



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFRAESTRUTURA E
DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO

THAINÁ MARIA DA COSTA OLIVEIRA

**A INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

THAINÁ MARIA DA COSTA OLIVEIRA

**A INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético. Área de concentração: Infraestrutura

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro

Tucuruí-PA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

- O48i Oliveira, Thainá Maria da Costa.
A INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS RECICLADOS DE
RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL: UMA
REVISÃO SISTEMÁTICA / Thainá Maria da Costa Oliveira. —
2023.
99 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Luciana de Nazaré Pinheiro
Cordeiro
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Infraestrutura e Desenvolvimento Energético, Tucuruí, 2023.
1. Agregado reciclado. 2. Concreto permeável. 3.
Resíduo da construção civil. 4. Revisão sistemática da
literatura. I. Título.

CDD 620.136

THAINÁ MARIA DA COSTA OLIVEIRA

**A INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético. Área de concentração: Infraestrutura.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro.

Aprovada em 27 de janeiro de 2023.

BANCA EXAMINADORA:

Prof.^a Dra. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro / UFPA / Orientadora

Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara / UFPA / Examinador Interno

Prof. Dr. Daniel Tregnago Pagnussat / UFRGS / Examinador Externo

Prof. Dr. Frederico Guilherme Pamplona Moreira / UFPA / Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por seu amor incondicional, por ter guiado o meu caminho e ter me dado permissão de concluir mais uma etapa da minha vida profissional. Agradeço a toda a minha família, em especial, aos meus pais, Pedro e Gleice, por todos os ensinamentos, aprendizados transmitidos durante o meu crescimento e por serem meus maiores incentivadores na vida.

As minhas irmãs, Thais e Thamires. A minha avó Maria e a minha prima Vânia com toda a sua família, por terem me acolhido com tanto amor e carinho durante o período que estava fazendo as matérias do mestrado.

Aos meus avôs, José e Rocha (*in memoriam*), que permanecem no meu coração e em minha memória. Tenho certeza que eles estão ao meu lado, iluminando e protegendo o meu caminho.

Agradeço a minha orientadora, Prof^a. Dra. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro, pela orientação e por todos os conhecimentos repassados. Além disso, agradeço a sua paciência e o seu incentivo incansável para a realização da pesquisa, apesar de todos os momentos difíceis que enfrentamos durante a Pandemia

Agradeço ao meu namorado, Rafael, por ter me escutado nos momentos de aflições, por sua ajuda e palavras de incentivo ao longo desses últimos meses decisivos.

Agradeço a todos os meus amigos que fiz em Tucuruí e que estiveram ao meu lado durante essa trajetória, em especial ao Jayron Ribeiro e João Victor Palheta, que sempre foram presentes ao longo dessa caminhada e me apoiaram nos momentos de dificuldade.

Por fim, manifesto meus mais sinceros agradecimentos a todos que de alguma maneira contribuíram para a conclusão de mais uma etapa importante da minha vida. Muito obrigada!

RESUMO

O desenvolvimento sustentável no setor da construção civil vem proporcionando cada vez mais o avanço de pesquisas acerca de tecnologias sustentáveis com a finalidade de mitigar os problemas ocasionados por esse setor. Diante do exposto, uma medida sustentável que visa à diminuição do consumo de recursos naturais e o descarte irregular de resíduos é a prática da reutilização e/ou reciclagem de RCC, e como solução do controle de enchentes propõe-se a utilização de concreto permeável (CPER). Em virtude da falta de padronização e divergência dos procedimentos determinados para a caracterização do CPER com agregado reciclado, tornou-se necessário analisar o conhecimento científico desse material e evidenciar a viabilidade do uso de RCC na produção do CPER. Diante do exposto, a presente pesquisa visa contribuir com o conhecimento acerca da utilização de agregados reciclados na produção de concreto permeável, por meio da seleção de artigos nas bases de dados dos últimos 15 anos, com a finalidade de avaliar as propriedades adquiridas pelos materiais com diferentes tipos, tamanhos e teores de agregados reciclados. A presente pesquisa utilizou a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) como metodologia para a condução do estudo. Os artigos foram coletados das quatro bases científicas mais conceituadas em publicações referentes a temas relacionados à construção civil. Para a triagem dos artigos e elaboração da RSL, foi utilizada a ferramenta *StArt* e a extração de dados dos estudos foi definida no protocolo de pesquisa elaborado. Os resultados mostraram que o assunto ganhou maior relevância no ano de 2016, a base de dados *Science Direct* apresentou o maior número de artigos, 80% dos trabalhos utilizaram agregados graúdos na produção do CPER, os percentuais de substituição mais utilizados entre as pesquisas foram 100% e 50%. Já os resíduos de concreto estrutural e misto foram os mais utilizados como agregados reciclados na produção do CPER. Foi possível notar grande dispersão entre os dados coletados nas pesquisas e os materiais componentes do CPER. Além do mais, verificou-se que todos os tipos de agregados atingiram os valores de resistência e porosidade determinados pelo ACI e a permeabilidade atendeu as duas normas, exceto o resíduo de vidro. Deste modo, avaliou-se a aplicação do agregado reciclado na produção do CPER sendo uma solução adequada para os problemas de despejo irregular de resíduos e escassez de agregados naturais.

Palavras-chave: Agregado reciclado. Concreto permeável. Resíduo da construção civil. Revisão sistemática da literatura.

ABSTRACT

Sustainable development in the civil construction sector has been increasingly promoting the advancement of research on sustainable technologies in order to mitigate the problems caused by this sector. In view of the above, a sustainable measure that aims to reduce the consumption of natural resources and the irregular disposal of waste is the practice of reuse and/or recycling of RCC, and as a solution to flood control, the use of permeable concrete (CPER) is proposed. Due to the lack of standardization and divergence of the procedures determined for the characterization of the CPER with recycled aggregate, it became necessary to analyze the scientific knowledge of this material and demonstrate the feasibility of using RCC in the production of the CPER. In view of the above, this research aims to contribute to the knowledge about the use of recycled aggregates in the production of pervious concrete, through the selection of articles in databases from the last 15 years, in order to evaluate the properties acquired by materials with different types, sizes and contents of recycled aggregates. The present research used the Systematic Literature Review (RSL) as methodology for conducting the study. The articles were collected from the four most prestigious scientific bases for publications on themes related to civil construction. To screen the articles and prepare the RSL, the StArt tool was used, and data extraction from the studies was defined in the research protocol prepared. The results showed that the subject gained more relevance in the year 2016, the Science Direct database presented the highest number of articles, 80% of the works used coarse aggregates in the production of CPER, the percentages of substitution most used among the researches were 100% and 50%. Structural and mixed concrete waste were the most used as recycled aggregates in the production of CPER. It was possible to note great dispersion between the data collected in the surveys and the component materials of the CPER. Moreover, it was found that all types of aggregates met the strength and porosity values determined by the ACI and the permeability met both standards, except for the glass waste. Thus, the application of recycled aggregate in the production of CPER was evaluated as an adequate solution to the problems of irregular waste disposal and shortage of natural aggregates.

Keywords: Recycled aggregate. Pervious concrete. Civil construction waste. Systematic review literature.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Estrutura do concreto convencional e do concreto permeável.....	19
Quadro 2.1 – Resistência mecânica e espessura mínima do concreto permeável ...	26
Quadro 2.2 – Considerações acerca dos métodos de dosagem presentes na literatura.	31
Figura 3.1 – Fluxograma da estrutura de pesquisa.	36
Quadro 3.1 – Estratégia de busca.....	37
Figura 3.2 – Descrição geral sobre o processo de RSL	39
Figura 4.1 – Resultado de pesquisa nas bases de dados	42
Figura 4.2 – Evolução da pesquisa sobre CPER nas bases de dados	43
Figura 4.3 – Resultado de pesquisa nas bases de dados	43
Figura 4.4 – Resultado da extração de informações dos artigos.....	44
Figura 4.5 – Gráfico de dispersão de resistência a compressão.....	45
Figura 4.6 – Gráfico de dispersão de porosidade.....	46
Figura 4.7 – Gráfico de dispersão de permeabilidade.....	47
Figura 4.8 – Gráfico de análise da resistência à compressão do CPER em relação ao tipo de agregado.	51
Figura 4.9 – Gráfico de análise da porosidade do CPER em relação ao tipo de agregado.	52
Figura 4.10 – Gráfico de análise da permeabilidade do CPER em relação ao tipo de agregado.	53
Figura 4.11 – Gráfico de análise da resistência à compressão do CPER em relação ao percentual de substituição.....	55
Figura 4.12 – Gráfico de análise da porosidade do CPER em relação ao percentual de substituição.	55
Figura 4.13 – Gráfico de análise da permeabilidade do CPER em relação ao percentual de substituição.....	56
Figura 4.14 – Percentual de combinações que atenderam a resistência a compressão exigida em normas.....	58
Figura 4.15 – Percentual de combinações que atenderam a porosidade exigida em norma.	58
Figura 4.16 – Percentual de combinações que atenderam a permeabilidade exigida em normas.	59

Figura 4.17 – Florest plot de resistência a compressão.	65
Figura 4.18 – Gráfico de funil das combinações correlacionadas com a resistência à compressão.....	66
Figura 4.19 – Florest plot de porosidade.....	67
Figura 4.20 – Gráfico de funil das combinações correlacionadas com a porosidade ..	68
Figura 4.21 – Gráfico comparativo de resistência à compressão.....	70
Figura 4.22 – Gráfico comparativo de porosidade.....	71
Figura 4.23 – Gráfico comparativo de permeabilidade.....	72
Quadro B.1– Padrão de nomenclatura das amostras	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Consumo de materiais para produção do concreto permeável	21
Tabela 2.2 - Coeficiente de permeabilidade	25
Tabela 2.3 - Caracterização física dos agregados	28
Tabela 4.1 – Frequência de dados por tamanho do agregado.....	49
Tabela 4.2 – Análise das propriedades do CPER em relação a granulometria utilizada nos artigos selecionados na RSL.	49
Tabela 4.3 – Frequência de dados por tipo de agregado	50
Tabela 4.4 – Frequência de dados por teor de substituição de agregado.....	54
Tabela 4.5 – Análise das propriedades do CPER em relação a combinação de fatores.	57
Tabela 4.6 – Correlação entre as propriedades	63
Tabela C.1 – Análise das propriedades do CPER em relação ao tipo de agregado utilizado nos artigos selecionados na RSL.	84
Tabela C.2 – Análise das propriedades do CPER em relação ao percentual de substituição utilizados nos artigos selecionados na RSL.	84
Tabela C.3 – Análise das propriedades do CPER em relação a combinação de fatores utilizados nos artigos selecionados na RSL.	85

LISTA DE SIGLAS

ABNT– Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI – American Concrete Institute
AGRN – Agregado Natural
AGRR – Agregado Reciclado
ALBREPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção
BC – Resíduo de Blocos de Concreto
BCV – Resíduo de Tijolo de Cerâmica Vermelha (BCV); e.
C – Resíduo de Concreto
COMB. – Combinado
CPER – Concreto Permeável
EUA – Estados Unidos da América
Fc – Resistência a compressão
GPMAC – Grupo de Pesquisa em Materiais de Construção Civil
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
k – Permeabilidade
LaPES – Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software
M – Resíduo de Construção Civil Misturado
NA – Natura
PA – Pavimento Asfáltico
PC – Pavimento de Concreto
RCC – Resíduo da Construção Civil
RCD – Resíduo de Construção e Demolição
RSL – Revisão Sistemática da Literatura
SDUS – Sistema de Drenagem Urbana Sustentável
v – Porosidade
V – Vidro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Justificativa.....	15
1.2. Objetivos.....	16
1.2.1. Objetivo geral.....	16
1.2.2. Objetivos específicos.....	16
1.3. Estrutura da dissertação.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. Concreto permeável: características e aplicações.....	18
2.1.1. Materiais componentes.....	20
2.1.2. Porosidade.....	22
2.1.3. Permeabilidade.....	24
2.1.4. Propriedades mecânicas.....	25
2.2. Características dos agregados reciclados.....	27
2.3. Métodos de dosagem para concretos permeáveis.....	30
2.4. Revisão sistemática.....	33
3. METODOLOGIA.....	35
3.1. Estrutura da pesquisa.....	35
3.2. Busca de dados.....	36
3.3. Triagem dos artigos.....	38
3.4. Análise de dados.....	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1. Análise das publicações sobre concreto permeável produzido com agregado reciclado de RCC.....	42
4.2. Análise de dispersão das amostras.....	45
4.3. Análise da granulometria nas características do concreto permeável com agregado reciclados.....	48
4.4. Análise do tipo de agregado nas características do concreto permeável.....	50
4.5. Análise do efeito do percentual de substituição no comportamento do CPER.....	53
4.6. Análise da combinação de fatores no comportamento do CPER.....	56
4.7. Correlação entre as propriedades.....	61
4.8. Metanálise.....	63

4.9. Análise dos resultados com base nas normas.....	68
5. CONCLUSÃO.....	73
6. ANEXOS.....	75
6.1 Anexo A – Padronização de nomenclatura.....	77
6.2 Anexo B – Análise das propriedades do CPER.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional nos centros urbanos do país devido ao êxodo rural provocou um crescimento nas cidades e, conseqüentemente, observa-se o aumento nas construções de moradias, prédios comerciais e indústrias, de modo que o elevado número de obras gera um crescimento urbano desordenado e provoca sérios problemas na infraestrutura das cidades, dentre eles pode-se citar o descarte inadequado de materiais provenientes dos setores industriais.

A união desses fatores acarreta alterações no ciclo hidrológico, as quais afetam diretamente o sistema de drenagem das cidades e ocasionam enchentes, em virtude da impermeabilização do solo, consequência da urbanização.

De acordo com Tucci (2002), o fenômeno causado pela ocupação do solo em áreas urbanas impede a passagem de fluídos e contribui para o aumento da ocorrência de inundações decorrente do escoamento de água pluvial.

Pereira e Barbosa (2015) enfatizam que o crescimento populacional somado ao aumento da geração de resíduo e a sua disposição irregular geram regiões de pouca permeabilidade que acabam contribuindo diretamente para a ocorrência de enchentes nas grandes cidades.

De acordo com os dados mais recentes disponibilizados pelos órgãos competentes é possível quantificar os impactos ambientais consequentes da urbanização. Em 2017, 93% dos municípios brasileiros com mais de 500 mil habitantes foram atingidos por alagamentos. Em 2020 foi coletado em torno de 47 milhões de toneladas de RCD gerados em obras e, no ano de 2019 estimou-se que o consumo de agregados naturais foi cerca de 540 milhões de toneladas (ABRELPE, 2021; ANEPAC, 2018; IBGE, 2018).

A discussão acerca do desenvolvimento urbano e dos impactos ambientais gerados em decorrência da transformação do espaço inclui o setor da construção civil, considerado o setor responsável pelo crescimento das cidades e que se destaca por ser um grande consumidor de materiais, utilizando de 20% a 50% dos recursos naturais totais consumidos pela sociedade (PAZ e LAFAYETTE, 2016).

Nesta perspectiva, os agregados devem ser compreendidos como recursos naturais não renováveis bastante utilizados na indústria da construção como componentes de argamassa e concreto, de tal modo que se estima que esse

material constitua aproximadamente 75% do volume total do concreto, sendo um dos recursos naturais mais explorados (MO et al, 2020; NEVILLE e BROOKS, 2013).

Considerando que a produção e a utilização de concreto como material de construção se encontram em constante aumento, há um crescimento no consumo de agregados naturais, visto que esse material é o maior componente do concreto (NGUYEN et al, 2017).

Com isso, se busca cada vez mais desenvolver pesquisas a fim de minimizar os impactos dessa relação para o meio ambiente e para as cidades. Desse modo, uma medida alternativa que visa à diminuição do consumo de recursos naturais e o descarte irregular de resíduos é a prática da reutilização e/ou reciclagem desse material e, em se tratando do problema das enchentes, fenômeno comum nas grandes cidades, a utilização de concreto permeável pode ser apontada como uma solução para a produção de pavimentos, visto que esse material diminui a velocidade do escoamento superficial das águas pluviais.

Tanto é assim que a utilização de agregados graúdos reciclados de resíduo de construção e demolição aplicada na produção de concreto permeável é considerada uma solução sustentável com múltiplos benefícios ambientais, podendo ser apontada como uma alternativa para mitigar os impactos ambientais causados pelo setor da construção civil (VIDAL, 2014; YAP et al., 2018).

Além disso, devido à falta de padronização e divergência dos procedimentos determinados para a caracterização do CPER com agregado reciclado torna-se necessário evidenciar o conhecimento científico por meio da RSL. Dessa forma, importante mencionar que a RSL emprega um método de revisão de literatura capaz de avaliar e sintetizar o conjunto de evidências dos estudos científicos para obter uma visão geral do assunto. Além do mais, engloba pesquisas para responder uma questão-problema, realizando um estudo crítico da literatura existente (BRASIL, 2012).

De acordo com o exposto, o presente estudo busca desenvolver e favorecer um maior entendimento quanto ao assunto para futuros pesquisadores. Ademais, visa estimular a aplicabilidade do concreto permeável com resíduo de construção e demolição. Assim, a pesquisa visa contribuir com o conhecimento acerca da utilização de agregados reciclados na produção de concreto permeável por meio da seleção de artigos nas bases de dados dos últimos 15 anos, com a finalidade de

avaliar as propriedades adquiridas pelo material com diferentes tipos, tamanhos e teores de agregados reciclados.

1.1. Justificativa

Com o desenvolvimento de práticas sustentáveis dentro do setor da construção civil, a presente pesquisa busca integrar evidências científicas acerca de medidas sustentáveis como: a implantação de concreto permeável como revestimento de pavimentos visando à diminuição da ocorrência de enchentes em grandes cidades e, promover a reciclagem dos resíduos produzidos em obras para evitar o seu descarte irregular em áreas urbanas.

Os resíduos provenientes da construção e demolição podem ser utilizados como matéria-prima para agregados de boa qualidade, podendo ser empregados na produção de vários materiais como: confecção de tijolos, blocos pré-moldados, meio-fio, calçadas, argamassa de revestimento, camadas de base e sub-base de pavimentos. Além disso, possuem custo de produção menor se comparado aos agregados naturais e evitam a extração de matéria-prima, proporcionando ganho ambiental ao setor da construção civil (BRASILEIRO e MATOS, 2015).

De acordo com Akhtar e Sarmah (2018), a produção de resíduos de construção e demolição atinge cerca de três bilhões de toneladas em todo o mundo, que, se gerenciadas adequadamente, podem economizar uma enorme quantidade de energia e ajudar a melhorar a economia local.

Por este motivo, as universidades brasileiras têm desenvolvido cada vez mais pesquisas relacionadas a técnicas de reaproveitamento e/ou reciclagem dos resíduos provenientes da construção civil (KARPINSK et al., 2009).

Devido ao crescente avanço científico, nos últimos 30 anos, confirmou-se a viabilidade do uso de RCD em camadas de base, sub-base e reforço de subleito nas rodovias de baixo volume de tráfego, sendo que essa prática se deu por meio da criação de técnicas de incentivo à reciclagem do resíduo, altos custos e elevada demanda de materiais naturais utilizados no setor da construção civil (ORIOLI, 2018).

Visto que o agregado reciclado é bastante heterogêneo e as suas propriedades influenciam significativamente no desempenho do concreto permeável,

torna-se necessário realizar estudos acerca da substituição do agregado natural (AGRN) por agregado reciclado (AGRR) no concreto permeável e conhecer o seu comportamento.

Tavares e Kazmierczak (2016), afirmam que a elevada porosidade existente nos agregados reciclados pode ser um grande benefício para o concreto permeável, visto que o objetivo é obter uma alta capacidade drenante no material.

Desta forma, a presente pesquisa busca avaliar as evidências científicas sobre a aplicação dos agregados reciclados de resíduo da construção civil e sua influência nas propriedades do concreto permeável aplicado como revestimento de pavimento.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Avaliar as evidências científicas sobre a aplicação dos agregados reciclados de resíduo da construção civil e sua influência nas propriedades do concreto permeável aplicado como revestimento de pavimento.

1.2.2. Objetivos específicos

- Analisar o índice de publicações científicas em base de dados (*Scopus, Science Direct, Web os Science e Engineering Village*) sobre o concreto permeável produzido com agregado reciclado de resíduo da construção civil no período de 2006-2021;
- Avaliar a influência do tipo de agregado nas propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto permeável por meio de evidências científicas;
- Avaliar o efeito do percentual de substituição do agregado reciclado e a sua influência nas propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto permeável;
- Mapear a granulometria do agregado reciclado empregado na produção do concreto permeável e a sua influência nas propriedades mecânicas e hidráulicas;

- Avaliar a aplicação do agregado reciclado de resíduo da construção civil na produção do concreto permeável, em conformidade com as normas de padronização: NBR 16416 e ACI.

1.3. Estrutura da dissertação

O texto da dissertação está estruturado em cinco capítulos que abordam os principais aspectos da pesquisa. O primeiro capítulo trata objetivamente da contextualização e justificativa do tema, mostrando a sua relevância, o objetivo geral e objetivos específicos, a hipótese e as questões de pesquisa.

O segundo capítulo refere-se à revisão bibliográfica elaborada sobre o conceito de concretos permeáveis, suas aplicações, benefícios, materiais componentes e as definições de suas propriedades. O capítulo também faz um apanhado geral sobre o resíduo de construção e demolição, a sua utilização como agregado reciclado, as características desse material e a influência que exercem no comportamento do concreto. Para finalizar, são apresentados os métodos de dosagem mais encontrados na literatura científica com o objetivo de definir as proporções ideais dos materiais que compõem o concreto permeável e a conceituação da revisão sistemática.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada na pesquisa, por meio do planejamento acerca da revisão sistemática da literatura e a definição dos fatores que serão analisados na pesquisa. O capítulo ainda mostra o protocolo de pesquisa utilizado para a seleção de artigos científicos nas bases de dados e os métodos utilizados para a análise dos resultados coletados nos estudos selecionados.

O quarto capítulo trata sobre a análise realizada nos artigos científicos para responder os objetivos da presente pesquisa. Por fim, o quinto capítulo, mostra conclusão do estudo com base na análise realizada e discussão dos resultados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Concreto permeável: características e aplicações

Os primeiros registros da utilização de concreto permeável no mundo foram encontrados na Europa durante o século XIX, mas seu uso só se intensificou após a Segunda Guerra Mundial, em 1945, devido à escassez de cimento e a abundância de destroços das construções. Após o ano de 1970, os Estados Unidos começaram a enfrentar problemas com inundações devido o excessivo escoamento superficial por conta do elevado desenvolvimento urbano, o que provocou o aumento de áreas impermeáveis nas grandes cidades. Assim, a partir do século XXI, o emprego desse material com a função de elemento drenante começou a ganhar grande importância (LAMB, 2014; MULLIGAN, 2005).

O concreto permeável (CPER), também denominado de concreto poroso é definido como um material utilizado em camadas de pavimentação que possui vazios interconectados em sua estrutura, os quais possibilitam a percolação de água por ação da gravidade. É um material composto por aglomerante hidráulico, água, agregados com pouca ou nenhuma quantidade de finos, podendo-se também utilizar adições minerais e aditivos em sua mistura (ABNT, 2015; ACI, 2010).

A estrutura porosa e a interconectividade dos poros presentes no concreto permeável permite a passagem de água por meio de sua matriz. Esse material é considerado uma ferramenta eficiente e sustentável para o controle do escoamento de águas pluviais aplicados aos sistemas de drenagem (YAHIA e KABAGIRE, 2014; ZHONG et al., 2018).

Na Figura 2.1, pode-se observar o comparativo entre as estruturas de concreto convencional e permeável. O concreto convencional, por ser um material impermeável, quando aplicado como revestimento de pavimentos permite o acúmulo de água nas superfícies. Em contrapartida, o concreto permeável possibilita que a água penetre em sua estrutura filtrando-a até retornar ao solo e posteriormente ao lençol freático.

Quando comparado ao pavimento rígido convencional, o pavimento de concreto permeável apresenta vantagens, as quais são: o controle da poluição das águas pluviais na fonte, eliminação da retenção de água em estacionamentos, controle do escoamento de águas pluviais, redução do fenômeno de hidroplanagem

e ruídos de atrito, ao ser aplicado em calçadas, além de possibilitar que o ar e a água alcancem as raízes das árvores (ACI, 2010).

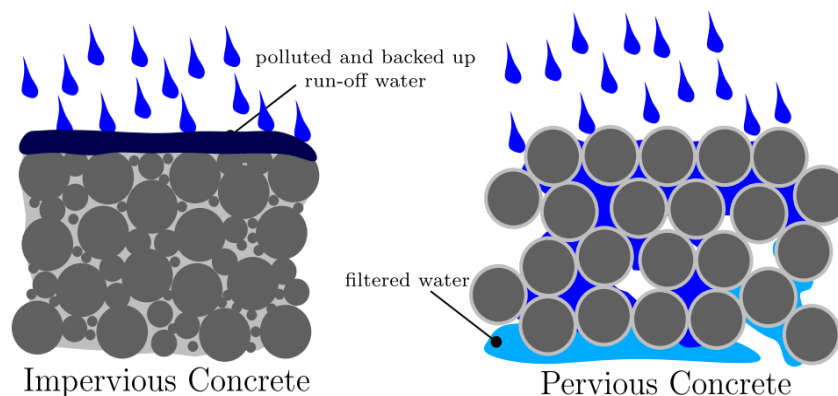


Figura 2.1 – Estrutura do concreto convencional e do concreto permeável

Fonte: Zhong et al. (2018)

Além disso, devido aos vários benefícios que apresenta, o concreto permeável é considerado um material sustentável, dentre eles destacam-se: a redução da impermeabilidade possibilitando a recarga do lençol freático, melhoria da qualidade das águas infiltradas, diminuição do volume de escoamento superficial e ação de erosão dos solos. Quando aplicado como camada de pavimento em vias de tráfego leve, minimizam o fenômeno de aquaplanagem, reduzem o efeito da ilha de calor e o ruído provocado pelo atrito de contato entre a superfície do pavimento e os pneus. Por não necessitar de aquecimento durante a aplicação, diferentemente do pavimento asfáltico, o seu consumo de energia e emissões de gases são reduzidos (TENNIS, et al., 2004; BECHARA, 2017; LU et al, 2019).

