

# AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM CONCRETO PERMEÁVEL

VEIGA, Bruno Didur<sup>1</sup>

BALDUINO, Rodrigo Thkatchuka<sup>2</sup>

**RESUMO:** Os alagamentos urbanos recorrentes e o descarte inadequado de resíduos da construção e demolição representam desafios críticos nas cidades em decorrência do processo de crescimento acelerado e da falta de infraestrutura adequada. O presente trabalho investiga a viabilidade técnica do uso de resíduos da construção e demolição na produção de concreto permeável, como alternativa sustentável para mitigar tais impactos. A pesquisa foi conduzida com caráter exploratório e metodologia experimental, envolvendo a produção de cinco traços distintos de concreto, com diferentes proporções de resíduos reciclados substituindo o agregado convencional (brita 1). Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de resistência à compressão aos 7, 14, 21 e 31 dias e a ensaios de permeabilidade aos 60 dias. Os resultados demonstraram que o traço com substituição parcial (25 e 50% de resíduos da construção e demolição) apresentaram desempenho técnico satisfatório, com resistência compatível e boa capacidade de drenagem. Constatou-se que a utilização dos resíduos pode contribuir para a redução do descarte inadequado. Conclui-se que o concreto permeável com resíduos da construção e demolição é uma alternativa viável, reunindo aspectos técnicos e ambientais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto permeável. Resíduos da construção e demolição (RCD). Alagamentos urbanos. Sustentabilidade. Economia circular.

**ABSTRACT:** Recurrent urban flooding and the improper disposal of construction and demolition waste represent critical challenges in cities due to accelerated growth and the lack of adequate infrastructure. This study investigates the technical feasibility of using construction and demolition waste in the production of pervious concrete as a sustainable alternative to mitigate such impacts. The research was conducted with an exploratory approach and experimental methodology, involving the production of five different concrete mixes with varying proportions of recycled waste replacing conventional aggregate (crushed stone 1). The test specimens were subjected to compressive strength tests at 7, 14, 21, and 31 days, and permeability tests at 60 days. The results showed that the mix with partial replacement (25 and 50% of construction and demolition waste) demonstrated satisfactory technical performance, with compatible strength and good drainage capacity. It was found that the use of such waste can help reduce improper disposal. It is concluded that pervious concrete incorporating construction and demolition waste is a viable alternative, combining both technical and environmental benefits.

**KEYWORDS:** Pervious concrete. Construction and demolition waste (CDW). Urban flooding. Sustainability. Circular economy.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado das cidades brasileiras resultou em uma urbanização desordenada, na qual a infraestrutura não acompanhou essa expansão (Fontes; Barbassa, 2003). De acordo com os autores, esse cenário contribuiu diretamente para problemas estruturais nas áreas urbanas, como os alagamentos frequentes causados pela impermeabilização do solo. A impermeabilização do solo,

---

<sup>1</sup> Graduando de Engenharia Civil no Centro Universitário Campo Real. engc-brunoveiga@camporeal.edu.br

<sup>2</sup> Graduado em Engenharia Civil. Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho. Professor no Centro Universitário do Campo Real. prof\_rodrigobalduino@camporeal.edu.br

decorrente das edificações, pavimentos e vias asfaltadas, impede a infiltração da água da chuva, aumentando o volume de escoamento superficial e sobrecarregando os sistemas de drenagem. Além disso, destaca-se a intensa atividade da construção civil, fundamental para o desenvolvimento econômico, porém responsável pela geração de grandes volumes de resíduos sólidos, frequentemente descartados de forma inadequada (Silva *et al.*, 2015). Diante desses desafios, torna-se imprescindível a busca por soluções sustentáveis que atendam simultaneamente às demandas ambientais e urbanas. Nesse contexto, o uso de resíduos de construção e demolição (RCD) na produção de concreto permeável emerge como uma alternativa promissora para mitigar os impactos causados tanto pelos alagamentos quanto pelo descarte inadequado desses materiais.

O processo de urbanização do Brasil ocorreu de forma acelerada, principalmente a partir da década de 1960, e, conforme Justino, Paula e Paiva (2011), a infraestrutura urbana não acompanhou o crescimento das cidades. Fontes e Barbassa (2003) afirmam que a urbanização provoca modificações no uso do solo, afetando as respostas hidrológicas e resultando em aumento significativo do escoamento superficial e diminuição da infiltração, em decorrência da impermeabilização do solo, o que contribui diretamente para inundações urbanas.

O crescimento das cidades impulsiona também a expansão da indústria da construção civil, considerada uma das atividades socioeconômicas mais relevantes do país (Silva *et al.*, 2015). Contudo, os autores destacam que essa atividade é potencialmente degradante ao meio ambiente, devido ao uso excessivo de recursos naturais e ao elevado volume de resíduos gerados. Pinto e Gonzáles (2005, apud Silva *et al.*, 2015) indicaram que os resíduos da construção civil representavam de 41% a 70% do total de resíduos gerados em municípios de médio e grande porte entre 1990 e 2001. Frente a esse cenário, observa-se que o descarte inadequado desses resíduos causa contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas, favorece o desenvolvimento de agentes patogênicos, gera impacto visual negativo e compromete a qualidade de vida da população.

Diante dos impactos mencionados, como a urbanização acelerada, impermeabilização do solo, sobrecarga da infraestrutura de drenagem urbana e o descarte inadequado dos resíduos da construção civil, evidencia-se a necessidade de buscar soluções sustentáveis para esses problemas. Assim, surge a indagação: a utilização de resíduos da construção civil na produção de concreto permeável

configura-se como uma alternativa viável para mitigar esses impactos? O emprego desse concreto permeável, incorporando resíduos, pode contribuir para a melhoria da drenagem urbana e promover a reciclagem desses materiais, oferecendo um novo uso para os resíduos?

