UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
UNIDADE EDUCACIONAL SEDE DELMIRO GOUVEIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

EDTON SANTOS COSTA

PRODUÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO NATURAL PELO AGREGADO MIÚDO RECILADO DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETO

Delmiro Gouveia/AL
2023

EDTON SANTOS COSTA

PRODUÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO NATURAL PELO AGREGADO MIÚDO RECILADO DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Ms. Alexandre Nascimento de Lima.

Delmiro Gouveia/AL

2023

Catalogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia
Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4/*2209*

C837p Costa, Edton Santos

Produção de blocos intervalados de concreto com a substituição parcial do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado de corpos de prova de concreto / Edton Santos Costa. - 2023.
103 f. : il.

Orientação: Alexandre Nascimento de Lima.
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2023.

1. Construção civil. 2. Bloco de concreto. 3. Agregado miúdo reciclado de concreto. 4. Corpo de prova de concreto. 5. Pavimentação intervalada. 6. Reciclagem. I. Lima, Alexandre Nascimento de. II. Título.

CDU: 624.05

FOLHA DE APROVAÇÃO

EDTON SANTOS COSTA

PRODUÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO COM A SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO NATURAL PELO AGREGADO MIÚDO RECICLADO DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETO

Monografia submetida à banca examinadora do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 21 de junho de 2023.

Alexandre Nascimento de Lima

Prof. Ms. Alexandre Nascimento de Lima, Universidade Federal de Alagoas (Orientador)

Banca examinadora:

Rodrigo Januário de Melo

Eng. Civil Rodrigo Januário de Melo, Consolid Engenharia (Examinador Externo)

Odair Barbosa de Morais

Prof. Dr. Odair Barbosa de Morais, Universidade Federal de Alagoas (Examinador Interno)

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu mais sincero agradecimento.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por estar sempre presente em minha vida, guiando e protegendo-me em todos os momentos. Sou grato por Sua infinita bondade e misericórdia, que me fortalecem nas dificuldades e me inspiram nas conquistas. Que eu possa sempre seguir Seus ensinamentos e honrar Sua presença em minha jornada. Obrigado, Deus, por tudo que tem feito por mim.

Aos meus pais, José Derisvaldo da Costa e Joseane Santos Costa, agradeço por estarem ao meu lado, apoiando e incentivando-me em todas as etapas da minha vida. Vocês são exemplos de amor, dedicação, sabedoria e perseverança, e sou imensamente grato por tudo o que fizeram e continuam fazendo por mim. Especialmente à minha mãe, que sempre me incentivou e motivou a seguir em frente. Se hoje sou quem sou e alcancei essa importante conquista, é graças a senhora.

Aos meus irmãos, Lucas Costa, Maria Josineide e Yasmin Costa, agradeço pela paciência nesses anos de ausência, mas nunca deixaram de expressar amor, apoio e companheirismo ao longo da minha jornada. Cada um de vocês tem sido uma fonte de inspiração e motivação para mim, e sou muito grato por tê-los em minha vida.

Agradeço aos meus avós, que me ensinaram o valor da educação e do trabalho duro, permitindo-me chegar até aqui. Obrigado por tudo o que fizeram por mim e por serem minha base e apoio incondicional.

Às minhas madrinhas, Maria Luiza Costa e Denna Costa, e à minha tia, Ana Clezia Costa, não há palavras suficientes para expressar minha gratidão por todo amor, apoio e suporte que me deram ao longo dessa jornada. Vocês sempre estiveram ao meu lado, me encorajando a seguir em frente e nunca desistir dos meus sonhos.

Aos meus amigos de infância, Izabela Gomes, Ingrid Carolyne e Gilvan Melo, pelos momentos divertidos e pelas conversas profundas que tivemos ao longo dos anos. Quando éramos adolescentes, sonhávamos em ingressar no ensino superior para dar orgulho às nossas famílias. Independentemente dos obstáculos que enfrentamos, nunca deixamos de nos apoiar na realização de outros sonhos. Vocês são meus companheiros de vida, e nunca esquecerei o valor que vocês têm para mim.

Às minhas amizades que construí no ensino médio do Centro de Excelência Manoel Messias Feitosa (CEMMF), especialmente a Jessica Lorrane e minha madrinha de crisma, Aline Santos, que me ajudaram na fase do ensino médio e, após a conclusão do ensino, sempre estiveram presentes na minha vida.

Aos meus amigos de graduação, Josiclécio Araújo, Jayane Silva, Mateus Barros, Rikelly Rafaella, Vitória Luiza, Cleyslany Oliveira, Angelo Xavier, Weslley Matheus, Marcos Lins, Raiana Lima, Vivian Sthefanny, Nathalie Oliveira, Isabelly Cruz, Micael Alves e Lindayane Barbary, que me acompanharam durante essa jornada universitária. Foram inúmeros momentos de alegria, aprendizado e superação que não teriam sido possíveis sem a presença de cada um de vocês. Agradeço por terem me apoiado nos momentos difíceis, me ajudado nos estudos e me encorajado a seguir em frente quando pensei em desistir. Sempre lembrarei com carinho das conversas, risadas e momentos compartilhados juntos.

Em especial, quero agradecer a Josiclécio Araújo, Jayane Silva e Paulo Monteiro por todos os momentos que passamos juntos na nossa casa compartilhada. Foram dias intensos de aprendizado, diversão e cumplicidade que levarei para o resto da minha vida. Devo admitir que não foi fácil enfrentar todos os desafios que surgiram em nossa convivência, mas juntos superamos cada obstáculo e crescermos muito como pessoas.

Minha profunda gratidão aos meus orientadores, Rogério de Jesus Santos e Alexandre Nascimento Lima, pelo constante apoio, orientação, incentivo e conhecimento compartilhado durante todo o processo de elaboração deste trabalho. Suas sugestões, críticas construtivas e disponibilidade foram fundamentais para a construção deste projeto e para o meu crescimento acadêmico e profissional. Agradeço de coração por todo o tempo e dedicação dedicados a mim e a este trabalho.

Aos professores, especialmente a Angélica Silva, Aline Claudino, Odair Moraes e Viviane Regina, que me acompanharam durante toda a graduação e proporcionaram uma formação sólida e diversificada, agradeço de coração. Vocês foram fundamentais para minha formação acadêmica.

Agradeço também a todos os funcionários do campus, em especial, ao pessoal da limpeza e do restaurante universitário, que sempre me receberam com sorrisos e cumprimentos, tornado meus dias mais alegres. Quero destacar a ajuda do técnico Arnon Berg, que sempre esteve disponível para me ajudar nos laboratórios da UFAL – Sertão, desde a manipulação de equipamentos até a simples verificação da realização dos ensaios.

Sou muito grato à Empresa I9 Engenharia Júnior, ao Programa AÇÕES e aos grupos de pesquisas GIPE e MEP, dos quais tive o privilégio de participar durante minha jornada acadêmica. Foi uma honra trabalhar com pessoas tão competentes e dedicados, que me proporcionaram aprendizados valiosos e experiências enriquecedoras. Agradeço pela paciência, incentivo e orientações que me foram oferecidos durante o desenvolvimento das pesquisas e projetos, contribuindo para o meu crescimento acadêmico e profissional.

RESUMO

Com a revolução automobilística, as rodovias se tornaram o principal meio de deslocamento, o que resultou em uma crescente demanda por materiais de construção. No entanto, a construção civil e o consumo de recursos naturais geram resíduos que afetam o meio ambiente. Para ajudar a solucionar esse problema, propõe-se a reciclagem de resíduos de construção e demolição na construção de pavimentação intertravada, por meio da reciclagem de agregados. A pesquisa tem como objetivo desenvolver uma alternativa de blocos de concreto sustentáveis para a pavimentação intertravada, utilizando Agregado Miúdo Reciclado de Concreto (AMRC) em diferentes proporções: 0%, 5%, 10% e 15%. Foram produzidos 80 blocos de concreto, divididos nos traços de referência (BCR) e com AMRC (BCRE5%, BCRE10% e BCRE15%), submetidos aos ensaios de absorção de água, avaliação dimensional e resistência à compressão. Também foi realizado um estudo estatístico para saber se as porcentagens de AMRC alteraram a propriedade do concreto confeccionado. Ao término da pesquisa, foi possível observar uma diminuição no abatimento do tronco de cone nos traços de concreto produzidos com diferentes porcentagens de AMRC em comparação com o bloco de referência, diminuição da absorção de água em comparação ao bloco de referência. Na avaliação dimensional, os quatro tipos de blocos de concreto apresentaram valores máximos e mínimos dentro dos limites impostos pela Norma para as três dimensões. No ensaio de resistência à compressão, nenhum bloco de concreto atingiu o valor mínimo exigido pela Norma. Por fim, no estudo realizado, percebeu-se que os blocos de concreto não atingiram níveis satisfatório nos ensaios de absorção de água e de resistência à compressão, conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013). Contudo, a utilização de AMRC pode ser uma alternativa sustentável e viável para a produção de blocos de concreto para pavimentação intertravada, desde que sejam feitas adequações no traço para garantir a qualidade do bloco.

Palavras-chave: agregado miúdo reciclado de concreto; piso intertravado; bloco de concreto; reciclagem de corpo de prova de concreto; resíduo de construção e demolição; resíduo de construção civil; dosagem pelo método adaptado ABCP.

ABSTRACT

With the automotive revolution, highways became the main means of transportation, leading to a growing demand for construction materials. However, civil construction and the consumption of natural resources generate waste that affects the environment. To help solve this problem, the recycling of construction and demolition waste is proposed in the construction of interlocking pavement, through the recycling of aggregates. The research aims to develop an alternative sustainable concrete block for interlocking pavement, using Recycled Concrete Fine Aggregate (RCFA) in different proportions: 0%, 5%, 10%, and 15%. 80 concrete blocks were produced, divided into reference mixes (BCR) and with RCFA (BCRE5%, BCRE10%, and BCRE15%), subjected to water absorption, dimensional evaluation, and compressive strength tests. A statistical study was also conducted to determine if the percentages of RCFA altered the properties of the produced concrete. At the end of the research, it was possible to observe a decrease in the slump test of the concrete mixes produced with different percentages of RCFA compared to the reference block, a decrease in water absorption compared to the reference block. In the dimensional evaluation, the four types of concrete blocks presented maximum and minimum values within the limits imposed by the Standard for the three dimensions. In the compressive strength test, no concrete block reached the minimum value required by the Standard. Finally, in the study conducted, it was noticed that the concrete blocks did not reach satisfactory levels in the water absorption and compressive strength tests, according to NBR 9781 (ABNT, 2013). However, the use of RCFA can be a sustainable and viable alternative for the production of concrete blocks for interlocking pavement, provided that adjustments are made to the mix to guarantee the quality of the block.

Keywords: recycled concrete fine aggregate; interlocking pavement; concrete block; recycling of concrete test specimens.; construction and demolition waste; civil construction waste; dosage by the adapted ABCP method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Restos de uma via do Império Romano. 21
Figura 2 – Pavimentação de calçada de pedras. 23
Figura 3 – Pavimentação de pedras lavradas (paralelepípedo)..... 23
Figura 4 – Estrada União e Indústria. 24
Figura 5 – Tijolos de argila utilizados na pavimentação na cidade de Rio Branco/AC. 25
Figura 6 – Aplicação de piso intertravado de concreto na pavimentação da Rua XV de Novembro, em Blumenau/SC. 26
Figura 7 – Aplicação de piso intertravado de concreto no pátio de armazenagem do Complexo Portuário do Pecém/CE. 26
Figura 8 – Ilustração do sistema de camadas de um pavimento. 27
Figura 9 – Rodovia com pavimento de concreto. 27
Figura 10 – Rodovia pavimentada com concreto asfáltico usinado a quente. 28
Figura 11 – Tipos de resistência aos deslocamentos dos blocos de concreto. 30
Figura 12 – Estrutura da pavimentação do piso intertravado. 30
Figura 13 – Tipos de piso intertravado. 39
Figura 14 – Tipos de assentamentos para os pisos intertravados. 40
Figura 15 – Aspectos gerais dos *pavers*. 41
Figura 16 – Processo de fluxo do desenvolvimento da pesquisa 42
Figura 17 – Resíduos de CPs. 43
Figura 18 – Adaptação do equipamento “Los Ángeles”. 44
Figura 19 – Processo de armazenagem do AMR. 44
Figura 20 – Ensaios realizados com a areia. 46
Figura 21 – Ensaios realizados com o pó de pedra. 47
Figura 22 – Ensaios realizados com o agregado miúdo reciclado. 48
Figura 23 – Ensaios realizados no cimento CPV – ARI. 49
Figura 24 – Pesagem dos materiais para a confecção dos BCR. 51
Figura 25 – Processo de confecção dos *pavers*. 52
Figura 26 – Processo de adensamento mecânico do concreto. 53
Figura 27 – Cura dos corpos de prova de concreto. 54
Figura 28 – Processo do ensaio de absorção de água. 54
Figura 29 – Processo de avaliação dimensional dos corpos de prova de concreto. 56
Figura 30 – Placas auxiliares de aço. 56

Figura 31 – Ensaio de resistência à compressão do bloco de concreto para piso intertravado.57
Figura 32 – Comparação colorimétrica da determinação de impurezas orgânicas. 59
Figura 33 – Curva granulométrica da Areia. 60
Figura 34 – Curva granulométrica do pó de pedra. 62
Figura 35 – Curva granulométrica do AMRC. 63
Figura 36 – Consistência normal da pasta de cimento. 65
Figura 37 – Tempo de pega da pasta de cimento. 66
Figura 38 – Relação do teor de AMRC com o abatimento de cone. 67
Figura 39 – Resultados do ensaio de absorção de água. 69
Figura 40 – Diagrama de caixa da absorção de água em referência aos tipos de blocos de concretos. 70
Figura 41 – Diagrama de caixa da absorção de água em referência à ordem dos blocos de concretos. 71
Figura 42 – Gráfico de intervalo de confiança entre os tipos de blocos. 77
Figura 43 – Diagrama de caixa da resistência à compressão em referência à ordem dos blocos de concreto. 78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Terminologias das bases e revestimentos. 29
Tabela 2 – Composição média de resíduos sólidos da construção civil no Brasil. 33
Tabela 3 – Resistência característica à compressão 41
Tabela 4 – Traço unitário do concreto. 50
Tabela 5 – Tolerâncias dimensionais das peças de concreto. 55
Tabela 6 – Fator multiplicativo p. 57
Tabela 7 – Composição granulométrica da areia. 60
Tabela 8 – Determinação da densidade e da absorção da areia 61
Tabela 9 – Composição granulométrica do pó de pedra. 61
Tabela 10 – Determinação da densidade e absorção do pó de pedra 62
Tabela 11 – Determinação da massa unitária e índice de vazio. 62
Tabela 12 – Composição granulométrica do AMRC. 63
Tabela 13 – Determinação da densidade e absorção do AMCR. 64
Tabela 14 – Massa específica do aglomerante hidráulico. 64
Tabela 15 – Quantidade de material para a obtenção da consistência normal. 65
Tabela 16 – Tempo de pega. 65
Tabela 17 – Traço mássico inicial para a confecção dos 80 blocos de concreto. 67
Tabela 18 – Teste de normalidade entre os tipos de *pavers*. 69
Tabela 19 – Dados estatísticos por grupo dos blocos de concreto. 70
Tabela 20 – Análise não paramétrica de Kruskal-Wallis por tipo de *pavers*. 70
Tabela 21 – Teste de normalidade entre as ordens dos *pavers*. 71
Tabela 22 – Dados estatísticos por ordem dos blocos de concretos. 71
Tabela 23 – Análise não paramétrica de Kruskal-Wallis por ordem dos *pavers*. 72
Tabela 24 – Estatística descritiva da avaliação dimensional dos blocos de concreto. 73
Tabela 25 – Resistência dos blocos de concreto por tipo de traço. 73
Tabela 26 – Teste de normalidade entre os traços. 75
Tabela 27 – Análise paramétrica ANOVA. 75
Tabela 28 – Teste de homogeneidade de variâncias de Levene. 76
Tabela 29 – Teste Post-hoc de Games-Howell. 76
Tabela 30 – Teste de normalidade de Shapiro-Wilk 77
Tabela 31 – Estatística descritiva dos blocos de concreto por ordem. 78

Tabela 32 – Análise não paramétrica de Kruskal-Wallis 78
Tabela 33 – Resistências e tempo de cura dos corpos de prova. 93
Tabela 34 – Avaliação dimensional dos *pavers*. 96
Tabela 35 – Resultado da resistência à compressão. 98
Tabela 36 – Coeficiente de Student conforme a NBR 9781. 101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos resíduos conforme o CONAMA. 32
Quadro 2 – Classificação dos RCD. 35
Quadro 3 – Ensaios da areia. 45
Quadro 4 – Ensaios realizados no pó de pedra. 46
Quadro 5 – Ensaios realizados no cimento Portland de alta resistência inicial. 48

LITA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira De Normas Técnicas
ABP	Associação Brasileira de Pavimentação
ACI	American Concrete Institute
AMN	Agregado Miúdo Natural
AMR	Agregado Miúdo Reciclado
AMRC	Agregado Miúdo Reciclado de Concreto
ANOVA	Análise de Variância
AR	Agregado Reciclado
ARC	Agregado Reciclado de Concreto
BCR	Bloco de Concreto de Referência
BCRE10%	Bloco de Concreto Reciclado com 10% de AMR
BCRE15%	Bloco de Concreto Reciclado com 15% de AMR
BCRE5%	Bloco de Concreto Reciclado com 5% de AMR
CBR	California Bearing Ratio
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPs	Corpos de prova
DER/SP	Departamento De Estradas De Rodagem Do Estado De São Paulo
DNER	Departamento Nacional de Estradas
DNIT	Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes
FRN	Fundo Rodoviário Nacional
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IPT/EPUSP	Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
MEC	Método do Empacotamento Compressível
NBR	Norma Brasileira
PCI	Portland Cement Institute
RCC	Resíduo de Construção Civil
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
UFAL – Sertão	Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 18
1.1 Objetivos 20
1.1.1 Geral 20
1.1.2 Específico 20
2 REFERENCIAL TEÓRICO 21
2.1 Histórico da Pavimentação 21
2.1.1 Pavimentação no Brasil 22
2.2 Diferença entre pavimento rígido e flexível 26
2.2.1 Pavimento rígido 27
2.2.2 Pavimento flexível 28
2.2.3 Pavimento semirrígido 28
2.2.4 Características do pavimento intertravado 29
2.3 Uso de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) ou Resíduo de Construção Civil (RCC) na construção civil 31
2.3.1 Agregado Miúdo Reciclado (AMR) 33
2.4 Uso e Aplicação dos *Pavers* 38
2.4.1 Limitação dos *Pavers* 40
3 METODOLOGIA 42
3.1 Tipo de Pesquisa 42
3.2 Materiais e métodos 42
3.2.1 Reciclagem dos Corpos de Prova (CPs) 43
3.2.2 Caracterização dos agregados 45
3.2.3 Caracterização do aglomerante hidráulico 48
3.2.4 Dosagem do concreto 49
3.2.5 Ensaios de absorção de água 53
3.2.6 Avaliação dimensional 55
3.2.7 Ensaio de resistência à compressão 56
3.2.8 Análise estatística dos ensaios da NBR 9781 58
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 59
4.1 Caracterização dos agregados 59
4.1.1 Areia 59
4.1.2 Pó de pedra 61

4.1.3 Agregado Miúdo Reciclado de Concreto (AMRC) 62
4.2 Caracterização do aglomerante hidráulico 64
4.3 Concreto no estado fresco – Trabalhabilidade 66
4.4 Concreto no estado endurecido 68
4.4.1 Absorção de água 68
4.4.2 Avaliação dimensional 72
4.4.3 Resistência à compressão 73
5 CONCLUSÃO 79
REFERÊNCIAS 82
APÊNDICE A – INFORMAÇÕES REFERENTE AOS CORPOS DE PROVA DA EMPRESA ENGENHARIA JÚNIOR 93
APÊNDICE B – AVALIAÇÃO DIMENSIONAL DOS BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA 96
APÊNDICE C – RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS DE CONCRETOS PARA PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA 98
ANEXO A – VALOR DO COEFICIENTE DE STUDENT CONFORME A NBR 9781 DE 2013 101

1 INTRODUÇÃO

Segundo Purificação (2009), a calçada romana foi uma das primeiras formas de pavimentação, construída em várias camadas, e a evolução da engenharia permitiu o aprimoramento e descobertas de métodos para aperfeiçoar o pavimento. A descoberta da roda foi a primeira a proporcionar o desenvolvimento do pavimento. Logo depois, com o surgimento dos automóveis, as rodovias se tornaram o principal meio de deslocamento para os seres humanos.

Pereira e Lessa (2011) afirmam que a revolução automobilística impulsionou a produção, o consumismo, a expansão das cidades e a exploração de recursos naturais. Já Cunha (2013) aponta que, até o ano de 2009, no Brasil, as rodovias pavimentadas de concerto não ultrapassavam 2 mil km, sendo que a pavimentação asfáltica prevalecia por ser mais tradicional e popular, sendo difundida nos anos 90.

