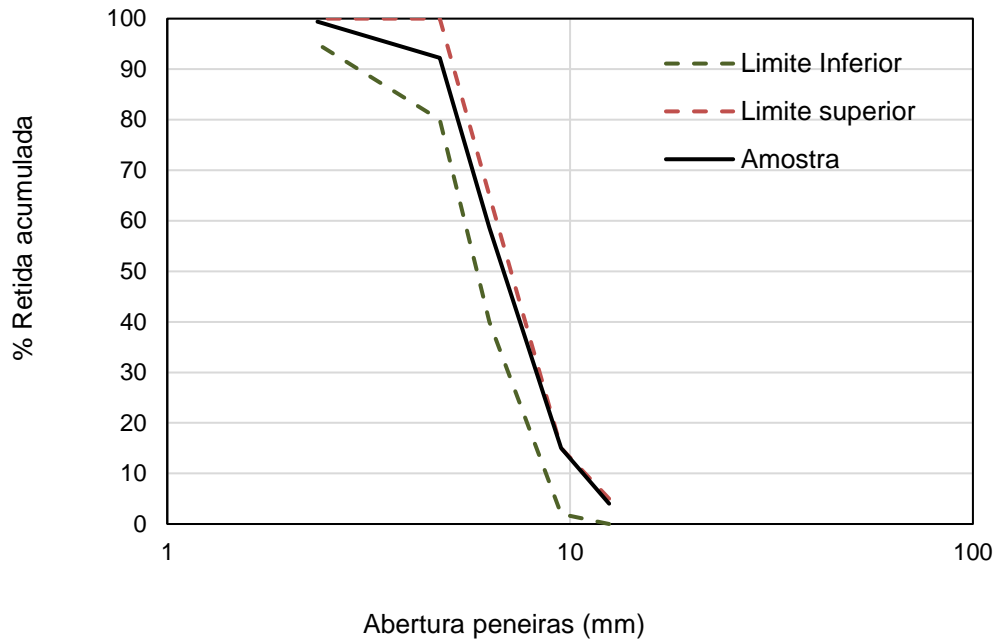
Fonte: Próprio autor

Tabela 5 – Composição granulométrica agregado RC.

Peneiras (mm)	Amostra 1 (g)	% Retida	% Retida acumulada
12,50	200,30	4,02	4,02
9,50	549,00	11,03	15,06
6,30	2165,50	43,51	58,57
4,75	1675,00	33,66	92,23
2,36	356,80	7,17	99,40
Fundo	30,10	0,60	100
Total	4976,70	100	-
Diâmetro máximo (mm)		9,50	≤ 63 (NBR 15116)
Módulo de finura		6,07	-
Massa específica (g/cm ³)		2,36	-
Absorção de água (%)		5,41	≤ 7 (NBR 15116)
Perda por abrasão Los Angeles (%)		23,55	-
Fator de forma		2,70	≤ 3 (NBR 15116)

Fone: Próprio autor

Figura 10 – Curva granulométrica agregado RC, com os limites normativos.



Fonte: Próprio autor

Figura 11 – Agregado reciclado de RC



Fonte: Próprio autor

3.1.3.3 Aditivo modificador de viscosidade

Na confecção dos compósitos cimentícios foi utilizado aditivo modificador de viscosidade, cujo nome comercial é *V – MARTM3*.

3.2 Métodos

3.2.1 Especificação dos traços

A dosagem das misturas de concreto permeável foi realizada através do método do IPT/EPUSP, conforme realizado por Costa *et al.* (2018), para um traço de 1:4 (cimento:agregado), uma relação água/cimento de 0,33 e uma porosidade estimada de 25%. As substituições da brita 0 (B0) por agregado reciclado (RC) foram realizadas conforme Tabela 6. Segundo Zaetang *et al.* (2016), alguns estudos indicam que a resistência do concreto diminui à medida que a quantidade de agregado reciclado aumenta.

Tabela 6 – Proporção RC e B0

Composição	% RC	% B0
A	0	100
B	15	85
C	30	70
D	50	50

Fonte: Próprio autor

3.2.2 Procedimento de moldagem e cura

O procedimento de moldagem foi realizado conforme COSTA *et al.* (2018). A mistura de concreto permeável foi preparada em uma betoneira convencional, com capacidade de 120 litros. O agregado graúdo com uma pequena quantidade de água foi adicionado primeiramente, para que sua superfície se mantenha úmida no intuito de garantir maior aderência entre a pasta e o agregado. Então, depois de uma rápida mistura destes materiais, o total de cimento e o restante da água foi lentamente adicionado, por último foi adicionado o aditivo. Depois disso, o concreto permeável foi misturado por aproximadamente 5 minutos. Após esse tempo de mistura, foi realizada uma análise visual para observar se os agregados estavam envoltos na argamassa de concreto e se este apresentava um aspecto brilhoso.

Outra verificação feita, conforme realizado por BATEZINI (2013), foi um teste que consiste em pegar uma porção de concreto e apertar com as mãos observando se há aglomeração das partículas. Este pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 12 – Teste visual da mistura



Fonte: Próprio autor

Foram moldados 9 corpos de prova de pavers com dimensões 10x8x20 cm (largura x altura x comprimento), e 3 corpos de prova cilíndricos de 10x10 cm (diâmetro x altura) para cada proporção de mistura. A compactação de ambos (pavers e dos corpos de prova cilíndricos) foi feita com o uso do Proctor, em 20 golpes (divididos em duas camadas de 10 golpes) para os pavers, conforme mostra a Figura 13, e 10 golpes para os corpos de prova cilíndricos, também dividido em duas camadas. Houve a tentativa de controle da densidade de cada amostra conforme o valor projetado, a fim de atingir a porosidade estimada, porém sem alteração do número de golpes. Em seguida, foram numerados para fácil identificação posterior. Os corpos de prova foram desmoldados depois de 48 horas, para que eles possam adquirir resistência, devido a fragilidade desse tipo de concreto. Após a desmoldagem, as amostras permaneceram em cura ambiente, conforme recomendado por Schwetz (2014), durante 28 dias.