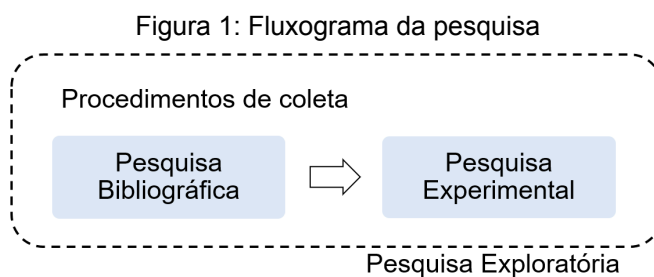
Considerando os impactos ambientais gerados pelo descarte inadequado de resíduos de construção e demolição (RCD) e os desafios da drenagem urbana em áreas altamente impermeabilizadas, que frequentemente resulta em alagamentos, esta pesquisa parte de pressupostos que orientam a investigação. Busca-se demonstrar que o uso de resíduos da construção civil no concreto permeável possibilita a resistência mecânica necessária para sua eficácia, comparável ao concreto permeável convencional, além de apresentar boa permeabilidade. Assim como, espera-se ainda que essa alternativa reduza o descarte incorreto dos materiais, promovendo práticas mais sustentáveis no setor da construção. Por fim, busca-se aqui evidenciar que a adoção dessa solução é viável do ponto de vista técnico e sustentável, configurando-se como uma estratégia eficiente para a engenharia civil contemporânea.

O objetivo geral desta pesquisa é verificar a viabilidade técnica do uso de resíduos da construção civil no concreto permeável. Para tanto, o estudo foi estruturado em objetivos específicos: avaliar o melhor traço de concreto permeável com resíduos da construção civil; caracterizar os resíduos passíveis de utilização; comparar a resistência à compressão entre o concreto permeável convencional e o com resíduos; e comparar a taxa de permeabilidade dos dois tipos de concreto.

Diante desse contexto, o presente estudo justifica-se pela necessidade de buscar alternativas que minimizem os danos ambientais e promovam a sustentabilidade no setor da construção civil. Nesse sentido, além de abordar a problemática das inundações urbanas decorrentes da impermeabilização do solo e os desafios da drenagem agravados pelas mudanças climáticas, considera-se também a elevada geração de resíduos da construção civil, muitas vezes descartados de forma inadequada. A proposta consiste no desenvolvimento de um concreto permeável que incorpore esses resíduos como parte de sua composição, reduzindo custos de produção e proporcionando uma alternativa mais acessível, ao mesmo tempo em que contribui para a gestão adequada dos resíduos e para a mitigação dos impactos ambientais.

## 2. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza exploratória. Para Gil (2022), a natureza dessa pesquisa tem por objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema e construir hipóteses. No contexto deste trabalho, buscou-se analisar a eficácia da substituição dos agregados tradicionais no concreto permeável por resíduos sólidos da construção civil. Como procedimento de coleta de dados foi adotado a pesquisa bibliográfica e experimental, conforme pode ser observado no fluxograma da pesquisa (Figura 1).



Fonte: Autor (2025)

A pesquisa bibliográfica foi empregada como etapa fundamental para embasar teoricamente o estudo. De acordo com Lakatos e Marconi (2003), esse tipo de pesquisa permite o contato direto com o conhecimento já produzido sobre determinado tema, não se restringindo à simples reprodução de informações, mas possibilitando novas interpretações e abordagens. Para isso, foram consultados artigos científicos, dissertações, teses, manuais técnicos, relatórios e normas técnicas que tratam de temas relacionados ao concreto permeável, drenagem urbana, impermeabilização do solo, características dos resíduos da construção civil e o uso de agregados reciclados em materiais cimentícios.

Complementarmente, adotou-se o procedimento de coleta experimental, que conforme Gil (2022, p.48), busca “determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.” Nesse sentido, a pesquisa tem como objeto de estudo o concreto permeável, voltada à produção, ensaio e análise de diferentes traços de concreto permeável com variações no percentual de substituição dos agregados naturais por resíduos reciclados.

## **2.1 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO SOBRE A DRENAGEM E A PERMEABILIDADE DO SOLO**

Nas últimas décadas, o processo de expansão e adensamento urbano tem causado alterações significativas na relação entre os espaços naturais e os antrópicos. Entre essas mudanças, destacam-se as alterações nos processos ambientais, especialmente em cidades de médio e grande porte, onde observa-se aumento da ocupação e impermeabilização do solo (Nunes; Rosa, 2020). Os autores ressaltam que a interação da água da chuva com as propriedades do solo está diretamente relacionada aos processos físicos e hidrológicos, e que a impermeabilização do solo impacta negativamente essa dinâmica.

Justino, Paula e Paiva (2011, p.18) afirmam que “a permeabilidade do solo influi diretamente na capacidade de infiltração, ou seja, quanto mais permeável for o solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver”. Nesse sentido, quanto maior a impermeabilização, menor a capacidade de absorção da água pluvial, o que gera inundações urbanas. Canholi (2005, apud Justino; Paula; Paiva, 2011) destaca que as causas das inundações urbanas incluem a impermeabilização quase total dos solos urbanos, sistemas de drenagem ineficientes, acúmulo de lixo que obstrui o escoamento e a gestão inadequada do planejamento de drenagem pluvial. Para Murara e Mendonça (2019, p.1996), atualmente “as inundações urbanas compreendem uma das principais problemáticas socionaturais”.

A impermeabilização do solo é consequência direta da urbanização, gerando impactos significativos no escoamento das águas pluviais na bacia hidrográfica (Justino; Paiva; Paula, 2011, p.19). Além desses fatores, as mudanças climáticas agravam o quadro das inundações urbanas. Ramos (2010) aponta que o efeito estufa é responsável pelas alterações climáticas globais, afetando o regime de precipitações pluviométricas, tanto em volume quanto em frequência. A autora ainda destaca o aumento na frequência e intensidade dos eventos extremos de chuva desde o século XX. Fontes e Barbassa (2003) ressaltam que as bacias urbanas estão amplamente impermeabilizadas por edificações, vias e pisos, acelerando o escoamento por meio da canalização e drenagem superficial, o que aumenta o escoamento superficial e reduz a infiltração da água da chuva.

A partir disso, observa-se que as precipitações pluviométricas ocorrem com maior intensidade em períodos curtos, enquanto o solo apresenta capacidade

reduzida de absorção, elevando o volume de água superficial e provocando inundações urbanas. Segundo Nunes e Rosa (2020), essas condições alteram o fluxo entre o lençol freático e os canais de drenagem, ocasionando sobrecarga no sistema de drenagem durante os períodos chuvosos.