Por conta de sua característica filtrante, o pavimento de concreto permeável pode ser utilizado em áreas industriais para diminuir a concentração de metais pesados presentes na água de escoamento, que acarretam a poluição dos corpos hídricos naturais. Esse mecanismo de purificação pode ocorrer devido à presença de caminhos sinuosos na estrutura interna do CPER que permite a absorção dos materiais em suspensão, a natureza alcalina do material que ao entrar em contato com a água poluída libera íons que reagem com os seus poluentes e as atividades microbianas, em virtude dos microrganismos presentes na estrutura porosa do

material, que consomem às impurezas da água e as dissolvem (CHANDRAPPA; BILIGIRI, 2016).

Os pavimentos de concreto permeável são bastante utilizados na Europa, nos Estados Unidos e no Japão, em estacionamentos, pequenas estradas e calçadas, devido à baixa resistência que possui por conta da grande quantidade de vazios presentes em sua estrutura. Destaca-se como o tipo de material mais utilizado no Sistema de Drenagem Urbana Sustentável (SDUS) e sua aplicação estão entre as melhores práticas de gestão reconhecida pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA, devido às vantagens que oferece ao meio ambiente, como: controlar o escoamento de águas pluviais, restaurar o suprimento de água subterrânea e reduzir a poluição da água e do solo (ELIZONDO-MARTÍNEZ et al., 2020; TAVARES e KAZMIERCZAK, 2016; TENNIS et al., 2004).

Além disso, o concreto permeável possui um comportamento hidráulico bastante variado. Isso está relacionado à distribuição granulométrica dos agregados, quantidade de pasta de cimento utilizada, método de compactação executado e à interconectividades dos vazios (SANDOVAL et al., 2019).

Devido à dificuldade de aperfeiçoar as propriedades do concreto permeável, Xie et al (2019) destacaram que é um grande desafio alcançar o equilíbrio entre as características mecânicas e hidráulicas do material, sem comprometer a sua durabilidade.

Vale ressaltar que a implantação de concreto permeável como material de pavimentação em muitos países, em especial nos países emergentes, ainda é pouco praticada devido à ausência de técnicas padronizadas para produção e teste de materiais, tornando-se necessário a busca de pesquisas científicas sobre o assunto (CHANDRAPPA; BILIGIRI, 2016).

2.1.1. Materiais componentes

O concreto permeável é composto de cimento Portland, agregado graúdo, cuja proporção agregado/cimento variam de 4:1 a 6:1, podendo também ter em sua composição agregados miúdos com a finalidade de aumentar a sua resistência, além de aditivos, plastificantes, retardadores de pega e incorporadores ar, caso seja aplicado em locais sujeitos a ação de gelo e degelo para o aumento de sua durabilidade (ACI, 2010; CHANDRAPPA e BILIGIRI, 2016).

Na Tabela 2.1 podem-se verificar as proporções dos materiais comumente utilizados para a produção do concreto permeável.

Tabela 2.1- Consumo de materiais para produção do concreto permeável

MATERIAIS	PROPORÇÕES
Cimento	270 - 475 kg/m ³
Agregado	1190 - 1480 kg/m ³
Relação água/cimento	0,27 - 0,34

Fonte: ACI (2010)

Segundo o estudo de Nguyen et al. (2014), a adição de uma pequena quantidade de agregado miúdo, proporciona maior resistência à compressão, melhor durabilidade e alta resistência aos ciclos de gelo e degelo. Ainda destacaram que, a mistura de concreto permeável consiste em uma relação água/cimento variando de 0,27 a 0,40, sendo maior do que a estabelecida pelo ACI. Nos EUA, a relação água/cimento para o traço típico de concreto permeável varia entre 0,27 e 0,43, e a dimensão dos agregados graúdos mais utilizados é entre 4,76 mm e 25,4 mm (SCHAEFER et al., 2006).

Vale ressaltar que o uso de materiais cimentícios, como cinza volante e escória de alto forno, também podem ser empregados na mistura (ACI, 2010). De acordo com Chen et al. (2019), a substituição do cimento Portland por materiais cimentícios complementares como escória e cinzas volantes, vem ganhando popularidade nos últimos anos como forma de reduzir os impactos ambientais causados pelas indústrias cimenteiras. Além de contribuir com o meio ambiente, é possível otimizar as propriedades do concreto. Diante disso, muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o uso de adições mineiras e fibras a fim de potencializar as propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto permeável, proporcionando melhor desempenho e durabilidade ao material.

Mohammed et al. (2018), analisaram as propriedades do concreto permeável utilizando cinzas volantes como substituição parcial do cimento e nano-sílica como aditivo. A partir dos resultados foi possível verificar que houve um aumento na resistência à compressão do material, sem reduzir sua porosidade e permeabilidade. Destacou também que a junção dos materiais adicionados foi capaz

de melhorar a permeabilidade do concreto permeável. De acordo com Yang (2011), a adição de sílica ativa e fibras de polipropileno melhoraram a durabilidade de congelamento e descongelamento do concreto permeável.

Pils et al. (2019) em seu estudo analisaram as propriedades do concreto permeável com adição de fibras de polipropileno. Verificou-se que ao serem adicionadas à mistura do material, as fibras proporcionaram melhorias na resistência à flexão do concreto permeável.

Zhong et al. (2018) destacam que a resistência do concreto permeável pode ser aumentada por meio da incorporação de uma pequena quantidade de areia fina e/ou mistura de látex, pois esses dois componentes proporcionam uma melhoria na ligação entre as partículas dos agregados da mistura, Yang e Jiang (2003) apontam que a adição desses materiais complementares nas misturas, como: polímeros, sílica ativa e superplastificantes, são capazes de melhorar consideravelmente as resistências dos pavimentos de concreto permeável.

2.1.2. Porosidade

A porosidade é uma das características mais importantes do concreto permeável podendo variar de 15% a 35% para haver a otimização das propriedades mecânicas e a capacidade drenante do material. Vale ressaltar que, essa característica desempenha um papel importante nas propriedades do concreto permeável e é diretamente influenciada pelo tamanho e origem do agregado utilizado na mistura, consumo de material cimentício, relação água/cimento e método de compactação (ACI, 2010; DEO e NEITHALATH, 2011; SCHAEFER et al., 2006).

A estrutura de poros presente em materiais porosos pode ser caracterizada por vários parâmetros, incluindo o tamanho dos poros, a conectividade entre si, a rugosidade e a fração de volumes, a qual corresponde à porosidade do material (LIAN et al., 2011).

De acordo com Montes et al. (2005), a porosidade do concreto permeável tem sido citada com frequência na literatura, mas ainda existem divergências quanto à sua definição e os métodos utilizados para determiná-la, ou seja, como a porosidade é estabelecida e que “tipo” de porosidade é importante para manter a sua capacidade drenante.

Quando se refere à porosidade do concreto permeável devem-se levar em conta três tipos de porosidade, a efetiva, isolada e total. A porosidade efetiva é definida pela relação do volume de vazios conectados e o volume total da amostra, já a isolada é determinado pela relação de vazios isolados e o volume total. Por fim, a porosidade total é estabelecida a partir da soma de vazios conectados e isolados. De acordo com Kim e Lee (2010) as porosidades são determinadas seguindo o “método do volume”: a partir da razão de vazios abertos e/ou porosidade interconectada, e a razão de vazios fechados e/ou porosidade desconectada pelo volume total da amostra. Já a porosidade total, ou índice de vazios total, é definido pela soma dos vazios conectados e isolados.

Com base em Cosic et al. (2015), a porosidade total é definida pela soma da porosidade fechada e da porosidade aberta também denominada de porosidade efetiva, podendo ser calculada por meio da pesagem hidrostática.

Vale ressaltar que o índice de vazios é determinado a partir da relação entre os volumes de poros permeáveis e o volume total da amostra, podendo ser correlacionado a porosidade efetiva.

Os poros permeáveis estão diretamente relacionados à porosidade efetiva do material, ou seja, a permeabilidade do concreto permeável. É importante destacar que essa propriedade não é apenas influenciada pela quantidade de poros, mas também, por sua distribuição e interconectividade (ACI, 2010; COSIC et al., 2015).

Segundo Zhong et al., (2018) o concreto permeável possui vazios que podem não ser eficientes para o fluxo de fluidos, devido à existência de poros isolados em sua estrutura interna. A porosidade efetiva é um fator essencial para a um bom desempenho hidráulico do concreto permeável, sendo definida como a relação entre o volume de poros conectado, ou seja, poros permeáveis, e o volume total do material. Já a porosidade total, considera o volume de poros não acessíveis e poros acessíveis, sendo determinada pela relação entre o volume total dos poros e o volume total do material.

Joshaghani et al. (2015) avaliaram às propriedades físicas e mecânicas do concreto permeável. A partir dos seus resultados foi possível verificar que os vazios interconectados, ou seja, a porosidade efetiva do concreto permeável variou entre 13,5% - 33,1%, já a porosidade total ficou entre 18,7% - 40,4%. Foi possível observar que com o aumento da porosidade, a resistência do concreto permeável

reduziu, confirmando que a resistência à compressão e a razão de vazios são grandezas inversamente proporcionais.

Para Deo e Neithalanth (2011), o método de compactação influencia diretamente no nível de empacotamento das partículas, podendo minimizar a porosidade do material. Vale ressaltar que, para o pavimento de concreto permeável a redução da porosidade lhe proporciona desvantagens, visto que é necessário certo percentual de vazios interconectados para manter o desempenho hidráulico funcional do material.

Deste modo, é possível confirmar que a porosidade efetiva afeta diretamente a capacidade drenante do material. Cosic et al. (2015) afirmam que esse é um dos principais parâmetros para estimar a eficiência do concreto permeável e destacam que porosidade do material é mais influenciada pelo tipo de agregado empregado na mistura, do que pelo tamanho de suas partículas.

2.1.3. Permeabilidade

A permeabilidade, também determinada como condutividade hidráulica, é definida como a capacidade drenante do concreto permeável e tem como função permitir a percolação da água por meio dos poros interconectados dentro de sua estrutura, destacando-se por ser um dos parâmetros mais relevantes para caracterizar qualquer tipo de meio poroso (DEBNATH e SARKAR, 2019; SINGH et al, 2020; ZHONG et al., 2018).

Quando um meio poroso está sujeito a um determinado fluxo de água, há o preenchimento de seus poros, com o passar do tempo a sua capacidade de infiltração tende a diminuir, dificultando a percolação de água e ocasionando o surgimento do escoamento superficial. De acordo com a Teoria de Horton, esse fenômeno ocorre quando há o acúmulo de água na superfície do solo devido à sua capacidade de infiltração ser excedida. Vale ressaltar que a capacidade de infiltração é diretamente influenciada pela condutividade hidráulica do material, ou seja, por sua permeabilidade (COLLISCHONN e TASSI, 2008).

De acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015), a permeabilidade é quantificada a partir da definição do coeficiente de permeabilidade (k), que é um parâmetro indicativo capaz de mensurar a velocidade que uma determinada quantidade de água percola um material permeável, devendo ser maior que 1 mm/s, conforme a

especificação da norma. Caso seja tomado como parâmetro de referência o ACI (2010), os valores recomendados variam entre 1,4 mm/s a 12,2 mm/s. Na Tabela 2.2 é possível verificar os valores, máximo e mínimo, do coeficiente de permeabilidade encontrado na literatura.

Tabela 2.2 - Coeficiente de permeabilidade

Referência	Coeficiente de Permeabilidade (mm/s)
Carls (2018)	4,1 - 18,0
Chen et al. (2019)	0,45 - 0,58
Costa et al. (2018)	8,4 - 20,8
Ibrahim et al. (2014)	21,0
Joshaghani et al. (2015)	8,8 - 16,3
Mikami et al. (2018)	8,20 - 9,5
Zaetang et al. (2016)	2,2 - 10,1
Zhang et al. (2017)	3,1 - 3,8

Fonte: Autora (2020)

Vale ressaltar que, vários fatores podem influenciar na capacidade drenante do concreto permeável. Para Singh et al. (2020) uma boa permeabilidade se dar em função das proporções de mistura adequada, tamanho e forma dos poros, conectividade dos poros e tortuosidade.

Torres et al. (2015), analisaram o efeito da espessura da pasta de cimento no desempenho do concreto permeável, correlacionando as suas principais propriedades. Os resultados mostraram que a permeabilidade diminuiu com o aumento da espessura da pasta de cimento, devido à diminuição dos vazios interconectados na estrutura.

2.1.4. Propriedades mecânicas

A resistência é um parâmetro essencial para garantir a funcionalidade do concreto permeável de acordo com a sua aplicação e influencia diretamente na durabilidade do material. As propriedades mecânicas mais importantes para o dimensionamento de pavimentos de concreto permeável são: a resistência à compressão, resistência à flexão, fadiga, desgaste por abrasão e resistência ao congelamento e degelo (CHANDRAPPA e BILIGIRI, 2016; ZAETANG et al., 2016).

Quando comparado ao concreto convencional, o concreto permeável possui menor resistência por conta da presença de vazios em sua estrutura que acaba afetando diretamente o seu desempenho. Desse modo, o seu uso se torna limitado, podendo ser utilizado em locais sujeitos a poucos esforços mecânicos como: calçadas, estacionamentos, espaços de lazer e sub-bases para pavimentos convencionais (COSTA et al, 2018).

Os principais parâmetros analisados em âmbito nacional são: resistência à compressão e resistência à tração na flexão. No Quadro 2.1, extraído da norma brasileira pode-se verificar os valores mínimos aceitos para resistência mecânica, com base no tipo de revestimento que se pretende utilizar, o tipo de solicitação que o material será aplicado e a espessura mínima que pode ser usada. De acordo com Tennis et al. (2004), os valores de resistência à compressão e resistência à tração na flexão do concreto permeável variam entre 3,5 - 28 MPa e 1 - 3,8 MPa, respectivamente.

Os métodos de teste padronizados para concreto convencional podem não ser aplicáveis ao concreto permeável devido à sua estrutura porosa. Deste modo, a ausência de métodos de ensaio padronizados desenvolvidos para esse tipo de material dificulta as comparações entre diferentes pesquisas (Zhong et al., 2018).

Quadro 2.1 – Resistência mecânica e espessura mínima do concreto 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	≥ 35,0	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	≥ 20,0	
	Tráfego leve	80,0		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	≥ 2,0	ABNT NBR 15805
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	≥ 1,0	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	100,0	≥ 2,0	

Fonte: ABNT (2015)

2.2. Características dos agregados reciclados

Os agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição apresentam bastantes variáveis devido à sua heterogeneidade. Por conta disso, é necessário conhecê-los, realizando estudos minuciosos acerca de suas propriedades para possíveis aplicações no setor da construção civil. Para Vieira e Dal Molin (2004) é de extrema importância conhecer às propriedades do resíduo e realizar o seu tratamento, desde o beneficiamento até o momento de sua aplicação.

El-Hassan et al. (2019) avaliaram as propriedades do concreto permeável produzido com agregado reciclado de concreto. Ao realizar o ensaio de caracterização, o agregado apresentou os seguintes valores: massa específica de $2,63 \text{ g/cm}^3$, taxa de absorção de 6,63%, massa unitária de $1,563 \text{ g/cm}^3$ e resistência à abrasão de 32,60%. Esse material quando comparado ao agregado natural, possui uma menor densidade, maior capacidade de absorção e menor resistência à abrasão.

Francisco (2019) em sua pesquisa analisou as propriedades de peças pré-moldadas de concreto com resíduo de construção e demolição. O agregado reciclado de resíduo misto, utilizado na pesquisa, apresentou as seguintes propriedades: massa específica de $2,12 \text{ g/cm}^3$, capacidade de absorção de 10,38% e massa unitária de $1,22 \text{ g/cm}^3$. Verificou-se que a massa específica e unitária do agregado reciclado foi menor que a do natural, em contrapartida, a capacidade de absorção foi maior. A autora enfatizou que a menor massa específica permite a produção de peças relativamente mais leves do que as obtidas com agregado natural.

Geralmente, a massa específica do agregado proveniente do resíduo de construção e demolição é mais baixa comparada ao agregado natural devido à existência de poros e argamassa aderida. A variação do teor de pasta de cimento no agregado, bem como os outros componentes presentes no resíduo pode causar variações na capacidade de absorção de água do material (BRITO e SAIKIA, 2013).

Mikami et al. (2018) avaliaram a influência da composição dos agregados reciclados nas propriedades do concreto permeável, utilizando três tipos de agregados com diferentes teores de mistura. A Tabela 2.3, mostra os resultados da caracterização física de cada material. Foi possível observar que todos os

agregados apresentaram volume de vazios similares, menos o de concreto que resultou em um valor inferior. Os autores justificaram que isso pode ter ocorrido por conta da variação de dimensão dos grãos e a sua forma. Verificou-se também a elevada taxa de absorção de água que o resíduo de cerâmica apresentou, excedendo o limite de 12% determinado pela NBR 15116 (ABNT, 2004).

Tabela 2.3 - Caracterização física dos agregados

Agregado	Massa Específica (g/cm³)	Massa Unitária (g/cm³)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)
Resíduo de Concreto	2,95	1,41	4,77	46,26
Resíduo de Cerâmica	2,64	0,82	22,84	50,30
RCD	2,62	1,17	2,18	49,83

Fonte: Mikami et al (2018)

Tavares e Kazmierczak (2016) investigaram o desempenho de concreto permeável produzido com agregados reciclados de concreto. Ao caracterizar o AGRCC, foi possível observar as seguintes propriedades: massa específica de 2,30 g/cm³, massa unitária 1,22 g/cm³, capacidade de absorção de 7,91% e índice de vazios 36,42%, o qual apresentou menor volume de vazios comparado ao agregado natural. Os autores enfatizaram que a estrutura do agregado reciclado de concreto é bastante complexa devido à presença de duas zonas de transição formada pela pasta antiga e nova. Destacaram que a presença dessa zona de transição constituída pela antiga pasta influencia diretamente na redução da resistência mecânica do concreto.

Dias (2016) reutilizou o resíduo cerâmico oriundo de uma fábrica de tijolos como agregado graúdo aplicado em camadas de base e sub-base de pavimento. O material obteve massa específica de 1,81 g/cm³, taxa de absorção de 15,10% e índice de abrasão de 35,40%. Já Medina et al. (2012) utilizaram em seu estudo resíduos cerâmicos como agregado graúdo na produção de concreto eco eficiente, proveniente de indústrias de louças sanitárias. Ao caracterizá-lo, os valores de suas propriedades foram: massa específica igual a 2,39 g/cm³, capacidade de absorção de 0,55%, índice de vazios de 0,32% e índice de abrasão igual a 20%.

Zhao et al. (2020) analisaram a viabilidade de empregar agregados reciclados de concreto oriundos de uma fábrica de blocos de concreto pré-moldado

para produzir novos blocos de concreto. Ao caracterizar os agregados utilizados na pesquisa foi possível verificar os valores de massa específica de 2,51 g / cm³ e taxa de absorção de água de 3,43%.

Frotté et al. (2017) fabricaram concreto utilizando agregado reciclado miúdo proveniente do resíduo de construção e demolição. Esse material apresentou uma massa específica de 2,54 g/cm³, sendo cerca de 3% menor que a do agregado natural miúdo e uma capacidade de absorção de 12,35%. A elevada taxa de absorção em agregados miúdos reciclados pode ser ainda maior, devido à quantidade de pasta de cimento aderida a superfície do material (TSENG, 2010).

Os valores de massa específica e unitária encontrados na literatura científica são muito variáveis, mesmo para agregados reciclados com compostos semelhantes. Isso pode ser justificado por conta da composição do material, o tipo de beneficiamento realizado, a granulometria e os métodos utilizados para determinação desses parâmetros. Vale ressaltar também, que os agregados convencionais, possuem baixa taxa de absorção de água, isso acaba não interferindo no desempenho das misturas de concreto. Em contrapartida, quando se utiliza agregados reciclados, deve-se haver uma maior preocupação, pois este material possui altas taxas de absorção, devido à presença de argamassa aderida em sua estrutura (LEITE, 2001).

De acordo com o levantamento realizado na pesquisa de Juan (2004), a absorção do agregado natural varia entre 0 a 4%, enquanto a do agregado graúdo reciclado atinge valores de 1,07% a 19,5%. O autor também afirmou que esse material possui alto índice de desgaste por abrasão, variando em torno de 12% a 43%, com valor médio de 28%. Esse fator ocorre devido à existência de argamassa aderida no agregado, visto que a mesma é eliminada durante o ensaio. É possível observar que o índice de desgaste por abrasão Los Angeles dos agregados reciclados está de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), visto que determina um percentual inferior ao de 50%, em massa do material.

Com base nos estudos apresentados é possível verificar que os agregados reciclados apresentam variações em suas propriedades físicas, as quais são influenciadas por sua origem, composição, tipo de beneficiamento, dimensão e forma. De acordo com Nwakaire et al. (2020), esses fatores interferem nas propriedades dos materiais reciclados, que na maioria das vezes possuem um desempenho inferior aos agregados convencionais. Ainda assim, há pesquisas que

confirmam a possibilidade de substituir os agregados naturais por agregados reciclados de RCD e viabiliza a sua aplicação dentro indústria da construção civil.

2.3. Métodos de dosagem para concretos permeáveis

A dosagem é determinada como um procedimento que seleciona os componentes adequados e define a proporção ideal dos materiais que compõem a mistura de concreto para a produção de um material mais econômico com propriedades satisfatórias de resistência, trabalhabilidade e durabilidade, conforme a sua aplicação (NEVILLE e BROOKS, 2013).

No caso do concreto permeável utilizado como revestimento nos pavimentos é necessário possuir duas características essenciais: resistência e permeabilidade, diferentemente do concreto convencional. A primeira característica permite a aplicação do material conforme a sua resistência e a segunda é responsável por sua capacidade drenante devido à presença de poros em sua estrutura que possibilitam a percolação da água (CHANDRAPPA e BILIGIRI, 2016).

Atualmente, em âmbito nacional, não existe um procedimento de dosagem padrão para o concreto permeável sendo necessário recorrer a métodos internacionais. Os métodos de dosagem de concreto permeável mais encontrados na literatura científica e as considerações acerca de cada procedimento estão descritos no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Considerações acerca dos métodos de dosagem presentes na literatura.

ACI (2010)
Este método leva em conta uma relação entre volume seco de agregado grosso em uma unidade de volume de concreto (b/b_0) e as propriedades físicas dos agregados. São estipulados valores de porosidade e relação água-cimento, de acordo com uma faixa estabelecida com base em pesquisas científica. Não possui o fator de compactação como parâmetro de cálculo.
Castro et al. (2009)
Os autores propuseram um estudo de dosagem em laboratório específico para pavimento de concreto permeável. Este método considera as características dos agregados, a porosidade, propriedades físicas dos materiais componentes (cimento e aditivo), relação a/c e fator de compactação.
Deo e Neithalath (2011)
O método proposto pelos autores buscou determinar as proporções de misturas de concreto permeável com base na porosidade desejada, utilizando alto e baixo teor de pasta de cimento. Estimou-se as porosidades e determinou-se a fração de volume da pasta e a fração de volume do agregado. No procedimento, também foi levado em consideração o método de compactação padrão estabelecido pela ASTM C 1688.
Nguyen et al. (2014)
Considera como parâmetro de entrada a porosidade, propriedades físicas dos agregados e o fator K, estabelecido para obter a distribuição uniforme da pasta de cimento em relação à dimensão dos agregados. A energia de compactação é considerada no método, sendo determinada por meio de um comparativo entre o volume de agregado calculado e o volume compactado.
Método de Taguchi
Este método é totalmente empírico. Foi utilizado na pesquisa de Joshaghani et al. (2015) para determinar a proporção ideal da mistura de concreto permeável. Consideraram-se três fatores principais de controle: o tamanho do agregado, relação água/cimento e o teor de pasta de cimento.
Yahia e Kabagire (2014)
O presente método estabelece uma proporção de mistura com base na razão entre o volume de pasta (PV) e os vazios entre as partículas (IPV). É realizado um ajuste no volume da pasta até que a permeabilidade desejada seja alcançada. Vale ressaltar, que esse método considera as características físicas dos agregados e abstrai o método de compactação utilizado.
Zheng, Chen e Wang (2012)
Este método possui como particularidade a definição da resistência à compressão desejada. São considerados também as propriedades físicas dos agregados e a porosidade desejada para o concreto permeável. O fator de compactação não é levado em conta no procedimento.

Fonte: Autora (2020)

Cada procedimento possui sua particularidade, considerando apenas os parâmetros relevantes no seu estudo. Alguns acabam não levando em conta fatores que possuem grande influência nas propriedades do concreto permeável, como: a relação a/c, efeito da compactação e a porosidade. Essa divergência metodológica acaba dificultando a aplicação de proporções de mistura padrão (COSTA et al., 2018).

Outra desvantagem presente em alguns métodos é a relação de parâmetros que se deve tomar como base. Cada método foi elaborado de acordo com os materiais disponíveis no comércio local, sendo assim, é necessário adaptá-los para utilizar os insumos disponíveis no mercado nacional. A pesquisa realizada por Carl (2018) buscou avaliar as propriedades do concreto permeável dosado por três métodos diferentes. Na execução do programa experimental foi necessário realizar adequações na composição granulométrica dos agregados dentro dos limites estabelecidos em cada procedimento, visto que eles não possuíam dimensões compatíveis com os agregados utilizados para elaboração dos métodos de dosagem.

É possível notar que as proporções de mistura para o concreto permeável, na maioria das vezes são obtidas de forma empírica, na qual são produzidas uma série de amostras em laboratório, que são levadas para serem testadas em campo para garantia do seu desempenho conforme a sua aplicação de projeto (ACI, 2010).

O método de dosagem proposto por Castro et al. (2009) foi elaborado especificamente para pavimento de concreto permeável e possui como diferencial o sistema de compactação que foi considerado pelos autores. O mesmo simula um procedimento real realizado em campo, utilizando um rolo metálico.