Figura 13 – Compactação paver



Fonte: Próprio autor

3.2.3 Ensaio de porosidade

A porosidade foi determinada de acordo com a norma ASTM C1754 (2012). Para o ensaio de porosidade foram utilizados os próprios pavers com dimensões 10x8x20 cm, moldados conforme descritos no item 3.2.2, o ensaio foi realizado aos 15 dias antes do rompimento do corpo de prova. O ensaio foi realizado da seguinte forma, primeiro pesou-se suas massas secas individualmente, após isso, as amostras foram submersas em banho-maria por um tempo de aproximadamente 30 minutos. Após os 30 minutos as amostras submersas foram pesadas com balança hidrostática, e então a porosidade foi determinada de acordo com a equação 1:

$$Porosidade (\%) = \left[1 - \left(\frac{M_d - M_s}{\rho_w \times V} \right) \right] \times 100 \quad (1)$$

Onde:

M_d = massa seca do corpo-de-prova (g);

M_s = massa submersa do corpo-de-prova (g);

ρ_w = densidade da água (g/cm³);

V = volume da amostra (cm³).

Nas Figuras 14 e 15 podem ser observados os procedimentos para obtenção da massa seca e submersa das amostras.

Figura 14 – Procedimento para obtenção da massa seca



Fonte: Próprio autor

Figura 15 – Procedimento para obtenção da massa submersa



Fonte: Próprio autor

3.2.4 Ensaio de infiltração

Para a determinação da taxa de infiltração foram realizados ensaios descritos pela norma ASTM C1701 (2009). Para o ensaio de infiltração foi confeccionada uma placa de pavers intertravados, sem material de rejuntamento, com dimensões 0,60 m x 0,50 m, conforme ilustrado na Figura 16. Para a realização do ensaio foi colocado um anel plástico de 300 mm de diâmetro e uma altura de 50 mm no centro da placa para medir a taxa de infiltração de água no concreto permeável. Este ensaio foi realizado com a idade 15 dias. O anel teve sua borda interior fixada na superfície da placa de concreto permeável com uma massa de encanador. Em seguida foi realizado um teste de pré-acondicionamento com 3,60 kg de água, colocados no anel, e então foi registrado o tempo a partir do momento em que a água impactou a superfície do concreto permeável até o momento em que a água não estava mais presente na superfície. A quantidade de água utilizada no ensaio foi determinada a partir do tempo em decorrido no pré-ajuste, para tempo inferior a 30s, foi utilizado um total de 18 kg de água no teste, caso esse tempo fosse superior ou igual a 30s, seria usado um total de 3,6 kg de água. Esse teste foi realizado 3 vezes para obter um tempo médio para determinar a taxa de infiltração. A taxa de infiltração (I) foi determinada de acordo com a equação 2:

$$I \text{ (mm/h)} = \frac{K \times M}{D^2 \times t} \quad (2)$$

Onde:

K = fator necessário para converter os dados registrados, com um valor de 4583666000 em unidades SI;

M = massa de água infiltrada (kg);

D = diâmetro de infiltração (mm);

t = tempo registrado relacionado a infiltração de água (s).

Figura 16 – Placa de intertravamento



Fonte: Próprio autor

3.2.5 Ensaio de resistência à compressão

Para a determinação da resistência a compressão foram realizados ensaios descritos pela norma brasileira NBR 9781 (2013). Antes da realização do ensaio foi necessário fazer a medição das dimensões dos corpos e prova, com o auxílio de um paquímetro. As peças foram dispostas sobre as placas auxiliares de ensaio, com a face superior em contato com a placa auxiliar superior. A máquina de ensaio a compressão exerceu uma carga contínua, com velocidade de 550kPa/s, com variação de mais ou menos 200 kPa/s. O carregamento prosseguiu até ruptura completa da peça.

A resistência à compressão da peça, expressa em megapascal (MPa), foi obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em newtons (N), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm²), multiplicando-se o resultado pelo fator p , valor tabelado que é em função da altura da peça, conforme Tabela 6.

Tabela 7 – Fator multiplicativo p

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

Fonte: NBR 9781 (2013)

Para a determinação da resistência à compressão estimada, será utilizada a equação 3.

$$f_{pk,est} = f_p - t * s \quad (3)$$

Onde:

$f_{ck,est}$ = resistência característica estimada à compressão (MPa);

f_p = resistência média das peças (MPa);

t = coeficiente de Student, conforme Tabela 7;

s = desvio padrão de população, calculado pela fórmula.

Sendo,

$$s = \sqrt{\frac{\sum(f_p - f_{pi})^2}{n - 1}}$$

Onde:

f_{pi} = resistência individual das peças (MPa);

n = número de amostras.