## **2.2 CONCRETO PERMEÁVEL**

O uso do concreto permeável teve início no século XVIII, mas sua ampla disseminação ocorreu durante a Segunda Guerra Mundial, quando a Alemanha, enfrentando escassez de matéria-prima e excesso de entulhos, passou a utilizá-los na produção do material. Para Schwetz *et al.*, (2015), a partir desse momento, o concreto permeável passou a ser adotado em outros contextos como uma solução econômica e ambientalmente adequada, sendo, atualmente, desenvolvido por empresas especializadas em países como Estados Unidos, Japão e nações europeias.

O concreto permeável é um tipo especial de concreto que se diferencia por sua alta porosidade e capacidade de infiltração da água. Essa característica é obtida a partir da redução ou eliminação dos agregados miúdos na mistura, resultando em um material com cerca de 15% a 25% de vazios interconectados (Schwetz *et al.*, 2015). Sua composição básica inclui cimento, água e agregados graúdos, sem a adição significativa de areia (Strieder, 2021). De acordo com o Manual de Calçadas de Concreto Permeável, elaborado pela Associação Brasileira das Empresas de Serviços de concretagem (ABESC, 2025), o concreto permeável apresenta elevada porosidade, geralmente entre 15% e 35%, e possui consistência seca, o que permite a passagem de água por sua estrutura. Sua composição inclui cimento Portland, agregado graúdo, pouca ou nenhuma quantidade de agregado miúdo, água e, em alguns casos, aditivos. A resistência desse material pode variar de 2,5 a 28 MPa, conforme sua aplicação, enquanto a taxa de infiltração depende da porosidade, situando-se entre 0,2 e 2,5 cm/s.

Para Strieder (2021, p.25), o concreto permeável permite “a passagem de água através do material. Diferentemente do concreto convencional, além de ter um comportamento mecânico adequado, também deve permitir uma boa drenabilidade à água.” Esse tipo de concreto é indicado para áreas de tráfego leve, como calçadas, estacionamentos e ciclovias, e oferece como vantagens a redução da taxa de

escoamento das águas pluviais, o isolamento térmico e a absorção acústica (Brasileiro, 2020).

Os benefícios do uso do concreto permeável são amplamente reconhecidos em termos ambientais, sociais e urbanos. Pode-se destacar dentre os benefícios da utilização desse tipo de concreto, a:

eliminação dos problemas das enxurradas urbanas; recarga dos lençóis freáticos; redução da poluição dos corpos hídricos pelo carreamento de poluentes; minimização dos efeitos do aquecimento global; aumento da arborização em centros urbanos; redução dos custos com obras de drenagem; favorecimento de economias regionais; melhora na tração dos carros por conta da sua rugosidade (Schwetz *et al.*, 2015, p.2).

Nesse sentido, o uso do concreto permeável representa uma alternativa para mitigar os impactos ambientais causados pela impermeabilização nas áreas urbanas, contribuindo tanto diretamente, ao permitir maior infiltração da água da chuva, quanto indiretamente, ao reduzir a necessidade de investimentos em grandes obras de infraestrutura de drenagem. Além disso, o concreto permeável oferece benefícios que abrangem não apenas o meio ambiente, mas também a sociedade e a economia (Costa, 2019). Para a autora, seu uso reduz o impacto ambiental em comparação aos pavimentos tradicionais e vem sendo adotado em diversos países como solução eficaz para a gestão das águas pluviais. Além dos benefícios ambientais, esse material também oferece benefícios sociais que podem melhorar a qualidade de vida das comunidades. Entre esses atributos, a autora destaca a menor retenção de energia térmica em comparação aos sistemas convencionais, contribuindo para a redução do efeito de ilha de calor. Além disso, a capacidade do pavimento permeável de drenar a água da chuva proporciona uma vantagem perceptível aos usuários (Costa, 2019).

### **2.2.1 Concreto permeável com resíduos da construção civil (RCD)**

É importante considerar, conforme Brasileiro e Matos (2015), que o crescimento urbano está diretamente associado ao aumento da atividade da construção civil, a qual gera “grandes impactos ambientais, desde a extração de recursos naturais para a produção de insumos, até a produção de resíduos, que são dispostos no meio ambiente sem nenhum controle” (p.178). Os autores também

ressaltam que grande parte dos materiais utilizados na construção civil é obtida por meio da extração, ocasionando alterações ambientais como modificações na estrutura hidrológica e hidrogeológica. Assim, há impactos ambientais tanto na obtenção quanto no descarte dos resíduos remanescentes das obras. Pinto (2014, apud Brasileiro; Matos, 2015) aponta que os resíduos de construção e demolição (RCD) representam entre 41% e 70% do volume total de resíduos sólidos urbanos nas cidades brasileiras.

Conforme Duran (2006, apud Brasileiro; Matos, 2015, p.179), a maioria dos RCD é composta por restos de “argamassas, tijolo, alvenaria, concreto, cerâmica, gesso, madeira, metais e outros”, que são descartados em aterros sanitários devido à inexistência de mercado para seus materiais reciclados. Nesse sentido, Brasileiro e Matos (2015, p.179) afirmam que o “RCD serve de matéria-prima para agregados de ótima qualidade, podendo ser utilizados em diversas aplicações construtivas”. Frigo e Silveira (2012) destacam a importância do uso de resíduos para gerar matérias-primas secundárias por meio da reciclagem, reduzindo a exploração dos recursos naturais não renováveis e contribuindo para a melhoria das condições ambientais urbanas. Assim, pesquisas sobre a utilização do RCD em materiais construtivos contribuem para a redução do descarte inadequado, aliviando a sobrecarga dos aterros sanitários e promovendo a economia circular ao reinserir materiais antes descartados na cadeia produtiva.

A utilização de resíduos da construção e demolição (RCD) no concreto permeável tem ganhado destaque como solução sustentável para o reaproveitamento de materiais descartados. A substituição parcial dos agregados naturais por resíduos como tijolos, concreto e argamassa tem como objetivo minimizar os impactos ambientais da indústria da construção civil (Brasileiro, 2020; Lima *et al.*, 2025). Essa prática já foi adotada em larga escala historicamente, como na Alemanha do pós-guerra, que utilizou entulhos da Segunda Guerra Mundial na produção de concreto (Alves, 2016).

