



FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL

LEONARDO GAZOLLA LACERDA

CONCRETO PERMEÁVEL COMPOSTO POR RCD

UBÁ/MG
2022

LEONARDO GAZOLLA LACERDA

CONCRETO PERMEÁVEL COMPOSTO POR RCD

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dra. Suymara Toledo Miranda.

UBÁ/MG
2022

RESUMO

O crescimento populacional e urbano exacerbado traz como consequência problemas hídricos encontrados pela falta de permeabilidade dos pavimentos de concreto asfálticos, ocasionando inundações decorrentes das águas pluviais. Em busca de alternativas sustentáveis, tem-se utilizado o concreto permeável e para dar destinos aos montantes de resíduos depositados no meio ambiente, é estudado a substituição dos agregados naturais presentes no concreto pelo uso de RCD (Resíduos de construção e demolição). Diante deste cenário, este estudo tem como objetivo, a partir de uma revisão bibliográfica, abordar o uso do concreto permeável composto por RCD, apresentando suas características, vantagens e utilizações. Analisado as características de resistência mecânica a compressão simples, na qual foi comprovado a utilização parcial do RCD para confecção de concreto permeáveis, obtendo resultados satisfatórios que atendem as normas prescritivas exigidas para pavimentos de tráfego leve. Observou-se que a implantação do uso de pavimentos com resíduos recicláveis reduz os montantes de entulhos gerados por construções, e aumenta a percolação das águas pluviais nos grandes centros urbanos. Conclui-se que o uso do RCD na produção de tal concreto traz consigo benefícios socioambientais, reduzindo montantes de entulhos, extração de agregados naturais e o consumo de cimento, o qual é um dos principais responsáveis na emissão de gases poluentes (CO₂).

Palavras-chave: Agregados. Resíduos sólidos. Reciclável. Sustentável.

ABSTRACT

The exacerbated population and urban growth brings as a consequence water problems encountered by the lack of permeability of asphalt concrete floors, causing floods resulting from rainwater. In search of sustainable alternatives, permeable concrete has been used and to give destinations to the amounts of waste deposited in the environment, it is studied the substitution of natural aggregates present in concrete by the use of RCD (Construction and demolition waste). In view of this scenario, this study aims, from a bibliographic review, to address the use of permeable concrete composed of RCD, presenting its characteristics, advantages and uses. Analyzed the characteristics of mechanical resistance to simple compression, in which it was proven the partial use of RCD for the manufacture of permeable concrete, obtaining satisfactory results that meet the prescriptive standards required for light traffic floors. It was observed that the implementation of the use of floors with recyclable waste reduces the amounts of debris generated by buildings, and increases the pergrowth of rainwater in large urban centers. It is concluded that the use of RCD in the production of such concrete brings with it socio-environmental benefits, reducing amounts of debris, extraction of natural aggregates and the consumption of cement, which is one of the main responsible for the emission of polluting gases (CO₂).

Keywords: *Aggregates. Solid waste. Recyclable. Sustainable.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Geração de RCD.....	11
Figura 2 – Percentual de RCD por Classe.....	12
Figura 3 – Percentual dos Compostos de RCD.....	13
Figura 4 – Processamento do RCD.....	14
Figura 5 – Permeabilidade em Relação à Granulometria.....	16
Figura 6 – Resistência (dividido por 10) com Relação ao Índice de Vazios.....	17

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Resistência Mecânica - Espessura Mínima do Revestimento Permeável.....	17
Tabela 2 – Composição Granulométrica do Agregado Reciclado.....	19
Tabela 3 - Traço das Amostras de Lima.....	19
Tabela 4 - Resistência à Compressão – Resultados de Lima.....	20
Tabela 5 - Traço das Amostras de Santos.....	20
Tabela 6 - Resistência à Compressão – Resultados de Santos.....	21
Tabela 7 - Traço das Amostras de Fernandes.....	22
Tabela 8 - Resistência à Compressão – Resultados de Fernandes	23
Tabela 9 - Custo Unitário para Produção do Concreto Permeável	25
Tabela 10 - Consumo Unitário por Formulação dos Concretos.....	25
Tabela 11 - Custo de Formulação dos Concretos	26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	08
2	DESENVOLVIMENTO	09
2.1	Concreto e seus agregados	09
2.2	Concreto sustentável	10
2.3	Resíduos da construção civil	11
2.3.1	<i>Processamento dos resíduos sólidos.....</i>	<i>14</i>
2.4	Concreto permeável	15
2.5	Concreto permeável composto por RCD.....	18
2.5.1	<i>Resistência mecânica do concreto permeável RCD.....</i>	<i>18</i>
2.5.2	<i>Aplicações do concreto permeável RCD</i>	<i>24</i>
2.5.3	<i>Viabilidade do concreto permeável RCD</i>	<i>24</i>
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil, o uso do concreto é um fator histórico na evolução, sendo também um dos principais geradores de resíduos sólidos. Ademais as mudanças arquitetônicas e o tempo de vida útil das construções são limitados, o que ocasiona o aumento do índice de resíduos de construção e demolições (RCD) (ANGULO, 2000). Segundo Medeiros *et al.* (2021), empresas responsáveis pelo descarte desses resíduos não cumprem de forma ambientalmente correta o destino de despejo, aumentando a quantia de resíduos no meio ambiente.

De acordo com Ponte, Ximenes e Fernandes (2021), em busca de alternativas sustentáveis, e dar destinos aos montantes de resíduos depositados no meio ambiente, é estudada a substituição dos agregados naturais presentes no concreto pelo uso de RCD, como também a sua utilização no concreto permeável, para o aumento do índice de vazios. A reutilização destes resíduos sólidos recicláveis torna-se um dos principais fatores para a redução de montantes de entulhos gerados por obras, dando destino a materiais descartados no meio ambiente.

Também classificado como concreto poroso, o concreto permeável composto por RCD tem como finalidade o aumento da permeabilidade de pavimentações em vias submetidas a pequenas cargas, fornecendo o alto escoamento e controle de águas pluviais nos grandes centros urbanos. Fator este, que reduz a grande quantia de vias alagadas, devido a impermeabilidade dos pavimentos de concreto.

A ideia de se produzir o concreto permeável através do uso de RCD, deve-se pela alta relação granulométrica apresentado pelo agregado, aumentando seu índice de vazios tornando-o mais poroso, assim permitindo maior percolação das águas pluviais. Dessa forma, este estudo teve como objetivo, a partir de uma revisão bibliográfica, abordar o uso do concreto permeável composto por RCD, apontando suas características, vantagens e utilizações.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Concreto e seus agregados

O uso de aço e agregado na composição do concreto se torna indispensável nos dias atuais segundo as normas vigentes dos órgãos reguladores, mas nem sempre foi assim. Em busca de uma construção durável e unificada, os romanos em meados de 600 a.C. tiveram um grande avanço em suas engenharias construtivas, substituindo os métodos de cal com aglomerante, ao *Opus Caementicium*, conhecido como cimento romano, obtido a partir da calcinação a 1000°C de rochas naturais, cujo material misturado à cal se torna muito parecido com o Cimento *Portland* (CARVALHO, 2008).

Apenas em 1824, o cimento *Portland* foi patenteado por Joseph Aspdin, em 1855 o agricultor francês Joseph-Louis Lambot construiu um barco em concreto armado. Com o sucesso do material elaborado por Joseph-Louis Lambot, Monier teve a percepção das propriedades físicas e químicas, sendo resistente a esforços solicitantes de tração e principalmente compressão (CARVALHO, 2008).