Tabela 8 – Coeficiente de Student (nível de confiança de 80%)

n	t
6	0,92
7	0,906
8	0,896
9	0,889
10	0,883
12	0,876
14	0,87
16	0,866
18	0,863
20	0,861
22	0,859
24	0,858
26	0,856
28	0,855
30	0,854
32	0,842

Fonte: NBR 9781 (2013)

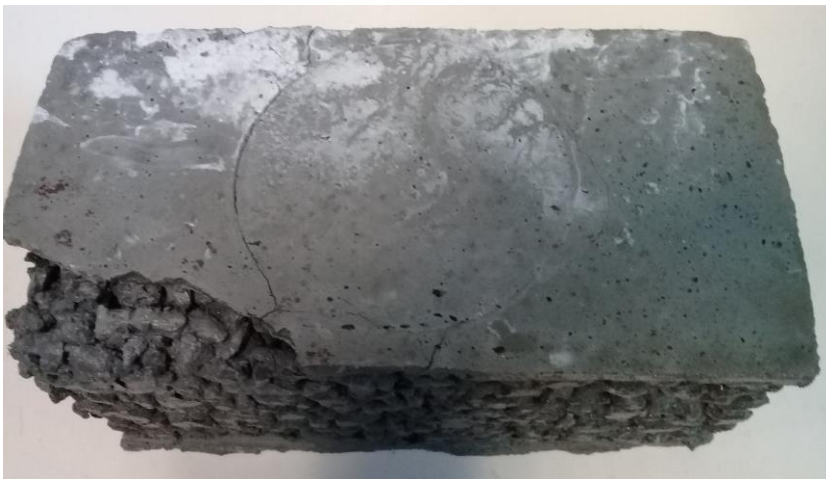
Nas Figuras 17 e 18 é possível visualizar a máquina que realiza o ensaio de resistência à compressão e as fissuras observadas após a ruptura dos pavers.

Figura 17 – Ensaio de compressão



Fonte: Próprio autor

Figura 18 – Corpo de prova após ensaio



Fonte: Próprio autor

3.2.6 Ensaio de abrasão

O ensaio de abrasão foi realizado de acordo com a norma ASTM C1747 (2013). Este ensaio foi iniciado com a pesagem de três corpos de prova. Logo após a pesagem, os corpos de prova foram colocados na máquina de abrasão Los Angeles (Figura 19). Esta máquina consiste em um tambor de aço que pode ser rotacionado. Para este ensaio não foram utilizadas as esferas de aço como abrasivos.

A norma recomenda que o tambor deve ser rotacionada a uma velocidade de 30 a 33 rotações por minuto. Para obter um resultado mais detalhado, foram realizadas 5 medições a cada 100 rotações, até completar 500 rotações. Após cada medição, os corpos de prova foram retirados da máquina e suas massas determinadas. A perda por abrasão foi determinada a partir dos resultados das pesagens inicial e final do material (Figuras 20 e 21), e então, foi calculada a perda de massa do material em porcentagem.

Figura 19 – Máquina de abrasão Los Angeles.



Fonte: Próprio autor

Figura 20 – Corpos de prova antes do ensaio.



Fonte: Próprio autor

Figura 21 – Corpo de prova após o ensaio.



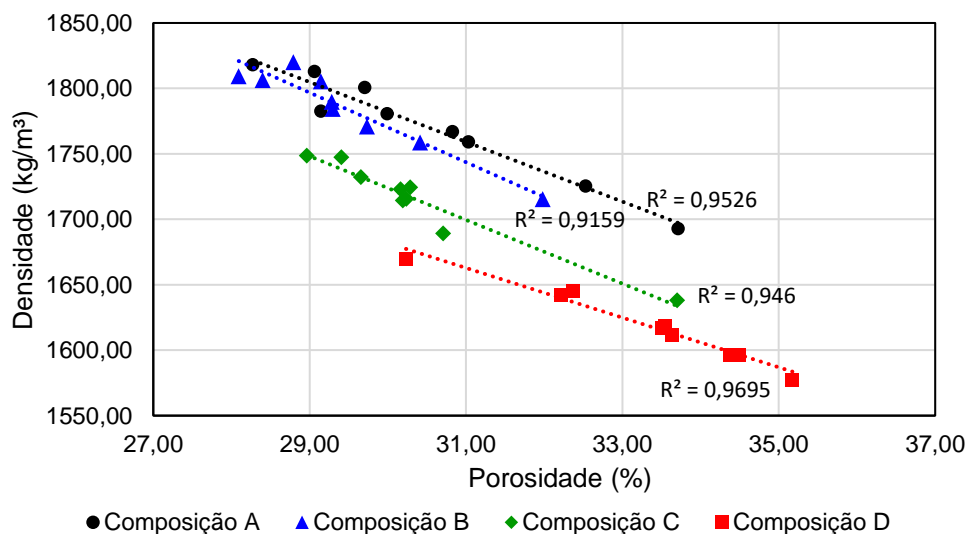
Fonte: Próprio autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Densidade x porosidade

Na Figura 22 e na Tabela 9 é apresentada a variação da porosidade em função da densidade para todos os resultados obtidos nesta pesquisa. Pode-se observar que com a diminuição da densidade a porosidade tende a aumentar, sendo satisfatório o valor do coeficiente de correlação (R^2) encontrado. Nota-se que a porosidade das amostras foi maior que a porosidade projetada de 25%. Este fato se deve à dificuldade de controle da densidade projetada. Durante a moldagem dos corpos de prova, o número de golpes estipulados utilizando o Proctor não foi suficiente para o atingimento da densidade, justificada pela dificuldade de homogeneização dos golpes nas camadas. Além disso, devido a provável quebra dos agregados gerada durante a compactação, optou-se pela não alteração do número de golpes para as amostras. Ressalta-se, portanto, a importância de verificação de um método adequado para compactação de pavers. Para a mistura contendo 50% de RC, a porosidade foi ainda maior, provavelmente devido à difícil acomodação da mistura na fôrma. Durante a moldagem, notou-se que a substituição do agregado convencional por 50% deixou a mistura de concreto permeável menos trabalhável. Este fato pode ser atribuído à maior rugosidade do agregado reciclado. Na pesquisa realizada por Dong *et al.* (2013), os resultados para o ensaio de porosidade foram de 20 a 30%, estes resultados foram obtidos para um concreto com o traço 1:4,5 e relação água cimento 0,35.