Conforme Silva, Gachet e Lintz (2020), o piso intertravado surgiu na Europa no pós-guerra e chegou ao Brasil por volta dos anos 70. Assim, Fioriti, Ino e Akasaki (2010) afirmam que ele possibilitou diversas cores e formatos que viabilizam o uso em diversos lugares, como praças, parques, jardins, calçadas, estacionamentos, vias urbanas, pátios, depósitos, galpões, indústria e rodovias. Segundo Godinho (2009), a pavimentação intertravada e o desenvolvimento tecnológico resultam na multifuncionalidade, no processo econômico e qualitativo. Além disso, as peças de concreto contribuem para o caráter ecológico, com implementação de materiais reciclados em sua composição.

Dessa forma, conforme Brasileiro e Matos (2015), com a aceleração da urbanização e a expansão das cidades, ocorre o crescimento da construção civil e o consumo de recursos naturais. No entanto, este desenvolvimento provoca o desperdício de materiais, acarretando na geração de resíduos de construção e demolição que causam impactos ao meio ambiente. Com isso, segundo Bastidas-Martínez *et al*. (2021), os recursos naturais estão cada vez mais limitados e, nos últimos tempos, tem-se proposto alternativas para ajudar a solucionar este problema.

Assim, uma opção viável para diminuir os volumes destes resíduos é a reutilização para a construção e restauração de novas obras de pavimentação, já que esse tipo de empreendimento demanda uma grande quantidade de materiais para sua execução (BASTIDAS-MARTÍNEZ *et al*., 2021). Segundo Paschoalin Filho *et al.* (2019), a reciclagem de resíduos sólidos, como agregado reciclado, consiste em uma ferramenta de gestão alinhada

ao conceito da sustentabilidade, contribuindo, por exemplo, para a diminuição dos impactos da deposição de resíduos no meio ambiente e reduzindo a necessidade de matéria-prima natural.

Por isso, estuda-se a utilização do RCD como agregado reciclado na confecção de concretos e argamassas convencionais, sendo ainda incipiente a utilização desses agregados em blocos de concreto (SCOTT HOOD, 2006). É apontado que, apesar da abrangente variação nas propriedades dos agregados reciclados, os concretos produzidos a partir de substituições de agregados naturais pelos reciclados apresentaram resultados aceitáveis em características mecânicas e de durabilidade (CASTRO *et al*., 2021).

Logo, tendo como base as premissas anteriores, o presente trabalho desenvolve uma alternativa de blocos de concreto sustentáveis para a pavimentação intertravada. Com o desenvolvimento do traço de concreto, o agregado miúdo reciclado, com procedência de corpos de prova de concreto, foi inserido em porcentagens distintas e comparado com o concreto de referência, com o intuito de transformar o material reciclado como matéria-prima alternativa à indústria da construção civil para a produção de blocos de concreto de pavimentação intertravada.

Assim, o CAPÍTULO 2 apresenta uma breve abordagem histórica sobre a pavimentação no mundo e no Brasil, descreve as diferenças entre os tipos de pavimentos existentes atualmente, discute o acúmulo de resíduos sólidos da construção civil e como eles podem ser reciclados pela área, além de abordar o uso e aplicação dos blocos de concreto, juntamente com suas limitações.

No CAPÍTULO 3, é proposta uma metodologia experimental dividida em quatro partes. A primeira parte consiste na reciclagem dos corpos de prova de concreto para a produção do agregado miúdo reciclado. A segunda parte é dedicada à caracterização dos materiais que irão compor o concreto, como a areia, pó de pedra, agregado miúdo reciclado e o cimento CPV – ARI.

A terceira parte envolve o desenvolvimento do traço do concreto, utilizando o método de dosagem adaptada da Associação Brasileira de Cimento Portland, verificando a trabalhabilidade do concreto e o processo de moldagem das peças. A quinta e última parte é voltada à realização dos ensaios experimentais de absorção de água, avaliação dimensional e a resistência à compressão dos blocos de concreto conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013).

O CAPÍTULO 4 analisa todos os resultados propostos no CAPÍTULO 3, fazendo as devidas correlações entre as características estudadas e discutindo possíveis fenômenos encontrados.

Por fim, o CAPÍTULO 5 apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Avaliar o desempenho físico-mecânico de blocos de concreto confeccionados com resíduos de agregado miúdo reciclado, oriundo de corpos de prova de concreto.

1.1.2 Específico

1- Avaliar o comportamento do concreto no estado fresco, trabalhabilidade, com os traços de 0%, 5%, 10% e 15% de resíduo de concreto;
2- Comparar os ensaios físico-mecânicos no estado endurecido com traços de 0%, 5%, 10% e 15% de resíduos de concreto;
3- Verificar se os blocos de concreto resistem a 50 MPa, resistência mínima para o tráfego pesado conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013);
4- Avaliar estatisticamente se as porcentagens de agregado miúdo reciclado de concreto alteram as propriedades físicas-mecânicas no estado endurecido do concreto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico da Pavimentação

De acordo com Bernucci *et al*. (2006), a história da pavimentação compreende a própria história da humanidade, evidenciando o povoamento de continentes, conquistas territoriais, intercâmbios comerciais, culturais, religiosos, urbanização e desenvolvimento. Ainda segundo os autores, as primeiras estradas auxiliaram na construção das pirâmides do Egito (2600-2400 a.C.) e favoreceram rotas de comércios, destacando a Estrada da Seda, que foi a rota de comércio mais importante da antiguidade por ter grande influência das culturas chinesas, indiana e também ocidental.

Santos (2002) afirma que, com a invenção da roda, ocorreram mudanças constantes nos meios de locomoção, gerando a necessidade de abrir caminhos para o deslocamento. Assim, os romanos construíram uma grande rede de estradas pavimentadas para a movimentação de tropas e a locomoção de veículos particulares providos de rodas, embora a locomoção de veículos fosse de menor escala na época. Porém, o autor explica que a expansão das estradas sempre esteve ligada aos interesses militares e que a necessidade do deslocamento rápido de tropas incentivou a sua implementação, Figura 1.

Figura 1 – Restos de uma via do Império Romano.

Fonte: Mascaró e Yoshinaga (2005).

Ainda em concordância com Bernucci *et al.* (2006), as vias da antiguidade eram classificadas de acordo com sua importância, sendo as vias públicas mais importantes, seguidas das vias construídas pelo exército e, depois, as vias privadas. Além disso, o autor informa que os construtores tiveram preocupações com aterros e drenagem, pois, de modo geral, as estradas eram formadas por grandes pedras dispostas em linha para fornecer uma boa plataforma e possibilitar a drenagem. Embora sejam eventos antigos, as vias modernas também são

classificadas com base em sua importância, capacidade e desempenho, sendo projetadas para ter um ótimo desempenho mecânico e hidráulico.

Na América Latina, segundo Bernucci *et al.* (2006), as estradas do império inca merecem destaques. Essa avançada civilização construiu um sistema de estradas que abrange terras da Colômbia até o Chile e Argentina, resultando em estradas principais (sentido longitudinal) e estradas secundárias (sentido transversal), totalizando uma rede viária de 17.000 km.

Dessa forma, Santos (2002) afirma que as primeiras estradas a utilizar pedras britadas (paralelepípedo) em vez de tábuas de madeiras e dormentes ocorreu durante o século XVIII. Além disso, uma organização atende às necessidades de cada região e os recursos necessários à manutenção provinham dos usuários, por meio da cobrança de pedágio.

Conforme Cruz (2003), as primeiras peças pré-moldadas de concreto foram fabricadas no final do século XIX, e algumas foram registradas antes da Primeira Guerra Mundial. Wiebbelling (2015) afirma que os blocos intertravados tiveram um avanço na Holanda e na Alemanha, pois essas peças foram utilizadas na reconstrução dos países após a Segunda Guerra Mundial. Também, o autor apontou que as peças de concreto eram semelhantes aos tijolos e tinham como vantagem o custo reduzido e a homogeneidade dimensional.

Pereira e Lessa (2011) afirmam que, no final do século XIX e início do século XX, a indústria automobilística revolucionou os meios de produção nos Estados Unidos e na Europa, expandindo padrões de consumo e influenciando o desenvolvimento do transporte rodoviário, o que estruturou seu poder perante as economias centrais e periféricas. Como consequência desse consumo, houve investimentos na ampliação da infraestrutura do transporte rodoviário.

Assim, o DNIT (2006) informa que o pavimento é uma superestrutura estabelecida por um sistema de camadas finitas, as quais são compostas de diferentes materiais, resistências e deformabilidade que estão em contato, formadas em um alto grau de complexibilidade no cálculo de tensões e deformações resultantes das cargas impostas pelo tráfego.

2.1.1 Pavimentação no Brasil

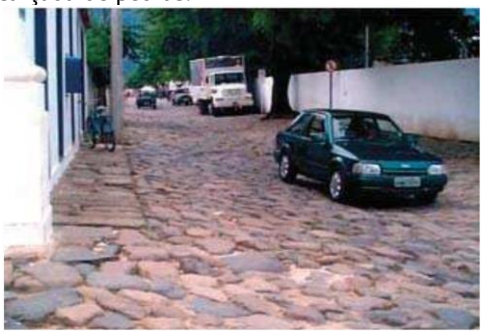
De acordo com Santos (2002), em 22 de janeiro de 1532, com a chegada dos portugueses no litoral de São Vicente, percebeu-se que os primeiros acessos disponíveis ao interior das terras eram as trilhas utilizadas pelos povos nativos, como os índios Tupiniquins, Guaianazes e outros que habitavam a região.

Em 1560, houve a construção de umas das primeiras estradas no Brasil (BERNUCCI *et al.*, 2006). O autor descreve que a estrada era responsável por ligar as capitanias de São Vicente ao Planalto Piratinga, denominada Estrada do Mar. Santos (2002) e Bernucci *et al.* (2006) afirmam que esta estrada consistia em um caminho aberto e que, ao logo dos anos, foi sendo modificada. Em 1790, em alguns trechos, passou a possuir lajes feitas de granito devido às curvas perigosas. Em 1925, utilizou-se pavimentação de concreto em alguns trechos mais íngremes, sendo essa a primeira vez que se utilizou esse tipo de pavimento no Brasil e América.

No Brasil, segundo Wiebbelling (2015), a pavimentação de calçamento de pedras foi trazida pelos portugueses e tinha como objetivo facilitar o transporte do ouro, explorado no Brasil, para os portos. A Estrada Real ou o Caminho do Ouro utilizou este método construtivo em 1660 (Figura 2). Ela era responsável por ligar Ouro Preto/MG a Paraty/RJ e o Rio de Janeiro a Diamantina/MG, gerando o transporte do ouro das minas no século XVIII e o café no século XIX (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Figura 2 – Pavimentação de calçada de pedras.

a) Resquícios do Caminho do Ouro;



b) Via da Cidade de Paraty - RJ.

Fonte: Bernucci *et al.* (2006).

Com a evolução desta técnica, hoje, são utilizadas pedras lavradas, conhecidas como paralelepípedos e são bastante utilizadas em cidades do interior do Brasil, Figura 3.

Figura 3 – Pavimentação de pedras lavradas (paralelepípedo).

a) Rua de Água Branca pavimentada com pedras irregulares.

b) Rua de Delmiro Gouveia pavimentada com pedras regulares.

Fonte: Sertão 142 (2021) e Hoteis.com (2023).

Logo depois, em 1860, a Estrada Rodagem União e Indústria é a primeira via a utilizar macadame compactado como base e/ou revestimento (Figura 4), possuía um traçado que permitia a velocidade de 20 km/h em um percurso de 144 km, esta estrada marca a modernização da pavimentação no país (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Figura 4 – Estrada União e Indústria.

Fonte: Concer (1997).

De acordo com Prego (2001), existiam apenas 500 km de estradas com macadame hidráulico no início do século XX, com o uso restrito a transporte de tração animal. No início deste século, foram registrados no Brasil os primeiros veículos de cargas e carros particulares, o que motivou a criação do I Congresso Nacional de Estradas de Rodagem no Rio de Janeiro (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Em 1928, ocorreu um marco na política rodoviária federal, quando o presidente Washington Luiz inaugurou a Rodovia Rio – São Paulo. Em 1937, o presidente Getúlio Vargas criou o Departamento Nacional de Estradas – DNER (BERNUCCI *et al.*, 2006). Assim, segundo Prego (2001), o ano de 1950 iniciou a execução de pavimentos em escala industrial e a organização de grandes construtoras. Portanto, conforme Bernucci *et al.* (2006) esses anos foram importantes para os investimentos, como a criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) e evolução das técnicas de pavimentos com a aplicação do ensaio California Bearing Ratio (CBR).

Em contrapartida, no outro extremo do Brasil, segundo Muller (2005), a cidade de Rio Branco/AC começou a utilizar blocos de tijolos de argilas nos revestimentos de pavimento desde 1940 (Figura 5). Esta técnica utilizada supria a inexistência de pedra na região.

Figura 5 – Tijolos de argila utilizados na pavimentação na cidade de Rio Branco/AC.

Fonte: Nascimento (2005).

Outro tipo de pavimento bastante utilizado no Brasil é o pavimento de concreto. De acordo com Cunha (2013), destaca-se a rodovia BR-232 (rodovia Luiz Gonzaga) que possui 120 km de extensão e, na sua construção em 1938, utilizou placas de concreto simples espessadas nas bordas. Também, a autora destaca a Via Dutra no trecho de saída da cidade do Rio de Janeiro, onde possui cerca de 60 km de pavimento em placas de concretos simples.

Segundo Bernucci *et al.* (2006), foi no governo de Juscelino Kubitschek (1956-1961) que houve um impulso no rodoviarismo, aumentando na soberania da área pavimentada do país. Nessa época, foram criados o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), a Associação Brasileira de Pavimentação (ABP) e a inauguração de Brasília.

Após a criação de instituições de pesquisas, é normal o estudo e o desenvolvimento de novas técnicas construtivas para a pavimentação. Segundo Ary Júnior (2007), a utilização de pavimento intertravado de blocos de concreto no final do século XX já ultrapassou 30 milhões de m² aplicados em vias de tráfego urbano. Assim, Hallack (2001) informa que a técnica de pavimentação com os blocos cimentícios surgiu no Brasil nos anos 70. Também, Ary Júnior (2007) discute que, no Brasil, este tipo de pavimento cresceu em escalas exponenciais, sendo bastante utilizado em vias urbanas, portos, pátios industriais e estacionamentos, Figura 6 e Figura 7.

Figura 6 – Aplicação de piso intertravado de concreto na pavimentação da Rua XV de Novembro, em Blumenau/SC.

a) Piso intertravado de concreto na calçada e na via;

b) Cenário paisagístico, cores misturadas com a pavimentação intertravada de concreto.

Fonte: ND mais (2021).

Figura 7 – Aplicação de piso intertravado de concreto no pátio de armazenagem do Complexo Portuário do Pecém/CE.

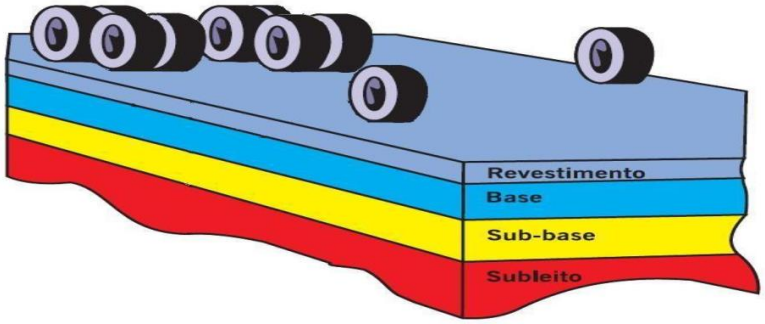
Fonte: O otimista (2021).

Em conclusão, as estradas desempenham um papel fundamental na conectividade e no desenvolvimento econômico do Brasil. Por esse motivo, na próxima seção, serão explorados os tipos de pavimento utilizados nessas vias.

2.2 Diferença entre pavimento rígido e flexível

Segundo Senço (2007), o pavimento é uma estrutura composta de diversas camadas (Figura 8), e que pode ser classificado em pavimentos rígidos e flexíveis. Porém, ambos tipos devem ter a capacidade de resistir a esforços verticais, horizontais e tangenciais, assim como às intempéries e ao tráfego de veículos, concedendo economia, segurança e conforto.

Figura 8 – Ilustração do sistema de camadas de um pavimento.



Fonte: Adaptado a partir de Albernaz (1997).

Senço (2007) afirma que o subleito tem a função de ser a fundação do pavimento, a sub-base é um reforço complementar à base, já a camada da base tem a função de resistir aos esforços verticais do tráfego e os distribuir às camadas inferiores, e o revestimento consegue receber a ação direta do tráfego, resistindo ao desgaste e proporcionando condições de conforto e segurança.

Por fim, Cunha (2013) afirma que as principais diferenças entre os dois tipos de pavimentos (rígido e flexível) residem na constituição da seção transversal e na forma como as tensões são distribuídas nas camadas subjacentes ao revestimento.

2.2.1 Pavimento rígido

De acordo com DNIT (2006) e Senço (2007), os pavimentos rígidos (Figura 9) são pouco deformáveis, possui elevada rigidez, são constituídos principalmente de concreto, rompem à tração na flexão, quando sujeitos a deformação e absorvem praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado.

Figura 9 – Rodovia com pavimento de concreto.

Fonte: Vias concretas (2023).

2.2.2 Pavimento flexível

Sobre pavimento flexível (Figura 10), Senço (2007) informa que as deformações não rompem até um certo limite, o pavimento é dimensionado à compressão e à tração na flexão, caracteriza-se pelo aparecimento das bacias de deformação devido às rodas dos veículos e o rompimento da estrutura é causado pela fadiga. Já o DNIT (2006) diz que todas as camadas do pavimento flexível sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado, sendo distribuída em parcelas aproximadamente equivalentes sobre a camada.

Figura 10 – Rodovia pavimentada com concreto asfáltico usinado a quente.

Fonte: Rodocon (2023).

2.2.3 Pavimento semirrígido

Este tipo de pavimento semirrígido é composto pelas características dos dois tipos de pavimentos apresentados anteriormente. Assim, Senço (2007) afirma que pode utilizar camadas flexíveis e rígidas na mesma estrutura de pavimento, pois os pavimentos se dividem entre os tipos de conjuntos: bases e revestimentos, Tabela 1. Já o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) fala que esse tipo de pavimento é caracterizado por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias, como, por exemplo, uma camada de solo-cimento revestida com camada asfáltica.

Portanto, o pavimento semirrígido é conhecido como pavimento do tipo direto quando a camada de revestimento asfáltico é executada sobre a camada de base cimentada e do tipo indireto quando a camada de revestimento é executada sobre a camada de base granular (DER/SP, 2006).

Tabela 1 – Terminologias das bases e revestimentos.

a) Terminologia das bases;			
Rígidas	Concreto de cimento		
	Macadame de cimento		
	Solo-cimento		
Flexíveis	Solo estabilizado	Granulometricamente – SAFL	
		Solo-betume – Solo-cal	
		Solo-brita	
	Macadame hidráulico		
	Brita graduada com ou sem cimento		
	Macadame betuminoso		
	Alvenaria poliédrica	Por aproveitamento	
	Paralelepípedos		
b) Terminologia dos revestimentos.			
Rígidos	Concreto de cimento		
	Macadame de cimento		
	Paralelepípedos rejuntados com cimento		
Flexíveis	Betuminosos	Concreto betuminoso	
		Pré-misturado a quente	Usinados
		Pré-misturado a frio	
		Travamento superficial – Penetração direta	Simples Duplo
		Travamento superficial – Penetração invertia	Triplo Quádruplo
	Calçamento	Alvenaria poliédrica	
		Paralelepípedos	
		Blocos de concretos pré-moldados e articulados	

Fonte: Adaptado a partir de Senço (2007).

Desta forma, na próxima seção, será abordado o pavimento com revestimento flexível, do tipo calçamento com blocos de concreto pré-moldados e articulados.

