

Universidade Brasil
Campus Fernandópolis

EDSON FABIO PAVIANI

**ESTUDO PARA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO
E DEMOLIÇÃO EM ELEMENTO PERMEÁVEL INTERTRAVADO**

**STUDY FOR INCORPORATION OF CONSTRUCTION WASTE
AND DEMOLITION IN INTERLOCKING PERMEABLE ELEMENT**

Fernandópolis, SP
2020

Edson Fabio Paviani

**ESTUDO PARA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO EM ELEMENTO PERMEÁVEL INTERTRAVADO**

Orientador: Prof. Dr. Evandro Roberto Tagliaferro

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais da Universidade Brasil, como complementação dos
créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências
Ambientais.

Fernandópolis, SP

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

P11e Paviani, Edson Fabio.
Estudo para Incorporação de Resíduos de Construção e Demolição em Elemento Permeável intertravado/ Edson Fábio Paviani.
São Paulo – SP: [s.n.], 2019.
63 p.: il.; 29,5cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Roberto Tagliaferro.

1.Pavimento Permeável. 2.Drenagem Urbana.
3.Impermeabilização do Solo. 4.Sustentabilidade. I. Título.

CDD 363.728



Termo de Autorização

Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página WWW do Respetivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da CAPES

Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site <http://www.universidadebrasil.edu.br>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

Título do Trabalho: **“ESTUDO PARA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM ELEMENTO PERMEÁVEL INTERTRAVADO”**

Autor(es):

Discente: Edson Fabio Paviani

Assinatura: _____

Orientador: Evandro Roberto Tagliaferro

Assinatura: _____

Data: 18/fevereiro/2020





TERMO DE APROVAÇÃO

EDSON FABIO PAVIANI

**“ESTUDO PARA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO EM ELEMENTO PERMEÁVEL INTERTRAVADO”**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:


Prof(a). Dr(a) Evandro Roberto Tagliaferro (Presidente)

Brasil)


Prof(a). Dr(a) Juliana Heloisa Pinê Américo Pinheiro (Universidade
Prof(a). Dr(a) Marcelo Jacomini Moreira da Silva (FAMA)

Fernandópolis, 18 de fevereiro de 2020.



DEDICATÓRIA

À minha família que sempre me apoiou nos momentos felizes e principalmente nos momentos tristes. Obrigado pela paciência, pelo incentivo, pela força e principalmente pelo carinho. Valeu a pena todas as renúncias e dedico a vocês mais esta conquista.

AGRADECIMENTOS

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Brasil, que foram fundamentais na minha vida acadêmica. Em especial agradeço ao professor Dr. Evandro Roberto Tagliaferro, suas orientações foram muito importantes para desenvolvimento deste estudo.

ESTUDO PARA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM ELEMENTO PERMEÁVEL INTERTRAVADO

RESUMO

Trata-se de estudo sobre incorporação de resíduos de construção e demolição para produção de peças de concreto permeável para pavimentação de áreas urbanas com tráfego de pedestres e de veículos leve, visando resolver dois dos maiores problemas da sociedade moderna: (a) a destinação inadequada dos resíduos sólidos e (b) a impermeabilização do solo em áreas urbanas. Para isso foram produzidas peças de concreto permeável com substituição parcial do agregado graúdo natural por agregado reciclado nas porcentagens de 20, 40, 60 e 80%. Ao longo do estudo foram modificadas as dosagens e granulometria dos agregados para encontrar o traço perfeito que atendesse o objetivo final. Em laboratório os ensaios se dividiram em analisar a viabilidade mecânica e hidráulica das peças produzidas com agregado reciclado comparando com peça produzida com agregado natural. Para analisar a resistência mecânica foram realizados ensaios de resistência à compressão utilizando prensa hidráulica. Para analisar a permeabilidade hidráulica foi utilizado um permeâmetro de carga variável. Resultados preliminares da pesquisa indicaram que o uso de agregados de tamanho único poderia fornecer concreto com alta porosidade, mas não de resistência adequada, assim foi adicionado agregado miúdo no traço, com esta alteração houve melhora significativa na resistência mecânica e permeabilidade era apropriada. Foi possível constatar que somente o traço com 20% de substituição atendeu a referência normativa à resistência mecânica mínima, enquanto todos os traços atenderam à exigência mínima estipulada na norma regulamentadora vigente para o coeficiente de permeabilidade. Assim, a substituição de até 20% do agregado graúdo natural por agregado reciclado é viável por atender inclusive, aos parâmetros de resistência mecânica mínima de 20 MPa. O resultado demonstra a possibilidade de reaproveitamento desses resíduos, o que resulta, ainda, em vantagens de natureza econômica e ambiental.

Palavras-chave: Pavimento Permeável. Drenagem Urbana. Impermeabilização do Solo. Sustentabilidade.

STUDY FOR INCORPORATION OF CONSTRUCTION WASTE AND DEMOLITION IN INTERLOCKING PERMEABLE ELEMENT

ABSTRACT

This is a study on the incorporation of construction and demolition waste for the production of permeable concrete pieces for paving urban areas with pedestrian and light vehicle traffic, aiming to solve two of the biggest problems of modern society: (a) the inappropriate destination solid waste and (b) waterproofing the soil in urban areas. For this, permeable concrete pieces were produced with partial replacement of the natural coarse aggregate by recycled aggregate in the percentages of 20, 40, 60 and 80%. Throughout the study, the dosages and granulometry of the aggregates were modified to find the perfect trace that met the final objective. In the laboratory, the tests were divided into analyzing the mechanical and hydraulic viability of the parts produced with recycled aggregate comparing with the part produced with natural aggregate. Compressive strength tests were performed to analyze the mechanical strength using a hydraulic press. To analyze the hydraulic permeability a variable load permeameter was used. Preliminary results of the research indicated that the use of single-sized aggregates could provide concrete with high porosity, but not of adequate strength, thus fine aggregate was added to the mix, with this change there was a significant improvement in mechanical strength and permeability was appropriate. It was possible to verify that only the line with 20% replacement met the normative reference to the minimum mechanical resistance, while all lines met the minimum requirement stipulated in the current regulatory standard for the permeability coefficient. Thus, replacing up to 20% of the natural coarse aggregate with recycled aggregate is feasible because it also meets the minimum mechanical strength parameters of 20 MPa. The result demonstrates the possibility of reusing these residues, which also results in advantages of an economic and environmental nature.

Keywords: Permeable Floor. Urban Drainage. Soil Waterproofing. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva granulométrica: agregado graúdo natural.....	37
Figura 2: Curva granulométrica: agregado graúdo reciclado.....	38
Figura 3: Curva granulométrica: agregado miúdo.....	40
Figura 4: Consistência do concreto permeável após processo mistura.....	43
Figura 5: Verificação visual do aspecto metálico do concreto.....	44
Figura 6: Corpos de prova.....	45
Figura 7: Permeâmetro de carga variável.....	46
Figura 8: Prensa Hidráulica.....	47
Figura 9: Corpos de prova capeados com argamassa no presente estudo.....	48
Figura 10: Condutividade Hidráulica Média.....	49
Figura 11: Resistência à compressão média.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: População brasileira por situação de domicílio de 1950 a 2010.....	18
Tabela 2: Composição dos resíduos de construção e demolição em cidades brasileiras.....	24
Tabela 3: Resíduos sólidos coletados no Brasil.....	25
Tabela 4: Relação entre densidade habitacional e área impermeável.....	27
Tabela 5: Reaproveitamento RCD.....	33
Tabela 6: Composição do traço para concreto permeável para o presente estudo (TR1)	36
Tabela 7: Composição do traço para concreto permeável para o presente estudo (TR2)	36
Tabela 8: Características do agregado graúdo natural utilizado no presente estudo.....	37
Tabela 9: Características do agregado graúdo reciclado utilizado no presente estudo.....	38
Tabela 10: Taxa de absorção água dos ARM.....	39
Tabela 11: Características do agregado miúdo utilizado no presente estudo.....	40
Tabela 12: Características mecânicas do cimento Portland CP V-ARI.....	41
Tabela 13: Composição dos traços com substituição do agregado natural por ARM.....	42
Tabela 14: Procedimento de mistura dos materiais na betoneira.....	43
Tabela 15: Condutividade hidráulica média.....	49
Tabela 16: Resistência à compressão: Traço referência com 0% de substituição de agregado de resíduos mistos – TR2.....	50
Tabela 17: Resistência à compressão: Traço com 20% de substituição de agregado de resíduos mistos – T20.....	50
Tabela 18: Resistência à compressão: Traço com 40% de substituição de agregado de resíduos mistos – T40.....	51
Tabela 19: Resistência à compressão: Traço com 60% de substituição de agregado de resíduos mistos – T60.....	51

Tabela 20: Resistência à compressão: Traço com 80% de substituição de agregado de resíduos mistos – T80.....	52
Tabela 21: Resistência à compressão x permeabilidade	53
Tabela 22: Peso específico médio	53

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAMAT - Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção
ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ARC - Agregados de Resíduos de Concreto
ARI - Alta Resistência Inicial
ARM - Agregados de Resíduos Mistos
CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CNUMAD – Conferência da Organização das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
CO2 - Dióxido de Carbono
CP - Cimento Portland
FEF - Fundação Educacional de Fernandópolis
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHEA - Instituto de Desenvolvimento da Habitação Ecológica
NBR - Norma Técnica
NBR NM - Norma Técnica Norma Mercosul
PEAMSS - Programa de Educação Ambiental e Mobilização Social em Saneamento
PIB - Produto Interno Bruto
PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RCD - Resíduos de Construção e Demolição
SINDUSCON - Sindicato da Indústria da Construção Civil
UNRIC – Centro Regional de Informação das Nações Unidas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Relevância do tema.....	16
1.2. Objetivo.....	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1. Urbanização.....	18
2.2. Impactos ambientais causados pela construção civil.....	19
2.3. Resíduos sólidos urbanos.....	21
2.4. Resíduos de construção e demolição (RCD).....	23
2.5. Drenagem urbana.....	26
2.6. Pavimento permeável.....	30
2.7. Sustentabilidade na construção civil.....	31
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.1. Tratamentos e variáveis avaliadas.....	35
3.1.1. Determinação do traço referência (0% de substituição)	35
3.2. Preparo das amostras.....	36
3.2.1. Materiais.....	36
3.2.1.1. Agregado graúdo.....	36
3.2.1.2. Agregado miúdo.....	39
3.2.1.3. Aglomerante: cimento Portland CP V-ARI.....	40
3.2.1.4. Água.....	41
3.2.1.5. Aditivo químico.....	41
3.2.2. Determinação dos traços.....	41
3.2.2.1. Processo de mistura.....	42
3.2.2.2. Moldagem dos corpos de prova.....	44
3.3. Ensaio técnicos.....	45
3.3.1. Ensaio de permeabilidade.....	45
3.3.2. Ensaio de resistência mecânica.....	47
4. RESULTADOS.....	49
5. DISCUSSÃO.....	54
6. CONCLUSÃO.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1. INTRODUÇÃO

Um dos temas mais recorrentes é o impacto do crescimento acelerado das cidades nos âmbitos político, econômico, ambiental e social. Segundo a Organização das Nações Unidas – ONU (2016), de 1950 a 2011 a população urbana teve um aumento de cinco vezes sendo 2007 o ano em que essa população superou a rural.

De acordo com o Centro Regional de Informação das Nações Unidas – UNRIC (2018), espera-se que até 2050 86% da população de países ricos e 67% da população dos países pobres estejam concentradas na área urbana. Esses números mostram que em média três quartos da população até 2050 residirão no meio urbano.

Essa urbanização intensa, desenfreada e mal planejada, principalmente nos países em desenvolvimento acarreta diversos problemas à população sendo o maior agravante a diminuição das áreas permeáveis, decorrente das construções e pavimentações, que altera a capacidade de infiltração das águas no solo modificando o comportamento do ciclo hidrológico (CHRISTOFOLETTI, 2002).