Figura 22 – Densidade x porosidade



Fonte: Próprio autor

Tabela 9 – Valores de densidade e porosidade das composições analisadas

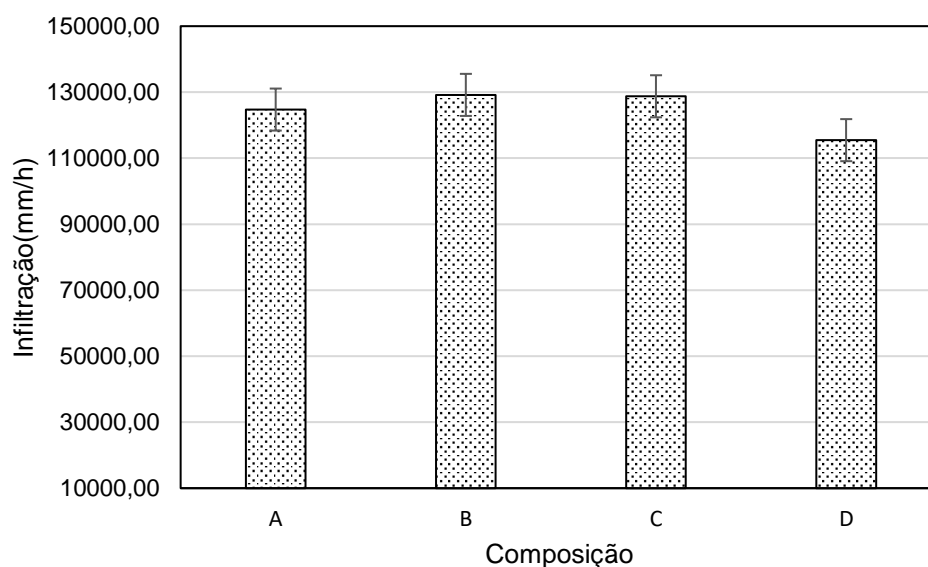
Composição A		Composição B		Composição C		Composição D	
Porosidade (%)	Densidade (kg/m ³)	Porosidade (%)	Densidade (kg/m ³)	Porosidade (%)	Densidade (kg/m ³)	Porosidade (%)	Densidade (kg/m ³)
28,27	1818,13	28,09	1809,34	28,96	1748,70	32,22	1642,22
29,99	1780,85	29,73	1770,90	29,66	1732,43	30,23	1669,75
29,15	1782,85	29,30	1784,37	30,71	1689,39	35,17	1577,22
30,82	1767,07	28,40	1806,57	33,70	1638,15	34,50	1596,72
31,03	1759,32	29,28	1789,72	29,41	1747,48	33,54	1618,60
32,53	1725,43	29,15	1805,47	30,16	1722,96	32,37	1645,02
29,70	1800,81	31,98	1715,55	30,29	1724,64	34,38	1596,47
29,06	1813,06	28,79	1820,05	30,19	1714,47	33,51	1617,45
33,71	1692,88	30,41	1758,79	30,24	1715,67	33,63	1611,84

Fonte: Próprio Autor

4.2 Taxa de infiltração

A taxa de infiltração foi medida na placa de pavers intertravados, conforme descrito no item 3.2.4. Os valores de taxa de infiltração obtidos nos ensaios podem ser visualizados na Figura 23 e na Tabela 10. Pode-se visualizar que os valores encontrados são muito elevados, sendo superiores à capacidade de infiltração da maioria dos solos. Mediu-se o grau de dispersão da taxa de infiltração das composições analisadas através do desvio padrão, uma medida que avalia o grau de dispersão de um conjunto de dados em que quanto menor for o desvio padrão, mais uniforme será o conjunto de dados, como pode-se observar na Figura 23.