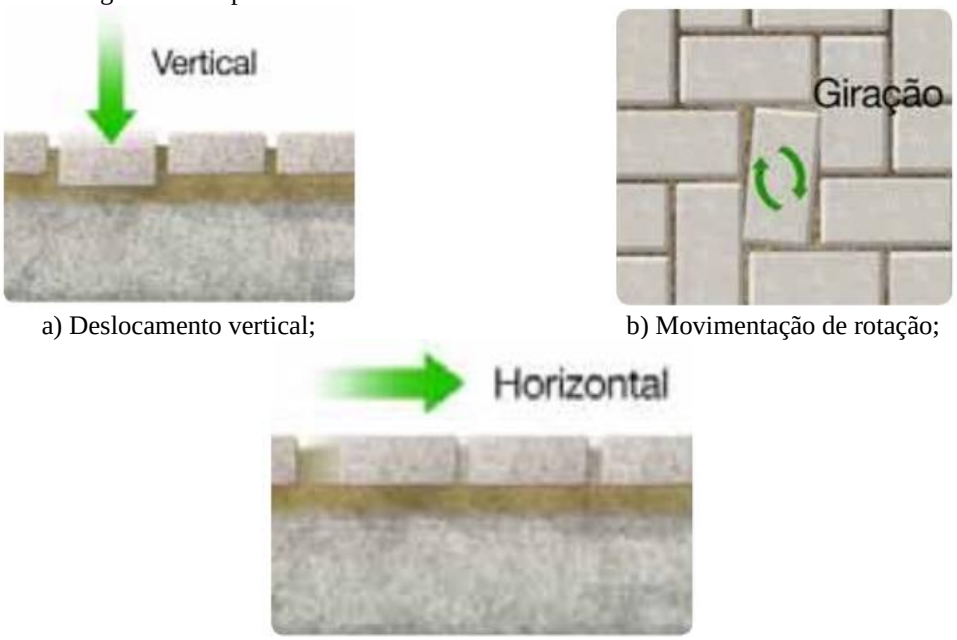
2.2.4 Características do pavimento intertravado

De acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013), o pavimento intertravado possui um revestimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base, seguida por uma camada de revestimento constituída por peças de concretos, e entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento, e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção.

Segundo ABCP (2010), os pavimentos intertravados têm sua origem nos pavimentos revestidos com pedras, assim, eles evoluíram para o uso de pedras lavradas, resultando em pavimentos com paralelepípedos. Embora, devido à grande dificuldade da produção dessas pedras, houve o desenvolvimento e o impulsionamento das peças de concretos pré-moldadas.

Ainda de acordo com ABCP (2010), este tipo de pavimento resiste a movimentos de deslocamento individual, vertical, horizontal e de rotação entre os *pavers*, Figura 11.

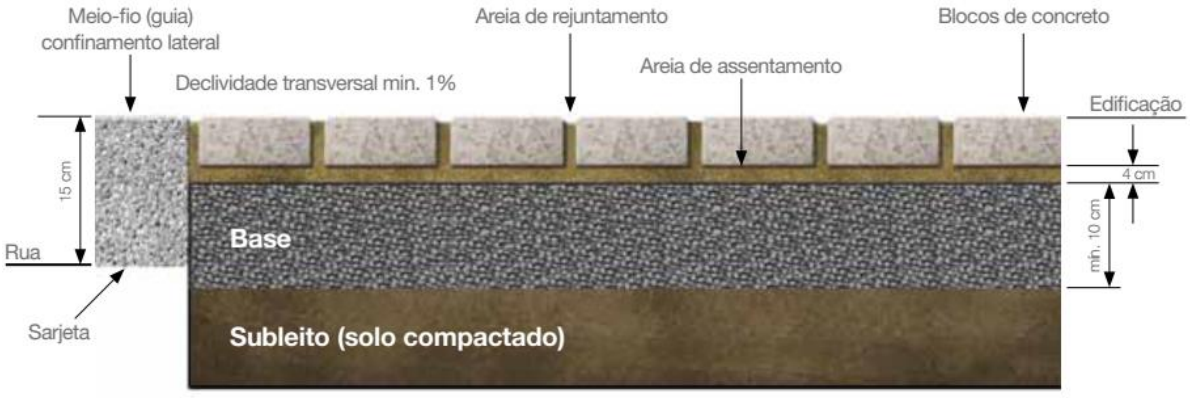
Figura 11 – Tipos de resistência aos deslocamentos dos blocos de concreto.



a) Deslocamento vertical;
b) Movimentação de rotação;
c) Deslocamento horizontal.
Fonte: ABCP (2010).

Conforme a Figura 11, o conjunto dos blocos de concreto com a junta preenchida de areia e uma ótima base de fundação impede o deslocamento e intensifica o intertravamento. Conforme os demais tipos de pavimentos existentes, o pavimento intertravado também possui a seguinte estrutura: subleito, base, camada de assentamento e de revestimento, Figura 12.

Figura 12 – Estrutura da pavimentação do piso intertravado.



Fonte: ABCP (2010).

Assim, definida a estrutura na Figura 12, ABCP (2010) explica que o subleito é formado por solo natural ou pela troca de solo, deve ser compactado em camadas de 15 cm. Já

a base é constituída por material granular com espessura mínima de 10 cm e também deve ser compactada após a finalização do subleito.

A camada de assentamento também é composta por um material granular com a granulometria definida e possui a função de acomodar os blocos de concretos. Já a camada de revestimento é formada pelas peças de concretos que recebem diretamente a tensão dos veículos, pedestres e suportes de cargas (ABCP, 2010).

Outro ponto importante, apontado no Manual do Piso Intertravado de ABCP (2010), são os confinamentos laterais (Figura 12) que têm a função de conter o deslizamento lateral dos blocos de concreto, sendo peças fabricadas de concreto, com a resistência mínima de 25 MPa aos 28 dias.

2.3 Uso de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) ou Resíduo de Construção Civil (RCC) na construção civil

Segundo Morais (2006), as terminologias RCD e RCC são utilizadas no meio acadêmico para nomear os resíduos sólidos gerados a partir da construção civil. Assim, conforme a NBR 15116 (ABNT, 2021), esses RCC são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras da construção civil, e resíduos resultantes da preparação e escavação de terrenos como, por exemplo, a produção de tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, resíduos de solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, entulhos de obras, caliça ou metralha, etc.

A construção civil é uma das atividades mais importantes para o desenvolvimento econômico e social, embora ainda tenha o comportamento como grande geradora de impactos ambientais (SANTOS *et al.*, 2012). Com o crescimento populacional e a alta demanda de produtos e serviços, os recursos naturais estão sendo utilizados e, com o passar do tempo, estão ficando cada vez mais escassos. Segundo Silva, Santana e Póvoas (2019), a construção civil consome mais de um terço dos recursos do planeta e gera aproximadamente 40% dos resíduos sólidos do mundo.

Ainda em concordância com Silva, Santana e Póvoas (2019), os RCD não eram vistos como importantes para a indústria por não apresentarem uma ameaça ambiental tão grande quanto os resíduos perigosos. Porém com avanços nos estudos sobre os impactos ambientais e o potencial do resíduo para a reciclagem, tem-se dado mais atenção a esse fluxo de resíduo.

Brasileiro e Matos (2015) constatam que pesquisadores, políticos, governos e a sociedade estão buscando a redução e o reaproveitamento do RCC, na forma de agregados reciclados, com o intuito de promover o seu retorno à cadeia da construção civil. Assim, promovendo uma conscientização para a sociedade, geração de empregos, aplicação de leis e o desenvolvimento de novas pesquisas relacionadas à reciclagem dos resíduos.

Diante desses fatos, no Brasil, existe a necessidade de atender à resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 2002) e à Lei n° 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), as quais afirmam que devem ser estabelecidas diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCC, disciplinando as ações necessárias para minimizar os impactos ambientais, bem como promover a redução, reutilização, reciclagem e o tratamento adequado dos resíduos sólidos. Isso porque esse reconhecimento os transforma em um bem econômico e social, promovendo a cidadania, gerando empregos e renda.

Assim, a resolução do CONAMA (BRASIL, 2002), juntamente com as suas alterações Brasil (2004) e Brasil (2011), classifica os resíduos de acordo com a origem e aos constituintes, Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação dos resíduos conforme o CONAMA.

Classes	Definição
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis, como agregados, tijolos, blocos, telhas, argamassa, concreto, areia e pedra.
B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso.
C	Resíduo para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem.
D	Resíduos perigosos como tinta, solventes, óleos e amianto (contaminados).

Fonte: adaptado a partir de Brasil (2002).

Desta forma, como a construção civil é uma grande geradora de rejeitos, ela também pode absorver esses materiais. Já que o RCC tem o aspecto sólido em diversos formatos e dimensões, possuindo características físicas variáveis, pois ele pode conter diversos tipos de materiais, como plásticos, materiais betuminosos, madeiras, metais, concretos, argamassa, blocos, tijolos, telhas, solos, gesso, entre outros. A Tabela 2 apresenta a composição média dos resíduos de obras no Brasil, não sendo considerado o solo extraído durante as escavações.

Tabela 2 – Composição média de resíduos sólidos da construção civil no Brasil.

Componentes	Porcentagem (%)
Argamassa	63,0
Concretos e blocos	29,0
Outros	7,0
Orgânicos	1,0

Fonte: Monteiro *et al.* (2001).

Existem diversas pesquisas de aplicações desses RCD na construção civil, possibilitando a reutilização e a reciclagem dos materiais da Classe A, conforme o Quadro 1. Em grande maioria, o RCD é aplicado na pavimentação, sendo utilizado diretamente na regularização de estradas de terra. Embora Pereira, Amorim e Freitas Neto (2022) e Vieira *et al.* (2022) falem sobre a aplicação do RCD nas camadas de pavimentação, demonstrando que é viável a reutilização do agregado reciclado em bases e sub-bases, como também em coberturas primárias de vias.

Com isso, sendo uma destinação frequente dos RCD à pavimentação, outras pesquisas evidenciam a utilização do agregado de concreto para fabricação de novos concretos que tenham ótima resistência mecânica, bons índices de vazios e boa permeabilidade (GOMES *et al.*, 2015; FROTTÉ *et al.*, 2017; DI DOMENICO *et al.*, 2018; SANTOS e LEITE, 2018; ULLOA-MAYORGA *et al.*, 2018; VIANA NETO, SALES E SALES, 2018; SILVA-URREGO e DELVASTO-ARJONA, 2020; SALLES *et al.*, 2021).

Da mesma forma, os materiais sintéticos (pneus usados e garrafa PET) estão sendo pesquisados e utilizados como materiais granulares na substituição de agregados graúdos e miúdos naturais no concreto, verificando a capacidade mecânica (resistência à compressão e à tração), índices de absorção de água e de vazios, proporcionando assim a reciclagem e a redução de resíduos de pneus e plástico (CARDOSO e CABRAL, 2017; FIDELIS *et al.*, 2017; SILVA, GACHET e LINTZ, 2020; PEREIRA *et al.*, 2021), ou sendo utilizados em sistemas de drenagens com o uso de geotêxtil (PALMEIRA, 2010).

2.3.1 Agregado Miúdo Reciclado (AMR)

A reciclagem do RCC e do RCD é classificada, segundo Brasil (2002), na classe A, Quadro 1. Ela possui uma heterogeneidade devido à composição, pois são materiais originados da construção, reformas e demolições (BRASIL, 2002; OLIVEIRA, 2017). Segundo Santana e Pereira (2020), esses materiais podem ser utilizados como Agregado Reciclado (AR), em que

a NBR 15116 (ABNT, 2021) regulamenta e permite o uso do AR na pavimentação e em concretos com ou sem função estrutural.

Assim, a utilização do AR incorporado no concreto como AMR se mostra uma alternativa para solucionar problemas ambientais e econômicos na construção civil. No entanto, é necessário realizar um estudo constante da utilização dessa tecnologia. Di Domenico et al. (2018) concluíram ser possível utilizar o AMR na produção de peças estruturais quando há padronização da granulometria e o percentual de teor da mistura. Entretanto, não existiam normas técnicas que mencionassem o uso de RCD em peças de concretos estruturais na época da pesquisa.

Desta forma, Viana Neto, Sales e Sales (2018), em seu estudo com a inserção do AMR no concreto estrutural, perceberam que o concreto que possuía apenas o AMR apresentava valores de resistência à compressão superiores à resistência de projeto. Porém, obteve menor resistência à compressão e à tração comparada ao concreto de referência, como também a redução do módulo de elasticidade.

Outro fato importante é que, conforme Neville e Brooks (2013), concretos produzidos com agregados reciclados tendem a ser mais porosos e absorvem mais água, e Di Domenico et al. (2018) percebeu que a absorção de água aumenta com o teor de substituição do Agregado Miúdo Natural (AMN) pelo AMR. Além disso, a substituição do AMN pelo AMR provocou um aumento de volume no teor de argamassa na relação a/c, devido às diferenças existentes nas massas específicas entre os materiais (RODRIGUES e FUCALE, 2014).

As propriedades adquiridas do concreto, a partir da inserção de AMR em sua composição, dependem da origem e do tipo de resíduo. Lima (1999), normalizou e facilitou o manuseio e o processamento dos RCD nas centrais de reciclagem, elaborando uma proposta de classificação do resíduo de construção e demolição em seis classes, Quadro 2.

Assim, de acordo com Scott Hood (2006), o AMR apresenta características que dependem muito dos materiais utilizados e o tipo de processo empregado na produção, proporcionado assim diversas propriedades nos concretos, conforme os autores Neville e Brooks (2013), Rodrigues e Fucale (2014) e Di Domenico et al. (2018).

Quadro 2 – Classificação dos RCD.

Classe	Origem e tipo do Resíduo
1	Resíduo de concreto sem impurezas, composto predominantemente por concreto estrutural, simples ou armado, com teores limitados de alvenaria, argamassa e impurezas (gesso, terra, vegetação, vidro, papel, etc.);
2	Resíduo de alvenaria sem impurezas, composto predominantemente por argamassas, alvenaria e concreto, com presença de outros materiais inertes, como areia e pedra britada, com teores limitados de impurezas;
3	Resíduo de alvenaria sem materiais cerâmicos e sem impurezas, composto predominantemente por argamassa, concreto e alvenaria de componentes de concreto, com presença de outros materiais inertes, como areia, pedra britada, fibrocimento, com teores limitados de impurezas;
4	Resíduo de alvenaria com presença de terra e vegetação: composto predominantemente pelos mesmos materiais do resíduo da classe 2, mas admitindo a presença de terra ou vegetação até uma certa porcentagem, em volume. Um teor de impurezas superior ao das classes acima é tolerado;
5	Resíduo composto por terra e vegetação, predominantemente, com teores acima do admitido no resíduo da classe 4. Essa categoria de resíduos admite presença de argamassa, alvenarias e concretos, e de outros materiais inertes, como areia, pedra britada e fibrocimento. Os teores de impurezas são superiores aos das demais classes;
6	Resíduo com predominância de material asfáltico, com limitações para outras impurezas, como argamassas, alvenarias, terra, vegetação, gesso, vidros e outros.

Fonte: adaptado a partir de Lima (1999).

Os RCD se dividem, geralmente, em dois grupos: os RCD vermelhos, que contêm cerâmica na composição do resíduo ou podem ser totalmente compostos pelo material, e os RCD cinzas, que contêm apenas matérias cimentícios no resíduo, como argamassa e concreto. Silva e Melo (2021) afirmam que os resíduos cerâmicos são altamente pesquisados para o uso

como agregado graúdo e miúdo na produção de concreto, embora pesquisas recentes estudem a viabilidade da utilização do pó cerâmico para a substituição do cimento em concretos.

Silva e Geyer (2018) afirmam que o agregado cerâmico apresenta alta absorção de água e formas de partículas angulares, características vistas como indesejáveis. Gomes e Brito (2009) apontam que a aderência entre a argamassa e o resíduo vermelho provocam baixa resistência à abrasão e produzem zonas fracas, enquanto Leite (2001) afirma que essa mistura traz preocupação com a absorção e a inserção de impurezas no concreto.

García-González et al. (2015) apresentam que as composições químicas dos materiais cerâmicos são duras, mas frágeis, têm um ótimo isolamento térmico e elétrico, possuem ponto de fusão alto, são assépticas e não transmitem odores e bactérias. Aliabdo, Abd-Elmoaty e Hassan (2014) reforçam que este agregado cerâmico potencializa o desempenho térmico quando exposto ao fogo.

Também, Landolfo, Oliveira e Nogueira (2014) apresentam que os agregados cerâmicos têm massas específicas e unitárias menores em comparação com os agregados naturais, porém, o material altera algumas propriedades do concreto ao ser inserido, como trabalhabilidade, resistência à compressão, módulo de elasticidade e o lançamento do concreto. Assim como Cabral *et al.* (2009), que afirmam que este tipo de agregado propicia a formação de um concreto mais poroso.

Com isso, Wong *et al.* (2018) indicaram que a substituição parcial do cimento pelo pó de tijolo cerâmico pode melhorar a resistência do concreto. Este resultado decorre da composição química e a finura do pó, da reatividade pozolânica com o material cerâmico e o enchimento dos poros do concreto. Aliabdo, Abd-Elmoaty e Hassan (2014) afirmam que o pó superfino cobre os agregados finos e melhora a zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento. Além disso, a alta absorção de água do material cerâmico aumenta a hidratação do cimento, realizando um processo de autocura.

Portanto, Silva e Melo (2021) afirmam que várias pesquisas sobre a utilização de material cerâmico inserido no concreto apresentaram resultados satisfatórios para a comunidade acadêmica. Contudo, o agregado cerâmico é comprovadamente mais frágil e mais poroso que o agregado natural rochoso.

Já o RCD cinza, que produz o Agregado Reciclado de Concreto (ARC), é estudado e utilizado em concretos convencionais com ou sem a função estrutural. Paula Junior *et al.* (2021) afirmam que é possível fabricar concreto permeável com a utilização de cimento, água e agregado graúdo reciclado, produzindo assim diversos benefícios econômicos e ambientais

associados aos revestimentos permeáveis na pavimentação urbana a partir da utilização do RCC em sua composição.

Silva e Capuzzo (2020) concluíram que o tratamento do ARC pelo método de mistura em dois estágios proporcionou melhorias no AR, gerando boas propriedades no concreto, como mecânicas e de durabilidade, viabilizando, assim, a utilização do ARC. No entanto, Estolano *et al.* (2018) confirmam que à medida que a porcentagem de ARC aumenta na composição do concreto, o módulo de elasticidade diminui linearmente, corroborando com os estudos dos autores Evangelista e Brito (2007), Mehta e Monteiro (2008), Brito e Robles (2010) e Soares *et al.* (2014). Essa propriedade estudada por Estolano *et al.* (2018) é importante para o dimensionamento de estruturas no estado limite de serviço e o controle da largura das fissuras.

Também, Estolano *et al.* (2018) perceberam que o grupo que continha substituições parciais de 30% e 50% de AMR de concreto não interferiam na resistência à compressão, uma vez que a relação a/c se manteve praticamente a mesma em relação ao traço de referência. Portanto, é comum que concretos com AMR tenham um módulo de elasticidade menor, enquanto a resistência à compressão não seja afetada (BRITO e ROBLES, 2010; SOARES *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2016).

Santos e Leite (2018) concluíram que o concreto produzido com ARC pelo método ABCP modificado apresentou dificuldade na produção durante a realização do experimento, e ressaltaram que o método IPT/EPUSP e o Método do Empacotamento Compressível (MEC) podem ser mais adequados para a produção de concreto com AMR. Porém, eles concluíram que a trabalhabilidade do concreto com AMR pelo método do espalhamento na mesa de Graff é afetada, mesmo estando dentro dos limites. Além disso, os concretos com 20% e 40% de ARC não apresentaram influência significativa sobre os resultados de resistência à compressão comparados ao concreto de referência.

Assim, existem pesquisas relacionadas à mistura dos dois tipos de RCD (cinza e cerâmica). Cabral *et al.* (2008) utilizaram AR de cerâmica e de concreto para produzir 49 traços e avaliaram o módulo de deformação. Logo, afirmaram que os concretos produzidos com agregados reciclados apresentavam módulos de deformação inferiores ao concreto de referência. Inclusive, o agregado graúdo reciclado exerce uma maior influência sobre o módulo de deformação, e entre todos os agregados testados, o agregado graúdo reciclado de cerâmica exerceu a maior influência e o AMR de concreto a menor influência sobre o módulo de deformação.

Já Salgado e Silva (2021) utilizaram três frações de AR (concretos, cerâmica e misto). Com isso, as análises mostraram que o agregado reciclado misto possui propriedades geométricas, físicas e mecânicas semelhantes ao ARC. Além disso, o concreto com 20% de agregado reciclado misto apresentou uma redução de apenas 0,6% na resistência à compressão. Na pesquisa, ambos os concretos tiveram uma resistência à compressão superior a 25 MPa e uma diminuição do módulo de elasticidade.

Enfim, diversas pesquisas estudam a utilização de diversos tipos de AR na incorporação do concreto, tendo como finalidade melhorar ou obter o mesmo desempenho do concreto convencional. O objetivo é sempre obter benefícios econômico e ambiental, proporcionando assim, produção de concretos viáveis e a redução de resíduos sólidos.

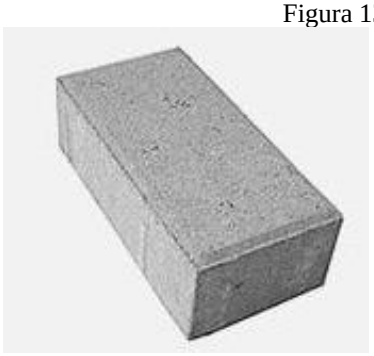
2.4 Uso e Aplicação dos *Pavers*

Conforme Silva (2016), as peças de concretos se aplicam à pavimentação sujeita ao tráfego de pedestres, veículos dotados de pneus e áreas de armazenamento. Assim, a aplicação dos *pavers* garante alta variedade de usos devido aos diferentes tipos de bloco de concretos, Figura 13.