Outra consequência da urbanização desordenada é a destinação inadequada dos resíduos da construção civil que podem causar problemas de ordem estética, ambiental e até de saúde pública, devido à proliferação de insetos e outros vetores de doenças.

Assim para minimizar o efeito negativo decorrente da urbanização são necessárias novas práticas no gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil e da drenagem urbana.

A poluição causada pelos resíduos da construção civil vem sendo combatida a partir da publicação da resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 2002), que determina aos geradores de resíduos a responsabilidade pelo seu gerenciamento evitando assim o descarte desses resíduos na natureza ou no ambiente urbano. Porém, fica o questionamento sobre a aplicação deste resíduo após seu beneficiamento.

Os sistemas tradicionais de drenagem urbana são projetados para transportar rapidamente águas pluviais para áreas à jusante sem considerar o risco de inundações de outras áreas ou até mesmo a mitigação das causas das inundações. No entanto, com o conceito de desenvolvimento urbano sustentável surgiu como alternativa para gestão das águas urbanas técnicas que são capazes de aumentar a

capacidade local de interceptação, infiltração e evaporação de águas pluviais, e também aumentar armazenagem e retardar o escoamento superficial causado pela urbanização de forma a tornar o mais semelhante possível ao comportamento natural.

Estudando as várias técnicas compensatórias em drenagem urbana, o pavimento permeável surge como destaque, uma vez que reduz o volume de água referente ao escoamento superficial, melhora a qualidade de água infiltrada, contribui para recarga do lençol freático e apresenta excelente custo x benefício (COUTINHO, 2011).

A Norma Técnica NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos – ABNT (2015), define pavimento permeável como sendo o “pavimento que atende simultaneamente às solicitações de esforços mecânicos e condições de rolamento e cuja estrutura permite a percolação e/ou o acúmulo temporário de água, diminuindo o escoamento superficial sem causar dano à sua estrutura”.

Devido à falta de estudos que deem uma destinação correta aos resíduos reciclados da construção civil e para desenvolvimento urbano sustentável mostra-se relevante o estudo para substituir o agregado graúdo natural por agregado reciclado na produção de elemento permeável intertravado. Ressalta-se que a reciclagem dos resíduos é uma solução viável e eficiente porque, além de reduzir a quantidade de entulho e contribuir na preservação ambiental gera empregos e é fonte de renda.

Existem três tipos de pavimentos permeáveis: pavimento de concreto permeável, pavimento de concreto asfáltico poroso e pavimento de blocos de concreto intertravados permeável. Foi analisado na pesquisa o bloco de concreto intertravado permeável com dimensões: 20 cm x 10 cm x 8 cm (comprimento x largura x espessura) para tráfego de pedestres e tráfego de veículos leves.

1.1.Relevância do tema

A indústria da construção civil tem participação no crescimento econômico brasileiro, pois além de gerar emprego e renda para a população, contribui significativamente para o Produto Interno Bruto (PIB) alavancando diversos negócios na cadeia produtiva devido ao seu poder de encadeamento. Em contrapartida, é o setor que mais consome recursos naturais não renováveis e o maior gerador de resíduos sólidos

urbanos. De acordo com o documento elaborado pela Associação das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2017), a massa total de resíduos coletada no Brasil chegou a 45 milhões de toneladas ano em 2015, com os resíduos da construção civil correspondendo a uma fração de 38,30% da massa total. Em 2017 foi coletado 78,4 milhões de toneladas com os resíduos representando 57,40% do total geral, correspondendo a um aumento na geração de resíduos da construção da ordem de 74,22%.

Baseado nestes dados faz-se necessária a implantação de novas tecnologias no manejo ambientalmente adequado dos resíduos a fim de reduzir os impactos negativos da atividade.

Além dos problemas causados pelos resíduos da construção civil existem os problemas causados pela impermeabilização do solo urbano, segundo Marchioni e Silva (2011), em uma área com cobertura florestal 95% da água precipitada se infiltra no solo enquanto nas áreas urbanas este percentual cai para apenas 5%, provocando elevado volume de escoamento superficial e por consequência enchentes cada vez mais frequentes nas cidades brasileiras.

Justamente por esses motivos que a busca por alternativas que consigam conciliar soluções viáveis com as questões ambientais se torna cada vez mais importantes.

Nesse contexto o pavimento permeável se mostra viável, uma vez que pode ser utilizado como pavimento para pedestres e veículos e ao mesmo tempo permite infiltração da água no solo.

Esta pesquisa buscou estudar um traço para produção de peças de concreto permeável produzidas com agregados reciclados da construção civil para atender os requisitos normativos e as questões ambientais.

1.2. Objetivo

Este estudo teve por objetivo, analisar a viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como substituição parcial do agregado graúdo para a produção de peças de concreto permeável, por meio do estudo de traços de concreto permeável considerando-se diferentes teores de substituição.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para execução do presente estudo buscou-se sustentação teórica em autores que apresentam conceitos básicos de educação ambiental e na representação deste, expressa em valores, atitudes e comportamento, sustentabilidade, resíduos sólidos da construção civil, drenagem urbana e seus princípios e ainda a reciclagem, esses foram os conceitos usados como embasamento teórico desta pesquisa.

Este estudo propôs disponibilizar conhecimentos e reflexões que possibilitam o debate sobre os desafios impostos pelo desenvolvimento urbano, por meio de soluções que visam o desenvolvimento sustentável das cidades tendo em vista a melhoria da qualidade de vida da população.

2.1. Urbanização

As cidades brasileiras cresceram de forma rápida e desordenada passando a interferir de maneira negativa no meio ambiente, impactando diretamente na vida das pessoas.

Conforme Santos (2005), no período de 1940 a 1980, ocorreu uma modificação no local de residência da população brasileira. As pessoas que residiam na zona rural migraram para as cidades dando origem ao êxodo rural o qual se intensificou entre as décadas 60 e 80. Esse movimento não ocorreu de forma homogênea pois a preferência era por regiões que proporcionavam mais oportunidades.

Na tabela 1 podemos observar os dados da população brasileira por situação de domicílio, dividida por área urbana e rural, no período de 1950 a 2010.

Tabela 1: População brasileira por situação de domicílio de 1950 a 2010

Período	Urbana (%)	Rural (%)
1950	36,16	63,84
1960	45,08	54,92
1970	55,98	44,02
1980	67,70	32,30
1991	75,47	24,53
2000	81,23	18,77
2010	84,36	15,64

Fonte: IBGE (2019)

Portanto, observa-se que as regiões urbanas possuem atrativos populacionais que intensificaram as migrações. O grande número de habitantes inseridos nelas provoca desequilíbrio no meio natural.

Na questão da qualidade de vida é imprescindível que se considere a qualidade ambiental, assim alterações que causem desequilíbrio natural afetam as condições imediatas e futuras à espécie humana.

No entendimento de Magalhães (2010), as regiões urbanas são as principais causadoras do desenvolvimento, porém, é nelas também que os problemas são acumulados. As áreas urbanas apresentam serviços básicos deficitários como água e esgoto e de infraestrutura urbana, problemas ambientais e de segurança.

O planejamento urbano na prática não existiu e as cidades cresceram sem preparo e nenhum comprometimento com a sustentabilidade:

Em regra, o que se tem constatado são cidades mal planejadas, com enormes congestionamentos de trânsito, alagamentos que devastam cidades inteiras, loteamentos irregulares, favelas e ocupações inadequadas nas periferias, meio ambiente ecologicamente desequilibrado e cidades que nada têm de sustentáveis (RECH, RECH, 2010, p.86).

Os impactos ambientais causados pela urbanização são perceptíveis e colocam as cidades em risco, uma vez que tais ações podem comprometer a quantidade e qualidade dos recursos naturais.

Schueler (1987), destaca que a urbanização aumenta as áreas impermeáveis causando maior escoamento superficial. Este é conduzido pelo sistema de drenagem urbano por meio de tubos e canais para áreas à jusante na bacia tendo como principais consequências as vazões máximas, aumento e antecipação nos picos, gerando inundações das áreas próximas.

Valendo-nos desse quadro geral poderíamos enumerar infindáveis impactos ambientais decorrentes da urbanização, mas vale destacar dois: (a) motivado pela remoção da cobertura vegetal alterando o ciclo da água, tal processo de transformação quase sempre culmina com a total impermeabilização da superfície por causa da pavimentação; (b) é fruto do aumento na demanda por recursos naturais que está correlacionado com o crescimento na geração de resíduos sólidos urbanos.

2.2. Impactos ambientais causados pela construção civil

Interligado ao processo urbanização está o setor da construção civil que teve um crescimento baseado na demanda por moradia e infraestrutura causada pela

migração do elevado número de indivíduos que saíram da zona rural em busca de melhores condições de vida nas cidades.

Assim, o setor da construção civil se tornou um dos mais importantes para economia do país, pois é responsável por gerar emprego e renda tendo papel estratégico na economia nacional. Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção - ABRAMAT (2016), sinalizou que a cadeia produtiva da construção civil teve uma participação em 2015 no PIB nacional de 8,32%, gerando 12 milhões de empregos diretos e indiretos o que equivale a 13,70% da população ocupada do país com total de gastos com pessoal de R\$ 274 milhões correspondendo a 23,00% do faturamento do setor para 2016, além de arrecadar R\$ 148 bilhões em impostos e taxas nas três esferas governamentais.

Mas, o setor da construção civil relevante para economia brasileira é também o maior consumidor de recursos naturais não renováveis e o maior gerador de resíduos sólidos urbanos representando um grande problema ambiental. Portanto, faz-se necessário novas tecnologias no processo produtivo e o manejo ambientalmente adequado dos resíduos a fim de reduzir os impactos negativos da atividade.

De acordo com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável – CBCS (2014), a construção civil consome mais da metade dos recursos naturais extraídos para realização de suas atividades. Esse é apenas o começo dos problemas, pois durante todo processo produtivo da cadeia existe o consumo de energia e por consequência a emissão de gases do efeito estufa.

Nos estudos de Agopyan e John (2011), que analisaram os dados do segundo Inventário Brasileiro das Emissões de gases do efeito estufa, no Brasil as emissões de CO_2 na produção de materiais são mais significativas do que as emissões durante a fase de uso das edificações.

A construção civil apresenta elevado consumo de materiais, segundo Agopyan e John (2011), a demanda está entre 4 e 7 toneladas de material por habitante por ano. A extração se concentra principalmente nos recursos naturais não renováveis, como areia e pedra, normalmente fornecidos por meio de extração em rios e formações rochosas provocando esgotamento dessa fonte e comprometendo a subsistência das gerações futuras (BIANCHINI et al., 2005).

Impulsionado pelo consumo elevado de materiais a produção de resíduos tornou-se um problema de enormes dimensões no âmbito ambiental, econômico e social. Segundo dados extraídos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2000), o Brasil gera 158 mil t/dia de resíduos. Esses resíduos gerados pela construção civil não costumam ser reaproveitado ou reciclado acumulando muitas vezes em locais inadequados podendo causar problemas de saúde pública à população.

2.3. Resíduos sólidos urbanos

São classificados como resíduos sólidos todos os rejeitos resultantes das diversas atividades humanas. Esses como o próprio nome diz são materiais não aproveitados que se encontram no estado sólido.

Segundo a definição da NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação, resíduos sólidos são:

[...] resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes dos sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos e cujas particularidades tornem inviável o lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

A legislação norte-americana define os resíduos sólidos como:

[...] qualquer tipo de lixo, refugo, lodo de estação de tratamento de esgoto, de tratamento de água ou de equipamento de controle de poluição do ar e outros materiais descartados, incluindo sólidos, líquidos, semi-sólidos, gás em contêineres resultantes de operações industriais, comerciais, de mineração e agrícolas, e de atividades da comunidade, porém não inclui sólidos ou materiais dissolvidos e esgoto doméstico, sólidos ou materiais dissolvidos na água de fluxo de retorno em irrigação e descargas pontuais [...] (USA 1989, p. R-8).