Além disso, os parâmetros considerados nos cálculos incluem variáveis que influenciam fortemente no desempenho do CPER, como: o fator de compactação (FC), o percentual de vazios conectados da mistura e as propriedades físicas dos materiais que o compõem. O dimensionamento das misturas é simples e se adequa aos materiais utilizados na região para a produção de concreto. Isso foi possível confirmar com os estudos desenvolvidos pelo GPMAC, as proporções determinadas para a produção do CPER, utilizando o método de Castro et al. (2009), apresentaram resultados satisfatórios de resistência mecânica e permeabilidade.

2.4. Revisão sistemática

A Revisão Sistemática (RS) consiste em um método de síntese de evidências resultantes de estudos primários conduzidos para responder um assunto abordado em pesquisas disponíveis para uma questão particular, área de conhecimento ou fenômeno de interesse. De acordo com Brasil (2012), esse método de análise avalia e sintetiza o conjunto de fundamentos abordados nos estudos científicos para obter uma visão geral e confiável da estimativa do efeito de intervenção.

Por se tratar de um método explícito e sistemático para identificar, selecionar e avaliar a qualidade de evidências, as revisões sistemáticas são tipos de estudos produzidos por uma metodologia confiável e rigorosa. Para isso são utilizados protocolos de pesquisas com a finalidade de selecionar artigos que apresentem relevância ao estudo. Diante disso, a presente metodologia possui uma facilidade na integração de informações da literatura para tomada de decisões, tendo como base todo corpo de evidência disponível na literatura e demonstrando se os efeitos de intervenções são consistentes entre os estudos.

Com o intuito de aprimorar o conhecimento acerca de pavimentos de concreto permeável e contribuir com a elaboração de bases científicas e documentos técnicos que apresentem os requisitos e procedimentos necessários à implantação do CPER, verificou-se a necessidade de estudar sobre suas propriedades e seus materiais componentes. Além disso, a presente pesquisa visa padronizar a elaboração e condução de uma revisão sistemática de qualidade, sobre o CPER, em virtude da lacuna que se encontra na literatura nacional para esse tipo de assunto.

Para Galvão e Ricarte (2020), esse tipo de revisão segue protocolos específicos, que busca entender e dar logicidade a um grande corpus documental, especialmente, verificando o que funciona e o que não funciona num determinado contexto. Apresentam de forma explícita as bases de dados bibliográficos que foram consultadas, as estratégias de busca empregadas em cada base, o processo de seleção dos artigos científicos, os critérios de inclusão e exclusão dos artigos e o processo de análise de cada artigo. De forma geral, a revisão de literatura sistemática possui alto nível de evidência e se constitui em um importante documento para tomada de decisão. Diferentemente da revisão de literatura de conveniência, a revisão sistemática da literatura é uma pesquisa científica composta

por seus próprios objetivos, problemas de pesquisa, metodologia, resultados e conclusão, não se constituindo apenas como mera introdução de uma pesquisa maior.

As revisões sistemáticas podem ser classificadas em: revisões sistemáticas com metanálise; revisões sistemáticas narrativas; e revisões sistemáticas com metassíntese (SIDDAWAY, WOOD e HEDGES, 2019). A revisão sistemática com metanálise, a qual foi selecionada para elaboração da presente pesquisa, busca combinar os dados de estudos que possuem metodologias iguais ou similares sobre um determinado assunto. A metanálise de dados agregados é o método mais utilizado para combinar os resultados de diferentes estudos sobre o mesmo desfecho de interesse bem como examinar a influência potencial de covariáveis selecionados nos resultados gerais (KELLEY e KELLEY, 2012).

Os métodos estatísticos - metanálises, normalmente são inseridos na análise e síntese dos resultados, permitindo aumentar a amostra e a precisão dos desfechos avaliados, combinando os resultados de dois ou mais estudos independentes, gerando uma única estimativa de efeito (BRASIL, 2012).

Além disso, a metanálise possui como características a sua capacidade de incorporar informações sobre a qualidade do artigo selecionado e a confiabilidade de estudos primários. Sendo assim, o presente método tem como finalidade fornecer uma estimativa de resultado que seja representativa de todos os achados em nível de estudo (MIKOLAJEWICZ e KOMAROVA, 2019).

3. METODOLOGIA

3.1. Estrutura da pesquisa

O presente estudo é do tipo bibliográfico com predominância de abordagem quantitativa e finalidade descritiva e tem como intuito realizar análises estatísticas dos dados coletados dos estudos científicos selecionados sobre a utilização do resíduo da construção civil na produção do concreto permeável. De acordo com Bruchêz et al. (2015), a pesquisa de caráter quantitativo caracteriza-se pelo uso da quantificação, durante a coleta e o tratamento das informações dos estudos com o emprego de técnicas estatísticas. Já a pesquisa com característica descritiva possui o objetivo de identificar correlação entre as variáveis em estudo e análise dos fatos apresentados.

Para o desenvolvimento do trabalho, tendo em vista a otimização da seleção dos estudos científicos e relevância dos trabalhos escolhidos sobre o tema pesquisado, optou-se por utilizar a revisão sistemática como técnica para a estruturação da pesquisa e validação dos dados coletados. O fluxograma apresentado na Figura 3.1, mostra a estrutura organizacional das etapas da pesquisa.

De acordo com Mikolajewicz e Komarova (2019), as revisões sistemáticas podem ser conduzidas para realizar uma comparação qualitativa. Além disso, a presente metodologia envolve estratégias de buscas abrangentes que permitem aos autores identificarem todos os estudos relevantes sobre um tópico definido, sintetizam quantitativamente os resultados em todos os estudos para obter informações sobre significância e relevância estatísticas , utilizando a metanálise.



Figura 3.1 – Fluxograma da estrutura de pesquisa.

Fonte: Autor (2022)

3.2. Busca de dados

A pesquisa foi desenvolvida com base em estudos científicos realizados no período de 2006 a 2021 sobre a utilização de agregado reciclado de resíduo da construção civil na produção do concreto permeável. De acordo com Chueke e Amatucci (2015), o ideal é avaliar 15 ou 20 anos de publicação para uma melhor análise acerca do tema e percepção a respeito da evolução do assunto pesquisado. Diante disso, o tempo estipulado para coleta dos estudos científicos para a presente pesquisa foi de 15 anos.

Inicialmente foi realizada uma pesquisa exploratória para definição das palavras-chave do estudo com base nos termos mais usuais encontrados em artigos científicos sobre o concreto permeável. A partir disso foram selecionados os termos que tinham maiores resultados de pesquisa, combinando-os entre si e os definindo como *strings* de buscas nas bases de dados. Os *strings* de pesquisa é um dos principais desafios ao realizar a revisão sistemática da literatura e é um passo crítico para determinar as evidências identificadas sobre a temática em estudo nas base de dados (MARCOS-PABLOS e GARCÍA-PEÑALVO, 2018)

Foram selecionadas 4 bases de dados mais conceituadas em publicações referentes a temas relacionados à construção civil: *Engineering Village*, *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*, e acessadas por meio do portal de periódico da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) mediante o acesso institucional da Universidade Federal do Pará (UFPA).

As buscas de estudos científicos nas bases foram realizadas utilizando operadores booleanos *AND* (e) e *OR* (ou) para uma estratégia avançada de pesquisa. De acordo com Volpato (2013), a estratégia de busca utilizada deve ser formada por um conjunto de palavras ou expressões ligadas por operadores booleanos, os quais são definidos como palavras que informam ao sistema de busca como combinar os termos da pesquisa e permitem ampliar ou diminuir o escopo dos resultados.

Essas expressões em inglês, definidas como operadores booleanos, são priorizadas pelas bases de dados, onde *AND* equivale a intersecção e *OR* equivale a união de termos. Além disso, durante a busca foram utilizadas aspas nos termos de pesquisa para auxiliar na procura exata das palavras-chave agrupadas. O Quadro 3.1 apresenta a estratégia de busca utilizada no presente estudo.

Quadro 3.1 – Estratégia de busca

BASE DE DADOS	STRING
SCOPUS	((("Pervious Concrete" OR "Draining Floor" OR "Porous Concrete") AND ("Recycled Aggregate" OR "Civil Construction Waste Aggregate") AND ("Properties" OR "Performance")))
ENG. VILLAGE	((("Pervious Concrete" OR "Draining Floor" OR "Porous Concrete") AND ("Recycled Aggregate" OR "Civil Construction Waste Aggregate") AND ("Properties" OR "Performance")))
WEB OF SCIENCE	((("Pervious Concrete" OR "Draining Floor" OR "Porous Concrete") AND ("Recycled Aggregate" OR "Civil Construction Waste Aggregate") AND ("Properties" OR "Performance")))
SCIENCE DIRECT	((("Pervious Concrete" OR "Draining Floor" OR "Porous Concrete") AND ("Recycled Aggregate" OR "Civil Construction Waste Aggregate") AND ("Properties" OR "Performance")))

Fonte: Autora (2022)

3.3. Triagem dos artigos

Para uma maior seletividade dos artigos a serem lidos foi necessário realizar a revisão sistemática da literatura. A revisão sistemática corresponde a um conjunto de critérios para identificar estudos sobre uma determinada questão de pesquisa e escolher quais deles serão incluídos na análise do trabalho (RODRIGUES e ZIEGELMANN, 2010).

De acordo com Sampaio e Mancini (2007), a RSL é bastante útil para reunir informações de vários estudos sobre um determinado tema. Além disso, a escolha de realizar uma revisão sistemática da literatura se faz necessária para potencializar a qualidade desse estudo. Na presente pesquisa utilizou-se o protocolo determinado pelos autores, o qual é apresentado na Figura 3.2

Como auxílio para a triagem dos artigos e elaboração da revisão sistemática foi utilizada a ferramenta *StArt* (State of the Art through Systematic Review). Esta é uma ferramenta gratuita, desenvolvida no LaPES (Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software) da UFSCAR (Universidade Federal de São Carlos). A extração de dados dos estudos e características foi definido no protocolo de pesquisa, conforme apresentado no Apêndice A.

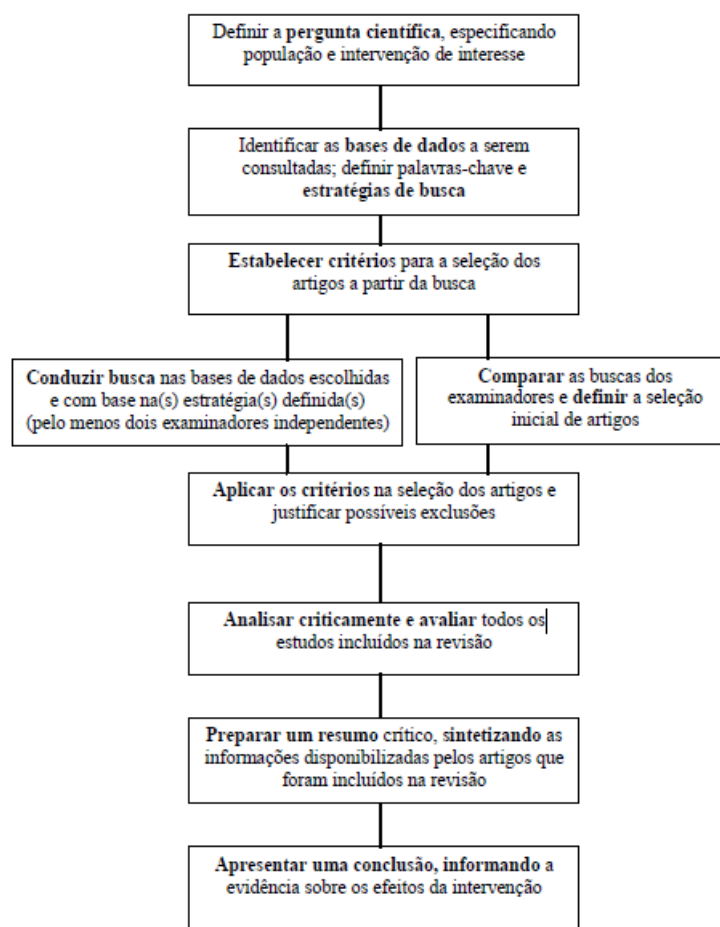


Figura 3.2 – Descrição geral sobre o processo de RSL

Fonte: Sampaio e Mancini (2007)

Com o objetivo de realizar uma seleção mais minuciosa dos artigos para a presente pesquisa sobre a aplicação do resíduo da construção civil nas propriedades do concreto permeável utilizou-se um método de escolha onde foi considerada a leitura integral dos artigos encontrados e, em seguida, uma análise acerca da metodologia empregada nas pesquisas, os resultados alcançados, a conclusão e a correlação do estudo com a temática proposta. Consequentemente, os artigos que não se enquadram nos critérios de seleção foram desconsiderados.

3.4. Análise de dados

Com a inclusão dos estudos selecionados na revisão sistemática, baseada nos critérios de elegibilidade e extração do protocolo de pesquisa, foram coletados dados dos artigos escolhidos para análise do presente estudo. Diante disso, foi

utilizada a metanálise como forma de combinar os resultados dos diferentes estudos selecionados na pesquisa para a validação da revisão sistemática.

Inicialmente, foi possível examinar a influência das covariáveis selecionadas e sua relevância para o estudo. Segundo os resultados obtidos nos artigos selecionados foi realizada uma análise estatística com o objetivo de identificar a influência dos agregados reciclados de resíduo da construção civil nas propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto permeável.

A partir disso, foi utilizada a estatística descritiva para agrupar os dados e apresentá-los de maneira resumida e organizada. Esse método estatístico tem o objetivo básico de sintetizar uma série de valores da mesma natureza, permitindo dessa forma que se tenha uma visão global da variação desses valores. A partir desse método é possível organizar, analisar e interpretar os quantitativos coletados (GUEDES et al., 2005; NETO, 2004).

Diante disso, calculou-se a média e o desvio padrão dos parâmetros analisados, exceto da resistência à tração e a flexão, pois entre os artigos selecionados e analisados na RSL não foi possível obter um número relevante de amostras para a pesquisa. Igualmente, verificou-se a influência das variáveis avaliadas nas propriedades do concreto permeável. As variáveis fixadas para estudo e analisadas por meio da estatística descritiva foram: resistência à compressão (F_c), porosidade (v) e permeabilidade (k).

Além disso, foram desenvolvidos gráficos controles entre os parâmetros avaliados para analisar a aplicação do material na fabricação do concreto permeável com base nos parâmetros estabelecidos na NBR 16416 e ACI.

A metanálise foi realizada com o auxílio do software *Rstudio* 2022.07.02-576, por meio da combinação dos resultados coletados nos estudos e a geração de uma única estimativa de efeito para análise. Os resultados coletados nos artigos selecionados tiveram suas misturas agrupadas com base nas variáveis analisadas: tamanho do agregado, tipo de agregado e o percentual de substituição do agregado reciclado. Para isso, foi necessário classificar as 360 amostras extraídas dos artigos. Essa classificação foi realizada da seguinte maneira: granulometria, tipo de agregado utilizado e o percentual de substituição, conforme apresentado no Quadro B.1. (Apêndice B).

A granulometria dos agregados foi definida de acordo com a NBR 17054 (ABNT, 2022), segundo a qual os agregados retidos na peneira de abertura 4.75 mm

são considerados graúdos. Já os agregados passantes na peneira de abertura 4.75 mm são classificados como miúdos. Sendo assim, as amostras que apresentaram os dois tipos de granulometrias foram classificadas como combinadas (Comb.).

Os 53 artigos apresentaram uma diversidade no tipo de agregados utilizados. Diante disso, com a finalidade de classificar os materiais, foram adotadas as seguintes siglas:

- a) Natura (NA);
- b) Pavimento Asfáltico (PA)
- c) Pavimento de Concreto (PC);
- d) Resíduo de Blocos de Concreto (BC);
- e) Resíduo de Concreto (C);
- f) Resíduo de Construção Civil Misturado (M);
- g) Resíduo de Tijolo de Cerâmica Vermelha (BCV); e
- h) Vidro(V).

Vale destacar que em virtude da diversidade amostral do tipo de agregado existente entre os 53 artigos foi necessário desconsiderar os agregados que apresentaram um percentual de amostras abaixo de 5% do total, ou seja, uma baixa frequência amostral nos estudos, a exemplo de: vidro, pavimento de concreto e pavimento asfáltico. A quantidade amostral desses agregados foi insuficiente para prosseguir com a metanálise devido ao seu reduzido número de informações. Ante o exposto, foram priorizados apenas os tipos de agregados que apresentaram um número de amostras relevantes na metanálise.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise das publicações sobre concreto permeável produzido com agregado reciclado de RCC

Inicialmente, foram selecionados 411 artigos obtidos das bases de dados utilizadas na presente pesquisa. A base de dados *Science Direct* apresentou o maior número de artigos como resultado de busca. A Figura 4.1 mostra o resultado de busca sobre concreto permeável com resíduo da construção civil, obtido em todas as bases de dados selecionadas na pesquisa no período de 15 anos.

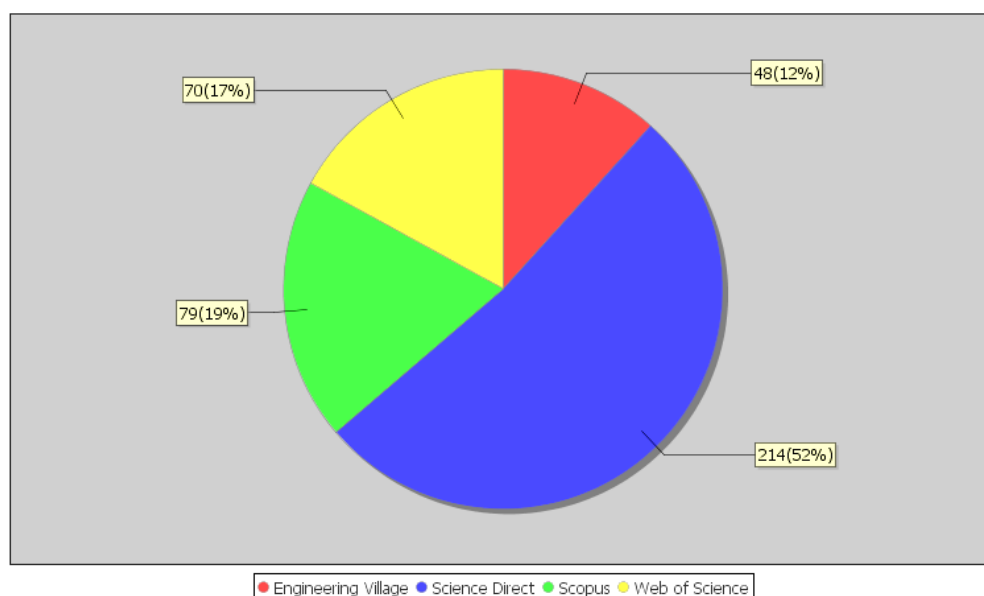


Figura 4.1 – Resultado de pesquisa nas bases de dados

Fonte: Autora (2022)

Nos 10 primeiros anos (2006 a 2015) observou-se uma reduzida frequência de publicações referentes ao concreto permeável com resíduo da construção civil. Foi observado, conforme o Figura 4.2, que o presente assunto ganhou maior relevância a partir do ano de 2016.

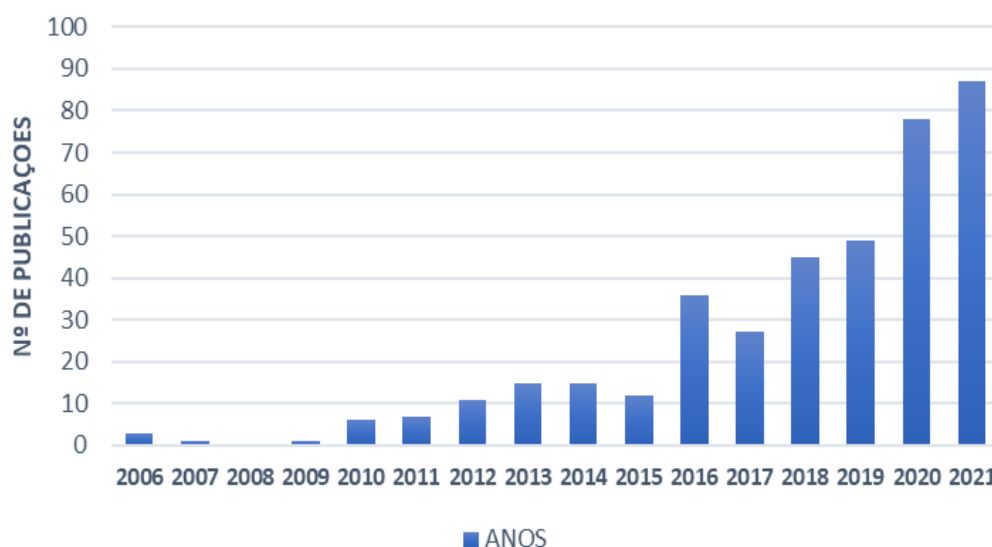


Figura 4.2 – Evolução da pesquisa sobre concreto permeável nas bases de dados.

Fonte: Autora (2022)

Os 411 artigos passaram por uma seleção utilizando os critérios de inclusão e exclusão apresentados no item 1.3 (Triagem de artigos). Após a seleção, 259 artigos foram recusados por se enquadrarem nos critérios de exclusão definidos no protocolo de pesquisa, 70 apresentaram duplicidade e 82 foram previamente aceitos com base nos critérios de inclusão estabelecidos apenas com base na leitura das palavras-chave e o resumo do artigo, conforme apresentado na Figura 4.3.

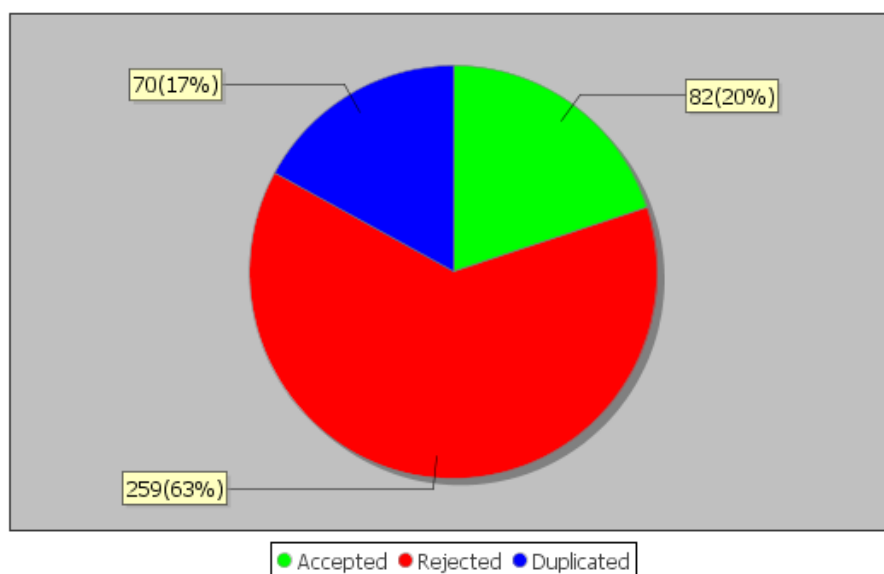


Figura 4.3 – Resultado de pesquisa nas bases de dados

Fonte: Autora (2022)

Durante o processo de extração dos artigos, os 82 trabalhos selecionados passaram por uma segunda etapa de triagem e foram submetidos a leitura integral. Alguns artigos foram excluídos da pesquisa por não apresentarem os resultados dos ensaios realizados e não utilizarem o resíduo da construção civil na produção do CPER. Ao final da leitura integral dos 82 artigos, resultaram apenas 53, os quais foram selecionados para compor o banco de dados da dissertação, conforme mostrado na Figura 4.4. Os 53 artigos escolhidos apresentaram como principais critérios de inclusão a abordagem sobre o concreto permeável com agregado reciclado, a metodologia experimental e os resultados dos ensaios realizados.

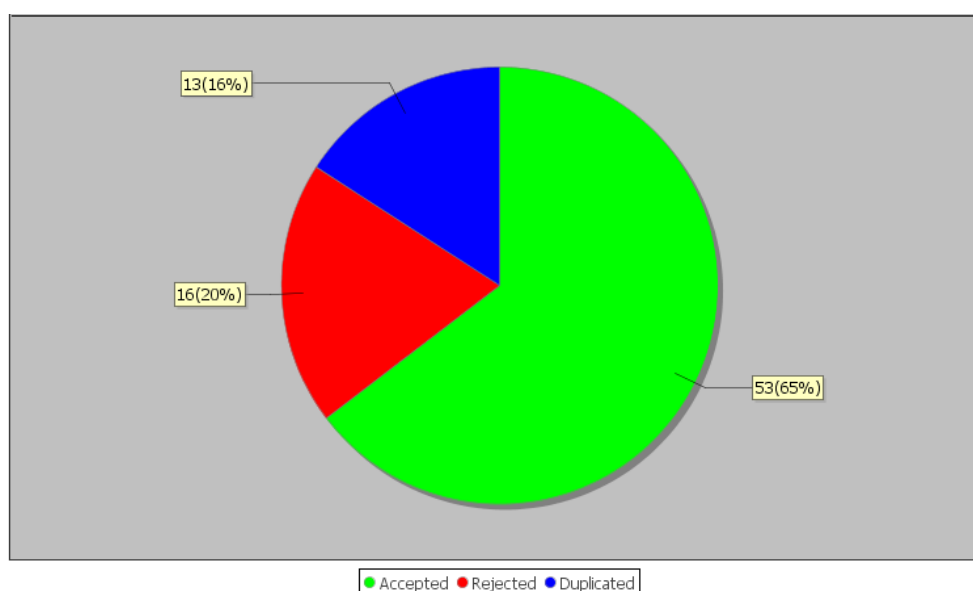


Figura 4.4 – Resultado da extração de informações dos artigos.

Fonte: Autora (2022)

Como resultado pretende-se realizar um tratamento estatístico e em seguida avaliar se as propriedades do concreto permeável produzido com agregados recicláveis aplicado como revestimento de pavimento para tráfego leve são satisfatórias e atendem aos requisitos normativos exigidos no território nacional.

4.2. Análise de dispersão das amostras

As Figuras 4.5, 4.6 e 4.7 mostram de forma visual o comportamento entre as amostras coletadas nos 53 artigos selecionados. Por meio dessa ferramenta foi possível analisar a identificação de pontos discrepantes entre as amostras, ou seja, os *outliers*.

