



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIAS E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

OSMAR ARRUDA DE MACÊDO JUNIOR

**ANÁLISE SISTEMÁTICA DE PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM NAS
PROPRIEDADES ENDURECIDAS DE CONCRETOS PERMEÁVEIS.**

CAMPINA GRANDE – PB

2021

OSMAR ARRUDA DE MACÊDO JUNIOR

**ANÁLISE SISTEMÁTICA DE PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM NAS
PROPRIEDADES ENDURECIDAS DE CONCRETOS PERMEÁVEIS.**

Trabalho de conclusão de curso -
TCC, apresentado a Universidade Federal
de Campina Grande – UFCG, para
encerramento do componente curricular e
conclusão da graduação em Engenharia
Civil.

Orientador(a): Profa. Dra. Aline
Figueirêdo Nóbrega de Azerêdo

Coorientador: Sérgio Torres de
M. Costa Agra

CAMPINA GRANDE – PB

2021

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª – Aline Figueirêdo Nóbrega de Azerêdo – UFCG

(Presidente – Orientadora)

Eng. – Sérgio Torres Lopes Lucena

(1º Examinador – Coorientador)

Prof^ª. Dr. – Adriano Elísio Figueirêdo Lopes – UFCG

(2º Examinador - interna)

Eng. – José Anselmo da Silva Neto

(3º Examinador - externo)

Dedico este trabalho aos meus pais, Osmar e Cícera!

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a minha orientadora, a professora Aline Figueirêdo, por ter me aceito como orientando do TCC e me apresentado ao concreto permeável. Sou muito grato por ter me orientado de forma tão maestral, por seus ensinamentos, disponibilidade e paciência que tornou possível a conclusão deste trabalho.

Agradeço ao meu amigo e coorientador Sérgio Agra, que dispôs de tempo e paciência para me orientar e aconselhar durante todo o processo do PPA e TCC. Pela parceria, companheirismo e palavras de incentivo durante o curso.

Ao Anselmo que através de suas experiências e aprendizados me orientou e ajudou muito em uma das fases mais complicadas do TCC, agradeço pelas palavras de apoio, otimismo e tamanha disponibilidade para ajudar ao próximo.

A UFCG que me deu a oportunidade de realizar esse curso e à Prefeitura Municipal de Fagundes por ter disponibilizado o ônibus escolar por todos esses anos de curso.

Aos meus amados pais Osmar e Cícera, e aos meus irmãos Anderson e Alamborgue que sempre estiveram comigo e me apoiaram de todas as formas para que este momento pudesse ser possível e que são minha maior inspiração.

A minha noiva Beatriz que sempre está do meu lado, pela compreensão, encorajamento, carinho e companheirismo presente em todos os momentos.

A minha cunhada Rafaela, que sempre ao lado do meu irmão fizeram o possível para que eu conseguisse concluir essa etapa em minha vida.

A todos os meus familiares, em especial Rosendo, Poliana e Renan que me ajudaram muito durante essa trajetória.

Aos meus amigos, que tive a oportunidade de conhecer durante o período universitário.

Aos meus amigos de Fagundes, que estivemos juntos durante esses anos.

A todos os professores da UFCG que me transmitiram seus conhecimentos ao longo de todo o curso de Engenharia Civil.

Os agradecimentos citados aqui não são suficientes, pois para uma conquista há muitos a quem agradecer. Aos que não foram citados, e que de alguma maneira me acompanharam nessa

conquista, sintam-se igualmente agradecidos. De todas as palavras existentes, eu escolho uma: obrigado! Para cada um, que de forma direta ou indireta me ajudou, incentivou e proporcionou esse momento.

Por fim, o agradecimento mais importante de todos, ao responsável por todas as minhas conquistas, por minha saúde, paz, felicidade e que é fonte de sabedoria eterna: muito obrigado, Meu Deus!!!

RESUMO

A crescente urbanização, como construções de habitações e rodovias pavimentadas, ocasiona um aumento progressivo da impermeabilização do solo. Consequentemente, problemas de enchentes e alagamentos têm ocorrido com maior frequência, pois o processo dificulta a drenagem natural da água e como consequência ocorrem maiores problemas como a poluição ambiental, problemas de saneamento básico, enchentes e inundações, elevação dos níveis de ruído, dentre outros. Diante dessa problemática, existem diversas pesquisas buscando soluções que sejam capazes de reduzir a impermeabilização do solo. Dentre elas, o concreto permeável, material de alta porosidade que tem um alto valor de permeabilidade comparado ao concreto convencional, tem se mostrado uma excelente alternativa para minimizar esses problemas. Apesar de existir vários estudos sobre esse tipo de concreto, ele não é popularmente conhecido. Diante desse contexto, o presente trabalho teve como intuito analisar estudos sobre as características e possibilidades do uso do concreto permeável. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática da literatura reunindo análises e comparações entre estudos que abordaram essa temática. Conforme os trabalhos revisados, foi possível verificar que uma das maiores dificuldades na confecção desse concreto é tentar conseguir aumento de resistência mecânica e manter a permeabilidade eficiente. De modo geral, os trabalhos mostraram que a utilização do concreto permeável traz vantagens diretas para população e para natureza ao permitir um maior fluxo de água pelo concreto, fazendo com que a água chegue até o solo. Todavia, também foram analisadas as desvantagens da utilização desse concreto, como a necessidade da manutenção periódica de mitigar o entupimento dos poros.

Palavras-chave: *Concreto permeável, permeabilidade, porosidade.*

ABSTRACT

Increasing urbanization, such as building construction and paved roads, leads to a progressive increase in soil waterproofing. Because of this reason, flooding problems have occurred more frequently, as the process hinders the natural drainage of water and, as a consequence, greater problems occur, such as environmental pollution, basic sanitation problems and floods, increased noise levels, among others. In view of this problem, there are several researches looking for solutions that are capable of reducing soil impermeability. Among them, permeable concrete, a material with high porosity that has a high permeability value compared to conventional concrete has proved to be an excellent alternative to minimize these problems. Although there are several studies on this type of concrete, it is not popularly known. Therefore, in view of this context, the present study aimed to analyze studies on the characteristics and possibilities of using permeable concrete. For this, a systematic review of the literature was carried out, gathering analyzes and comparisons between studies that addressed this theme. According to the works reviewed here, it was possible to verify that one of the greatest difficulties in making this concrete is to try to achieve an increase in mechanical strength and maintain efficient permeability. In general, this work showed that the use of permeable concrete brings direct advantages to the population and to nature by allowing a greater flow of water through the concrete, making the water reach the soil. However, the disadvantages of using this concrete were also analyzed, such as the need for periodic maintenance to mitigate pore clogging.

Keywords: *Permeable concrete, permeability, porosity.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Textura do concreto permeável.....	17
Figura 2 - Descrição geral sobre o processo de revisão sistemática da literatura.....	26
Figura 3 - Fluxograma dos critérios de seleção aplicados.....	29
Figura 4 - Publicações feitas por ano.....	31
Figura 5 - Seleção e filtragem dos artigos.....	32
Figura 6 - Porcentagem de publicações por país de origem.....	34
Figura 7 - Valores encontrados para resistência a compressão aos 28 dias.....	40
Figura 8 - Valores encontrados para permeabilidade.....	43
Figura 9 - Valores encontrados de porosidade.....	45
Figura 10 - Relação da porosidade com a permeabilidade.....	47
Figura 11 - Relação da porosidade com a resistência a compressão.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos concretos convencional e Permeável.....	19
Tabela 2 - Distribuição dos artigos por base de dados.	32
Tabela 3 - Autores, separados por ano e país de origem.	33
Tabela 4 - Tamanho dos grãos utilizados.	35
Tabela 5 - Métodos de dosagens e traços utilizados.....	37
Tabela 6 - Vantagens e desvantagens observadas pelos autores.	48

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
1.1.	Objetivo geral.....	14
1.2.	Objetivos específicos.....	14
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1.	Concreto permeável.....	15
2.1.1.	<i>Histórico e Utilização</i>	16
2.1.2.	<i>Utilização do concreto permeável</i>	17
2.1.3.	<i>Propriedades do Concreto Permeável</i>	17
2.1.3.1.	<i>Porosidade</i>	18
2.1.3.2.	<i>Permeabilidade</i>	18
2.1.3.3.	<i>Resistência à Compressão</i>	19
2.2.	Influência dos materiais constituintes.....	20
2.2.1.	<i>Agregados</i>	20
2.2.2.	<i>Cimento</i>	20
2.2.3.	<i>Relação Água/Cimento</i>	21
2.2.4.	<i>Aditivos</i>	21
2.2.5.	<i>Adições de minerais</i>	22
2.3.	Método de dosagem.....	23
2.4.	Tipos de revisão de literatura.....	24
2.4.1.	<i>Revisão sistemática da literatura</i>	25
2.5.	Ferramentas para revisão sistemáticas.....	27
2.5.1.	<i>Vosviewer</i>	27
2.5.2.	<i>SRAT (Systematic Review Automatic Tool)</i>	27
2.5.3.	<i>EndNote</i>	27
2.5.4.	<i>Mendeley</i>	27
2.5.5.	<i>Zotero</i>	28

3.	METODOLOGIA.....	29
3.1.	Ferramentas	29
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1.	Análise quantitativa	31
4.2.	Análise da literatura.....	35
4.2.1.	<i>Agregados</i>	35
4.2.2.	<i>Métodos de Dosagens</i>	37
4.2.3.	<i>Resistência à compressão</i>	39
4.2.4.	<i>Permeabilidade</i>	42
4.2.5.	<i>Porosidade</i>	45
4.3.	Vantagens e desvantagens	48
5.	CONCLUSÕES	50
	REFERÊNCIAS.....	51

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o Brasil vem se tornando cada vez mais uma nação que possui em sua maioria uma população urbana. Segundo dados do IBGE (2015), mais de 84% da população brasileira vive em áreas urbanas enquanto menos de 16% da população vive em áreas rurais, principalmente, porque nas décadas de 70 e 80, o Brasil viveu um intenso êxodo rural.

Os principais motivos que causam o êxodo rural são os fatores atrativos que as cidades exercem sobre parte da população rural, tais como: a busca por empregos e serviços.

Como nesse processo de crescimento urbano há construções de casas, ruas, comércios e, principalmente, por erradicação de restrições, especialmente relacionado a falta de planejamento urbano, torna-se fácil o entendimento de que a impermeabilização do solo teve um grande aumento, assim, deixando locais com maior chance de ocorrência de alagamentos.

A alta demanda da procura de habitações e por vias asfaltadas e planas levavam a grande impermeabilização das áreas urbanas (HOLTZ, 2011). O processo de impermeabilização do solo, atrelado ao mau uso dos coletores pela população, que muitas vezes acabam entupindo-os com lixo, prejudica a vegetação e a chegada da água ao solo, pois os materiais dificultam ou até mesmo impedem que a água chegue no solo e siga o seu caminho natural, aumentando o escoamento superficial, que, muitas vezes, contribui para o acontecimento de enchentes e alagamentos. Esses alagamentos e enchentes fazem com que todos os anos várias comunidades sejam aterrorizadas pelas inundações, que provocam danos financeiros e emocionais para as vítimas (SALES, 2008).

Diante deste cenário, tem-se buscado soluções que sejam capazes de reduzir a impermeabilização do solo, isso para diminuir os danos sofridos pela população por conta das enchentes e alagamentos. Novas tecnologias foram criadas, dentre elas: o revestimento asfáltico permeável e o concreto permeável, materiais de alta porosidade que possui um alto valor de permeabilidade, apresentando capacidade de suporte no revestimento do pavimento (RAMOS, 2018)

Esses materiais permeáveis permitem que a água chegue até o solo ou a direciona para drenos enterrados, diminuindo o escoamento superficial e facilitando o destino final, evitando-a ficar acumulada nas calçadas ou ocasionando enchentes.

O concreto permeável é indicado para locais em que tenha apenas tráfego de pessoas e/ou tráfego de veículos leves. Ao comparar a quantidade de publicações sobre o concreto convencional e o concreto permeável podemos dizer que existe pouca bibliografia a respeito do concreto permeável, pensando nisso, este trabalho fez uma revisão sistemática do tema proposto, subsidiando-se da investigação científica, da revisão e da análise de trabalhos já

publicados no tocante a temática, com o interesse, também de filtrar os resultados encontrados e comparar as análises de diversos autores. Para que, a partir disso, possamos trazer informações sobre as principais propriedades do concreto permeável, e com isso, descrever as principais vantagens e limitações de seu uso.

1.1. Objetivo geral

Realizar uma revisão sistemática da literatura sobre o concreto permeável, verificando de forma detalhada as principais propriedades desse tipo de concreto.

1.2. Objetivos específicos

- Revisar e analisar a literatura existente sobre o uso do concreto permeável;
- Analisar as propriedades da resistência a compressão, permeabilidade e porosidade do concreto permeável;
- Analisar os métodos de dosagens e agregados constituintes referentes ao concreto permeável;
- Analisar o tamanho dos agregados graúdos empregados nos concretos permeáveis;
- Traçar um levantamento das principais vantagens e suas implicações/limitações quanto ao uso do concreto permeável.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Segundo Batezini (2013), o processo de urbanização no Brasil aconteceu de maneira desordenada, em razão de não haver um planejamento adequado e um controle governamental em relação ao processo de urbanização, o que dificulta o processo de drenagem urbana e acarreta problemas, como: poluição ambiental; problemas de saneamento básico; enchentes e inundações; elevação dos níveis de ruído; entre outros.

De acordo com Tucci (1997) os principais problemas gerados pela urbanização são:

- Aumento do escoamento superficial, vazão máxima dos hidrogramas e antecipação dos picos;
- Redução da evapotranspiração, escoamento subterrâneo e do lençol freático;
- Aumento da produção de material sólido;
- Deterioração da qualidade das águas superficiais, principalmente no início das chuvas pela drenagem de águas que carregam material sólido na lavagem das superfícies urbanas.

Para reduzir o problema de escoamento superficial e/ou enchentes em determinadas áreas devido à grande área impermeabilizada, às vezes são executadas obras de canalização, o que acaba com o problema na área específica, mas, conseqüentemente, transfere o problema para montante, o que contribui causando prejuízos à população que mora em zonas mais baixas.

Levando a problemática exposta, alternativas como a utilização de asfalto poroso, piso intertravado e piso intertravados com vegetação estão sendo cada vez mais estudados. Outro material que, também, vem sendo executado por ser muito eficiente para evitar os danos causados pela impermeabilização do solo, porém, pouco explorado, é o concreto permeável, material de alta porosidade, o qual permite a infiltração da água até o solo.