Uma outra definição importante foi apresentada na Conferência da Organização das Nações Unidas sobre meio Ambiente e Desenvolvimento - CNUMAD:

Os resíduos sólidos [...] compreendem todos os restos domésticos e resíduos não perigosos, tais como os resíduos comerciais e institucionais, o lixo da rua e os entulhos de construção. Em alguns países, o sistema de gestão dos resíduos sólidos também se ocupa dos resíduos humanos, tais como excrementos, cinzas de incineradores, sedimentos de fossas sépticas e de instalações de tratamento de esgoto. Se manifestarem características perigosas, esses resíduos devem ser tratados como resíduos perigosos (CNUMAD, 1997, p. 273).

Definições alternativas para resíduos sólidos tendem a retratá-los como materiais sem valor econômico para seu possuidor mesmo que tais resíduos ainda conservem um valor econômico residual para setores como o da reciclagem, por exemplo.

De qualquer modo os resíduos constituem em todas as definições subprodutos da atividade humana com características específicas definidas geralmente pelo processo que os gerou. Do ponto de vista da sociedade materiais descartados que são aproveitados deixam de ser resíduos constituindo-se matérias-primas secundárias. Em particular são denominados rejeitos todos os resíduos que não tem aproveitamento econômico por nenhum processo tecnológico disponível e acessível (BRASIL, 2010).

De acordo com NBR 10004 os resíduos sólidos são classificados pela sua origem nas seguintes categorias: domiciliares, industriais, comerciais, de serviços de saúde, de serviços de transportes e de construção civil. Utiliza-se essa classificação para definir aproximadamente os tipos de resíduos e os riscos a eles associados bem como as responsabilidades dos geradores (ABNT, 2004).

A intensificação das atividades humanas nas cidades tem gerado um aumento acelerado na produção de resíduos sólidos que constituem um grande problema para a administração pública bem como para a população em geral.

O crescimento demográfico desenfreado, a mudança ou a criação de outros hábitos, a melhoria do nível de vida, o desenvolvimento industrial e uma série de outros fatores são responsáveis por alterações nas características dos resíduos, contribuindo para agravar o problema de sua destinação final. Por exemplo, os resíduos da construção e demolição jogados nas ruas pela população na qual condena o próprio ambiente em que vivemos.

O gerenciamento inadequado dos resíduos sólidos pode resultar em muitos riscos para a qualidade de vida das pessoas criando ao mesmo tempo problemas de saúde pública e transformando-se em fator de degradação do meio ambiente, além

dos aspectos social, estético e econômico que essa imprudência ambiental pode provocar (BRASIL, 2010).

Quando esses resíduos não tratados adequadamente são depositados sem as devidas precauções em lixões a céu aberto ou até em cursos d'água há o perigo de contaminação de mananciais de água potável, sejam superficiais ou subterrâneos, e a disseminação de doenças por intermédio de vetores que se multiplicam nos locais de disposição de papel, entulho, garrafas e restos de alimentos que criam um ambiente propício para a sua proliferação provocando diversas doenças para o ser humano (ZANTA, 2003).

2.4. Resíduos de construção e demolição (RCD)

O gerenciamento deste tipo de resíduo no Brasil está disposto na resolução nº 307 (BRASIL, 2002). Essa resolução define resíduos da construção civil como os provenientes de construções, reformas, reparos e demolição de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassas, gessos, telhas, pavimentos asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiações elétricas, etc., comumente chamados de entulhos de obra, calça ou metralha.

De acordo com a resolução nº 307 (BRASIL, 2002), alterada pela resolução nº 431 (BRASIL, 2011), os resíduos devem ser destinados após esgotadas todas as possibilidades de reutilização no canteiro de obra seguindo as suas classificações:

- Classe A: são resíduos que podem ser reutilizados ou reciclados como agregados: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de obras de infraestrutura, solos oriundos de terraplanagem, componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento entre outros), argamassa, concreto e blocos de concreto.

- Classe B: resíduos reutilizáveis e recicláveis para outras destinações, como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso.

- Classe C: são resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.

- Classe D: são resíduos perigosos como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles que estejam contaminados e são oriundos de reformas e reparos de clínicas radiológicas e instalações industriais, telhas e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

A composição dos resíduos gerados nas construções é heterogênea e possuem porosidade maior que os agregados naturais devido a participação de todos os materiais de construção utilizados no processo construtivo. Esta porosidade pode reduzir a resistência mecânica, porém pode aumentar a permeabilidade dos elementos.

Por meio dos estudos de Pinto (1987), Zordan e Paulon (1997) e Macedo et al. (2009) é possível concluir que a composição mineral dos RCDs é variável conforme resultados apresentados na tabela 2. Porém a maior parte da composição são de materiais que podem ser reciclados.

Tabela 2: Composição dos resíduos de construção e demolição em cidades brasileiras

Material	São Carlos/SP (1)	Ribeirão Preto/SP (2)	Recife/PE (3)
Argamassa	64,40%	37,60%	26,50%
Concreto	4,80%	21,20%	42,90%
Material Cerâmico	29,40%	23,40%	8,20%
Rochas/Outros	1,40%	17,80 %	22,40%

(1) Pinto

(2) Zordan e Paulon

(3) Macedo *et al.*

Fonte: adaptado de PINTO (1987), ZORDAN e PAULON (1997), MACEDO *et al.*(2009)

Atribui-se tal variação não somente ao local de geração desse resíduo que pode sofrer variações na composição em razão da oferta de materiais de construção, mas também à diferentes processos construtivos, treinamento profissionais, método de separação prévia dos RCDs, cronograma da obra, entre outros. É importante conhecer a composição dos RCDs pois a mesma interfere na resistência do agregado produzido pelo processo de beneficiamento.

De acordo ABRELPE (2012,2017), a massa total de resíduos coletada no Brasil chegou a 118 milhões de toneladas ano em 2015, com os resíduos da construção civil correspondendo a uma fração de 38% da massa total, conforme dados apresentados na tabela 3:

Tabela 3: Resíduos sólidos coletados no Brasil

Ano	RST (ton/ano)	RCD (ton/ano)	RCD/RST (%)
2012	107.385.614	40.970.520	38,15%
2013	112.195.538	42.863.775	38,20%
2014	116.150.436	44.625.630	38,42%
2015	117.961.978	45.158.165	38,28%

RST – Resíduos Sólidos Total

RCD – Resíduos Construção e Demolição

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2012,2017)

Cabe ressaltar que os dados divulgados pela ABRELPE são referentes aos resíduos coletados pelo poder público em obras sob sua responsabilidade e em logradouros públicos não considerando os RCDs coletados sob responsabilidade dos geradores.

A pesquisa do Sindicato da Indústria da Construção Civil – SINDUSCON (2005), realizada em municípios do estado de São Paulo aponta que 50% a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos provêm da construção civil, sendo que 75% dessa massa é oriunda de pequenas obras de construção, reformas e demolições.

Considerando a massa total de RCD coletada no ano de 2015 foram encaminhadas para as unidades de processamento de RCD em torno de 10%, ou seja, das 45 milhões de toneladas coletadas no período, mais de 90% da massa total de RCD está sendo encaminhada para áreas de disposição irregular causando impactos significativos no meio ambiente urbano.

Os RCDs mal geridos podem acarretar uma série de impactos ambientais. Seu uso ou disposição final inadequados podem contaminar córregos, águas superficiais e subterrâneas e afetar a vida humana. A Resolução nº 001 do CONAMA define impacto ambiental como:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

Assim, é preciso dar a destinação adequada para que todos esses resíduos não resultem em uma situação caótica nos centros urbanos onde podem causar uma série de problemas tanto de caráter organizacional das cidades quanto ambiental.

Considerando que grande parte dos materiais da construção civil provém de fontes naturais não renováveis a reciclagem e o reaproveitamento desses resíduos configuram uma alternativa interessante do ponto de vista ambiental, por diminuir a exploração do meio ambiente para a obtenção de novos materiais, além de reaproveitar uma grande quantidade de material que é descartado muitas vezes de forma inadequada dando início a problemas ambientais (PEREIRA et al., 2012). Do ponto de vista econômico, destaca-se também que o custo de produção do agregado reciclado é menos oneroso tornando mais baratos os produtos que utilizam os RCD's como substitutos parciais ou totais dos agregados para a produção dos mesmos.

2.5. Drenagem urbana

A impermeabilização excessiva do solo como consequência da implantação de vias de circulação com asfalto, utilização de piso impermeável nos quintais das residências e indústrias, o baixo índice de áreas verdes urbanas e a construção de casas aumentam a ocorrência de pontos de enchente e de alagamento com reflexos negativos nas atividades urbanas e em problemas de saúde pública.

Campana e Tucci (1994), desenvolveram uma equação a qual se relacionam as faixas de densidade habitacional com percentagens de áreas impermeáveis da bacia (tabela 4). As limitações desta relação são aplicáveis as bacias com área superior a 2 km²; as quais não distinguem o tipo de ocupação urbana, mas admitem uma ocupação média de áreas residenciais e comerciais com predominância dos primeiros. Porém não devem ser aplicados quando existir relevo acidentado, o qual a distribuição pode variar muito.

Tabela 4: Relação entre densidade habitacional e área impermeável

Densidade Habitacional (Hab/ha)	Fração de área impermeável (%)
25	11,3
40	26,7
60	36,7
80	46,6
100	49,0
120	53,4
140	57,2
160	60,4
180	63,2
200	65,8

Fonte: CAMPANA e TUCCI (1994)

As enchentes ou inundações são estatisticamente os desastres mais frequentes, os quais respondem por um terço do total de desastres entre 1980 e 1990 no mundo (NOJI, 2000).

A falta de estrutura de drenagem de águas pluviais pode ocasionar grandes problemas como enchentes, desmoronamentos e erosão do solo. Um dos fatores que influencia o fluxo das águas pluviais é a excessiva pavimentação do solo e a falta de áreas verdes, dificultando a drenagem, aumentando a quantidade de água que escorre pelas galerias, bocas de lobo, ou mesmo pela superfície (PROGRAMA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E MOBILIZAÇÃO SOCIAL EM SANEAMENTO - PEAMSS, BRASIL, 2009).

A grande quantidade de microbacias drenadas para um córrego ou rio pode em pouco tempo transbordar e inundar a malha urbana. Além das consequências oriundas no meio natural alterado as águas de escoamento superficial podem transportar grande quantidade de resíduos que são apanhados pelo caminho. Esses resíduos podem bloquear galerias pluviais fazendo com que as águas saltem para a superfície invadindo as edificações.

Devido à impermeabilização do solo pela ocupação antrópica com a substituição de superfícies naturais por superfícies pavimentadas a maior parte das águas de precipitação não infiltra, aumentando a taxa de escoamento superficial e conduzindo a água rapidamente para os fundos de vales (AYOADE, 1986). Se não

existir sistema adequado de galerias pluviais isso pode gerar problemas de inundação nessa região.

Todo material que é carregado para o córrego ou rio sedimenta e aos poucos vai contribuindo para o entupimento da calha do rio atrapalhando o ciclo hidrológico natural e propiciando condições para futuras inundações.

As medidas estruturais de um sistema de drenagem variam de acordo com as características do problema a ser resolvido, como o tamanho da área a ser drenada, o índice de permeabilidade do solo, o tipo de ocupação do solo, características físicas, hidrológicas e hidráulicas da bacia, risco adotado para o sistema de drenagem, obras de infraestrutura urbana existentes, etc. Canholi (2015), aponta as principais medidas estruturais para drenagem urbana são:

- a. sistema de coleta da água de chuva no lote e lançamento na rede de drenagem;
- b. sistema de microdrenagem, composta por bocas de lobo e bueiros para captação das águas superficiais que correm pelas ruas e vias;
- c. sistema de macrodrenagem, que é formada por um sistema de canais e rios que recebem a água coletada pela microdrenagem;
- d. reservatórios para controle de cheias, que são barramentos construídos em rios para reter o excesso de chuva e proteger áreas à jusante;
- e. reservatórios urbanos de retenção ou bacias de retenção, que são pequenos reservatórios construídos em determinadas áreas da cidade para conter o excesso de chuva e proteger áreas à jusante;
- f. drenagem forçada em áreas baixas, localizadas abaixo do nível d'água de cheias dos córregos próximos;
- g. manutenção do sistema de drenagem, a falta de manutenção no sistema pode causar inundações.