A elevada porosidade e a absorção típicas dos agregados reciclados, somadas à sua natureza heterogênea, exercem influência positiva no desempenho hidráulico do concreto, contribuindo para sua maior permeabilidade (Lima *et al.*, 2025). No entanto, o autor ressalta que a incorporação de resíduos de construção e demolição (RCD) nas misturas pode comprometer a resistência mecânica do concreto. Para Strieder (2021), a qualidade do concreto permeável com agregados

reciclados depende tanto do tipo de material original quanto das etapas de britagem e da nova formulação adotada na mistura. Dessa forma, é essencial que o traço do concreto seja otimizado para equilibrar desempenho estrutural e funcionalidade hidráulica. A utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) como agregado em concreto permeável baseia-se em critérios técnicos e ambientais, especialmente pela ampla disponibilidade do material. Além disso, seu emprego como agregado graúdo em pavimentos permeáveis contribui para uma destinação sustentável dos resíduos e para a diminuição da extração de agregados naturais (Lima *et al.*, 2025).

O concreto permeável com RCD apresenta-se como uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente estratégica para o enfrentamento dos desafios urbanos contemporâneos. Além de contribuir para a sustentabilidade e gestão das águas pluviais, sua adoção promove a economia circular e a redução da exploração de recursos naturais. Quando bem projetado e executado, esse material pode melhorar significativamente a infraestrutura urbana, proporcionando benefícios à população e ao meio ambiente, além de atender a políticas públicas voltadas ao desenvolvimento urbano sustentável.

### **2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO PERMEÁVEL**

A composição do concreto permeável exerce influência direta nas propriedades do mesmo. Tais propriedades estão intrinsecamente relacionadas, pois, à medida que o teor de vazios aumenta, eleva-se também a permeabilidade e, conseqüentemente, ocorre a redução da resistência à compressão. Segundo Sales (2008 apud Silveira, 2024, p. 22), “a permeabilidade relaciona-se à capacidade que o material apresenta de possibilitar a passagem de fluidos através de sua estrutura”, essa propriedade decorre da presença de uma rede interconectada de macroporos característica desse tipo de concreto.

Já em relação a resistência mecânica, o concreto permeável apresenta resistência significativamente inferior quando comparado ao concreto convencional, que de acordo com Silveira (2024), essa diferença se deve à relação inversamente proporcional entre resistência e porosidade do material. Ainda de acordo com a autora, o alto teor de vazios limita a resistência da matriz, podendo constituir um fator restritivo à sua utilização em pavimentos.

Para garantir a eficiência do material em função do tráfego local e da espessura do revestimento, a NBR 16416 (ABNT, 2015) estabelece valores mínimos de resistência que devem ser atendidos. Assim, peças de concreto permeável devem apresentar resistência à compressão superior a 20 Mpa (ABNT, 2015). Em termos gerais, a resistência à compressão desse tipo de concreto pode variar entre 3,5 e 28 MPa, sendo que os valores mais comuns situam-se em torno de 17 MPa (Tennis; Leming; Akers, 2004, apud Silveira, 2024). Por essa razão, sua aplicação é geralmente indicada para regiões de tráfego leve (Jahn, 2016).

## **2.4 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS**

Para o desenvolvimento do experimento foi utilizado o Laboratório Maker do Centro Universitário Campo Real. Para operacionalizar a pesquisa, o estudo foi realizado em etapas: levantamento e preparação de materiais, definição dos traços de concreto permeável, produção do concreto e moldagem dos corpos de prova e ensaios tecnológicos.

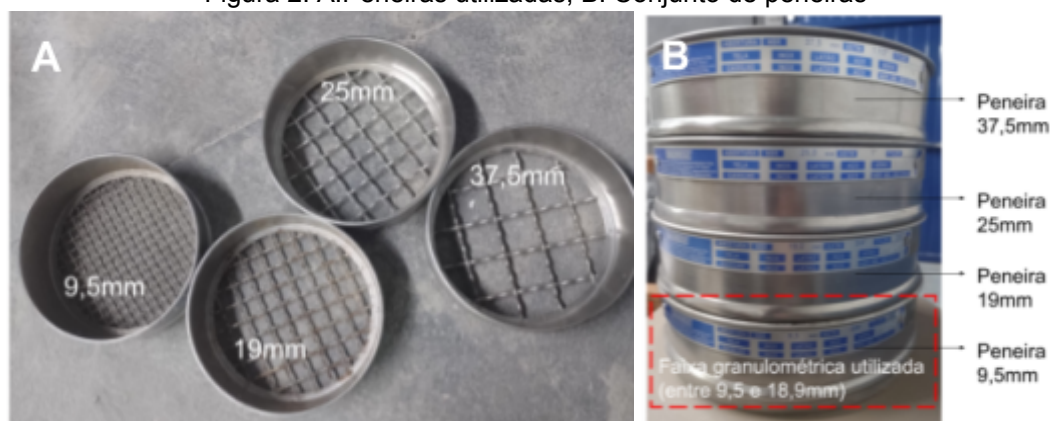
### **2.4.1 Levantamento e preparação de materiais**

Para o trabalho foi utilizado brita 1 (entre 9,5 e 19mm) originário de rocha de basáltica como material convencional adquirido em material de construção e os resíduos da construção civil utilizados foram coletados e classificados na faixa granulométrica correspondente à dos agregados graúdos. Inicialmente foram coletados resíduos de construção e demolição (RCD) em uma obra na região central de Guarapuava-PR. O material coletado estava armazenado em pilhas ao ar livre. Para os ensaios, foram coletados cerca de 100 kg (Quilogramas) de resíduos mistos de construção e demolição, provenientes de concreto, cerâmicos, argamassa e porcelanatos. Tomou-se o cuidado para que os resíduos coletados não contivessem contaminantes aparentes como plástico, vidro, metal, argilas, gesso e madeira.

A coleta dos agregados foi realizada no mês de maio de 2025. Os materiais foram previamente selecionados, caracterizando por análise granulométrica separando aqueles com tamanhos de partículas na faixa de agregados graúdos, “cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm” (ABNT NBR 7211, 2022, p.2). Para a

classificação, utilizou-se o conjunto de peneiras (Figura 2a) com aberturas de 37,5mm, 25mm, 19mm e 9,5mm. Para o experimento, a fim de estabelecer um parâmetro comparativo com o concreto permeável convencional, adotou-se os resíduos da construção e demolição a granulometria entre 19mm e 9,5mm, ou seja, os agregados que passaram na peneira de 19mm e ficaram retidos na peneira 9,5mm (Figura 2b), similar a granulometria de brita 1. Os materiais que ficaram retidos na peneira de 19mm, 25mm e 37,5mm foram triturados de forma manual e foram classificados novamente nos critérios de agregados estabelecidos para esse estudo.