Segundo Nogueira (2013), em 1898 um artigo publicado pela Revista de Obras Públicas, entre os anos de 1850 e 1898 foram feitas diversas pesquisas científicas sobre o material concreto armado, sendo realizados testes comprovando a eficácia e resistência do material a esforços externos, tornando as estruturas mais esbeltas, leves e bem compreendidas tecnicamente.

Sendo o segundo produto mais consumido no mundo, o concreto é um dos principais responsáveis na emissão de gases e poluentes a atmosfera. De acordo com Bonato *et. al.* (2014), estima-se em média uma emissão 800 kg de CO₂ a cada tonelada de cimento produzida. Sua composição requer a extração de matérias granulares como brita, areia, a fabricação de cimento Portland e consumo de água. Conforme a norma NBR 12655 (ABNT, 2022) - "Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação-Procedimento", o concreto pode conter várias características e componentes em sua produção, variando de acordo com a resistência exigida em projeto (NBR 16416/ 2015).

Obtida através de materiais rochosos, a produção de brita ocorre pela transformação física da rocha por fragmentação, em interesses construtivos. Mas para esse processo faz-se a explosão de blocos maiores de rocha, gerando partículas suspensas no ar após detonação, podendo ocasionar doenças pulmonares devido à sua inalação, segundo Rodrigues *et. al.* (2005).

A fim de mitigar os impactos ambientais e doenças pulmonares, Rodrigues, Mantovani, Duarte e Lopes (2005) apontam para importância de se procurar novos meios e ferramentas ao produzir o concreto, visando a redução da emissão de gases poluentes e a reutilização dos milhares de resíduos gerados diariamente na natureza.

2.2 Concreto sustentável

Diante de um contexto marcado por crises hídricas, emissão de gases e geração de resíduos, o concreto sustentável é uma alternativa a fim de minimizar esses impactos ambientais. Produzido através de materiais descartados no meio ambiente, sua fabricação visa dar destino a poluentes inutilizáveis, reduzindo a quantidade de resíduos sólidos e podendo até mesmo diminuir o consumo de cimento (FERREIRA *et al.* 2015).

Em busca de se tornar usual e trazer confiança ao consumidor, encontram-se diferentes tipos de concreto sustentável no mercado, que garantem durabilidade e funcionabilidade da estrutura. Dentre estes, o concreto reciclável é uma ótima alternativa para tornar menos intenso os montantes dos resíduos provenientes de construção e demolição (RCD), conforme aponta Ponte, Ximenes, Fernandes (2021).

Pesquisas mostram que o número de produção do concreto com resíduos recicláveis ainda é relativamente baixo, porém empresas criam uma grande expectativa sobre projetos sustentáveis, nos quais buscam testes conclusivos sobre a eficiência do produto. Ribas e Okonski (2020), diante de estudos e testes realizados evidenciaram que o uso de resíduos sólidos recicláveis além de trazer benefícios ao meio ambiente, reduzindo o número de materiais depositados em aterros, reduz também o uso de recursos naturais limitados. Seu trabalho recente, demonstrou através de testes como dosagem, desempenho, granulometria de agregados recicláveis, massa específica e resistência, de concretos recicláveis produzidos com escória, casca de cerâmica, cerâmica vermelha e o próprio resíduo de concreto, que é possível a incorporação de diversos resíduos sólidos ao concreto convencional, precavendo a NBR 10004 (ABNT, 2005).

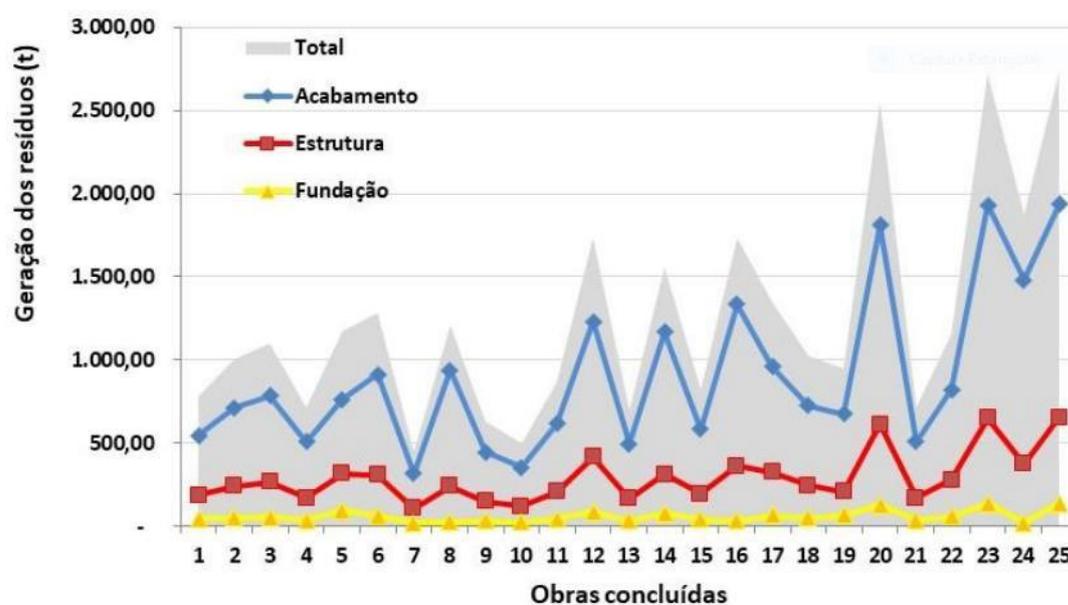
Outro recurso que está sendo estudado e considerado viável para ser utilizado em fins hídricos, é o concreto permeável, que por sua vez, reduz os impactos ambientais causados por águas pluviais em grandes centros urbanos, fornecendo o gerenciamento da drenagem urbana. Para Furtado *et al.* (2021), devido à grande quantidade de vias pavimentadas, o sistema de drenagem das águas pluviais torna-se insuficiente pela impermeabilidade do solo, ocasionando alterações no volume de escoamento superficial e qualidade do ciclo hidrológico.

2.3 Resíduos da construção civil

De acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA n° 307/2002 muitos resíduos de construção e demolição (RCD) são resultantes das etapas de um processo construtivo, dentre eles: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, comumente chamados de entulhos de obras, calça ou metralha. Esses resíduos sólidos gerados, muitas vezes, têm sua destinação final ambientalmente inadequada, sendo responsável por 80% do lixo produzido nos centros urbanos (HIDELFONSO, AZEVEDO, 2018; MIRANDA, ANGULO, CARELI, 2009).