A Figura 4.5 demonstra que a resistência à compressão foi um parâmetro bastante analisado entre os estudos, pois apresentou uma grande quantidade de amostras. Os dados referentes a essa propriedade apresentaram uma grande dispersão entre os resultados dos estudos coletados. Assim, foi possível notar que grande parte dos valores ficou centralizada na região do gráfico correspondente a uma resistência de 5,4 MPa a 21 MPa.

A partir disso é possível notar a diversidade entre os dados coletados nas pesquisas e os materiais componentes do CPER, os quais influenciam diretamente nas suas propriedades.

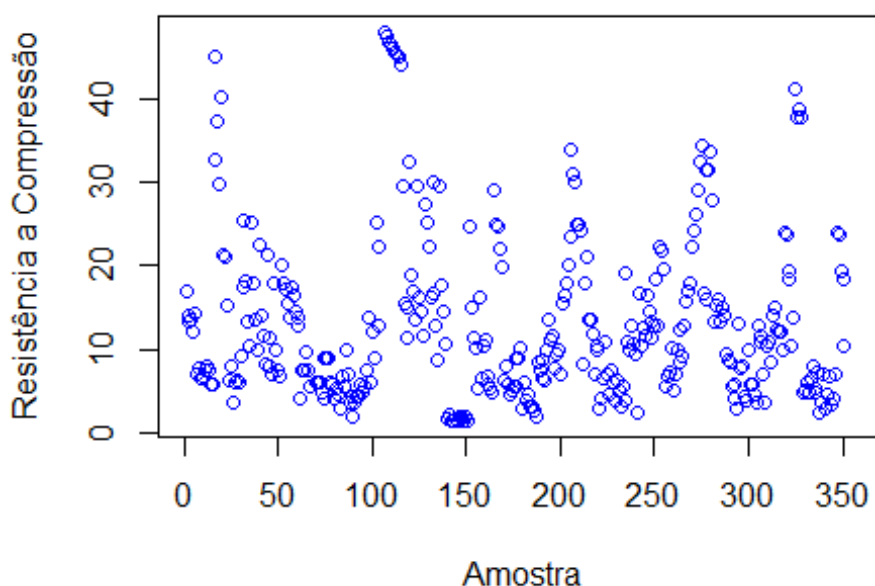


Figura 4.5 – Gráfico de dispersão de resistência a compressão.

Fonte: Autora (2022).

A Figura 4.6 demonstra que a porosidade foi menos analisada entre os estudos, haja vista ter apresentado menor quantidade amostral quando comparada com a resistência à compressão. Os dados referentes a essa propriedade

apresentaram uma grande dispersão entre os resultados dos estudos coletados. Observou-se que a maior parte dos valores se concentrou na região do gráfico correspondente a uma porosidade entre 18% - 32%. Além disso, verificou-se a presença de *outliers* com amostras que tiveram a porosidade maior que 50%.

De acordo com a literatura, vários fatores podem influenciar as propriedades do CPER com resíduo da construção civil e não somente a granulometria, tipo de agregado e o percentual de substituição do agregado empregado em sua produção. Para Zhang et al. (2020), do ponto de vista da estrutura interna do concreto permeável com agregados reciclados, as propriedades da pasta, a espessura do revestimento da pasta da superfície do agregado e o teor de vazios existentes na microestrutura do agregado são fatores que afetam a sua resistência e porosidade.

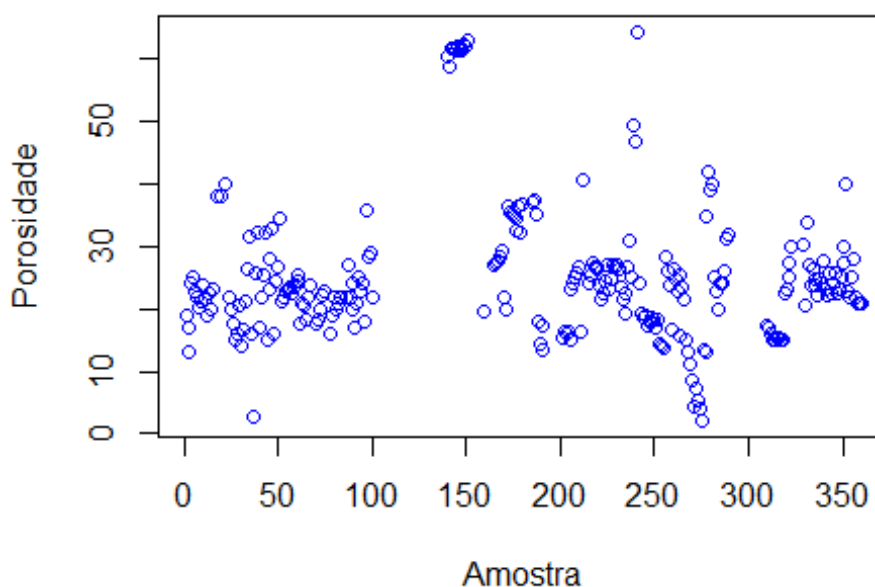


Figura 4.6 – Gráfico de dispersão de porosidade.

Fonte: Autora (2022).

Verificou-se na Figura 4.7 que a permeabilidade foi um parâmetro pouco explorado entre os estudos selecionados, pois apresentou uma pequena quantidade de amostras. Os dados referentes a essa propriedade mostraram uma menor dispersão entre os resultados dos artigos escolhidos quando comparados à resistência a compressão e a porosidade. Deste modo, foi possível notar que grande parte dos valores ficaram centralizados na região do gráfico correspondente a uma permeabilidade de 1 mm/s a 13 mm/s. Além do mais, verificou-se a presença de *outliers* com amostras que tiveram a permeabilidade maior que 60 mm/s.

Diante do exposto, foi possível notar a existência de uma heterogeneidade entre as amostras de todas as propriedades investigadas. Tal fato é justificado pela presença de diferentes materiais utilizados para compor o CPER, os quais influenciam diretamente nas suas propriedades. Além disso, existe uma diversidade de fatores que influenciam diretamente as propriedades do CPER e devem ser analisadas de maneira minuciosa.

Dentre essa diversidade de fatores, pode-se citar: a qualidade do agregado reciclado, a presença de microfissuras e poros causados pela trituração do resíduo durante a produção do agregado, o aumento da demanda de água devido a maior absorção do agregado reciclado e a formação da zona de transição dupla devido a presença de argamassa velha aderida ao agregado juntamente com a argamassa nova (TOGHROLI et al., 2020).

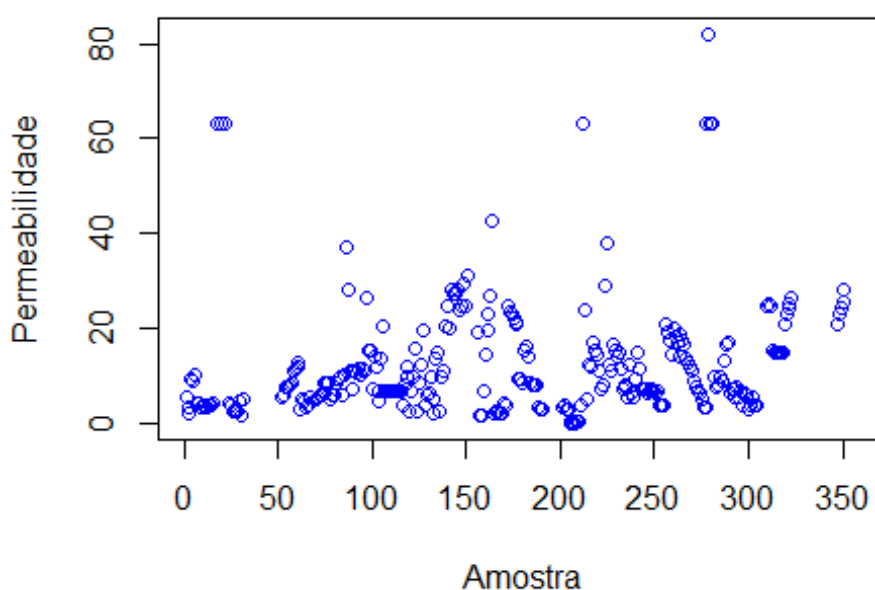


Figura 4.7 – Gráfico de dispersão de permeabilidade.

Fonte: Autora (2022).

4.3. Análise da granulometria nas características do concreto permeável com agregado reciclados

Nas Tabelas 4.1 e 4.2 são apresentados os resultados da estatística descritiva sobre o parâmetro de granulometria. Nota-se que 80% dos trabalhos abordam sobre o comportamento do CPER confeccionado com agregados graúdos, os quais pertencem às faixas de 4.76 mm a 25.4 mm. Com base na literatura, o uso de agregados de tamanhos maiores aumenta a porosidade do CPER. Já o uso de agregados de tamanhos menores colabora com o aumento da resistência do material. Visto que a principal função do CPER é infiltrar água no solo, a alta permeabilidade e porosidade apresentam um papel importante ao material, diferentemente do concreto convencional, o qual é dosado com base em sua resistência alvo. Em contrapartida, o CPER deve ser dosado de maneira que otimize suas propriedades mecânicas e hidráulicas (DEBNATH et al., 2020).

De acordo com a bibliografia científica o concreto permeável com agregado combinado possui maior resistência, conseqüentemente, menor porosidade e permeabilidade por conta do preenchimento de vazios com grãos de agregado miúdo na estrutura do concreto permeável. Yao (2018) confirma que a adição de agregados combinados no concreto permeável melhora a sua resistência e diminui a sua porosidade e permeabilidade.

Verificou-se por meio da média, que ao utilizar agregados graúdos e miúdos (combinados) na produção do CPER, a média da resistência à compressão foi de 12,84 MPa. Já a porosidade e a permeabilidade apresentaram uma média de 22,39% e 14,23 mm/s, respectivamente. Vale ressaltar que todos os valores obtidos nas propriedades indicadas anteriormente atenderam aos parâmetros estabelecidos pela norma americana. Além do mais, observou-se que apenas 20% das pesquisas optaram por utilizar agregados combinados em sua mistura devido à dificuldade de obter a otimização das propriedades mecânicas e hidráulicas ao utilizar esse tipo de agregados.

As amostras produzidas somente com agregados graúdos tiveram a suas médias de resistência de 13,26 MPa, porosidade 25,94% e permeabilidade 12,21 mm/s. Vale evidenciar que as médias das propriedades apresentadas também

atenderam os parâmetros determinados pela norma americana. Com base na RSL realizada é possível verificar que as propriedades do concreto permeável, entre os artigos selecionados, se comportam de formas distintas dependendo da granulometria utilizada para a sua produção. Para Liu et al (2020), a granulometria é um dos principais fatores que influenciam na resistência e a permeabilidade do concreto permeável.

Para Schaefer et al (2006), agregados com dimensões entre 4.76 mm e 25.4 mm caracterizados como grãos são os mais utilizados na produção do concreto permeável. Ademais, a norma americana recomenda que os agregados usados em CPER devam ter tamanho único ou granulometria entre 19 e 9.5 mm. Já a utilização de agregados miúdos deve ser limitada, pois tendem a comprometer a conectividade da estrutura porosa do material (ACI, 2010).

Além disso, a norma brasileira cita que o agregado deve possuir granulometria aberta, ou seja, partículas do mesmo tamanho, onde não contenha ou contenha uma pequena quantidade de finos, resultando após a compactação em um índice de vazios relativamente grandes (ABNT, 2015). Na presente norma não é apresentado o valor ideal da granulometria a ser utilizado na composição do CPER, sendo possível apenas evidenciar a distribuição granulométrica recomendada para o material conforme a sua aplicabilidade e o percentual retido nas peneiras. Diante do exposto, nota-se que isso prejudica a otimização das propriedades do material em âmbito nacional.

Tabela 4.1 – Frequência de dados por tamanho do agregado

Variáveis	Frequência
COMBINADO	20%
GRAUDO	80%

Fonte: Autora (2022)

Tabela 4.2 – Análise das propriedades do CPER em relação a granulometria utilizada nos artigos selecionados na RSL.

Tamanho	Média Fc (MPa)	Desvio Padrão Fc	Média V (%)	Desvio Padrão V	Média K (mm/s)	Desvio Padrão K
COMBINADO	12.84	9.30	22.39	11.43	14.23	14.09
GRAUDO	13.26	10.19	25.94	10.84	12.21	11.47

(Fc) Resistência a Compressão; (V) Porosidade; (K) Permeabilidade

Fonte: Autora (2022)

4.4. Análise do tipo de agregado nas características do concreto permeável

A Tabela 4.3 apresenta o comportamento dos tipos de agregados reciclados utilizados na produção do concreto permeável entre os artigos selecionados na RSL. Foi possível observar, de acordo com a distribuição da frequência dos dados coletados, que os resíduos de concreto estrutural e misto foram os mais utilizados como agregado na produção do CPER, com frequências de 40% e 20%, respectivamente.

Os agregados de bloco de concreto, vidro, pavimento de concreto e pavimento asfáltico apresentaram uma frequência $\leq 5\%$, ou seja, esses resíduos foram menos utilizados para a produção do CPER. Verificou-se que os artigos que utilizaram esses tipos de agregados foram publicados nos últimos 5 anos. Tal fato justifica-se pelo avanço tecnológico existente nesse período, o qual buscou explorar outros tipos de resíduos da construção civil e aplicá-los ao CPER. Nos últimos anos, vários estudos têm demonstrado que o uso de materiais reciclados de resíduo da construção civil em sistemas de pavimentos permeáveis possui um bom efeito nos aspectos hidrológicos e na capacidade de absorção do solo, acarretando na redução dos riscos de inundações e esgotamento do lençol freático (TUAN et al., 2020).

Tabela 4.3 – Frequência de dados por tipo de agregado

Variáveis	Quantidade	Frequência
Concreto Estrutural (C)	144	40,00%
Misto (M)	71	19,72%
Natural (NA)	67	18,61%
Bloco de Cerâmica Vermelha (BCV)	28	7,78%
Bloco de Concreto (BC)	19	5,28%
Pavimento Asfáltico (PA)	17	4,73%
Pavimento de Concreto (PC)	10	2,77%
Vidro (V)	4	1,11%

Fonte: Autora (2022)

As características morfológicas dos agregados reciclados têm grande efeito nas propriedades do material. Quando os agregados reciclados são incorporados aos materiais construção, as características morfológicas devem ser

cuidadosamente consideradas (MA et al., 2021). Na Figura 4.8, foi possível observar que o agregado misto apresentou a média de resistência a compressão 15,11 MPa, já a resistência do CPER com agregado de concreto foi de 13,23 MPa, inferior à do agregado misto. O concreto poroso com 100% de substituição do agregado natural pelo agregado de resíduo misto atingiu valores adequados de resistência à compressão. Pode-se considerar que, a nível mecânico, os agregados reciclados mistos são adequados para utilização em CPER aplicados em camadas de drenagem (ETXEBERRIA et al., 2016).

Além disso, notou-se que os agregados reciclados de concreto estrutural, bloco de concreto, misto e de bloco de cerâmica vermelha apresentaram resistências próximas ao do CPER produzido com agregado natural, atendendo apenas os limites de resistência parametrizados pelo ACI.

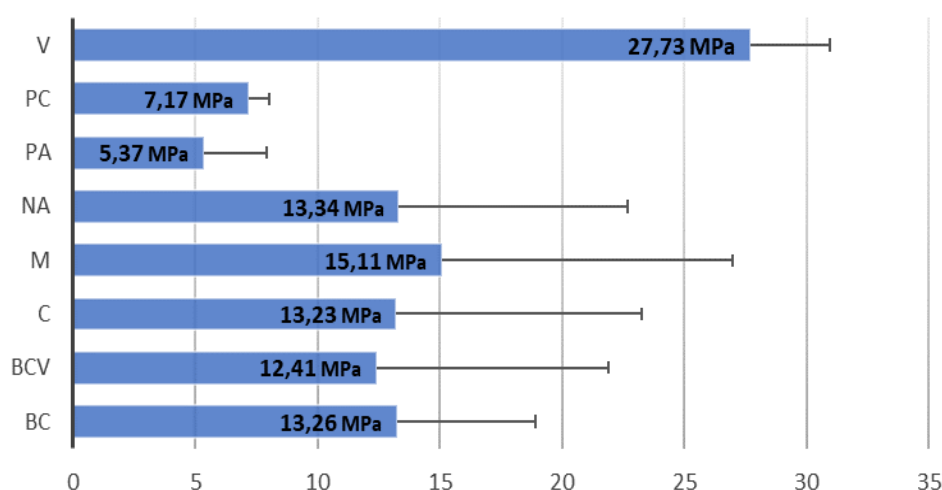


Figura 4.8 – Gráfico de análise da resistência à compressão do CPER em relação ao tipo de agregado.

Fonte: Autora (2022).

A Figura 4.9 apresenta a média da porosidade entre os tipos de agregados coletados nos artigos selecionados. Verificou-se que o CPER produzido com o agregado de concreto obteve uma porosidade de 27,78%. Já o concreto com agregado misto atingiu uma porosidade de 26,54%, bem próxima a do CPER produzido apenas com agregado de concreto.

De acordo com a literatura científica, a porosidade do CPER é mais influenciada pelo tipo de agregado empregado na mistura do que pelo tamanho de suas partículas (COSIC et al., 2015). Vale destacar que para Montes et al. (2005),

essa propriedade tem sido citada com frequência entre os pesquisadores, mas ainda existem divergências quanto à sua definição e os métodos utilizados para determiná-la, ou seja, como a porosidade é estabelecida e que “tipo” de porosidade é importante para manter a capacidade drenante do CPER.

Foi possível analisar que a norma brasileira não determina valores de porosidade a ser adotado, o que dificulta a otimização das propriedades e padronização do valor ideal a ser tomado como base para o CPER. Além do mais, todos os tipos de agregados obtiveram os valores de porosidade determinados pelo ACI, mas nenhum artigo realizou a distinção entre os tipos de porosidade que foram de analisados.

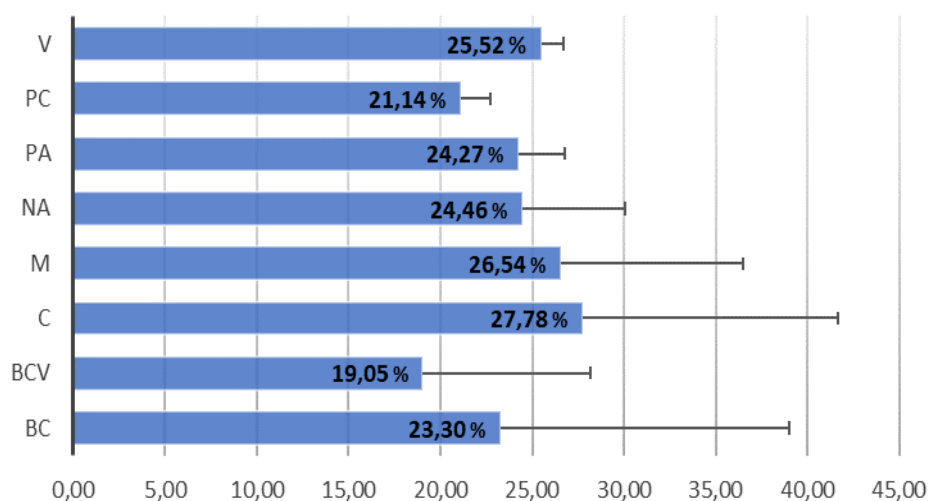


Figura 4.9 – Gráfico de análise da porosidade do CPER em relação ao tipo de agregado.

Fonte: Autora (2022).

A Figura 4.10 mostra a média da permeabilidade entre os tipos de agregados mais utilizados na bibliografia. A permeabilidade foi mais alta CPER produzido com agregado misto, o qual obteve um valor de 16,46 mm/s. Já o CPER produzido com agregado de concreto atingiu uma permeabilidade de 12,87 mm/s, valor próximo ao do agregado natural. Vale destacar que a origem do agregado apresentou influência na permeabilidade do CPER, sendo tal efeito independente da granulometria adotada na mistura (MIKAMI et al., 2018).

Pode-se afirmar com base nos resultados analisados que o CPER confeccionado com resíduo de concreto apresentou características semelhantes ao CPER produzido com agregado natural. Sendo assim, a literatura confirma que é

possível utilizar o resíduo de concreto como material alternativo ao agregado convencional (CHEN et al., 2017). Além do mais, é importante ressaltar que todos os tipos de agregados atingiram os valores de permeabilidade determinados pelo ACI e pela NBR 16416, exceto o resíduo de vidro que apresentou uma permeabilidade muito inferior ao parâmetro limite estabelecido pelas duas normas.

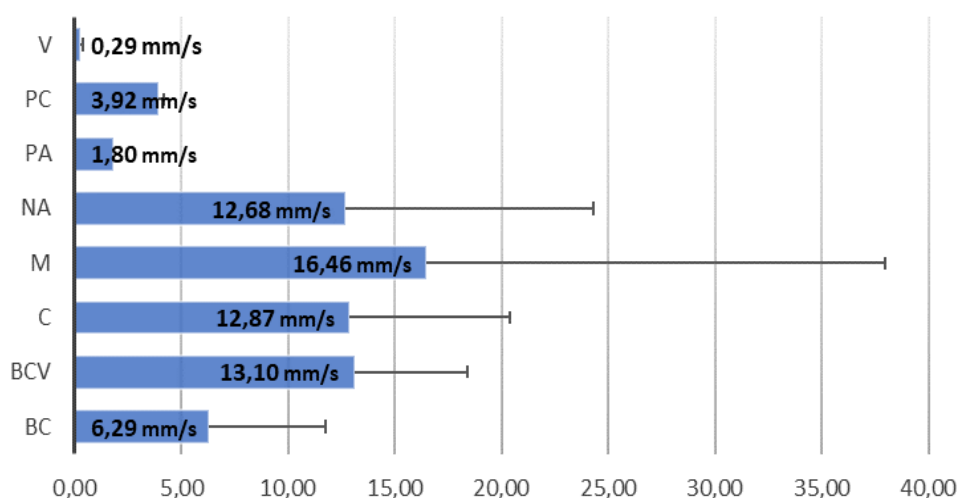


Figura 4.10 – Gráfico de análise da permeabilidade do CPER em relação ao tipo de agregado.

Fonte: Autora (2022).

4.5. Análise do efeito do percentual de substituição no comportamento do CPER

A Tabela 4.4 mostra os percentuais de substituição mais usuais na produção do CPER, a partir da seleção dos artigos escolhidos para compor a RSL. Foi possível observar, de acordo com a distribuição da frequência dos dados coletados, que 55% utilizaram 100% de substituição e 10% dos artigos empregaram 50% de substituição. O restante dos percentuais utilizados nas pesquisas selecionadas apresentou uma pequena variedade amostral, o qual dificultou a análise por meio da estatística descritiva. Verificou-se que grande parte dos estudos coletados na literatura substituíram 100% o agregado natural por agregado reciclado.

Tabela 4.4 – Frequência de dados por teor de substituição de agregado.

Variáveis	Frequência
100%	55%
0%	19%
50%	10%
25%	7%
75%	5%
10%	1%
20%	1%
30%	1%
40%	1%
60%	1%
80%	1%
70%	0%

Fonte: Autora (2022).

Nas Figuras 4.11, 4.12 e 4.13 é possível notar o comportamento das propriedades do CPER em relação ao percentual de substituição do agregado. Verificar que o CPER com 100% de substituição apresentou a média de resistência à compressão menor, porosidade e permeabilidade maiores que a do CPER produzido com agregado natural.

De acordo com Guneyisi et al. (2016), o teor de agregado reciclado é o parâmetro mais significativo que afeta a resistência à compressão do concreto permeável. Além disso, a substituição do agregado natural por agregado reciclado aumenta notavelmente a permeabilidade dos concretos permeáveis.

A variação amostral da resistência à compressão do CPER produzido com 100% de agregado reciclado foi bem próxima com a do CPER fabricado com agregado natural. Diante disso, é possível observar uma homogeneidade entre os resultados de resistência à compressão do CPER produzido com agregado reciclado, ou seja, um menor grau de variação entre os resultados coletados dos artigos analisado. Em contrapartida, a variabilidade amostral da porosidade e da permeabilidade foram maiores em comparação ao CPER fabricado apenas com agregado natural, apresentando um menor valor de confiabilidade.

Diante do exposto, Galishnikova et al. (2020) afirmam que a utilização dos agregados reciclados no concreto causa efeitos adversos, ou seja, ao aumentar a

proporção dos agregados reciclados, há uma consequente redução nas propriedades mecânicas do concreto. Tal fato se justifica pela existência de argamassa de cimento antiga sobre as partículas de agregados reciclados que enfraquece o concreto permeável e afeta as suas propriedades mecânicas, pois há duas zonas de transição entre o agregado reciclado e a matriz de concreto. A primeira é entre o agregado e a pasta de cimento antiga e a segunda é entre o agregado reciclado e a pasta de cimento nova.

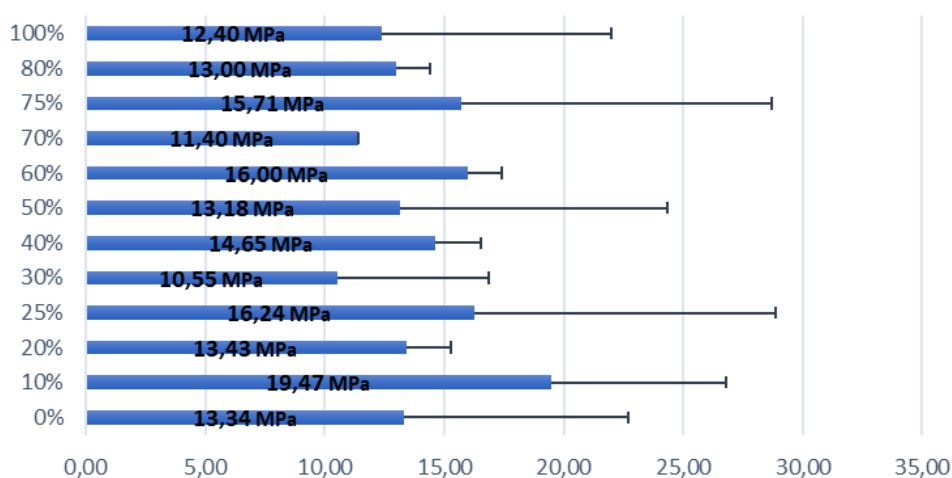


Figura 4.11 – Gráfico de análise da resistência à compressão do CPER em relação ao percentual de substituição.