Figura 2: A:Peneiras utilizadas; B: Conjunto de peneiras



Fonte: Autor (2025)

#### 2.4.2 Definição dos traços de concreto permeável

Como base do experimento, foi utilizada a relação água/cimento (A/C) de 0,5, além, disso, utilizado o cimento CP Votoran CP-II-Z-32 (Cimento Portland composto com pozolana) como agente aglomerante, na proporção de cimento e agregado de 1:4. A composição dos traços será mantida quanto à quantidade de cimento e à relação água/cimento (A/C), a fim analisar os efeitos provocados unicamente pela substituição dos agregados.

Os corpos de prova foram montados com cinco variações quanto à composição dos agregados descritos no Quadro 1 abaixo:

Quadro 1: Proporção de agregado nos corpos de prova do concreto permeável.

NOME	CÓDIGO	DESCRIÇÃO
Traço convencional	TC	100% brita 1
Traço 1	T25	75% brita 1 e 25% de RCD
Traço 2	T50	50% brita 1 e 50% de RCD
Traço 3	T75	25% brita 1 e 75% de RCD
Traço 4	T100	100% de RCD

Fonte: Autor (2025)

Para a produção dos corpos de prova não foram utilizados aditivos químicos, agregados miúdos (areia) e nem plastificantes, a fim de avaliar a influência dos agregados sobre a permeabilidade e resistência do concreto, bem como tornar o concreto com poros para passagem de água. A dosagem foi feita por volume assegurando a repetibilidade dos traços para fins de análise técnica e comparativa. Toda a água utilizada para a confecção dos corpos de prova foi obtida pela rede municipal, sob responsabilidade da Companhia de Saneamento do Paraná – (SANEPAR). O concreto foi misturado de forma mecânica com a utilização de betoneira a fim de garantir melhor homogeneidade do material.

Considerando que resíduos mistos podem alterar a consistência do concreto, afetando sua trabalhabilidade, após a confecção de cada traço de concreto foi realizado a verificação da consistência das amostras no estado fresco, a partir do ensaio de abatimento pelo tronco de cone, Slump Test, conforme os procedimentos da ABNT NBR 16889 (2020). Conforme ilustrado na Figura 3, o concreto permeável apresentou baixo abatimento, variando entre 1 e 2 cm em todas as amostras. Esse resultado evidencia a reduzida quantidade de água na mistura, o que ocasionou baixa trabalhabilidade e, conseqüentemente, um acabamento superficial insatisfatório.

Figura 3: Resultado do Slump Test



Fonte: Autor (2025)

Após a realização desse procedimento, o material foi despejado em um carrinho de mão para encher os corpos de prova (Figura 4).

Figura 4: Betoneira e carrinho de mão utilizados.

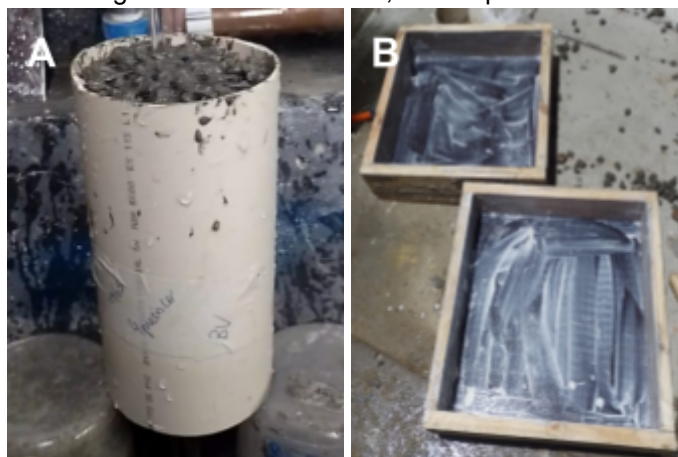


Fonte: Autor (2025)

### 2.4.3 Moldagem dos corpos de prova

Na sequência, foram realizados os procedimentos de preparo, moldagem e cura dos corpos de prova, seguindo os critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR 5738 (2016) - Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Para cada traço de concreto definido foram moldados corpos de provas (CP) para testes de resistência (CP cilíndricos – Figura 5a) e teste de permeabilidade (CP prismático – Figura 5b).

Figura 5: A: CP cilíndrico; B: CP prismático



Fonte: Autor (2025)

Sendo assim, foram feitos 12 CP para cada traço em moldes plásticos (tubos de pvc), com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura fechados na base com uma tampa de pvc, sendo um Volume de  $V = 0,001571 \text{ m}^3$  por CP. Totalizando 60 CP prismático (Figura 6). Para a identificação dos traços foi utilizado fitas coloridas nos CP conforme o traço.

Figura 6: 60 Corpos de Prova cilíndricos, sendo 12 para cada traço.



Fonte: Autor (2025)

Para o CP prismático, foi realizado 1 CP para cada traço, nas dimensões de 40x40x8cm (LxPxA) sendo um Volume de  $V = 0,0128\text{m}^3$  por CP. Totalizando 5 CP prismáticos. Não foi realizada a vibração dos CPs confeccionados para evitar o adensamento e preenchimento dos vazios, que podem interferir na capacidade drenante das amostras de concreto. Foi utilizado desmoldante nos CP antes de inserir o concreto para garantir o desenforme adequado da amostra sem quebras.

Após 24 horas de confecção dos CP, eles foram submetidos à cura por imersão em água, utilizando o próprio CP plástico como recipiente para armazenar a água. No dia do teste o CP foi desmoldado 1 hora antes. O teste de resistência à compressão foi realizado aos 7, 14, 21 e 31 dias após a confecção dos CP's, rompendo-se três unidades de cada traço para obtenção da média ponderada da resistência. Os testes de permeabilidade foram realizados após 60 dias da confecção dos CP's. Esses intervalos de cura possibilitaram a avaliação do desempenho do concreto permeável em diferentes estágios de ganho de resistência, possibilitando uma análise comparativa mais completa entre os traços estudados.