Portanto, algumas variações presentadas na Figura 13 possuem dimensões e aplicações diferentes. Com isso, o tipo 1 ao tipo 3 têm, usualmente, 20 cm de comprimento por 10 cm de largura e as suas faces laterais podem ser retas, curvilíneas ou poliédricas (ABCP, 2010). No entanto, o tipo 1 apresenta mais opções de assentamento (Figura 14), o tipo 2 é ideal para efeitos não lineares e o tipo 3 é mais utilizado em acessos de garagem e jardins.

Ainda de acordo com a Figura 13 e ABCP (2010), o tipo 4 apresenta o formato “I” e só pode ser montado em fileiras travadas (Figura 14a), suas dimensões são, usualmente, 20 cm de comprimento por 10 cm de largura. Quanto ao tipo 5 e 6, suas dimensões são 20x20 cm. Embora o tipo 5 seja vazado, ele é utilizado para a instalação de grama junto ao piso. Já o tipo 6 é perfeito para áreas com circulação de carros e cargas pesadas.

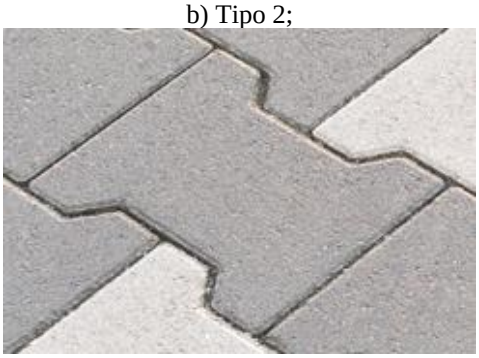
Figura 13 – Tipos de piso intertravado.



a) Tipo 1;

b) Tipo 2;

c) Tipo 3;



d) Tipo 4;

e) Tipo 5;

f) Tipo 6.

Fonte: Adaptado a partir de Cimento Mauá (2018) e Almendros (2022).

Além dos vários tipos de peças de concreto, há também diversos tipos de assentamentos, como espinha de peixe, fileira, reto e trama, Figura 14.

Figura 14 – Tipos de assentamentos para os pisos intertravados.

a) Fileira; b) Reto;

c) Espinha de peixe; d) Trama.

Fonte: ABCP (2010).

Então, os diferentes tipos de *pavers* (Figura 13), somados aos tipos de assentamentos (Figura 14), resultam na diversidade de uso e aplicação tanto para o desempenho físico quanto para o decorativo. Outro ponto importante sobre aplicação dos blocos de concreto é a sua característica antiderrapante, que proporciona segurança ao tráfego de pedestres e cadeirantes, mesmo em condições molhadas (ABCP, 2010).

Ainda de acordo com ABCP (2010), este tipo de pavimento proporciona conforto térmico, resistência e durabilidade. Além disso, ele se torna um produto ecológico por ser totalmente reciclado e reutilizado na produção de novos materiais, além de possuir a liberação imediata do tráfego após a compactação final da camada de revestimento.

2.4.1 Limitação dos *Pavers*

Os *pavers* devem atender às especificações da NBR 9781 (ABNT, 2013). Em sua confecção, a principal limitação é a resistência à compressão, pois essa característica física é responsável por dividir os blocos de concreto em dois grupos: i) tráfego de pedestre e veículos leves; e ii) tráfego de veículos pesados, segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013), Tabela 3.

Tabela 3 – Resistência característica à compressão

Grupo de solicitação	Resistência à compressão (f_{pk}) aos 28 dias (MPa)
Tráfego de pedestre, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos espaciais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Fonte: Adaptado a partir da NBR 9781 (2013).

No entanto, segundo Scott Hood (2006) e Silva, Gachet e Lintz (2020), é comum a comercialização de blocos para a pavimentação com resistência à compressão na faixa de 25 MPa, os quais podem ser aplicados em locais com baixa intensidade de sobrecarga, como calçadas, ciclovias, pátios, praças, canteiros centrais e vias em condomínios residenciais.

Ainda de acordo com NBR 9781 (ABNT, 2013), a absorção de água e a resistência à abrasão são limitantes para o desempenho do pavimento intertravado. Uma alta absorção de água em um bloco de concreto indica que ele possui vários espaços vazios, o que diminui a resistência à compressão. Por isso, a absorção média de água deve ser menor ou igual a 6%, não sendo permitido nenhum valor individual acima de 7%. Já a resistência à abrasão é responsável pela durabilidade e os pavimentos de piso intertravado são conhecidos por serem duráveis. Para tráfego leve, a resistência à abrasão deve ser de no máximo de 23 mm, enquanto que para tráfego pesado, o valor máximo é de 20 mm.

Também, a NBR 9781 (ABNT, 2013) descreve como deve ser a inspeção visual dos *pavers*. Eles devem apresentar aspecto homogêneo, arestas regulares, ângulos retos e devem estar livres de rebarbas, defeitos, delaminação e descamação, Figura 15.

Figura 15 – Aspectos gerais dos *pavers*.

a) Arestas regulares; b) Ângulo reto.

Fonte: Adaptado a partir da NBR 9781 (ABNT, 2013).

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de Pesquisa

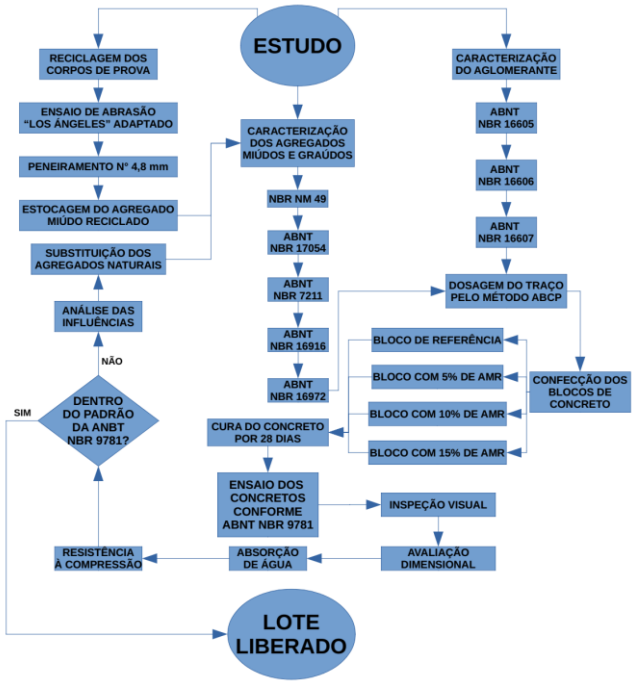
A pesquisa é do tipo experimental, pois submete o produto desenvolvido à influência de certas variáveis em condições conhecidas e controladas pelo pesquisador, observando os resultados que a variável produz no produto (GIL, 2008). O desenvolvimento deste trabalho foi realizado no Laboratório de Materiais, Anexo Mandacaru, da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão (UFAL–Sertão). Foram confeccionados 80 blocos de concreto de piso intertravado, divididos em proporções iguais nos seguintes grupos:

- BCR: Bloco de Concreto de Referência;
- BCRE5%: Bloco de Concreto Reciclado com 5% de AMR;
- BCRE10%: Bloco de Concreto Reciclado com 10% de AMR;
- BCRE15%: Bloco de Concreto Reciclado com 15% de AMR.

3.2 Materiais e métodos

Neste item serão apresentados os materiais e os métodos utilizados na pesquisa para a confecção dos *pavers* de concreto. A Figura 16 descreve o fluxo de processos utilizado neste estudo.

Figura 16 – Processo de fluxo do desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Autor (2022).

3.2.1 Reciclagem dos Corpos de Prova (CPs)

O resíduo utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa foi coletado no Laboratório de Materiais do Anexo Mandacaru. Este resíduo é proveniente de corpos de prova de concreto ensaiados à compressão pela Empresa Júnior I9 Engenharia, localizada no campus da UFAL – Sertão, Figura 17. Os CPs não possuem as mesmas propriedades físicas, pois têm origens de obras distintas e apresentam diferentes resistências à compressão e tempo de cura. A Tabela 33 do APÊNDICE A – INFORMAÇÕES REFERENTE AOS CORPOS DE PROVA DA EMPRESA ENGENHARIA JÚNIO, estão disponibilizados os códigos dos CPs, juntamente com o tempo de cura, resistência de projeto e de ruptura. No entanto, todos os resíduos de concreto utilizados se enquadram na Classe A e podem ser reutilizados ou reciclados, conforme a resolução n° 307 do CONAMA (BRASIL, 2002).

Figura 17 – Resíduos de CPs.

Fonte: Autor (2022).

Para a obtenção do AMR, a primeira parte foi executada manualmente. Com o auxílio de uma marreta de 0,5 kg, os CPs foram fragmentados em tamanhos menores compreendidos entre 22 a 9,5 mm, conforme Ramos (2021).

Seguindo a metodologia de Ramos (2021), após a primeira etapa, o material foi colocado no equipamento “Los Ángeles”, Figura 18a. Este equipamento é utilizado para ensaios de abrasão em agregados graúdos, porém, para esta pesquisa, ele foi adaptado para efetuar o processamento dos fragmentos dos CPs em AMR. Assim, para obter uma graduação tipo A, foi utilizado um total de 12 esferas conforme a NBR 16974 (ABNT, 2021), Figura 18b. Segundo Lima Araújo *et al.* (2016), para o agregado obtenha ótimas características de resistência mecânica, deve-se introduzir uma massa de 8 kg e processar por 10 minutos.

Figura 18 – Adaptação do equipamento “Los Ángeles”.

a) Máquina “Los Ángeles”;

b) Resultado do processamento secundário.

Fonte: Autor (2022).

Em sequência, o material da Figura 18b foi peneirado, sendo armazenada a parte passante na peneira 4,8 mm e desprezada a parte graúda, Figura 19.

Figura 19 – Processo de armazenagem do AMR.

a) Peneiramento do agregado reciclado;

b) Divisão do agregado miúdo e graúdo;

c) Armazenamento do agregado miúdo reciclado;

d) Descarte do agregado graúdo reciclado;

Fonte: Autor (2022).

3.2.2 Caracterização dos agregados

A caracterização dos agregados é muito importante para o traço utilizado nesta pesquisa, pois é necessária a análise das propriedades físicas, tais como densidade, índices de absorção, massa unitária e granulometria dos materiais. A areia utilizada na pesquisa estava disponível no laboratório de materiais da UFAL-Sertão e passou pelos ensaios descritos no Quadro 3.

Quadro 3 – Ensaios da areia.

ABNT NBR 17053: Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas;
ABNT NBR 17054: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio;
ABNT NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação;
ABNT NBR 16916: Agregado miúdo – Determinação da densidade e a da absorção de água.

Fonte: Autor (2022).

Portanto, de acordo com o Quadro 3, a NBR 17054 (ABNT, 2022) estabelece o método de ensaio para a determinação da composição granulométrica dos agregados. A NBR 7211 (ABNT, 2009) especifica os requisitos exigíveis para a recepção e produção desses agregados, Figura 20a. A NBR 17053 (ABNT, 2022) consegue determinar colorimetricamente as impurezas orgânicas em agregado miúdo destinado ao preparo do concreto, Figura 20b. Já a NBR 16916 (ABNT, 2021) determina os ensaios para calcular a densidade na condição seca, na condição saturada e absorção de água dos agregados miúdo destinado ao uso do concreto, Figura 20c.

Figura 20 – Ensaios realizados com a areia.

a) Análise granulométrica da areia;

b) Determinação de impurezas orgânicas;

c) Determinação da densidade e absorção de água.

Fonte: Autor (2022).

Também, para a confecção dos *pavers*, utilizou o pó de pedra. O agregado foi obtido em uma fábrica de pré-moldados na região de Delmiro Gouveia/AL, e os ensaios realizados estão listados no Quadro 4.

Quadro 4 – Ensaios realizados no pó de pedra.

ABNT NBR 17054: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio;
ABNT NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação;
ABNT NBR 16916 – Agregado miúdo – determinação da densidade e da absorção de água;
ABNT NBR 16972 – Agregados – determinação da massa unitária e do índice de vazios.

Fonte: Autor (2022).

Conforme o Quadro 4, a Figura 21a demonstra a análise granulométrica conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009) e a NBR 17054 (ABNT, 2022). Assim, foi necessário utilizar a NBR 16916 (ABNT, 2021) em vez da NBR 16917 (ABNT, 2021) para a determinação da densidade e da absorção de água do pó de pedra, uma vez que o material apresentou alta porcentagem de material passante na peneira de 4,8 mm, característica de agregado miúdo, Figura 21b. Além disso, a NBR 16972 (ABNT, 2021) estabelece o método para a determinação da massa unitária

e do índice de vazio de agregados miúdos e graúdos, ou da mistura dos dois, em estado compacto ou solto (Figura 21c); no entanto, nesta pesquisa, foi utilizado o estado compacto.

Figura 21 – Ensaios realizados com o pó de pedra.

a) Análise granulométrica do pó de pedra;

b) Determinação da densidade e absorção de água;

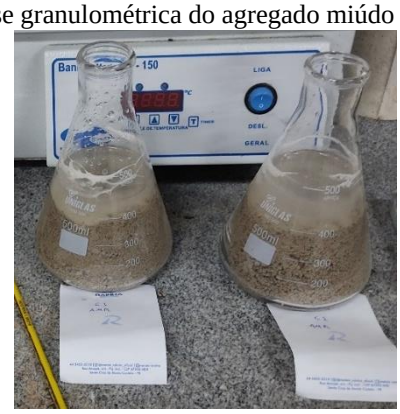
c) Determinação da massa unitária e do índice de vazios.

Fonte: Autor (2022).

Para a caracterização do agregado miúdo reciclado, foram utilizadas as Normas do Quadro 3, apenas excluindo a NBR 17053 (ABNT, 2022). A Figura 22 demostra o processo realizado.

Figura 22 – Ensaios realizados com o agregado miúdo reciclado.

a) Análise granulométrica do agregado miúdo reciclado;



b) Determinação da densidade e absorção de água
Fonte: Autor (2022).

3.2.3 Caracterização do aglomerante hidráulico

O cimento Portland utilizado na pesquisa foi adquirido na mesma fábrica de pré-moldados do pó de pedra. O cimento é um CPV – ARI, que, segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018), é um tipo de cimento que atinge alta resistência inicial, apresentando um valor mínimo de 14 MPa em apenas 1 dia. A necessidade desse tipo de cimento se deu pelo fato de que os *pavers* devem atingir uma resistência de 50 MPa aos 28 dias. Assim, o cimento foi submetido aos ensaios listados no Quadro 5.

Quadro 5 – Ensaios realizados no cimento Portland de alta resistência inicial.

ABNT NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica;
ABNT NBR 16606: Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal;
ABNT NBR 16607: Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega.

Fonte: Autor (2022).

Assim, a NBR 16605 (ABNT, 2017) estabelece o método para a determinação da massa específica de cimento Portland e outros materiais em pó, por meio do frasco volumétrico

Le Chatelier, Figura 23a e Figura 23b. A NBR 16606 (ABNT, 2018) determina a consistência normal da pasta de cimento Portland, em que a sonda de Tetmajer deve penetrar e estacionar a 6 ± 1 mm da placa-base do molde troncocônico, Figura 23c.

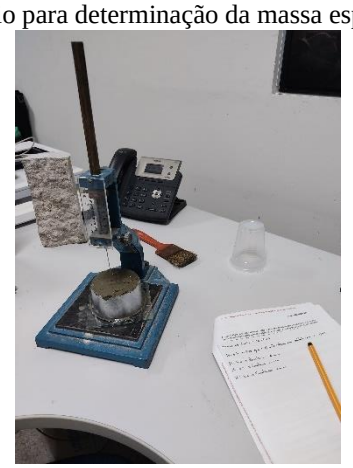
Em seguida, utiliza-se a NBR 16607 (ABNT, 2017) para determinar os tempos de pega da pasta de cimento, utilizando o aparelho de Vicat, Figura 23d. O tempo de início de pega é o tempo transcorrido desde o contato do cimento com a água até o momento em que a agulha de Vicat penetra e estaciona a 6 ± 2 mm da placa-base do molde troncocônico, enquanto o fim de pega é o tempo transcorrido até quando a agulha de Vicat modificada penetra 0,5 mm da pasta.

Figura 23 – Ensaios realizados no cimento CPV – ARI.

a) Frasco volumétrico Le Chatelier;

b) Ensaio para determinação da massa específica;

c) Ensaio para determinar consistência normal da pasta;



d) Ensaio para determinar os tempos de pega.

Fonte: Autor (2022).

3.2.4 Dosagem do concreto

Nesta pesquisa, utilizou-se a resistência de dosagem da NBR 12655 (ABNT, 2006) e o método de dosagem adaptado da ABCP, desenvolvido pelo American Concrete Institute - ACI e o Portland Cement Institute – PCI (RODRIGUES, 1998). Para a utilização deste método,

é essencial a caracterização dos materiais para obter as informações granulométricas, densidades, massa unitária e absorções de água, tendo como objetivo final a determinação da quantidade de cada material (cimento:agregados:água) em massa.

Após o cálculo da resistência de dosagem conforme a NBR 12655 (ABNT, 2006), foi utilizado o método de dosagem adaptado da ABCP para definir as proporções adequadas de cimento, areia, pó de pedra e água que vão compor o concreto. No entanto, este método sofreu alguns ajustes, sendo utilizada uma regressão linear simples para determinar o consumo de água estimado e o volume compacto seco (V_c) para o diâmetro máximo ($D_{máx}$) do pó de pedra, tentando proporcionar um concreto resistente, durável, trabalhável e econômico.

O traço unitário utilizado nesta pesquisa está descrito na Tabela 4. Foi adotado um abatimento de tronco de cone de 40 ± 10 mm, sendo necessário um fator a/c mínimo de 0,45 para obter a resistência à compressão necessária de 50 MPa.

Tabela 4 – Traço unitário do concreto.

Cimento	Areia	Pó de pedra	Fator a/c
1	1,27	1,49	0,45

Fonte: Autor (2022).

Assim, com o auxílio da Tabela 4, é possível encontrar a quantidade de material em massa para confeccionar os 20 moldes de concreto com as dimensões de 200x100x80 mm para cada tipo de traço. Porém, foi utilizado um volume total de 0,036 m³ para cobrir as perdas durante o processo de confecção dos *pavers*. A Figura 24 mostra a pesagem dos materiais para a confecção de 10 blocos do traço BCR.

Figura 24 – Pesagem dos materiais para a confecção dos BCR.

a) Massa do cimento;

b) Massa da areia;

c) Massa do pó de pedra;

d) Massa da água;

Fonte: Autor (2022).

Após toda a confecção do concreto, verificou-se a trabalhabilidade do traço com o objetivo de observar se o aumento de teor do AR afetava drasticamente a fluidez do concreto. A Figura 25 mostra o processo de moldagens dos *pavers* e o abatimento do tronco de cone.

Figura 25 – Processo de confecção dos *pavers*.

a) Mistura na betoneira;

b) Abatimento do tronco de cone;

c) Moldagem do concreto na forma.
Fonte: Autor (2022).

É importante apontar que, durante o processo de dosagem dos blocos de concreto com AMR, o material reciclado passou por uma pré-imersão em água, equivalente a 85% do índice de absorção de água durante 10 minutos (KRÜGER, PEREIRA e CHINNELATTO, 2017; RAMOS, 2021). Essa etapa é importante porque o AMR sem a pré-imersão diminui a trabalhabilidade do concreto quando é adicionado à mistura (BERREDJEM, ARABI e MOLEZ, 2020).

Também, todos os blocos de concreto passaram por adensamento mecânico, utilizando uma mesa vibratória, e secagem ao ar nas primeiras 24 horas de cura. O processo de adensamento mecânico foi realizado em duas etapas, os moldes foram preenchidos até a metade de altura e, em seguida, houve o adensamento por 30 segundos. Após isso, houve o complemento de concreto na forma e, novamente, o adensamento pelo mesmo tempo de 30 segundos, Figura 26.

Após todo esse processo, os moldes de concreto foram curados em um reservatório de água no Laboratório de Matérias do Anexo Mandacaru da UFAL–Sertão. Após o período de cura de 28 dias, os corpos de prova foram ensaiados no estado endurecido, conforme a NBR

9781 (ABNT,2013). No entanto, o processo de capeamento não foi realizado nos *pavers* por falta de equipamento no laboratório.

Figura 26 – Processo de adensamento mecânico do concreto.

a) Preenchimento até a metade da altura com o concreto;

b) Após o adensamento mecânico de 30 segundos;

c) Preenchimento do restante da forma;

d) Novamente, após o adensamento mecânico por 30 segundos.

Fonte: Autor (2022).