Fonte: Autora (2022).

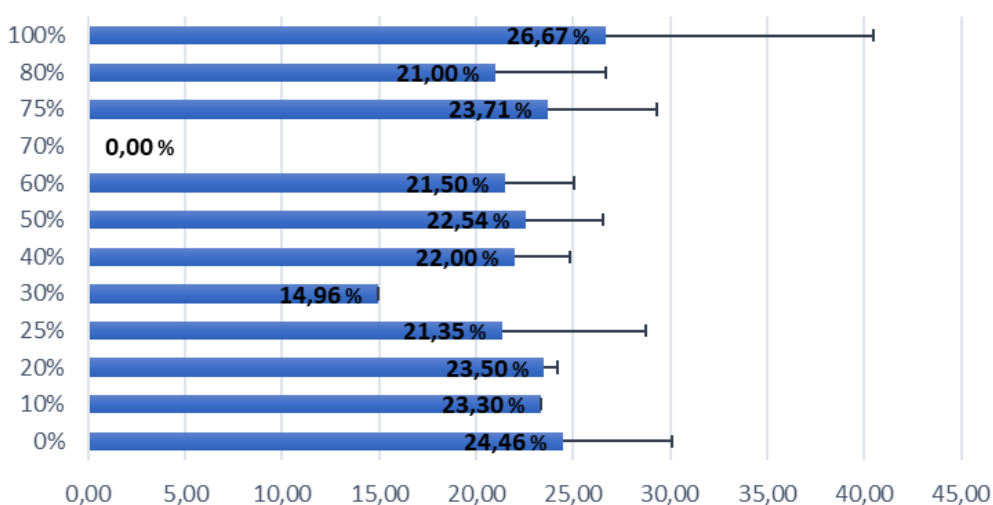


Figura 4.12 – Gráfico de análise da porosidade do CPER em relação ao percentual de substituição.

Fonte: Autora (2022).

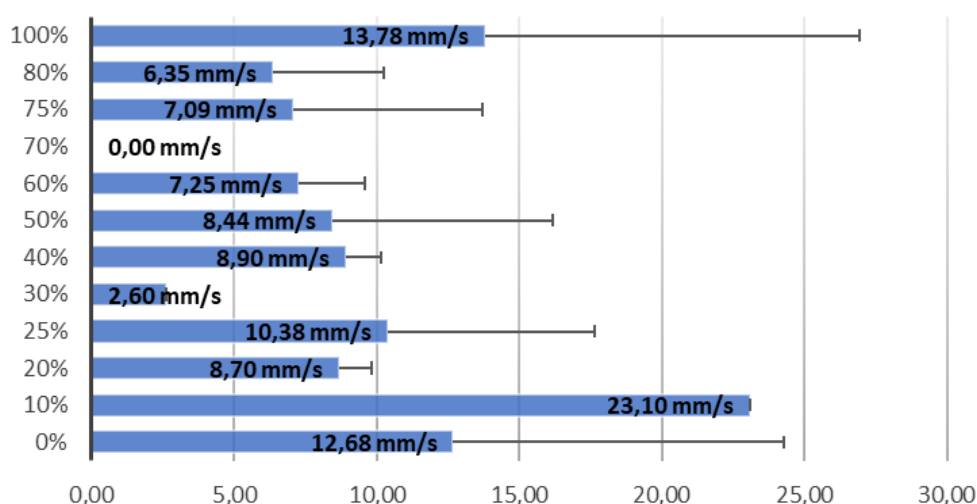


Figura 4.13 – Gráfico de análise da permeabilidade do CPER em relação ao percentual de substituição.

Fonte: Autora (2022).

4.6. Análise da combinação de fatores no comportamento do CPER

A Tabela 4.5 mostra as combinações encontradas na literatura para a produção do CPER e se suas propriedades atenderam os parâmetros exigidos em norma. Além disso, com base nas Figuras 4.14, 4.15 e 4.16 é possível evidenciar o percentual de combinações que atenderam a resistência à compressão, porosidade e permeabilidade determinadas pela NBR e ACI.

Foi possível observar com os dados coletados, que as pesquisas apresentaram uma grande variação na seleção da granulometria, tipo de agregado e o percentual de substituição utilizado para produção do CPER.

Entre os 53 artigos selecionados, foram coletados 360 amostras utilizadas como objeto da pesquisa. Verificou-se que as maiores composições utilizadas foram: a de agregado graúdo com resíduo de concreto e 100% de substituição, totalizando 98 amostras, a de agregado graúdo com resíduo misto e 100% de substituição, com 31 amostras, e a de agregado combinado com bloco de cerâmica vermelha e 100% de substituição, totalizando 20 amostras. O restante das combinações empregadas nos artigos selecionados apresentou uma pequena variedade amostral, a qual dificultou a análise por meio da estatística descritiva.

Tabela 4.5 – Análise das propriedades do CPER em relação a combinação de fatores.

Combinação de fatores	Média Fc (MPa)	Parâmetros		Média V (%)	Parâmetro	Média K (mm/s)	Parâmetros	
		ACI	ABNT				ACI	ABNT
COMBINADO_BC_1	7,57	ATENDEU	INFERIOR	53,53	SUPERIOR	10,10	ATENDEU	ATENDEU
COMBINADO_BCV_1	15,68	ATENDEU	INFERIOR	16,31	ATENDEU	14,04	SUPERIOR	ATENDEU
COMBINADO_C_0.25	4,41	ATENDEU	INFERIOR	-	-	13,60	SUPERIOR	ATENDEU
COMBINADO_C_0.5	10,18	ATENDEU	INFERIOR	-	-	-	-	-
COMBINADO_C_1	11,29	ATENDEU	INFERIOR	15,23	ATENDEU	15,07	SUPERIOR	ATENDEU
COMBINADO_M_1	18,57	ATENDEU	INFERIOR	25,64	ATENDEU	28,83	SUPERIOR	ATENDEU
COMBINADO_NA_0	11,93	ATENDEU	INFERIOR	26,49	ATENDEU	6,10	ATENDEU	ATENDEU
COMBINADO_PA_0.1	11,00	ATENDEU	INFERIOR	-	-	-	-	-
COMBINADO_PA_0.2	11,50	ATENDEU	INFERIOR	-	-	-	-	-
COMBINADO_PA_0.5	4,75	ATENDEU	INFERIOR	23,53	ATENDEU	-	-	-
COMBINADO_PA_1	3,05	ATENDEU	INFERIOR	23,53	ATENDEU	-	-	-
COMBINADO_V_0.25	31,00	SUPERIOR	ATENDEU	24,10	ATENDEU	0,20	INFERIOR	INFERIOR
COMBINADO_V_0.5	30,00	SUPERIOR	ATENDEU	25,20	ATENDEU	0,21	INFERIOR	INFERIOR
COMBINADO_V_0.75	25,00	ATENDEU	ATENDEU	25,90	ATENDEU	0,30	INFERIOR	INFERIOR
COMBINADO_V_1	24,90	ATENDEU	ATENDEU	26,90	ATENDEU	0,45	INFERIOR	INFERIOR
GRAUDO_BC_0.2	15,20	ATENDEU	INFERIOR	23,00	ATENDEU	7,90	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_BC_0.25	21,70	ATENDEU	ATENDEU	14,20	INFERIOR	3,88	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_BC_0.3	6,10	ATENDEU	INFERIOR	14,96	INFERIOR	2,60	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_BC_0.4	16,00	ATENDEU	INFERIOR	20,00	ATENDEU	8,00	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_BC_0.5	13,00	ATENDEU	INFERIOR	14,94	INFERIOR	3,21	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_BC_0.6	17,00	ATENDEU	INFERIOR	19,00	ATENDEU	5,60	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_BC_0.75	16,70	ATENDEU	INFERIOR	13,40	INFERIOR	3,61	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_BC_0.8	14,00	ATENDEU	INFERIOR	17,00	ATENDEU	3,60	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_BC_1	13,89	ATENDEU	INFERIOR	15,18	ATENDEU	6,88	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_BCV_1	4,25	ATENDEU	INFERIOR	25,88	ATENDEU	10,75	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_C_0.1	23,70	ATENDEU	ATENDEU	23,30	ATENDEU	23,10	SUPERIOR	ATENDEU
GRAUDO_C_0.2	13,60	ATENDEU	INFERIOR	24,00	ATENDEU	9,50	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_C_0.25	18,87	ATENDEU	INFERIOR	22,84	ATENDEU	13,91	SUPERIOR	ATENDEU
GRAUDO_C_0.3	15,00	ATENDEU	INFERIOR	-	-	-	-	-
GRAUDO_C_0.4	13,30	ATENDEU	INFERIOR	24,00	ATENDEU	9,80	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_C_0.5	16,41	ATENDEU	INFERIOR	22,43	ATENDEU	12,31	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_C_0.6	15,00	ATENDEU	INFERIOR	24,00	ATENDEU	8,90	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_C_0.7	11,40	ATENDEU	INFERIOR	-	-	-	-	-
GRAUDO_C_0.75	20,15	ATENDEU	ATENDEU	23,37	ATENDEU	8,20	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_C_0.8	12,00	ATENDEU	INFERIOR	25,00	ATENDEU	9,10	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_C_1	12,69	ATENDEU	INFERIOR	30,90	ATENDEU	12,80	SUPERIOR	ATENDEU
GRAUDO_M_0.25	17,80	ATENDEU	INFERIOR	20,94	ATENDEU	7,88	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_M_0.5	16,52	ATENDEU	INFERIOR	24,88	ATENDEU	8,30	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_M_0.75	13,98	ATENDEU	INFERIOR	25,52	ATENDEU	8,61	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_M_1	13,29	ATENDEU	INFERIOR	28,81	ATENDEU	18,81	SUPERIOR	ATENDEU
GRAUDO_NA_0	13,66	ATENDEU	INFERIOR	24,15	ATENDEU	13,33	SUPERIOR	ATENDEU
GRAUDO_PA_0.5	5,80	ATENDEU	INFERIOR	22,64	ATENDEU	1,80	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_PA_1	4,80	ATENDEU	INFERIOR	27,37	ATENDEU	-	-	-
GRAUDO_PC_0.25	7,75	ATENDEU	INFERIOR	20,31	ATENDEU	4,39	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_PC_0.5	6,50	ATENDEU	INFERIOR	21,23	ATENDEU	3,67	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_PC_0.75	6,75	ATENDEU	INFERIOR	23,83	ATENDEU	3,84	ATENDEU	ATENDEU
GRAUDO_PC_1	7,25	ATENDEU	INFERIOR	20,86	ATENDEU	3,90	ATENDEU	ATENDEU

Fonte: Autora (2022).

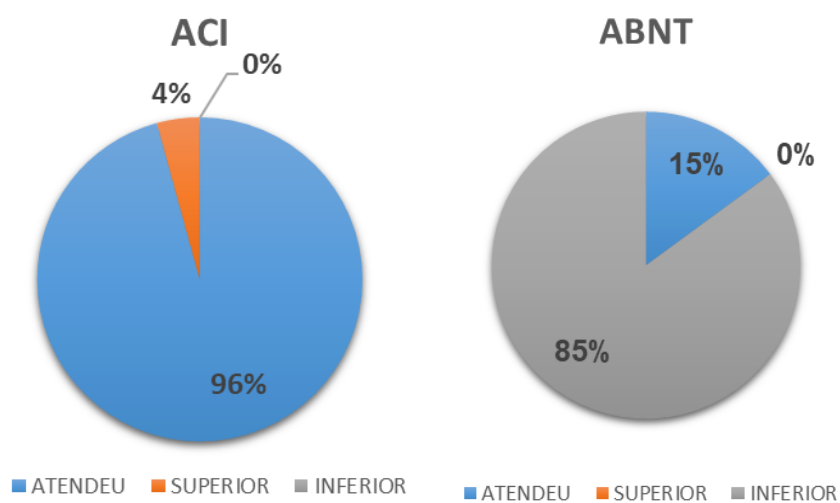


Figura 4.14 – Percentual de combinações que atenderam a resistência a compressão exigida em normas.

Fonte: Autora (2022).

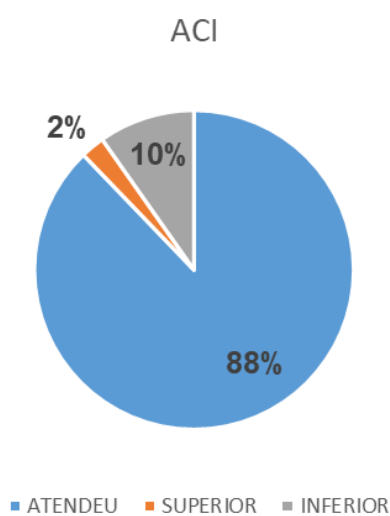


Figura 4.15 – Percentual de combinações que atenderam a porosidade exigida em norma.

Fonte: Autora (2022).

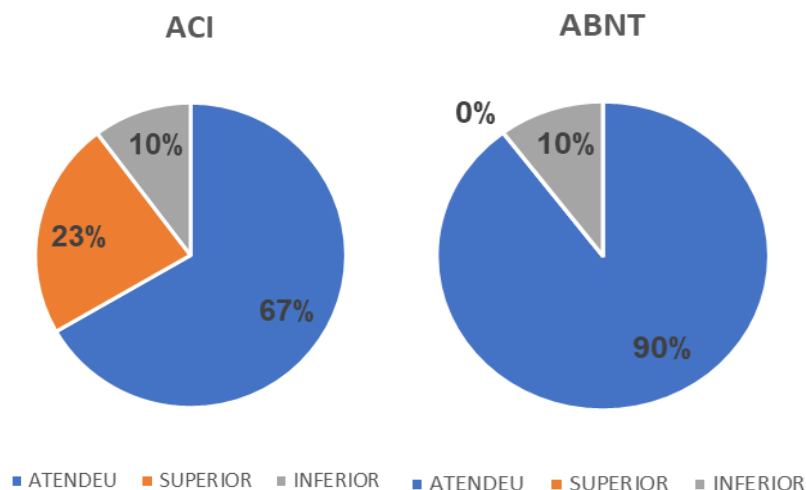


Figura 4.16 – Percentual de combinações que atenderam a permeabilidade exigida em normas.

Fonte: Autora (2022).

A combinação de agregado graúdo com resíduo de concreto e 100% de substituição (GRAUDO_C_1) apresentou uma menor resistência à compressão, comparado à amostra que utilizou apenas agregado natural (GRAUDO_NA_0), ambas as combinações tiveram uma variabilidade semelhante entre as amostras. Em contrapartida, foi possível observar que a combinação (GRAUDO_C_1) teve uma porosidade elevada e uma permeabilidade reduzida quando comparado ao CPER produzido apenas com agregado natural. Vale ressaltar que os dados coletados de porosidade apresentaram um menor valor de confiabilidade e o de permeabilidade teve um maior valor de confiança quando comparados ao CPER com agregado natural.

Para Lu et al. (2019), concretos permeáveis com porosidades similares podem apresentar permeabilidades distintas. A razão é atribuída ao fato de que a porosidade é o volume de poros do material, enquanto a permeabilidade é um parâmetro que define a propriedade de transporte por meio do material e que não depende apenas do volume dos poros, mas também da distribuição, tamanho dos poros e de sua conectividade. Consequentemente, torna-se necessário explorar outras características da estrutura e comportamentos dos poros para entender adequadamente o desempenho do material.

A combinação de agregado graúdo com resíduo misto e 100% de substituição (GRAUDO_M_1) apresentou uma resistência à compressão próxima ao CPER produzido apenas com agregado natural (GRAUDO_NA_0), ambas as combinações tiveram uma variabilidade semelhante entre as amostras. Por outro lado, foi possível

observar que a combinação GRAUDO_M_1 obteve uma alta porosidade e permeabilidade quando comparado ao CPER produzido apenas com agregado natural. Vale ressaltar que os dados coletados de porosidade e permeabilidade apresentaram menores valores de confiabilidade, ou seja, uma maior heterogeneidade entre as amostras. Nota-se uma diversidade amostral entre os valores coletados nos estudos para a mesma combinação. Além disso, é possível verificar que os agregados reciclados apresentam variações em suas propriedades físicas, que são influenciadas por sua origem, composição, tipo de beneficiamento, dimensão e forma. De acordo com Nwakaire et al. (2020), esses fatores interferem nas propriedades dos materiais reciclados, que na maioria das vezes possuem um desempenho inferior aos agregados convencionais.

A combinação de agregado combinado (grauído e miúdo) com resíduo de bloco de cerâmica vermelha e 100% de substituição (GRAUDO_BCV_1) apresentou uma resistência à compressão mais alta que a do CPER produzido apenas com agregado natural (GRAUDO_NA_0), ambas as combinações tiveram uma variação amostral próxima. Diante disso, notou-se que ao utilizar agregado reciclado combinado, o CPER apresentou maior resistência. Essa resistência à compressão pode ser obtida usando agregado miúdo na produção, pois este material tem uma área de superfície maior do que o agregado de grauído. No entanto, o uso do agregado miúdo também resulta em menor teor de vazios e permeabilidade quando comparado com o uso do agregado de maior granulometria (GUNEYISI et al., 2016).

Foi possível observar que a combinação (GRAUDO_BCV_1) obteve uma menor porosidade e uma maior permeabilidade, quando comparado ao CPER produzido com agregado natural. Diante do fato, os agregados de tijolos possuem vazios pré-existentes dentro de sua estrutura que os tornam inferiores em comparação aos agregados de pedra convencionais e assim as misturas porosas feitas com agregados de tijolos tornam-se muito fracas para suportar cargas pesadas. Os tijolos são triturados durante a compactação dos corpos de prova, aumentando a quantidade de partículas finas na mistura e preenchendo os espaços vazios disponíveis. (DEBNATH, 2020).

Dessa forma, a redução da porosidade foi ocasionada pelo bloqueio dos poros existentes na estrutura do CPER devido às partículas de agregados miúdos presentes no concreto. Já o aumento da permeabilidade pode ter sido motivado pelos vazios pré-existentes dentro da estrutura do agregado. Esses agregados

podem apresentar uma rede de poros interconectados, a qual influencia no aumento da permeabilidade das amostras quando comparados ao concreto permeável produzido apenas com agregado natural.

Vale destacar que os dados coletados de porosidade apresentaram um menor valor de confiabilidade e o de permeabilidade teve um maior valor de confiança quando comparados ao CPER com agregado natural. De acordo com Meddah (2019), as combinações de tipo e tamanho de agregados reciclados afetam as propriedades frescas e endurecidas do CPER, incluindo densidade, resistência e porosidade. Verificou-se que a classificação, tamanho e o percentual de substituição é o principal parâmetro que rege tanto as propriedades mecânicas quanto hidrológicas do concreto permeável. Além disso, a permeabilidade da água e a capacidade drenante são regidas pela dosagem da mistura e pelas características do sistema de poros existente na estrutura do CPER. No caso de uma gradação mais grossa, a resistência dependerá significativamente da pasta de cimento, enquanto no caso de gradação mais fina, dependerá do intertravamento do agregado (SABOO, 2020).

4.7. Correlação entre as propriedades

A medida de correlação mensura a magnitude do relacionamento presente entre as variáveis de uma pesquisa (MOORE, 2007). A partir disso, foi possível analisar a correlação existente entre as propriedades do CPER, objeto deste estudo, por meio do coeficiente de *Pearson*, o qual mensura a associação linear entre as variáveis.

Com base no estudo realizado por Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009) é possível avaliar a força de relação entre as variáveis por meio dos coeficientes de correlação, os quais determinam que valores iguais ou maiores que 0,70 apresentam elevado grau de associação, valores entre 0,40 e 0,69 apresentam correlação moderada, e valores menores que 0,40 apresentam frágil correlação entre as variáveis analisadas. Além do mais, foi possível analisar as correlações como positivas ou negativas. Tal indicativo mostra se a direção entre o relacionamento das variáveis é positiva ou negativa.

De acordo com as correlações presente na Tabela 4.6 pode-se observar o comportamento existente entre a resistência a compressão, porosidade e permeabilidade do CPER.

A partir do p-valor $<0,05$, foi possível observar a significância das correlações, ou seja, se existe alguma relação entre as variáveis analisadas. O p-valor entre os parâmetros de resistência à compressão/porosidade e entre porosidade/permeabilidade foi igual a 0. Isso indica uma significância estatística entre as propriedades citadas. Já a resistência à compressão/permeabilidade apresentou um p-valor igual a 0,64, ou seja, essas propriedades não apresentaram uma significância entre si.

Por meio dos resultados apresentados foi possível verificar a direção e a magnitude da relação entre as propriedades. A resistência à compressão apresentou uma correlação fraca e negativa com a porosidade (-0,29) e fraca positiva com a permeabilidade (0,17), ou seja, a porosidade e a permeabilidade não apresentaram uma intensa correlação com a resistência à compressão. Assim, foi possível notar que à medida que a resistência aumentou a porosidade diminuiu. Já a permeabilidade se mostrou diretamente proporcional à resistência à compressão, apesar de ter apresentado uma correlação fraca com a resistência.

Para Kaplan et al. (2021) há uma rede de porosidade e microfissuras presentes na estrutura do agregado reciclado, que causam um aumento no consumo de água. À proporção que a demanda de água aumenta, a resistência e a durabilidade do concreto diminuem. Os autores também observaram que à medida que a porosidade aumentava, facilitava a passagem de água pelo material e, portanto, o coeficiente de permeabilidade era alto. Por outro lado, a resistência à compressão foi baixa.

As variáveis porosidade e permeabilidade possuem correlação moderada e positiva (0,49) entre si, ou seja, à medida que porosidade aumenta a permeabilidade também aumenta. Na pesquisa de Kaplan et al. (2021) as correlações foram examinadas e verificou-se que a porosidade tem um efeito considerável na permeabilidade, ou seja, um aumento na porosidade diminui a resistência à compressão e aumenta a permeabilidade à água.

Diante disso, foi possível notar nos resultados coletados, que a permeabilidade e porosidade são grandezas diretamente proporcionais e apresentam uma correlação significativa entre si. As propriedades hidráulicas estão

relacionadas entre si: à medida que a porosidade aumenta, a permeabilidade aumenta (SANDOVAL, 2020).

Tabela 4.6 – Correlação entre as propriedades

Parâmetros	Resistência à Compressão	Porosidade	Permeabilidade
Resistência à Compressão	1,0000000	-0,2935882	0,1750845
Porosidade	-0,2935882	1,0000000	0,4991649
Permeabilidade	0,1750845	0,4991649	1,0000000

Fonte: Autora (2022).

4.8. Metanálise

A metanálise foi utilizada para verificar as medidas de resumo e influência das combinações entre os estudos coletados e o seu comportamento na resistência à compressão e na porosidade do concreto permeável. Além disso, foi possível notar qual combinação teve maior influência entre os artigos selecionados. Vale ressaltar que os resíduos de vidro, pavimento de concreto e pavimento asfáltico foram removidos da metanálise por não apresentarem uma quantidade amostral relevante para realizar a análise.

Por conta da distribuição das variâncias dos grupos de combinações e insuficiência amostral, o *software* utilizado para o estudo da metanálise, notificou o usuário durante a alimentação do banco de dados com a seguinte mensagem: “Ratio of largest to smallest sampling variance extremely large. May not be able to obtain stable results”, ou seja, como as combinações apresentaram grande variação amostral em seus resultados, relativos a todas as propriedades avaliadas no estudo, poderia não ser possível obter resultados estáveis na metanálise. Na permeabilidade, não foi possível realizar a metanálise, pois essa propriedade foi pouco investigada nos estudos selecionados, dificultando assim a aplicação do presente método pela ausência da quantidade amostral.

Na metanálise realizada para avaliar a influência das combinações na resistência à compressão, com base nos dados coletados entre os 53 artigos, verificou-se que não existe a presença de heterogeneidade estatisticamente significativa com $I^2 = 33\%$, ou seja, os estudos incluídos na revisão sistemática apresentaram um grau de confiança e uma similaridade metodológica entre os

dados de resistência extraídos dos artigos selecionados. Para Pereira e Galvão (2014) quanto maior a heterogeneidade, maior o questionamento sobre a validade de combinar resultados, o qual dificulta a relevância dos dados da metanálise.

Pode-se verificar por meio do *forest plot*, apresentado na Figura 4.17, que as combinações: COMBINADO_C_0.25; COMBINADO_C_0.5; COMBINADO_C_1 e GRAUDO_BCV_1 apresentaram maior peso entre os dados dos estudos selecionados para a resistência a compressão, sem variabilidade amostral. Já a combinação GRAUDO_C_0.75, apresentou alta variabilidade amostral entre os resultados dos estudos, ou seja, o seu intervalo de confiança foi muito amplo, apresentando diferenças entre si. As outras combinações, quando correlacionadas à resistência a compressão, apresentaram dados muito dispersos, não sendo possível uma interpretação do seu efeito na propriedade do concreto permeável. Tal fato justifica-se pela diferença dos dados coletados entre os artigos que utilizaram uma mesma combinação.

Como os estudos selecionados para na RSL não apresentaram a mesma metodologia, não foi possível considerar o modelo de efeito fixo, pois os artigos selecionados não possuíam uma padronização experimental para realização dos ensaios. Sendo assim, considerou-se o modelo de efeitos aleatórios para uma melhor análise dos resultados coletados. A partir desse efeito foi possível verificar que a média geral da resistência, com base em todas as combinações, na literatura científica é de 7,75 MPa, ou seja, o CPER com agregado reciclado só atende a norma ACI, ficando muito abaixo do que é determinado pela NBR 16416 (ABNT, 2015).