#### 2.4.4 Ensaio tecnológicos

Para o teste de resistência à compressão axial foram seguidos os procedimentos da ABNT NBR 5739 (2018). Os ensaios foram conduzidos aos 7, 14, 21 e 31 dias de cura, permitindo a análise da evolução da resistência ao longo do tempo. O ensaio foi realizado na Prensa hidráulica (Figura 7), que desempenha uma força crescente no CP, identificando o ponto de rompimento. Esse teste permite verificar o impacto da substituição dos agregados convencionais por resíduos reciclados na capacidade mecânica do concreto permeável.

Figura 7: Prensa hidráulica utilizada para rompimento



Fonte: Autor (2025)

O teste de permeabilidade foi realizado a partir do CP prismático após 31 dias de concretagem por meio da avaliação da taxa de infiltração de água através do material, expressa em litros por minuto por metro quadrado (L/min/m<sup>2</sup>). destinada a suspender o corpo de prova, facilitando a observação da passagem da água e a medição do tempo de escoamento através do material. Na base da estrutura, posicionou-se um recipiente para coletar a água percolada, permitindo sua quantificação posterior (Figura 8).

Figura 8: Estrutura teste de permeabilidade



Fonte: Autor (2025)

A fim de mensurar a capacidade de drenagem do concreto nos diferentes traços em função da presença de resíduos, foi realizado o procedimento de permeabilidade. Para isso, foi verificado o tempo necessário para drenagem de 1L de água por cada traço de concreto permeável.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão axial demonstraram que todos os traços apresentaram evolução gradual da resistência ao longo dos períodos de cura (7, 14, 21 e 31 dias). O Quadro 2 e o Gráfico 1 abaixo mostram a média ponderada das resistências para cada traço analisado.

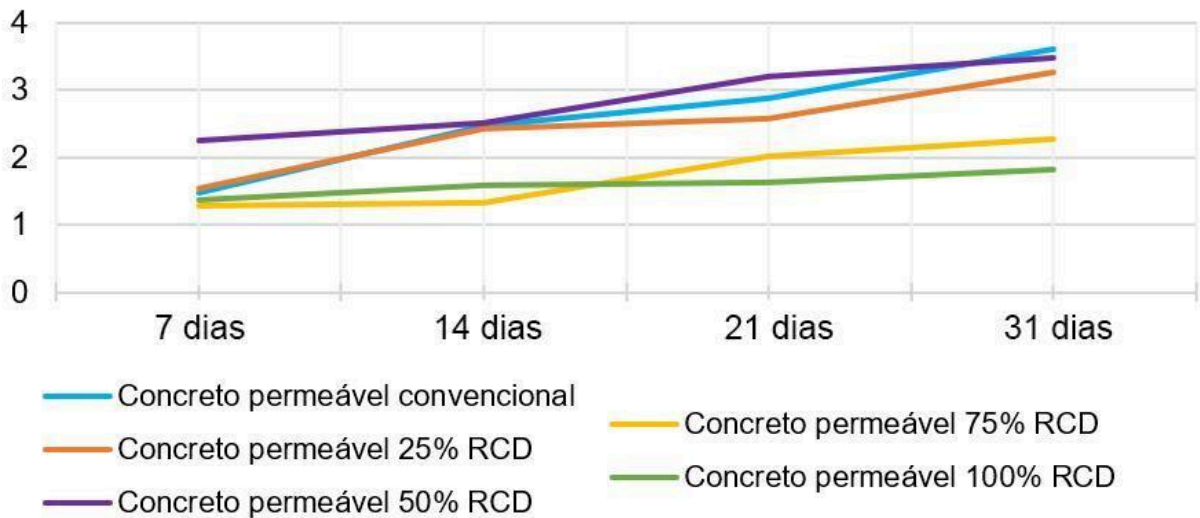
Quadro 2: Média ponderada ensaio de compressão axial com 7, 14, 21 e 31 dias

TRAÇO	MÉDIA (MPa)*			
	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	31 DIAS
Concreto permeável convencional	1,48	2,47	2,87	3,6
Concreto permeável 25% RCD	1,53	2,43	2,57	3,25
Concreto permeável 50% RCD	2,25	2,5	3,2	3,47
Concreto permeável 75% RCD	1,28	1,33	2,02	2,28
Concreto permeável 100% RCD	1,37	1,58	1,63	1,81

\* Referente ao rompimento de 3 CP's

Fonte: Autor (2025)

Gráfico 1: Curva de resistência do concreto permeável em dias



Fonte: Autor (2025)

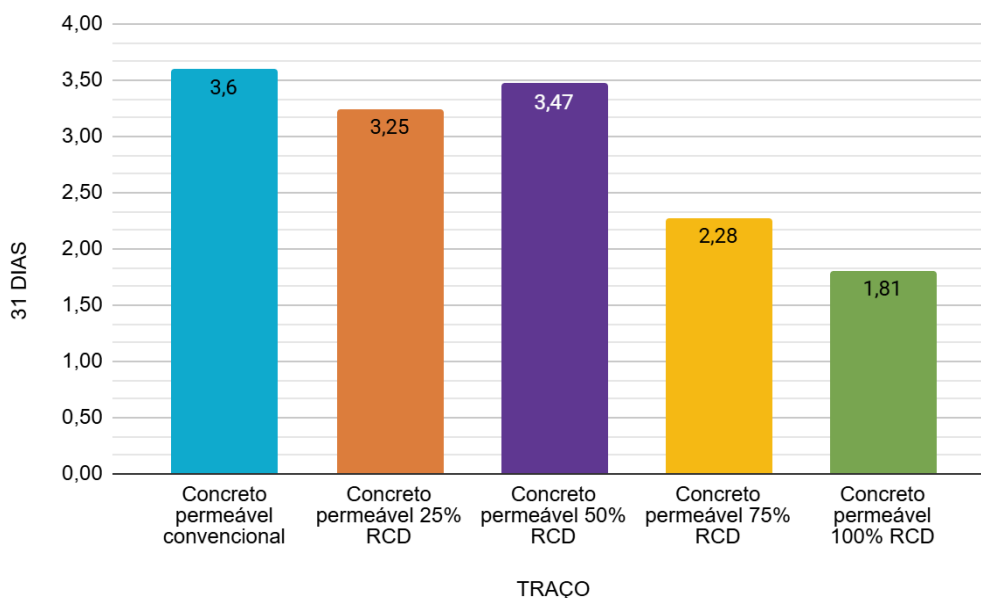
Observou-se que o concreto permeável convencional (TC) atingiu resistência média final de 3,6 MPa aos 31 dias, valor compatível com o esperado para concretos permeáveis de acordo com (Tennis; Leming; Akers, 2004, apud Silveira, 2024). O traço com 25% de substituição por RCD (T25) apresentou desempenho semelhante, atingindo 3,25 MPa, indicando que a substituição parcial não comprometeu de forma significativa a resistência do material.