O gráfico de linhas elaborado por Vieira, Pereira e Lopez (2018), faz referência à quantia de resíduos gerados por etapas construtivas e demolições, por obras concluídas (FIG. 1):

Figura 1: Geração de RCD



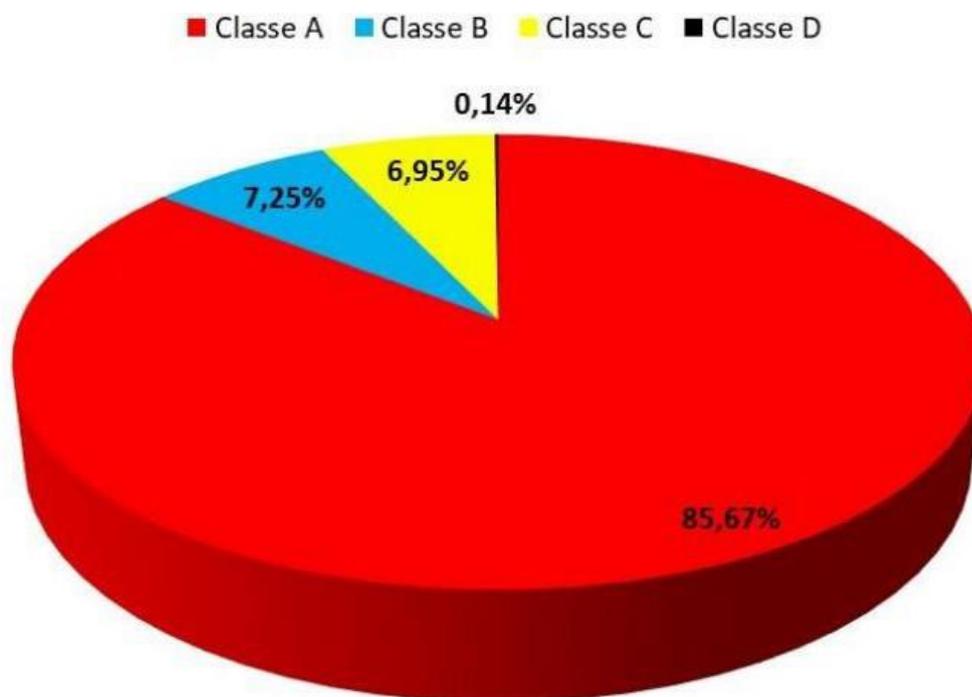
Fonte: VIEIRA, PEREIRA, LOPES (2018)

De acordo com o CONAMA n° 307:2002, os resíduos da construção civil são classificados em:

- I - Classe A - resíduos reutilizados ou reciclados como agregados; construção, demolição, reforma e reparos, componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimentos), argamassa, concreto e peças pré-moldadas (blocos, tubos, meios-fios);
- II - Classe B - resíduos destinados para outros meios de reciclagem; plásticos, papel, papelão, metais, vidros e madeira;
- III - Classe C - resíduos para quais ainda não possuem tecnologia, meios viáveis ou econômico de reciclagem ou recuperação;
- IV - Classe D - resíduos perigosos oriundos de construção; tintas, solventes, óleos e outro contaminantes prejudiciais à saúde, provenientes de demolições, reformas e reparos de ambientes radiológicos e químicos.

Na FIG. 2 foi apresentada a porcentagem do material RCD produzido no país, de acordo com suas classes. A maior parte dos resíduos gerados no país, fazem parte da Classe A (85,67%), classificação que, segundo dados do CONAMA nº 307:2002, destina -se à reutilização de seus componentes para substituição de agregados (VIEIRA, PEREIRA, LOPES, 2018).

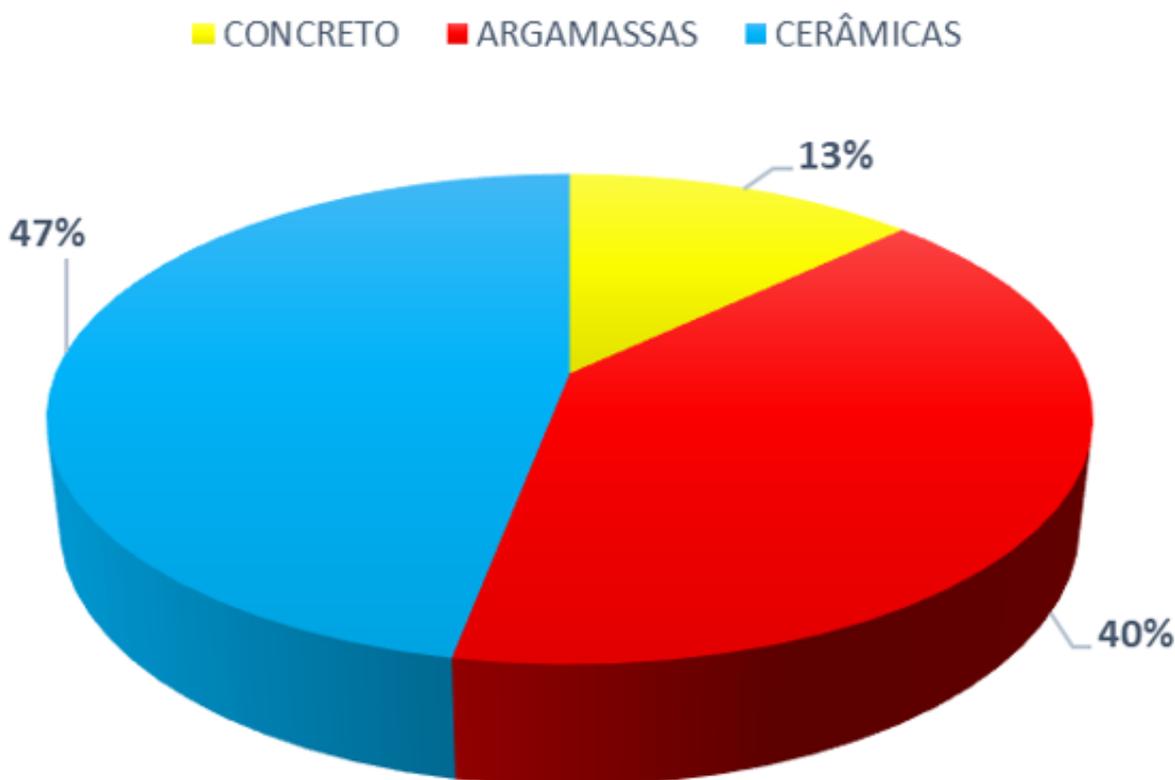
Figura 2 – Percentual de RCD por classe



Fonte: VIEIRA, PEREIRA, LOPES (2018)

Os dados apresentados na FIG. 3, confirmam que a maior quantia de RCD produzido é de material reutilizável Classe A, provenientes de cimento portland, cerâmicas, argamassa entre outros materiais, no qual devido à sua alta demanda na construção civil gera uma grande porcentagem de resíduos depositados ao meio ambiente (LIMA, ALVES e LIMA, 2020):

Figura 3: Percentual dos compostos de RCD



Fonte: LIMA, ALVES e LIMA (2020).

Resultante do reaproveitamento de RCD, o concreto reciclável tende a aproveitar sua produção para dar destino aos resíduos sólidos, os quais não possuem mais benefícios significativos às empresas. O concreto reciclável, promove melhoria na redução de gases e poluentes presentes na atmosfera e principalmente à inutilização de pedreiras para extração de agregados graúdos (MOLINA *et al.*, 2015).

O emprego de material reciclável para produção de concreto ocorreu na década de 40, no período pós-guerra, devido à grande quantidade de escombros, resíduos plásticos e borracha, resultantes dos bombardeios. Dessa forma, muitos países tomaram como iniciativa a reutilização desses RCD para a reconstrução de suas cidades (GONZÁLEZ *ET AL.* (2009, *apud* MOLINA, 2015, p.235).