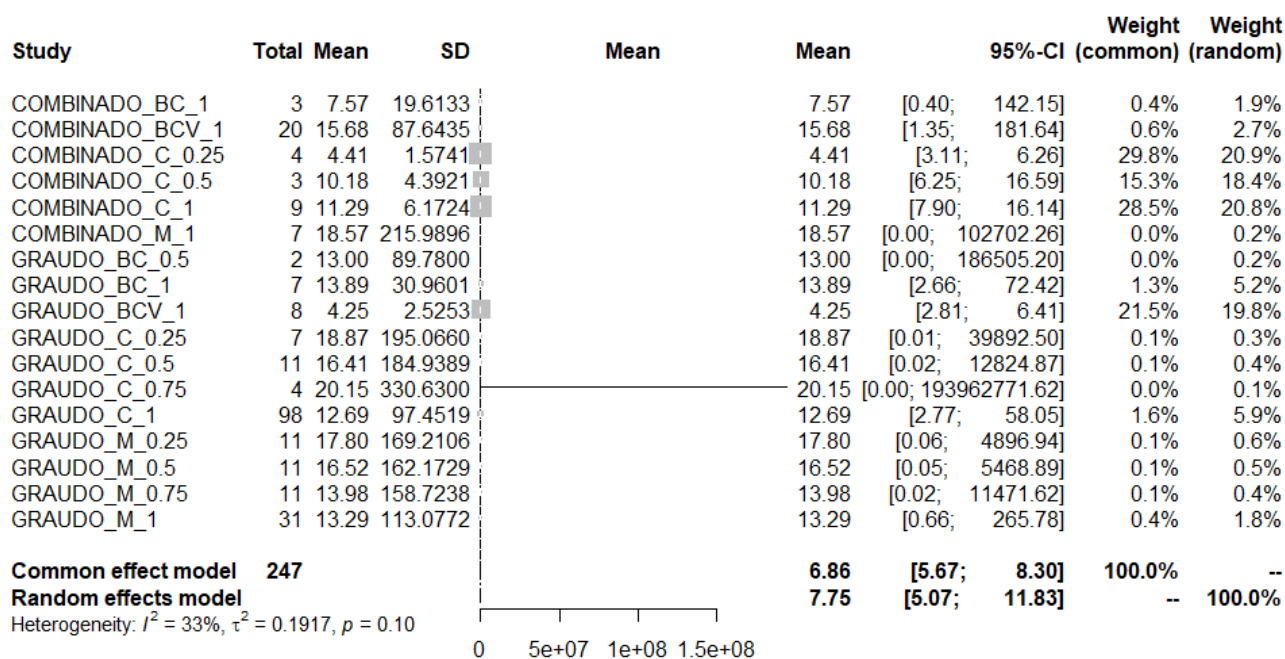


Figura 4.17 – Florest plot de resistência a compressão.

Fonte: Autora (2022).

A Figura 4.18 apresenta o gráfico de funil. A partir do gráfico é possível identificar o risco de viés de publicação dos artigos, ou seja, se os resultados publicados estão sistematicamente diferentes e a dispersão dos resultados dos estudos de acordo o respectivo erro padrão. Observou-se que há maior número de estudos no topo do funil e houve o deslocamento das combinações para um único lado do gráfico. A assimetria encontrada indica ausência de precisão nos valores coletados e evidente viés de publicação nos estudos. Vale ressaltar que a resistência à compressão determinada nas combinações está com perda de precisão nos resultados, pois encontram-se concentrados.

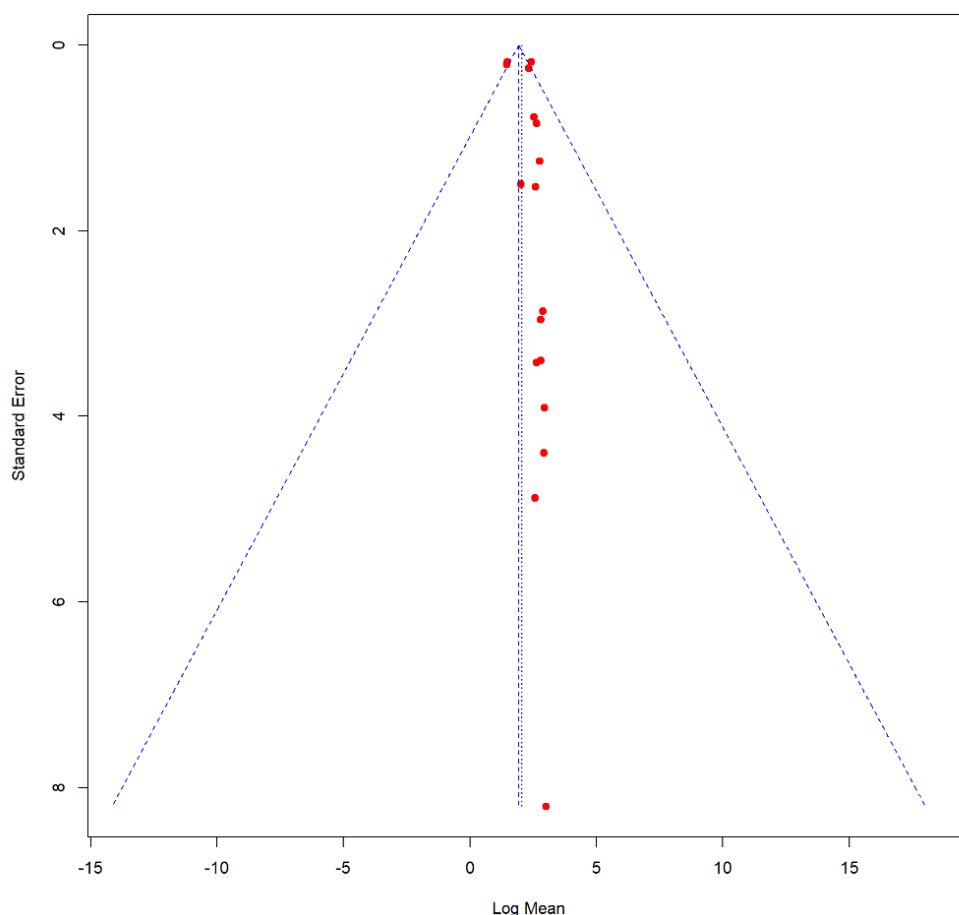


Figura 4.18 – Gráfico de funil das combinações correlacionadas com a resistência à compressão.

Fonte: Autora (2022).

Por meio do *florest plot*, apresentado na Figura 4.19, foi possível avaliar a influência das combinações na porosidade do CPER, com base nos dados coletados entre os 53 artigos. Verificou-se que existe a presença de heterogeneidade estatisticamente significativa com $I^2 = 95\%$, ou seja, as combinações coletadas dos estudos incluídos na revisão sistemática não apresentaram um grau de confiança e uma similaridade metodológica entre os dados de porosidade extraídos dos artigos selecionados. Para Santos e Cunha (2013), a alta heterogeneidade prejudica a interpretação da metanálise, pois os seus dados se apresentaram de forma dispersas. Além disso, foi possível identificar que os dados coletados nos estudos durante a RSL para a porosidade, apresentam metodologias distintas para a análise dessa propriedade. Pode-se verificar que a combinação: COMBINADO_C_1 apresentou maior peso entre as outras combinações coletadas, sem variabilidade amostral. Já as combinações: COMBINADO_M_1 e GRAUDO_M_0.25

apresentaram alta variabilidade amostral entre os resultados dos estudos, ou seja, os seus intervalos de confiança foram significantes, os quais mostraram muita diferença entre os dados coletados. As outras combinações, quando correlacionadas à porosidade tiveram dados muito dispersos não sendo possível uma interpretação do seu efeito na propriedade do concreto permeável. Diante disso, pode-se notar que existe uma diferença dos dados coletados entre os artigos que utilizaram uma mesma combinação e há muita variabilidade entre os estudos com intervalos de confiança para a média superestimada.

Devido os estudos selecionados na RSL não apresentarem a mesma metodologia, considerou-se o modelo de efeitos aleatórios para uma melhor análise dos resultados coletados. A partir desse efeito foi possível verificar que a média geral da porosidade na literatura, considerando todos os tipos de combinações, na literatura científica é de 19.90%, ou seja, o CPER com agregado reciclado atende a porosidade determinada no ACI.

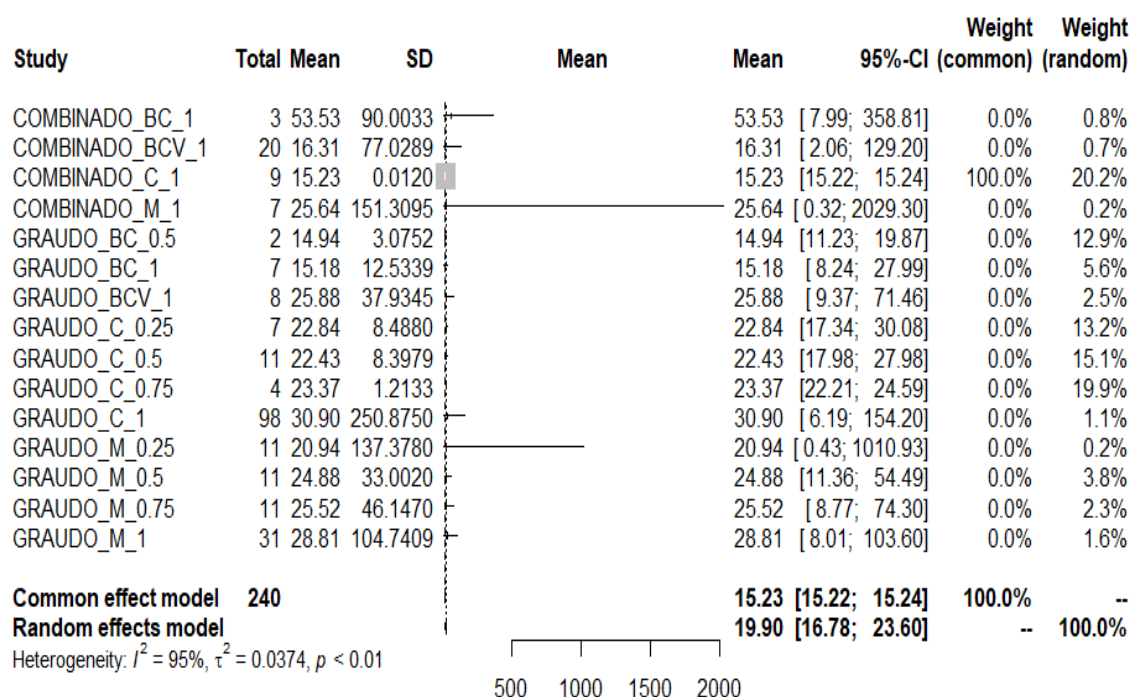


Figura 4.19 – Florest plot de porosidade.

Fonte: Autora (2022).

Com base no gráfico apresentado na Figura 4.20 é possível observar o risco de viés de publicação dos artigos, ou seja, se os resultados das combinações relacionados à porosidade do CPER, publicados nos artigos científicos, estão

sistematicamente diferentes e a dispersão dos resultados dos estudos de acordo com os respectivos erros padrão. Foi possível notar que há maior número de estudos no topo do funil e houve o deslocamento das combinações para um único lado do gráfico. Assim como a resistência a compressão, a assimetria encontrada nos resultados da porosidade indica ausência de precisão nos valores coletados e evidente viés de publicação nos estudos. Vale destacar que os resultados para a porosidade das combinações analisadas estão com perca de precisão em seus valores, pois encontram-se concentrados.

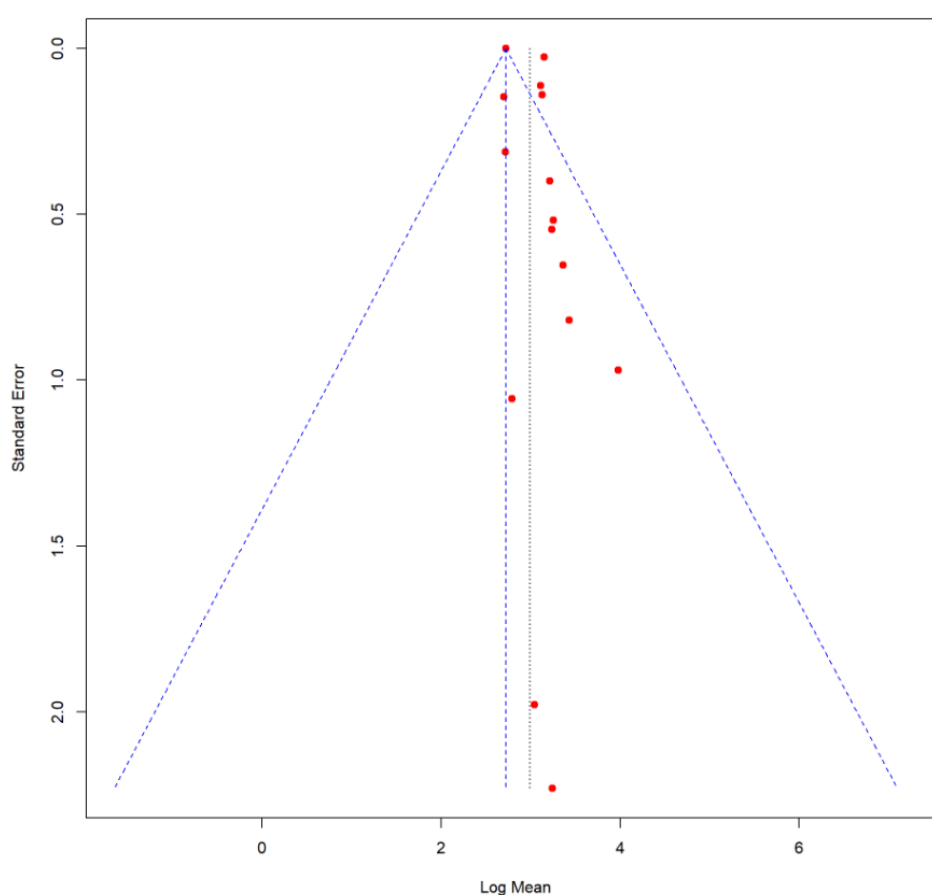


Figura 4.20 – Gráfico de funil das combinações correlacionadas com a porosidade.

Fonte: Autora (2022).

4.9. Análise dos resultados com base nas normas

O gráfico controle foi utilizado para avaliar o comportamento dos dados coletados entre os artigos selecionados na RSL para a resistência à compressão,

porosidade e permeabilidade do CPER. A partir disso, foi possível verificar o limite superior, central e inferior das propriedades do material com base nos resultados disponibilizados na literatura científica. Além disso, foi realizada a avaliação do desempenho do CPER baseada nas recomendações normativas: ACI 522R (2010) e NBR 16416 (ABNT, 2015).

A resistência mecânica do CPER é um parâmetro essencial para garantir a funcionalidade do material e influencia diretamente na sua durabilidade. Os principais parâmetros analisados em âmbito nacional são: resistência à compressão, resistência à flexão e resistência à tração na flexão, por meio de valores mínimos a serem atendidos pelo CPER. Na esfera internacional são padronizados valores mínimos e máximos de resistência à compressão e a flexão para serem adotados como referência e manter a otimização das propriedades mecânicas e hidráulicas do CPER. Observou-se que a resistência à tração e à flexão foram pouco exploradas nas pesquisas científicas. Diante disso, não foi possível produzir um banco de dados com números de amostras significativas para realizar a análise dessas propriedades, sendo assim, coletaram-se apenas dados referentes à resistência à compressão.

Com base na Figura 4.21 é possível analisar o comportamento da resistência à compressão do CPER na base de dados científica. Verificou-se que as médias superiores e inferiores da resistência à compressão encontram-se no intervalo de 21 MPa e 5,4 Mpa, respectivamente. Foi possível constatar que a maior parte do número de amostras de CPER com agregado reciclado obteve o valor mínimo de resistência à compressão de 2,8 MPa e uma pequena parcela das amostras alcançaram o valor máximo de 28 MPa, o qual é adotado pela norma americana.

Para Aliabdo et al. (2018) é importante mencionar que, embora o uso de agregado reciclado tenha afetado negativamente a resistência à compressão do concreto permeável, os resultados alcançados ainda atendem às faixas típicas propostas pelo ACI 522R. Além disso, em sua pesquisa foi possível constatar que o uso do tamanho agregado de 19,00 mm atingiu criticamente o limite mínimo de resistência.

Segundo a NBR 16416 (ABNT, 2015), o CPER permeável é projetado conforme a sua aplicabilidade. Nota-se, com base na literatura coletada, que grande parte do CPER com agregado reciclado, produzido nos estudos coletados, não podem ser utilizados como peça de concreto com juntas alargadas e/ou áreas vazadas. Uma parcela das amostras de CPER com agregado reciclado atendeu o

valor mínimo estabelecido pela norma brasileira para peças de CPER utilizados em vias de tráfego leve e de pedestres, onde determina que as mesmas devam atingir uma resistência maior ou igual a 20 MPa. Sendo assim, o CPER produzido com agregado reciclado tem possibilidade de ser utilizado, em condições específicas, para a fabricação de peças de CPER.

Vale ressaltar que a NBR 16416 (ABNT, 2015) referencia as normas que contém os métodos para a determinação das propriedades mecânicas de concreto convencional. Diante disso Zhong et al. (2018) afirmam que os métodos de teste padronizados para concreto convencional podem não ser aplicáveis ao concreto permeável devido à sua estrutura porosa. Deste modo, a ausência de métodos de ensaio padronizados desenvolvidos para esse tipo de material, dificulta as comparações entre diferentes pesquisas.

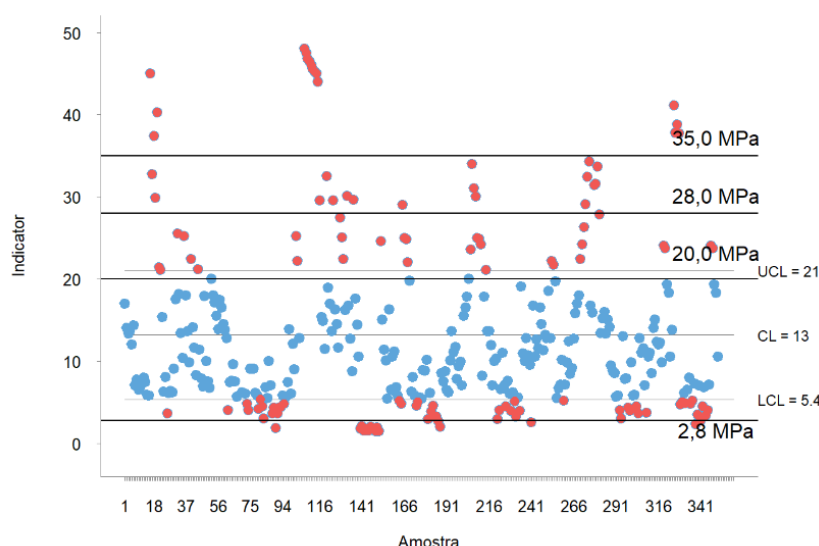


Figura 4.21 – Gráfico comparativo de resistência à compressão.

Fonte: Autora (2022).

A partir da Figura 4.22 é possível observar o comportamento da porosidade na literatura científica. Verificou-se que a média superior e inferior da porosidade encontra-se no intervalo de 32% e 18%, respectivamente. Isso indica que os artigos coletados apresentaram valores dentro do parâmetro determinado pelo ACI (2010) para a porosidade. Vale ressaltar que os pontos vermelhos estão fora do limite padrão determinados em norma, ou seja, alguns artigos apresentaram uma porosidade superior a 35%, a qual se mostra prejudicial à otimização das propriedades mecânicas e a capacidade drenante do material. Para Sriravindrarajah

et al. (2012), o CPER com agregado reciclado e porosidade entre 20-25%, é consideravelmente mais fraco do que o concreto permeável com agregado natural.

A estrutura de poros presente no material caracteriza-se por vários parâmetros, incluindo o tamanho dos poros, a conectividade entre si, a rugosidade e a fração de volumes, a qual corresponde à porosidade do material. Ademais, o uso de agregados mais finos possibilita uma estrutura de poros mais compacta e melhora a interface entre a fase agregada e a matriz de cimento, o qual influencia no aumento da resistência do CPER (LIAN et al., 2021; TOGHROLI, 2020).

Montes et al. (2005) afirmam que a porosidade do concreto permeável tem sido citada com frequência na literatura, mas ainda existem divergências quanto a sua definição e os métodos utilizados para determiná-la, ou seja, como a porosidade é estabelecida e que “tipo” de porosidade é importante para manter a capacidade drenante do material. Além disso, a norma brasileira não estabelece métodos e parâmetros para sua determinação, o que acaba dificultando a padronização da porosidade ideal para o desempenho eficaz do CPER.

Diante disso, observa-se que deve ser realizada uma pesquisa minuciosa acerca da estrutura porosa do CPER para avaliar o seu desempenho. Vale evidenciar que os indicadores interferentes na estrutura porosa do material, não foram explorados nas pesquisas selecionadas na RSL. Diante disso, nota-se um viés para explorar pesquisas nessa área de conhecimento.

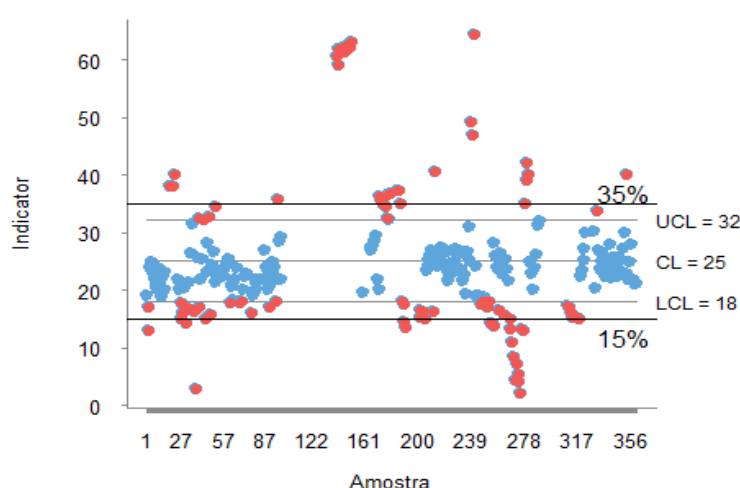


Figura 4.22 – Gráfico comparativo de porosidade.

Fonte: Autora (2022).

De acordo com a Figura 4.23 foi possível analisar o comportamento da permeabilidade com base nos artigos científicos selecionados. A NBR 16416 (ABNT, 2015) possui a padronização do método de ensaio para a quantificação do coeficiente de permeabilidade (k), o qual é o parâmetro indicativo capaz de mensurar a velocidade que uma determinada quantidade de água percola o material permeável, devendo ser maior que 1 mm/s. Caso seja tomado como parâmetro de referência o ACI (2010), os valores recomendados variam entre 1,4 mm/s a 12,2 mm/s, para o CPER obter a otimização de suas propriedades mecânicas e hidráulicas.

Verificou-se que a média superior e inferior da permeabilidade encontra-se no intervalo de 19,0 mm/s e 6,4 mm/s, respectivamente. Isso indica que o CPER produzido nas pesquisas selecionadas apresentou a permeabilidade bem superior ao mínimo determinado pela NBR 16416 (ABNT, 2015) e ACI (2010). Foi observada a presença de amostras que apresentaram uma permeabilidade muito elevada, maior que 60 mm/l, o qual se mostra prejudicial à otimização das propriedades mecânicas do CPER.

Para Toghroli et al. (2020), com base nos resultados de seu estudo foi possível verificar que até 25% de aumento na permeabilidade reduz cerca de 60% nas propriedades de resistência em misturas incorporando 100% de agregado reciclado de resíduo da construção civil na produção do CPER. Outros fatores que influenciam a permeabilidade são a densidade e o conteúdo de vazios, ou seja, uma maior densidade implica em uma menor permeabilidade, um maior teor de vazios implica em uma maior permeabilidade (ULLOA-MAYORGA et al., 2018).

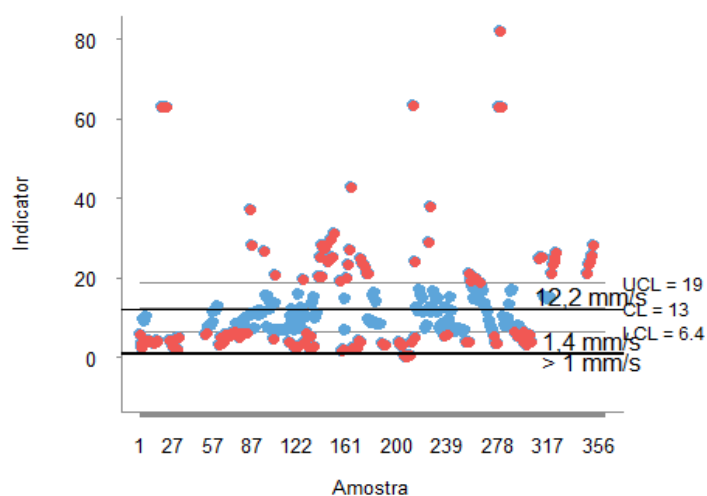


Figura 4.23 – Gráfico comparativo de permeabilidade.

Fonte: Autora (2022).

5. CONCLUSÃO

A presente dissertação foi desenvolvida com o objetivo fundamental de avaliar as evidências científicas, por meio da RSL, sobre a aplicação dos agregados reciclados de resíduo da construção civil e sua influência nas propriedades do concreto permeável aplicado como revestimento de pavimento.

Por meio dos procedimentos metodológicos adotados na pesquisa obtiveram-se informações a respeito do avanço da produção científica quanto à utilização de resíduo da construção civil na produção do CPER. Além disso, o índice de publicações e as ferramentas propostas se demonstraram eficientes para selecionar os trabalhos científicos mais relevantes e identificar as características do material analisado.

Foi possível verificar que nos nove primeiros anos (2006 a 2015) houve uma baixa frequência de publicações referentes ao CPER com resíduo da construção civil. Já no ano de 2016 o assunto ganhou maior destaque e relevância nas publicações. Desta forma, observou-se um avanço nas pesquisas sobre a aplicação do resíduo da construção civil na produção do CPER, o tipo de resíduo mais empregado, o efeito do percentual de substituição e a granulometria mais utilizada na literatura científica.