O traço T50, com 50% de TCD, apresentou o melhor desempenho entre os traços, alcançando 3,47 MPa aos 31 dias. Esse resultado demonstra que, nessa proporção, houve equilíbrio entre a granulometria e a ligação entre as partículas, favorecendo o adensamento e a resistência mecânica.

Já os traços com maior teor de resíduos apresentaram desempenho inferior. O T75 obteve 2,28 MPa, enquanto o T100, composto exclusivamente por RCD, alcançou 1,81 MPa aos 31 dias. A redução da resistência está relacionada à menor aderência entre as partículas e à alta porosidade dos resíduos reciclados, que dificultam a formação de uma matriz cimentícia densa e homogênea. De acordo com Strieder (2021), essas características são típicas dos agregados provenientes de RCD, cuja heterogeneidade e absorção elevada tendem a diminuir a coesão interna do concreto permeável.

De modo geral, verificou-se que os concretos com até 50% de substituição dos agregados graúdos por RCD é viável tecnicamente não apresentando variação significativa de resistência mecânica em comparação ao concreto permeável convencional conforme pode ser observado no Gráfico 2 abaixo.

Gráfico 1: Comparação de resistência do concreto permeável com 31 dias



Fonte: Autor (2025)

### 3.2 ENSAIO DE PERMEABILIDADE

Os resultados do ensaio de permeabilidade são apresentados no Quadro 3. Os tempos médios de drenagem variaram entre 15,7 e 19 segundos, dependendo da porcentagem de RCD utilizado no traço.

Quadro 3: Proporção de agregado nos corpos de prova do concreto permeável.

TRAÇO	TEMPO (SEG)	DRENADO (L)	RETIDO (L)
Concreto permeável convencional	15,7	0,990	0,010
Concreto permeável 25% RCD	16,09	0,980	0,020
Concreto permeável 50% RCD	16,81	0,980	0,020
Concreto permeável 75% RCD	18,8	0,975	0,025
Concreto permeável 100% RCD	19,0	0,970	0,030

Fonte: Autor (2025)

O concreto permeável convencional (TC) apresentou o menor tempo de drenagem, com 15,7 segundos. À medida que aumentou a proporção de resíduos, o tempo de drenagem também aumentou, indicando leve redução na permeabilidade. O traço T25 apresentou tempo médio de 16,09s, e o T50 de 16,81s.

Nos traços com maior teor de RCD, T75 e T100, o tempo de drenagem foi de 18,8s e 19,0s, respectivamente. Essa variação é explicada pela presença de partículas cerâmicas e argamassas nos resíduos, que apresentam maior absorção de água e textura mais porosa. Apesar disso, todos os traços apresentaram

capacidade satisfatória de infiltração, com volume drenado superior a 0,97 L de água por litro aplicado, demonstrando eficiência hidráulica do material.

## **CONCLUSÃO**

O presente estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica do uso de resíduos da construção e demolição (RCD) como substituição parcial do agregado graúdo na produção de concreto permeável. A pesquisa experimental envolveu a confecção de cinco traços distintos, variando de 0% a 100% de substituição, com ensaios de resistência à compressão e de permeabilidade realizados em diferentes períodos de cura.

Os resultados demonstraram que os traços com substituição parcial de até 50% apresentaram comportamento mecânico e hidráulico satisfatório, com resistências médias finais próximas às do concreto permeável convencional e boa capacidade de drenagem. O traço T50 (50% de RCD) destacou-se como o mais equilibrado, atingindo 3,47 MPa de resistência à compressão aos 31 dias e mantendo desempenho eficiente na infiltração de água, configurando-se como o traço de melhor desempenho neste estudo. É importante ressaltar que os resultados podem variar conforme as características do RCD utilizado, uma vez que a composição, granulometria e origem dos resíduos influenciam diretamente a resistência mecânica e a capacidade de drenagem do concreto permeável.

Em contrapartida, a substituição total (T100) não é recomendada, devido à expressiva redução na resistência à compressão. Entretanto, mesmo nesse caso, o concreto manteve boa capacidade drenante, o que reforça o potencial do RCD como material alternativo e sustentável na construção civil.

Conclui-se que o aproveitamento de resíduos da construção e demolição em concretos permeáveis é uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente vantajosa, pois contribui para a redução do descarte inadequado, diminui a extração de agregados naturais e promove práticas alinhadas à sustentabilidade e à economia circular na construção civil.

Recomenda-se, para estudos futuros, a investigação do uso de aditivos e diferentes proporções de água/cimento, de modo a otimizar o desempenho mecânico sem comprometer a permeabilidade do material. Sugere-se que pesquisas futuras aprofundem a investigação sobre a durabilidade e manutenção do concreto

permeável, especialmente quanto ao risco de entupimento dos poros ao longo do tempo. A obstrução parcial das aberturas do concreto, causada pelo acúmulo de partículas sólidas, poeira e matéria orgânica, pode reduzir significativamente sua capacidade de drenagem e comprometer o desempenho hidráulico do sistema.

Além disso, recomenda-se que estudos futuros abordem o acabamento superficial do concreto permeável, uma vez que, neste estudo, observou-se baixa trabalhabilidade, resultando em um aspecto rústico do material. Essa característica pode representar uma limitação estética e funcional em determinadas aplicações, tornando pertinente a investigação de métodos de adensamento, moldagem ou tratamentos superficiais que melhorem a aparência e a textura sem comprometer a permeabilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESC. **Manual de calçada de concreto permeável**. São Paulo: Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil – ABESC, 2025. Disponível em: <<https://www.abesc.org.br/wp-content/uploads/2025/02/Manual-Calçada-de-Concreto-Permeavel.pdf>> Acesso em: 05 ago. 2025.