3.2.5 Ensaios de absorção de água

A realização do ensaio de absorção de água é importante, pois ajuda a determinar a qualidade e a durabilidade do concreto. Sabe-se que o concreto é um material poroso e pode absorver água em diferentes organismos. Com a alta absorção de água, ele pode reduzir a resistência, diminuir a qualidade e a durabilidade ao longo do tempo.

Então, após o tempo de cura de 24 dias submerso em água (Figura 27), os *pavers* de concreto passaram a ser ensaiados conforme o Anexo B da NBR 9781 (ABNT, 2013). Foram utilizados 6 corpos de prova de cada traço estudado, totalizando 24 unidades.

Figura 27 – Cura dos corpos de prova de concreto.

Fonte: Autor (2022).

Assim, os corpos de prova foram pesados em sua condição saturada com superfície seca, Figura 28a. Após esse processo, foram levados à estufa com temperatura de 110±5 °C, mantendo essa temperatura por 4 dias, Figura 28b. Em seguida, os corpos de prova foram pesados na condição seca em estufa, Figura 28c.

Figura 28 – Processo do ensaio de absorção de água.

a) Pesagem do corpo de prova na condição saturada com superfície seca;

b) Secagem dos corpos de provas saturados com superfície seca em estufa;

c) Pesagem do corpo de prova na condição seco em estufa.

Fonte: Autor (2022).

Logo, todo esse processo serviu para calcular a absorção de água de cada corpo de prova conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013).

3.2.6 Avaliação dimensional

Conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013), a avaliação dimensional deve ser realizada sempre em planos paralelos ou perpendiculares às arestas das peças com o auxílio de um paquímetro, obtendo uma largura mínima de 97 mm e a espessura mínima ser de 60 mm, especificada em múltiplos de 20 mm. Além disso, as peças de concreto devem obedecer às tolerâncias dimensionais especificadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Tolerâncias dimensionais das peças de concreto.

Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
± 3	± 3	± 3

Fonte: Adaptado a partir da NBR 9781 (2013).

As peças de concretos utilizadas nesta pesquisa possuem o formato retangular, com a relação comprimento/largura igual a dois. As formas utilizadas para a confecção dos moldes possuem as seguintes dimensões: 200 mm de comprimento, 100 mm de largura e 80 mm de espessura. Foram avaliados 12 corpos de prova de cada traço, totalizando 48 peças de concretos. Após a cura dos corpos de prova, as peças passaram pelo processo de avaliação dimensional, Figura 29. Em seguida, todos os blocos de concreto avaliados foram destinados aos ensaios de resistência à compressão.

Figura 29 – Processo de avaliação dimensional dos corpos de prova de concreto.

a) Avaliação do comprimento (mm);

b) Avaliação da largura (mm)

c) Avaliação da espessura (mm).

Fonte: Autor (2022).

3.2.7 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão é um dos mais importantes ensaios utilizados na avaliação da qualidade do concreto. Assim, é possível determinar a resistência do concreto e avaliar a adequação à situação específica, garantindo, assim, a segurança e durabilidade do material.

Seguindo a normativa do Anexo A da NBR 9781 (ABNT, 2013), foram utilizadas duas placas circulares de aço, com diâmetro de 85 mm e espessura de 20 mm, que servem para auxiliar nos ensaios de compressão, Figura 30.

Figura 30 – Placas auxiliares de aço.

Fonte: Autor (2022).

Após a cura de 28 dias, as 56 peças de concreto foram introduzidas na prensa elétrica 200T e as placas auxiliares foram colocadas na parte superior e inferior dos *pavers*, Figura 31. Nota-se que não foi realizado qualquer tipo de capeamento nos corpos de prova.

Figura 31 – Ensaio de resistência à compressão do bloco de concreto para piso intertravado.

Fonte: Autor (2022).

Segundo o Anexo A da NBR 9781 (ABNT, 2013), os resultados dos tipos de blocos de concreto devem ser expressos em megapascals, multiplicando esse valor pelo fator p (que é determinado função da altura da peça), Tabela 6.

Tabela 6 – Fator multiplicativo p.

Espessura nominal da peça (mm)	p
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte: Adaptado a partir da NBR 9781 (2013).

Também, os resultados devem obedecer à distribuição normal, obtendo assim um valor de resistência característica estimada ($f_{pk,est}$). Esta resistência depende dos valores da média das resistências (f_p), do desvio-padrão da amostra (s) e do coeficiente de Student (t), valor dependente do tamanho da amostra, Equação (1.

$$f_{pk,est} = f_p - t \cdot s \quad (1)$$

Em que,

$f_{pk,est}$: Resistência característica estimada (MPa);

f_p: Resistência média das peças (MPa);

s: Desvio-padrão da amostra (Mpa);

t: Coeficiente de Student, em função do tamanho da amostra (Tabela 36 do ANEXO A – VALOR DO COEFICIENTE DE STUDENT CONFORME A NBR 9781 DE 2013).

3.2.8 Análise estatística dos ensaios da NBR 9781

Todos os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água e resistência à compressão passaram por análise estatística com o auxílio do software JAMOVI com uma significância (p) de 5%. A significância estatística é um conceito importante na análise de dados estatísticos que busca determinar se a diferença observada entre dois grupos é real ou se pode ser explicada pelo acaso ou variabilidade natural dos dados. Em outras palavras, é uma medida que indica se os resultados obtidos em um estudo são estatisticamente relevantes ou não.

Em geral, utiliza-se um nível de significância de 5% ($p < 0{,}05$) para inferir que uma diferença observada é estatisticamente significativa, ou seja, que é improvável que ela tenha ocorrido apenas por acaso. Quando o valor de p é menor que 0,05, diz-se que a diferença é significativa, e quando é maior, que a diferença não é significativa. A significância estatística é uma ferramenta importante para a validação de hipóteses e para a tomada de decisões com base em evidências observadas em experimentos ou estudos científicos.

Todos os dados obtidos foram submetidos ao teste da normalidade de Shapiro-Wilk. Se a normalidade entre os dados fosse atendida, foi utilizado o método de análise de variância (ANOVA). Se houvesse significância estatística, foi verificado o teste de homogeneidade de Levene entre os dados para, em seguida, utilizar o Teste Post-hoc de Games-Howell (para variância heterogênea) ou o Teste de Tukey (para variância homogênea).

Caso os dados não apresentassem distribuição normal, foi utilizado o método não paramétrico de Kruskal-Wallis, caso tenha uma significância estatística foi utilizado o método comparações múltiplas Dwass-Steel-Critchlow-Fligner. Portanto, essas análises foram essenciais para analisar a discrepância dos dados obtidos nos ensaios e verificar se o aumento da porcentagem de AMR de concreto nos traços confeccionados alterou as propriedades do concreto no estado endurecido.

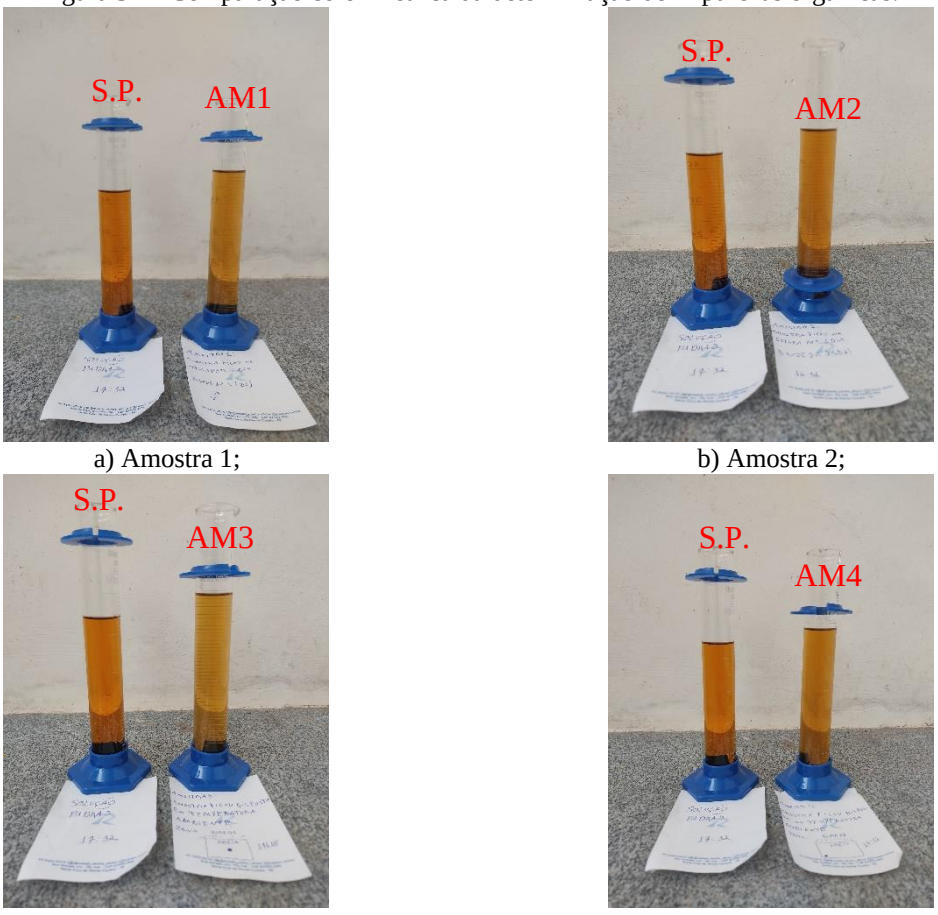
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização dos agregados

4.1.1 Areia

A determinação de impurezas orgânicas da areia foi executada conforme a NBR 17053 (ABNT, 2022). Foram coletadas quatro amostras do material e a coloração foi comparada com a solução padrão, Figura 32.

Figura 32 – Comparação colorimétrica da determinação de impurezas orgânicas.



a) Amostra 1; b) Amostra 2;

c) Amostra 3; d) Amostra 4;

OBS: S.P. - Solução padrão; AM - Amostra.
Fonte: Autor (2023).

Assim, todas as amostras dispostas na Figura 32 resultaram em uma cor mais clara que a solução padrão, determinando assim que a areia pode ser utilizada na pesquisa. Portanto, deu-se sequência aos outros ensaios, como análise granulométrica, a determinação da massa específica e absorção de água.

A análise granulométrica expressa os resultados da dimensão máxima do grão ($D_{máx}$), módulo de finura (MF) e a curva granulométrica. Para a granulometria da areia, foram coletadas duas amostras disponíveis no laboratório. Os resultados obtidos do AMN estão dispostos na Tabela 7.

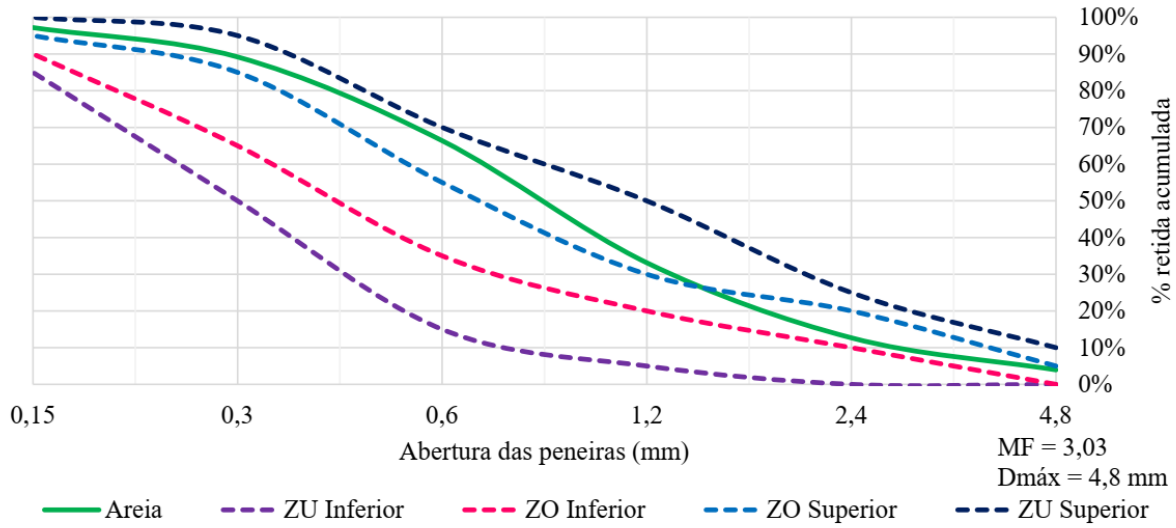
Tabela 7 – Composição granulométrica da areia.

Abertura da malha das peneiras (mm)	Amostra 1		Amostra 2		Média da % retida	% passante acumulada	% retida acumulada
	massa inicial seca (g) = 500		Massa inicial seca (g) = 500				
	Material retido (g)	% retida	Material retido (g)	% retida			
4,8	20,33	4,1%	18,93	3,8%	3,9%	96,1%	3,9%
2,4	49,01	9,9%	37,81	7,6%	8,7%	87,3%	12,7%
1,2	104,78	21,1%	98,74	19,8%	20,5%	66,9%	33,1%
0,6	164,18	33,1%	166,29	33,3%	33,2%	33,6%	66,4%
0,3	106,22	21,4%	120,98	24,3%	22,8%	10,8%	89,2%
0,15	37,47	7,6%	41,98	8,4%	8,0%	2,8%	97,2%
Fundo	14	2,8%	13,95	2,8%	2,8%	0,0%	100,0%
Total	495,99	100%	498,68	100%	100%	-	-

Fonte: Autor (2023).

Desta forma, com o auxílio da Tabela 7, é possível determinar diâmetro máximo do grão, o módulo de finura e a curva granulométrica da areia, Figura 33.

Figura 33 – Curva granulométrica da Areia.



OBS: ZU – Zona utilizável; ZO – Zona ótima.
Fonte: Autor (2023).

Portanto, na Figura 33, é possível observar que a curva granulométrica da areia atende aos limites das zonas inferiores e superiores, obtendo um módulo de finura de 3,03, que se

enquadra na zona utilizável superior, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009), e um diâmetro máximo de 4,8 mm.

Além disso, de acordo com a NBR 16916 (ABNT, 2021), foram determinadas a densidade e a absorção de água da areia. O ensaio contou com duas amostras, e a média dos resultados está na Tabela 8.

Tabela 8 – Determinação da densidade e da absorção da areia

Agregado	Densidade do agregado		Absorção de água (%)
	Condição seca (g/cm³)	Condição saturada superfície seca (g/cm³)	
Areia	2,47	2,51	1,51

Fonte: Autor (2023).

4.1.2 Pó de pedra

Para determinar a composição granulométrica do pó de pedra, foram utilizadas duas amostras, Tabela 9.

Tabela 9 – Composição granulométrica do pó de pedra.

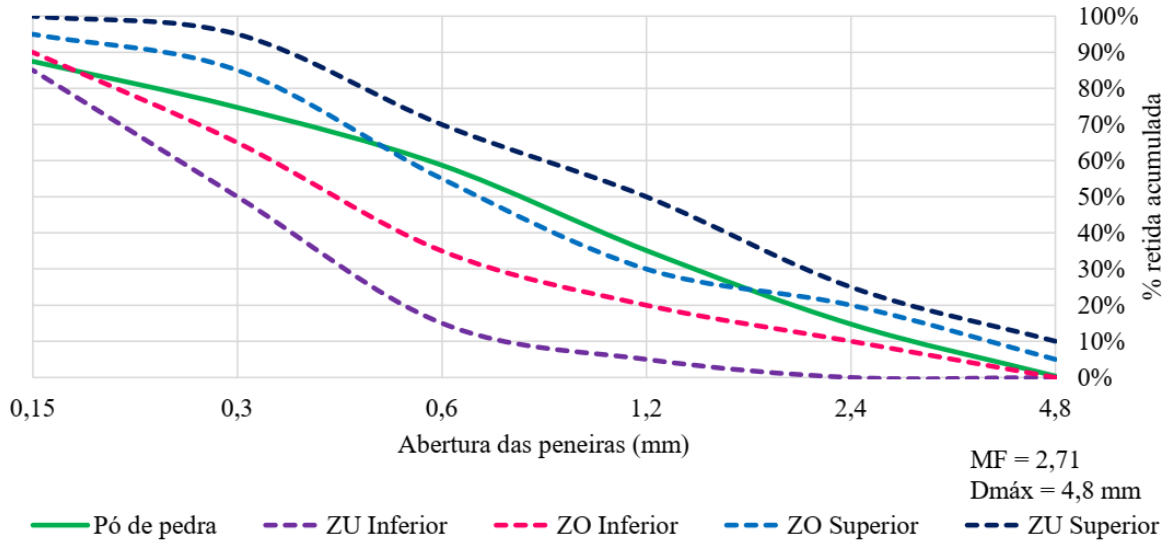
Abertura da malha das peneiras (mm)	Amostra 1 massa inicial seca (g) = 500		Amostra 2 Massa inicial seca (g) = 500		Média da % retida	% passante acumulada	% retida acumulada
	Material retido (g)	% retida	Material retido (g)	% retida			
4,8	2,08	0,42%	1,59	0,32%	0,37%	99,63%	0,37%
2,4	68,12	13,65%	75,56	15,11%	14,38%	85,25%	14,75%
1,2	105,99	21,24%	97,69	19,54%	20,39%	64,86%	35,14%
0,6	116,35	23,31%	119,3	23,86%	23,59%	41,27%	58,73%
0,3	77,15	15,46%	82,48	16,50%	15,98%	25,30%	74,70%
0,15	64,98	13,02%	62,65	12,53%	12,78%	12,52%	87,48%
Fundo	64,42	12,91%	60,65	12,13%	12,52%	0,00%	100,00%
Total	499,09	100%	499,92	100%	100%	-	-

Fonte: Autor (2023).

Com isso, com a porcentagem retida acumulada, é possível determinar a curva granulométrica, o módulo de finura e a dimensão máxima característica. Portanto, a Figura 34 demostra estes dados.

Assim, conforme a Figura 34, o pó de pedra também está dentro dos limites das zonas inferiores e superiores, possui um módulo de finura de 2,71, que segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009), o agregado pertence da zona ótima e tem um diâmetro máximo do grão de 4,8 mm.

Figura 34 – Curva granulométrica do pó de pedra.



OBS: ZU – Zona utilizável; ZO – Zona ótima.
Fonte: Autor (2023).

Também, para a determinação da densidade e absorção de água do pó de pedra foram coletadas duas amostras e a Tabela 10 disponibiliza a média dos resultados.

Tabela 10 – Determinação da densidade e absorção do pó de pedra

Agregado	Densidade do agregado		Absorção de água (%)
	Condição seca (g/cm³)	Condição saturada superfície seca (g/cm³)	
Pó de pedra	2,30	2,34	1,63

Fonte: Autor (2023).

Para a determinação da massa unitária compacta e do índice de vazios, foi utilizada a NBR 16972 (ABNT, 2021), Tabela 11.

Tabela 11 – Determinação da massa unitária e índice de vazio.

Agregado	Massa unitária compacta (kg/m³)	Massa unitária compacta na condição saturado e de superfície seca (kg/m³)	Índice de vazios (%)
Pó de pedra	1655,17	1682,08	28,19

Fonte: Autor (2023).

4.1.3 Agregado Miúdo Reciclado de Concreto (AMRC)

O ensaio granulométrico do AMRC foi executado de acordo com a NBR 17054 (ABNT, 2022). Foram coletadas duas amostras e os resultados foram especificados de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), Tabela 12.

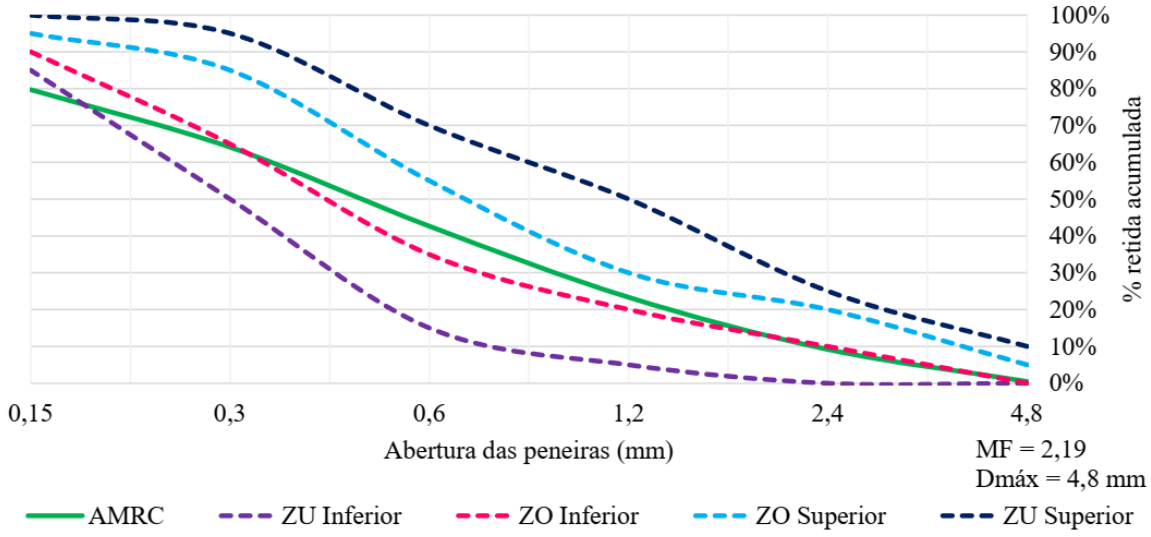
Tabela 12 – Composição granulométrica do AMRC.

