

USO DE AGREGADO BASÁLTICO RECICLADO EM PAVIMENTOS DRENANTES MOLDADOS *IN LOCO*.

Marcele Rockenbach Neutzling ¹
Marcelo Adriano Duarte ²

Resumo

A demanda mundial por recursos naturais para construção civil tem sido cada vez mais alta devido a aceleração das economias e demandas por obras de infraestrutura e residenciais. Neste sentido a reciclagem de matéria prima deve estar no mesmo ritmo para existir construções sustentáveis. Neste estudo verificou-se a viabilidade do uso de resíduos da construção civil (RCC) como agregado reciclado de concreto (ARC), para produção de concreto permeável para fins de pavimento drenante, para isso foi realizado ensaios laboratoriais de caracterização mecânica (resistência à compressão axial simples) e condutividade hidráulica). Foram produzidas três diferentes misturas com variação do tipo de agregado entre brita natural e ARC (40 e 10% do total de agregados). O material ARC adicionado a 40% apresentou valores de condutividade hidráulica na ordem de 0,14 cm/s superando o material natural (vendido no mercado de materiais), indicando que é um material com boa capacidade drenante. Em relação às características mecânicas, o material apresentou resistência à compressão axial simples na casa de 7 MPa, aproximadamente, apontando que o material atende a norma ABNT NBR 16416/2015 que exige 2,0 MPa para concretos drenantes moldados in loco. A análise global de resultados de laboratório permite concluir que é tecnicamente viável, e ambientalmente desejável, o emprego de agregados de concreto reciclado na produção de concreto permeável, podendo assim ser utilizado como revestimento de pavimentos drenantes para áreas de veículos leves.

Palavras-Chave: Agregado reciclado. RCC. Concreto permeável. Pavimento drenante.

1 INTRODUÇÃO

A acelerada urbanização no Brasil traz significativos problemas de infraestrutura como: necessidade de sistemas de abastecimento de água, de coleta e tratamento de esgoto, mobilidade urbana além da ocupação desordenada do solo, gestão de resíduos, saneamento básico, dentre outros. Dentro deste contexto, ainda deve-se levar em conta aspectos como a impermeabilização solo, drenagem de águas pluviais, tratamento e destinação adequada de resíduos urbanos (VIDAL, 2014).

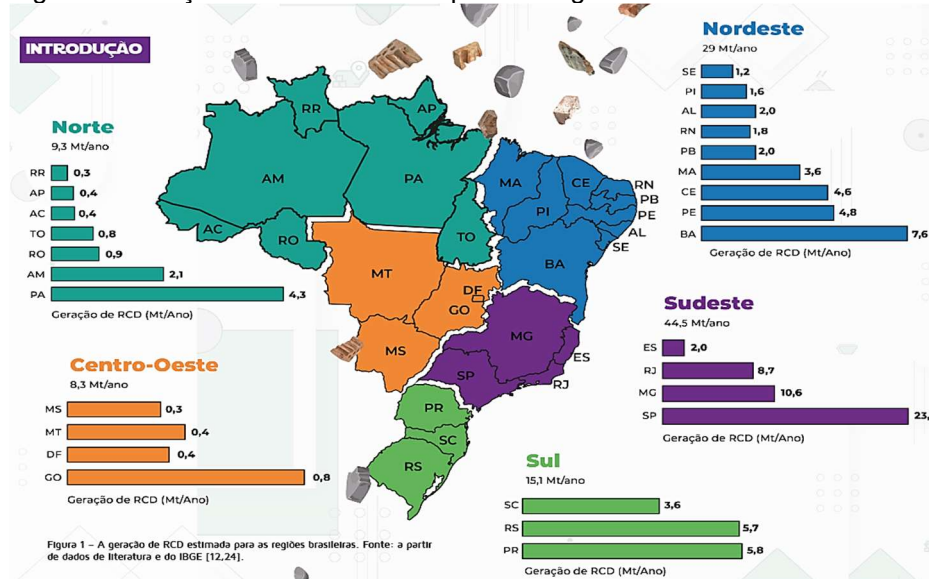
A geração de Resíduo da Construção Civil (RCC) no Brasil continua ainda sendo um problema ambiental. Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (2021), em 2020 a coleta de RCD (Resíduo da Construção e Demolição) teve um crescimento de 5,5%, representando cerca de 47 milhões de toneladas, ou seja 221,2 Kg

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Criciúma. E-mail: marcele.m@aluno.ifsc.edu.br

² Engenheiro civil, doutor, docente do Núcleo de Construção Civil do IFSC Campus Criciúma, SC.
E-mail: marcelo.duarte@ifsc.edu.br

habitante/ano. Tendo em vista que ao longo da vida útil de habitações e obras de infraestrutura, as reformas e demolições são essenciais para manter o uso destas edificações. A Figura 1 apresenta, segundo Pesquisa Setorial da Abrecon, a geração de RCD estimada para as regiões brasileiras (ABRECON, 2022).

Figura 1: Geração de RCD estimada para as regiões brasileiras



Fonte: (ABRECON, 2022)

Quando o RCC é depositado em vias públicas eles podem ser levados pelas chuvas e assim contaminar o lençol freático, entupir bueiros e galerias de águas pluviais, causando enchentes que podem causar doenças como leptospirose gerando elevados custos públicos. Para tornar viável a reciclagem dos resíduos da construção, os mesmos devem ser gerenciados corretamente, reduzindo pontos de descarte clandestinos de entulho e reduzindo significativamente o uso de matérias primas naturais (ABRECON, 2022).

Na região de Criciúma, como em qualquer outro município brasileiro, não é difícil encontrar resíduos da construção civil depositados de forma irregular nas vias urbanas. Zonas periféricas das cidades com proximidade a matas, rios e terrenos são locais onde estes detritos são normalmente depositados. A Figura 2, exemplifica o descarte de resíduos sólidos de construção civil inadequado em via pública no município de Criciúma.