Figura 23 – Taxa de infiltração



Fonte: Próprio autor

Tabela 10 – Infiltração

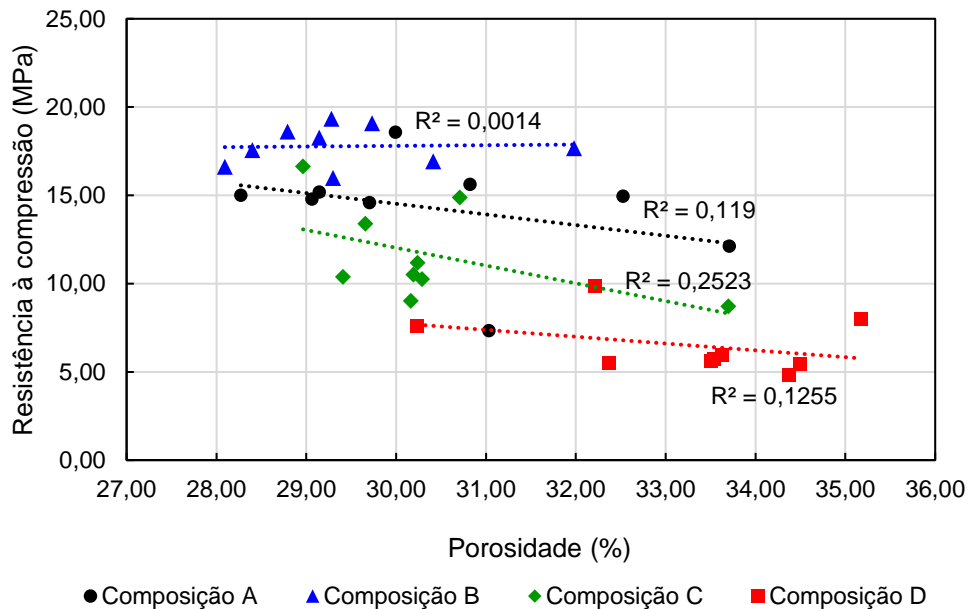
Composição	Infiltração (mm/h)
A	124725,60
B	129177,99
C	128754,66
D	115457,58

Fonte: Próprio autor

4.3 Resistência à compressão x porosidade

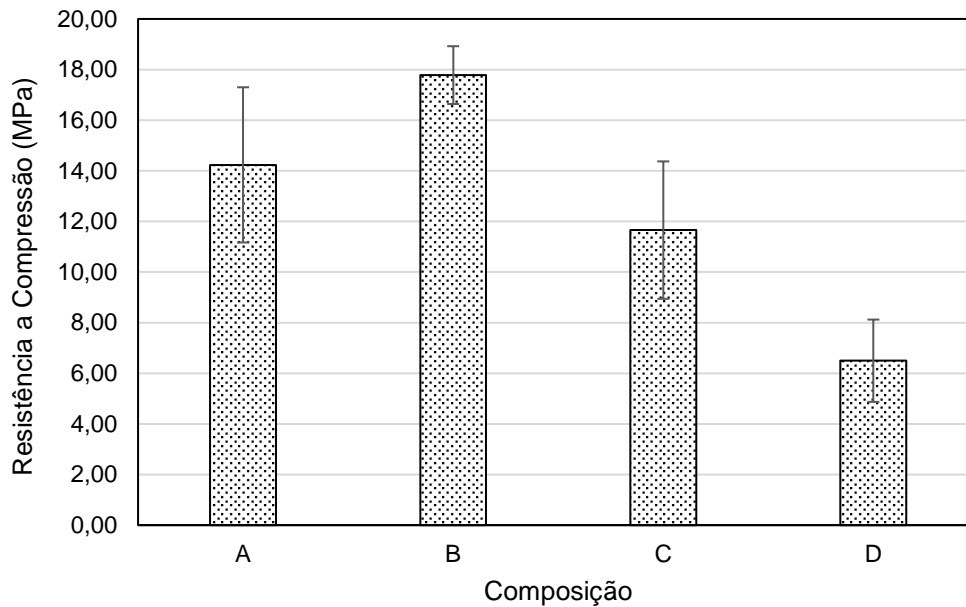
Na Figura 24 e Tabela 11 é mostrada a resistência à compressão em função dos índices de vazios para cada corpo de prova referente às composições ensaiadas nesta pesquisa. Os valores de resistência característica estimada à compressão, determinados conforme NBR 9781 (2013), estão dispostos na Tabela 12. Mediu-se o grau de dispersão da resistência à compressão das composições analisadas através do desvio padrão, uma medida que avalia o grau de dispersão de um conjunto de dados em que quanto maior for o desvio padrão, menos uniforme será o conjunto de dados, como pode-se observar na Figura 25.

Figura 24 – Resistência à compressão x porosidade



Fonte: Próprio autor

Figura 25 – Resistência à compressão



Fonte: Próprio autor

Tabela 11 – Valores de resistência à compressão e porosidade

Composição A		Composição B		Composição C		Composição D	
Porosidade (%)	Tensão de Ruptura (Mpa)	Porosidade (%)	Tensão de Ruptura (Mpa)	Porosidade (%)	Tensão de Ruptura (Mpa)	Porosidade (%)	Tensão de Ruptura (Mpa)
28,27	14,99	28,09	16,62	28,96	16,63	32,22	9,86
29,99	18,57	29,73	19,09	29,66	13,39	30,23	7,57
29,15	15,17	29,30	15,97	30,71	14,87	35,17	7,97
30,82	15,62	28,40	17,55	33,70	8,71	34,50	5,44
31,03	7,33	29,28	19,32	29,41	10,38	33,54	5,70
32,53	14,94	29,15	18,27	30,16	9,01	32,37	5,51
29,70	14,58	31,98	17,67	30,29	10,24	34,38	4,83
29,06	14,79	28,79	18,61	30,19	10,50	33,51	5,62
33,71	12,12	30,41	16,92	30,24	11,18	33,63	5,97

Fonte: Próprio Autor

Tabela 12 - Resistência característica estimada à compressão

Composição	Resistência Característica Estimada à Compressão (MPa)
A	11,51
B	16,77
C	9,24
D	5,05