Ainda segundo Canholi (2015), uma alternativa para controle das cheias urbanas são as medidas não-estruturais:

- a. outorga para controle de cheias: a drenagem urbana está integrada na gestão da água na bacia hidrográfica e, portanto, deve estar sujeita a todos os seus instrumentos legais. Entre eles está a outorga pela execução de obras que venham a interferir no regime dos rios, ou seja,

construção de galerias, obras de alteração de curso e/ou aumento da capacidade de escoamento de rios, construção de travessias e pontes.

b. leis de uso e ocupação do solo: um dos fatores mais importantes na formação das cheias é o tipo de ocupação do solo, ou melhor, a sua cobertura. Ele está diretamente ligado ao processo de infiltração e por conseguinte à produção de escoamento superficial.

c. fixação de critérios para projetos de drenagem: um dos maiores problemas, que o poder público enfrenta em relação à drenagem é a falta de critérios técnicos para execução de obras de drenagem. É fundamental estabelecer critérios de projeto para estudos hidrológicos e hidráulicos, tanto dá micro como da macrodrenagem.

d. fixação de critérios para obras de infra-estrutura: da mesma forma que muitas vezes não são definidos critérios para obras de drenagem, em geral também não são fixadas normas de construção de obras de infra-estrutura, como pontes, passarelas; quando estas interferem na drenagem.

e. medidas de controle de cheias no próprio lote ou medidas individuais e de convivência: esse tipo de medida é bastante eficiente em regiões onde a ocupação por residências, comércio e/ou indústrias já está consolidada, e a desocupação e/ou obras corretivas de drenagem demandam muito tempo e recursos. Um sistema desse tipo se forma basicamente por uma estrutura que impede a entrada de água no lote.

f. restabelecimento parcial da capacidade de retenção de água do lote: esse tipo de medida envolve diretamente o empreendedor que ocupa um lote, ao construir uma obra no lote parte do mesmo fica impermeabilizado, cabe ao empreendedor reservar uma área para infiltração das águas pluviais.

g. outras medidas para preservação da capacidade de infiltração do solo: existem outras medidas que podem ser implantadas nas cidades para minimizar e/ou estabilizar os impactos da urbanização na drenagem urbana. Dentre elas pode-se citar o emprego de pavimentos permeáveis em estacionamentos e em outros locais de circulação de veículos, quintal das residências, possibilitando assim infiltração das águas para reabastecimento do lençol freático.

O pavimento permeável surge como uma técnica alternativa de drenagem que devolve ao solo a capacidade de infiltração anterior ao processo de urbanização e reduz o volume do escoamento superficial.

2.6. Pavimento permeável

A NBR 16416 define pavimento permeável como sendo o “pavimento que atende simultaneamente às solicitações de esforços mecânicos e condições de rolamento e cuja estrutura permite a percolação e/ou o acúmulo temporário de água, diminuindo o escoamento superficial, sem causar dano à sua estrutura”, (ABNT, 2015).

O pavimento permeável é também conhecido como estrutura-reservatório, segundo Marchioni (2011), essa denominação se refere às funções realizadas pela matriz porosa de que são constituídos, ou seja:

- Função mecânica, associada ao termo estrutura que permite suportar os carregamentos impostos pelo tráfego de veículos.

- Função hidráulica, associada ao termo reservatórios que assegura reter temporariamente as águas pela porosidade dos materiais seguido pela drenagem e, se possível, pela infiltração no solo de subleito.

Ainda segundo Marchioni (2011), o funcionamento hidráulico dos pavimentos permeáveis é baseado nos seguintes princípios:

- Entrada imediata de água da chuva no corpo do pavimento;
- Estocagem temporária da água no interior do pavimento, nos vazios da camada reservatório;
- Evacuação lenta da água que é feita por infiltração no solo, liberação para a rede de drenagem ou uma combinação das duas formas.

Urbanas e Stahre (1993), classificam os pavimentos permeáveis em três tipos: revestimento de concreto asfáltico poroso, pavimentos de concreto de cimento Portland poroso e pavimentos com blocos pré-moldados de concreto de cimento Portland vazados e preenchidos com material granular ou areia.

Segundo Suzuki (2013), os pavimentos permeáveis com seus respectivos dispositivos de infiltração possuem certas vantagens em relação aos demais sistemas de drenagem. As principais vantagens são:

- A infiltração reduz o volume total de água que entraria na rede de drenagem, diminuindo o risco de inundação nos sistemas à jusante;
- Os dispositivos de infiltração podem ser usados onde não há rede de drenagem que possa absorver o escoamento proveniente do empreendimento;
- Ao controlar o escoamento superficial na fonte os dispositivos de infiltração reduzem os impactos hidrológicos da urbanização;
- Por não sobrecarregar a rede de drenagem os dispositivos de infiltração evitam dispêndios com a ampliação da rede;
- A infiltração pode ser usada para aumentar a recarga do aquífero quando a qualidade do escoamento superficial não compromete a qualidade da água subterrânea;
- A construção dos dispositivos de infiltração é normalmente simples e rápida;
- Os custos em toda sua vida útil podem ser menores que em outros sistemas de drenagem;

Obla (2007), reconhece que pavimento permeável é fundamental para criação de cidades sustentáveis, pois apresenta tecnologia de drenagem de baixo impacto e protege a qualidade da água infiltrada.

O pavimento permeável deve apresentar coeficiente de permeabilidade maior que $10^{-3}m/s$ independentemente do tipo de revestimento adotado. Além da permeabilidade o pavimento permeável deve apresentar resistência mecânica e espessura mínima, para peças de concreto permeável com tráfego leve a espessura mínima deve ser de 80 mm e resistência à compressão característica deve ser ≥ 20 MPa, NBR 16416 (ABNT, 2015).

O pavimento permeável é muito utilizado em áreas de estacionamento, áreas com tráfego leve, ruas residenciais e calçadas de pedestres. Este tipo de pavimento produzido com concreto permeável apresenta resistência mecânica inferior ao concreto comum conforme comprovado nos estudos de Gibbons (1999) e Wu, et al. (2011).

2.7. Sustentabilidade na construção civil

A Sustentabilidade surgiu na década de 1980 como um conceito tangível aplicado à causa ambiental. Foi Lester Brown fundador do Worldwatch Institute, quem

apresentou a definição que se tornou um padrão seguido mundialmente. Uma comunidade é sustentável quando satisfaz suas necessidades procurando preservar as condições atuais para que as gerações futuras também façam o mesmo. Assim, as atividades executadas por seres humanos não podem interferir e prejudicar os ciclos de renovação da natureza muito menos destruir os recursos (BROWN, 1981).

Uma ação sustentável precisa ser ecologicamente correta, economicamente viável, socialmente justa e ser culturalmente aceita, assim é formado o tripé da sustentabilidade.

Durante a Primeira Conferência Mundial sobre Construção Sustentável (First World Conference for Sustainable Construction) que ocorreu em Tampa, Flórida, discutiu-se o futuro da aplicação da Sustentabilidade na construção e foram sugeridos seis princípios para sustentabilidade na construção: minimizar o consumo de recursos; maximizar a reutilização dos recursos; utilizar recursos renováveis e recicláveis; proteger o ambiente natural; criar um ambiente saudável e não tóxico e fomentar a qualidade ao criar o ambiente construído (KIBERT, 1994).

Para o Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica - IDHEA, há nove passos para uma Construção Sustentável: planejamento sustentável da obra; aproveitamento passivo dos recursos naturais; eficiência energética; gestão e economia da água; gestão dos resíduos na edificação; qualidade do ar e do ambiente interior; conforto termoacústico; uso racional de materiais e uso de produtos e tecnologias ambientalmente amigáveis (IDHEA, 2019).

Os RCDs são matérias-primas que de alguma forma podem voltar à cadeia produtiva como um agregado reciclado ou até mesmo como um novo produto oriundo de uma matéria-prima que em algum momento não está sendo tão bem reaproveitada.

A tabela 5 mostra o desempenho do reaproveitamento de RCD em alguns países. Os dados indicam que mesmo em países desenvolvidos a condição de reciclagem e aplicação de RCD é variável de país para país. Os resíduos são aplicados em tijolos, meios fios e canaletas, mas sua principal aplicação é na pavimentação e na fabricação de concreto. A implementação e o uso definitivo de

produtos oriundos de reciclagem dos RCDs aconteceram devido às necessidades e por meio de políticas de taxação.

Tabela 5: Reaproveitamento RCD

País	RCD (mil ton./mês)	% Reutilização	% Depositado em aterro
Alemanha	59	17	83
Inglaterra	30	45	55
França	24	15	85
Itália	20	9	91
Espanha	3	<5	>95
Holanda	11	90	10
Bélgica	7	87	13
Áustria	5	41	59
Portugal	3	<5	>95
Dinamarca	3	81	19
Grécia	2	<5	>95
Suécia	2	21	79
Finlândia	1	45	55
Irlanda	1	<5	>95
Total Média	18	28	72

Fonte: Adaptado de MOTTA e FERNANDES, (2003)

Atualmente no Brasil apenas 5% do total de resíduo gerado na construção civil é reciclado. Para os pesquisadores Ângulo et al. (2009), o processo de reciclagem de RCD está precário e é necessário evoluir.

As pesquisas de Leite (2001) e John (2000) apontam que, do ponto de vista técnico e econômico, dão sustentação à produção e à utilização de concreto com agregado reciclado e as aplicações ideais seriam para pavimentos rodoviários, concretos com ou sem fins estruturais e para a produção de elementos pré-moldados na indústria da construção civil.

Os beneficiados com a utilização de agregados reciclados na construção civil são a sociedade e o meio ambiente. Problemas atuais das grandes cidades como a escassez de áreas para deposição de RCD e os elevados recursos gastos

pelas autoridades municipais com a desobstrução de córregos e vias públicas podem ser solucionados com a utilização desses resíduos.

As empresas ao usarem resíduos reciclados podem: reduzir o consumo de recursos naturais não renováveis, reduzir áreas necessárias para aterro devido à diminuição do volume de resíduos por causa da reciclagem.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste tópico serão apresentados os materiais utilizados para a obtenção dos traços de concreto permeável considerados nesta pesquisa com suas respectivas porcentagens de substituição, os métodos e equipamentos empregados e os ensaios aos quais as amostras foram submetidas bem como as etapas e a sequência de desenvolvimento do trabalho. Os ensaios foram realizados no período entre janeiro a agosto de 2019.

Para os ensaios mecânicos e hidráulicos foram moldados peças de concreto permeável retangular com 10 cm x 20 cm x 8 cm (largura x comprimento x espessura). A caracterização dos agregados, moldagem dos corpos de prova e o ensaio de permeabilidade foram realizados nos laboratórios da Fundação Educacional de Fernandópolis - FEF.

Os ensaios de resistência à compressão mecânica foram realizados no laboratório da empresa Polimix Concreto, localizada na cidade de Votuporanga-SP.

3.1. Tratamentos e variáveis avaliadas

3.1.1 Determinação do traço referência (0% de substituição)

Após análise da literatura foi possível constatar que não existe um traço definido para concreto permeável, apresentando grande variação na granulometria dos agregados utilizados, fator água/cimento e também no tipo de aglomerante. Foi analisado estudos de diversos autores como: Pindado (1999), Schaefer (2006) e Joung (2008), para determinar um traço inicial que serviu de base para desenvolvimento da pesquisa. Na grande maioria dos estudos o traço não atende as diretrizes estipuladas pela Norma Técnica NBR 16416 - (ABNT, 2015).