Figura 2: Descarte de resíduos de construção em via pública



Fonte: Autor (2023).

Diversos estudos apontam possibilidades de uso como camada estrutural de pavimentos, especialmente em vias de baixo/médio tráfego (Strieder, 2021 apud Sangiorgi et al., 2015; Cardoso et al., 2016). Alguns pesquisadores destacam que o agregado reciclado pode ser utilizado no concreto (Strieder, 2021 apud Ismail et al., 2017).

A principal justificativa desta pesquisa foi produzir um concreto permeável que proporcione preservação das jazidas naturais e menor impacto ambiental através do reaproveitamento dos resíduos gerados na construção civil. Para isso foi testado o uso de RCC em substituição parcial do agregado natural. Usando o RCC evita-se que estes sejam descartados de forma inadequada nas vias públicas e em outros espaços do ambiente e ainda se reduz a demanda por agregados de origem natural.

O concreto permeável tem por finalidade pavimentos drenantes, este tipo de pavimento auxilia a drenagem urbana, diminuindo enchentes e permitindo a infiltração da água no solo, podendo gerar conforto térmico para população urbana, a fim de amenizar a temperatura, neste contexto sugere-se para futuros trabalhos a análise do uso do pavimento drenante como alternativa para melhoria do microclima urbano.

Nesse contexto, assim como Strieder (2021), nesta pesquisa visou-se a busca por uma alternativa conjunta aos problemas urbanos relacionados à impermeabilização do solo, à disposição inadequada de resíduos e ao esgotamento das fontes de recursos naturais. Estes temas enquadram-se como instrumento para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), em atendimento às metas dos Objetivos 6, 9, 11, 12 e 13, que se referem à implementação de políticas e planos para a eficiência dos recursos naturais, que buscam o incentivo do reuso da água, construção de infraestruturas sustentáveis, uso eficiente dos recursos naturais e o emprego de medidas para combater mudanças climáticas e seus impactos nas comunidades (ONU, 2015).

1.1 Fundamentação teórica

1.1.1 Resíduos de Construção Civil (RCC)

As nomenclaturas Resíduos da Construção e Demolição (RCD) e Resíduos da Construção Civil (RCC), têm sido empregadas no meio acadêmico com o intuito de designar os resíduos sólidos nas atividades de construção e demolição, também conhecidos popularmente como “entulhos” (Moraes, 2006 apud Vidal, 2014).

A demanda por materiais de construção e a produção de resíduos da construção civil vem crescendo nas últimas décadas (Matias et al., 2013 apud Lima, 2018). Esses aspectos causam impactos ao meio ambiente. Descartando de forma irregular os resíduos de construção e demolição, os mesmo originam riscos à saúde do ser humano e podem afetar o lençol freático pelo fato de conterem poluentes e substâncias nocivas, além disso as construções demandam extração de matéria prima de fontes não renováveis (Lima, 2018).

A quantidade de resíduos de demolição gerados na União Europeia, em média, é de uma tonelada per capita, e o total dos RCC produzidos chegam a aproximadamente 450 milhões de toneladas por ano. Os resíduos provenientes de movimentação de terra como escavação de solo e construção de estradas podem chegar a cerca de 180 milhões de toneladas por ano. Resíduos gerados em edificações podem chegar em torno de 270 milhões de toneladas por ano, destes apenas 28% são reutilizados ou reciclados, o restante, 72%, ou seja, 130 milhões de toneladas são destinados a aterros sanitários ou incinerados.

De acordo com a Resolução Nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), define-se agregado reciclado como: “material granular derivado do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia”.

Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplenagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações, como os componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

Esses resíduos gerados nas construções de edificações poderão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou conduzidos a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir o seu emprego ou reciclagem futura.

Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

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

Classe D: são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

1.1.2 Uso do agregado reciclado no concreto permeável

Strieder (2021), explica que a procedência do agregado reciclado, o processo de britagem e a composição da mistura interferem diretamente no desempenho do

concreto permeável. Desta forma, a autora afirma que as propriedades mecânicas e hidráulicas da massa permeável estão relacionadas a dimensão máxima dos agregados reciclados e a distribuição granulométrica. Sendo que de modo geral os pesquisadores utilizam curvas granulométricas uniformes, com diâmetros variando entre 4,75 e 25mm, com exclusão de finos.

Através de análise microscópica de misturas permeáveis com agregado reciclado de concreto, pesquisadores apontam que a quantidade de pasta diminui consideravelmente à medida que aumenta a proporção de agregados reciclados na mistura e devido a esse aspecto, em geral, os agregados reciclados necessitam uma maior quantidade de pasta de cimento para produzir misturas com melhor trabalhabilidade (Strieder, 2021).

Em sua pesquisa, Strieder (2021) aponta a presença de argamassa que envolve o grão de agregado seja uma das principais causas para a redução do desempenho mecânico das misturas recicladas. Através de análise microscópica foi verificado que o caminho de falha está presente na ligação entre agregado e argamassa aderida (Strieder, 2021 apud Yap *et al.*, 2018).