ALVES, P. B. **Concreto permeável para pavimentação urbana com uso de resíduos de construção e demolição produzidos na usina de reciclagem de São José do Rio Preto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016, 90f. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/ed09a08c-1285-45fd-bbd2-2b8b7a90d92c/content>> Acesso em: 5 ago. 2025.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro. 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 16889 - Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro. 2022.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E.; Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, n. 358, p. 178–189, abr. 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ce/a/8v5cGYtby3Xm3Snd6NjNdtQ/?format=pdf&lang=pt>> Acesso em 02 abr. 2025

BRASILEIRO, K. P. T. V. *et al.* Concreto permeável com agregado da reciclagem de resíduos da construção e demolição: revisão bibliográfica. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.6, n.9,p. 73169-73180, sep.2020. ISSN 2525-876. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/17460/14171>> Acesso em 05 ago. 2025.

COSTA, F. B. P. **Análise e desenvolvimento de misturas de concreto permeável para aplicação em pavimentação**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/201344/001105445.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 5 ago 2025.

FONTES; A. R. M.; BARBASSA, A. P. Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e da Impermeabilização Urbana. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 8, n.2, abr/jun 2003. p. 137 – 142. Disponível em: <[https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/36/333321ad2e0442b968f474b40381eaa3\\_dc3b9defd64e615362eb9f6cfa30bcc1.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/36/333321ad2e0442b968f474b40381eaa3_dc3b9defd64e615362eb9f6cfa30bcc1.pdf)> Acesso em: 01 abr. 2025.

FRIGO, J. P.; SILVEIRA, D. S. da. Educação ambiental e construção civil: práticas de gestão de resíduos em Foz do Iguaçu-PR. **Revista Monografias Ambientais**, v. 9, n. 9, p. 1938–1952, 2012. DOI: 10.5902/223613085678. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/5678>> Acesso em: 02 abr. 2025.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 7. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2022. E-book. ISBN 9786559771653. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559771653/>> Acesso em: 14 mai 2025.

JAHN, L.C. **Influência do tamanho e teor de agregado nas propriedades do concreto permeável**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão.

JUSTINO, E. A.; PAULA, H. M.; PAIVA, E. C. R.; Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG. **Espaço em Revista**, Catalão, v. 13, n. 2, 2011. DOI: 10.5216/er.v13i2.16884. Disponível em: <<https://periodicos.ufcat.edu.br/index.php/espaco/article/view/16884>> Acesso em: 01 abr. 2025.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LIMA, M. da S. *et al.* Influência do resíduo de construção e demolição como agregado na produção de concreto para pavimentos permeáveis. **Revista Principia**, [S.l.], v. 62, 2025. DOI: 10.18265/2447-9187a2024id8566. Disponível em: <<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/8566>> Acesso em: 4 ago. 2025.

MURARA, P.; MENDONÇA, M.; Variabilidade e Tendências das Precipitações Pluviais em Rio do Sul – SC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 6, p. 1996–2007, 2019. DOI: 10.26848/rbgf.v12.6.p1996-2007. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/240203>> Acesso em: 02 abr. 2025.

NUNES, E. D.; ROSA, L. E.; Compactação e impermeabilização do solo e implicações nos canais fluviais urbanos. **Mercator**, Fortaleza, v. 19, e19023, 2020. ISSN:1984-2201. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/mercator/a/VzdLrFcZS75v7TNSSmn3xNC/?format=pdf&lang=pt>> Acesso em 02 abr. 2025

RAMOS, A. M.; Mudanças climáticas; Equação de chuvas intensas; Drenagem urbana. 2010. 160 f. Tese (Doutorado Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010. Disponível em: <[https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5111/1/arquivo2385\\_1.pdf](https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5111/1/arquivo2385_1.pdf)> Acesso em 02 abr. 2025.

SCHWETZ, P. F. *et al.* Concreto permeável: otimização do traço para pavimentação de fluxo leve. **CONPAT**, Lisboa, set. 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Alexandre-Lorenzi/publication/279513221\\_Concreto\\_permeavel\\_otimizacao\\_do\\_traco\\_para\\_pavimentacao\\_de\\_fluxo\\_leve/links/5593f96708ae5af2b0ecde7a/Concreto-permeavel-otimizacao-do-traco-para-pavimentacao-de-fluxo-leve.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alexandre-Lorenzi/publication/279513221_Concreto_permeavel_otimizacao_do_traco_para_pavimentacao_de_fluxo_leve/links/5593f96708ae5af2b0ecde7a/Concreto-permeavel-otimizacao-do-traco-para-pavimentacao-de-fluxo-leve.pdf)> Acesso em: 05 ago. 2024.

SILVA, O. H. *et al.* Etapas do gerenciamento de resíduos da construção civil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Ed. Especial GIAU-UEM, Maringá – PR Santa Maria, v. 19, 2015, p. 39 – 48. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Otavio-Silva-6/publication/338657264\\_Etapas\\_do\\_gerenciamento\\_de\\_residuos\\_da\\_construcao\\_civil\\_-\\_Construction\\_and\\_demolition\\_waste\\_management\\_stages/links/5e21e02a92851cafc38c6589/Etapas-do-gerenciamento-de-residuos-da-construcao-civil-Construction-and-demolition-waste-management-stages.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Otavio-Silva-6/publication/338657264_Etapas_do_gerenciamento_de_residuos_da_construcao_civil_-_Construction_and_demolition_waste_management_stages/links/5e21e02a92851cafc38c6589/Etapas-do-gerenciamento-de-residuos-da-construcao-civil-Construction-and-demolition-waste-management-stages.pdf)> Acesso em: 01 abr. 2025.

SILVEIRA, F. D. **Desenvolvimento e caracterização de misturas de concreto permeável utilizando aditivo plastificante polifuncional e aditivo modificador de viscosidade**. 2024. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) — Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2024.

STRIEDER, H. L. **Estudo do uso de agregados de concreto reciclado em concreto permeável para pavimentos**. 2021. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do

Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em:  
<<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/230172/001131674.pdf>> Acesso em: 5  
ago. 2025.