2.1. Concreto permeável

Segundo Holtz (2011), o concreto permeável é um tipo de concreto altamente poroso que possui seus vazios interligados, com pouca ou nenhuma areia no seu constituinte, o que dessa maneira permitiu a passagem desobstruída de grandes quantidades de água. Conforme a norma ACI 522R-10, concreto permeável é descrito como um concreto de *slump* 0 (zero), de graduação aberta, com nenhum ou pouco agregado fino, teor de vazios variando entre 18 a 35% e resistência à compressão entre 2,8 a 28 MPa, com permeabilidade de 0,0135 a 0,122 cm/s

2.1.1. Histórico e Utilização

O concreto permeável é uma tecnologia antiga que teve início na Europa, segundo Holtz (2011), a primeira utilização do concreto permeável foi no ano de 1852, utilizado na alvenaria estrutural da construção de duas casas no Reino Unido. Depois desse registro, apenas 71 anos depois em 1923 que o concreto permeável foi mencionado novamente na literatura, quando 50 casas foram construídas da mesma maneira, como no Reino Unido, por ser um material leve e que acreditava-se apresentar boas características de isolamento térmico, bem como barramento acústico.

Ainda, segundo Holtz (2011), na época da Segunda Guerra Mundial (entre os anos de 1939 a 1945) quase toda a Europa estava com a necessidade de construção de moradias, as quais foram executadas com métodos mais baratos e poucos utilizados até o momento, dentre alguns métodos destacou-se o uso do concreto permeável, que não necessitava de areia para sua execução e apresentava um menor consumo de cimento em comparação ao concreto convencional. E mesmo após a Segunda Guerra Mundial continuou-se utilizando esse método construtivo, porque a Europa passava por uma alta demanda de tijolos e uma menor oferta do mesmo, desse modo, técnicas tidas como novas para época foram utilizadas.

Anos depois, constatou-se que o método construtivo de casas utilizando o concreto permeável na alvenaria estrutural não era realmente eficiente, dessa forma, pôs-se fim nas construções de casas, utilizando o concreto permeável na alvenaria estrutural.

A utilização do concreto permeável com a finalidade de incrementar a permeabilidade de zonas urbanizadas, como é utilizado, atualmente, teve início nos Estados Unidos na década de 70, quando nos Estados da Flórida, Utah e Novo México utilizaram esse material para aumentar a permeabilidade do solo (MULLIGAN, 2005).

De acordo com Ramos (2018), no Brasil são escassas as pesquisas e referências sobre os estudos acerca do uso de concreto permeável, embora esse recurso, como já mencionado acima, esteja sendo empregado há algumas décadas na Europa e Estados Unidos.

Contudo, nas últimas duas décadas, esse concreto vem sendo mais estudado no Brasil, e utilizado em algumas construções, tendo o intuito de aumentar a permeabilidade de certas áreas. Segundo Holtz (2011), em 2006 no Brasil iniciou-se de grandes obras envolvendo a tecnologia do concreto permeável, a exemplo de Belo Horizonte que teve a construção do pavimento do Parque Tecnológico toda em concreto permeável e São Paulo que teve recuperação de algumas áreas degradadas com a utilização do pavimento permeável.

Nacionalmente, não existe uma norma regulamentadora especificamente para o concreto permeável, nesse caso, são consultadas normas internacionais como a ACI 522R-06 e

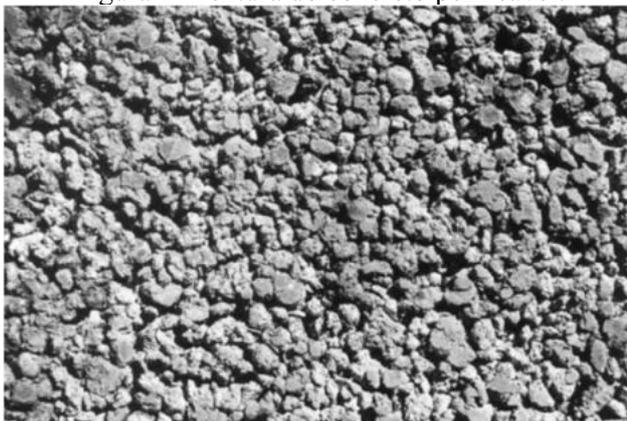
a CJJ / T 135-2009 ou é feita uma revisão bibliográfica de trabalhos já publicados sobre o concreto permeável para elaboração dessa tecnologia.

2.1.2. Utilização do concreto permeável

A principal utilização dessa tecnologia é como pavimentos permeáveis, o qual de acordo com Sales (2008), os pavimentos permeáveis são estruturados em camadas porosas ou perfuradas, que permitem a infiltração de parte das águas que escoam, superficialmente, para dentro de sua estrutura, funcionando como um reservatório de material granular, em que, posteriormente, a água será absorvida pelo solo.

A principal característica dos pavimentos de concreto poroso é permitir a infiltração da água através de sua superfície, para que posteriormente, haja infiltração no solo. Este tipo de pavimento tem sido bastante analisado por ser uma boa alternativa, tanto do ponto de vista técnico, como econômico (AZAÑEDO, HELARD & MUÑOZ, 2007). A textura de um pavimento de concreto permeável pode ser vista na Figura 1.

Figura 1- Textura do concreto permeável.



Fonte: Monteiro, 2010

O concreto permeável tem características semelhantes ao concreto convencional, a diferença é a eliminação da areia (agregado miúdo) em sua composição, aumentando a porosidade dele e facilitando a permeabilidade da água (MONTEIRO, 2010).

2.1.3. Propriedades do Concreto Permeável

A maioria dos concretos permeáveis é feita com o agregado graúdo sem agregado miúdo, assim obtendo uma porosidade elevada comparado ao concreto convencional. As propriedades, nestes casos, dependem de vários fatores, a saber: tipo e origem mineralógica do agregado utilizado; granulometria; consumo de cimento; relação água/cimento; entre outros.

Apesar da permeabilidade ser mais eficiente sem a presença de finos, ao adicionar areia no concreto permeável, ocorre um aumento na resistência à compressão e há uma redução na permeabilidade do material. Desse modo, é preciso analisar o local que será aplicado esse concreto e estudar os possíveis traços para composição desse concreto, por exemplo, através de testes em laboratório e analisar os resultados dos ensaios para saber se o concreto atende as exigências das normas vigente, quando existem (MONTEIRO, 2010).

2.1.3.1. Porosidade

É a propriedade que uma matéria tem de não ser contínua, havendo espaços vazios entre as massas e é obtida pela relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos, e para que o material seja classificado como poroso ele deve ter entre 15 e 35% de seu volume ocupado por vazios. O concreto convencional é um material que, por sua própria constituição, é, necessariamente, poroso, por que não é possível preencher a todos os vazios do agregado com pasta de cimento. Essa propriedade depende muito do tamanho e tipos dos agregados utilizados e do método de compactação, pois esses fatores influenciam na formação de vazios entre eles. A quantidade total de vazios será maior ao utilizar agregados de tamanhos maiores (KIM & LEE, 2010).

2.1.3.2. Permeabilidade

Segundo Beltrão e Zenaide (2010), esta característica influencia o fluxo de um líquido para o interior de um sólido poroso, sendo esta influenciada por algumas características como taxa de fluxo do fluido, viscosidade, pressão, área de superfície em contato com o líquido e espessura da estrutura. Portanto, é a propriedade que identifica a possibilidade da passagem de água através do material.

Apesar de no início o concreto permeável ser produzido por razões que não fossem, especificamente, por causa da sua permeabilidade, hoje em dia a permeabilidade é uma das principais razões, a qual faz com que esse concreto venha sendo investigado e produzido.

A permeabilidade desse tipo de concreto contribui para a segurança dos motoristas, principalmente, em condições de grande umidade. Pois, quando a chuva chega ao pavimento permeável passa através dos poros não permanecendo na sua superfície, diminuindo problemas de empoçamento e outros relacionados às enxurradas. Conseqüentemente, reduz os clarões noturnos para os motoristas e diminui os riscos de derrapagem (HOLTZ, 2011).

2.1.3.3. Resistência à Compressão

Por possuir um alto grau de vazios no seu interior, o concreto permeável se torna menos resistente à compressão em comparação ao concreto convencional (Tabela 1), isso se deve à falta de areia para preencher os vazios.

Conforme o trabalho de Araújo, Tucci e Goldenfun (2000), esse tipo de concreto pode ser utilizado em locais com tráfego de pessoas ou com tráfego de veículos leves como: estacionamentos, entradas de garagens, calçadas, entre outros locais, a depender dos resultados obtidos em laboratório, pois, de acordo com a norma NBR 16416 de 2015 existem requisitos mínimos a serem atingidos nas suas propriedades por se tratar, nesse caso, de um pavimento permeável.

Tabela 1 - Características dos concretos convencional e Permeável.

Tipo	Resistência à Compressão (MPa)	Areia	Brita	Aditivos
Convencional	20 a 60	De 30 a 50 % do agregado total	Bem graduado, grãos arredondados.	Opcional
Permeável	3 a 30	Pouco ou nenhum	Graduação aberta, grãos angulosos (Brita'0' e pedriscos)	Opcional

Fonte: Adaptado de Monteiro (2010).

Segundo Monteiro (2010), os agregados graúdos maiores como a brita 1 (9,5 a 19 mm) traz vantagens hidrológicas por ter poros maiores, facilitando o fluxo de água, apresentando menor retração, mas menor resistência à compressão quando comparado a brita 0, porque a brita com menor diâmetro apresenta maior áreas de superfície em contato com a pasta de cimento.

Conforme a norma ACI 522R-10, o concreto permeável deve apresentar resistência a compressão simples entre 2,8 e 28 MPa. E resistência à tração na flexão exigidos pela NBR 16416 (ABNT, 2015) na faixa de no mínimo 1,0 a 2,0 MPa, dependendo do local a ser aplicado.

2.2. Influência dos materiais constituintes

2.2.1. Agregados

De acordo com Beltrão e Zenaide (2010), as propriedades dos agregados escolhidos para composição do concreto permeável influenciam diretamente a durabilidade e o desempenho do concreto, assim como tem influência sobre propriedades, são elas: composição mineral, aderência a pasta de cimento, resistência a compressão, porosidade, permeabilidade, entre outros. Os agregados são classificados em agregados graúdos ou agregados miúdos, a depender dos seus tamanhos, definido pelo peneiramento do material e normatizado pela ABNT NBR 7211/09.

Quanto menor o agregado, maior o consumo de cimento, devido a necessidade de envolver uma quantidade maior de superfície dos agregados, conseqüentemente, para o concreto permeável, ao se utilizar agregados graúdos menores (britas com menores diâmetros) será necessária uma quantidade de pasta de cimento maior para um completo envolvimento dos agregados, caso contrário, o agregado ficará mais seco (OSPINA & ERAZO, 2007)

2.2.2. Cimento

Usualmente é utilizado cimento Portland comum, mas também podem ser utilizados outros cimentos, de acordo com as condições de exposição e tipo de cura. Em relação ao consumo de cimento, um maior consumo de cimento deixará o concreto permeável com uma maior resistência a compressão, por outro lado, deixará o concreto menos permeável por haver menor porcentagem de vazios.

Por não haver uma norma vigente para execução do concreto permeável, os autores divergem muito em relação as indicações da proporção do consumo de cimento. Como as indicações de Monteiro (2010), ao afirmar que o consumo de cimento deve ser na faixa de 270 a 415 Kg/m³, enquanto Finocchiaro e Girardi (2007), relata que o consumo de cimento deve estar entre 180 a 360 Kg/m³. Já Sales (2008) deixa vago a sua análise, pois não especifica a faixa que o consumo de cimento deve estar afirmando apenas que a quantidade de cimento deve ser o suficiente para envolver os agregados, isso para minimizar a ocorrência do escoamento da pasta de cimento através da estrutura do concreto permeável resultando na redução da quantidade dos poros.

2.2.3. Relação Água/Cimento

Segundo Ramos (2018), a relação água cimento tem efeito nas propriedades do concreto permeável e é uma variável que depende da quantidade, tipo e qualidade do cimento utilizado, como também da granulometria do agregado utilizado. Ainda segundo Ramos (2018), a melhor relação água cimento é de 0,32, observada em um estudo de relação água/cimento entre 0,30 e 0,38. Outro fato observado no mesmo estudo foi que relações água/cimento superiores a 0,34 apresentariam diminuição na resistência à compressão e um aumento na permeabilidade do concreto permeável. Esse caso também é comprovado em outros estudos como vistos em Beltrão e Zenaide (2010), que demonstram que o aumento da relação água cimento aumenta a trabalhabilidade do concreto, porém a resistência do concreto é inversamente proporcional a relação água cimento.

2.2.4. Aditivos

Existem estudos feitos em relação a análise do concreto permeável com adição de aditivos para melhorar alguma propriedade dessa tecnologia, a exemplo, aumento do início de pega, melhoramento da trabalhabilidade, aumento da resistência à compressão e aumento do índice da permeabilidade.

No trabalho de Barreto (2019), foram analisados concretos permeáveis aditivados com polifuncionais (P1, P2 e P3) com as funções de reduzir a água de amassamento, aumentar tempo de trabalhabilidade, controlar o tempo de pega, aumentar a plastificação, aumentar as resistências inicial e final e controlar a incorporação do ar no concreto. Também foi analisado mistura dos polifuncionais com estabilizador (P1C, P2C e P3C) e pôr fim a análise com o aditivo estabilizador (E).

De acordo com Barreto (2018):

- O aditivo polifuncional 1, é utilizado em casos em que há a necessidade de uma redução de água de amassamento, ou quando um maior tempo de trabalhabilidade seja necessário;
- O aditivo polifuncional 2, ocasiona alta plastificação com manutenção prolongada, controle sobre o tempo de pega e maior redução do ar incorporado;
- O aditivo polifuncional 3, é indicado para concretos com cimentos de tempo de pega rápido, e quando se deseja maior plasticidade da mistura com manutenção por período prolongado mesmo sob elevadas temperaturas;

- O aditivo estabilizador é um aditivo controlador de hidratação produzido para permitir maior controle sob o início de pega do concreto.

Continuando com Barreto (2018), ele ainda concluiu que:

1. Os traços que continham o aditivo polifuncional 1 apresentaram resistências à compressão superiores aos demais.
2. O traço que continha o aditivo polifuncional 3 apresentou maior índice de permeabilidade, dentre os traços utilizados.

De acordo com Batezini (2013) e Ramos (2018), geralmente, no concreto permeável o tempo de pega ocorre muito rapidamente, por isso, aditivos retardadores são adicionados na mistura para controlar esse tempo. Os autores afirmam, ainda, que dependendo da relação água/cimento, aditivos redutores de água também são utilizados.

2.2.5. Adições de minerais

De forma geral, os minerais são utilizados em proporções que substituem o cimento Portland, ou seja, as adições minerais são empregadas como substituto parcial do cimento Portland no concreto.