Por meio da análise dos melhores resultados para resistência mecânica e permeabilidade foi definido um traço inicial para teste conforme apresentado na tabela 6.

Tabela 6: Composição do traço para concreto permeável para o presente estudo (TR1)

Materiais	Proporção
Cimento	1
Agregado graúdo	3,00
Relação água/cimento (em massa)	0,30
Relação aditivo químico/cimento (em massa)	0,05
Relação cimento/agregado (em massa)	1:3

Fonte: próprio autor (2020)

Após os ensaios chegou-se aos seguintes resultados: resistência à compressão 4,52 MPa e coeficiente de permeabilidade de $3,9 \times 10^{-3}$ m/s, constatou-se que o traço inicial (TR1) apresentou boa permeabilidade, porém não apresentou resistência mecânica adequada, sendo necessário uma alteração no traço inicial. Após diversos testes concluiu-se que o traço que atendia aos requisitos permeabilidade e resistência mecânica foi denominado TR2. A composição deste traço está apresentada na tabela 7.

Tabela 7: Composição do traço para concreto permeável para o presente estudo (TR2)

Materiais	Proporção
Cimento	1
Agregado graúdo	2,73
Relação água/cimento (em massa)	0,34
Relação aditivo químico/cimento (em massa)	0,05
Relação cimento/agregado (em massa)	1:3
Relação agregado miúdo/cimento (em massa)	0,27

Fonte: próprio autor (2020)

3.2 Preparo das amostras

3.2.1 Materiais

3.2.1.1 Agregado graúdo

Para realização do ensaio de composição granulométrica dos agregados graúdos foi utilizado as orientações da NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica – ABNT (2003), assim foi definido conjunto de peneiras sucessivas: 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm e fundo.

Além dos ensaios de composição granulométrica realizaram-se os ensaios de massa específica seguindo as recomendações da NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água – ABNT (2009) e da umidade total pela NBR 9939: Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – método de ensaio (ABNT,2011).

O agregado graúdo natural utilizado tem origem da rocha basáltica com granulometria conhecida como brita 0 (zero), proveniente da jazida da cidade de Valentim Gentil/SP. Pelos resultados foi possível verificar que o agregado é bem graduado com diâmetro efetivo igual a 8,50 mm, conforme demonstrado na figura 1 e na tabela 8.

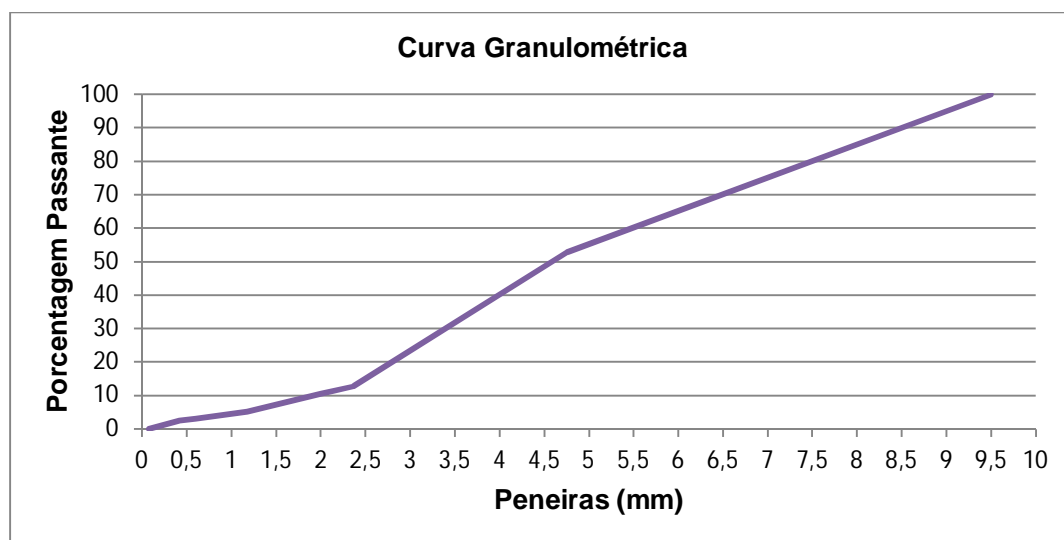


Figura 1: Curva granulométrica agregado graúdo natural
Fonte: próprio autor (2020)

Tabela 8: Características do agregado graúdo natural utilizado no presente estudo

CARACTERÍSTICAS	VALOR/UNID.
Massa Específica	1490 kg/m ³
Umidade	3,03%
Diâmetro Efetivo	8,50 mm

Fonte: próprio autor (2020)

O agregado graúdo reciclado tem origem após processo de beneficiamento do RCD com granulometria brita 0 (zero) sendo adquirido na empresa Mejan Ambiental de Votuporanga/SP. Os resultados da caracterização do agregado

reciclado demonstraram que o agregado é bem graduado com diâmetro efetivo igual a 8,75 mm, conforme demonstrado na figura 2 e tabela 9 a seguir.

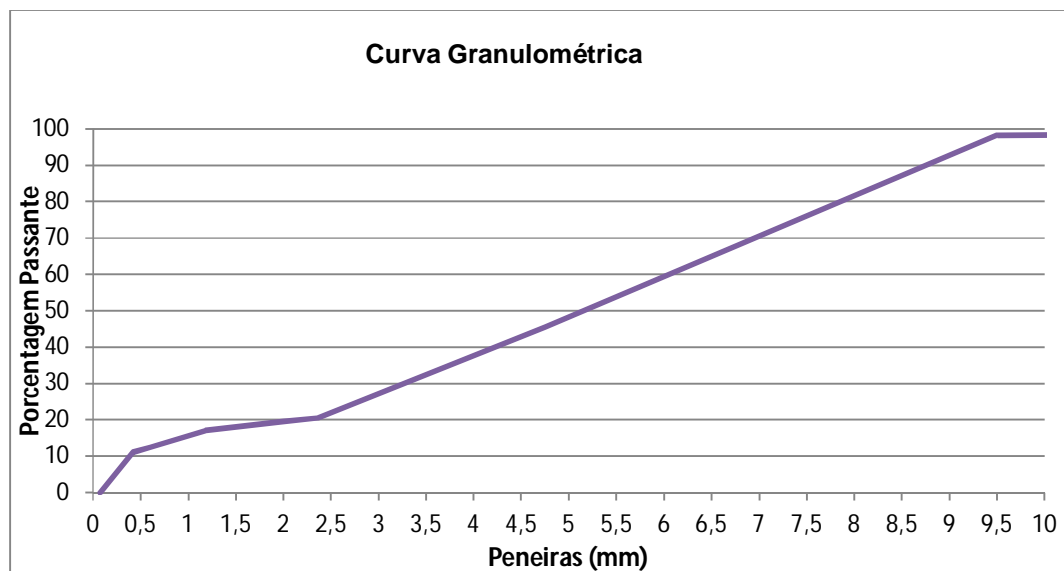


Figura 2: Curva granulométrica agregado graúdo reciclado
Fonte: próprio autor (2020)

Tabela 9: Características do agregado graúdo reciclado utilizado no presente estudo

CARACTERÍSTICAS	VALOR/UNID.
Massa Específica	1155 kg/m ³
Umidade	3,70%
Diâmetro Efetivo	8,75 mm

Fonte: próprio autor (2020)

Segundo NBR 15116: Agregados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural: requisitos ABNT (2004), os RCDs são classificados em agregados de resíduos de concreto (ARC) e agregado de resíduo misto (ARM). O resíduo utilizado neste estudo foi o ARM. Nos estudos de Pinto (1987), Zordan e Paulon (1997) e Macedo et al. (2009) é possível concluir que a composição do ARM é heterogênea: com componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento), argamassa, concreto e blocos de concreto.

Devido a composição do ARM o mesmo apresenta porosidade maior que o agregado natural, provocando uma diferença na absorção de água durante o processo de mistura do concreto. Vidal (2014), destaca essa variação entre agregado natural e ARM. Na prática isso ocorreu durante o processo de mistura do traço do concreto

permeável sendo necessário aumentar a quantidade de água nos traços utilizando ARM conforme demonstrado na tabela 10.

Tabela 10: Taxas de absorção água dos ARM

Componentes Reciclados	Frações	Absorção (%)
Concreto	12 – 20 mm	6,85
	6 – 12 mm	7,49
Material Cerâmico	12 – 20 mm	14,50
	6 – 12 mm	14,40

Fonte: LEITE (2001)

As consequências dessas características são observadas nos próprios agregados reciclados. Ou seja, suas propriedades normalmente não obedecem às normas comumente destinadas a agregados naturais (QUEBAUD et al., 1999). Os agregados reciclados tendem a serem mais fracos, mais deformados (módulo menor de elasticidade), mais porosos e mais permeáveis (TABSH et al., 2009).

3.2.1.2 Agregado miúdo

Partículas que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e são retidos na peneira de malha 0,15 µm são caracterizados como agregado miúdo NBR 7211: Agregados para concreto – especificação (ABNT, 2005).

Foram realizados os ensaios de massa específica segundo NBR NM 53 - ABNT (2009), umidade de acordo com NBR 9775: Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – método de ensaio - ABNT (2011) e ensaio de granulometria com conjunto de peneiras sucessivas: 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,60 mm, 0,30 mm, 0,15 mm e fundo; de acordo com NBR NM 248 - ABNT (2003). Os resultados do ensaio de granulometria demonstraram que o agregado miúdo é uniforme com diâmetro efetivo igual a 1,13 mm, conforme apresentado na figura 3 e tabela 11.

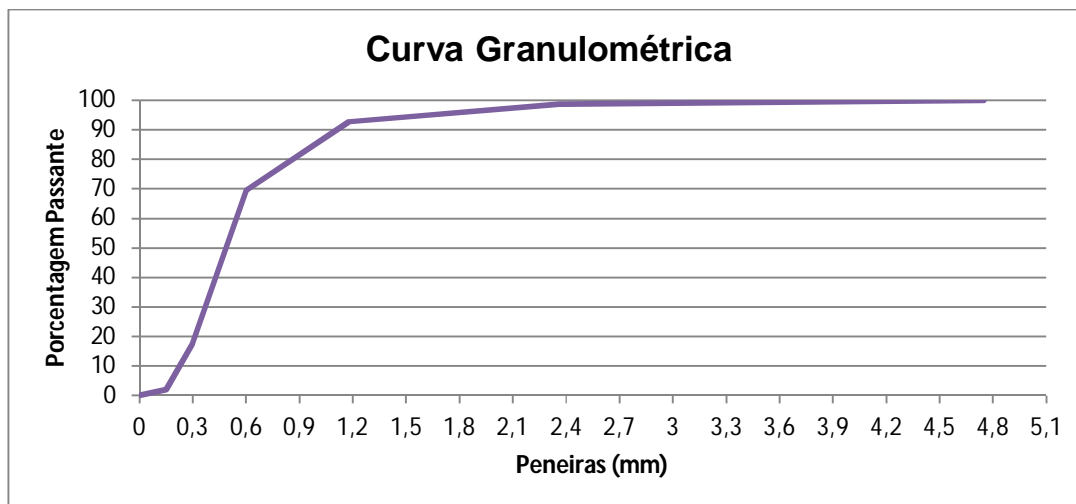


Figura 3: Curva granulométrica agregado miúdo
Fonte: próprio autor (2020)

Tabela 11: Características do agregado miúdo utilizado no presente estudo

CARACTERÍSTICAS	VALOR/UNID.
Massa Específica	1460 kg/m ³
Umidade	0,16%
Diâmetro Efetivo	1,13 mm

Fonte: próprio autor (2020)

3.2.1.3 Aglomerante: cimento Portland CP V-ARI

O cimento Portland é o principal responsável pela transformação da mistura dos componentes no produto final: o concreto. Ele pode ser definido como um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes que endurece sob a ação da água. Essa transformação ocorre devido às propriedades aglomerantes do cimento que endurece sob a ação da água e depois de endurecido o mesmo ao ser submetido novamente à água não volta a se decompor (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP, 2018).