Por intermédio da presente pesquisa foi possível avaliar a influência do tipo de agregado utilizado na produção do concreto permeável. Os resíduos de concreto estrutural e misto foram os mais utilizados como agregado na produção do CPER, com frequências de 40% e 20%, respectivamente. Em certas condições, os autores afirmaram em seus estudos que o CPER confeccionado com resíduo de concreto apresentou características semelhantes ao CPER produzido com agregado natural.

Diante disso, verificou-se que todos os tipos de agregados atingiram os valores de resistência e porosidade determinados pelo ACI e a permeabilidade atendeu as duas normas, exceto o resíduo de vidro que apresentou uma permeabilidade muito inferior ao parâmetro limite estabelecido por ambas às normas.

Com o estudo realizado foi possível mapear e avaliar o efeito do percentual de substituição do agregado reciclado nas propriedades do CPER. Os percentuais mais utilizados na produção do CPER foram 100% e 50% de substituição. De acordo com os dados coletados foi possível verificar que a substituição do agregado natural

por agregado reciclado aumentou notavelmente a permeabilidade do CPER e reduziu a sua resistência. Além disso, foi observado que as propriedades mecânicas e hidráulicas do CPER com 100% e 50% de substituição mantiveram-se próximas ao do CPER fabricado com agregado natural.

Foi possível mapear a granulometria do agregado mais utilizada na literatura científica para a confecção do CPER. No entanto, a variabilidade de composição granulométricas utilizada por diferentes pesquisadores dificultou a realização de uma análise mais aprofundada em termos estatísticos. Por meio dos artigos coletados verificou-se que 80% dos artigos publicados utilizaram apenas agregados graúdos, pertencentes às faixas de 4.76 mm a 25.4 mm. De acordo com a literatura, o uso de agregados de tamanhos maiores aumenta a porosidade do CPER, já o uso de agregados de tamanhos menores colabora com o aumento da resistência do material. Visto que apenas 20% dos artigos publicados utilizaram agregados combinados, confirma-se que a inserção de agregado miúdo dificulta a otimização das propriedades hidráulicas do material e o seu uso é limitado por norma, pois tende a comprometer a conectividade da estrutura porosa do CPER.

Com base na correlação realizada notou-se que os parâmetros analisados não apresentam tantas interferências nas propriedades do CPER. Há fatores que possuem maiores influências no desempenho desse material. Em vista disso, recomenda-se que exista um controle e uma investigação mais minuciosa acerca dos materiais que compõem o concreto permeável com agregado reciclado para se obter um bom desempenho.

Diante das análises realizadas foi possível validar a aplicação do agregado reciclado na produção do CPER, sendo uma solução adequada para os problemas de despejo irregular de resíduos e escassez de agregados naturais. Ademais, o CPER produzido com agregado reciclado é considerado um meio econômico e ecologicamente correto para apoiar o crescimento verde e sustentável da sociedade. Sendo assim, espera-se que os resultados obtidos na presente pesquisa sejam considerados por novos pesquisadores e contribuam com o conhecimento acerca do CPER produzido com resíduo da construção civil.

6. APÊNDICE

6.1 Apêndice A – Protocolo de pesquisa

SYSTEMATIC REVIEW – A INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL: UM REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA CIENTÍFICAS

Título: A influência dos agregados reciclados de resíduo da construção civil nas propriedades do concreto permeável: uma revisão sistemática da literatura científica;

Pesquisadores: Thainá Maria da Costa Oliveira;

Descrição: Desenvolvimento de revisão sistemática para fins de validação de dados apresentados em dissertação de mestrado, cuja pesquisa se baseia na análise de produções científicas que apresentam resultados publicados em periódicos sobre a utilização do agregado reciclado na produção do concreto permeável e a influência desse material em suas propriedades;

Objetivos: Identificar produções científicas com resultados comprovados sobre a produção do concreto permeável com resíduo da construção civil;

Avaliar a influência do agregado reciclado nas propriedades do concreto permeável;

Avaliar cientificamente a utilização do agregado reciclado de resíduo da construção civil na fabricação do concreto permeável com base em estudos realizados últimos 15 anos;

Questão Principal: É possível utilizar o agregado reciclado de resíduo da construção civil na fabricação do concreto permeável?

Palavras-chave: Pervious Concrete; Draining Floor; Porous Concrete; Recycled Aggregate; Civil Construction Waste Aggregate; Properties; Performance;

Crítérios de seleção de fontes: Incluir artigos publicados nas bases de dados relacionados ao tema pesquisado; Possuir metodologia experimental; Permitir exportação de dados para *softwares* externos, para mapeamento e análise dos dados; Sistema de busca intuitivo e com filtragem de trabalhos publicados em periódicos no mínimo com Qualis B2; Disponibilizar visualização gráfica das publicações, permitindo filtragem; Criar acervo com indexação de periódicos com grandes fatores de impacto sobre a temática;

Idiomas de estudo: Todas as disponíveis na base de dados;

Métodos de pesquisa de fonte: Pesquisa exploratória em bases de dados, para identificação de palavras-chaves e identificação de pesquisas relacionadas ao tema;

Base de dados: *Engineering Village, Science Direct, Scopus e Web of Science*;

Crítérios de inclusão e exclusão de estudos: (I) Artigo; (E) Artigo de revisão bibliográfica; (I) Artigo de periódico; (E) Artigo publicado antes de 2006; (I) Publicações sobre concreto permeável; (I) Agregado reciclado de resíduo da construção; (I) Metodologia experimental (E) Anais de congressos, conferências, simpósios, livros; (E) Trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorado; (E) Patentes; (E) Outros agregados; (E) Temática diferente;

Campos de extração de informação: Título; Palavras-chaves; Resumo; Tipo de publicação; Ano de publicação.

6.2 Apêndice B – Padronização de nomenclatura

O Quadro B.1 apresenta a padronização dos nomes utilizados para realizar a análise estatística da presente pesquisa.

Quadro B.1– Padrão de nomenclatura das amostras

	ARTIGO	CARACTERÍSTICAS			NOMENCLATURA ADOTADA
		GRANULOMETRIA DO AGREGADO (mm)	TIPO DE AGREGADO	% DE AGREGADO RECICLADO UTILIZADO	
1	Analysis of properties of pervious concrete prepared with difference paste-coated recycled aggregate	GRAÚDO	C	100%	GRAUDOC100%
2	Mechanical properties and freeze-thaw durability of recycled aggregate pervious concrete	GRAÚDO	BC	25%; 50%;75%;100%	GRAUDOBC25% GRAUDOBC50% GRAUDOBC75% GRAUDOBC100%
3	Material characterization and hydraulic conductivity modeling of macroporous recycled-aggregate pervious concrete	GRAÚDO COMBINADO	M	100%	GRAUDOM100% COMB. M100%
4	Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate	GRAÚDO	BC, C	20%;40%; 60%;80%; 100%	GRAUDOBC20% GRAUDOBC40% GRAUDOBC60% GRAUDOBC80% GRAUDOBC100% GRAUDOC20% GRAUDOC40% GRAUDOC60% GRAUDOC80% GRAUDOC100%

5	Effects of recycled aggregate content on pervious concrete performance	GRAÚDO	PC	25%%; 50%%; 75%%; 100%	GRAUDOPC25% GRAUDOPC50% GRAUDOPC75% GRAUDOPC100% GRAUDOPC100%
6	Mechanical properties of pervious concrete with recycled aggregate	GRAÚDO	M	25%;50%;75%;100%	GRAUDOM25% GRAUDOM50% GRAUDOM75% GRAUDOM100%
7	Research on mechanical properties, permeability and abrasion resistance of fibers modified recycled aggregate pervious concrete	GRAÚDO	PC	100%	GRAUDOPC100%
8	Blending ratio of recycled aggregate on the performance of pervious concrete	GRAÚDO	BC	30%;50%;100%	GRAUDOBC30% GRAUDOBC50% GRAUDOBC100% GRAUDOBC100%
9	Effect of recycled aggregate reinforcement on strength of pervious concrete	GRAÚDO	C	100%	GRAUDOC100%
10	Prediction model for compressive strength of porous concrete with low-grade recycled aggregate	GRAÚDO	M	25%; 50%;75%;100%	GRAUDOM25% GRAUDOM50% GRAUDOM75% GRAUDOM100%
11	Effect of different substitution of natural aggregate by recycled aggregate on performance characteristics of pervious concrete	GRAÚDO	C	25%; 50%;75%;100%	GRAUDOC25% GRAUDOC50% GRAUDOC75% GRAUDOC100%
12	Experiment on strength and permeability of recycled aggregate pervious concrete	GRAÚDO	C	100%	GRAUDOC100%

13	Experimental Study and Analytical Modeling on Fatigue Properties of Pervious Concrete Made with Natural and Recycled Aggregates	GRAÚDO	BC	100%	GRAUDOC100%
14	Influence of silica fume on the pervious concrete with different levels of recycled aggregates	GRAÚDO	C	25%; 50%;75%;100%	GRAUDOC25% GRAUDOC50% GRAUDOC75% GRAUDOC100%
15	The effect of different admixtures on the basic properties of recycled pervious concrete	GRAÚDO	M	100%	GRAUDOM100%
16	Experimental investigation on permeability indices and strength of modified pervious concrete with recycled concrete aggregate	GRAÚDO	C	50%;100%	GRAUDOC50% GRAUDOC100% GRAUDOC50% GRAUDOC100%
17	Hydraulic behavior variation of pervious concrete due to clogging	GRAÚDO	M	100%	GRAUDOM100%
18	Properties of porous concrete from waste crushed concrete (recycled aggregate)	GRAÚDO	C	100%	GRAUDOC100%
19	Study on mechanical properties and water permeability of recycled aggregate porous concrete	GRAÚDO	C	100%	GRAUDOC100% GRAUDOC100% GRAUDOC100%
20	Mix Design for Pervious Recycled Aggregate Concrete	GRAÚDO	C	100%	GRAUDOC100% GRAUDOC100%
21	Study on pervious road brick prepared by recycled aggregate concrete	GRAÚDO	C	100%	GRAUDOC100%
22	Inclined porous concrete surface impact on infiltration using recycled concrete aggregate	GRAÚDO	C	100%	GRAUDOC100%

23	Durability and abrasion resistance of innovative recycled pervious concrete with recycled coarse aggregate of different quality under sulfate attack	GRAÚDO	C, M	25%; 50%;75%;100%	GRAUDOC25% GRAUDOC50% GRAUDOC75% GRAUDOC100% GRAUDOM25% GRAUDOM50% GRAUDOM75% GRAUDOM100%
24	Mix design recycled aggregate pervious concrete and the influence on pavement property	GRAÚDO	C	100%	GRAUDOC100%
25	The impact of recycled coarse aggregates obtained from waste concretes on lightweight pervious concrete properties	GRAÚDO	C	100%	GRAUDOC100% GRAUDOC100%
26	Experimental study on mechanical properties of pervious concrete containing recycled aggregate	GRAÚDO	C	30%;70% e 100%	GRAUDOC30% GRAUDOC70% GRAUDOC100%
27	Enhancing the mechanical properties of pervious recycled aggregate concrete using silicafumes	GRAÚDO COMBINADO	C	25%	GRAUDOC25% COMB.C25%
28	Engineering properties of porous concrete made of sustainable aggregate	GRAÚDO	PA	50%	GRAUDOPA50%
29	Influence of AAC grains on some properties of permeable pavement utilizing of CDW and industrial by-product	COMBINADO	M	100%	COMB.M100%
30	Evaluation of fly ash as supplementary cementitious material to the mechanical properties of recycled aggregate pervious concrete	COMBINADO	C	50%;100%	COMB.C50% COMB.C100%
31	Performance of recycled aggregate in pervious concrete	GRAÚDO	M	25%; 50%; 75% e 100%	GRAUDOM25% GRAUDOM50% GRAUDOM75% GRAUDOM100%

32	Sustainable design of pervious concrete using waste glass and recycled concrete aggregate	GRAÚDO COMBINADO	V, M	25%,50%,75% e 100%	COMB.V25% COMB.V50% COMB V75% COMB V100% GRAUDOM25% GRAUDOM50% GRAUDOM75% GRAUDOM100%
34	Research on mechanical properties, permeability and abrasion resistance of fibers modified recycled aggregate pervious concrete	GRAÚDO	PC	100%	GRAUDOPC100%
35	Performance of pervious concrete containing combined recycled aggregates [Desempeño del concreto permeable con agregados reciclados combinados]	GRAÚDO	BCV, M, C	100%	GRAUDBCV100% GRAUDOM100% GRAUDOC100%
36	Influence of red-clay ceramic content of recycled aggregate on the properties of pervious concrete	GRAÚDO	BCV, M, C	100%	GRAUDOC100% GRAUDOM100% GRAUDBC100%
37	Influence of crushing index on properties of recycled aggregates pervious concrete	GRAÚDO	M	100%	GRAUDOM100%
38	Properties of pervious concrete aiming for LEED green building rating system credits	COMBINADO	BC	20%;50%;100%	COMB.BC20% COMB.BC50% COMB.BC100%
39	Study of application of mixed recycled aggregates for pervious concrete and backfilling trenches at Barcelona city	GRAÚDO	M	100%	GRAUDOM100%

40	The aggregate's influences on properties of porous pervious concrete made of recycled aggregates	GRAÚDO	BC	100%	GRAUDOB100% GRAUDOB100%
41	Properties of pervious geopolymer concrete using recycled aggregates	GRAÚDO	C, BCV	100%	GRAUDOC100% GRAUDOB100%
42	Properties of porous concrete from waste crushed concrete (recycled aggregate)	GRAÚDO	C	100%	GRAUDOC100%
43	Characterization of pervious concrete using over burnt brick as coarse aggregate	COMBINADO	BCV	100%	COMB.BCV100% COMB.BCV100% COMB.BCV100% COMB.BCV100% COMB.BCV100%
44	Strength Properties of Geopolymer Concrete Modified with Recycled Aggregates	GRAÚDO	C, BCV	100%	GRAUDOC100% GRAUDOB100%
45	Microanalysis of Recycled Coarse Aggregate and Properties of No-Fines Pervious Recycled Concrete	GRAÚDO	C	100%	GRAUDOC100%
46	Influence of recycled aggregate replacement and fly ash content in performance of pervious concrete mixtures	GRAÚDO	M	25%;50%;75%; 100%	GRAUDOM25% GRAUDOM50% GRAUDOM75% GRAUDOM100%
47	Mechanical behavior and water infiltration of pervious concrete incorporating recycled asphalt pavement aggregate	COMBINADO	PA	10%; 20%; 50%;100%	COMB.PA10% COMB.PA20% COMB.PA50% COMB.PA100%
48	Hydraulic and strength characteristics of pervious concrete containing a high volume of construction and demolition waste as aggregates	COMBINADO	C	100%	COMB.C100%

49	Evaluating the use of recycled concrete aggregate and pozzolanic additives in fiber-reinforced pervious concrete with industrial and recycled fibers	GRAÚDO	C	10%; 25%; 50%; 100%	GRAUDOC10% GRAUDOC25% GRAUDOC50% GRAUDOC100%
50	Utilizing Construction and Demolition (C&D) Waste as Recycled Aggregates (RA) in Concrete	GRAÚDO	C	100%	GRAUDOC100% GRAUDOC100% GRAUDOC100% GRAUDOC100% GRAUDOC100%
51	Effect of the use of recycled asphalt pavement (RAP) aggregates on the performance of pervious paver blocks (PPB)	GRAÚDO COMBINADO	PA	50%; 100%	GRAUDOPA50% GRAUDOPA100% COMB.PA50% COMB.PA100%
52	Effect of pumice powder and nano-clay on the strength and permeability of fiber-reinforced pervious concrete incorporating recycled concrete aggregate	GRAÚDO	C	10%; 25%; 50%; 100%	GRAUDOC10% GRAUDOC25% GRAUDOC50% GRAUDOC100%
53	Assessing the abrasion resistance of cores in virgin and recycled aggregate pervious concrete	GRAÚDO	C	50%	GRAUDOC50%

Fonte: Autora (2022)

6.3 Apêndice C – Análise das propriedades do CPER

Tipo de agregado

A Tabela C.1 apresenta a análise estatística realizada com base nas propriedades do concreto permeável e os tipos de agregados utilizados nos artigos selecionados.

Tabela C.1 – Análise das propriedades do CPER em relação ao tipo de agregado utilizado nos artigos selecionados na RSL.

Tipo de Agregado	Média Fc (MPa)	Desvio Padrão Fc	Média V (%)	Desvio Padrão V	Média K (mm/s)	Desvio Padrão K
BC	13,26	5,66	23,30	15,68	6,29	5,47
BCV	12,41	9,49	19,05	9,13	13,10	5,32
C	13,23	10,04	27,78	13,85	12,87	7,54
M	15,11	11,89	26,54	9,95	16,46	21,50
NA	13,34	9,36	24,46	5,63	12,68	11,59
PA	5,37	2,56	24,27	2,48	1,80	-
PC	7,17	0,88	21,14	1,59	3,92	0,25
V	27,73	3,23	25,52	1,18	0,29	0,12

(Fc) Resistência a Compressão; (V) Porosidade; (K) Permeabilidade

Fonte: Autora (2022)

Percentual de substituição

A Tabela C.2 apresenta a análise estatística realizada com base nas propriedades do concreto permeável e o percentual de substituição utilizado nos artigos selecionados.

Tabela C.2 – Análise das propriedades do CPER em relação ao percentual de substituição utilizados nos artigos selecionados na RSL.

Percentual	Média Fc (MPa)	Desvio Padrão Fc	Média V (%)	Desvio Padrão V	Média K (mm/s)	Desvio Padrão K
0%	13,34	9,36	24,46	5,63	12,68	11,59
10%	19,47	7,33	23,30	0,00	23,10	0,00
20%	13,43	1,86	23,50	0,71	8,70	1,13
25%	16,24	12,62	21,35	7,39	10,38	7,26
30%	10,55	6,29	14,96	-	2,60	-
40%	14,65	1,91	22,00	2,83	8,90	1,27
50%	13,18	11,13	22,54	3,96	8,44	7,74
60%	16,00	1,41	21,50	3,54	7,25	2,33
70%	11,40	-	-	-	-	-
75%	15,71	12,97	23,71	5,61	7,09	6,60
80%	13,00	1,41	21,00	5,66	6,35	3,89
100%	12,40	9,60	26,67	13,77	13,78	13,16

(Fc) Resistência a Compressão; (V) Porosidade; (K) Permeabilidade

Fonte: Autora (2022).

Combinação de fatores

A Tabela C.3 apresenta a análise estatística realizada com base nas combinações encontradas na literatura para a produção do concreto permeável em relação às propriedades mecânicas e hidráulicas do material.

Tabela C.3 – Análise das propriedades do CPER em relação a combinação de fatores utilizados nos artigos selecionados na RSL.

Combinação de fatores	Média Fc (MPa)	Desvio Padrão Fc	Média V (%)	Desvio Padrão V	Média K (mm/s)	Desvio Padrão K
COMBINADO_BC_1	7,57	4,43	53,53	9,49	10,10	4,67
COMBINADO_BCV_1	15,68	9,36	16,31	8,78	14,04	4,90
COMBINADO_C_0.25	4,41	1,25	-	-	13,60	3,34
COMBINADO_C_0.5	10,18	2,10	-	-	-	-
COMBINADO_C_1	11,29	2,48	15,23	0,11	15,07	0,23
COMBINADO_M_1	18,57	14,70	25,64	12,30	28,83	31,96
COMBINADO_NA_0	11,93	7,79	26,49	2,47	6,10	5,04
COMBINADO_PA_0.1	11,00	-	-	-	-	-
COMBINADO_PA_0.2	11,50	-	-	-	-	-
COMBINADO_PA_0.5	4,75	1,55	23,53	1,22	-	-
COMBINADO_PA_1	3,05	0,62	23,53	1,13	-	-
COMBINADO_V_0.25	31,00	-	24,10	-	0,20	-
COMBINADO_V_0.5	30,00	-	25,20	-	0,21	-
COMBINADO_V_0.75	25,00	-	25,90	-	0,30	-
COMBINADO_V_1	24,90	-	26,90	-	0,45	-
GRAUDO_BC_0.2	15,20	-	23,00	-	7,90	-
GRAUDO_BC_0.25	21,70	-	14,20	-	3,88	-
GRAUDO_BC_0.3	6,10	-	14,96	-	2,60	-
GRAUDO_BC_0.4	16,00	-	20,00	-	8,00	-
GRAUDO_BC_0.5	13,00	9,48	14,94	1,75	3,21	0,73
GRAUDO_BC_0.6	17,00	-	19,00	-	5,60	-
GRAUDO_BC_0.75	16,70	-	13,40	-	3,61	-
GRAUDO_BC_0.8	14,00	-	17,00	-	3,60	-
GRAUDO_BC_1	13,89	5,56	15,18	3,54	6,88	8,49
GRAUDO_BCV_1	4,25	1,59	25,88	6,16	10,75	5,92
GRAUDO_C_0.1	23,70	0,00	23,30	0,00	23,10	0,00
GRAUDO_C_0.2	13,60	-	24,00	-	9,50	-
GRAUDO_C_0.25	18,87	13,97	22,84	2,91	13,91	8,47
GRAUDO_C_0.3	15,00	-	-	-	-	-
GRAUDO_C_0.4	13,30	-	24,00	-	9,80	-
GRAUDO_C_0.5	16,41	13,60	22,43	2,90	12,31	8,29
GRAUDO_C_0.6	15,00	-	24,00	-	8,90	-
GRAUDO_C_0.7	11,40	-	-	-	-	-
GRAUDO_C_0.75	20,15	18,18	23,37	1,10	8,20	2,49
GRAUDO_C_0.8	12,00	-	25,00	-	9,10	-
GRAUDO_C_1	12,69	9,87	30,90	15,84	12,80	7,99

Combinação de fatores	Média Fc (MPa)	Desvio Padrão Fc	Média V (%)	Desvio Padrão V	Média K (mm/s)	Desvio Padrão K
GRAUDO_M_0.25	17,80	13,01	20,94	11,72	7,88	6,17
GRAUDO_M_0.5	16,52	12,73	24,88	5,74	8,30	7,57
GRAUDO_M_0.75	13,98	12,60	25,52	6,79	8,61	9,13
GRAUDO_M_1	13,29	10,63	28,81	10,23	18,81	23,38
GRAUDO_NA_0	13,66	9,73	24,15	5,93	13,33	11,88
GRAUDO_PA_0.5	5,80	0,81	22,64	1,88	1,80	-
GRAUDO_PA_1	4,80	0,10	27,37	2,73	-	-
GRAUDO_PC_0.25	7,75	-	20,31	-	4,39	-
GRAUDO_PC_0.5	6,50	-	21,23	-	3,67	-
GRAUDO_PC_0.75	6,75	-	23,83	-	3,84	-
GRAUDO_PC_1	7,25	0,99	20,86	1,54	3,90	0,22

(Fc) Resistência a Compressão; (V) Porosidade; (K) Permeabilidade

Fonte: Autora (2022)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020/2021**. Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. São Paulo, 2021.

AKHTAR, A.; SARMAH, A. K. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 262–281, 2018.

ALIABDO, Ali A.; ELMOATY, Abd Elmoaty M. Abd; FAWZY, Ahmed M.. Experimental investigation on permeability indices and strength of modified pervious concrete with recycled concrete aggregate. **Construction And Building Materials**, v. 193, p. 105-127, dez. 2018.

American Concrete Institute. Pervious Concrete. **ACI 522R-10:ReportOnPervious Concretes**. Michigan, 2010.

AMIN, Abdulfattah A.; YOUNIS, Khaleel H.; JIRJEES, Firas F.; IBRAHIM, Talib K. Experimental Study on Mechanical Properties of Pervious Concrete Containing Recycled Aggregate. **Civil Engineering And Architecture**, v. 9, n. 6, p. 1735-1743, out. 2021.

ARIFI, Eva. Evaluation of fly ash as supplementary cementitious material to the mechanical properties of recycled aggregate pervious concrete. **International Journal Of Geomate**, v. 18, n. 66, p. 44-49, 1 fev. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Concreto: Determinação da resistência à tração de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados 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 15805**: Pisos elevados de placas de concreto – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para Concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

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

Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção - ANEPAC, 2018. Disponível em: < <https://sitefiespstorage.blob.core.windows.net/observatoriodaconstrucao/2018/10/Demanda-por-Agregados-para-Construcao.pdf> > Acesso em: 13 jul.2020.

BARNHOUSE, Patrick W.; SRUBAR, Wil V. Material characterization and hydraulic conductivity modeling of macroporous recycled-aggregate pervious concrete. **Construction And Building Materials**, v. 110, p. 89-97, maio 2016.

Bechara, L. **Concreto Poroso Como Revestimento De Pavimento Permeável: Alternativa De Drenagem Urbana Não Estrutural À Região Metropolitana De Belém**. 117 P. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto De Tecnologia, Programa De Pós-Graduação Em Arquitetura E Urbanismo, Belém, 2017.

BHUTTA, Muhammad Aamer Rafique; HASANAH, Nor; FARHAYU, Nur; HUSSIN, Mohd Warid; TAHIR, Mahmood Bin Md; MIRZA, J.. Properties of porous concrete from waste crushed concrete (recycled aggregate). **Construction And Building Materials**, v. 47, p. 1243-1248, out. 2013.

BITTENCOURT, Susana Viana; MAGALHÃES, Margareth da Silva; TAVARES, Maria Elizabeth da Nóbrega. Mechanical behavior and water infiltration of pervious concrete incorporating recycled asphalt pavement aggregate. **Case Studies In Construction Materials**, v. 14, p. 00473, jun. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia. **Diretrizes metodológicas: elaboração de revisão sistemática e metanálise de ensaios clínicos randomizados**. Brasília - DF, 2012.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: Reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, São Paulo, v. 61, n. 358, p.178-189, jun. 2015.

BRITO, Jorge de; SAIKIA, Nabajyoti. **Recycled Aggregate in Concrete**: use of industrial, construction and demolition waste. Lisbon: Springer, 2013. 453 p.