Fonseca (2010) define que diferente dos aditivos, as adições de minerais são utilizados para somar ou até mesmo substituir, parcialmente, o cimento, enquanto que os aditivos são usados para alterar propriedades do concreto, sem alterar a proporção do cimento na composição do concreto. Logo, existem trabalhos que analisaram a eficiência de adições de minerais como: escória granulada de alto forno, sílica ativa, metacaulin, entre outros, nas propriedades do concreto permeável.

Seguindo as concepções do autor,

“Após estudos feitos em concretos com baixo consumo de cimento e elevado conteúdo de adições minerais (substituição de cimento por 70% de escória e 20% de cinzas volantes), verificou-se que é possível reduzir o consumo de energia, a emissão de CO₂ e o custo do metro cúbico do concreto em torno de 55%, 88% e 5% respectivamente, podendo-se ao mesmo tempo aumentar em 40% o índice médio de durabilidade, em comparação com os concretos sem adições” (FONSECA, 2010 p.72)

Segundo Coelho (2016), “As adições minerais podem melhorar as propriedades do concreto, mas não se deve esperar que possam compensar a baixa qualidade dos constituintes do concreto ou de um traço pobre”. O autor preceitua que as influências das adições de minerais sobre o concreto são:

- Melhor trabalhabilidade;
- Maior facilidade para bombear o concreto;
- Maior volume de finos;
- Menor risco de fissuração térmica;
- Menor calor de hidratação;
- Formação de mais compostos resistentes;
- Redução na permeabilidade e porosidade do concreto;
- Menor risco da entrada de agentes nocivos.

Fonseca (2010) afirma que conforme sua ação físico-química no concreto, as adições minerais podem ser classificadas em três grupos distintos: materiais pozolânicos, material cimentante e *filler*:

- Material pozolânico – definido como um material silicoso que possui pouca ou nenhuma propriedade cimentante, esse material é classificado como pozolanas naturais e pozolanas artificiais. As pozolanas naturais são de origem vulcânica ou sedimentar, já as artificiais são originadas de tratamento térmico, ou subprodutos industriais com atividades pozolânica (cinzas volantes, cinzas de casca de arroz, sílica ativa etc.);
- Material cimentante – é aquele capaz de formar produtos cimentantes, sem a necessidade do hidróxido de cálcio presente no cimento Portland. Sua auto hidratação é lenta, mas quando usado como adição ou substituição em cimento Portland, sua hidratação é acelerada na presença de hidróxido de cálcio e gipsita;
- *Filler* – é um material finamente dividido sem atividade química, cuja atuação é basicamente um efeito físico de empacotamento granulométrico e ação como pontos de nucleação para a hidratação dos grãos de cimento.

2.3. Método de dosagem

Segundo Ramos (2018), o concreto permeável no estado fresco tem a característica de ter pouca trabalhabilidade. É incomum a utilização do ensaio de abatimento de cone haja vista que o abatimento é, normalmente, menor que 20 mm, fazendo-se necessária a execução de outros ensaios, como o ensaio de massa unitária e o ensaio de controle visual. Em função das suas características.

Os procedimentos-padrão utilizados em concretos normais para confecção e análise de corpos de prova em laboratório não são utilizados no concreto permeável, já que no Brasil ainda não existem especificações ou métodos referentes ao estudo em laboratório deste tipo de material.

O concreto permeável apresenta *slump* zero ou no máximo 20 mm e não liquefeita e é recomendado o emprego de vibração enérgica. Os traços mais usuais e que trazem maiores resistências são os traços 1:3, 1:4 (cimento/agregado) e os agregados graúdos mais utilizados são as brita 0 e a brita 1 (MONTEIRO, 2010). Em seu trabalho, Monteiro (2010) relata que por não ter um método de dosagem normatizado foi feita uma revisão bibliográfica de dosagens utilizadas para escolha da dosagem adotada em seu trabalho, que nesse caso foi o traço 1:3 e 1:4 com consumo de cimento de 420 kg/m³ e relação água/cimento de 0,35.

No trabalho de Azañedo, Helard e Muñoz (2007) utilizaram para a dosagem do concreto permeável o método da ACI (*American Concrete Institute*). Realizou-se o experimento em três fases, na primeira, estudou as características dos agregados e cimento que seriam utilizados, e determinou três traços iniciais. Nos três traços, foram modificadas as quantidades de todos os materiais. Depois de avaliar o melhor desempenho dos traços anteriores, passou a segunda fase que era adicionar, ao melhor dos três traços, tiras de plástico em diferentes porcentagens. Por fim, escolheu o traço que apresentou o melhor comportamento para terceira e última fase, que seria melhorar suas propriedades com aditivo redutor de água e fibra sintética.

Para uma boa escolha do método de dosagem que será utilizado no concreto, é importante analisar o local em que esse método de dosagem foi desenvolvido e se ele se adequa a região em que será executado o concreto. Isso porque alguns métodos de dosagens podem ser mais indicados para certas regiões por causa do clima, disponibilidade de materiais, etc.

Sendo assim, de acordo com Ramos (2018), para seu trabalho o método de dosagem escolhido foi o da CIENTEC, pois foi um método desenvolvido, principalmente, para região do Rio Grande do Sul, local onde o seu trabalho foi desenvolvido.

2.4. Tipos de revisão de literatura

Ao buscar, analisar e descrever um tema, estar se realizando um processo revisão da literatura. Uma vez que nela se reúne as fontes de pesquisa que vão fornecer embasamento teórico para o trabalho. Existe três tipos de revisão de literatura: revisão narrativa, revisão sistemática e revisão integrada. Elas são definidas de acordo com o método de elaboração (MATTOS, 2015).

Seguindo as concepções do autor,

“Revisão narrativa não utiliza critérios explícitos e sistemáticos para a busca e análise crítica da literatura. A revisão sistemática é um tipo de investigação científica, essas revisões são consideradas estudos observacionais retrospectivos ou estudos experimentais de recuperação e análise crítica da literatura. Revisão integrada surgiu como alternativa para revisar rigorosamente e combinar estudos com diversas metodologias”. (MATTOS, 2015 p. 02)

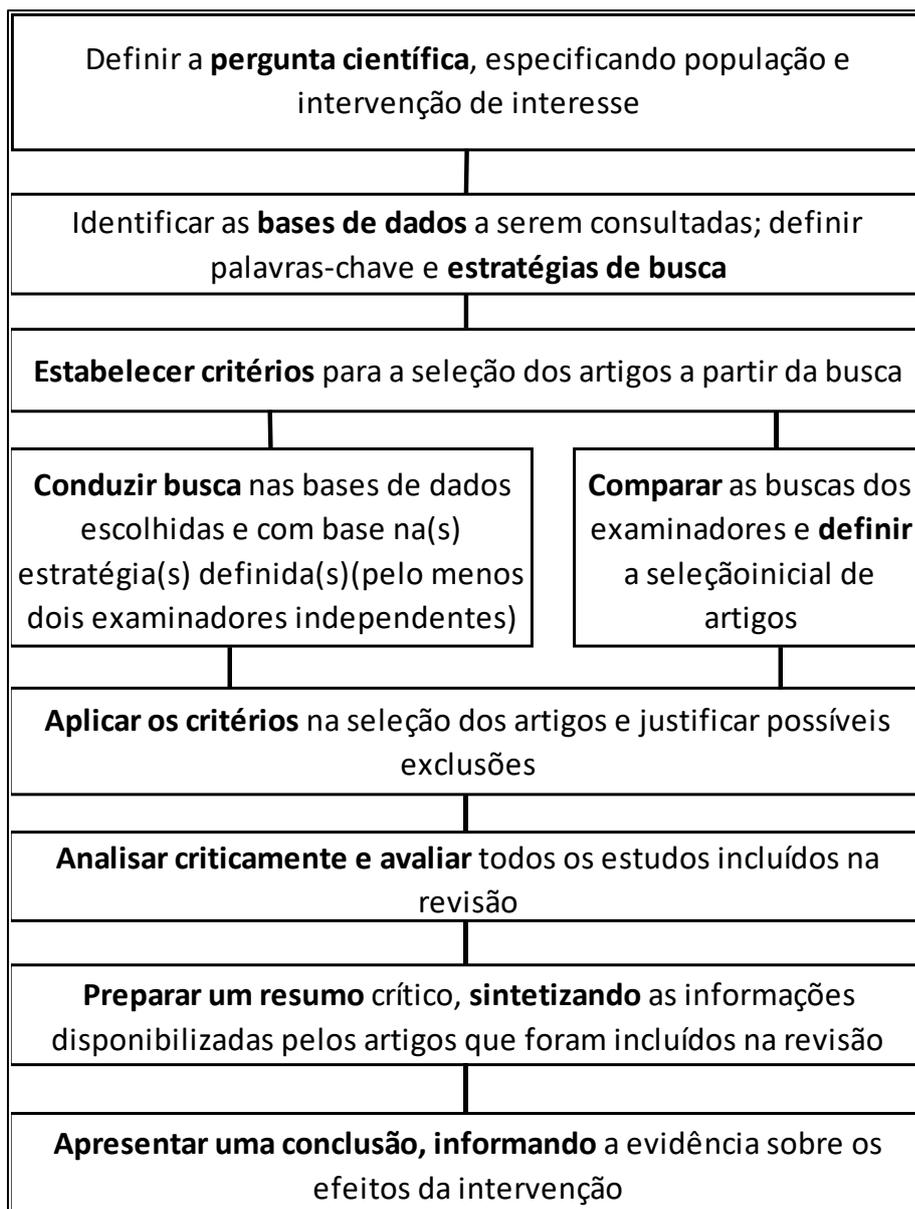
Para elaboração desse trabalho, foi escolhido o método de revisão sistemática, para um maior detalhamento do tema, além de ampliar a capacidade crítica, isto é, abrindo espaços para uma análise das teorias já escritas. Pois a revisão sistemática tem como foco a investigação científica do assunto escolhido, fazendo uma revisão e análise de vários trabalhos publicados, traçando métodos de pesquisa e fazendo uma filtragem nas buscas, de modo que os resultados obtidos sejam satisfatórios e com comprovação científica.

2.4.1. *Revisão sistemática da literatura*

As revisões sistemáticas devem ser metódicas, explícitas e passíveis de reprodução. Uma revisão sistemática requer uma pergunta clara, a definição de uma estratégia de busca, o estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão dos artigos e uma análise da qualidade da literatura selecionada. O processo de desenvolvimento desse tipo de estudo de revisão inclui caracterizar cada estudo selecionado, avaliar a qualidade deles, identificar conceitos importantes, comparar as análises estatísticas apresentadas e concluir sobre o que a literatura informa em relação a determinada intervenção (SAMPAIO, 2007).

Sampaio (2007) afirma ainda que, revisão sistemática da literatura é uma possibilidade de pesquisa que utiliza como ferramenta os dados da literatura existente sobre determinado tema escolhido. É utilizados métodos explícitos utilizando os seguintes passos: definição da pergunta; buscando a evidência; revisando e selecionando os estudos; analisando a qualidade metodológica dos estudos e apresentando os resultados. Esses passos são apresentados na Figura 2.

Figura 2 - Descrição geral sobre o processo de revisão sistemática da literatura.



Fonte: Adaptado de Sampaio (2007)

2.5. Ferramentas para revisão sistemáticas

2.5.1. Vosviewer

Segundo Codato (2018), o *Vosviewer* é possibilita a visualização de redes bibliométricas, ele é um programa computacional que é usado para construção, visualização e análise de dados cientométricos. As análises feitas nessa ferramenta são sobre periódicos, artigos, autores, palavras-chave e referências citadas nos documentos. O *software* forma redes com base nas citações, cocitação, coautoria e coocorrência de termos em títulos e resumos. Ele é um visualizador de redes gratuito e possui uma interface intuitiva e de fácil manipulação.

2.5.2. SRAT (Systematic Review Automatic Tool)

Montebelo *et al* (2007) define o SRAT como sendo uma ferramenta computacional de apoio a realizações de revisões sistemáticas, que tem como objetivo dar suporte ao operador no planejamento, execução e análises de uma revisão sistemática em qualquer que seja a área de estudo ou tema escolhido, essa ferramenta foi desenvolvida com a funcionalidade de dar suporte em todas as etapas da revisão sistemática, do início ao fim do trabalho.

2.5.3. EndNote

Segundo Yamakawa *et al* (2014), o *EndNote* é um software de licença paga que é utilizado para gerenciamento de referências bibliográficas, bastante utilizado em pesquisas acadêmicas. Assim como algumas ferramentas esse software tem a versão web que possibilita o acesso de qualquer lugar desde que possua acesso à internet para fazer a sincronização dos arquivos. Uma boa vantagem dessa ferramenta é a possibilidade de visualização de referências duplicadas, onde se pode fazer a exclusão da duplicidade deixando a versão que melhor se enquadre no trabalho.

2.5.4. Mendeley

Yamakawa *et al* (2014), define esse *software* como sendo uma ferramenta computacional utilizada para buscar e organizar de forma sistemática os artigos disponíveis na literatura. A ferramenta permite o armazenamento dos arquivos tanto no computador do usuário quanto na Web o que possibilita a sincronização dos arquivos e dessa maneira pode ser acessada de qualquer lugar, desde que possua acesso à internet para fazer a sincronização dos arquivos.

Outro aspecto positivo é a facilidade na aquisição dos dados em relação aos artigos, como os autores, periódicos publicados, volume, número etc.

2.5.5. Zotero

Assim como o *EndNote*, o *Zotero* é um software utilizado para gerenciamento de referências bibliográficas, mas com a vantagem de ser uma ferramenta de código aberto (gratuito). Esse software não possui mecanismos de contagem de dados como quantidades de autores, palavras-chave e ano de publicação (YAMAKAWA *et al*, 2014)

Comparado com pesquisas disponíveis sobre concreto convencional, pode-se afirmar que o concreto permeável – alvo do presente trabalho – é relativamente recente nos campos de pesquisa, sendo uma tecnologia que, na prática, ainda é menos empregada que os métodos convencionais. Desta forma, fez-se necessário o entendimento de diversos softwares de visualização e gerenciamento de pesquisa de dados, para obter-se um maior apanhado de informações acerca do tema.