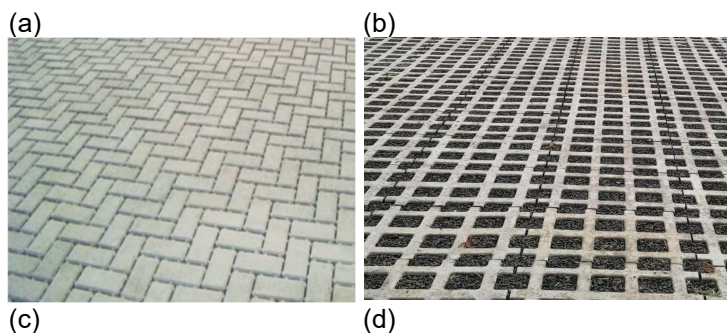
A condutividade hidráulica está diretamente relacionada a fatores como tamanho e forma do agregado, relação água/cimento, proporção cimento: agregado, quantidade de finos, entre outros. A angularidade do agregado reciclado causa redução da trabalhabilidade, dificuldade de adensamento e aumento dos vazios da mistura podem contribuir para melhor condutividade hidráulica (Strieder, 2021). Ainda elevada porosidade do agregado reciclável favorece a condutividade hidráulica, pois há uma maior rede de poros que permite a infiltração da água através do concreto permeável (Strieder, 2021 apud Yap *et al.*, 2018).

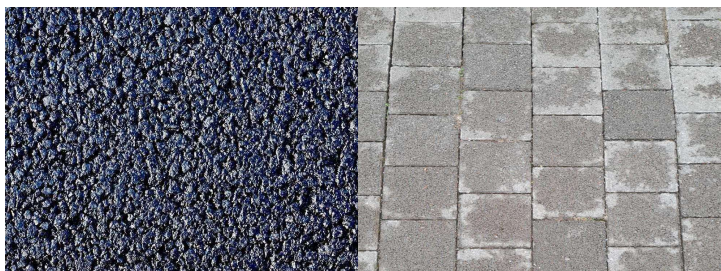
1.1.3 Pavimento drenante

A Norma ABNT/NBR 16416/2015 - Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos define pavimento permeável como pavimento que atende simultaneamente às solicitações de esforços mecânicos e condições de rolamento e cuja estrutura permite a percolação e/ou o concentração temporária de água, diminuindo o escoamento superficial, sem causar deterioração a estrutura.

Existem quatro tipos de revestimento para pavimentos permeáveis: cuja percolação da água é realizada pelas juntas alargadas (a); revestimento de peças de concreto com áreas vazadas (b); revestimento de concreto permeável moldado no local (c); e, por fim, revestimentos constituídos por placas de concreto permeável (d). Estes revestimentos são ilustrados na Figura 3 (NBR 16416, 2015).

Figura 3 - Tipos de revestimento para pavimentos permeáveis





Fonte: NBR 16416 (2015) adaptada pela autora (2023)

O sistema de infiltração pode ser configurado de três diferentes formas em relação à água precipitada, para escolher o sistema deve-se levar em consideração o tipo de solo ou condicionantes de projeto. No sistema de infiltração total, toda água precipitada alcança o subleito e se infiltra (a); no sistema parcial parte da água precipitada alcança o subleito e se infiltra, porém parte da água fica temporariamente armazenada na estrutura permeável, sendo depois removida pelo dreno (b); já no sistema sem infiltração, a água precipitada fica temporariamente armazenada na estrutura permeável e não infiltra no subleito, sendo depois removida pelo dreno (c).

A espessura e a resistência mínima do revestimento permeável dependem do tipo de solicitação que ele irá sofrer. O quadro 1 apresenta as especificações que o material deve atender.

Quadro 1 - Especificações para aplicação dos revestimentos de acordo com o tipo de tráfego

Tipo de Revestimento	Tipo de Solicitação	Espessura mínima	Resistência mecânica característica	Método do Ensaio
Peça de Concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60	≤ 35,0	NBR 9781
	Tráfego leve	80		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60	≤ 20,0	NBR 15805
	Tráfego leve	80		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60	≤ 2,0	
	Tráfego leve	80		
Concreto permeável no local	Tráfego de pedestres	60	≤ 1,0	NBR 12142
	Tráfego leve	100	≤ 2,0	

Fonte: NBR 16416 (2015).

1.1.4 Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica também denominada como permeabilidade, taxa de percolação ou coeficiente de permeabilidade é um dos parâmetros mais importantes do concreto permeável, uma vez que ela descreve a facilidade com que a água pode passar através da mistura (Strieder, 2021).

Na literatura são comumente utilizados dois métodos de medir a permeabilidade do concreto: parâmetro de carga variável e o parâmetro de carga constante. Ambos os métodos utilizam um permeâmetro, mas o que muda é o procedimento de ensaio

(Strieder, 2021). Batezini (2013) observou que a maioria dos autores utilizam permeâmetros de carga variável por serem mais práticos. Para este tipo de ensaio, mede-se o tempo para uma determinada coluna de água passar pela amostra. Já no permeâmetro de carga constante, o sistema deve ser constantemente abastecido e é determinada a quantidade de água que passa pela amostra em um intervalo de tempo (NBR 13292, 1995; NBR 14545, 2000). A Figura 4 mostra uma das amostras de concreto permeável realizadas na presente pesquisa.

Figura 4 - Amostra do concreto permeável realizado na presente pesquisa



Fonte: Autor (2023)

Batezini (2013), aponta que de acordo com conceitos básicos de mecânica dos solos, materiais com elevada permeabilidade, com k maior que $0,01 \text{ cm/s}$, é recomendado utilizar para determinação da condutividade hidráulica o ensaio de carga constante, onde a altura da coluna de água não varia. Quando se tem condutividade hidráulica muito baixas, deve-se utilizar o ensaio de carga variável, pois se tornaria inviável manter a carga constante por estes materiais, em função do tempo requerido para passagem da água pela sua estrutura.

Um dos principais problemas encontrados nos pavimentos de concreto permeável se dá em função da capacidade drenante, devido a selagem da camada de revestimento. Isto ocorre devido ao excesso de compactação da superfície durante o processo construtivo, assim os vazios ficam entupidos tornando o revestimento impermeável. Outro fator que pode interferir na permeabilidade do pavimento ao longo do tempo, se dá devido à incrustação de partículas de areia ou solo nos poros do revestimento de concreto, também denominada colmatação (Batezini, 2013).