O cimento utilizado foi CP V-ARI Premium da fabricante Cimentos Liz. Conforme o fabricante este cimento é um ligante hidráulico o qual possui alta resistência inicial e final. Oferecendo assim maior plasticidade e é ideal para produção de pré-moldados de concreto (CIMENTOS LIZ, 2019).

Este aglomerante hidráulico é obtido pela moagem de clínquer Portland, constituído por Clínquer + Sulfatos Cálcios na concentração de 100 – 95% e material

carbonático na concentração de 0 – 5%. Com esta composição o aglomerante apresenta as seguintes características mecânicas:

Tabela 12: Características mecânicas do cimento Portland CP V-ARI

Resistência à Compressão	Limites (MPa)
1 dia de idade	14
3 dias de idade	24
7 dias de idade	34

Fonte: adaptado da NBR 5733: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial - ABNT (1991)

3.2.1.4 Água

De acordo com NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto – Parte 1: requisitos - ABNT (2009) água de abastecimento público é considerada adequada para uso em concreto e não precisa ser ensaiada. Sendo assim, foi utilizada água do sistema público de Fernandópolis/SP.

3.2.1.5 Aditivo Químico

Durante a preparação do concreto, a mistura pode ainda ser acrescida de aditivos – produto adicionado durante o processo de preparação do concreto, em quantidade não maior que 5% da massa do material cimentício, com objetivo de modificar as propriedades no estado fresco e/ou no estado endurecido, de acordo com NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos (ABNT, 2019).

Foi utilizado aditivo plastificante CQ PRESS MIX, este aditivo é utilizado na fabricação de produtos para concreto seco e diluído com a água de amassamento melhorando assim a resistência deste tipo de concreto (CAMARGO QUÍMICA, 2019).

3.2.2 Determinação dos traços

Analisando os estudos de: Pindado (1999), Schaefer (2006) e Joung (2008), foi possível constatar que substituição de 100% do agregado natural por agregado reciclado resultam em resistências mecânicas extremamente baixas, não atendendo os requisitos mínimos estipulados na NBR 16416 - ABNT (2015), que recomenda para tráfego leve (tráfego de veículos leves e pedestres) resistência mecânica ≥ 20 MPa.

Foi definido que seriam analisados os traços com substituição de 20%, 40%, 60% e 80% de ARM em relação agregado natural, conforme apresentado na tabela 13. Para melhorar a identificação dos traços ficou definido a nomenclatura:

TR2 – Traço Referência: 0% de substituição de ARM

T20 – Traço com 20% de substituição de ARM

T40 – Traço com 40% de substituição de ARM

T60 – Traço com 60% de substituição de ARM

T80 – Traço com 80% de substituição de ARM

Tabela 13: Composição dos traços com substituição do agregado natural por ARM

Traço	Cimento	Brita 0	ARM	Areia	Aditivo	A/C
TR2	1	2,73	0,00	0,27	0,05	0,34
T20	1	2,18	0,55	0,27	0,05	0,34
T40	1	1,64	1,09	0,27	0,05	0,38
T60	1	1,09	1,64	0,27	0,05	0,42
T80	1	0,55	2,18	0,27	0,05	0,65

A/C – Fator água/cimento

TR2 – Traço referência com 0% de substituição de agregado de resíduos mistos

T20 – Traço com 20% de substituição de agregado de resíduos mistos

T40 – Traço com 40% de substituição de agregado de resíduos mistos

T60 – Traço com 60% de substituição de agregado de resíduos mistos

T80 - Traço com 80% de substituição de agregado de resíduos mistos

Fonte: próprio autor (2020)

Durante o processo de preparo do concreto com agregado reciclado observou-se que este absorvia maior quantidade de água, por isso houve necessidade de correção na quantidade de água nos traços com maior percentual de substituição do agregado graúdo.

3.2.2.1 Processo de mistura

Para mistura do concreto permeável adotou-se a sequência para colocação dos componentes na betoneira conforme tabela 14.

Tabela 14: Procedimento de mistura dos materiais na betoneira

Item	Procedimento de Mistura dos Materiais na Betoneira
1	Adicionar todo agregado graúdo e miúdo na betoneira
2	Misturar por 01 minuto
3	Adicionar todo o cimento
4	Misturar por um minuto
5	Dissolver aditivo químico na água
6	Adicionar 80% da água com aditivo e misturar por 3 minutos
7	Avaliar a consistência do concreto
8	Adicionar o restante da água caso existisse a necessidade
9	Misturar por 2 minutos

Fonte: Adaptado de BATEZINI (2013)

Para avaliação da consistência do concreto foi moldada em forma de esfera a qual foi-se verificada se a mesma permanecia neste formato sem se deformar assim como a realização da avaliação visual para verificar o aspecto metálico e conforme o resultado era adicionado mais água a mistura, conforme demonstrado nas figuras 4 e 5.



Figura 4: Consistência do concreto permeável após processo mistura

Fonte: próprio autor (2020)



Figura 5: Verificação visual do aspecto metálico do concreto
Fonte: próprio autor (2020)

Após processo de mistura dos materiais foi determinado o abatimento do concreto por meio do ensaio tronco de cone de acordo com NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT, 1998). Em todos os traços analisados o resultado do abatimento foi 0 (zero).

3.2.2.2 Moldagem corpos de prova

Para ensaios de permeabilidade e resistência mecânica foram moldados corpos de prova com dimensões de 20 cm x 10 cm x 8 cm (comprimento x largura x espessura), com auxílio de uma fôrma produzida com compensado naval.

A moldagem dos corpos de prova foi dividida em três camadas, sendo cada uma adensada com 10 (dez) golpes de haste metálica e na última camada realizado o nivelamento e acabamento da superfície.

Os corpos de prova permaneceram nas fôrmas por vinte e quatro horas, após este período foram desenformados e levados para cura em tanque com água e cal por vinte e oito dias.

Foram moldados oito corpos de prova para cada traço, sendo seis utilizados para ensaio de resistência mecânica e dois utilizados para ensaio de permeabilidade, conforme demonstrado na figura 6.



Figura 6: Corpos de provas
Fonte: próprio autor (2020)

3.3 Ensaios técnicos

3.3.1 Ensaio de permeabilidade

Para determinação da condutividade hidráulica foi observado as recomendações do Anexo A da NBR 16416 - ABNT (2015) por meio de um permeâmetro de carga variável, conforme figura 7. Foi utilizado dois corpos de prova de cada amostra para realização do ensaio de permeabilidade.

Em cada corpo de prova foi fixado um tubo de infiltração com diâmetro interno de 72,1 mm, no interior do tubo foi realizado marcação de duas linhas de referência com distâncias de 10 mm e 15 mm em relação a face inferior.

Na sequência com os corpos de prova saturados foi despejada água no tubo de infiltração com velocidade suficiente para manter o nível da água entre as duas marcações (10 mm a 15 mm).

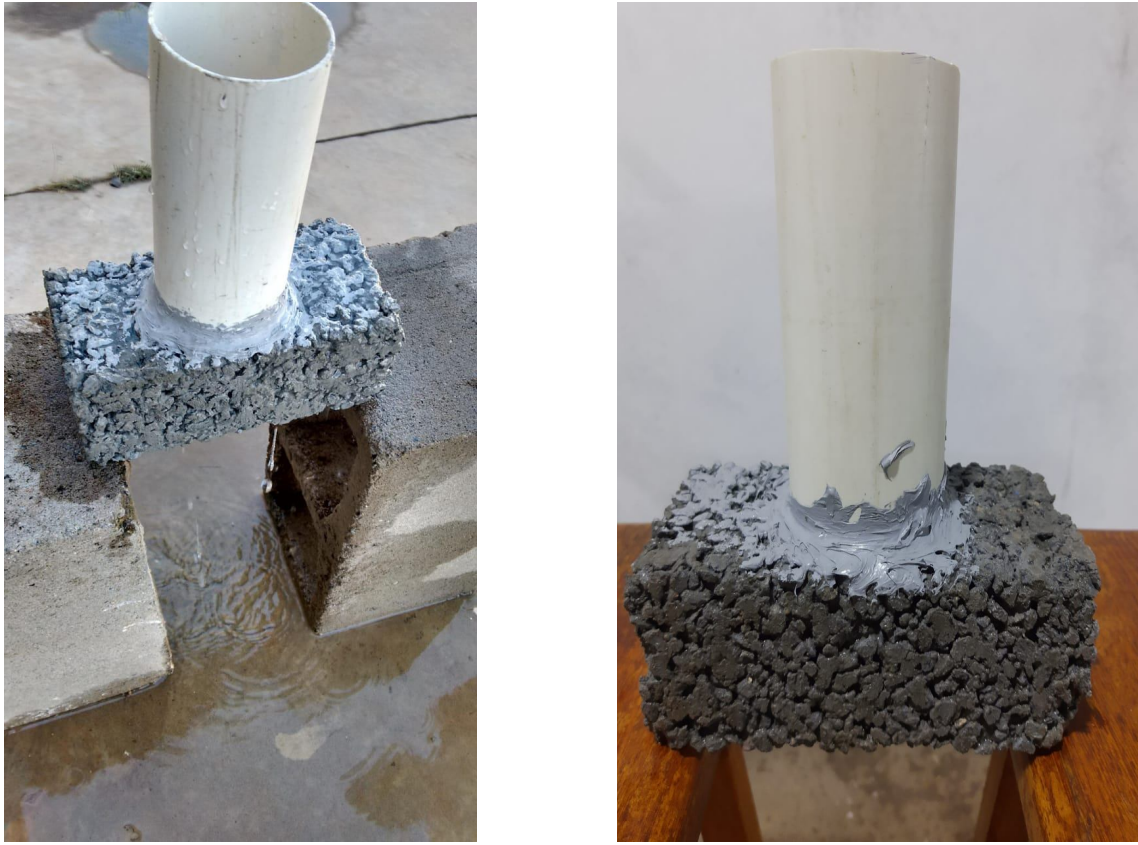


Figura 7: Permeâmetro de carga variável
Fonte: próprio autor (2020)

O cálculo do coeficiente de permeabilidade foi determinado com equação (1):

$$K = \frac{C \cdot m}{(d^2 \cdot t)} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

K é o coeficiente de permeabilidade (mm/h);

m é a massa de água infiltrada (kg);

d é o diâmetro interno do tudo de infiltração (mm);

t é o tempo de percolação da água (s);

C é o fator de conversão de unidades do sistema SI (4 583 666 000).

De acordo com NBR 16416 - ABNT (2015) pavimento permeável deve apresentar coeficiente de permeabilidade maior que $10^{-3}m/s$.

3.3.2 Ensaio de resistência mecânica

De acordo com as especificações da NBR 16416 - ABNT (2015) peça de concreto permeável para tráfego leve deve apresentar resistência mecânica característica maior ou igual a 20 MPa e deve ser ensaiada conforme NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio (ABNT, 2013).

Para o ensaio de compressão foi utilizado prensa hidráulica manual para 100 toneladas devidamente aferida, com duas placas circulares auxiliares, com diâmetro de 85 mm e espessura de 20 mm em aço e acopladas no prato inferior e superior da prensa, conforme demonstrado na figura 8.



Figura 8: Prensa hidráulica
Fonte: próprio autor (2020)

Antes do ensaio de compressão os corpos de prova tiveram suas superfícies capeadas com argamassa de cimento e areia grossa no traço 1:3 para nivelamento da superfície e distribuição uniforme da carga, conforme demonstrado na figura 9.