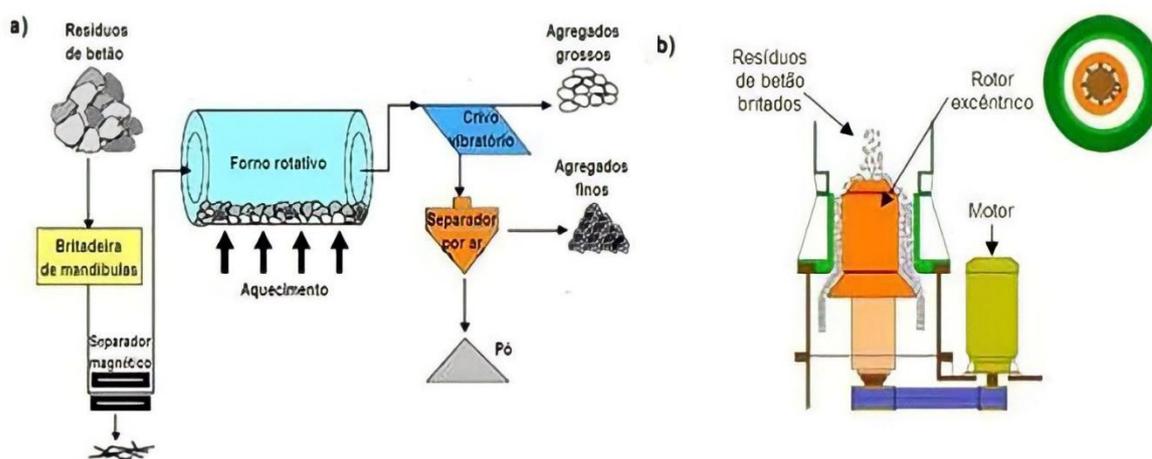
A substituição dos agregados graúdos, como a brita por materiais reciclados de Classe A, empregam o medo sobre a resistência final. Conforme Molina *et al.* (2015), o tipo de material reciclável Classe A utilizado na composição do concreto fará com que haja diferentes destinações e uso, uma vez que o desempenho mecânico e durabilidade variam de acordo com o agregado reciclável empregado no traço do concreto.

2.3.1 Processamento dos resíduos sólidos

O processo de reciclagem é uma oportunidade de reutilizar resíduos de construção e demolição (RCD) sem custo significativo, adjacente à ideia de reduzir os montantes de entulhos produzidos e descartados no meio ambiente, de forma impropria, contribuindo economicamente e minimizando o uso de recursos naturais limitados.

Para Miranda, Angulo e Careli (2009), empresas responsáveis pelo processamento de resíduos sólidos são constituídas por equipamentos como, pá carregadeira ou retroescavadeira, alimentador vibratório, transportadores de correia, britador de mandíbula ou impacto, separador magnético permanente ou eletroímã, e peneira vibratória. Martins e Gonçalves (2012), demonstram como é feito o processamento dos RCD (FIG. 4):

Figura 4: Processamento do RCD: a) Termomecânico; b) Mecânico



Fonte: MARTINS, GONÇALVES (2012)

Durante o processo de modificação das propriedades e forma física dos agregados RCD é necessário haver separação dos materiais reciclados, com intenção de não afetar a qualidade e desempenho, conforme descrito por Miranda, Angulo e Careli (2009, p. 66):

- (a) na usina de reciclagem, a matéria-prima a ser consumida, normalmente, contém materiais contaminantes, como papel, plástico, madeira, gesso, amianto e solo. Esses materiais devem ser removidos do RCD, seja pela etapa de triagem manual, seja por processos mecanizados; (b) na usina de reciclagem, os teores de cerâmica, argamassas e concretos porosos variam, afetando sua qualidade e desempenho, já que grande parte dos requisitos mecânicos depende da porosidade, ou seja, procedimentos para redução de variabilidade dos agregados reciclados são importantes; (c) o tipo de equipamento utilizado e a natureza do RCD podem influenciar em propriedades importantes do agregado, como lamelaridade e teor de finos, e na viabilidade econômica da usina. Por isso, um circuito correto de reciclagem deve levar em consideração essas propriedades.

De acordo com a norma NBR 15116:2021 – “Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios”, exigem três tipos de agregados reciclados para produção de concreto (ABNT, 2021):

- I - Agregado de resíduo de concreto (ARCO): Reciclado pertencente à Classe A de resíduos, composto na sua fração graúda de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas;
- II - Agregado de resíduo misto (ARM): Reciclado pertencente à Classe A de resíduos, composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas;
- III - Agregado Reciclado Cimentício (ARCI): Reciclado pertencente à Classe A de resíduos, composto na sua fração graúda com 100% em massa de fragmentos à base de cimento Portland.

Para que não existam riscos de desempenhos a norma NBR 15116 (ABNT, 2021) aconselha que o uso deste concreto com agregados reciclados seja aplicado a locais com esforços de no máximo 20 MPa, exigindo controle da qualidade, caracterização do agregado reciclado, ensaios de aceitação e rejeição. Após precaver tais procedimentos e classificações, o lote de agregados reciclados só deve ser destinado ao tipo de emprego específico, sendo para concretos com função estrutural ou sem função estrutural.

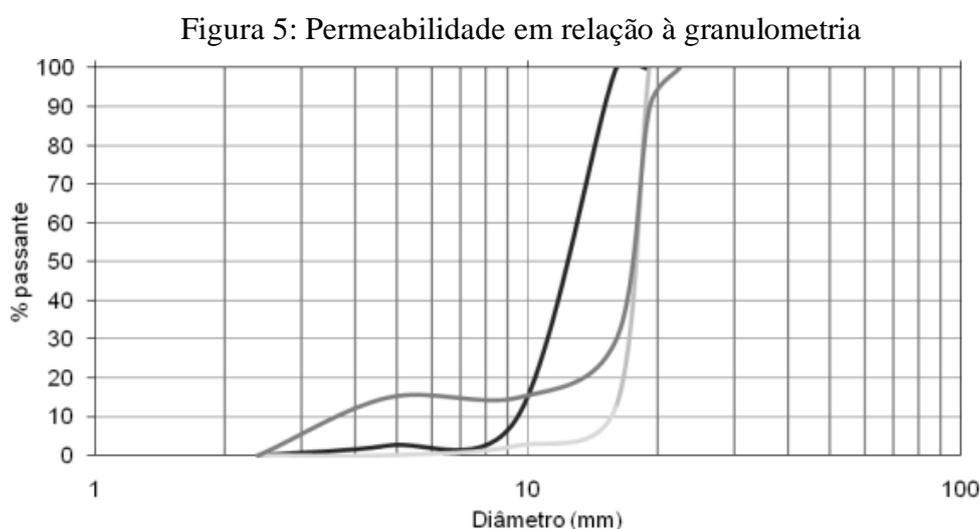
2.4 Concreto permeável

De acordo com Costa (2019), a utilização dos pavimentos permeáveis foi iniciada em 1970 na Flórida (Estados Unidos), sendo reconhecido como Melhor Prática de Gestão – *Best Manager Practice (BMG)* pelo programa de licenças de descargas pluviais *National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES)* dos Estados Unidos. Conhecido como concreto poroso devido ao seu alto índice de vazios presentes na sua forma física, o concreto permeável tem como finalidade o aumento da permeabilidade de pavimentações em vias submetidas a pequenas cargas, fornecendo o alto escoamento e controle de águas pluviais nos grandes centros urbanos.

Seu traço de composição é o que difere o concreto permeável dos concretos convencionais. Para se obter o aumento de índice de vazios, sua produção dispõe-se pela maior relação granulométrica de seus agregados graúdos (brita). Tennis *et al.* (2004, *apud* Batezini, 2013, p. 29) em seu estudo verificou que para o concreto permeável, podem ser utilizados agregados de diferentes dimensões variando de 19mm a 4,8mm, 9,5mm a 2,4mm e 9,5mm a 1,2mm, entretanto, alguns estudos apontam uma maior eficiência de percolação nas produções com agregados entre 9.5 mm e 2.36 mm (COSTA, 2019).

Vieira (2020) em seu estudo verificou que o ideal é que se obtenha um concreto com 15% a 25% do índice de vazios e com uma capacidade de percolação no valor de 200 L/m²/min (ACI 522R-06, 2006). Este mesmo autor cita a inutilidade do agregado miúdo em sua composição, devido à diminuição do número de vazios presente na sua forma final.