Fonte: Próprio Autor

A adição de agregado reciclado no concreto permeável resultou em uma melhoria da resistência. No trabalho realizado por Zaetang *et al.* (2016), obteve-se resistências à compressão sem variações significativas para porcentagens até 40% de substituição do agregado convencional por resíduo de concreto. É possível que o agregado reciclado, por ser um material mais rugoso que o agregado convencional, tenha contribuído para a resistência devido à maior aderência entre a pasta e o agregado. Entretanto trata-se de um material considerado mais frágil que o agregado convencional, por este motivo é esperado que, ao aumentar o teor de agregado reciclado na mistura do concreto ocorra a diminuição da resistência, uma vez que com altas concentrações de agregado reciclado a rugosidade deixa de ser um fator preponderante para a resistência e sim a fragilidade dos agregados. Além disso, na mistura de 50% é possível que a resistência tenha diminuído também pelo aumento da porosidade da mistura em relação aos demais. Observa-se que com o aumento da resistência a porosidade tende a diminuir, porém não foi satisfatório o valor do coeficiente de correlação (R^2) encontrado. Provavelmente está discrepância nos valores se deve à ocorrência de diferentes concentrações de tensões geradas devido a superfície irregular dos corpos de prova. O valor-P obtido na análise de variância (ANOVA) foi utilizado neste experimento buscando a verificação de diferenças significativas entre os resultados dos ensaios de resistência à compressão e porosidade, conforme mostra a Tabela 13. Valores menores que 0,05 (nível de significância adotado) indicam diferenças estatísticas significativas. Os dados obtidos permitem considerar que há diferença significativa entre todos resultados de resistência à compressão. No entanto, referente à porosidade, a diferença foi significativa apenas quando comparado à mistura de 50%. Portanto não há diferença significativa na porosidade entre as misturas de 0%, 15% e 30%. Tais resultados confirmam as hipóteses levantadas no parágrafo anterior.

Tabela 13 - Valor-P para resistência à compressão e porosidade respectivamente

Composições Avaliadas	valor-P	valor-P
A - B	0,0078	0,1352
A - C	0,0403	0,7884
A - D	1,14E-05	0,0048
B - C	1,10E-06	0,1607
B - D	4,56E-12	6,18E-05
C - D	3,87E-05	0,0013

Fonte: Próprio autor

4.4 Abrasão Los Angeles

Na Figura 26 pode ser visualizada a perda de massa por abrasão, onde foram analisados 3 corpos de prova para cada composição estudada nesta pesquisa. Os resultados foram calculados conforme descrito no item 3.2.6, mostrando que a perda de massa por abrasão superficial do concreto permeável com o uso de 15% de RC diminuiu em relação a 0%. É possível que esse aumento seja resultante do aumento da ligação entre o agregado reciclado e a pasta de cimento. Entretanto, quando a proporção de agregado reciclado foi aumentada, a fragilidade do RC se tornou um fator dominante e a perda de massa por abrasão aumentou. Na Tabela 14 estão dispostos os valores médios e desvio padrão de cada composição analisada. A Tabela 15 mostra os resultados de análise de variância (ANOVA) da resistência à abrasão indicando que apenas as composições com 50% de RC obtiveram diferenças estatísticas significativas. Costa (2015), encontrou para a mistura de concreto estrutural a perda de massa após 500 rotações foi de 35% e 10% para o concreto para pavimento.

Tabela 14 – Perda por abrasão Los Angeles

Composição	Métodos Estatísticos	Inicial	100 rotações	200 rotações	300 rotações	400 rotações	500 rotações
A	Peso Médio (g)	1537,47	1234,70	1090,23	953,20	867,70	792,00
	Desvio Padrão	8,20	40,01	53,22	49,72	59,74	49,17
B	Peso Médio (g)	1531,57	1270,07	1147,37	1058,13	972,63	883,50
	Desvio Padrão	5,71	60,27	56,10	62,10	84,60	92,04
C	Peso Médio (g)	1537,90	1166,47	988,83	851,90	742,17	640,60
	Desvio Padrão	6,77	26,52	85,70	97,83	114,33	100,21
D	Peso Médio (g)	1528,17	764,47	523,03	362,27	251,43	166,67
	Desvio Padrão	10,52	42,93	62,70	39,86	6,82	22,37

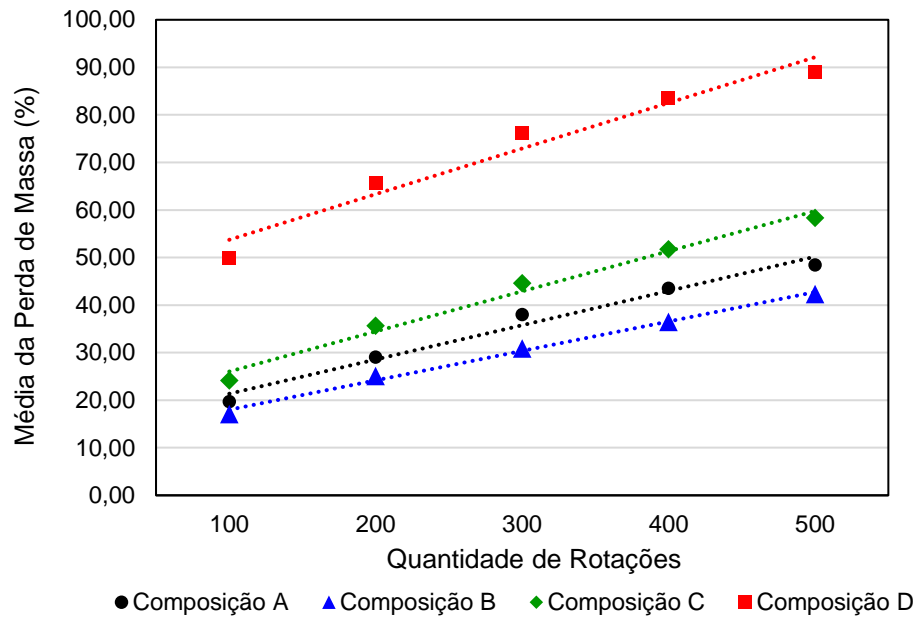
Fonte: Próprio autor

Tabela 15 – Abrasão Los Angeles

Composições Avaliadas	valor-P
A - B	0,5556
A - C	0,2976
A - D	0,0069
B - C	0,1994
B - D	0,0014
C - D	0,0428