1.2 Objetivo do estudo

O trabalho teve como objetivo geral avaliar a viabilidade da utilização de agregados de concreto reciclado no concreto permeável para fins de pavimentos drenantes, através de critérios mecânicos e hidráulicos. Buscando complementar e subsidiar a análise, o Quadro 1 apresenta os objetivos específicos do pesquisa:

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente no item 2.1 será apresentado os materiais utilizados como agregados e sua caracterização, posteriormente o aglomerante mineral. Na sequência, no item 2.2 os métodos de ensaios utilizados nesta etapa da pesquisa.

2.1 MATERIAIS

Neste item são apresentados os materiais utilizados na pesquisa, como agregado natural, agregado reciclado de concreto e o aglomerante mineral, Cimento Portland Composto com Pozolana (CP II Z 32), os materiais passaram por processos de caracterização e quantificação prévia.

2.1.1. Agregados

2.1.1.1 *Natural*

O agregado natural utilizado na pesquisa é de origem basáltica, comercialmente conhecido como pedrisco ou brita 0, fornecida pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil do IFSC campus Criciúma. Decidiu-se utilizar uma composição granulométrica disponível na maioria das pedreiras do Brasil, desta forma tende reduzir o preço da produção de concreto permeável. Este material foi devidamente preparado passando por processo de peneiramento prévio para retirada de impurezas, sendo utilizado apenas o material retido nas peneiras 6,3 mm e 4,75 mm, as frações maiores que 9,5 mm e as frações menores que 4,8 mm foram retiradas do peneiramento. A Figura 5 mostra o agregado natural utilizado na pesquisa.

Figura 5 - Agregado natural



Fonte: Autor (2023)

2.1.1.2 *Reciclado*

Para substituição parcial do agregado natural, foi utilizado o agregado reciclado de concreto (ARC), conhecido também como RCC cinza. Este material foi disponibilizado pelo Laboratório de Materiais de Construção do IFSC, tendo como origem a fragmentação de um pilar, o qual seria descartado após demolição. O resíduo foi coletado e triturado por um britador de mandíbulas com abertura de, aproximadamente, 30 mm. Após a britagem, o material foi armazenado em tambores com tampas. A Figura 6 mostra o agregado reciclado utilizado na pesquisa.

Figura 6 - Agregado reciclado



Fonte: Autor (2023)

2.1.1.3 Caracterização dos agregados

Foram estudadas três diferentes misturas com variação do tipo do agregado e percentual de mistura entre ambos. Na Figura 5, é apresentada a distribuição granulométrica do agregado natural e na Figura 6 apresenta a distribuição granulométrica do agregado reciclado.

Alguns materiais foram adquiridos e passaram apenas por processos de secagem e remoção de resíduos por peneiramento, caso dos agregados naturais.

A seguir, passa-se a descrição dos materiais, seus tratamentos empregados e métodos de produção de materiais e amostras.

Agregados

Agregados para concreto: Especificação. Também realizados ensaios segundo ABNT NBR NM 16972:2021: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios, para fornecer parâmetros para cálculo do consumo de materiais.

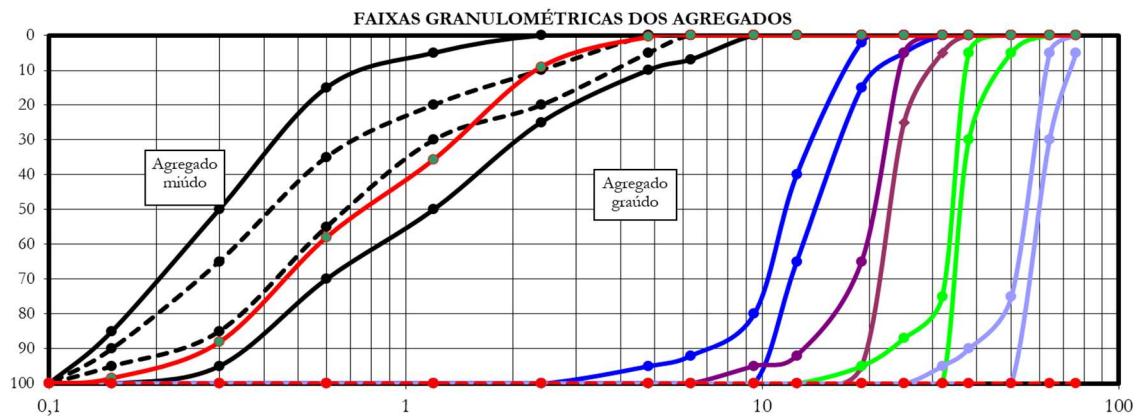
Foi utilizada material de origem basáltica (pedrisco).

Tal procedimento foi necessário pois os corpos de prova para os ensaios de compressão foram adaptados em dimensões reduzidas para economia de material.

A análise granulométrica segue a curva abaixo, realizada conforme norma ABNT NBR NM ABNT NBR 17054:2022- Agregados - Determinação da composição granulométrica-método de ensaio, conforme 25.