3. METODOLOGIA

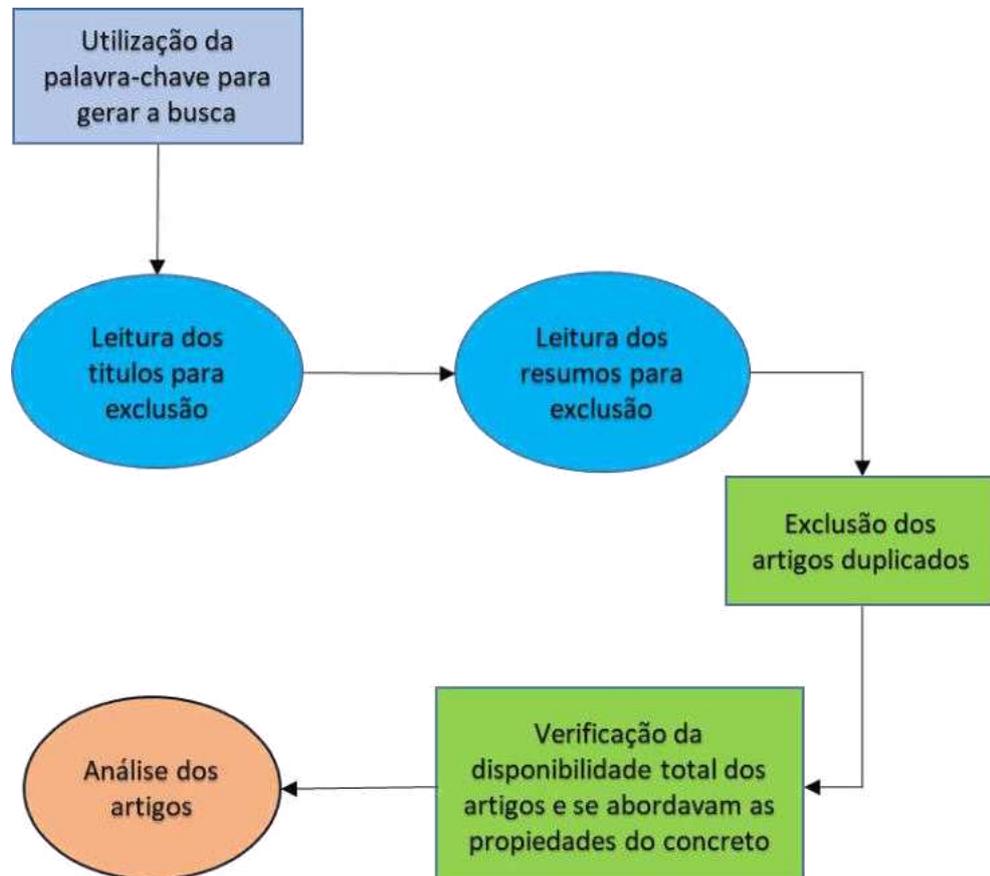
Neste capítulo são apresentadas todas as etapas realizadas neste estudo.

3.1. Ferramentas

As bases de dados escolhidas para a extração das documentações foram: Scielo, *Engineering Village*, *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*. Tanto as bases de dados internacionais quanto a nacional foram selecionadas de acordo com a afinidade da área de pesquisa. Com a utilização de palavras-chave estas bases basicamente retornaram livros e artigos científicos publicados em periódicos e eventos científicos.

Para tanto, escolhido uma palavra chave que conseguisse abranger os trabalhos relevantes a respeito do tema proposto, optando nesse caso por: “*permeable concrete*” para buscas nas bases internacionais, e “*concreto permeável*” para busca na base de dados nacional. Na Figura 3 é apresentado um fluxograma com as etapas realizadas nesse trabalho.

Figura 3 - Fluxograma dos critérios de seleção aplicados.



Inicialmente, foi observado o total de publicações feitas nas bases selecionadas com a busca da palavra chave e, posteriormente, houve a etapa de seleção (filtragem) dos artigos por etapas:

- Na primeira etapa analisou afinidade do título com o tema pesquisado, se os trabalhos foram escritos em português ou inglês, desprezando-se trabalhos em outras línguas e se o ano de publicação estava dentre os últimos 10 anos (2011-2021) isso devido ao número expressivo de publicações nesse período e por compreender que, nos últimos anos, houve um aprofundamento nas pesquisas sobre concreto permeável;
- Na segunda etapa, analisou a relação do resumo com o tema pesquisado;
- Por fim, exclusão dos artigos em duplicidade nos bancos de dados, exclusão dos artigos que não tiveram em seus resultados análise das propriedades do concreto permeável e artigos sem textos completos disponíveis.

Após essas filtrações, restaram 26 artigos que têm em comum a característica de serem artigos científicos publicados em periódicos e eventos científicos, assim sendo, a relevância científica desses artigos foi fundamental na escolha deles para sua análise nessa revisão sistemática sobre o concreto permeável.

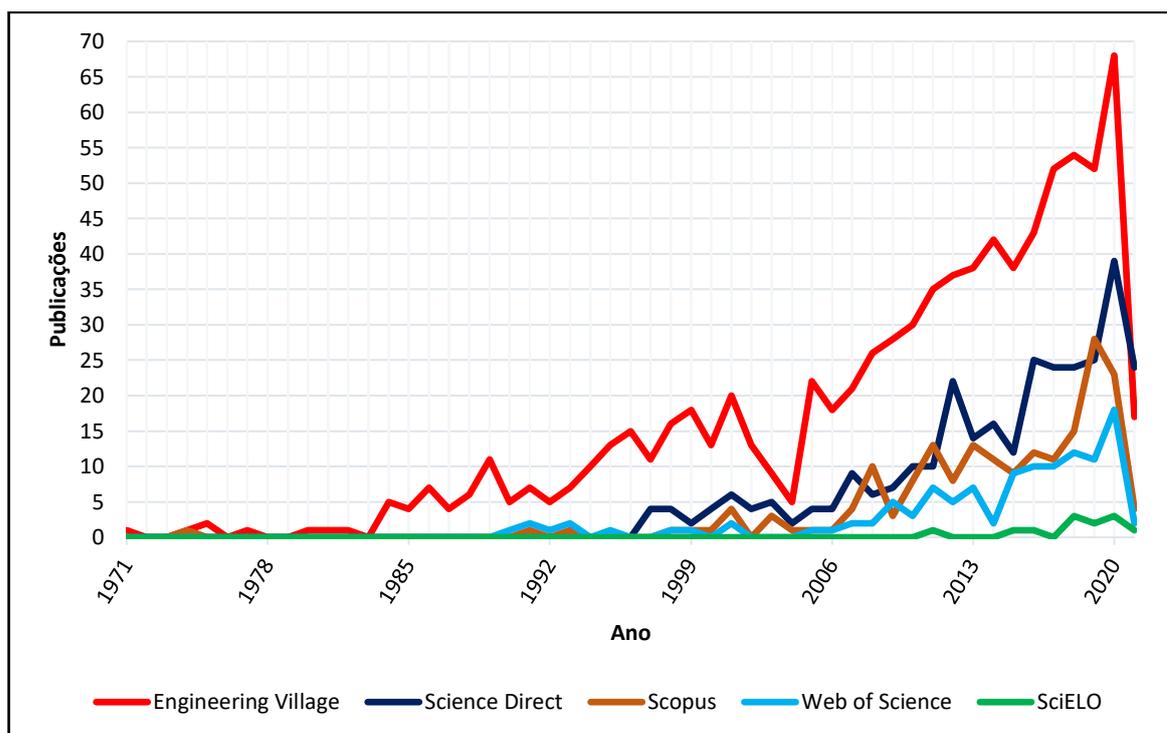
Após a busca e seleção dos artigos feita por meio dos critérios expostos acima, foi feita uma revisão bibliográfica quantitativa, que consiste em analisar e avaliar os aspectos quantitativos referente à produção e disseminação das produções científicas registradas em uma base de dados. Em seguida, foram realizadas análises dos dados obtidos pelos artigos em relação as propriedades do concreto permeável (resistência a compressão, permeabilidade e porosidade) e sobre os métodos de dosagens e agregados constituintes desse tipo de concreto. Por fim, houve a comparação dos dados e feitas discussões sobre os resultados encontrados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise quantitativa

Após a busca inicial nas bases de dados, foram encontrados 1501 artigos ao total, dentre os quais 1489 foram encontrados nas bases internacionais e 12 artigos foram obtidos na base nacional SciELO. A Figura 4 mostra a distribuição dos dados encontrados com a busca da palavra-chave (*permeable concrete*) sem ter passado por filtragens.

Figura 4 - Publicações feitas por ano.



Analisando a Figura 4, é possível perceber o crescente interesse sobre essa nova tecnologia, bem como o aumento dos estudos e análises das propriedades do concreto permeável.

É nítido o grande volume de artigos encontrados nas duas bases internacionais, *Engineering Village* e *Science Direct*, cujos bancos possuíam maiores quantidades de retornos iniciais, mas tiveram pouco aproveitamento depois das análises feitas nos títulos e resumos.

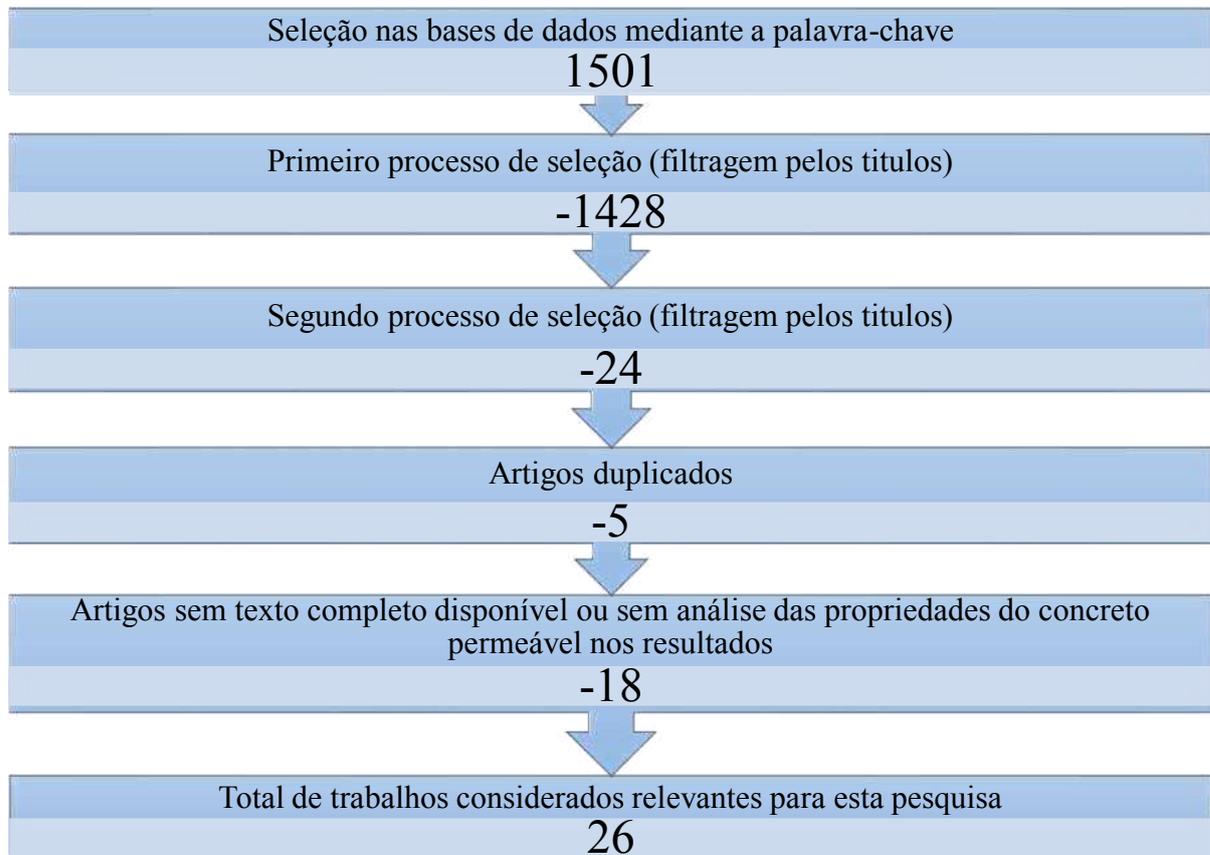
Após as filtragens por ano, língua inglesa ou portuguesa, leitura de títulos e resumos, as bases internacionais apresentaram muitas publicações que foram descartadas. Na Tabela 2 são apresentadas as extrações destas publicações por origem dos artigos e por processo de seleção.

Tabela 2 - Distribuição dos artigos por base de dados.

Base de dados	Total de publicações iniciais	Nº de artigos selecionados	
		1º processo de seleção	2º processo de seleção
Engineering Village	834	6	5
Science direct	349	9	6
Scopus	188	42	27
Web of Science	118	5	3
SciELO	12	11	8
Total	1501	73	49

Embora a Tabela acima apresente resultados de 49 artigos, houve o processo de exclusão das duplicidades e artigos sem relevância com a pesquisa, como também existiam arquivos que não permitiam o acesso total. Na Figura 5 é apresentado o acompanhamento das etapas de seleção e exclusão dos artigos.

Figura 5 - Seleção e filtragem dos artigos.



O primeiro processo foi responsável pela maior parte de exclusão, retirando 95,10% dos artigos encontrados na primeira busca. Feito as filtragens e exclusão dos artigos desnecessários a pesquisa, houve um aproveitamento de 1,73% em relação aos 1501 artigos encontrados de início. Na Tabela 3 abaixo são apresentados os artigos selecionados para análise por ano e país de origem.

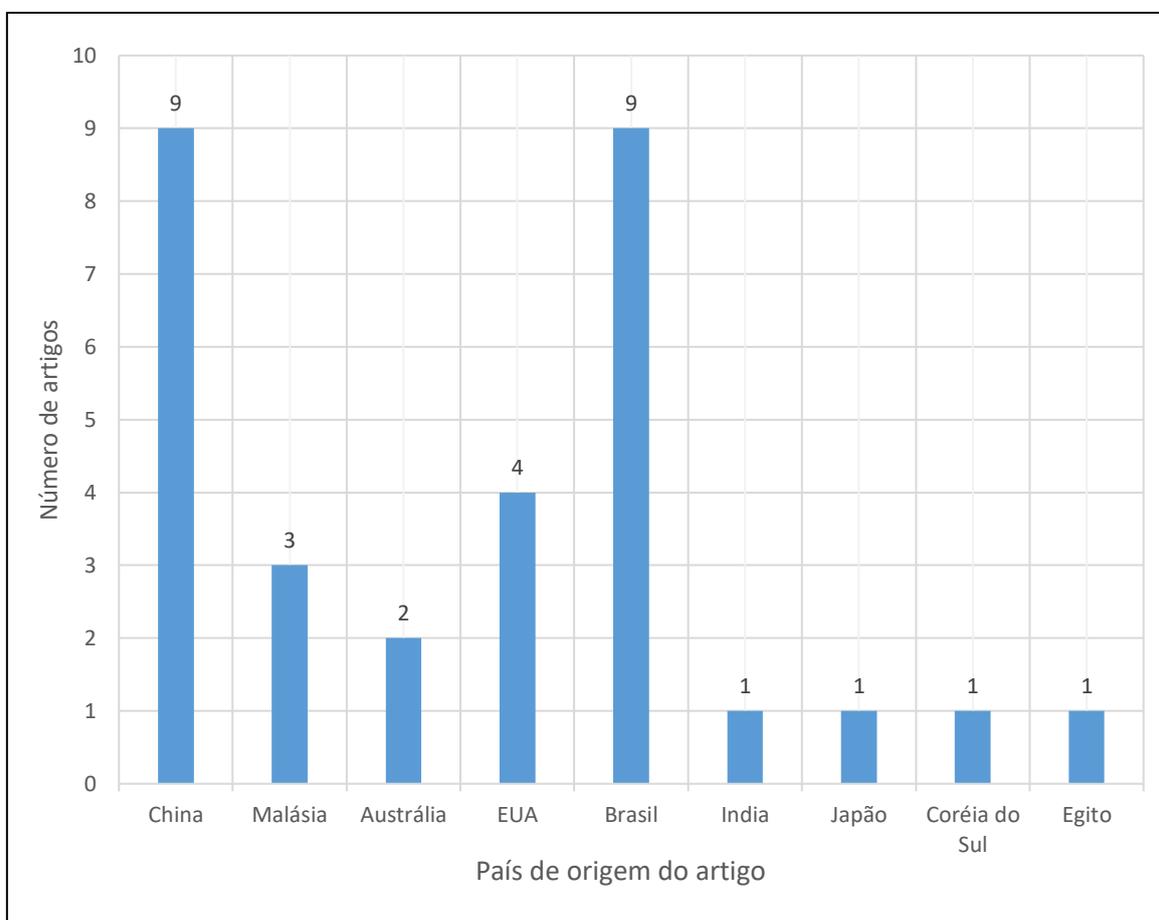
Tabela 3 - Autores, separados por ano e país de origem.