O gráfico elaborada por Li (2009, *apud* BATEZINI, 2013, p. 29), representado na FIG. 5 demonstra a quantia de água escoada de acordo com a granulometria do material utilizado, no qual adotou-se 19 mm para o agregado de maior diâmetro na composição do concreto, gerando maior capacidade de percolação da água.



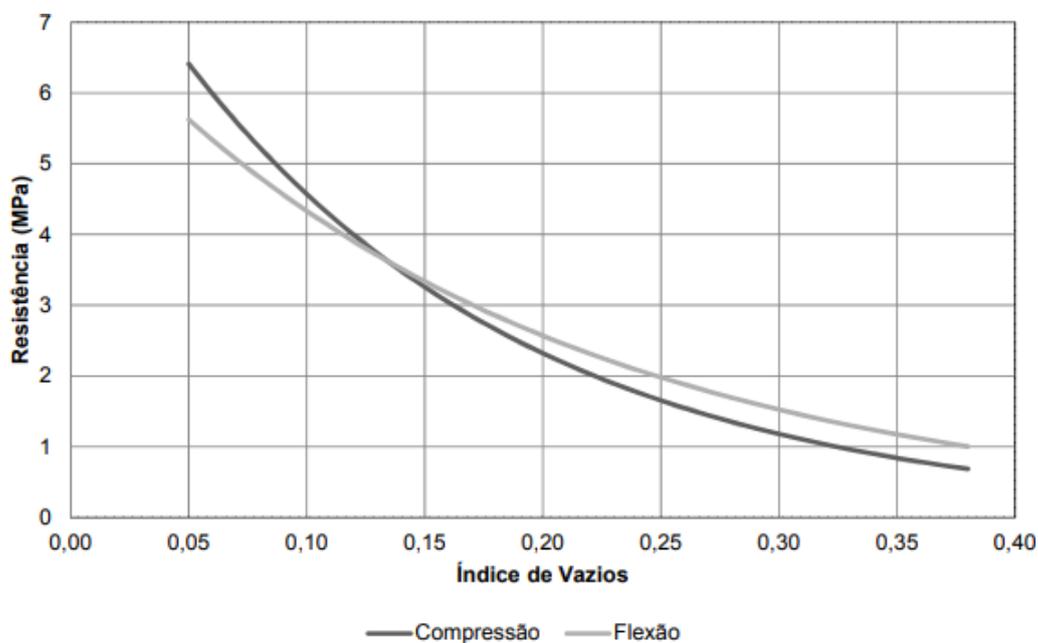
Fonte: BATEZINI (2013)

Dessemelhante do concreto convencional, suas propriedades físicas como a resistência à compressão, está relacionada em maior grau à quantia de índice de vazios ao invés de sua relação água/cimento. Entretanto, Vieira (2020) esclarece que concretos permeáveis têm sua relação água/cimento entre 0,27 e 0,30, chegando, no máximo, a 0,40, dependendo do uso de aditivos. Chandrappa e Biligiri. (2016) afirmam que a relação cimento/agregado varia de 1:4 até 1:6 e seu volume de agregados chega a 50 a 65%, divergente do concreto convencional, cerca de 60 a 75%.

Devido ao seu alto índice de vazios, foi constatado por Beeldens (2001, *apud* BATEZINI, 2013, p.38) que o concreto permeável elaborado e empregado nos Estados Unidos apresentava baixa resistência à compressão, entre 6,5 MPa e 17,5 Mpa. Este concreto apresentou grande eficiência em outros países chegando a 32 Mpa de resistência, porém reduzindo sua porosidade em relação a mistura americana, com granulometria de seus agregados relativamente inferiores e a utilização de aditivos superplastificantes, que reduzem o consumo de água durante o processo de fabricação.

Batezini (2013) através do estudo preliminar das propriedades mecânicas de concreto permeável utilizado para pavimentos, concluiu que a sua resistência à compressão e tração na flexão tem relação direta ao número de vazios empregados no concreto (FIG. 6).

Figura 6: Resistência (divido por 10) com relação ao índice de vazios



Fonte: BAZETINI (2013)

A norma NBR 16416 (ABNT, 2015), deixa explícitas as especificações de projeto para elaboração e aplicação de pavimentos permeáveis e a cada localidade a ser revestida pelo concreto permeável, deverá conter espessura e resistência mínima ao esforço solicitante (TAB. 1).

Tabela 1: Resistência mecânica - espessura mínima do revestimento permeável

TIPO DE REVESTIMENTO	TIPO DE SOLICITAÇÃO	ESPESSURA MÍNIMA (mm)	RESISTÊNCIA MECÂNICA CARACTERÍSTICA (MPa)
Peças de concreto permeável	Tráfego leve	80	≥ 20,0
Placa de concreto permeável	Tráfego leve	80	≥ 2,0
Concreto permeável moldado no local	Tráfego leve	100	≥ 2,0

Fonte: Adaptado da NBR 16416 (ABNT, 2005)

2.5 Concreto permeável composto por RCD

A utilização de RCD na composição do concreto permeável é uma alternativa ainda mais sustentável para os centros urbanos. Em busca da redução dos montantes de resíduos sólidos despejados de forma errônea no meio ambiente, a reutilização deste material para produção de um concreto sustentável tem de precaver as prescrições normativas listadas na norma NBR 15116 (ABNT, 2021) e NBR 16416 (ABNT, 2015) (PAIVA, BATISTA e FARIA, 2021).

Devido à sua resistência mecânica ser relativamente baixa, o uso do pavimento permeável composto por RCD é contraindicado para vias íngremes e locais com grande fluxo de veículos. Fernandes (2020) enfatiza as desvantagens desta pavimentação: baixa resistência mecânica e a necessidade de manutenção regular para evitar entupimento dos poros, fenômeno chamado de colmatação, ocorrente em pavimentos permeáveis.

O processo da colmatação torna-se inevitável em virtude de resquícios de borrachas veicular liberada pela grande quantia de tráfego passada sob o pavimento no decorrer dos anos, gerando um entupimento total dos poros, impedindo a infiltração de águas pluviais. A solução viável para este problema, é o sistema de limpeza de pavimento a vácuo, obtendo-se até 95% de sua eficiência inicial (FERNANDES, 2020).

Conforme a NBR 16416 (ABNT, 2015), todo pavimento permeável deverá conter 100% de percolação, contendo coeficiente de permeabilidade maior 10^{-3} m/s, sendo uma solução para mitigar os alagamentos urbanos.

2.5.1 Resistência mecânica do concreto permeável RCD

De acordo com a norma NBR 16416 (ABNT, 2015), toda pavimentação asfáltica composta por concreto permeável terá que ter espessura mínima para atender aos esforços solicitantes preestabelecidos na TAB. 1.

Através de análise laboratorial, Lima, Farias e Palacio (2019) optaram por testes de resistência em concretos com traços distintos, CP-AR (Cimento Portland – Agregado reciclável) correspondente a corpo de prova com agregado totalmente reciclado e CP-MIS (Cimento Portland – Agregado misto) corresponde a corpo de prova fabricado a partir da mistura de 50% de agregado reciclado com 50% de agregado natural. De acordo com os autores, a escolha da granulometria do agregado RCD foi em faixa de e 4,75mm a 19mm, devido a êxito de outros autores na confecção do concreto permeável. Para o ensaio de Lima, Farias e Palacio (2019) foram utilizados 1000g de agregado reciclado para composição de cada corpo de prova (TAB. 2).