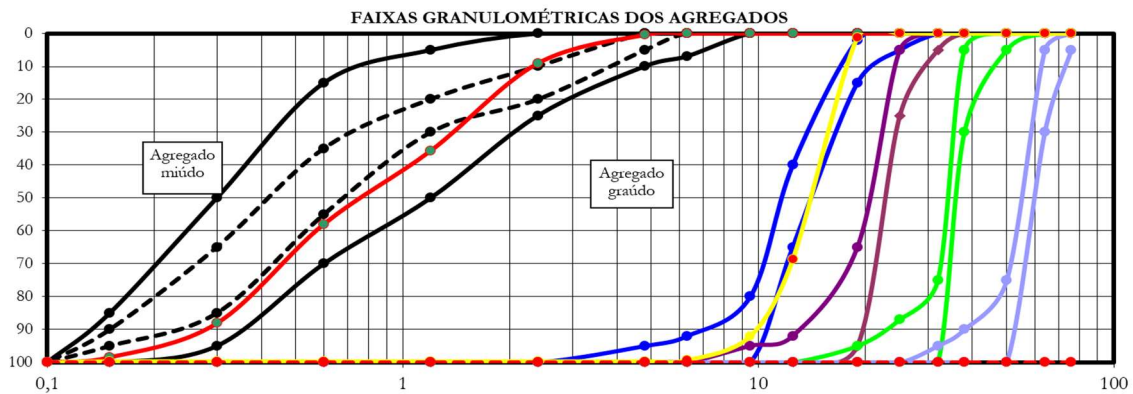
Tal procedimento foi necessário pois os corpos de prova para os ensaios de compressão foram adaptados em dimensões reduzidas para economia de material. A análise granulométrica segue a curva abaixo, realizada conforme norma ABNT NBR NM ABNT NBR 17054:2022- Agregados - Determinação da composição granulométrica-método de ensaio, conforme 25

Figura 8 - Distribuição granulométrica da Brita Natural.



Fonte: Autor (2023)

Figura 9 - Distribuição granulométrica do Agregado Reciclado



Fonte: Autor (2023)

2.1.2 Aglomerante mineral

O cimento utilizado foi o Cimento Portland composto de material Pozolânico (CP II - Z) com classe de resistência a compressão de 32 MPa aos 28 dias de idade, contendo de 6 a 14% de pozolana, conforme a ABNT NBR 7215/2019. Este material foi devidamente armazenado em recipiente que não reage com o cimento e vedado para que não houvesse hidratação. Este foi o cimento que o Laboratório de Materiais de Construção do IFSC disponibilizou para uso na pesquisa. Além disso, este cimento é utilizado para diversas aplicações e tem boa resistência a ambientes agressivos, podendo ser utilizado como argamassa assentamento e revestimento, concreto armado, calçadas e pavimentos de concreto.

O aglomerante mineral atende às especificações da ABNT NBR 16697/2018, conforme a Quadro 2.

Quadro 2 – Cimentos brasileiros conforme norma ABNT NBR 16697/2018.

Tipo	sigla	% de clínquer*	Composição (% em massa)		
			Escória de Alto Forno	Material Pozolânico	Filer Calcário
			E	Z	F
Comum	CP I	100	0	0	0
Composto	CP II-E	56 - 94	6 - 34	0	0 - 10
	CP II-Z	76 - 94	0	6 - 14	0 - 10
	CP II-F	90 - 94	0	0	6 - 10
Alto Forno	CP III	25 - 65	35 - 70	0	0
Pozolânico	CP IV	45 - 85	0	15 - 50	0
Alta Resistência Inicial	CP V - ARI	95 - 100	0	0	0 - 5
Branco	CPB	50 - 74	0	0	26 - 50
Branco Estrutural	CPB (25,32 e 40)	75 - 100	0	0	0 - 25

* já considera a adição de gesso

Fonte: NBR 16697 (2018)

2.2 MÉTODOS

As misturas em estudo foram avaliadas através de ensaios de parâmetros hidráulicos, através da condutividade hidráulica, de propriedades mecânicas, através da resistência à compressão axial simples. A seguir, serão apresentados os métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa.

2.2.1 Procedimento de dosagem e produção

2.2.1.1 Método de dosagem

Assim como Batezini (2013), as dosagens realizadas na pesquisa foram definidas a partir da revisão da literatura, de modo que não existe procedimento documentado para dosagem de concreto permeável. Para avaliar qual seria a variação dos parâmetros de permeabilidade e resistência mecânica, optou-se por estudar três traços com variação do tipo de agregado. As proporções de cada dosagem são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 3 – Proporção dos traços

Traço	Agregado Natural (%)	ARC (%)
t1		100
t1/t2	60	40
t2	100	

Fonte: Autor (2023)

O consumo de cimento e agregado utilizados foram de 45,18 kg/m³ e 135,54 kg/m³, respectivamente, representando uma proporção cimento/agregado de 1:3. A Tabela 2 apresenta a quantidade de agregado necessária para produção de um copo de prova para cada um dos traços, sendo considerado uma margem de perda de 100%.

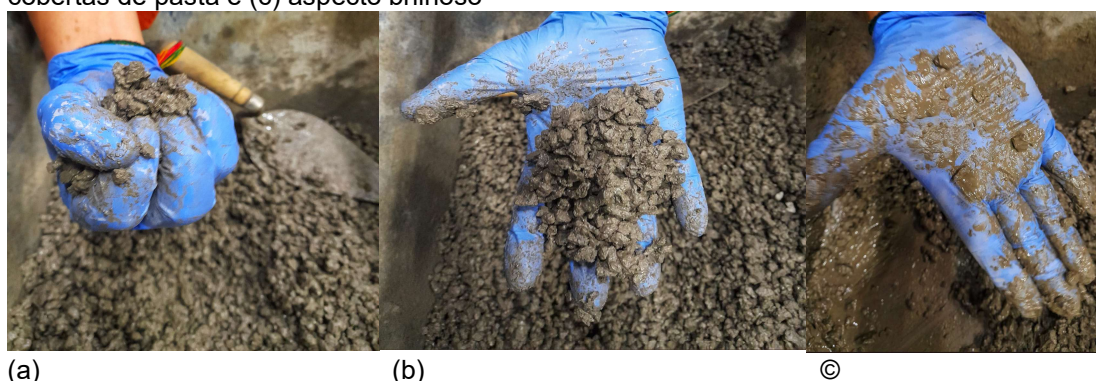
Tabela 2 - Consumo de material

Traço	Agregado Natural (g)	ARC (g)
t1		2.128,00
t1/t2	1.276,80	851,20
t2	2.128,00	
Total	3.404,80	2.979,20
Margem (100%)	6.809,60	5.958,40