Referência	Ano	País de origem
Zhang <i>et al.</i>	2021	China / Egito
Batezini <i>et al.</i>	2021	Brasil
Li <i>et al.</i>	2021	China
Cai <i>et al.</i>	2020	China
Martins filho <i>et al.</i>	2020	Brasil
Zhao <i>et al.</i>	2020	China
Schackow <i>et al.</i>	2020	Brasil
Nadiatul adilah <i>et al.</i>	2020	Malásia
Xie; Akin; Shi.	2019	China / EUA
Sandoval <i>et al.</i>	2019	China / Brasil
Pils <i>et al.</i>	2019	Brasil
Ng <i>et al.</i>	2019	Malásia
Costa <i>et al.</i>	2018	Brasil / EUA
Mikami <i>et al.</i>	2018	Brasil
Modi <i>et al.</i>	2018	Índia
Kim; Gaddafi; Yoshitake.	2016	EUA / Japão
Tavares; Kazmierczak.	2016	Brasil
Batezini; Balbo.	2015	Brasil
Li <i>et al.</i>	2014	China
Martin; Kaye; Putman.	2014	EUA
Chung <i>et al.</i>	2014	Coréia do Sul
Liu; Wang; Li.	2013	China

Mohammed; Nuruddin; Dayalan.	2013	Malásia
Hussin <i>et al.</i>	2012	Austrália
Hussin <i>et al.</i>	2011	Austrália
Li; yang; li.	2011	China

Pôde-se observar que, cinco trabalhos foram feitos em parcerias entre países, e os lugares no mundo que retornaram o maior número de artigos relevantes para essa pesquisa foram a China e o Brasil (Figura 6). O alto número de artigos nacionais se deve ao aproveitamento dos artigos Brasileiros encontrados na base de dados Brasileira SciELO. O alto número de artigos chineses se deve aos altos investimentos do país, voltados para estudos de se obter formas de mitigar os danos causados pela impermeabilização do solo.

Figura 6 - Porcentagem de publicações por país de origem.



Durante a análise, ficou perceptível que os artigos possuem abordagens diferentes sobre o tema concreto permeável, tratando de alguns assuntos ligados ao tema, a exemplo de: adição de materiais, propriedades do concreto permeável e pavimentos permeáveis. A seguir, foram coletadas as informações dos autores selecionados sobre as diversas propriedades do concreto permeável.

4.2. Análise da literatura

4.2.1. Agregados

Dentre os vinte e seis artigos analisados, vinte artigos especificaram as dimensões dos agregados utilizados em seus trabalhos como mostra a Tabela 4:

Tabela 4 - Tamanho dos grãos utilizados.

Referência	Tamanho dos grãos (mm)
Zhang <i>et al.</i> (2021)	4,75 - 9,5 / 9,5 - 13,2 / 13,2 - 16,0
Batezini <i>et al.</i> (2021)	4,75 / 6,3 / 9,5
Li <i>et al.</i> (2021)	5,0 - 10,0
Martins filho <i>et al.</i> (2020)	6,3 - 9,5
Schackow <i>et al.</i> (2020)	4,75 / 19,0
Nadiatul adilah <i>et al.</i> (2020)	4,75 / 9,5 / 12,5 / 14,0 / 20,0
Sandoval <i>et al.</i> (2019)	4,0 - 10,0 / 10,0 - 20,0
Pils <i>et al.</i> (2019)	4,8 - 9,5 / 9,5 - 19,0
Costa <i>et al.</i> (2018)	4,75 - 12,5
Mikami <i>et al.</i> (2018)	9,5 - 12,5
Kim; Gaddafi; Yoshitake. (2016)	9,5
Tavares; Kazmierczak. (2016)	19,0 / 25,0
Batezini; Balbo. (2015)	4,75 / 6,3 / 9,5
Li <i>et al.</i> (2014)	5,0 - 10,0 / 10,0 - 15,0
Martin; kaye; putman. (2014)	4,75 - 19,0
Liu; Wang; Li. (2013)	5,0 - 10,0
Mohammed; Nuruddin; Dayalan. (2013)	10,0
Hussin <i>et al.</i> (2012)	4,75 - 9,5
Hussin <i>et al.</i> (2011)	4,75 - 9,5
Li; Yang; Li. (2011)	4,75 - 9,5 / 9,5 - 16,0 / 16,0 - 19,0

Utilizou-se o símbolo “-“ para interpretar tamanho x à tamanho y, e o símbolo “/” para interpretar tamanho x e tamanho y.

Conforme dados apresentados na Tabela 4, é constatado que as brita 0 e brita 1 são as mais utilizadas no concreto permeável, ao observar, é notório que quase todos os artigos o agregado de tamanho 9,5 mm aparece. De acordo com Li; Yang; Li. (2011), o tamanho dos agregados tem grande efeito sobre a resistência a compressão e dentre os tamanhos dos agregados, a faixa de tamanho que obtêm os melhores resultados nos ensaios de resistência a compressão é de 9,5 à 16 mm, pois, à medida que o tamanho do agregado aumenta, a resistência, a compressão diminui.

Geralmente, o concreto permeável é produzido sem a presença de agregado miúdo (areia), pelo fato de que uma grande quantidade de areia na mistura fecharia os poros, deixando pouco permeável, contudo, alguns autores afirmam que a areia em determinadas quantidades é benéfica. Segundo Pils *et al* (2019), o ideal é utilizar areia com cerca de 5% da massa total do agregado, podendo chegar até no máximo 35% de massa, isso para melhorar a resistência à compressão e não reduz muito a permeabilidade do material.

Este comportamento é explicado pelos autores Sandoval *et al.* (2019); Pils *et al.* (2019); Hussin *et al.* (2012); Hussin *et al.* (2011), ao acrescentarem proporções de agregado miúdo nas amostras para análises. No geral, os trabalhos convergem para a conclusão de que grandes quantidades de areia aumentam a resistência à compressão, no entanto, diminuindo a permeabilidade do concreto.

Pensando na sustentabilidade e levando em conta a diversidade de materiais que são jogados na natureza de forma inapropriada, estudos investigaram a possibilidade de utilização de outros componentes como agregados. Nos trabalhos de Cai *et al.* (2020), Schackow *et al.* (2020), Sandoval *et al.* (2019), Mikami *et al.* (2018), Kim; Gaddafi; Yoshitake. (2016) e Tavares; Kazmierczak. (2016), foram utilizados outros materiais para os agregados, como: tijolos triturados, resíduos da indústria de papel, escória de forno, resíduos de construção e demolição, resíduos de cerâmica vermelha, fibra de ferro, fibra de rede, lasca de pneu triturado e fibra de vidro.

No trabalho de Cai *et al.* (2020), concluiu que a utilização de tijolos triturados teve um efeito de enfraquecimento na resistência à compressão do concreto, recomendando o teor de no máximo 15% desse material no concreto permeável, tendo em vista que, porcentagens maiores do que a citada prejudicariam muito esta propriedade. Schackow *et al.* (2020) afirma que a utilização de resíduo da indústria de papel é benéfica, pois, reduz a quantidade de cimento necessário no concreto permeável, tornando mais barato, no entanto, limita o teor de acréscimo a cerca de 5% da quantidade de cimento, já que, teores maiores que esse diminuem muito a resistência a compressão do concreto. Sandoval *et al.* (2019), avaliou, positivamente, a

substituição do agregado graúdo pela escória de forno, visando o cumprimento mínimo dos parâmetros de resistência e permeabilidade exigidos pela NBR 16416 (ABNT, 2015), viabilizando o uso desse agregado na fabricação de calçadas para pedestres e pavimentos de tráfego leve.

Segundo Mikami *et al.* (2018), a utilização de resíduos de cerâmica vermelha mesmo em pequenas proporções foi prejudicial a permeabilidade e a resistência a compressão do concreto permeável, ao contrário da utilização do resíduo de construção que obteve características semelhantes ao concreto produzido com agregados naturais.

Kim, Gaddafi & Yoshitake. (2016), concluem que pequenas adições de fibras (na faixa de 1 a 2%) aumentam a taxa de permeabilidade do concreto, já a utilização de lasca de pneu não é recomendada, já que diminui a taxa de permeabilidade, tendo em vista que essas lascas tendem a obstruir os poros do concreto permeável.

4.2.2. Métodos de Dosagens

Nos vinte e seis artigos analisados foram observados quatro tipos de métodos de dosagens utilizados pelos autores, detalhado na Tabela 5.

Tabela 5 - Métodos de dosagens e traços utilizados.

Referência	Método de dosagem	Traço (cimento: brita :água/cimento)
Zhang <i>et al.</i> (2021)	CJJ / T 135-2009	-----
Batezini <i>et al.</i> (2021)	Revisão de literatura	1: 4,4: 0,30
Li <i>et al.</i> (2021)	Elaborada pelo próprio autor	-----
Cai <i>et al.</i> (2020)	CJJ / T 135-2009	-----
Martins filho <i>et al.</i> (2020)	Elaborada pelo próprio autor	1: 3: 0,30 1: 2,5: 0,30 1: 2: 0,30
Zhao <i>et al.</i> (2020)	CJJ / T 135-2009	-----
Schackow <i>et al.</i> (2020)	Revisão de literatura	-----
Nadiatul adilah <i>et al.</i> (2020)	Elaborada pelo próprio autor	-----
Xie; Akin; Shi. (2019)	Elaborada pelo próprio autor	-----

Sandoval <i>et al.</i> (2019)	Elaborada pelo próprio autor	-----
Pils <i>et al.</i> (2019)	Revisão de literatura	-----
Ng <i>et al.</i> (2019)	Elaborada pelo próprio autor	-----
Costa <i>et al.</i> (2018)	IBRACON	1: 4: 0,26
Mikami <i>et al.</i> (2018)	Elaborada pelo próprio autor	1: 5: 0,30
Modi <i>et al.</i> (2018)	Elaborada pelo próprio autor	-----
Kim; Gaddafi; Yoshitake. (2016)	Elaborada pelo próprio autor	-----
Tavares e Kazmierczak. (2016)	Revisão de literatura	-----
Batezini e Balbo. (2015)	Revisão de literatura	1: 4,4: 0,30
Li <i>et al.</i> (2014)	Elaborada pelo próprio autor	1: 3,3: 0,34
Martin; Kaye; Putman. (2014)	Elaborada pelo próprio autor	1: 2,5: 0,3 1: 2,8: 0,3
Chung <i>et al.</i> (2014)	Elaborada pelo próprio autor	-----
Liu; Wang; Li. (2013)	Elaborada pelo próprio autor	1: 4: 0,35
Mohammed; Nuruddin; Dayalan. (2013)	Elaborada pelo próprio autor	-----
Hussin <i>et al.</i> (2012)	Elaborada pelo próprio autor	1: 4,5: 0,34 1: 4,75: 0,34
Hussin <i>et al.</i> (2011)	Elaborada pelo próprio autor	1: 4,5: 0,34 1: 4,75: 0,34
Li; yang; li. (2011)	Elaborada pelo próprio autor	1: 4: 0,33

Os métodos de dosagens encontrados foram o da norma chinesa CJJ / T 135-2009 e método de dosagem IBRACON. Alguns autores fizeram uma revisão de literatura, afim de encontrar uma dosagem utilizada por outros autores, e, que tiveram resultados satisfatório, enquanto outros autores fizeram o método de tentativa e erro, ou seja, escolheram um traço qualquer e testaram, pois, segundo eles não existia um método normatizado para ser seguido.

Os trabalhos de Zhang *et al.* (2021), Cai *et al.* (2020) e Zhao *et al.* (2020) utilizaram o método da norma chinesa CJJ / T 135-2009 como base para execução dos traços do concreto permeável, enquanto o trabalho de Costa *et al.* (2018) foi o único a utilizar o método IBRACON. Nos trabalhos de Batezini *et al.* (2021), Schackow *et al.* (2020), Pils *et al.* (2019),

Tavares e Kazmierczak. (2016) e Batezini e Balbo. (2015) foram feitas pesquisas na literatura procurando dosagens de concretos que tiveram resultados satisfatórios em suas análises.