Tabela 2: Composição granulométrica do agregado reciclado

MATERIAL	PESO (g)	PORCENTAGEM (%)
Cerâmica	56,5	5,65
Asfalto	138,8	13,88
Concreto/Argamassa	804,7	80,47
Agregado Reciclado	1000	100

Fonte: LIMA, FARIAS, PALACIO (2019)

Lima, Farias e Palacio (2019) optaram pelo uso do cimento CP V ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial) por apresentar elevados valores de resistência, logo nos primeiros dias de cura. Os traços realizados nas pesquisas de prova, foi de, 1:4:0,4 para CP-AR (Cimento Portland – Agregado reciclável), composição esta que utilizou 100% dos agregados recicláveis (AR). O segundo corpo de prova, CP-MIS (Cimento Portland – Agregado misto), utilizou em sua composição 50% de agregados recicláveis e 50% de agregados naturais (AN), obtendo o traço de 1:2:2:0,4 (TAB. 3).

Tabela 3: Traço das amostras de Lima

IDENTIFICAÇÃO	TRAÇO	CIMENTO (Kg)	AR (Kg)	AN (Kg)	ÁGUA (Kg)
CP-AR	1:4:0,4	1,0	4,0	0,0	0,4
CP-MIS	1:2:2:0,4	1,0	2,0	2,0	0,4

Fonte: LIMA, FARIAS, PALACIO (2019)

Após o processo de cura úmida, os corpos de prova de Lima, Farias e Palacio (2019) passaram pelo ensaio de compressão realizado na máquina universal para ensaios mecânicos, modelo EMIC (monitorada por computador, com capacidade máxima de 300 KN), nos dias 7 e 14 após sua produção. Os resultados obtidos durante os testes de compressão axial foram consideravelmente baixo ao se comparado a NBR 16416 (ABNT,2005), a qual exige resistência mínima de 2,0 MPa, isto deve-se pela maior porosidade de seus agregados, o qual ocasiona a retração da água presente em sua produção, reduzindo sua resistência final (TAB. 4).

Tabela 4: Resistência a compressão – resultados de Lima

IDENTIFICAÇÃO	7 DIAS	14 DIAS
CP-AR	2,482 MPa	0,120 MPa
CP-MIS	3,165 MPa	4,160 MPa

Fonte: LIMA, FARIAS, PALACIO (2019)

A partir da TAB.4 infere-se que o concreto produzido somente com o agregado reciclável, teve uma queda significativa de sua resistência aos 14 dias, isto deve-se a uma má compactação do agregado ao moldar o corpo de prova, explica Lima, Farias e Palacio. O concreto produzido com 50% dos agregados naturais e 50% dos agregados recicláveis, apresentou uma resistência 27% mais eficaz do que o CP-AR.

Em sua pesquisa, Santos (2017) considerou o uso de aditivo superplastificante MC-PowerFlow 4000 na composição do corpo de prova reciclado, a fim de não alterar sua relação água/cimento, uma vez que o uso de agregados reciclados aumenta o consumo de água.

O autor realizou quatro dosagens distintas, o concreto referencial e concretos com 15%, 25% e 35% de RCD. De acordo com cada traço de concreto permeável, utilizou-se cimento, agregado reciclável (AR), agregado natural (AN)(TAB. 5).

Tabela 5: Traço das amostras de Santos

IDENTIFICAÇÃO	TRAÇO	CIMENTO (Kg)	AR (Kg)	AN (Kg)	ÁGUA (Kg)
Concreto referência	1:4:0,37	1,0	0,0	4,0	0,37
Concreto 15% RCD	1:0,6:3,4:0,4	1,0	0,6	3,4	0,4
Concreto 25% RCD	1:1:3:0,4	1,0	1,0	3,0	0,4
Concreto 35% RCD	1:1,4:2,6:0,4	1,0	1,4	2,6	0,4

Fonte: Adaptado de SANTOS (2017)

Santos verificou que a relação água/cimento dos traços 15%, 25% e 35% de RCD eram insuficientes para tornar as misturas homogêneas, devido o uso do aditivo superplastificante. A consistência viscosa de seu líquido, proporcionou o aumento da relação água/cimento para 0,4 de tais traços.

Os ensaios de compressão feito por Santos (2017) foram realizados nos dias 28 e 56 após a moldagem dos corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Os dados obtidos sobre a resistência mecânica à compressão axial simples estão expostos na tabela abaixo, demonstrando os textes de compressão nos respectivos cilindros, realizados no dia 28 e 56, após processo de cura (TAB. 6):

Tabela 6: Resistência à compressão – resultados de Santos

IDENTIFICAÇÃO	28 DIAS	56 DIAS
Concreto referência	13,09 MPa	15,09 Mpa
Concreto 15% RCD	12,47 MPa	12,93 Mpa
Concreto 25% RCD	9,78 MPa	9,85 MPa
Concreto 35% RCD	7,22 MPa	7,47 MPa

Fonte: Adaptado de SANTOS (2017)

Segundo Santos (2017) a substituição do agregado natural pelo reciclável diminui consideravelmente a resistência do concreto permeável, todavia ainda permanece dentre os valores estipulados pela norma americana ACI 522R-06 (2006), na qual exige resistência à compressão típica deste material entre 2,8 MPa a 28 MPa.

O ensaio de Fernandes (2020) foi constituído por 12 corpos de prova curados em câmara úmida, produzidos com cimento tipo CP II-F-40 (Cimento Portland composto com fíler) no intuito de atingir uma elevada resistência. Foi utilizado o aditivo polifuncional da marca Sika na proporção de 0,5% do peso de cimento, na finalidade de diminuir o consumo de água exigido pelos agregados RCD.

O autor optou pelo traço 1:4:0,35 com base nas pesquisas de outros autores, utilizando maior porcentagem dos agregados naturais (AN) nos concretos referenciais, 35% e 45%, os quais ocorrem diferença na dosagem da areia. Os agregados recicláveis (AR), foi utilizado apenas nos demais concretos comparativos (TAB. 7).

Tabela 7: Traço das amostras de Fernandes

IDENTIFICAÇÃO	AREIA (Kg)	CIMENTO (Kg)	AR (Kg)	AN (Kg)	ÁGUA (Kg)
Concreto referência 35%	0,8	1,0	0,0	3,2	0,35
Concreto 35% a 15% RCD	0,8	1,0	0,5	2,8	0,35
Concreto 35% a 30% RCD	0,8	1,0	1,0	2,3	0,35
Concreto referência 45%	1,0	1,0	0,0	3,0	0,35
Concreto 40% a 15% RCD	1,0	1,0	0,5	2,6	0,35
Concreto 40% a 30% RCD	1,0	1,0	0,9	2,1	0,35

Fonte: Adaptado de FERNANDES (2020)

As médias dos resultados obtidos por três corpos de prova cilíndricos de cada amostra são mostrados na TAB. 8, na qual foi verificada a resistência à compressão nos dias 7 e 28 após produção (FERNANDES, 2020).

Tabela 8: Resistência a compressão – resultados de Fernandes

IDENTIFICAÇÃO	7 DIAS	28 DIAS
Concreto referência 35%	26,7 MPa	27,8 Mpa
Concreto 35% a 15% RCD	20,3 MPa	21,5 Mpa
Concreto 35% a 30% RCD	17,1 MPa	21,2 MPa
Concreto referência 45%	29,7 MPa	25,3 MPa
Concreto 40% a 15% RCD	14,6 MPa	21,3 MPa
Concreto 40% a 30% RCD	16,6 MPa	21,9 MPa

Fonte: Adaptado de FERNANDES (2020)

Para Fernandes (2020) a causa da queda de resistência no concreto referencial 45% entre os dias, 7 e 28 pós produção, deve-se à má compactação, cura insuficiente ou influência de capeamento.