Fonte: Autor (2023)

A quantidade de água foi ajustada para cada mistura em função da análise tátil-visual das misturas, conforme mostrado na figura 10. Para o teste de consistência do concreto permeável pegou-se uma parte da mistura com a mão utilizando uma luva e apertou-se a mesma com a mão, posteriormente soltou-se a massa e analisou-se o aspecto da pasta de cimento que ficou na luva, a consistência ideal foi quando a pasta apresentou brilho considerável sem que a pasta escorregasse pela superfície da luva.

Figura 10. Ajuste da consistência do concreto permeável: (a) comprimindo na luva, (b) partículas cobertas de pasta e (c) aspecto brilhoso

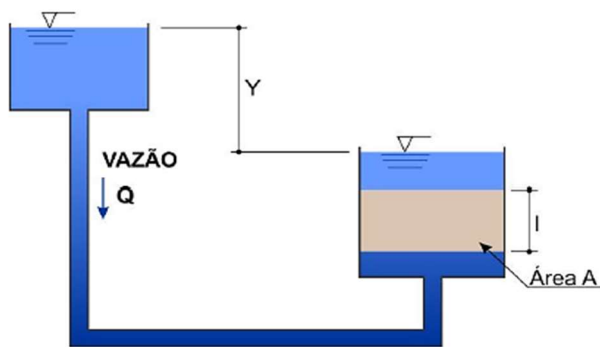


Fonte: Autor (2023)

2.2.2 Condutividade Hidráulica

O ensaio de condutividade hidráulica foi realizado considerando-se empregando um permeâmetro com carga constante como mostra a Figura 11. Foram realizadas três leituras e considerada a média para o cálculo do coeficiente de permeabilidade. O cálculo foi realizado a partir da Lei de Regime de Escoamento proposta por Darcy.

Figura 11. Esquema de execução do ensaio de permeabilidade



Fonte: Pinto (2011).

Para realização dos ensaios foi utilizado permeâmetro disponível no Laboratório Materiais e Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul -rio-grandense campus Pelotas. O equipamento utilizado é munido em sua parte inferior e superior por dois Cap de PVC onde o corpo de prova é posicionado. Com finalidade de facilitar o ensaio, os corpos de prova foram moldados em tubos de PVC de diâmetro de 100 mm, com altura de 20 cm, na Figura 12, apresenta o corpo de prova moldado no tubo de PVC, assim encaixando na base e no topo do equipamento. Na figura 13 é apresentado o permeâmetro utilizado.

Figura 12 -Corpos de prova moldados em tubo de PVC



Fonte: Autor (2023).

Figura 13 -Permeâmetro de carga constante



Fonte: Autor (2023).

Para o controle da coluna d'água foram realizadas inúmeras tentativas para encontrar o nível constante, em função de ocorrer muita variação na velocidade d'água, portanto optou-se por utilizar a extravasão d'água entre o topo da bureta graduada (na imagem, a bureta encontra-se fixada num suporte de madeira fixado na parede) e a saída do tubo de entrada de água. Assim pode-se manter o fluxo laminar da água constante, não variando em função da velocidade do líquido.

O ensaio consistiu em posicionar a amostra entre os Cap de PVC, para que o Cap superior não soltasse em função da velocidade d'água, foi colocado pesos sobre a tampa. Em seguida, liberou-se o fluxo para que todo o sistema ficasse preenchido com água. A água de saída foi coletada em uma proveta graduada de 1.000 ml, cronometrando-se o tempo de coleta. De posse do volume e do tempo decorrido na coleta, foi possível determinar a condutividade hidráulica da amostra a partir da equação (1) a seguir.

$$k = \frac{Q \times L}{I \times A} \quad (1)$$

Onde:

k: condutividade hidráulica (cm/s);

Q: vazão (cm³/s);

L: altura da amostra (cm);

I: gradiente hidráulico. (I=Y/L Onde: L= altura da amostra Y=carga hidráulica);

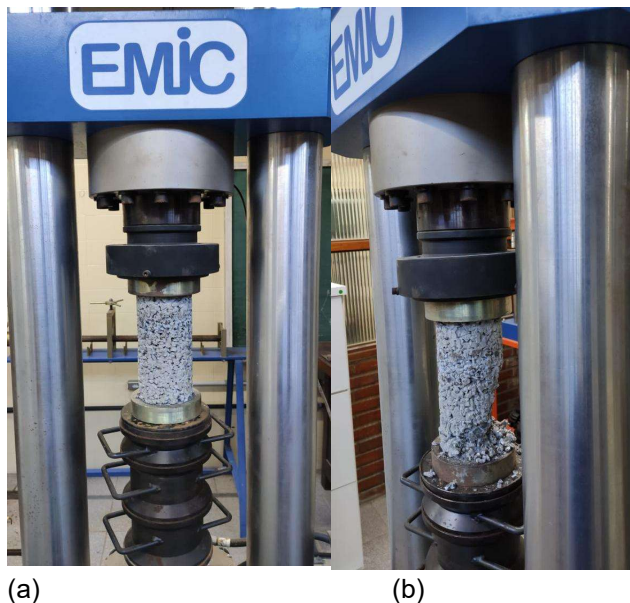
A: área da amostra onde flui a água (cm²)

2.2.3 Resistência à compressão axial simples

Os ensaios de resistência à compressão axial simples foram realizados seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2018). O ensaio ocorreu no Laboratório Materiais e Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul -rio-grandense campus Pelotas, onde a prensa universal é uma máquina Emic DL20000. Para o capeamento dos corpos de prova utilizou-se Neoprene.