Abertura da malha das peneiras (mm)	Amostra 1 massa inicial seca (g) = 500		Amostra 2 Massa inicial seca (g) = 500		Média da % retida	% passante cumulada	% retida acumulada
	Material retido (g)	% retida	Material retido (g)	% retida			
4,8	1,99	0,40%	2,49	0,50%	0,45%	99,55%	0,45%
2,4	43,37	8,68%	43,85	8,79%	8,73%	90,82%	9,18%
1,2	68,43	13,69%	72,7	14,57%	14,13%	76,69%	23,31%
0,6	96,59	19,33%	96,81	19,40%	19,36%	57,33%	42,67%
0,3	108,67	21,74%	105,47	21,13%	21,44%	35,89%	64,11%
0,15	79,18	15,84%	76,71	15,37%	15,61%	20,28%	79,72%
Fundo	101,52	20,31%	101,07	20,25%	20,28%	0,00%	100,00%
Total	499,75	100%	499,1	100%	100,0%	-	-

Fonte: Autor (2023).

Com o auxílio da Tabela 12, é possível elaborar a curva granulométrica do AMRC, Figura 35.

Figura 35 – Curva granulométrica do AMRC.



OBS: ZU – Zona utilizável; ZO – Zona ótima.
Fonte: Autor (2023).

Portanto, a curva granulométrica do AMRC entre as peneiras 4,8 a 0,3 mm está dentro dos limites estabelecidos na NBR 7211 (ABNT, 2009), porém na peneira de 0,15 mm o agregado acaba obtendo um valor da porcentagem redita acumulada inferior conforme a Norma. Segundo Silva Junior *et al*. (2021), ele destaca que os AR apresentam falhas na exigência de fluidez adequada para o tamanho da partícula, ou seja, não possuem uma uniformidade granulométrica. Já em concordância com Ramos (2021), não existem normas técnicas que regulamentam a caracterização dos materiais reciclados, uma vez que há a necessidade do

aproveitamento desses materiais para a produção de novos concretos na construção civil. Além disso, o AMRC possui um módulo de finura de 2,19, que se enquadra na zona utilizável inferior de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), e obteve um diâmetro máximo de 4,8 mm.

A Tabela 13 mostra os valores de densidade e absorção de água do AMRC, cujos resultados foram obtidos a partir das médias de duas amostras.

Tabela 13 – Determinação da densidade e absorção do AMCR.

Agregado	Densidade do agregado		Absorção de água (%)
	Condição seca (g/cm³)	Condição saturada superfície seca (g/cm³)	
AMCR	1,92	2,12	10,46

Fonte: Autor (2023).

Enfim, a densidade na condição seca do AMRC apresenta uma diferença de 28,62% em relação à areia e de 19,86% em relação ao pó de pedra. Já na condição saturada superfície seca, a diferença é de 18,19% em relação à areia e 10,25% em relação ao pó de pedra. Desta forma, é possível afirmar que o AMRC é menos denso que os agregados convencionais. Além disso, Santos e Leite (2018) afirmam que, quanto menor a massa específica do RCD, maior é a porosidade no concreto e, consequentemente, menor é a resistência.

Na análise comparativa do valor de absorção de água do AMRC com os demais agregados utilizados nesta pesquisa, observa-se que o AR apresenta uma alta absorção de água, evidenciando a porosidade do material. No entanto, Scott Hood (2006) afirma que os valores mais comuns para este tipo de ensaio em RCD situam-se no intervalo de 7% a 14% de absorção. Silva Junior *et al*. (2021) destaca que a alta absorção ocorre devido à baixa granulometria do agregado, o que acarreta na alta superfície específica e, assim, aumenta a área superficial de aplicação de água.

4.2 Caracterização do aglomerante hidráulico

A massa específica do cimento CPV – ARI foi calculada a partir de duas amostras e ensaiada segundo a NBR 16605 (ABNT, 2017), Tabela 14.

Tabela 14 – Massa específica do aglomerante hidráulico.

Material	Massa específica (g/cm³)
CPV – ARI	3,08

Fonte: Autor (2023).

A determinação da consistência normal contou com diversas tentativas para encontrar o valor ideal de água para obter a penetração necessária de 6 ± 1 mm no aparelho de Vicat. Assim, a Tabela 15 demostra os resultados.

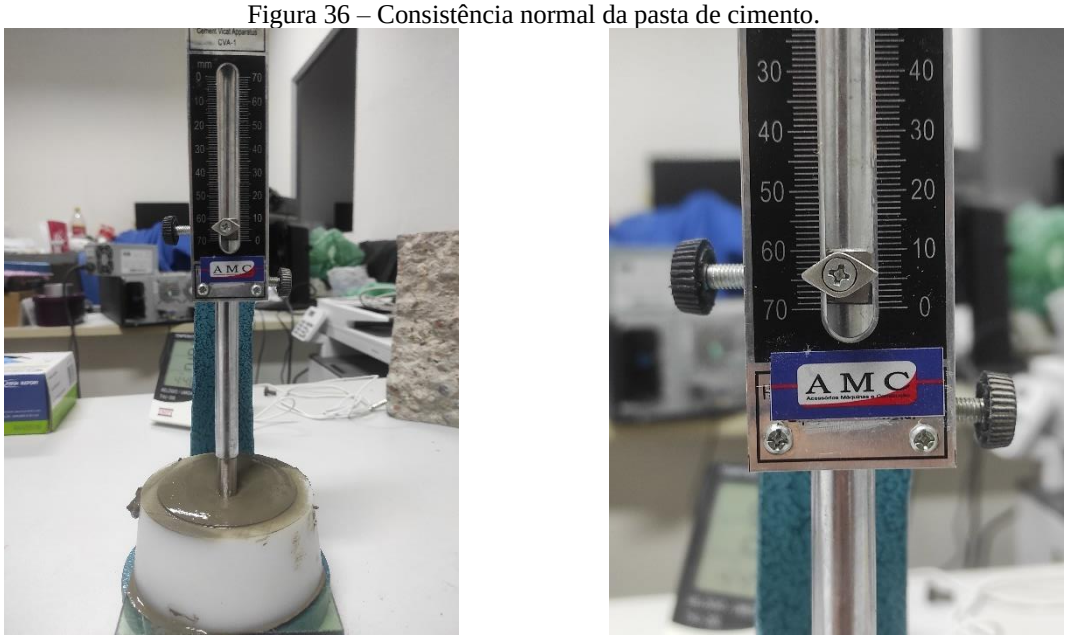
Tabela 15 – Quantidade de material para a obtenção da consistência normal.

Massa do cimento (g)	500,43
Massa da água (g)	180,37
Quantidade de água (%)	36,04

Fonte: Autor (2023).

Com isso, a Figura 36 mostra os resultados da consistência normal no aparelho de Vicat.

Figura 36 – Consistência normal da pasta de cimento.



a) Conjunto aparelho de Vicat, sonda de Tetmajer e a pasta de cimento;

b) Consistência normal adquirida.

Fonte: Autor (2023).

Assim, após a determinação da consistência normal, foi realizado o ensaio de tempo de pega conforme a NBR 16607 (ABNT, 2017). O contato do cimento com a água ocorreu por volta das 15 horas e 37 minutos, a Tabela 16 expressa o tempo decorrido.

Tabela 16 – Tempo de pega.

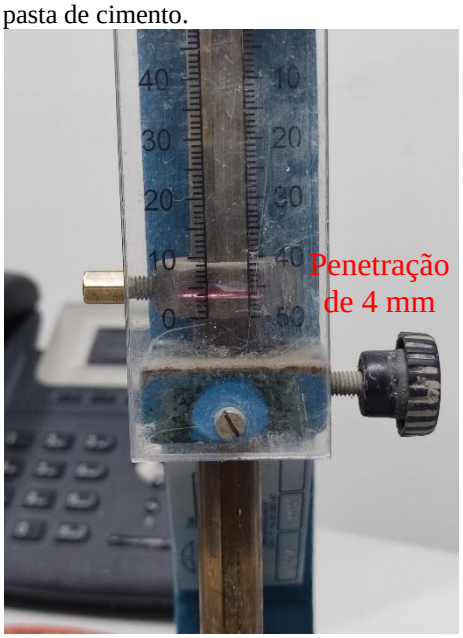
Início (min)	121
Fim (min)	273

Fonte: Autor (2023).

Conforme a Tabela 16, a Figura 37 mostra as imagens registrando o tempo de pega.

Figura 37 – Tempo de pega da pasta de cimento.

a) Conjunto aparelho de Vicat, agulha de Vicat e pasta de cimento;



b) Início de pega registrado por volta das 17:38;

c) Fim de pega registrado por volta das 20:10.
Fonte: Autor (2023).

4.3 Concreto no estado fresco – Trabalhabilidade

Após a utilização do método da resistência de dosagem, conforme a NBR 12655 (ABNT, 2006), e do método adaptado da ABCP, foi possível calcular o traço unitário, Tabela 4. Para a confecção de 20 blocos de concreto e cobertura de perdas, adotou-se um volume do recipiente de 0,036 m³, o que permitiu o cálculo do traço mássico para cada traço, com um consumo de cimento de 516,37 kg/m³, Tabela 17.

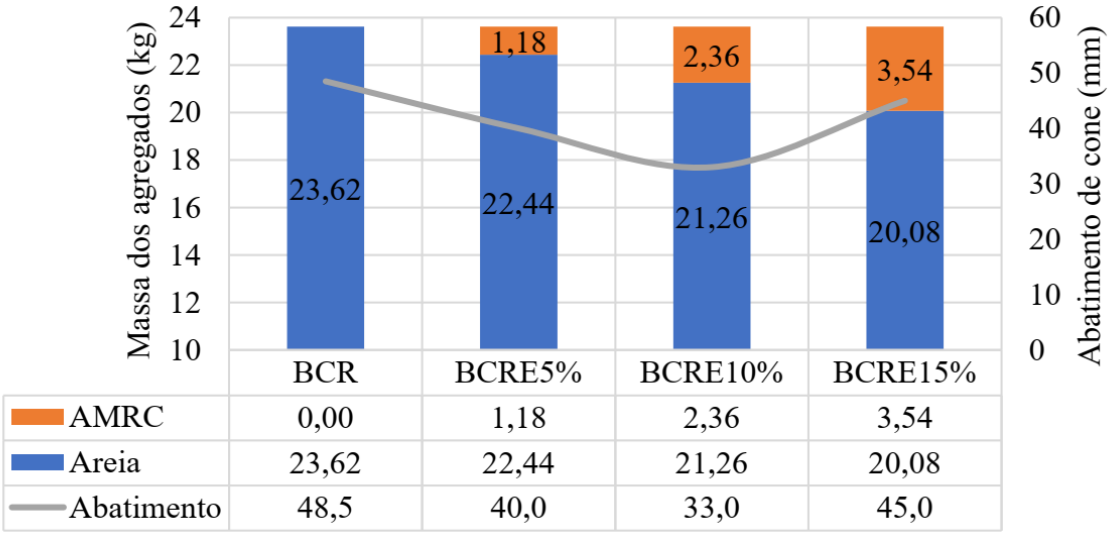
Tabela 17 – Traço mássico inicial para a confecção dos 80 blocos de concreto.

Consumo de cimento (kg/m³):	516,37				
Blocos de concretos	Cimento (kg)	Areia (kg)	Agregado miúdo reciclado (kg)	Pó de pedra (kg)	Água (kg)
BCR	18,59	23,62	-	27,76	8,37
BCRE5%	18,59	22,44	1,18	27,76	8,37
BCRE10%	18,59	21,26	2,36	27,76	8,37
BCRE15%	18,59	20,08	3,54	27,76	8,37

Fonte: Autor (2022).

Porém, durante o processo de mistura na betoneira, o traço BCR não obteve o abatimento de tronco de cone mínimo (40±10 mm). Para obter o abatimento desejado, foi necessária a correção na dosagem de água. Assim, a água foi acrescentada gradualmente, totalizando uma quantidade de 9,8 kg. Essa quantidade de água foi utilizada nos demais traços, resultando em um novo valor para o fator a/c de 0,53. A Figura 38 mostra a relação entre o abatimento de tronco de cone e o aumento do teor do AMRC.

Figura 38 – Relação do teor de AMRC com o abatimento de cone.



Fonte: Autor (2023).

Logo, é possível observar na Figura 38 que todos os abatimentos de tronco de cone estão dentro do estabelecido anteriormente. No entanto, nota-se que o abatimento diminuiu, ou seja, a trabalhabilidade do concreto aumentou em todas as porcentagens com AMRC. O traço de 5% e 10% de AMRC tiveram uma diferença de 21,25% e 46,97%, respectivamente, enquanto com 15% de AMRC a diferença foi de 7,78%, em comparação com o traço de referência. É importante lembrar que os AMRC passaram pelo processo de pré-imersão antes de ser inserido na mistura, e ambos receberam 85% da absorção de água, ou seja, todos eles receberam a mesma proporção de água em relação à massa no processo.

Entretanto, na comunidade científica, é comum discutir que a trabalhabilidade do concreto diminui quando o AR é inserido na composição, havendo uma relação de teor de materiais secos/pasta (CABRAL, 2007; LANDOLFO, OLIVEIRA e NOGUEIRA, 2014; RODRIGUES E FUCALE, 2014; SANTOS E LEITE, 2018; CASTRO *et al*., 2021; SUDA, 2021). Essa característica é explicada devido à alta absorção de água do AR, tornando a mistura mais seca, ou seja, menos trabalhável.

Mesmo assim, não foi possível observar a perda de trabalhabilidade nos traços estudados. O método de dosagem utilizado (ABCP adaptado), segundo Simiele (2010), tem como base a trabalhabilidade da mistura, sendo um princípio básico abordado pelo método que associa, para cada granulometria do agregado miúdo e graúdo um volume máximo de agregado compacto seco por m³ de concreto. Portanto, o método utilizado e a pré-imersão favorecem a trabalhabilidade dos concretos produzidos.

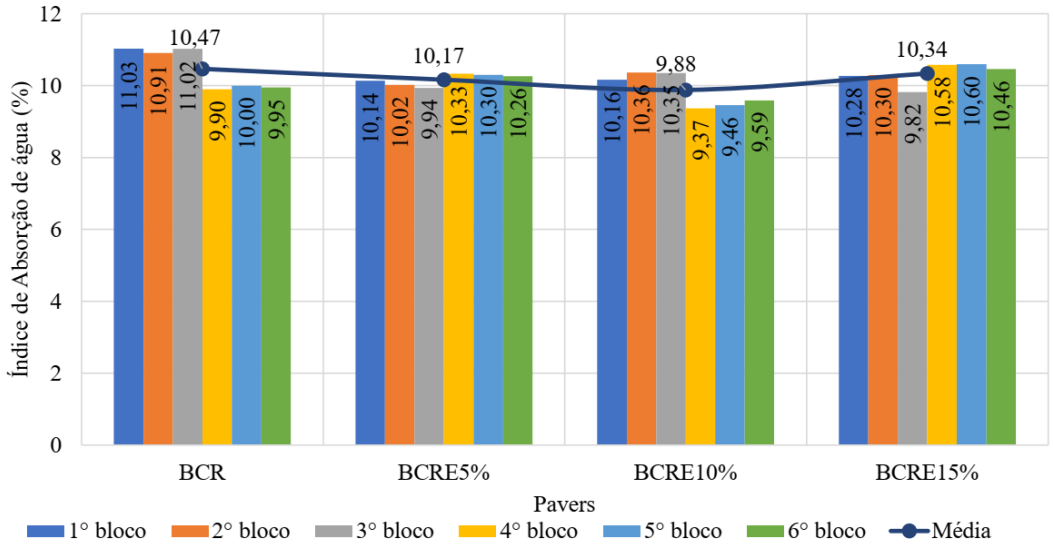
4.4 Concreto no estado endurecido

4.4.1 Absorção de água

Os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água dos blocos de concreto para pavimentação com e sem AMRC estão expostos na Figura 39. Os ensaios foram realizados conforme o Anexo B da NBR 9781 (ABNT, 2013). Além disso, foram verificados dados estatísticos para mostrar a homogeneidade dos dados e as possíveis alterações nas propriedades do concreto com o aumento do AMRC.

A NBR 9781 (ABNT, 2013) afirma que as peças de concreto devem apresentar um valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior que 7%. No entanto, ao avaliar os resultados da Figura 39, é possível observar que os blocos de concreto não atingiram os valores máximos determinados da Norma. Este fato pode ser relacionado ao uso predominante de agregado miúdo (areia, pó de pedra e AMRC) na composição dos quatro tipos de traço de concreto, o que levou ao aumento da absorção de água.

Figura 39 – Resultados do ensaio de absorção de água.



Fonte: Autor (2022).

Também é perceptível notar que o traço BCR apresentou a maior absorção média em comparação com os outros tipos de traços, com uma diferença de 2,96%, 5,91% e 1,23% em relação aos BCRE5%, BCRE10% e BCRE15%, respectivamente. A diminuição da absorção de água dos blocos de concreto com AMRC pode ser compreendida devido ao fato de que o agregado reciclado possui um MF bem menor que os agregados naturais, o que acarreta no preenchimento dos espaços vazios do concreto, bem como o aumento da trabalhabilidade do mesmo, visto na Figura 38, diminuiu os índices de vazios dos blocos.

Na análise estatística da absorção de água na comparação entre os grupos de *pavers*, o BCR apresentou um valor de *p* menor que 5%, portanto os dados não possuem uma distribuição normal, Tabela 18.

Tabela 18 – Teste de normalidade entre os tipos de *pavers*.

Teste de Shapiro-Wilk	Tipos de *pavers*			
	BCR	BCRE5%	BCRE10%	BCRE15%
W	0,755	0,907	0,835	0,866
p	0,022	0,419	0,119	0,212

Fonte: Autor (2022).

Com isso, os dados estatísticos foram descritos na Tabela 19.

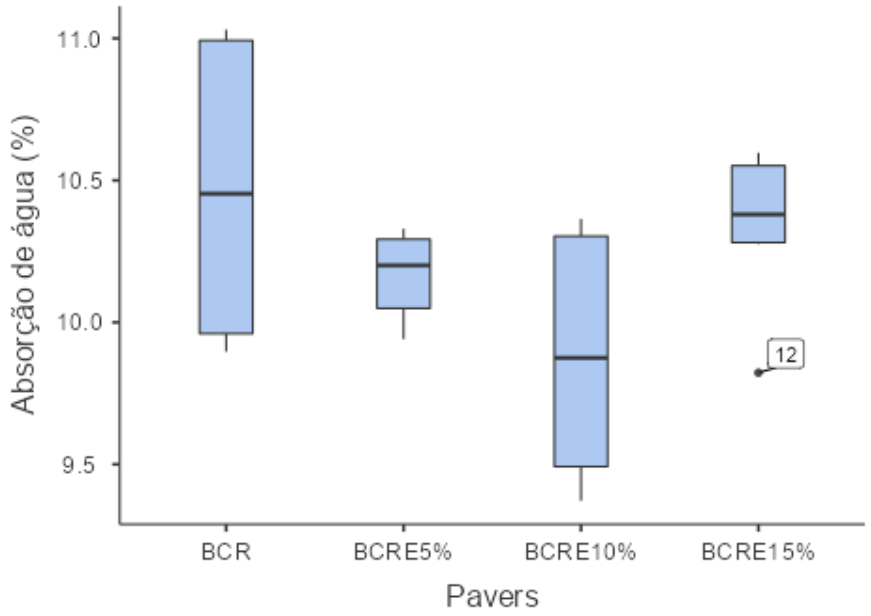
Tabela 19 – Dados estatísticos por grupo dos blocos de concreto.

Medidas de variabilidades	Tipos de *pavers*			
	BCR	BCRE5%	BCRE10%	BCRE15%
Mediana (%)	10,5	10,2	9,88	10,4
25° percentil (%)	9,96	10,0	9,49	10,3
50° percentil (%)	10,5	10,2	9,88	10,4
75° percentil (%)	11,0	10,3	10,3	10,6

Fonte: Autor (2022).

Assim, com a Tabela 19, é possível elaborar o diagrama de caixa, apresentado na Figura 40.

Figura 40 – Diagrama de caixa da absorção de água em referência aos tipos de blocos de concretos.



Fonte: Autor (2022).

Analisando a Figura 40, é possível observar que os intervalos dos tipos de *pavers* estão se sobrepondo, exceto quando se compara o BCRE15% com BCRE5% e BCRE10%. No entanto, ao utilizar a análise não paramétrica, é possível afirmar que não existe diferença estatística entre os dados na divisão dos tipos de blocos de concreto, pois o valor de p foi maior que 5%, Tabela 20.