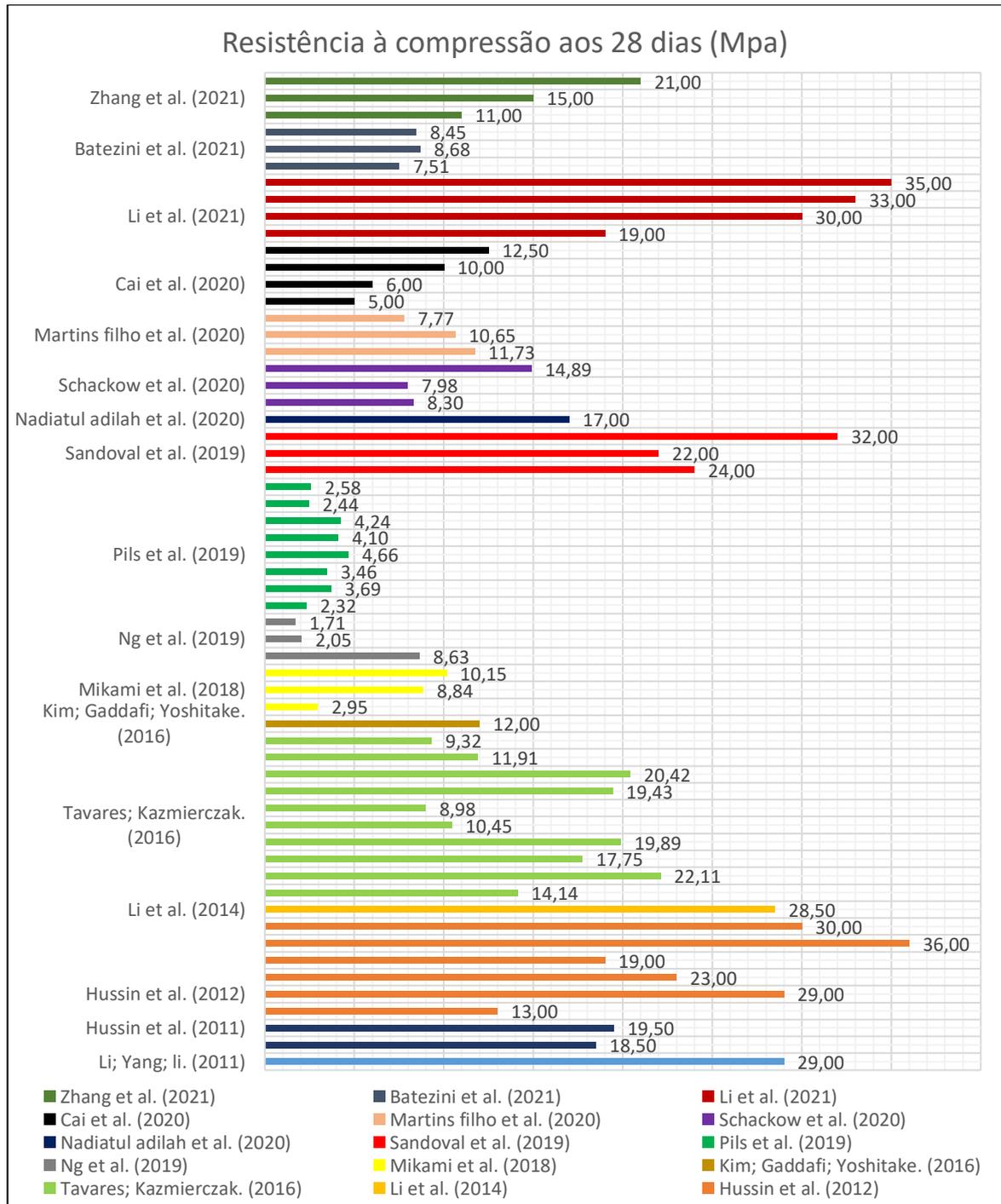
Dentre o total de artigos analisados, dezessete pesquisas utilizaram suas próprias dosagens para execução das dosagens do concreto permeável, foi o caso de Li *et al.* (2021), Martins filho *et al.* (2020), Nadiatul adilah *et al.* (2020), Xie; Akin; Shi. (2019), Sandoval *et al.* (2019), Ng *et al.* (2019), Mikami *et al.* (2018), Modi *et al.* (2018), Kim; Gaddafi; Yoshitake. (2016), Li *et al.* (2014), Martin; Kaye; Putman. (2014), Chung *et al.* (2014), Liu; Wang; Li. (2013), Mohammed; Nuruddin; Dayalan. (2013), Hussin *et al.* (2012), Hussin *et al.* (2011), Li; yang; li. (2011). Os autores apontam que como não existia um método específico em norma para execução da dosagem, optou-se por dosagens experimentais em suas análises.

Em relação aos traços (em massa) utilizados nos trabalhos verificados, alguns dos artigos mostraram de forma explícita os traços analisados em seus trabalhos ou mostraram de forma detalhada informações sobre as misturas estudadas, como pode ser visto na Tabela 6 acima.

4.2.3. Resistência à compressão

Comumente o valor que a resistência a compressão do concreto permeável atinge é muito baixo, se comparado com a resistência a compressão do concreto normal, a causa disso é pela falta de agregado miúdo, que ocasiona uma alta porosidade nesse tipo de concreto. A Figura 7 mostra os resultados obtidos para resistência a compressão aos vinte e oito dias dos artigos analisados.

Figura 7 - Valores encontrados para resistência a compressão aos 28 dias.



O melhor resultado apresentado foi no trabalho de Hussin *et al.* (2012), com o valor obtido de 36 MPa. Segundo esses autores, o tamanho dos agregados (brita 0 ou brita 1) e sua origem mineralógica tem grande influência na resistência à compressão. Hussin *et al.* (2012) afirmam que agregados de tamanhos maiores resultam em maiores resistências à compressão,

e que os agregados de origem basáltica e granítica resultam em melhores resultados à compressão aos vinte e oito dias.

Os autores chegaram a essa conclusão ao comparar os resultados obtidos com as seis misturas analisadas em seus trabalhos, mas um possível motivo para que Hussin *et al.* (2012) tenha chegado ao valor de 36 MPa é a presença de 15% de areia na mistura que não foi analisada pelos autores. Tendo em vista que, as amostras que possuíam menores teores de areia proporcionaram resistências inferiores, constatado na comparação das duas misturas que haviam o mesmo traço, mas com quantidade de areia menores. Observou-se uma redução de resistência a compressão de 16,7% nas amostras que tiveram uma redução de 5% nas quantidades de areia.

A afirmação feita por Hussin *et al.* (2012) ao dizer que aumentar o tamanho do agregado aumentaria a resistência a compressão também foi feita pelos mesmos autores em outro trabalho, Hussin *et al.* (2011). Um ano antes, os pesquisadores realizaram testes em duas amostras de concreto permeável, uma contendo 50% de agregados com tamanhos de 4,75 mm e 50% de agregados com tamanho de 9,5 mm e outra amostra com 75% de agregados de 4,75 mm e 25% de agregados de 9,5 mm. Como a primeira amostra obteve o resultado de 19,5 MPa e a segunda com 18,5 MPa foi deduzido que, pelo fato da segunda amostra ter mais agregados de menores dimensão que a primeira amostra e o resultado ser inferior, o tamanho do agregado foi o responsável pela redução da resistência. Não foi levado em conta pelos autores a redução da quantidade de areia nas duas amostras, isso porque, na primeira amostra tinha 15% de areia (19,5 MPa) enquanto na segunda amostra continham 10% de areia (18,5 MPa).

Zhang *et al.* (2021), Sandoval *et al.* (2019) e Li; Yang; li. (2011), se opõem ao pensamento de Hussin *et al.* (2012) e Hussin *et al.* (2011), em relação a um melhor desempenho a resistência à compressão com agregados maiores do que com agregados menores. Os trabalhos de Zhang *et al.* (2021), Sandoval *et al.* (2019) e Li; Yang; li. (2011) apontaram que agregados maiores diminuem a resistência à compressão. O artigo de Li; Yang; li. (2011) não especifica o motivo desse fato, mas Zhang *et al.* (2021) e Sandoval *et al.* (2019) explicam que comparando duas amostras com a mesma seção transversal, os agregados com menores dimensões possibilitam uma quantidade maior de contatos entre grãos do que agregados de maiores dimensões, desse modo como os agregados distribuem a pressão exercida entre eles, quanto maior a quantidade de contatos entre grãos maior será a resistência à compressão do concreto.

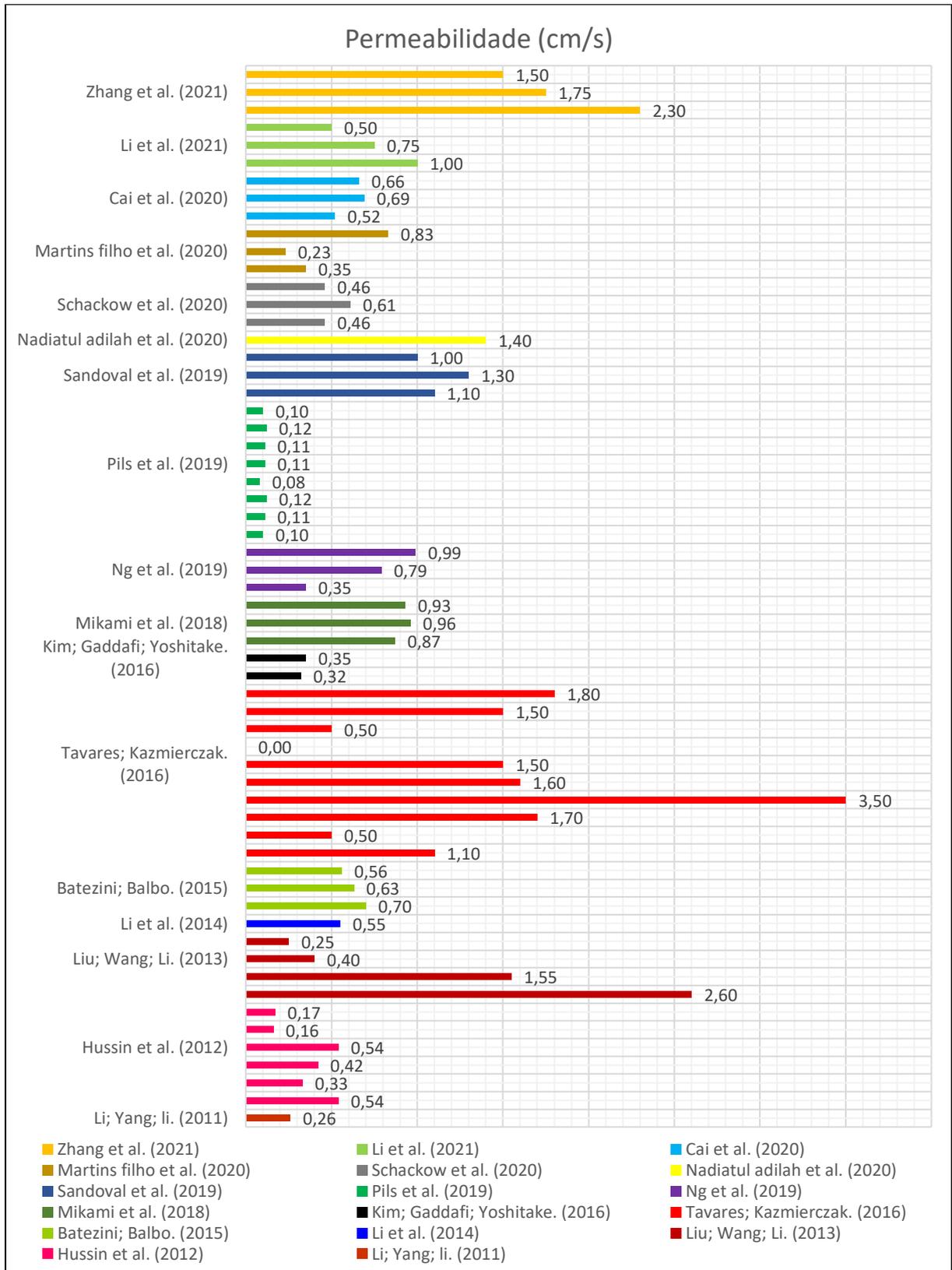
Todavia, o maior impacto que deve ser considerado e levado em consideração é o teor da quantidade da pasta cimentícia, e, Zhang *et al.* (2021), Ng *et al.* (2019), Mikami *et al.* (2018)

e Tavares; Kazmierczak. (2016), concluem que maiores quantidades de cimento aumentam a resistência à compressão, isto devido ao fato que há um aumento de espessura da pasta que recobre o agregado e que serve para unir os agregados. Essa relação também é bem analisada por Ng *et al.* (2019), que em seu trabalho obteve o menor valor de resistência a compressão dentre todos os 26 artigos analisados (1,71 MPa), o que segundo Ng *et al.* (2019), a explicação para esse baixo valor encontrado é que a amostra tinha menor quantidade de cimento na sua dosagem, devido a uma substituição de parte do cimento por cinza volante.

4.2.4. Permeabilidade

Na Figura 8 pode-se observar valores de permeabilidade obtidos nos artigos analisados.

Figura 8 - Valores encontrados para permeabilidade.



Nota-se que dentre todos os artigos em análise, o trabalho de Tavares e Kazmierczak. (2016), foi o que obteve o maior valor de permeabilidade (3,5 cm/s) como também obteve o menor valor de permeabilidade (0 cm/s). A explicação para esses resultados é que na amostra de resultado 3,5 cm/s foi utilizado agregado reciclado e na amostra de 0 cm/s foi utilizado um elevado consumo de cimento (539 kg/m³), este maior consumo diminuiu, drasticamente, a permeabilidade do material e, por isso, não pôde ser classificado como concreto permeável.

No geral, a permeabilidade é maior em concretos que possuem agregados reciclados em vez de só utilizar agregados naturais. Esse fato foi mostrado nos artigos de Mikami *et al.* (2018), Tavares; Kazmierczak. (2016) e Liu; Wang; Li. (2013), que tiveram aumento da permeabilidade com acréscimos de agregados reciclados, por outro lado, essas adições proporcionaram um decréscimo na resistência a compressão, mais especificamente, a resistência a compressão tem um decréscimo dos seus resultados a medida em que se aumenta a proporção desses agregados.

É fácil a dedução de que a permeabilidade está, fortemente, ligada com a porosidade, pois, só haverá fluxo de água pelo concreto se tiver poros que permitam essa passagem. Pensando nisso, os autores Zhang *et al.* (2021), Li *et al.* (2021) e Tavares; Kazmierczak. (2016) preceituam que a porosidade e a permeabilidade são diretamente proporcionais, todavia, apresentaram dois tipos de porosidade, a fechada e a interconectada, e para se obter uma maior permeabilidade é preciso que os poros estejam interligados. No estudo de Zhang *et al.* (2021), amostras com mesmos traços e mesmos índices de porosidade tiveram permeabilidades diferentes, isso por conta dos poros interligados que era maior em uma das amostras.

Apoiando-se nos pensamentos de Zhang *et al.* (2021), chega-se à conclusão a partir de seu trabalho que os tamanhos dos agregados influenciam na permeabilidade do material. Ao contrário do que diz Batezini *et al.* (2021), que afirma que o tamanho dos agregados não influencia nessa propriedade. Para buscar uma possível justificativa para essa discordância, foi feita uma análise da tabela 4 (no item de agregados), e comparado os tamanhos dos agregados utilizados nos dois artigos, percebemos que no trabalho de Zhang *et al.* (2021) ouve uma maior variabilidade de tamanho de agregados do que no trabalho de Batezini *et al.* (2021), e isso pode ter ocasionado a discordância das afirmações das pesquisas.