Fonte: Próprio autor

Figura 26 – Abrasão Los Angeles



Fonte: Próprio autor

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta pesquisa teve como objetivo analisar o uso de agregado reciclado de concreto na confecção de pavers de concreto permeável, comparado ao uso de agregado convencional, visando sua utilização em vias para tráfego de pedestre e passagem de veículos leves. Com base nos resultados pode-se concluir que:

- O uso de RC resultou em uma melhoria significativa da resistência à compressão do concreto permeável para a substituição de 15%, no qual obteve-se um aumento de resistência à compressão de 28% comparado ao concreto permeável sem agregado reciclado. Esta melhoria, provavelmente, resulta da melhor aderência entre o agregado e a pasta.
- A resistência à compressão e a perda de massa por abrasão foram significativamente comprometidas para a substituição de 50% devido ao aumento da quantidade de agregado reciclado. Neste caso a fragilidade do mesmo foi dominante quando comprado ao convencional.
- Foi observado que a taxa de infiltração para as composições estudadas possui uma boa drenabilidade. Nota-se a possibilidade de incluir certa quantidade de agregado miúdo, favorecendo o aumento da resistência e mantendo a uma boa condutividade hidráulica, compatível com as utilizadas.
- Os resultados mostram que o uso do RC até 30% poderia ser utilizado sem prejudicar as propriedades hidráulicas e resistência à compressão do concreto permeável.

No decorrer deste trabalho surgiram novas hipóteses de melhoria das características do material estudado, que ficam como sugestões para trabalhos futuros:

- Estudar métodos de compactação para este tipo de corpo de prova a fim de que se obtenha a densidade e porosidade projetadas.
- Verificar o uso de uma pequena quantidade de agregado miúdo, pois este pode aumentar a resistência à compressão do paver.
- Verificar a possibilidade de utilização de resíduo de cerâmica juntamente com os resíduos de concreto na confecção de pavers.
- Montagem de um estacionamento experimental para verificar o comportamento do paver de concreto permeável quando em situação real.

REFERÊNCIAS

ACI COMMITTEE 522. **Pervious Concrete** (ACI 522R-10). Farmington Hills: American Concrete Institute, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C1754 / C1754M-12, **Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C1747 / C1747M-13, **Standard Test Method for Determining Potential Resistance to Degradation of Pervious Concrete by Impact and Abrasion**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C1701 / C1701M-09, **Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR NM 248 – **Agregados – Determinação da Composição Granulométrica**, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR NM 53 – **Agregado Graúdo – Determinação de Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água**, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 15116 – **Agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos**, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7211 – **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – NBR 9781 – **Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio**. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO - ABRECON. Disponível em: <http://www.abrecon.org.br/> >. Acesso em 18 outubro 2018.

BATEZINI, R. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2013.

CIOCCHI, L., **Reciclagem de Concreto**. 2003. Disponível em: <http://piniweb17.pini.com.br/construcao/noticias/reciclagem-de-concreto-80112-1.aspx>. Acesso em 03 novembro 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), Ministério do Meio Ambiente – **RESOLUÇÃO Nº 307 de 05 de julho de 2002** – Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

COSTA, F.B.P. **Análise da Durabilidade de Compósitos Cimentícios de Elevada Capacidade de Deformação Reforçados com Fibra**. 2015. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFRS, Porto Alegre.

COSTA, F.B.P.; LORENZI, A.; HASELBACH, L.; SILVA FILHO, L. C. P. **Best Practices for Pervious Concrete Mix Design and Laboratory Tests**. In: Congresso Brasileiro de Concreto. 2018. IBRACON 2018.

DAKWALE, V. A.; RALEGAONKAR, R. V., **Development of Sustainable Construction Material Using Construction and Demolition Waste**. Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, Vol. 21, India. 2014, pp. 451-457.

DONG, Q.; WU H.; HUANG B.; SHU X. WANG K., **Investigation into Laboratory Abrasion Test Methods for Pervious Concrete**. Journal of materials in civil engineering, 2013, pp. 886-892.

EICH, J. K.; SILVA, J. C.; LEITE, L. G. **Estudo de Traço de Pavimento Intertravado de Concreto Permeável**. 2016. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil, UFP, Curitiba.

FARIA, P. M. B., **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil – Estudo de caso na construção e montagem de uma linha de transmissão de energia elétrica**. 2011. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UERJ, Rio de Janeiro.

FERGUSON, B. K. **Porous Pavements in North America: Experience and Importance**. 7^{ème} Conférence internationale sur les techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie (NOVATECH), 2010, University of Georgia, Athens, GA. p. 1-6.

FERGUSON, B. K. **Porous Pavements: The Making of Progress in Technology and Design**. 8th International Conference on Concrete Block Paving, November 6-8, 2006, San Francisco, California USA. p. 11-16.

FERNANDEZ, J. A. B. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Brasília: Ipea, 2012. (Relatório de Pesquisa).