Figura 9: Corpos de prova capeados com argamassa no presente estudo
Fonte: próprio autor (2020)

A resistência à compressão é obtida dividindo-se a carga de ruptura Newton (N) pela área de carregamento (mm²) e multiplicando-se o resultado pelo fator “p” em função da altura da peça, conforme tabela A1 da NBR 16416 - ABNT (2015), que para este caso p=1.

A resistência à compressão estimada é obtida com a equação 2:

$$f_{pk, est} = f_p - t \cdot s \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo o desvio padrão calculado com equação 3:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n-1}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde

f_p é a resistência média das peças (MPa);

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

$f_{pk, est}$ é a resistência característica estimada à compressão (MPa);

n é o número de peças da amostra;

s é o desvio padrão da amostra (MPa);

t é o coeficiente de Student, fornecido tabela A2 da NBR 16416 - ABNT (2015), em função do tamanho da amostra, para amostra com seis corpos de prova $t=0,920$.

4. RESULTADOS

Na tabela 15 e na figura 10 é apresentado o resultado dos ensaios de permeabilidade. Em todas as amostras ensaiadas, o coeficiente de permeabilidade ficou acima do nível mínimo exigido por norma $10^{-3}m/s$.

Tabela 15: Condutividade hidráulica média

Amostra	Coefficiente de Permeabilidade m/s
TR2	$1,4 \times 10^{-3}$
T20	$5,0 \times 10^{-3}$
T40	$5,8 \times 10^{-3}$
T60	$6,9 \times 10^{-3}$
T80	$9,9 \times 10^{-3}$

TR2 – Traço referência com 0% de substituição de agregado de resíduos mistos

T20 – Traço com 20% de substituição de agregado de resíduos mistos

T40 – Traço com 40% de substituição de agregado de resíduos mistos

T60 – Traço com 60% de substituição de agregado de resíduos mistos

T80 - Traço com 80% de substituição de agregado de resíduos mistos

Fonte: próprio autor (2020)

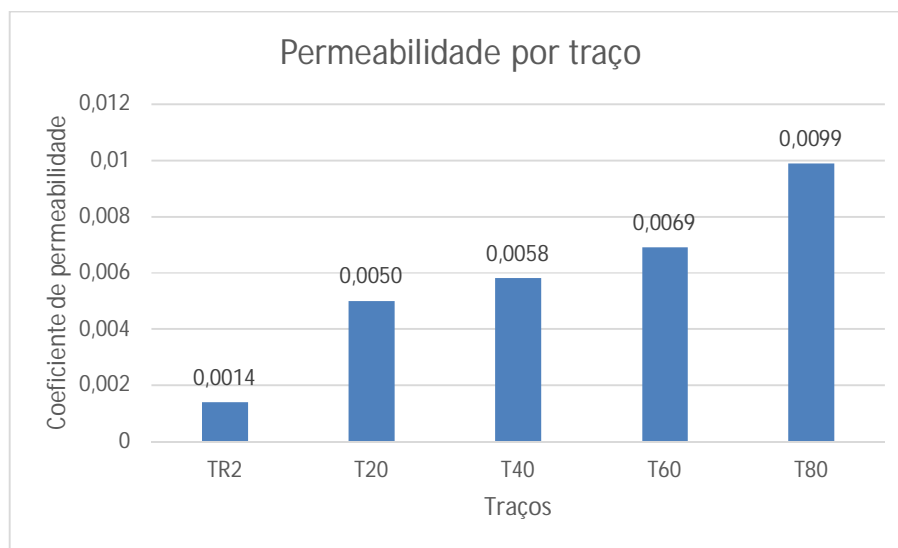


Figura 10: Condutividade hidráulica média

TR2 – Traço referência com 0% de substituição de agregado de resíduos mistos

T20 – Traço com 20% de substituição de agregado de resíduos mistos

T40 – Traço com 40% de substituição de agregado de resíduos mistos

T60 – Traço com 60% de substituição de agregado de resíduos mistos

T80 - Traço com 80% de substituição de agregado de resíduos mistos

Fonte: próprio autor (2020)

Os valores de resistência unitária e média, o desvio padrão e a resistência mecânica estimada estão representados nas tabelas 16 a 20 e na figura 11. Os corpos

de prova foram rompidos aos 28 dias de idade com resistência variando entre 5,32 a 29,56 MPa, com algumas amostras com resultados abaixo dos limites estipulados pela NBR 16416 - ABNT (2015), que recomenda para peças de concreto permeável com tráfego leve resistência ≥ 20 MPa.

Tabela 16: Resistência à compressão: Traço referência com 0% de substituição de agregado de resíduos mistos – TR2

TR2	Idade: 28 dias		Índice Forma:2	
Corpo Prova	Medidas (CxLxE) mm	Peso (kg)	Carga Ruptura Newton (N)	Resistência MPa
1	201 x 99 x 79	3,25	202213,12	35,64
2	202 x 101 x 81	3,59	170439,58	30,04
3	202 x 100 x 80	3,41	192406,47	33,91
4	202 x 102 x 80	3,45	175735,17	30,97
5	202 x 102 x 79	3,45	194563,94	34,29
6	202 x 102 x 80	3,51	160436,79	28,27
Soma:				193,11
Resistência Média:				32,18
Desvio Padrão:				2,85
Variação				7,37
Coeficiente de Student (Nível de confiança 80%):				0,92
Resistência à Compressão Estimada (f_{pk,est}):				29,56

Fonte: próprio autor (2020)

Tabela 17: Resistência à compressão: Traço com 20% de substituição de agregado de resíduos mistos – T20

T20	Idade: 28 dias		Índice Forma:2	
Corpo Prova	Medidas (CxLxE) mm	Peso (kg)	Carga Ruptura Newton (N)	Resistência MPa
1	199 x 99 x 795	3,25	144942,29	25,54
2	200 x 100 x 79	3,19	107186,68	18,89
3	200 x 100 x 80	3,24	126996,12	22,38
4	200 x 100 x 805	3,39	117679,80	20,74
5	200 x 100 x 805	3,46	131409,11	23,16
6	200 x 100 x 805	3,52	141117,69	24,87
Soma:				135,58
Resistência Média:				22,60
Desvio Padrão:				2,51
Variação				6,65
Coeficiente de Student (Nível de confiança 80%):				0,92
Resistência à Compressão Estimada (f_{pk,est}):				20,29

Fonte: próprio autor (2020)

Tabela 18: Resistência à compressão: Traço com 40% de substituição de agregado de resíduos mistos – T40

T40	Idade: 28 dias	Índice Forma:2		
Corpo Prova	Medidas (CxLxE) mm	Peso (kg)	Carga Ruptura Newton (N)	Resistência MPa
1	200 x 100 x 80	3,28	120915,99	21,31
2	199 x 98 x 80	3,19	126603,85	22,31
3	200 x 100 x 80	3,25	88357,92	15,57
4	200 x 100 x 80	3,19	115914,60	20,43
5	200 x 100 x 80	3,24	81395,2	14,34
6	200 x 100 x 805	3,38	106304,09	18,73
Soma:				112,70
Resistência Média:				18,78
Desvio Padrão:				3,21
Variação				7,97
Coeficiente de Student (Nível de confiança 80%):				0,92
Resistência à Compressão Estimada (f_{pk,est}):				15,83

Fonte: próprio autor (2020)

Tabela 19: Resistência à compressão: Traço com 60% de substituição de agregado de resíduos mistos – T60

T60	Idade: 28 dias	Índice Forma:2		
Corpo Prova	Medidas (CxLxE) mm	Peso (kg)	Carga Ruptura Newton (N)	Resistência MPa
1	200 x 99 x 80	3,06	63645,16	11,22
2	199 x 98 x 80	3,04	65508,42	11,54
3	200 x 100 x 80	3,01	70509,81	12,43
4	199 x 98 x 80	3,14	68842,68	12,13
5	200 x 90 x 80	3,20	63252,89	11,15
6	200 x 100 x 805	3,40	101400,76	17,87
Soma:				76,33
Resistência Média:				12,72
Desvio Padrão:				2,57
Variação				6,72
Coeficiente de Student (Nível de confiança 80%):				0,92
Resistência à Compressão Estimada (f_{pk,est}):				10,36

Fonte: próprio autor (2020)

Tabela 20: Resistência à compressão: Traço com 80% de substituição de agregado de resíduos mistos – T80

T80		Idade: 28 dias		Índice Forma:2	
Corpo Prova	Medidas (CxLxE) mm	Peso (kg)	Carga Ruptura Newton (N)	Resistência MPa	
1	200 x 98 x 80	2,89	24320,49	4,29	
2	200 X 100 X 80	2,94	64527,76	11,37	
3	199 X 98 X 80	2,94	38344,00	6,76	
4	200 X 100 X 80	2,93	37069,14	6,53	
5	199 X 98 X 80	2,99	54623,04	9,63	
6	200 X 100 X 80	2,98	40697,6	7,17	
Soma:				45,75	
Resistência Média:				7,62	
Desvio Padrão:				2,50	
Variação				7,08	
Coeficiente de Student (Nível de confiança 80%):				0,92	
Resistência à Compressão Estimada (fpk,est):				5,32	

Fonte: próprio autor (2020)

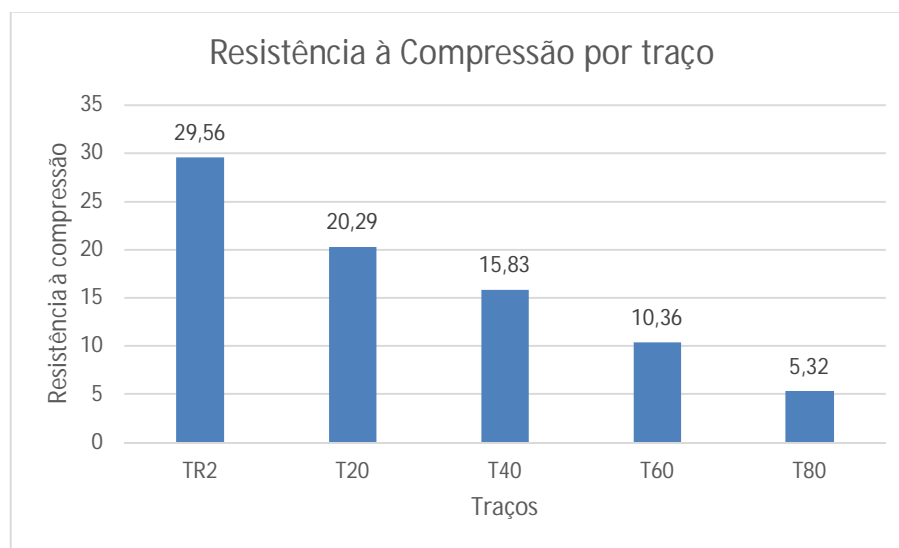


Figura 11: Resistência à compressão média

TR2 – Traço referência com 0% de substituição de agregado de resíduos mistos

T20 – Traço com 20% de substituição de agregado de resíduos mistos

T40 – Traço com 40% de substituição de agregado de resíduos mistos

T60 – Traço com 60% de substituição de agregado de resíduos mistos

T80 - Traço com 80% de substituição de agregado de resíduos mistos

Fonte: próprio autor (2020)

Na tabela 21 é apresentado um comparativo entre os resultados do coeficiente de permeabilidade e a resistência à compressão.

Tabela 21: Resistência à compressão x permeabilidade

Amostra	f _{pk,est} (MPa)	Permeabilidade (m/s)
TR2	29,56	0,0014
T20	20,29	0,0050
T40	15,83	0,0058
T60	10,36	0,0069
T80	5,32	0,0099

TR2 – Traço referência com 0% de substituição de agregado de resíduos mistos

T20 – Traço com 20% de substituição de agregado de resíduos mistos

T40 – Traço com 40% de substituição de agregado de resíduos mistos

T60 – Traço com 60% de substituição de agregado de resíduos mistos

T80 - Traço com 80% de substituição de agregado de resíduos mistos

Fonte: próprio autor (2020)

Foi analisado o peso específico dos corpos de prova conforme demonstrado na tabela 22.