Com base nisso, o efeito dos agregados na propriedade da permeabilidade, a partir dos artigos de Sandoval *et al.* (2019) e Batezini; Balbo. (2015), é notório a discordância sobre o efeito da distribuição granulométrica na permeabilidade, Sandoval *et al.* (2019) afirma que a permeabilidade está relacionada com a distribuição granulométrica dos grãos: granulometrias mais contínuas exibem permeabilidades maiores comparadas com a permeabilidade utilizando granulometria uniforme. Por fim, Batezini; Balbo. (2015) afirma que a composição

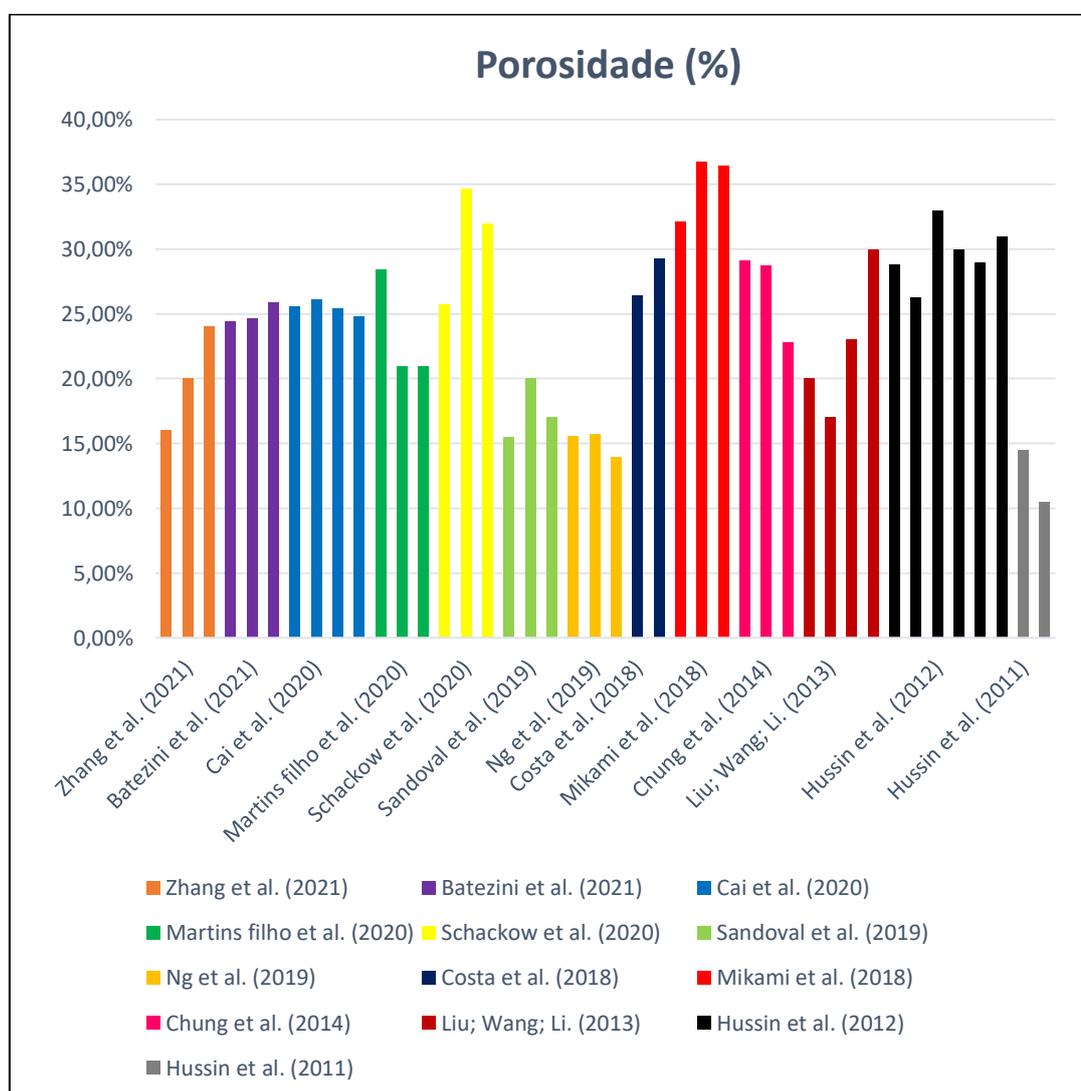
granulométrica das misturas com variação do diâmetro dos agregados parece não ter efeito significativo nos resultados de permeabilidade do concreto permeável.

É subtendido por quase todas as pessoas que estudam o tema que adição de areia diminui a permeabilidade do concreto permeável. Este fato é corroborado por Hussin *et al.* (2012) que afirma que adição de areia diminui a permeabilidade do material, mas no trabalho de Pils *et al.* (2019), a amostra “B” com proporção de 0,5 de areia no traço teve maior permeabilidade do que a amostra “A” que não continha areia, concluindo que a adição de areia até 35% é benéfica para as propriedades mecânicas sem afetar significativamente a permeabilidade do concreto.

4.2.5. Porosidade

Na Figura 9, observamos alguns valores de porosidade encontrada pelos autores.

Figura 9 - Valores encontrados de porosidade.



Mikami *et al.* (2018), obteve o maior percentual de porosidade dentre todos os autores analisados. A explicação do autor para este resultado é que o tipo do agregado possui maior influência na formação dos poros do que a dimensão dos grãos. Nesse estudo de Mikami *et al.* (2018), em suas amostras foram utilizados agregados naturais, resíduos de cerâmica e resíduo de concreto. A mistura que obteve 36,72% de porosidade foram utilizados 10% de resíduo de cerâmica e 90% de resíduos de concreto, as outras misturas obtiveram valores menores ao mudar o tipo de agregado, ou seja, os autores mantiveram as mesmas dimensões dos agregados em suas amostras variando apenas o tipo do agregado, e seus resultados apontaram diferentes porcentagens de porosidade.

Ainda falando de agregados, temos os trabalhos de Hussin *et al.* (2012) e Hussin *et al.* (2011), mas dessa vez abordando agregados miúdos e que o acréscimo de areia na amostra diminui a quantidade de poros do concreto.

Outro fator relacionado com a porosidade é a quantidade de pasta de cimento existente na amostra, relação observada por Li *et al.* (2021) e Li; Yang; li. (2011). É afirmado que o aumento do volume da pasta de cimento diminui a quantidade de poros. Li *et al.* (2021) relata que aumentar a relação água/cimento diminui a porosidade, porque deixa a pasta de cimento mais fluida e, conseqüentemente, preenche mais os vazios entre os agregados.

Li; Yang; li. (2011) afirma que o consumo de cimento maior que 400 Kg/m³ é inapropriado para esse tipo de concreto, pois, dessa forma, há um aumento do volume da pasta de cimento e por tanto, envolverá todo o agregado existente bloqueando os poros. Esse alto consumo de cimento foi visto no item de permeabilidade quando Tavares e Kazmierczak. (2016) utilizaram o consumo de cimento no valor de 539 kg/m³ deixando o concreto com, praticamente, 0% de porosidade, que resultou uma permeabilidade de 0 cm/s e dessa maneira não classificando a amostra como concreto permeável.

Martin; Kaye; Putman. (2014), ressalta a importância de analisar a quantidade de poros efetivos, ou seja, a quantidade de poros interligados no concreto permeável, afirmando que a distribuição vertical da porosidade tem relação direta com a permeabilidade, haja visto que com os poros fechados não há fluxo de água.

Na tentativa de uma melhor análise sobre os efeitos diretos da porosidade sobre a permeabilidade e resistência a compressão aos 28 dias, foram confeccionados as Figuras 10 e 11 com o intuito de analisar se o aumento da porosidade aumentaria a permeabilidade e diminuiria a resistência a compressão.

Figura 10 - Relação da porosidade com a permeabilidade.

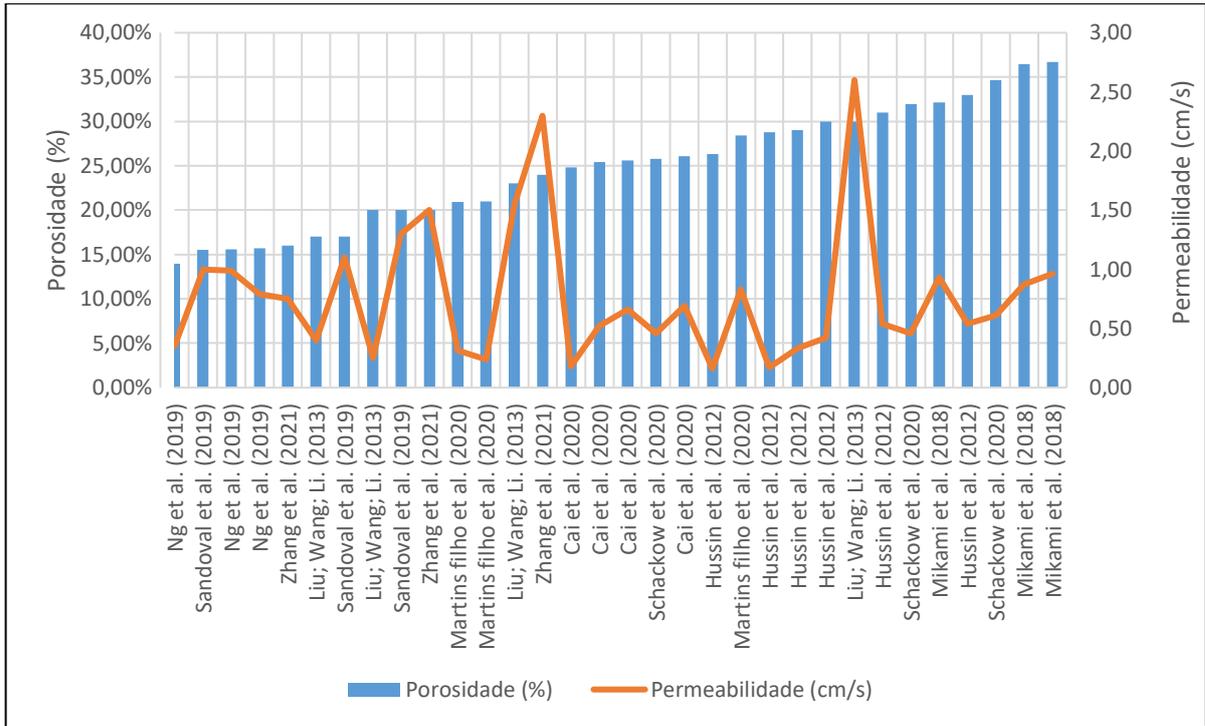
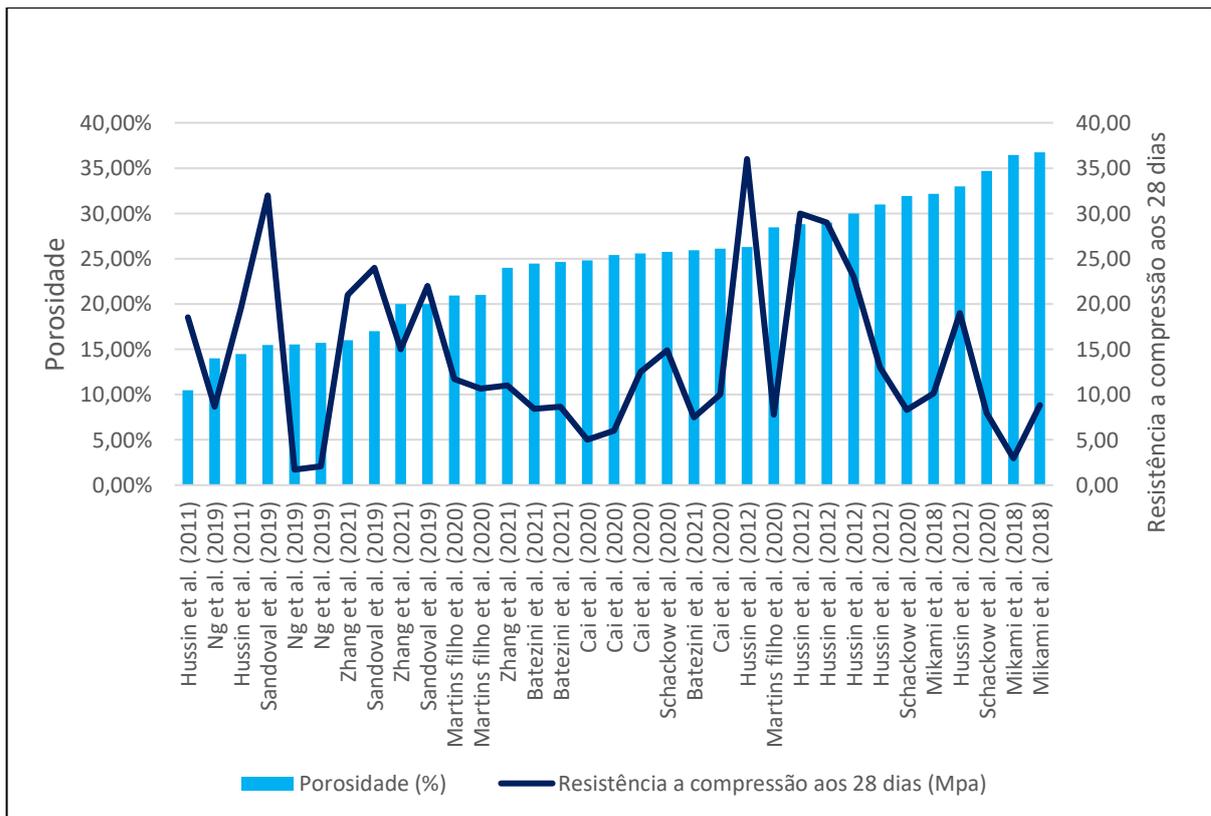


Figura 11 - Relação da porosidade com a resistência a compressão.



Observa-se na Figura 10 que a relação entre porosidade e permeabilidade não é exatamente uma relação direta, assim como a Figura 11 indica que porosidade x resistência a compressão não é exatamente uma relação inversa. Existem muitos fatores que interferem nas propriedades do concreto permeável como foi citado ao decorrer desse trabalho. É preciso analisar os agregados, consumo de cimento, para um melhor entendimento desse tipo de concreto.

4.3. Vantagens e desvantagens

Alguns autores citam as vantagens e desvantagens na utilização do concreto permeável, mas é escassa a análise desses fatos. Com isso, destaca-se algumas vantagens e desvantagens observadas pelos autores analisados (Tabela 6)

Tabela 6 - Vantagens e desvantagens observadas pelos autores.