Foram produzidos corpos de prova cilíndricos com dimensões de 100 mm x 200 mm (diâmetro x altura) e os ensaios ocorreram após 28 dias de cura. A configuração do ensaio pode ser vista na figura 14. O resultado da resistência foi a média aritmética da resistência de três corpos de prova.

Figura 14. Ensaio de resistência à compressão axial simples: (a) início do ensaio e (b) após a ruptura do corpo de prova



(a)

(b)

Fonte: Autor (2023).

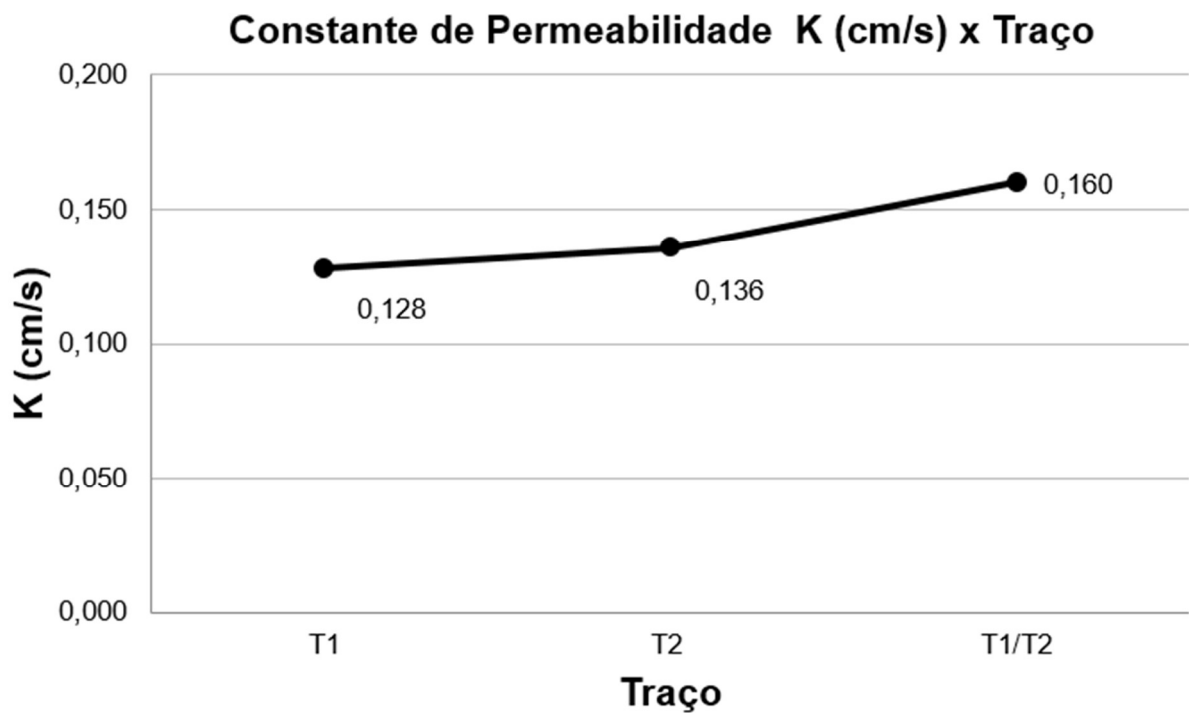
RESULTADOS E DISCUSSÕES

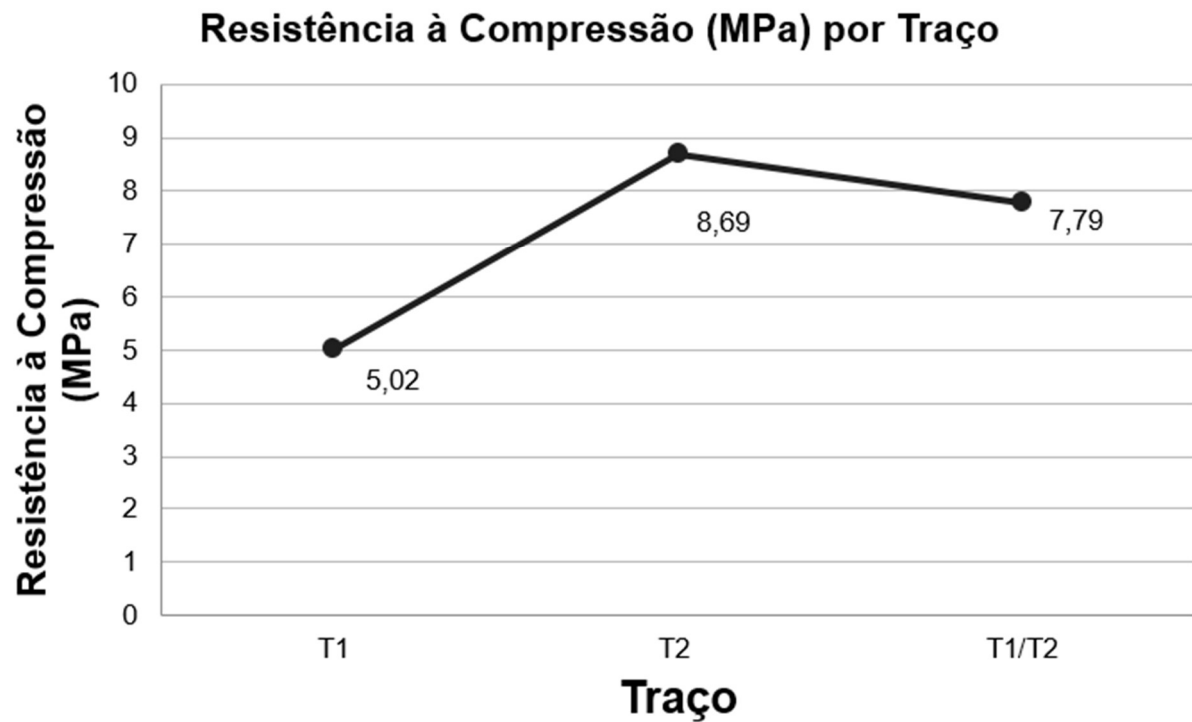
Conforme demonstrado nos gráficos de permeabilidade e resistência à compressão axial percebe-se que o traço t1/t2 foi o mais permeável e o traço de RCC puro foi o menos permeável.