BRUCHÊZ, Adriane; AVILA, Alfonso Augusto Fróes; FERNANDES, Alice Munz; CASTILHOS, Nádia Cristina; OLEA, Pelayo Munhoz. Metodologia de Pesquisa de Dissertações sobre Inovação: análise bibliométrica. **Mostra de Iniciação Científica, Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão**, v. 4, n. 2015, p. 1-16, 1 dez. 2015. Universidade Caxias do Sul. <http://dx.doi.org/10.18226/35353535.v4.2015.112>.

CAHYA, E N; HARIBOWO, R; ARIFI, E. Inclined porous concrete surface impact on infiltration using recycled concrete aggregate. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 930, n. 1, p. 012100, 1 dez. 2021.

CARLS, B. **COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE, RESISTÊNCIA MECÂNICA E DURABILIDADE DE CONCRETO PERMEÁVEL DOSADO POR TRÊS DIFERENTES MÉTODOS**. 2018. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Ambiental): Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2018.

Castro, J.H., Solminihac, C.V., and Bonifacio F. 2009. Estudio de Dosificaciones En Laboratorio Para Pavimentos Porosos de Hormigón. **Revista Ingenieria de Construccion**, 24(3):271–84.

CHAITANYA, Mycherla; RAMAKRISHNA, G.. Enhancing the mechanical properties of pervious recycled aggregate concrete using silicafumes. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, p. 634-637, 2021.

CHANDRAPPA, A. K.; BILIGIRI, K. P. Pervious concrete as a sustainable pavement material-Research findings and future prospects: A state-of-the-art review. **Construction and Building Materials**, v. 111, p. 262–274, 2016.

Chen, S.L., Yang, Q. and Liu, Q.C. Experimental on the strength and permeability of recycled aggregate pervious concrete. **Trans Chin So Agricul Eng.**, 33(15), pp. 141-146, 2017.

CHEN, X. et al. Evaluating engineering properties and environmental impact of pervious concrete with fly ash and slag. **Journal of Cleaner Production**, v. 237, p. 117714, 2019.

CHEN, Xudong; SHI, Dandan; SHEN, Nan; LI, Shengtao; LIU, Saisai. Experimental Study and Analytical Modeling on Fatigue Properties of Pervious Concrete Made with Natural and Recycled Aggregates. **International Journal Of Concrete Structures And Materials**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 28 jan. 2019.

CHUEKE, Gabriel Vouga; AMATUCCI, Marcos. O que é bibliometria? Uma introdução ao Fórum. Internext, [s.l.], v. 10, n. 2, p.1-5, 9 set. 2015. **Escola Superior de Propaganda e Marketing (ESPM)**. <http://dx.doi.org/10.18568/1980-4865.1021-5>. Disponível em: <<http://internext.espm.br/internext/article/view/330>>. Acesso em: 20 jan. 2022.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. Porto Alegre: IPH UFRGS, 2008.

ĆOSIĆ, K. et al. Influence of aggregate type and size on properties of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 78, p. 69–76, 2015.

COSTA, F. B. P. et al. Best practices for pervious concrete mix design and laboratory tests. *Rev. IBRACON Estrut. Mater.*, São Paulo, v. 11, n. 5, p. 1151-1159, 2018.

DEBNATH, B.; SARKAR, P. P. Permeability prediction and pore structure feature of pervious concrete using brick as aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 213, p. 643–651, 2019.

DEBNATH, Barnali; SARKAR, Partha Pratim. Characterization of pervious concrete using over burnt brick as coarse aggregate. **Construction And Building Materials**, v. 242, p. 118-154, maio 2020.

DEO, O.; NEITHALATH, N. Compressive response of pervious concretes proportioned for desired porosities. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 11, p. 4181–4189, 2011.

DIAS, D. K. D. R. **REUTILIZAÇÃO DO RESÍDUO CERÂMICO ORIUNDO DO POLO OLEIRO DE IRANDUBA E MANACAPURU PARA EMPREGO COMO ELEMENTO CONSTITUINTE DE BASE E SUB-BASE DE PAVIMENTO**. 2016. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil): Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

EL-HASSAN, Hilal et. al. Properties of pervious concrete incorporating recycled concrete aggregates and slag. **Construction and Building Materials**, v. 212, p. 164-175, jul. 2019.

ELIZONDO-MARTÍNEZ, Eduardo Javier et al. Review of porous concrete as multifunctional and sustainable pavement. **Journal of Building Engineering**, [s.l.], v. 27, p.100967-100975, jan. 2020.

ETXEBERRIA, M.; GONZALEZ-COROMINAS, A.; GALINDO, A.. Estudio de la aplicación del árido reciclado mixto en hormigón poroso y como relleno de zanjas en la ciudad de Barcelona. **Informes de La Construcción**, v. 68, n. 542, p. 142, 24 jun. 2016.

Figueiredo-Filho, D. B., J. A. Silva Júnior. 2009.Desvendando Os Mistérios Do Coeficiente de Correlação de Pearson (R). **Revista Política Hoje**, v. 18(1):115–46.

FRANCISCO, Joyce Tatiani Masselani. **RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM CONCRETO: PROPRIEDADES DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS PARA PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA**. 2019. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologia de Materiais, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2019.

FROTTÉ, C. et al. Study of physical and mechanical concrete properties with partial replacement of natural aggregate by recycled aggregate from CDW. **Revista Materia**, v. 22, n. 2, 2017.

GAEDICKE, Cristián; MARINES, Armando; MIANKODILA, Farel. Assessing the abrasion resistance of cores in virgin and recycled aggregate pervious concrete. **Construction And Building Materials**, v. 68, p. 701-708, out. 2014.

Galishnikova, V.V., Abdo, Sh., Fawzy, A.M. Influence of silica fume on the pervious concrete with different levels of recycled aggregates. **Magazine of Civil Engineering**, v. 93, p.71–82, 2020.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão Sistemática da Literatura: Conceituação, Produção e Publicação. **Logeion: Filosofia da Informação**, Rio de Janeiro, RJ, v. 6, n. 1, p. 57–73, 2019. DOI: 10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73.Disponível em:<<https://revista.ibict.br/fiinf/article/view/4835>>. Acesso em: 19 out. 2022.

GONG, Ping; ZHANG, Wen Liang. The Aggregate's Influences on Properties of Porous Pervious Concrete Made of Recycled Aggregates. **Applied Mechanics And Materials**, v. 584-586, p. 1271-1275, jul. 2014.

GUEDES, Terezinha Aparecida; ACORSI, Clédina Regina Lonardan; MARTINS, Ana Beatriz Tozzo; JANEIRO, Vanderly. Estatística descritiva. Projeto de ensino aprender fazendo estatística. 2005. Disponível em: <http://www.each.usp.br/rvicente/Guedes_et al_Estatistica_Descritiva.pdf>. Acesso em: 20 set. 2022.

Güneyisi, E., Gesoğlu, M., Kareem, Q. et al. Effect of different substitution of natural aggregate by recycled aggregate on performance characteristics of pervious concretel. **Mater Struct**, v. 49, 521–536, 2016.

Guo Lei, Liu Siyuan, Chen Shoukai, Wang Lunyan, Xue Zhilong. Research on mechanical properties, permeability and abrasion resistance of fibers modified recycled aggregate pervious concrete. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 35(2), p.153-160, 2019.

GUO, Lei; GUAN, Zi; GUO, Lixia; SHEN, Weiping; XUE, Zhilong; CHEN, Pingping; LI, Mingru. Effects of Recycled Aggregate Content on Pervious Concrete Performance. **Journal Of Renewable Materials**, v. 8, n. 12, p. 1711-1727, 2020.

HASSAN, Ahmed A.; JAAFER, Abdulkhaliq A.; HAIDER, Haider H.; HASHIM, Hussain K.; SHWAIKH, Karrar H. .Engineering properties of porous concrete made of sustainable aggregate. **Periodicals Of Engineering And Natural Sciences (Pen)**, v. 9, n. 1, p. 147, 7 fev. 2021.

HUA, Minqi; CHEN, Bo; LIU, Yun; LIU, Hui; ZHU, Pinghua; CHEN, Chunhong; WANG, Xinjie. Durability and Abrasion Resistance of Innovative Recycled Pervious Concrete with Recycled Coarse Aggregate of Different Quality under Sulfate Attack. **Applied Sciences**, v. 11, n. 20, p. 9647, 15 out. 2021.

IBRAHIM, A. et al. Experimental study on Portland cement pervious concrete mechanical and hydrological properties. **Construction and Building Materials**, v. 50, p. 524–529, 2014.

IBRAHIM, Hussein Adebayo; GOH, Yingxin; NG, Zheng Ann; YAP, Soon Poh; MO, Kim Hung; YUEN, Choon Wah; ABUTAHA, Fuad. Hydraulic and strength characteristics of pervious concrete containing a high volume of construction and demolition waste as aggregates. **Construction And Building Materials**, v. 253, p. 119251, ago. 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/21633-desastres-naturais-59-4-dos-municipios-nao-tem-plano-de-gestao-de-riscos>>. Acessado em: 10 mar.2020.

JOSHAGHANI, A.; RAMEZANIANPOUR, A. A.; ATAEL, O.; GOLROO, A. Optimizing pervious concrete pavement mixture design by using the Taguchi method. **Construction and Building Materials**, v.101, 2015, p.317-325.

JUAN, M. S. **Estudio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural**. 2004. 502p. Tesis (Doctorado) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2004.

KAPLAN, Gokhan; GULCAN, Aslinur; CAGDAS, Betul; BAYRAKTAR, Oguzhan Yavuz. The impact of recycled coarse aggregates obtained from waste concretes on lightweight pervious concrete properties. **Environmental Science And Pollution Research**, v. 28, n. 14, p. 17369-17394, 4 jan. 2021.

KARPINSK, Luisete Andreis et al. **GESTÃO DIFERENCIADA DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA ABORDAGEM AMBIENTAL**. Porto Alegre: Edipucrs, 2009. 164 p. Disponível em:<
<https://www.sinduscondf.org.br/portal/arquivos/GestaodeResiduosPUCRS.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

Kelley GA, Kelley KS. Modelos estatísticos para meta-análise: Um breve tutorial. **World J Methodol** 2012; 2(4): 27-32 Disponível em: <
<http://www.wjgnet.com/2222-0682/full/v2/i4/27.htm>> Acesso em: 12 set. 2022.

KIM, H. K.; LEE, H. K. Influence of cement flow and aggregate type on the mechanical and acoustic characteristics of porous concrete. **AppliedAcoustics**, v. 71, n. 7, p. 607–615, 2010.

LAMB, Gisele Santoro. **Desenvolvimento e análise do desempenho de elementos de drenagem fabricados em concreto permeável**. 2014. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LEITE, M. B. **AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**. 2001. 290f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil): Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LI, Chang Yong; NIE, Pin; LI, Feng Lan. Study on Mechanical Properties and Water Permeability of Recycled Aggregate Porous Concrete. **Advanced Materials Research**, v. 366, p. 36-39, out. 2011.

LIAN, C.; ZHUGE, Y.; BEECHAM, S. The relationship between porosity and strength for porous concrete. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 11, p. 4294–4298, 2011.

LIANG, Jian; DU, Xikai; LIU, Puyuan; SHI, Jianrui. The effect of different admixtures on the basic properties of recycled pervious concrete. **Chemical Engineering Transactions**, v. 59, p. 355-360, jul. 2017.

LIU, H B; LI, W J; YU, H; LUO, G B; WEI, H B. Mechanical properties and freeze-thaw durability of recycled aggregate pervious concrete. **Iop Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 634, n. 1, p. 012011, 1 out. 2019.

LIU, Junshi; REN, Fumin; QUAN, Hongzhu. Prediction Model for Compressive Strength of Porous Concrete with Low-Grade Recycled Aggregate. **Materials**, v. 14, n. 14, p. 3871, 11 jul. 2021.

LIU, Mengdi; XIA, Jun; CHIN, Chee Seong; LIU, Zuowei. Improving the properties of recycled aggregate pervious pavement blocks through bio-mineralization. **Construction And Building Materials**, v. 262, p. 120065, nov. 2020.

LU, G. et al. Development of a sustainable pervious pavement material using recycled ceramic aggregate and bio-based polyurethane binder. **Journal of Cleaner Production**, v. 220, p. 1052–1060, 2019.

Lu, J.-X., Yan, X., He, P., & Poon, C. S. Sustainable design of pervious concrete using waste glass and recycled concrete aggregate. **Journal of Cleaner Production**, v. 234, p. 1102-1112, 2019.

MA, Kunlin; HUANG, Xinyu; SHEN, Jingtao; HU, Mingwen; LONG, Guangcheng; XIE, Youjun; ZENG, Xiaohui; XU, Zhanjun; ZHANG, Weizheng. The morphological characteristics of brick-concrete recycled coarse aggregate based on the digital image processing technique. **Journal Of Building Engineering**, v. 44, p. 103292, dez. 2021.

MALAYALI, Anandh Babu; CHOKKALINGAM, Ramesh Babu; MUTHUKANNAN, M.. Strength Properties of Geopolymer Concrete Modified with Recycled Aggregates. **Iranian Journal Of Science And Technology, Transactions Of Civil Engineering**, v. 46, n. 1, p. 77-89, 3 jun. 2021.

MARCOS-PABLOS, S.; GARCÍA-PEÑALVO, F. J. Decision support tools for SLR search string construction. In: **Proceedings of the Sixth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality**. 2018. p. 660–667.

Meddah, M. Seddik, Al Orami, M., Wahid Hago, A., Al Jabri, K. Effect of Recycled Aggregates on Previous Concrete Properties. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v.603, p. 1-9, 2019.

MEHRABI, Peyman; SHARIATI, Mahdi; KABIRIFAR, Kamyar; JARRAH, Majid; RASEKH, Haleh; TRUNG, Nguyen Thoi; SHARIATI, Ali; JAHANDARI, Soheil. Effect of pumice powder and nano-clay on the strength and permeability of fiber-reinforced pervious concrete incorporating recycled concrete aggregate. **Construction And Building Materials**, v. 287, p. 122652, jun. 2021.

MIKAMI, R. J. et al. Influence of red-clay ceramic content of recycled aggregate on the properties of pervious concrete. **Revista Materia**, v. 23, n. 3, 2018.

Mikolajewicz N, Komarova SV. Meta-analytic methodology for basic research: A practical guide. **Front Physiol.** 2019 Mar 27; 10(203). <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00203>.

MITCHELL, M. R.; LINK, R. E.; LI, Jiusu; LIU, Zhaohui. Microanalysis of Recycled Coarse Aggregate and Properties of No-Fines Pervious Recycled Concrete. **Journal Of Testing And Evaluation**, v. 39, n. 5, p. 103417, 2011.

MO, K. H. et al. Viability of agricultural wastes as substitute of natural aggregate in concrete: A review on the durability-related properties. **Journal of Cleaner Production**, v. 275, p. 123062, 2020.

MOHAMMED, Bashar S. et al. Properties of nano-silica modified pervious concrete. **Case Studies In Construction Materials**, v. 8, p. 409-422, jun. 2018.

MONTES, F.; VALAVALA, S.; HASELBACH, L. M. A new test method for porosity measurements of portland cement pervious concrete. **Journal of ASTM International**, v. 2, n. 1, p. 1–13, 2005.

MOORE, David S. **The Basic Practice of Statistics**. New York, Freeman, 2007.

MULLIGAN, A.N., 2005. **Attainable Compressive Strength of Pervious Concrete Paving Systems**. University Orlando, Florida. 145p.

Neto, P.V., 2004. Estatística descritiva: Conceitos básicos. São Paulo

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2013, 448 p.

NGUYEN, D. H. et al. A modified method for the design of pervious concrete mix. **Construction and Building Materials**, v. 73, p. 271-282, 2014.

NGUYEN, D. H. et al. Durability of pervious concrete using crushed seashells. **Construction and Building Materials**, v. 135, n. 2017, p. 137–150, 2017.

NWAKAIRE, C. M. et al. Utilisation of recycled concrete aggregates for sustainable highway pavement applications; a review. **Construction and Building Materials**, v. 235, p. 117444, 2020.

ORIOLO, Monigleicia Alcalde. **Estudo do uso de agregados reciclado de resíduos de construção e demolição em misturas solo-agregado**. 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2018.

Paz, D. H., & Lafayette, K. P. (2016). Forecasting of construction and demolition waste in Brazil. **Waste Management & Research**, 34(8), p. 708–716, 2016.

PEREIRA, Katrine Krislei; BARBOSA Monica Pinto. DESENVOLVIMENTO DE COMPOSIÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL COM AGREGADOS ORIUNDOS DE

RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL DA REGIÃO DE CAMPINAS. In: Encontro de Iniciação Científica, XX, 2015. **Anais**, Campinas, 2015.

PEREIRA, Mauricio Gomes; GALVÃO, Taís Freire. Heterogeneidade e viés de publicação em revisões sistemáticas. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, n. 4, p. 775-778, dez. 2014.

PILS, S. E. et al. Pervious concrete: study of dosage and polypropylene fibers addiction. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 12, n. 1, p. 101-121, fev. 2019. FapUNIFESP (SciELO).

RAMANA, N.Venkata; DANA, Siddu Shivaraj; PALLAVI, K.Yuva. Performance of Recycled Aggregate in Pervious Concrete. **International Journal Of Innovative Technology And Exploring Engineering**, v. 9, n. 1, p. 233-238, 30 nov. 2019.

RODRIGUES, Caroline Legramanti; ZIEGELMANN, Patrícia Klarmann. METANÁLISE: UM GUIA PRÁTICO. **Rev Hcpa**, Porto Alegre, v. 4, n. 30, p. 436-447, out. 2010.

SABOO, Nikhil; PRASAD, A Nirmal; SUKHIJA, Mayank; CHAUDHARY, Mohit; CHANDRAPPA, Anush K.. Effect of the use of recycled asphalt pavement (RAP) aggregates on the performance of pervious paver blocks (PPB). **Construction And Building Materials**, v. 262, p. 120581, nov. 2020.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 83-89, fev. 2007

SANDOVAL, G. F. B. et al. Correlation between permeability and porosity for pervious concrete (PC). **DYNA (Colombia)**, v. 86, n. 209, p. 151–159, 2019.

SANDOVAL, Gersson F.B.; GALOVARDES, Isaac; MOURA, Andre Campos de; TORALLES, Berenice M. Hydraulic behavior variation of pervious concrete due to clogging. **Case Studies In Construction Materials**, v. 13, p. 354, dez. 2020.

Santos, Eduardo; Cunha, Madalena. Interpretação Crítica dos Resultados Estatísticos de uma Meta-Análise: Estratégias Metodológicas. **Millenium**, v. 44, p. 85-98, 2013.

SATA, Vanchai; WONGSA, Ampol; CHINDAPRASIRT, Prinya. Properties of pervious geopolymer concrete using recycled aggregates. **Construction And Building Materials**, v. 42, p. 33-39, maio 2013.

SCHAEFER, V. R. et al. **Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates**. Final Report, Civil Engineering, Iowa State University, 2006.

SHAHIDAN, Shahiron; AZMI, Mohamad Azim Mohammad; KUPUSAMY, Kumanan; ZUKI, Sharifah Salwa Mohd; ALI, Noorwirdawati. Utilizing Construction and Demolition (C&D) Waste as Recycled Aggregates (RA) in Concrete. **Procedia Engineering**, v. 174, p. 1028-1035, 2017.

SIDDAWAY, A. P.; WOOD, A. M.; HEDGES, L. V. How to do a systematic review: a best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-syntheses. **Annual Review of Psychology**, v. 70, n. 1, p. 747–770, 2019.

SINGH, A.; SAMPATH, P. V.; BILIGIRI, K. P. A review of sustainable pervious concrete systems: Emphasis on clogging, material characterization, and environmental aspects. **Construction and Building Materials**, v. 261, p. 120491, 2020.

SRIRAVINDRARAJAH, Rasiah; WANG, Neo Derek Huai; ERVIN, Lai Jian Wen. Mix Design for Pervious Recycled Aggregate Concrete. **International Journal Of Concrete Structures And Materials**, v. 6, n. 4, p. 239-246, 27 nov. 2012.

SWE, Than Mar; JONGVIVATSAKUL, Pitcha; PANSUK, Withit. Properties of Pervious Concrete Aiming for LEED Green Building Rating System Credits. **Engineering Journal**, v. 20, n. 2, p. 61-72, 18 maio 2016.

TAVARES, L. M.; KAZMIERCZAK, C. S. The influence of recycled concrete aggregates in pervious concrete. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 9, n. 1, p.75-89, fev. 2016. FapUNIFESP (SciELO).

Tennis, P. D.; Leming, M. L.; Akers, D. J. **Pervious Concrete Pavements**, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, And National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, Usa, 36 P. 2004.

TOGHROLI, Ali; MEHRABI, Peyman; SHARIATI, Mahdi; TRUNG, Nguyen Thoi; JAHANDARI, Soheil; RASEKH, Haleh. Evaluating the use of recycled concrete aggregate and pozzolanic additives in fiber-reinforced pervious concrete with industrial and recycled fibers. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 252, p. 118997, ago. 2020.

TORRES, A. et al. The effect of the cementitious paste thickness on the performance of pervious concrete, **Constr. Build. Mater.** 95 (2015) 850–859.

TSENG, E. **RECICLAGEM TOTAL DE PAVIMENTOS DE CONCRETO COMO AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO DE NOVOS PAVIMENTOS DE CONCRETO: O CASO DO RODOANEL METROPOLITANO MÁRIO COVAS**. 2010. 220f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte): Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

TUAN, Ngo Kim; NGUYEN, Tien Dung; PHAN, Quang Minh; NGUYEN, Van Tuan; KAWAMOTO, Ken. Influence of AAC grains on some properties of permeable pavement utilizing of CDW and industrial by-product. **Iop Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 869, n. 3, p. 032046, 1 jun. 2020.

Tucci, C. E. M. Gerenciamento Da Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, p. 5–27, 2002.

ULLOA-MAYORGA, Vivian Andrea; URIBE-GARCÉS, Manuel Antonio; PAZ-GÓMEZ, Diego Paúl; ALVARADO, Yezid Alexander; TORRES, Benjamín; GASCH,

Isabel. Performance of pervious concrete containing combined recycled aggregates. **Ingeniería e Investigación**, v. 38, n. 2, p. 34-41, 1 maio 2018.

VIDAL, Almir dos Santos. **CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL PRODUZIDO COM AGREGADOS RECICLADOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL EM AMBIENTE URBANO**. 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

VIEIRA, G. L; DAL MOLIN, D. C. C. Viabilidade técnica da utilização com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.4, p. 47 – 63, 2004.

VIEIRA, Gabrieli Lazzari; SCHIAVON, Jéssica Zamboni; BORGES, Pietra Moraes; SILVA, Sérgio Roberto da; ANDRADE, Jairo José de Oliveira. Influence of recycled aggregate replacement and fly ash content in performance of pervious concrete mixtures. **Journal Of Cleaner Production**, v. 271, p. 122665, out. 2020.

VOLPATO, Enilze de Souza Nogueira. **Subsídios para construção de estratégia de busca para revisões sistemáticas na base de dados MEDLINE via PubMed**. 2013. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Bases Gerais da Cirurgia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013. Disponível em:<<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90371/000729397.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 fev. 2022.

XIAO, Li-Guang; XIA, Lin. Effect of recycled aggregate reinforcement on strength of pervious concrete. **10p Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 423, p. 012188, 7 nov. 2018.

XIE, N. et al. Permeable concrete pavements: A review of environmental benefits and durability. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 1605–1621, 2019.

YAHIA, A.; KABAGIRE, K. D. New approach to proportion pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 62, p. 38–46, 2014.

YAN, Han Dong; HUANG, Guo Hui. Study on Pervious Road Brick Prepared by Recycled Aggregate Concrete. **Environmental Ecology And Technology Of Concrete**, p. 321-328, 15 jan. 2006.

YANG, J.; JIANG, G. Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials. **Cement and Concrete Research**, v.33, 2003, p.381-386.

YANG, Lixiang; KOU, Shicong; SONG, Xingfu; LU, Meirong; WANG, Qiong. Analysis of properties of pervious concrete prepared with difference paste-coated recycled aggregate. **Construction And Building Materials**, v. 269, p. 121244, fev. 2021.

Yang, Z., 2011. Freezing-and-Thawing durability of permeable concrete under simulated field conditions. **ACI Mater. J.** 108 (2), 187e195. March-April.

YAO, Yanya. Blending Ratio of Recycled Aggregate on the Performance of Pervious Concrete. **Frattura Ed Integrità Strutturale**, [S.L.], v. 12, n. 46, p. 343-351, 27 set. 2018.

YAP, Soon Poh et al. Characterization of pervious concrete with blended natural aggregate and recycled concrete aggregates. **Journal of Cleaner Production**, v. 181, p.155-165, abr. 2018.

YUXI, D.; FENG, T.; XIN, Z.; ZHIQIAN, L. Mix Design Recycled Aggregate Pervious Concrete and the Influence on Pavement Property. **Journal Of Physics: Conference Series**, v. 2011, n. 1, p. 012048, 1 set. 2021.

ZAETANG, Y. et al. Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 111, p. 15–21, 2016.

ZHANG, Qiuyue; FENG, Xuejun; CHEN, Xudong; LU, Ke. Mix design for recycled aggregate pervious concrete based on response surface methodology. **Construction And Building Materials**, v. 259, p. 119776, out. 2020.

ZHANG, Z. et al. Influence of crushing index on properties of recycled aggregates pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 135, p. 112–118, 2017.

ZHAO, Zengfeng et al. Use of recycled concrete aggregates from precast block for the production of new building blocks: an industrial scale study. **Resources, Conservation And Recycling**, v. 157, p. 104786, jun. 2020.

ZHENG, M.; CHEN, S.; WANG, B. Mix design method for permeable base of porous concrete. *International Journal of Pavement Research and Technology*, v. 5, n. 2, p. 102, 2012.

ZHONG, R. et al. Research and application of pervious concrete as a sustainable pavement material: A state-of-the-art and state-of-the-practice review. **Construction and Building Materials**, v. 183, p. 544–553, 2018.

ZHU, Xiangyi; CHEN, Xudong; SHEN, Nan; TIAN, Huaxuan; FAN, Xiangqian; LU, Jun. Mechanical properties of pervious concrete with recycled aggregate. **Computers And Concrete**, [S.L.], v. 21, n. 6, p. 623-635, 25 jun. 2018.