Referência	Vantagens	Desvantagens
Batezini <i>et al.</i> (2021)	-----	<ul style="list-style-type: none"> A permeabilidade diminui com o tempo se não houver manutenções periódicas.
Zhao <i>et al.</i> (2020)	-----	<ul style="list-style-type: none"> Os poros ficam entupidos com o tempo, sendo necessário manutenções.
Schackow <i>et al.</i> (2020)	<ul style="list-style-type: none"> Reduz inundações em áreas urbanas extensivamente pavimentadas; Contribui para recarga das águas subterrâneas. 	<ul style="list-style-type: none"> Alto consumo de cimento comparado ao concreto convencional, o que deixa essa tecnologia mais cara.
Xie; Akin; Shi. (2019)	<ul style="list-style-type: none"> Escoamento de águas pluviais; Mitigação do efeito da ilha de calor; Redução do ruído do tráfego; Melhora a resistência a derrapagem. 	-----

<p>Hussin <i>et al.</i> (2011)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Benefícios ambientais, sociais e econômicos; • Reduz a poluição causada pelo escoamento de águas pluviais; • Aumenta a proporção de águas subterrâneas e reduz inundações e pico de fluxo de água; • Reduz a poluição sonora devido a boa absorção sonora; • Melhora a segurança ao dirigir, especialmente à noite em tempestades, eliminando reflexos, borrifos e riscos de aquaplanagem; • Em climas frios, a neve é rapidamente removida do concreto permeável, pois os vazios permitem um degelo mais rápido. 	<p>-----</p>
--	--	--------------

Com base na Tabela 6, a principal desvantagem na utilização do concreto permeável é o entupimento dos poros ao decorrer do tempo se não houver manutenções periódicas, o que diminuirá a permeabilidade do concreto, conseqüentemente diminuirá a eficiência do escoamento da água proposta no projeto da execução dessa tecnologia. Pelo estudo de Zhao et al. (2020), existem várias formas de fazer essas manutenções como: varredura manual, aspiração, lavagem de pressão e aspiração seguida de lavagem de pressão.

Em relação as vantagens, o principal benefício que a utilização do concreto permeável traz é a possibilidade da redução de inundações causadas pelo escoamento superficial das águas pluviais, mostradas no trabalho de Schackow *et al.* (2020), Xie; Akin; Shi. (2019) e Hussin *et al.* (2011). Uma vantagem interessante analisada por Hussin *et al.* (2011) é a melhora na segurança ao dirigir, especialmente à noite em tempestades, eliminando reflexos, borrifos e riscos de aquaplanagem, pois o concreto permeável elimina o empossamento de água no pavimento.

5. CONCLUSÕES

De acordo com as análises realizadas, acima apresentadas, é possível concluir que o valor da permeabilidade e resistência a compressão nesse tipo de concreto não depende apenas da porcentagem de poros existente, mas sim de vários fatores como: quantidades de poros interligados, tamanho dos grãos utilizados, presença de agregado miúdo na dosagem, proporção do consumo de cimento, etc.; ou seja é necessária uma análise dos materiais utilizados na fabricação do concreto permeável para que se tenha uma melhor noção de como será a disposição e quantidades de poros existentes e qual a implicação do mesmo sobre as propriedades do concreto permeável.

É notório, também, a resistência à compressão aos vinte e oito dias está, fortemente, ligada aos agregados utilizados (tamanho e origem mineralógica dos grãos), principalmente, se existe a presença de agregado miúdo na amostra, pois o aumento na proporção de areia na dosagem aumenta a resistência a compressão do concreto permeável;

Além disso, a porosidade é um parâmetro que tem ligação direta com as outras propriedades. Como exemplo, temos que quanto maior a porcentagem de poros interligados, maior será o índice de permeabilidade do concreto permeável;

É possível concluir, também, que quanto maior o consumo de cimento, maior será o valor da resistência a compressão e menor será o índice de permeabilidade;

E, por fim, conclui-se que o principal desafio da utilização do concreto permeável é conseguir aumentar a resistência desse material, sem diminuir de forma significativa a característica da permeabilidade.

Diante do exposto, percebe-se que para aplicação do concreto permeável é preciso analisar bem as vantagens e desvantagens dessa tecnologia, pois é um concreto que traz inúmeras vantagens para as áreas que recebem esse concreto, mas também existe algumas desvantagens como a necessidade de manutenções periódicas para evitar o entupimento dos poros.

REFERÊNCIAS

ACI COMMITTEE 522. **522R-10 Report on Pervious**. 2010.

ACIOLI, L. A. **ESTUDO EXPERIMENTAL DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS PARA O CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA FONTE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ARAÚJO, P.R. TUCCI, C. E. M. GOLFENFUM. J. A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial**. Porto Alegre, RS. Set 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 16416: Cimento Portland - Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7211 - Agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2009

AZAÑEDO, W.H.M., HELARD, C.H., MUÑOZ, R.G.V., **Diseño de mezcla de concreto poroso con agregados de la cantera La Victoria, cemento pórtland tipo i com adición de tiras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos, en la Ciudad de Cajamarca**, Universidade Nacional de Cajamarca, Cajamarca, 2007

BARRETO, ANA GABRIELA DE OLIVEIRA. **Análise do método da determinação do coeficiente de permeabilidade em concretos permeáveis aditivados através das normas NBR 16416 e NBR 13292**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Brasília. 2018.

BARRETO, ANA GABRIELA DE OLIVEIRA. **Avaliação da utilização de diferentes aditivos no concreto permeável para permitir mistura e transporte em caminhão betoneira**. Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Brasília. 2019.

BATEZINI, R. *et al.* Experimental appraisal for characterizing laboratorial and field performance parameters of pervious concrete pavement TT - Avaliação experimental para caracterização de parâmetros de desempenho de pavimentos de concreto permeáveis em laboratório e campo. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 2, p. 177–194, 2021.

BATEZINI, R.; BALBO, J. T. Study on the hydraulic conductivity by constant and falling head methods for pervious concrete TT - Estudo da condutividade hidráulica com carga constante e variável em concretos permeáveis. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 8, n. 3, p. 248–259, 2015.

BATEZINI, Rafael. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BELTRÃO, F, C, M. ZENAIDE, J, C. **A influência do metacaulim nas propriedades do concreto**. Monografia (graduação em Engenharia Civil). Universidade da Amazônia, Belém, 2010.

CAI, X. *et al.* Application of recycled concrete aggregates and crushed bricks on permeable concrete road base. **ROAD MATERIALS AND PAVEMENT DESIGN**, 2020.

CHUNG, S.-Y. *et al.* Investigation of the permeability of porous concrete reconstructed using probabilistic description methods. **Construction and Building Materials**, v. 66, p. 760–770, 2014.

CODATO, A. Utilizando citações para além do fator de impacto. **SciELO 20 Years Repository**, p. 1-19, 21 set. 2018.

COELHO, G. M. **Estudo do efeito de adições minerais em concreto**. Monografia (graduação em Engenharia Civil). Universidade federal de santa catarina, joinville, 2016.

COSTA, F. B. P. *et al.* Best practices for pervious concrete mix design and laboratory tests TT - Boas práticas para dosagem e testes laboratoriais em concreto permeável. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 11, n. 5, p. 1151–1159, 2018.

FINOCCHIARO, P. S. GIRARDI, R. Concreto permeável produzido com agregado reciclado, **Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana**. Macaé (2017) pp. 19-26

FONSECA, G. C. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: Uma abordagem epistêmica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

HOLTZ, Fabiano. **Uso do concreto permeável na drenagem urbana: análise e viabilidade técnica e do impacto ambiental**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

HUSSIN, M. *et al.* **Investigation of some fundamental properties of permeable concrete** 2012 **International Conference on Emerging Materials and Mechanics Applications, ICEMMA 2012** Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland, Toowoomba, QLD 4350, Australia, Austrália, 2012. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84859010888&doi=10.4028%2Fwww.scientific.net%2FAMR.487.869&partnerID=40&md5=de6a6a9815f44b1dea3509d25aaf7137>>

HUSSIN, M. *et al.* **Laboratory evaluation of the stress-strain relationship of permeable concrete** 1st **International Conference on Civil Engineering, Architecture and Building Materials, CEABM 2011** Faculty of Engineering and Surveying, University of South Queensland, West Street, Toowoomba, QLD 4350, Australia, Austrália, 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios**, 2015. Disponível Em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-Brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html>> Em: 12/10/20

KIM, H.K., LEE, H.K. **Influence of cement flow and aggregate type on the mechanical and acoustic characteristics of porous concrete**. Elsevier Journal. Applied Acoustics, 2010.

KIM, Y. J.; GADDAFI, A.; YOSHITAKE, I. Permeable concrete mixed with various admixtures. **Materials & Design**, v. 100, p. 110–119, 2016.

LI, L. G. *et al.* Pervious concrete: Effects of porosity on permeability and strength. **Magazine of Concrete Research**, v. 73, n. 2, p. 69–79, 2021.

LI, Y.; YANG, J.-R.; LI, J. Y. **Study on recycled aggregate water-permeable concrete**. 2011 International Conference on Electric Technology and Civil Engineering, ICETCE 2011. **Anais...**Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Ministry of Education, Beijing 100044, China: 2011Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79959665884&doi=10.1109%2FICETCE.2011.5776447&partnerID=40&md5=43bbb37b3ba069af142665cdacc59424>>

LI, Z. C. *et al.* **Effect of co-doped steelmaking slag and fly ash on performance of permeable concrete****Advanced Materials Research**Department of Architecture, Shijiazhuang Institute of Railway Technology, Shijiazhuang, 050041, China, ChinaTrans Tech Publications Ltd, , 2014. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84903488737&doi=10.4028%2Fwww.scientific.net%2FAMR.941-944.751&partnerID=40&md5=262be8eb6e9b5b751c69c02c5090ea60>>

LIU, X. F.; WANG, T.; LI, J. X. **Experimental research of the permeable concrete with rigid polymeric fibers****3rd International Conference on Textile Engineering and Materials, ICTEM2013**School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan Polytechnic University, China, China, 2013. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84886056615&doi=10.4028%2Fwww.scientific.net%2FAMR.821-822.1204&partnerID=40&md5=99a695e1a4ff36c05c2e8d6c41eb84ad>>

MARTIN, W. D.; KAYE, N. B.; PUTMAN, B. J. Impact of vertical porosity distribution on the permeability of pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 59, p. 78–84, maio 2014.

MARTINS FILHO, S. T. *et al.* Characterization of pervious concrete focusing on non-destructive testing TT - Caracterização do concreto permeável com foco em ensaios não destrutivos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 13, n. 3, p. 483–500, 2020.

MIKAMI, R. J. *et al.* Influência do teor de cerâmica vermelha do agregado reciclado nas propriedades do concreto permeável TT - Influence of red-clay ceramic content of recycled aggregate on the properties of pervious concrete. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, n. 3, 2018.

MODI, P. *et al.* **Simulation of permeable concrete to assess interrelationship between strength and permeability**. (Meschke, G and Pichler, B and Rots, JG, Ed.)COMPUTATIONAL MODELLING OF CONCRETE STRUCTURES. EURO-C 2018. **Anais...**PO BOX 11320, LEIDEN, 2301 EH, NETHERLANDS: CRC PRESS-BALKEMA,2018.

MOHAMMED, B. S.; NURUDDIN, M. F.; DAYALAN, Y. **High permeable concrete incorporating pozzolanic materials-An experimental investigation**. 2013 IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium, BEIAC 2013. **Anais...** Department of Civil Engineering, Universiti Teknologi Petronas, Bandar Sri Iskandar, 31750 Perak, Malaysia: 2013 Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84883116656&doi=10.1109%2FBEIAC.2013.6560212&partnerID=40&md5=82b50a733c08dda239bbd19e284e7bb9>>

MONTEBELO, R. *et al.* **SRAT (Systematic Review Automatic Tool) – Uma Ferramenta Computacional de Apoio à Revisão Sistemática**. São Carlos, SP: UFSCar, 2007.

MONTEIRO, A. C. N. **Concreto poroso: dosagem e desempenho**. Artigo Acadêmico (graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás, Goiânia 2010.

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

NADIATUL ADILAH, A. A. G. *et al.* **The Influence of Steel Slag as Alternative Aggregate in Permeable Concrete Pavement**. 3rd National Conference on Wind and Earthquake Engineering, NCWE 2019 and International Seminar on Sustainable Construction Engineering, ISCCE 2019. **Anais...** Institute of Physics Publishing, 2020 Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85079054084&doi=10.1088%2F1757-899X%2F712%2F1%2F012011&partnerID=40&md5=fd0c8a3f5601eedb8dd801bb2ee23872>>

NG, C. Y. *et al.* Properties of modified high permeable concrete with a crumb rubber. **Open Civil Engineering Journal**, v. 13, n. 1, p. 82–91, 2019.

OSPINA, C. M. M, ERAZO, C. H. B. **Resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto poroso en los pavimentos según El tipo de granulometría**. Medellín, 2007.

PILS, S. E. *et al.* Pervious concrete: study of dosage and polypropylene fibers addiction TT - Concretos drenantes: estudo de dosagem e adição de fibras de polipropileno. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 12, n. 1, p. 101–121, 2019.

RAMOS, G. M. **Análise das propriedades do concreto permeável com adição de agregado miúdo e resíduo (cinza de madeira)**. Monografia (graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

SALES, T. L. **Pavimento permeável com superfície em blocos de concreto de alta porosidade**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

SAMPAIO, RF; MANCINI, MC. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Rev. bras. fisioter.**, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 83-89, Feb. 2007. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-35552007000100013&lng=en&nrm=iso>. access on 01 May 2021.

SANDOVAL, G. F. B. *et al.* Pervious concrete made with electric furnace slag (FEA): mechanical and hydraulic properties TT - Concreto permeável de escória de forno elétrico (FEA): propriedades mecânicas e hidráulicas. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 12, n. 3, p. 590–607, 2019.

SCHACKOW, A. *et al.* Permeable concrete plates with wastes from the paper industry: Reduction of surface flow and possible applications. **CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS**, v. 250, jul. 2020.

TAVARES, L. M.; KAZMIERCZAK, C. S. The influence of recycled concrete aggregates in pervious concrete TT - Estudo da influência dos agregados de concreto reciclado em concretos permeáveis. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 9, n. 1, p. 75–89, 2016.

TUCCI, C.E.M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.2, n.2, p. 6, jul./dez. 1997.

XIE, N.; AKIN, M.; SHI, X. Permeable concrete pavements: A review of environmental benefits and durability. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION**, v. 210, p. 1605–1621, 2019.

YAMAKAWA, Eduardo Kazumi *et al.* **Comparativo dos softwares de gerenciamento de referências bibliográficas: Mendeley, EndNote e Zotero**. Transinformação, Campinas, v. 26, n. 2, p. 167-176, ago. 2014. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-37862014000200167&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 04 dez. 2020.

ZHANG, Y. *et al.* Effects of specimen shape and size on the permeability and mechanical properties of porous concrete. **Construction and Building Materials**, v. 266, p. 121074, 2021.

ZHAO, J. *et al.* Novel Backwashing Maintenance Method for Permeable Concrete Pavement: Two-Year Field Study. **JOURNAL OF IRRIGATION AND DRAINAGE ENGINEERING**, v. 146, n. 4, 2020.