Este efeito precisa ser detalhadamente explorado mas pelos outros trabalhos estudados verificou-se estes mesmos resultados e entende-se que o agregado reciclado possui variada presença de argamassas e ainda pode-se se verificar a formatação dos grão mais variada em tamanho que resultou em fechamento dos poros maiores. Na condição do traço misto (t1/t2) verifica-se que existe a possibilidade de acomodação menos encaixada das partículas lamelares do agregado natural com as partículas mais esféricas do RCC desta forma restou espaços maiores entre as partículas da estrutura dos corpos de prova o que facilitou a passagem da água em maior velocidade.

Quanto a resistência à compressão verificou-se que o concreto com apenas agregado reciclado teve baixa resistência em função da maior demanda de água para a trabalhabilidade resultando em relação água cimento maior, já o traço misto (t1/t2) teve um resultado próximo ao concreto de agregado natural (T1). Esta constatação demonstra que é viável a substituição de agregado natural por RCC, com a vantagem de aumento da permeabilidade.

Todos os traços superaram a expectativa de um concreto de 5,0 MPa ainda que a norma exija para concretos moldados no local para pavimentos seja acima de 2,0 MPa.





4 CONCLUSÃO

Conclui-se que é possível, viável e vantajoso usar o RCC para concretos de pavimentos permeáveis moldados in loco e que o aparato usado foi eficiente para a medida da permeabilidade e que ainda é possível montar um aparato similar em canteiros de obras ou em pequenos locais e laboratórios para o controle da permeabilidade de concretos produzidos.

O uso do RCC combinado com o agregado natural não prejudicou a resistência mecânica no sentido de inviabilizá-la para fins de pavimentos drenantes. Mas sim o que percebeu-se ser bastante viável utilizá-lo implementando a permeabilidade e por consequência a drenagem e ainda garantindo a resistência mecânica recomendada por normas, tornando o pavimento viável, seguro e durável.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON) Disponível em: <<https://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/839>> acesso em 25 maio 2023.

ABREUPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021**. ABRELPE, Publicação: Dezembro de 2021, disponível em: <https://abrelpe.org.br/> Acesso em: 23 maio 2023.

ALENCAR, P. C. D. (2013). **Avaliação experimental do concreto poroso na atenuação do escoamento superficial em parcelas urbanizadas**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-152/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 174p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015, 09 p. Disponível em: <<https://www.gedweb.com.br/home/ifsc>>. Acesso em: 18 nov. 2023.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018, 09 p.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019, 12 p.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2022, 22 p.

_____. **NBR 13292**: Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro, 2021, 13 p.

_____. **NBR 14545**: Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável. Rio de Janeiro, 2021, 16 p.

_____. **NBR 15287**: Informação e documentação — Projeto de pesquisa — Apresentação. Rio de Janeiro, 2011, 08 p.

_____. **NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015, 25 p.

_____. **NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021, 06 p.

_____. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018, 12 p.

_____. **NBR 17054**: Agregados - Determinação da composição granulométrica - método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022, 05 p.

_____. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2001, 06 p.

BATEZINI, Rafael. **ESTUDO PRELIMINAR DE CONCRETOS PERMEÁVEIS COMO REVESTIMENTO DE PAVIMENTOS PARA ÁREAS DE VEÍCULOS LEVES.** 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072013-155819/pt-br.php>>. Acesso em: 20 maio 2023.

CARDOSO, R.; SILVA, et al. Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review. *Waste Management*. Vol. 49, p. 131 – 145, 2016.

CARLS, Bruna. **Coeficiente de permeabilidade, resistência mecânica e durabilidade de concreto permeável dosado por três diferentes métodos.** 2018. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2018.

DUART, M. A. **Concreto de cimento Portland [livro eletrônico]: materiais, princípios básicos e controle tecnológico.** 1. ed. 2020.

HELENE, P.R. L; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland.** In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais.* São Paulo: IBRACON, 2007. 2v. 1712 p.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LAMB, G. S. **Desenvolvimento e Análise do Desempenho de Elementos de Drenagem Fabricados em Concreto Permeável.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LIMA, Geannina Terezinha dos Santos. **Influência da substituição total e parcial do agregado graúdo natural por agregado reciclado nas propriedades do concreto permeável.** 2018. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/193493>>. Acesso em: 19 maio, 2023.

_____. **Metodologia científica.** São Paulo: Atlas, 2007.

_____. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos.** 7. ed., São Paulo: Atlas, 2007.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** 2015. Disponível em:

<<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 19 nov., 2023.

PINTO, L. L. C. A. **O desenvolvimento de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigatória da Impermeabilização do Solo Urbano**. 2011. 256p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, Nº 307, 5/07/2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

STRIEDER, H. L. **Estudo do uso de agregados de concreto reciclado em concreto permeável para pavimentos**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, UFRGS, Porto Alegre.

VIDAL, Almir dos Santos. **Caracterização de concreto permeável produzido com resíduos de construção e demolição para utilização em pavimentação permeável em ambiente urbano**. Rio de Janeiro, 2014. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.