Tabela 20 – Análise não paramétrica de Kruskal-Wallis por tipo de *pavers*.

Absorção de água (%)	χ^2	gl	p
	3,43	3	0,330

Fonte: Autor (2022).

Portanto, a Tabela 20, demonstra que não existe diferença estatística entre os tipos de traços, ou seja, é possível concluir que os acréscimos das proporções de 5%, 10% e 15% do

AMRC não afetaram a propriedade de absorção de água dos blocos de concreto para pavimentação intertravada.

Além disso, a comparação dos dados entre as diferentes ordens dos blocos de concreto não apresentou uma distribuição normal, Tabela 21.

Tabela 21 – Teste de normalidade entre as ordens dos *pavers*.

Teste de Shapiro-Wilk	Ordem dos *pavers*					
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
W	0,742	0,932	0,906	0,967	0,979	0,974
p	0,033	0,608	0,460	0,822	0,894	0,869

Fonte: Autor (2022).

Assim, os dados também foram descritos na Tabela 22.

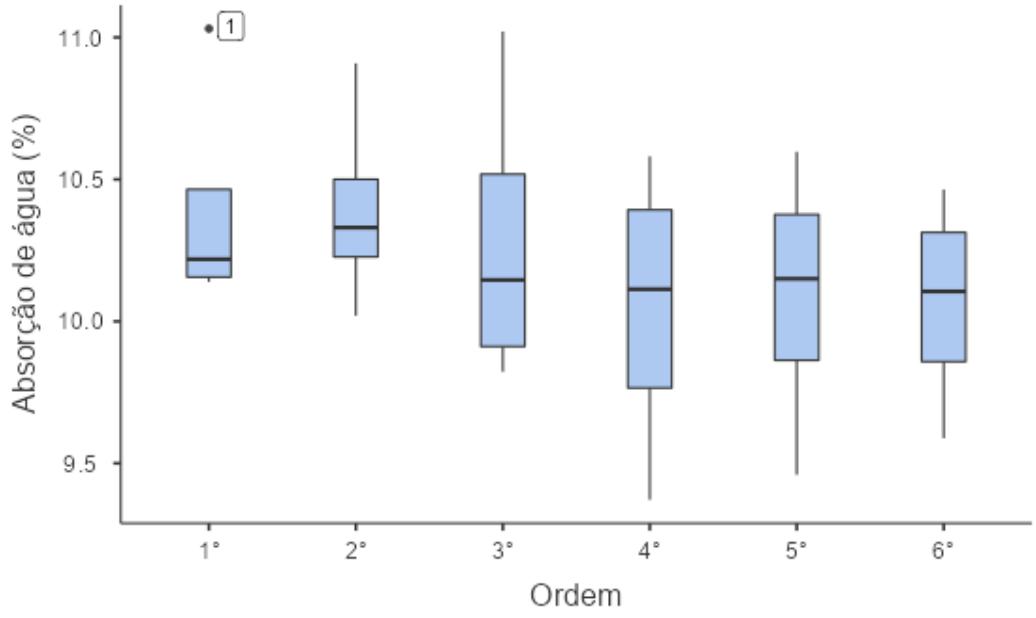
Tabela 22 – Dados estatísticos por ordem dos blocos de concretos.

Medidas de variabilidades	Tipos de *pavers*					
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Mediana (%)	10,2	10,3	10,1	10,1	10,2	10,1
25° percentil (%)	10,2	10,2	9,91	9,77	9,86	9,86
50° percentil (%)	10,2	10,3	10,1	10,1	10,2	10,1
75° percentil (%)	10,5	10,5	10,5	10,4	10,4	10,3

Fonte: Autor (2022).

Com isso, a Figura 41 traz o diagrama de caixa da Tabela 22.

Figura 41 – Diagrama de caixa da absorção de água em referência à ordem dos blocos de concretos.



Fonte: Autor (2022).

Desta forma, analisando a Figura 41, é notável que os dados estão se sobrepondo melhor do que na Figura 40. Realizando a mesma análise não paramétrica, também é possível

afirmar que os dados são estatisticamente iguais, portanto, não possuem uma significância estatística, Tabela 23.

Tabela 23 – Análise não paramétrica de Kruskal-Wallis por ordem dos *pavers*.

	χ^2	gl	p
Absorção de água (%)	1,97	5	0,853

Fonte: Autor (2022).

Logo, a Tabela 23 demostra que os dados de absorção de água entre as ordens dos blocos de concreto não apresentam diferença estatística. Assim, é possível afirmar que o ensaio de absorção foi executado de forma idêntica para toda a sequência, não afetando o resultado adquirido no ensaio.

4.4.2 Avaliação dimensional

A avaliação dimensional dos blocos de concreto foi executada conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013), após o período de cura de 28 dias. Todos os CPs avaliados foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão. A Tabela 34 do APÊNDICE B – AVALIAÇÃO DIMENSIONAL DOS BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA apresenta todos os valores dimensionais obtidos dos 48 blocos de concreto. Dessa forma, a Tabela 24 apresenta uma estatística descritiva dos dados obtidos na Tabela 34, com o intuito de resumi-los.

Então, analisando a Tabela 24, é possível afirmar que os dados não possuem um grande grau de dispersão, visto que os desvios-padrões possuem baixos valores. Além disso, as medidas de variabilidades máximo e mínimo demonstram que as dimensões dos blocos de concreto estão dentro dos limites de tolerância estabelecidos pela a NBR 9781 (ABNT, 2013).

Tabela 24 – Estatística descritiva da avaliação dimensional dos blocos de concreto.

Medidas de variabilidades	Tipos de traço	Dimensões (mm)		
		Comprimento	Largura	Espessura
Média	BCR	198	101	78.8
	BCRE5%	198	102	78.8
	BCRE10%	198	101	80.6
	BCRE15%	199	102	79.5
Desvio-padrão	BCR	0.623	1.25	1.04
	BCRE5%	0.755	1.28	1.45
	BCRE10%	0.678	1.20	1.19
	BCRE15%	1.06	1.18	1.47
Mínimo	BCR	197	98.5	77.2
	BCRE5%	197	98.8	77.0
	BCRE10%	197	99.3	78.5
	BCRE15%	197	99.7	77.7
Máximo	BCR	199	103	80.7
	BCRE5%	199	103	81.1
	BCRE10%	199	103	82.6
	BCRE15%	201	103	81.9

Fonte: Autor (2022).

4.4.3 Resistência à compressão

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão dos blocos de concreto estão dispostos na Tabela 35 do APÊNDICE C – RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS DE CONCRETOS PARA PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA. O ensaio contou com 14 blocos de concreto de cada traço e foi realizado conforme o Anexo A da NBR 9781 (ABNT, 2013). Também foram feitas análises estatísticas para demonstrar a homogeneidade dos dados. Assim, a Tabela 25 traz um resumo com as principais características dos resultados obtidos na Tabela 35.

Tabela 25 – Resistência dos blocos de concreto por tipo de traço.

Dados	Traço			
	BCR	BCRE5%	BCRE10%	BCRE15%
f_p (resistência média à compressão em MPa)	19,79	15,57	12,73	19,73
t (coeficiente de Student)	0,87			
s (desvio-padrão em MPa)	3,53	5,61	4,01	3,86
$f_{pk,est}$ (resistência características à compressão em MPa)	16,72	10,69	9,24	16,37

Fonte: Autor (2023).

A resistência característica à compressão dos blocos de concreto foi calculada conforme a Equação (1, como manda a NBR 9781 (ABNT, 2013). Dessa forma, é possível avaliar que nenhum traço do concreto atingiu o valor estimado para o tráfego pesado, que é de 50 MPa, e que os valores ficaram muito abaixo dos limites permitidos para a usabilidade do tráfego leve, que é de 32 MPa, conforme a Norma.

Com a adição de 5% e 10% de AMR, houve uma diminuição de 36% e 44,77%, respectivamente, na resistência características à compressão. No entanto, com a adição de 15% do material reciclado, a diminuição foi apenas de 2%. O decréscimo da resistência à compressão com o aumento do material reciclado no concreto é algo comumente discutido no âmbito científico, visto que outros autores também observaram esse efeito (EVANGELISTA E BRITO, 2007; MEHTA e MONTEIRO, 2008; CABRAL *et al.*, 2009; GOMES e BRITO, 2009; BRITO e ROBLES, 2010; LANDOLFO, OLIVEIRA e NOGUEIRA, 2014; SOARES *et al.*, 2014; ESTOLANO *et al.*, 2018; VIANA NETO, SALES e SALES, 2018; SALGADO e SILVA, 2021; SILVA e MELO, 2021).

A baixa resistência à compressão dos blocos de concreto pode estar relacionada ao método de confecção. Pesquisas como a de Uygunolu *et al.* (2012) e Bins *et al.* (2022) utilizaram equipamentos de confecção de blocos intertravados com vibroprensa, alcançando valores de resistência mais elevada com a adição maior do que 15% de AR nos traços de concreto. Bins *et al.* (2022) também enfatizam que, para atender às exigências da NBR 9781 (ABNT, 2013), é necessário o uso de equipamentos de vibrocompressão para retirar os vazios e diminuir a porosidade do concreto. Nesta pesquisa, por outro lado, apenas uma mesa vibratória foi utilizada para o adensamento do concreto.

Em contrapartida, em comparação com esta pesquisa, Girardi *et al*. (2021) alcançaram ótimas resistências em seus traços de blocos de concreto com agregado graúdo reciclado de concreto. Em geral, as resistências se enquadraram dentro da NBR 9781 (ABNT, 2013). No entanto, eles não utilizaram a metodologia de traço adaptado do ABCP, mas sim um traço pronto e adensaram o concreto por meio da aplicação de golpes com auxílio de uma marreta de 5 kg. Portanto, a compactação favoreceu a diminuição dos índices de vazios (BINS *et al*., 2022) e mostrou que é possível utilizar AR na produção de novos concretos.

Também, Simiele (2010) conseguiu bons desempenhos de resistência à compressão utilizando teores de AMRC no traço utilizado. No entanto, a autora não utilizou nenhum equipamento (vibroprensa ou outo método com a mesma finalidade) para compactar o concreto nas formas, mas utilizou outro método de dosagem do Instituto de Pesquisas Tecnológicas da

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – IPT/EPUSP. A autora reforça que este método apresenta grande preocupação com a obtenção de misturas trabalháveis e uma quantidade mínima de argamassa que permita o preenchimento de vazios deixados pelo agregado graúdo e lubrificação dos grãos.

Portanto, umas das possíveis causas para os blocos de concreto desta pesquisa não terem atingido a resistência mínima adequada da NBR 9781 (ABNT, 2013) é a não utilização de uma prensa para melhorar o adensamento do concreto nas formas, diminuindo assim os índices de vazios, ou a utilização do método da dosagem da ABCP que não se adequa para a confecção de blocos de concreto para a pavimentação intertravada, resultando em um concreto com baixa resistência à compressão.

A análise estatística dos resultados individuais dos blocos de concreto da Tabela 35 do APÊNDICE C – RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS DE CONCRETOS PARA PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA foi realizada para identificar se o AR provocou alterações nos resultados de resistência à compressão. A Tabela 26 avalia se os dados obtidos possuem uma distribuição normal.

Tabela 26 – Teste de normalidade entre os traços.

Teste de Shapiro-Wilk	Traços			
	BCR	BCRE5%	BCRE10%	BCRE15%
W	0.975	0.888	0.945	0.910
p	0.937	0.075	0.487	0.160

Fonte: Autor (2023).

Assim, a Tabela 26 demostra que os traços possuem uma distribuição normal, pois o valor de p foi maior que 5% em todos os grupos. Logo, foi utilizada a análise paramétrica ANOVA, Tabela 27.

Tabela 27 – Análise paramétrica ANOVA.

Resistência à compressão (MPa)	F	gl1	gl2	p
	10.2	3	28.6	< .001

Fonte: Autor (2023).

Desta forma, de acordo com a Tabela 27, os dados apresentaram significância estatística ($p < 5\%$), indicando que a adição de AMRC nos traços provocou alterações nos blocos de concreto. Em seguida, foi realizado o Teste de Homogeneidade de Variância para verificar se os dados possuem homoscedasticidade ou heterocedasticidade, Tabela 28.

Tabela 28 – Teste de homogeneidade de variâncias de Levene.

Resistência à compressão (MPa)	F	gl1	gl2	p
	4.19	3	52	0.010

Fonte: Autor (2023).

Conforme a Tabela 28, os dados possuem heterocedasticidade, uma vez que o valor de p foi menor que 5%. Com isso, foi feito o Teste Post-hoc de Games-Howell para identificar e localizar as diferenças estatísticas entre os tipos de traço, Tabela 29.

Tabela 29 – Teste Post-hoc de Games-Howell.

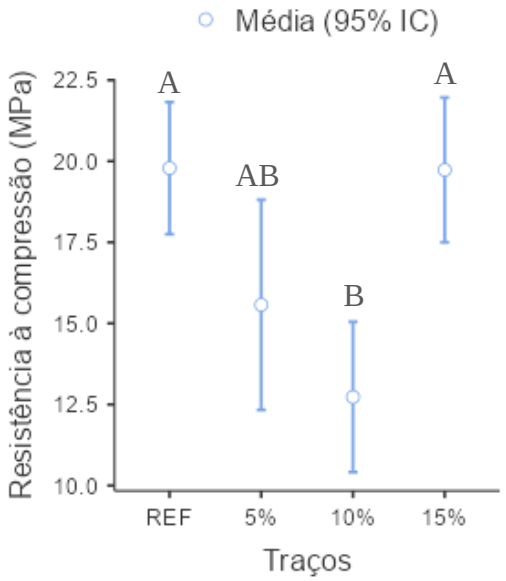
		BCR	BCRE5%	BCRE10%	BCRE15%
BCR	Diferença média	—	4.21	7.05***	0.0554
	p-value	—	0.111	< .001	1.000
BCRE5%	Diferença média		—	2.84	-4.1596
	p-value		—	0.430	0.131
BCRE10%	Diferença média			—	-6.9993***
	p-value			—	< .001
BCRE15%	Diferença média				—
	p-value				—
OBS: * p < .05, ** p < .01, *** p < .001					

Fonte: Autor (2023).

Portanto, a Tabela 29 mostra a comparação de significância estatística entre os tipos de traços. O BCRE10% apresentou significância em relação aos BCR e BCRE15%, mas não em relação ao BCRE5%, indicando que a adição 10% de AMRC provocou alterações na resistência à compressão, tornando os blocos menos resistente à compressão axial. A Figura 42 apresenta o gráfico do intervalo de confiança dos dados obtidos da Tabela 35 do APÊNDICE C – RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS DE CONCRETOS PARA PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA.

Assim, a Figura 42 ilustra graficamente a informação da Tabela 29, permitindo observar a diferença estatística. Os dados BCR e BCRE15% apresentaram a melhor sobreposição, com pequena fração dos dados do BCRE5%, tornando a significância estatística irrelevante. Essa mesma analogia se aplica quando se compara os dados do BCRE5% com BCRE10%. No entanto, o intervalo do BCRE10% não contém os mesmos resultados dos BCR e BCRE15%, indicando uma significância estatística.

Figura 42 – Gráfico de intervalo de confiança entre os tipos de blocos.



OBS: Letras iguais identificam traços estatisticamente iguais.
Fonte: Autor (2023).

A análise estatística também foi feita entre as ordens dos blocos de concreto para identificar se todos os corpos de prova passaram pelos mesmos procedimentos de ensaio. A Tabela 30 verifica se os dados possuem uma distribuição normal.

Tabela 30 – Teste de normalidade de Shapiro-Wilk

Grupos	W	p
1	0.677	0.006
2	0.964	0.802
3	0.998	0.994
4	0.980	0.900
5	0.987	0.944
6	0.795	0.094
7	0.987	0.940
8	0.947	0.699
9	0.974	0.865
10	0.805	0.111
11	0.824	0.154
12	0.796	0.095
13	0.891	0.389
14	0.865	0.278

Fonte: Autor (2023).

Assim, a Tabela 30 mostra que o grupo 1 não possui distribuição normal entre os dados. Sendo assim, a Tabela 31 apresenta as estatísticas descritivas das medidas para efetuar a análise não paramétrica.

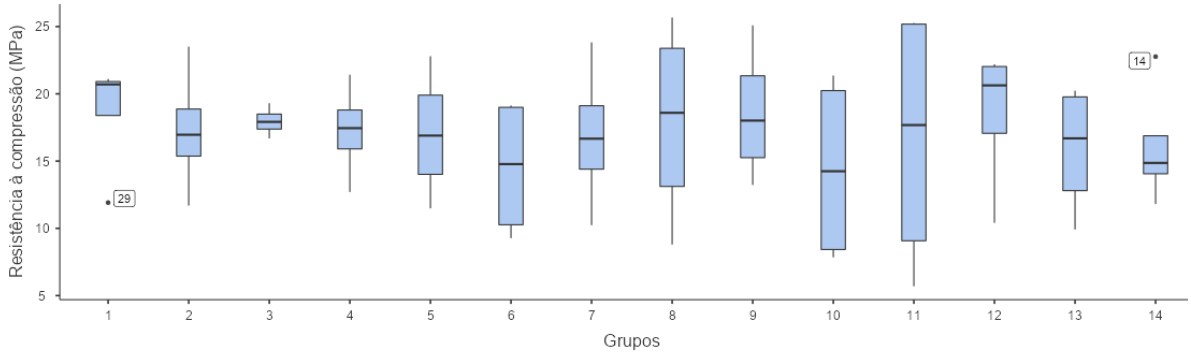
Tabela 31 – Estatística descritiva dos blocos de concreto por ordem.

Grupos	Mediana (MPa)	25º percentil (MPa)	50º percentil (MPa)	75º percentil (MPa)
1	20.7	18.4	20.7	20.9
2	17.0	15.4	17.0	18.9
3	17.9	17.4	17.9	18.5
4	17.4	15.9	17.4	18.8
5	16.9	14.0	16.9	19.9
6	14.8	10.3	14.8	19.0
7	16.7	14.4	16.7	19.1
8	18.6	13.1	18.6	23.4
9	18.0	15.3	18.0	21.3
10	14.2	8.43	14.2	20.2
11	17.7	9.08	17.7	25.2
12	20.6	17.1	20.6	22.0
13	16.7	12.8	16.7	19.8
14	14.9	14.1	14.9	16.9

Fonte: Autor (2023).

Dessa forma, a Figura 43 traz o gráfico de caixa da Tabela 31.

Figura 43 – Diagrama de caixa da resistência à compressão em referência à ordem dos blocos de concreto.



Fonte: Autor (2023).

Logo, é possível observar na Figura 43 a sobreposição de dados entre as resistências à compressão em relação à ordem dos blocos, demostrando o quanto os dados estão homogêneos. Assim, a Tabela 32 realiza a análise não paramétrica para verificar a significância estatística.

Tabela 32 – Análise não paramétrica de Kruskal-Wallis

	χ^2	gl	p
Resistência à compressão (MPa)	3.58	13	0.995

Fonte: Autor (2023).

Assim, a Tabela 32 demostra que os dados não possuem significância estatística, tornando as ordens dos blocos iguais. Conclui-se, portanto, que o ensaio de resistência à compressão foi realizado de maneira igual para todos os blocos, independente dos tipos de traços utilizados, e que os resultados obtidos não foram afetados pelas ordens dos blocos.

5 CONCLUSÃO

Com a modernização da engenharia, houve uma evolução dos pavimentos e uma expansão das cidades, o que desenvolveu o setor da construção civil. Este processo intensificou o consumo de recursos naturais, provocando preocupação com a escassez de materiais na área da construção. Ao mesmo tempo, há desperdício de material, o que acarreta na produção de resíduos sólidos. Os resíduos da construção civil podem ser reciclados e inseridos novamente no processo de consumo, como, por exemplo, os agregados reciclados. Os agregados reciclados são utilizados na confecção de novos concretos e argamassas, proporcionando resultados aceitáveis em características mecânicas e de durabilidade. Portanto, o presente estudo inseriu em porcentagens de AMRC no traço de concreto para desenvolver blocos de concreto alternativos para a pavimentação intertravada.

Assim, no estado fresco do concreto, o traço de referência foi ajustado para obter o abatimento de tronco de cone desejado (40 ± 10 mm), resultando em um fator a/c de 0,53 e 9,8 kg de água para todos os traços. Com isso, foi possível observar uma diminuição no abatimento do tronco de cone dos BCRE5%, BCRE10% e BCRE15% em comparação com BRC, sendo uma diferença de 21,25%, 46,97% e 7,78%, respectivamente. Logo, o processo de pré-imersão de 85% da absorção de água do AMRC evitou que o material absorvesse a água disposta do traço. Além disso, o método de dosagem ABCP adaptado contribuiu para o ganho de fluidez do concreto com AMRC, uma vez que o ABCP adaptado leva em consideração a trabalhabilidade da mistura, associando um volume máximo de agregado compacto seco em m^3 para cada granulometria do agregado.