Estudos de resistência à compressão, em conformidade com a teoria de autores referenciados, é possível concluir que para a produção de concreto permeável composto com agregados recicláveis, é necessário um alto consumo de água, o que aumenta o fator água/cimento juntamente ao índice de porosidade, reduzindo suas propriedades mecânicas. Conclui-se que o uso de aditivos superplastificantes tornam-se indispensáveis na composição de tal concreto, aproximando a relação água/cimento do ideal, tendo como consequência o aumento de sua resistência mínima demonstrados na TAB. 1 (LIMA, FARIAS, PALACIO, 2019; SANTOS, 2017; FERNANDES, 2020).

2.5.2 Aplicações do concreto permeável RCD

Como consequência de sua alta porosidade o uso do concreto permeável torna-se indicado em aplicações de baixa resistência, desde que seja pavimento onde seja constatado tráfego leve.

Benevenuto (2018) informa que a utilização do pavimento permeável é indicada para estacionamentos, calçadas, pátios, parques, praças, ruas de pouco tráfego, ciclovias e em *decks* de piscinas.

2.5.3 Viabilidade do concreto permeável RCD

Segundo a *EPA (US Environmental Protection Agency)*, o concreto permeável produzido com RCD é classificado como prática apropriada a gestão (*Best Management Practice - BMP*). Esta tendência construtiva tem relação direta com aspectos econômicos que influenciam construtores a optarem por seu uso, estimulando o aumento da oferta de mão de obra e uma redução do custo unitário (HÖLTZ, 2011).

Seu principal êxito econômico está diretamente relacionado as questões ambientais, uma vez que reduz o uso de sistemas para tratamento de água pluvial, em virtude de o próprio concreto permeável possuir características drenantes. Höltz (2011) destaca ainda a inutilidade de poços de detenção, encanamentos, drenos e outros sistemas de drenagens, reduzindo o tempo construtivo e a mão de obra.

Souza (2022) realizou uma análise preliminar de custos com relação ao índice de uso dos agregados, em que o procedimento de concreto permeável RCD torna-se ainda mais viável, quando comparado ao modelo de concreto convencional, reduzindo o uso de agregados de origem limitada (brita). O levantamento dos preços foi obtido por meio do valor informado por três empresas diferentes (A, B e C), onde se fez a média entre os valores obtidos dos materiais CPV – ARI FÁCIL (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial) e AN (Agregado Natural), com exceção do RCD (AR – Agregado Reciclável) fornecido pela empresa Rafa Entulhos (TAB. 9).

Tabela 9: Custo unitário para produção do concreto permeável

EMPRESA	CPV – ARI FÁCIL (40 Kg)	AN (20 Kg)	AR (20 Kg)
A	R\$32,90	R\$4,29	
B	R\$33,00	R\$4,95	R\$2,85
C	R\$34,95	R\$5,09	
MÉDIA	R\$33,62	R\$4,78	R\$2,85

Fonte: SOUZA (2022)

Ao verificar os dados de dispêndio fornecidos por tais empresas, Souza (2022) reproduziu o custo de produção através da porcentagem requerida de agregados reciclados no traço do concreto permeável. A TAB. 10 demonstra 11 formulações (F) dos respectivos concretos, fornecendo o traço unitário do consumo de cimento (CI), agregado natural (AN) e agregado reciclável (AR), logo em seguida, a quantia em quilograma por metro cúbico (Kg/m³) de cada material consumido.

Tabela 10: Consumo unitário por formulação dos concretos

FORMULAÇÃO	Traço Unitário (em massa)			Quantia Consumida (Kg/m ³)		
	CI	AN	AR	CI	NA	AR
F1	1,00	3,06	0,16	548,76	1679,21	87,80
F2	1,00	3,22	1,36	408,11	1314,11	555,03
F3	1,00	5,03	0,90	345,54	1738,08	310,99
F4	1,00	2,00	1,67	464,81	929,63	776,24
F5	1,00	2,55	0,88	505,45	1288,91	444,80
F6	1,00	2,30	0,81	539,18	1240,12	436,74
F7	1,00	0,00	5,93	291,04	0,00	1725,84
F8	1,00	0,88	2,23	498,12	438,34	1110,80
F9	1,00	2,53	0,14	616,74	1560,36	86,34
F10	1,00	1,19	3,38	337,27	401,35	1139,97
F11	1,00	0,00	2,67	475,06	0,00	1268,40

Fonte: Adaptado de SOUZA (2022)

Após formular todos traços de concreto, obtendo o consumo em kg/m³, Santos (2022) utilizou de dados dispostos na TAB.10 para comparar os custos de cada produção, demonstrado na TAB. 11, encontra-se preestabelecido o preço final de acordo com cada traço de formulação.

Tabela 11: Custo de formulação dos concretos

FORMULAÇÃO	Consumo de Material			Preço Total (R\$)
	CI	AN	AR	
F1	461,19	401,05	12,51	874,75
F2	342,98	313,85	79,09	735,93
F3	290,40	415,11	44,32	749,83
F4	390,64	222,03	110,61	723,28
F5	424,79	307,83	63,38	796,01
F6	453,14	296,18	62,24	811,56
F7	244,59	0,00	245,93	490,52
F8	418,63	104,69	158,29	681,60
F9	518,32	372,67	12,30	903,29
F10	283,45	95,86	162,45	541,75
F11	399,25	0,00	180,75	579,99

Fonte: Adaptado de SOUZA (2022)

Ao verificar os dados obtidos por Souza (2022) pôde-se verificar que o alto consumo de agregados recicláveis (AR) para produção de um concreto permeável influencia diretamente na redução do uso de cimento, isto é, devido às composições químicas presentes no RCD. Este motivo está vinculado a uma redução de custos entre o concreto permeável convencional e o concreto permeável composto por RCD, que além de diminuir o consumo de cimento, reduzirá os gastos em agregados.

Para Höltz (2011) os custos-benefícios não estão somente ligados à relação entre materiais e produção, mas também em seu longínquo tempo de vida útil. Os pavimentos de concreto possuem alta resistência e requerem poucos reparos, quando comparado a pavimentos asfálticos convencionais.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos científicos com embasamento teórico de diversos autores sobre as características mecânicas do concreto permeável composto por resíduos de construção e demolição (RCD), foram analisados e foi constatada perda de suas propriedades físicas e isto está atrelado a dois fatores, o grande índice de vazios e alto consumo de água.

A substituição dos agregados graúdos, brita por RCD gera uma grande influência em sua resistência a compressão, na qual o fator principal está relacionado à alta exigência da relação água/cimento. Devido à alta porosidade nos resíduos de construção e demolição, ocorre grande absorção da água presente na confecção do concreto, este fato proporciona uma perda na resistência final do produto.

De acordo com os estudos apresentados, o ideal é que haja uma intercalação entre os agregados naturais e reciclados, tornando possível a utilização do RCD na composição do concreto permeável.

Por fim, enfatiza-se que o uso do RCD na produção de tal concreto gera benefícios socioambientais, reduzindo montantes de entulhos e o consumo de cimento, o qual é um dos principais responsáveis na emissão de gases poluentes (CO₂). Aconselha-se o uso do concreto permeável composto por RCD em pavimentos de tráfego leve.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 522R-10: pervious concrete**. Farmington Hills, 2010.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo, 2000. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Disponível em: 10.11606/D.3.2000.tde-05102005-112833. Acesso em: 17 de ago. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2022.

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, 2021.

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

BATEZINI, R. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. Diss. Universidade de São Paulo, 2013. Disponível em: 10.11606/D.3.2012.tde-19072013-155819. Acesso em: 31 de ago. 2022.