Tabela 22: Peso específico médio

Amostra	Massa Específica (kg)
TR2	3,44
T20	3,34
T40	3,26
T60	3,14
T80	2,95

TR2 – Traço referência com 0% de substituição de agregado de resíduos mistos

T20 – Traço com 20% de substituição de agregado de resíduos mistos

T40 – Traço com 40% de substituição de agregado de resíduos mistos

T60 – Traço com 60% de substituição de agregado de resíduos mistos

T80 - Traço com 80% de substituição de agregado de resíduos mistos

Fonte: próprio autor (2020)

5. DISCUSSÃO

Analisando os resultados apresentados observa-se que quando há substituição do agregado natural por agregado reciclado aumenta-se a permeabilidade, porém reduz consideravelmente a resistência mecânica à compressão.

A porosidade do agregado reciclado apresentada na tabela 10 justifica o aumento na permeabilidade dos corpos de prova com agregado reciclado comparados com amostra com agregado natural (TR2).

A redução na resistência pode ter, entre outras razões, a ampla variabilidade de origens dos materiais presentes na composição do agregado reciclado, o qual não apresentam índices de resistência à compressão semelhantes. Entretanto a amostra T20 apresentou resistência superior ao mínimo exigido pela norma, sendo considerado aceitável (acima de 20 MPa). Os traços T40, T60 e T80 apresentaram resistência à compressão inferior ao mínimo exigido para peças com tráfego de veículos leve, porém, seu uso pode ser avaliado para pavimentação de áreas que não possuem trânsito de veículos.

Observa-se que a massa específica dos corpos de prova com agregado reciclado é menor que os corpos de prova com agregado natural. Resultado este que se justifica devido massa específica do agregado reciclado ser menor que massa específica do agregado natural conforme apresentado nas tabelas 8 e 9.

Apresentaram bons resultados os traços TR2 e T20 com resistência mecânica e permeabilidade aceitáveis, sendo o melhor resultado o traço que utilizou 20% de substituição de agregado natural por agregado reciclado. Quanto à permeabilidade, vale ressaltar que todos os traços tiveram coeficiente de permeabilidade acima do mínimo estipulado pela norma regulamentadora.

6. CONCLUSÃO

A substituição do agregado graúdo natural por agregado reciclado da construção civil na produção de peças de concreto permeável para tráfego leve é viável em até 20%. A substituição acima deste valor resulta em resistências abaixo do mínimo estipulado pela norma, ou seja, os elementos não poderão ser utilizados para locais com tráfego leve (e acima) de veículos.

Assim, reaproveitar os resíduos mostra-se possível resolvendo desta forma grande parte dos problemas de destinação incorreta dos resíduos de construção e demolição, assim como aqueles decorrentes da exploração de recursos naturais para obtenção de matéria prima virgem utilizadas na construção civil. Por meio do uso desse pavimento permeável é possível aumentar a infiltração das águas pluviais no solo proporcionando o reabastecimento do lençol freático e reduzindo o escoamento superficial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. O desafio da sustentabilidade na construção civil. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 2011.

ÂNGULO, S. C.; CARELI, E. D.; MIRANDA, L. F. R. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. Porto Alegre. Ambiente Construído, v. 9, n. 1, p. 57 – 71, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO – ABRAMAT. Perfil da indústria de Materiais de Construção. FGV Projetos, 2016. Disponível em: <http://www.abramat.org.br/datafiles/publicacoes/perfil-2016.pdf>. Acesso em: 10/09/2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Guia básico de utilização do cimento Portland. 10º ed. rev. São Paulo: ABCP, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 53: Agregado graúdo – determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 5733: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 9775: Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 9939: Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 10004: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

_____. NBR 15116: Agregados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural: requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA – ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017. São Paulo, 2017. Disponível em: <http://belasites.com.br/clientes/abrelpe/abrelpe/site/wp-content/uploads/2018/09/SITE-grappa-panoramaAbrelpe-ago-v4.pdf>. Acesso em: 20/06/2019.

_____. ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://a3p.jbrj.gov.br/pdf/ABRELPE%20%20Panorama2015.pdf>. Acesso em: 07/09/2019.

AYOADE J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. Trad. Maria Juraci Zani dos Santos. São Paulo, Ed Difel, 1986.

BATEZINI, R. Estudo Preliminar de Concretos Permeáveis como Revestimento de Pavimentos para Áreas de Veículos Leves. São Paulo, Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

BIANCHINI, G.; MARROCCHINO, E.; TASSINARI, R.; VACCARO, C. Recycling of construction and demolition waste materials: a chemical-mineralogical appraisal. Waste Management. Corso Ercole I D'Este n. 32, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1986.

_____. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2002.

_____. Resolução nº 348, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2004.

_____. Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2011.

_____. Presidência da República. Lei Federal nº 12.305, de 2 agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n 9.605, de 12 de fevereiro 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010.

_____. Programa de Educação Ambiental e Mobilização Social em Saneamento (PEAMSS). Caderno metodológico para ações de educação ambiental e mobilização social em saneamento. Brasília, 2009.

BROWN, R. Building a Sustainable Society. London, Toronto: Worldwatch Institute, 1981.

CAMARGO QUÍMICA. CQ PRESS MIX PLUS Plastificante e impermeabilizante. Disponível em: www.camargoquimica.com.br. Acesso em 12/06/2019.

CAMPANA, N. A., TUCCI, C. E. M. Estimativa de área impermeável de macro-bacias urbanas. In: RBE – Caderno de Recursos Hídricos. Vol. 12 nº 2. 1994.

CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo. Oficina de Textos. 2015.

CENTRO REGIONAL DE INFORMAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - UNRIC. Informações sobre a ONU, 2018. Disponível em: <https://www.unric.org/pt/informacao-sobre-a-onu>. Acesso em 12/06/2019.

CHRISTOFOLETTI, A. Impactos no meio ambiente ocasionado pela urbanização no mundo tropical. In: SOUZA, M. A. et al. (Org.). Natureza e sociedade de hoje: uma leitura geográfica, São Paulo. Hucitec: ANPEGE, p. 127 – 138, 2002.

CIMENTOS LIZ. Cimento Portland CP V-ARI Premium. Disponível em: <http://www.cimentosliz.com.br/cimento/detalhar/0000AAAAA0A5A1A520000>. Acesso em 20/06/2019.

CONFERÊNCIA DA ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO - CNUMAD. Agenda 21. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente; 1997.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEL – CBCS. Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas, 2014. Disponível em: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/CBCS_PT_Aspectos%20da%20Construcao%20Sustentavel_2014-web.pdf. Acesso em 17/08/2019.

COUTINHO, A. P. Pavimento permeável como técnica compensatória na drenagem urbana da cidade de Recife. Recife. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, 2011.

GIBBONS, J. Pavements and Surface Materials. University of Connecticut Cooperative Extension, Technical Paper number 8, 1999, p. 1-7.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Demográfico 1950/2010. Disponível em: <http://www.seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=CD91>. Acesso em 12 ago. 2019.

_____. - IBGE. Pesquisa nacional de saneamento Básico. Disponível em: <https://ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-de-saneamento-basico.html?edicao=18098&t=sobre>. 2000. Acesso em 17/08/2019.

INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DA HABITAÇÃO ECOLÓGICA - IDHEA. Construção Sustentável. Disponível em: http://idhea.com.br/construcao_sustentavel.asp. Acesso em: 11/09/2019.

JOHN, V. M. Reciclagem de resíduos na Construção Civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. Tese (Livre docência) – Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOUNG, Y. M. Evaluation and optimization of pervious concrete with respect to permeability and clogging. Thesis. Texas A&M University. December 2008.

KIBERT, C. J. Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction, Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction of CIB TG 16. Pp. 917. Center for Construction and Environment, University of Florida, Tampa, Florida, 1994.

LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Departamento de Engenharia Civil – Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, 2001.

MACEDO, T. F.; LAFAYETTE, K. P. V.; GUSMÃO, A. D.; SUKAR, S.F. Reaproveitamento de agregados reciclados de RCD para utilização em obras geotécnicas. In: V ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, Recife, 2009.

MAGALHÃES, F. (Ed.). Regiões metropolitanas no Brasil: um paradoxo de desafios e oportunidades. Washington, DC: Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2010.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. Melhores Práticas Pavimento Intertravado Permeável. Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011.

MOTTA, L. M. G.; FERNANDES, C. Utilização de Resíduo sólido da construção civil em pavimentação urbana. 12º Reunião de Pavimentação Urbana, ABPv, Aracaju, Sergipe. 2003.

NOJI E.K., editor. Impacto de los desastres em la salud publica. Washington (DC): Organización Panamericana de la Salud; 2000.

OBLA, K. Pervious Concrete for Sustainable Development. Proceedings of the First International Conference on Recent Advances in Concrete Technology, Whashington, DC, 2007, proceedings.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS-ONU. Relatório da UM-HABITAT, Nações Unidas, 2016.

PEREIRA, E.; MEDEIROS, M. H. F. de; LEVY, S. M. Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica. Ambiente Construído, v. 12, n. 3, jul/set. 2012, p. 125-134.

PINDADO, M. Á., AGUADO, A., JOSA, A. Fatigue behavior of Polymer-modified porous concretes. Cement and Concrete Research, v. 29, n. 7, 1999; p. 1077-1083.

PINTO, T. P. Reaproveitamento de resíduos da construção. Revista Projeto, São Paulo, 1987.

QUEBAUD, M. R.; ZAHARIEVA, R.; WIRQUIN, E.; BUYLE-BODIN, F. Influência do teor em agregados provenientes da reciclagem de materiais de demolição (agregados reciclados) na permeabilidade do concreto, 41º Congresso Brasileiro do Concreto, Salvador, Brasil, 1999.

RECH, A. U., RECH A. Direito Urbanístico: Fundamentos para a construção de um plano diretor sustentável na área urbana e rural. Educs. Caxias do Sul/RS, 2010.

SANTOS, M. A. Urbanização brasileira. 5. Ed. São Paulo: Edusp, 2005.

SUZUKI, C. Y., AZEVEDO, A. M., KABBACH, F. I. J., Drenagem subsuperficial de pavimentos – conceitos e dimensionamento, São Paulo. Oficina de Textos, 2013.

SCHAEFER, V. R., WANG, K., SULEIMAN, M. T., KEVERN, J. T. Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates. Ames, IA, National Concrete Pavement Technology Center, Final Report, February 2006.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO - SINDUSCON-SP. Gestão ambiental de resíduos sólidos da construção civil, São Paulo. 2005. Disponível em :http://www.cuiaba.mt.gov.br/upload/arquivo/Manual_Residuos_Solidos.pdf . Acesso em 09/09/2019.

SCHUELER, T., Controlling urban runoff: A practical manual for planning and designing urban BMPs, 1987.

TABSH, S. W.; ABDELFAH, A. S. Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. Construction and Building Materials, n. 23, p. 1163-1167, 2009.

URBONAS, B.; STAHR, P. Stormwater Best Management Practices and Detention, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.

USA, The United States of America. Resource Conservation and Recovery Act of 1976 as amended. In: Hall Jr. RM, Watson T, Schwartz RE, Bryson NS, Davis Jr RC. RCBA hazardous wastes handbook. 8^o ed. Rockville: Government Institutes; 1989.

VIDAL, A. S. Caracterização de concreto permeável produzido com agregados reciclados de construção e demolição para utilização em pavimentação permeável em ambiente urbano, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 2014.

ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. F. A. Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

ZORDAN, S. E.; PAULON, V.A. A utilização do entulho como agregado para concreto. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Dissertação de Mestrado, 1997. Disponível em: <https://www.reciclagem.pcc.usp.br> . Acesso em: 07/09/2019.

WU, H., HUANG, B., SHU, X., DONG, Q. Laboratory Evaluation of Abrasion Resistance of Portland Cement Pervious Concrete. *J. Mater. Civ. Eng.* v. 23, 2011; p. 697-702.