GONÇALVES, A. B.; OLIVEIRA, R. H., **Pavimento Permeáveis e sua Influência Sobre a Drenagem**. 2014. Seminário. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – PH, USP. p. 10.

GONÇALVES, M. S., **Análise da Viabilidade Técnica de Utilização de Resíduos de Concreto Oriundos da Pré-Fabricação como Agregado Graúdo para a Produção de Novos Concretos**. 2011. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UNISINOS, São Leopoldo.

HALLACK, A. **Dimensionamento de Pavimentos com Revestimento de Peças Pré-Moldadas de Concreto para Áreas Portuárias e Industriais**. 1998. Programa de Pós-Graduação em Engenharia, USP. São Paulo, 116 pp.

HENDERSON, V. **Evaluation of the Performance of Pervious Concrete Pavement in the Canadian Climate**. [dissertação]. Waterloo, Ontário, Canadá. University of Waterloo; 2012. p. 292.

HOLTZ, F. C. **Uso do concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental**. 2011. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

INOJOSA F. C. **Gestão de Resíduos de Construção e Demolição: a Resolução CONAMA 307/2002 no Distrito Federal**. Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável. 2010.

KARPINSKI, L. A.; PANDOLFO, A.; REINEHER, R.; GUIMARÃES, J. C. B.; PANDOLFO L. M.; KUREK, J., **Gestão Diferenciada de Resíduos da Construção Civil: Uma Abordagem Diferenciada**. Porto Alegre. Edipucrs. 2009. PUCRS. p. 163.

KUANG, X.; KIM, J.; GNECCO, I.; RAJE, S.; GAROFALO, G.; SANSALONE, J. J., **Particle Separation and Hydrologic Control by Cementitious Permeable Pavement**. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Washington D. C., 2007, pp. 111-117. V. 2025.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O., **Pavimento Intertravado Permeável – Melhores Práticas**. 2011. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). p. 24.

MONTEIRO, A. C. N. **Concreto Poroso: Dosagem e Desempenho**. 2010. Programa de Graduação em Engenharia Civil – UFG, Goiás.

MORAND, F. G., **Estudo das Principais Aplicações de Resíduos de Obra como Materiais de Construção**. 2016. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil, UFRJ, Rio de Janeiro.

NEITHALATH, N., **Development and Characterization of Acoustically Efficient Cementitious Materials**. [dissertação]. Purdue University. West Lafayette, Estados Unidos. 2004. p. 270.

NEITHALATH, N.; SUMANASOORIYA, M.; DEO, O., **Characterizing pore Volume, Sizes, and Connectivity in Pervious Concretes for Permeability Prediction.** ScienceDirect, n.61, 2010. p. 802-813.

OLIVEIRA, D. D.; PIRES, D. M.; SOARES, F. D. N.; BRESSAM, G. S. C.; DESSUY, T. Y.; KRUG, L. F., **Análise da Influência do RCD na Resistência Mecânica de Concretos Permeáveis.** 2017. Ijuí. XXII Jornada de Pesquisa. Unijuí.

OSPINA, C. M. M.; ERAZO, C. H. B. **Resistencia Mecánica y Condiciones de Obra del Concreto Poroso en los Pavimentos Según el Tipo de Granulometría.** Universidade de Medellín, Facultad de Ingenierías, Programa Ingeniería Civil, Medellín, 2007.

PIERALISI, R.; CAVALARO, S. H. P.; AGUADO, A.; PÉREZ I. S., **Concreto Drenante e a Sustentabilidade.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 77., 2015. São Paulo. IBRACON 2015. p. 98-104.

PINTO, T. P. **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** São Paulo, 1999. p. 203. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SCHWETZ, P.F. **Consolidação da Tecnologia, Apoio à Formulação da Normalização e Desenvolvimento de Pisos e Elementos Drenantes de Concreto Permeável.** 2013. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

SCHWETZ, P. F.; SILVA FILHO, L. C. P. ; LORENZI, A.; FERREIRA, L. Z. **Concreto Permeável: Otimização do Traço para Pavimentação de Fluxo Leve.** XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção, Lisboa/POR. 2015.

SENÇO, W., **Manual de Técnicas de Pavimentação.** 2ª edição. São Paula. Editora Pini, 2008. Volume 1.

SMITH, D. R., **Permeable Interlocking Concrete Pavements**. Interlocking Concrete Pavement Institute, Washington, DC, Third Edition. 2006.

TENNIS, P. D.; Leming, M. L.; and Akers, David, J. **Pervious Concrete Pavements**, EB302.02, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, USA, 2004.

ULSEN, C., **Caracterização Tecnológica de Resíduos de Construção e Demolição**. 2006. Programa de Pós-Graduação em Engenharia. USP. São Paulo.

VIDAL, A. S., **Caracterização de Concreto Permeável Produzido com Agregados Reciclados de Construção e Demolição para Utilização em Pavimentação Permeável em Ambiente Urbano**. 2014. Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro.

VIRGILIIS, A. L. C., **Procedimentos de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis Visando Retenção e Amortecimento de Picos de Cheias**. 2009. Programa de Pós-Graduação em Engenharia. USP. São Paula.

ZAETANG, Y.; SATA V.; WONGSA A.; CHINDAPRASIRT P. **Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate**, Construction and Building Materials, Volume 111, 2016, Pages 15-21.

ZORDAN, S. E., **A Utilização do Entulho como Agregado, na Confecção do Concreto**. 1997. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UNICAMP. Campinas.