BENEVENUTO, A. **Concreto permeável: UFF pesquisa soluções para uma urbanização sustentável**. UFF - Universidade Federal Fluminense, 2018. Disponível em: Concreto permeável: UFF pesquisa soluções para uma urbanização sustentável | Universidade Federal Fluminense. Acesso em: 17 de set. 2022.

BONATO, M. M; BRAGANÇA, M. D'O. G. P; PORTELLA, K. F; VIEIRA, M. E; BRONHOLO, J. L; SANTOS, J. C. M; CERQUEIRA, D. P. **Argamassas fotocatalíticas e concretos com adição de fibras de coco e sisal para a redução de impactos ambientais de gases poluentes**. SciELO Brasil, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0366-69132014000400012> . Acesso em: 16 de ago. 2022.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 307, de 5 .de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção. Disponível em: RESOLUÇÃO CONAMA Nº 307, DE 5 DE JULHO DE 2002 (cetesb.sp.gov.br). Acesso em: 24 de ago. 2022.

BENINI, S. M; ROSIN, J. **Estudos Urbanos: uma abordagem interdisciplinar da cidade contemporânea**. Tupã: Anap, 81-106, 2015. Disponível em: https://www.academia.edu/download/54805220/Cidades_Inteligentes_e_Sustentaveis-_problemas_e_desafios.pdf. Acesso em: 11 out. 2022.

CARVALHO, J. D. N. D. Sobre as origens e desenvolvimento de concreto. **Revista Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 95-112, 6 jan. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/revtecnol.v17i1.8169>. Acesso em: 19 ago. 2022.

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*, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.054>. Acesso em: 31 ago. 2022.

COSTA, F. B. P. D. **Análise e desenvolvimento de misturas de concreto permeável para aplicação em pavimentação**. Lume-UFRGS, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/201344>. Acesso em: 31 ago. 2022.

FERNANDES, G. D. S. **Utilização de pavimento permeável de concreto com agregados de RCD na mitigação de alagamentos**: estudo de caso do estacionamento do Instituto Central de Ciências da UnB. UnB, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/39525>. Acesso em: 01 ago. 2022.

FERREIRA, M. L.; de OLIVEIRA, A.; CORTESE, A. T. T. P.; KNISS, C. T.; QUARESMA, C. C.; PASCHOALIN FILHO, J. A. **Cidades inteligentes e sustentáveis**: problemas e desafios. Tupã: Anap, 81-106, 2015. Disponível em: https://www.academia.edu/download/54805220/Cidades_Inteligentes_e_Sustentaveis-_problemas_e_desafios.pdf. Acesso em: 11 de out. 2022.

FURTADO, L.; MOTA, A. A.; GRISON, F.; MENEGOTTO, M. L. **Eficiência de drenagem de um modelo de pavimento de concreto permeável sob chuva natural**. CAPES – IMED, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2021.v8i1.4153>. Acesso em: 17 de ago. 2022.

HIDELFONSO, J.; AZEVEDO, G. M. O. **Diagnóstico da destinação e descarte dos resíduos sólidos oriundos da construção civil**. *Repositório Institucional – AEE*, 2018. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/jspui/handle/aee/519>. Acesso em: 20 de nov. 2022.

HÖLTZ, F. d. C. **Uso de concreto permeável na drenagem urbana**: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental. Lume-UFRGS, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/35615>. Acesso em: 20 de set. 2022.

LIMA, M. D. S.; FARIAS, T. R. L.; PALACIO, N. D. P. **Análise das propriedades mecânicas de um concreto permeável fabricado em laboratório produzido com resíduos de construção e demolição (RCD)**. *Repositório Institucional – UFC*, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/65020>. Acesso em: 14 de set. 2022.

LIMA, R. S.; ALVES, A. S.; LIMA, L. R. **Utilização de agregados reciclados na construção civil**. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 05, Ed. 11, Vol. 24, p. 58-70. Novembro, 2020. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/utilizacao-de-agregados>. Acesso em: 03 de dez. 2022.

MARTINS, I. M. M.; GONÇALVES, A. **Processamento e aplicação de resíduos de construção e demolição em betão**. University of Leeds. Disponível em: <http://eprints.whiterose.ac.uk/81801/>. Acesso em: 30 de ago. 2022.

MEDEIROS, C. D.; SENA, G. F.; ALVES, J. B.; SILVA, J. D. D. S. **Resíduos da construção civil e seu aproveitamento alternativo**, v. 2, n. 12, p. 179-194, 2021. Disponível em: [10.37885/211206914](https://doi.org/10.37885/211206914). Acesso em: 17 de ago. 2022.

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, É. D. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008**. Ambiente Construído-AC. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/7183>. Acesso em: 24 de ago. 2022.

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, É. D. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008**. Ambiente Construído-AC. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/7183>. Acesso em: 24 de ago. 2022.

MOLINA, W. Martinez. *et al.* Concreto reciclado: uma revisão. **Rev. ALCONPAT, Mérida**, v. 5, n. 3, p. 235-248, 2015. Disponível em http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-68352015000300235&lng=es&nrm=iso. Acesso em 18 de ago. 2022.

NOGUEIRA, L. G. S. **Utilização de RCD na confecção de um concreto sustentável**. CEUB, Educação Superior. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/6363>. Acesso em: 19 de ago. 2022.

PAIVA, L. R.; BATISTA, V. C. A.; FARIAS, C. F. **Utilização de RCD (Resíduos da construção e demolição) como agregado graúdo para confecção de um concreto sustentável**. DOCTUM, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/123456789/3976>. Acesso em: 01 de ago. 2022.

PONTE, A. C.; XIMENES, M. M.; FERNANDES, S. K. U. Análise experimental comparativa entre concreto reciclado com agregado grosseiro da reciclagem de resíduos de construção e demolição. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 10, n. 5, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15246>. Acesso em: 17 de ago. 2022.

RIBAS, I. M. O.; OKONSKI, M. E. P. D. Resíduos para incorporação em traços de concreto convencional. **Engenharia Civil-Pedra Branca**. Ânima Educação, 2020. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/15426>. Acesso em: 30 de ago. 2022.

RODRIGUES, G. L.; MANTOVANI, L. E.; DUARTE, U.; LOPES, K. **Estudo comparativo entre as poeiras respiráveis de basalto e gnaiss na produção de brita nas regiões de Londrina e Curitiba, no estado do Paraná, e sua influência para os trabalhadores**. SciELO Brasil, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0303-76572005000200005>. Acesso em: 16 de ago. 2022.

SANTOS, R. R. D. **Estudo da resistência mecânica do concreto permeável com substituição de agregado natural por agregado reciclado**. UNIJU, 2017. Disponível em: <http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/5206>. Acesso em: 15 de set. 2022.

SOUZA, L. M. d. **Utilização de resíduos da construção e demolição (RCD) em formulações de revestimentos para pavimentação urbana permeável.** Ânima Educação, 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/25762>. Acesso em: 20 de set. 2022.

VIEIRA, C. S; PEREIRA, P. M; LOPES, M. L. Estudo dos efeitos provocados por Resíduos de Construção e Demolição (RCD) numa geogrelha de poliéster. *In: Atas do 16º Congresso Nacional de Geotecnia.* Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/112153>. Acesso em: 29 de ago. 2022.

VIEIRA, G. L. **Influência da substituição do agregado reciclado e cinzas volantes no desempenho do concreto permeável.** TEDE-PUCRS, 2020. Disponível em: <https://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/9657>. Acesso em: 31 de ago. 2022.