O ensaio de absorção de água no concreto tem a responsabilidade de determinar a quantidade de água que o material absorve, pois essa propriedade tem a tendência de reduzir a resistência à compressão, durabilidade e a qualidade do concreto ao longo do tempo. Dessa forma, os 24 blocos desta pesquisa não adquiriram valores satisfatórios de acordo com NBR 9781 (ABNT, 2013), obtendo valores médios de 10,47%, 10,17%, 9,88% e 10,34%, e valores mínimos individuais de 9,90%, 9,94%, 9,37% e 9,82% para os BCR, BCRE5%, BCRE10% e BCRE15%, respectivamente.

Enfim, é notório observar que as médias dos concretos com o AMRC resultaram em uma diminuição da absorção de água em comparação ao concreto de referência. Esse fato pode estar ligado ao preenchimento dos espaços vazios com o AMRC, visto que ele possui um módulo de finura menor que os demais agregados. Outro fato importante é que os índices de

vazios diminuíram com o ganho de trabalhabilidade do concreto, como visto no abatimento de tronco de cone.

Na análise estatística da absorção de água entre os tipos de traço, concluiu-se que a adição de AMRC nos traços não alterou a propriedade de absorção de água do concreto. Isso porque a significância estatística da análise não paramétrica de Kruskal-Wallis foi maior que 5%. Além disso, avaliou-se que a ordem dos blocos e a realização do ensaio não interferiram nos resultados obtidos, já que a significância estatística de Kruskal-Wallis também foi maior que 5%.

A avaliação dimensional tem o objetivo de verificar se os blocos de concreto possuem as dimensões adequadas conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013) e têm a área necessária para resistir ao esforço axial. Com isso, as 48 peças de concreto foram moldadas com 200 mm de comprimento, 100 mm de largura e 80 mm de espessura. Segundo a Norma, elas têm uma tolerância de ± 3 mm. Logo, os quatro tipos de blocos de concreto apresentaram valores máximos e mínimos dentro dos limites impostos pela Norma para as três dimensões. O desvio-padrão avaliou a discrepância dos dados por dimensão e tipo de bloco, e conclui-se que eles não apresentam grande grau dispersão.

O ensaio de resistência à compressão determina a resistência do concreto, avaliando se ele se adequa à situação projetada para garantir a segurança dos indivíduos e a durabilidade do material. Assim, o traço de referência (BCR) foi calculado para resistir ao esforço do tráfego pesado da NBR 9781 (ABNT, 2013), com o intuito de verificar se os traços com porcentagens diferentes de AMRC alterariam a propriedade mecânica do bloco de concreto. No entanto, nenhum bloco de concreto atingiu o valor mínimo solicitado pela Norma, que é a resistência do tráfego leve, obtendo uma resistência característica à compressão em MPa de 16,72, 10,69, 9,24 e 16,37 para os BCR, BCRE5%, BCRE10% e BCRE15%, respectivamente.

Portanto, a perda de resistência com o aumento de teor do AMRC é comumente discutida no âmbito científico. No entanto, a baixa resistência à compressão das peças de concreto está ligada à ausência de um equipamento com vibrocompressão para a confecção dos blocos, visto que ele melhora o adensamento do concreto nas formas, diminuindo os índices de vazios.

A análise estatística da resistência à compressão entre os tipos de blocos concluiu que as adições de AMRC no traço alteraram a propriedade mecânica, pois a significância estatística da análise paramétrica ANOVA obteve um resultado muito inferior a 5%. Com o Teste Post-hoc de Games-Howell, foi possível detectar que esta alteração está no BCRE10%, justamente

nas peças de concreto que tiveram a menor resistência. Além disso, também foi avaliado que a ordem e a realização do ensaio não interferiram nos resultados obtidos individualmente, pois a análise não paramétrica de Kruskal-Wallis teve uma significância estatística próxima dos 100%.

Por fim, os resultados permitiram identificar que é necessário realizar mais estudos sobre os blocos de concreto com e sem o AMRC para a pavimentação intertravada. Para isso, é preciso que os futuros trabalhos utilizem o mesmo traço desta pesquisa e um equipamento com vibrocompressão para a confecção dos blocos, afim de verificar o ganho de resistência à compressão e a diminuição da absorção de água dos blocos, analisando se estarão dentro dos limites estabelecidos pela NBR 9781 (ABNT, 2013), e observando se as porcentagens de teores de AMRC prejudicarão a absorção e na resistência. Por outro lado, os futuros trabalhos podem utilizar outro método de dosagem, como o IPT/EPUSP, respeitando as porcentagens de AMRC desta pesquisa para cada traço, com o propósito de obter resultados satisfatórios de absorção de água e resistências à compressão dentro da Norma, verificando se o AMRC altera nas propriedades mecânicas e hidráulicas dos blocos. Como também, pode-se comparar o traço utilizado nesta pesquisa com outros métodos de dosagens ou outras formas de adensamentos, com o intuito de discutir e obter melhorias para o traço da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALBERNAZ, C.A.V. **Método simplificado de retroanálise de módulos de resiliência de pavimentos flexíveis a partir da bacia de deflexão**. 1997. Dissertação (Mestrado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

ALIABDO, A. A.; ABD-ELMOATY, A. E. M.; HASSAN, H. H. Utilization of crushed clay brick in concrete industry. **Alexandria Engineering Journal**, v. 53, n. 1, p. 151–168, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2013.12.003>. Aceso em: 02 de março de 2023.

ALMENDROS, S. **Piso intertravado**: conheça e saiba como usá-lo na sua casa. 2022. Disponível em: <https://www.tuacasa.com.br/piso-intertravado/>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

ARY JÚNIOR, Ivan José. **Pavimento intertravado como ferramenta de moderação do tráfego nos centros comerciais de travessias urbanas - estudo de caso Guaiúba, CE**. 2007. 208 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, 1 ed. São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BARSILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655:** Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15116:** Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland **—** Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16605:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16606:** Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16607:** Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16916:** Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16917:** Agregado graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16697:** Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16972:** Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOSIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16974:** Agregado graúdo – Ensaio de abrasão Los Angeles. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17053:** Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2022.

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

BASTIDAS-MARTÍNEZ, J. G.; CARDENAS, J. C. R.; GARCÍA, L. M.; ZULUAGA, R. A. G. Incorporação de pó de agregados reciclados de concreto como fíler em misturas asfálticas. **Revista Matéria**, v. 26, n. 3, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1517-707620210003.13049>. Acesso em: 22 de março de 2023.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica:** formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2006.

BERREDJEM, L.; ARABI, N.; MOLEZ, L. Mechanical and durability properties of concrete based on recycled coarse and fine aggregates produced from demolished concret. **Construção e Materiais de Construção**, v. 246, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118421>. Acesso em: 30 de novembro de 2022.

BINS, G. de O.; ARROYIO, F. N.; CHRISTOFORO, A. L.; PANZERA, T. H.; SILVA, D. A. L. Análise de pisos intertravados com substituição do agregado miúdo por resíduo de construção e demolição. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, v. 59, n. 2, p. 427–444, 2022. ISSN 2447-9187. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/4975>. Acesso em: 09 de março de 2023. doi:http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id4975.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2010b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 347**, de 10 de setembro de 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430**, de 13 de maio de 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº. 307**, de 5 de julho de 2002.

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, 2015. Disponível em: < https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

BRITO, J.; ROBLES, R. Recycled aggregate concrete (RAC) methodology for estimating its long-term properties. **Indian Journal of Engineering and Materials Sciences**, v. 17, p. 449-462, 2010. Disponível em: <http://14.139.47.50/bitstream/123456789/10871/1/IJEMS%2017%286%29%20449-462.pdf>. Acesso em: 03 de março de 2023.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D.; RAVINDRARAJAH, R. S. Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 55, n. 336, p. 448–460, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0366-69132009000400016>. Acesso em: 02 de março de 2023.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D. Determinação da influência do tipo de agregado reciclado de resíduo de construção e demolição sobre o módulo de deformação de concretos produzidos com agregados reciclados. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 1, n. 2, p. 171–192, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1983-41952008000200004>. Acesso em: 03 de março de 2023.

CARDOSO, G. N.; CABRAL, R. F. Produção e caracterização de compósitos de concreto com adição de pneus automotivos. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 10, n. 2, p. 18-23, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.21727/teccen.v10i2.1157>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

CASTRO, L. C.; BERNARDINI, C. S. M.; SALES, R. J. de M.; SILVA, F. J. A.; CAVALCANTE, A. Y. S. S.; ALENCAR, I. F. de O. Concreto a partir de agregado graúdo reciclado: uma avaliação na produção de blocos intertravados em Fortaleza/CE. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales, investigación, Desarrollo y Práctica**, v. 14, n. 3, p. 1123-1138, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.3.75860>. Acesso em: 22 de março de 2023.

CIMENTO MAUÁ. **Piso-intertravado-destaque**. 2018. Disponível em: <https://cimentomaua.com.br/piso-intertravado-conheca-suas-caracteristicas-e-beneficios/piso-intertravado-destaque/>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

COMPANHIA CONCESSÃO RODOVIÁRIA JUIZ DE FORA-RIO – CONCER. **Álbum da Estrada União e Indústria**. Rio de Janeiro: Edição Quadrantim G/Concer, 1997.

CRUZ, Luiz M. **Pavimento intertravado de concreto**: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento. 2003, 281 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

CUNHA, Priscila Formoso da. **Dimensionamento e análise numérica de pisos industriais de concreto**. 2013. 343 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas; Geotecnia; Construção Civil) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO – DER/SP. **Avaliação funcional e estrutural de pavimento**. São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de Pavimentação.** 3 ed. Rio de Janeiro, 2006.

DI DOMENICO, P.; LIMA, T. T.; CASTRO, M. N.; CASTRO R. M. Influência do agregado miúdo reciclado na resistência à compressão e porosidade do concreto. **Revista Internacional de Ciências**, v. 08, n. 01, p. 129-147, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/ric.2018.33254>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

ESTOLANO, V.; FUCALE, S.; VIEIRA FILHO, J. O.; GABRIEL, D.; ALENCAR, Y. Avaliação dos módulos de elasticidade estática e dinâmica de concreto produzidos com agregados reciclados derivados de resíduos de pré-fabricados de concreto. **Revista Matéria**, v. 23, n. 1, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0310>. Acesso em: 03 de março de 2023.

EVANGELISTA, L.; DE BRITO, J. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v. 29, n. 5, p. 397–401, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.12.004>. Acesso em: 03 de março de 2023.

FIDELIS, G.N.S.; LOPES, T. S.; ALTRAN, D. A.; FIGUEREDO, F. B.; CAMPOS, C. F. S. Estudo das propriedades do concreto produzido com polietileno tereftalato (pet) com uso de aditivo superplastificante. **Colloquium Exactarum**, v. 9, n. Especial, p. 115- 120, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5747/ce.2017.v9.nesp.000131>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI, J. L. Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 32, n. 3, p. 237–244, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v32i3.6013>. Acesso em: 23 de março de 2023.

FROTTÉ, C.; DI NÚBILA, C. S. A.; NAGALLI, A.; MAZER, W.; MACIOSKI, G.; DE OLIVEIRA, L.O.S. Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD. **Revista Matéria**, v.22, n.2, 2017. Disponível em: < https://doi.org/10.1590/S1517-707620170002.0143>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

GARCÍA-GONZÁLEZ, J.; RODRÍGUEZ-ROBLES, D.; JUAN-VALDÉS, A.; MORÁN-DEL POZO, J. M.; GUERRA-ROMERO, M. I. Ceramic ware waste as coarse aggregate for structural concrete production. **Environmental Technology** (Reino Unido), v. 36, n. 23, p.

3050–3059, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09593330.2014.951076>. Acesso em: 03 de março de 2023.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIRARDI, R.; GIOVANNINI, B. M.; ZAGO, L. H. S.; DONADEL, D. D. Avaliação de desempenho de peças de concreto para pavimentação com agregado reciclado de concreto. **Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil Unesc - CIVILTEC**, v. 5, n. 2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.18616/civiltec.v5i2.6389>. Acesso em: 10 de março de 2023.

GODINHO, D. P. **Pavimento Intertravado: uma reflexão sob a ótica da Durabilidade e sustentabilidade**. 2009. Dissertação. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

GOMES, M.; de BRITO. J. Concreto estrutural com incorporação de concreto grosso reciclado e agregados cerâmicos: desempenho de durabilidade. **Materiais e Estruturas/Materiaux et Constructions**, v. 42, n. 5, p. 663–675, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1617/s11527-008-9411-9>. Acesso em: 02 de março de 2023.

GOMES, P. C. C.; ALENCAR, T. F. F.; SILVA, N. V.; MORAES, K. A. M.; ANGULO, S. C. Obtenção de concreto leve utilizando agregados reciclados. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 31-46, 2015. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678 86212015000300024>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

HALLACK, A. Pavimento intertravado: uma solução universal. **Revista Prisma - Soluções Construtivas com Pré-Fabricados de Concreto**, v. 1, n. 1, p. 25-27, dez. 2001.

HOTEIS.COM. **Pousada da pedra**. Disponível em: <https://www.hoteis.com/ho1266636800/pousada-da-pedra-delmiro-gouveia-brasil/>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

KRÜGER, P.; PEREIRA, E.; CHINELATTO, A. S. A. Influência do agregado reciclado na durabilidade do concreto: uma revisão da bibliografia. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR,** Curitiba, p. 253-265, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/2sppc.2017.021 >. Acesso em: 30 de novembro de 2022.

LANDOLFO, R.; OLIVEIRA, M. P. DE; NOGUEIRA, N. A. de S. Estudo Comparativo da Utilização de Resíduo Cerâmico, como Agregado Graúdo, na Produção de Concreto. **Cerâmica Industrial**, v. 19, n. 5, p. 35–41, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/cerind.2014.091>. Acesso em: 02 de março de 2023.

LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LIMA ARAÚJO, D.; PIRES FELIX, L.; COSTA SILVA, L.; MARTINS SANTOS, T. Influência de agregados reciclados de resíduos de construção em propriedades mecânicas do concreto. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 11, n. 1, p. 19-34,

2016. DOI: 10.5216/reec.V11i1.35467. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/35467>. Acesso em: 23 de novembro de 2022.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001048580>. Acesso em: 02 de março de 2023.

MASCARÓ, J.L; YOSHINAGA, M. **Infra-estrutura urbana**. 1ª ed. Porto Alegre, 2005.

MEHTA, K.P., MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestruturas, propriedades e materiais**. 1 ed., São Paulo: IBRACON, 2008.

MONTEIRO, J. H. P.; *et al.* **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduo Sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MORAIS, G. M. D. **Diagnóstico da deposição clandestina de resíduos de construção e demolição em bairros periféricos de Uberlândia:** Subsídios para uma gestão sustentável. 2006. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

MULLER, Rodrigo M. **Avaliação de transmissão de esforços em pavimentos intertravados de blocos de concreto**. 2005, 256 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

NASCIMENTO, Ricardo R. **Utilização de argila calcinada em pavimentação; uma alternativa para o estado do Acre**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

ND MAIS. **Galeria #TBT: a história da rua XV de Novembro, em Blumenau, em imagens**. 2021. Disponível em: <https://ndmais.com.br/arquitetura-e-decoracao/galeria-tbt-a-historia-da-rua-xv-de-novembro-em-blumenau-em-imagens/>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

NEVILLE, A. M; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

O OTIMISTA. **Complexo do Pecém pede licença de instalação ao Ibama para ampliar pátio de armazenagem**. 2021. Disponível em: <https://ootimista.com.br/economia/complexo-do-pecem-pede-licenca-de-instalacao-ao-ibama-para-ampliar-patio-de-armazenagem/>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

OLIVEIRA, Valéria Costa de. **Estudo comportamental da formulação, dos requisitos, e das propriedades das argamassas estabilizadas de revestimento**. 2017. xxii, 245 f., il. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) —Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

PALMEIRA, E. M. Soluções de Baixo Custo Envolvendo Geossintéticos e Materiais Alternativos em Obras Geotécnicas e de Proteção Ambienta. **Cobramseg 2010: Engenharia**

Geotécnica Para O Desenvolvimento, Inovação E Sustentabilidade, Gramado, p. 1-24, 2010.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; ORCIOLI PIRES, G. W. M.; REZENDE, L. V. S.; SANTANA, J. C. C. Resistência a compressão e absorção de água de peças de piso intertravado manufaturadas com resíduos de pet. **HOLOS**, v. 1, p. 1–21, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.15628/holos.2019.6591>. Acesso em: 22 de março de 2023.

PAULA JUNIOR, A. C.; OLIVEIRA, T. M.; POLISSENI, A. E.; MARQUES, G. L. O.; BASTOS, P. K. X.. Metodologia de dosagem e viabilidade em estudo do potencial de aplicação do resíduo de concreto como agregado graúdo para concretos permeáveis sem uso de aditivos. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.2, p.359- 376, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.003>. Acesso em: 03 de março de 2023.

PEREIRA, L. A. de F.; AMORIM, E. F.; FREITAS NETO, O. de. Resíduos de construção e demolição aplicados em camadas de pavimentos rodoviários: uma revisão sistemática. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, *[S. l.]*, v. 11, n. 4, p. e28611426689, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i4.26689. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26689>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

PEREIRA, L. A. G.; LESSA, S. N. O processo de planejamento e desenvolvimento do transporte rodoviário no Brasil. **Caminhos de Geografia - Instituto de Geografia**. v. 12, n. 40, p. 26-45. Uberlândia, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/rcg.v12i40.16414.g9175>. Acesso em: 13 de novembro de 2022.

PEREIRA, R. R.; PAULA, H. M.; BONFIM, W. B.; SILVA, I. A. C.; PINTO, H.S.D. Reciclagem de borracha de pneu e resíduo de concreteira na produção de tijolos de concreto: dosagem e otimização. **Revista Matéria**, v. 26, n. 3, 2021. Disponível em: < https://doi.org/10.1590/s1517-707620210003.13027>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

PREGO, A.S.S. **A memória da pavimentação no Brasil**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 2001.

PURIFICAÇÃO E. B. **Estudo do uso de agregados reciclados de concreto e substituição do cimento por resíduo de polimento de porcelanato na produção de piso intertravado de concreto**. 2009. Dissertação (Mestre em construção civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

RAMOS, Vítor Emmanoel Tavares Tenório. **Análise das propriedades de concreto produzido com agregado miúdo reciclado proveniente de corpos de prova de concreto**. 2021. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Unidade Delmiro Gouveia-Campus do Sertão, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2021.

RODOCON. **Rodovias**. Disponível em: <https://gruporodocon.com.br/rodovias/>. Acesso em: 23 de março de 2023.

RODRIGUES, C. R. DE SÁ; FUCALE, S. Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 99-111, 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212014000100009>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

RODRIGUES, P.P.F. **Parâmetro de dosagem de concreto.** 3 e.d. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

SALGADO, F. A.; SILVA, F. A. Properties of recycled aggregates from different composition and its influence on concrete strength. **Rev. IBRACON Estrut. Mater.**, v. 14, n. 6, e14605, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952021000600005>. Acesso em: 03 de março de 2023.

SALLES, P. V.; GOMES, C. L.; POGGIALI, F. S. J.; RODRIGUES, C. S. A importância da segregação do agregado reciclado na resistência e na durabilidade do concreto estrutural. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 177-196, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000300545>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

SANTANA, T. S.; PEREIRA, C. H. A. F. Avaliação da influência da utilização de agregado miúdo reciclado em argamassas estabilizadas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 305-318, 2020. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000300430>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

SANTOS, A. A. M.; LEITE, M. B. Avaliação de concretos reciclados com agregado graúdo de concreto dosados pelo método da ABCP modificado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 341-359, 2018. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000400309>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

SANTOS, F. F. J.; TAMBARA JÚNIOR, L. U. D.; CECHIN, N. F.; ALMEIDA, V. L.; SOUSA, M. A. B. Adequação dos municípios do Estado do Rio Grande do Sul à legislação de gestão de resíduos da construção civil. **Revista Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 4, n. 8, p. 1-18, 2012. Disponível em: < https://doi.org/10.13084/2175-8018.v04n08a01>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

SANTOS, J. A. História do transporte rodoviário. **Revista Ibero-Americana de Estratégia**, v. 1, n. 1, p. 27-32, 2002. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/26647/historia-do-transporte-rodoviario/i/pt-br>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

SCOTT HOOD, R. S. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/12112>. Acesso em: 23 de novembro de 2022.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. v. 1, 2 ed. ampl. São Paulo: Pini, 2007.

SERTÃO 142. **“Eu brigo até umas horas”, disse Padre de Água Branca sobre mudança de endereço da Praça da Matriz**. 2021. Disponível em: <https://www.sertao142.com.br/post/eu-brigo-at%C3%A9-umas-horas-disse-padre-de-%C3%A1gua-branca-sobre-mudan%C3%A7a-de-endere%C3%A7o-da-pra%C3%A7a-da-matriz>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

SILVA JUNIOR, V. O.; PAVÃO, V. M.; CAMACHO PONTREMOLEZ, A.; COSTA, B. de M.; CENDES SARAGOSA, G.; BARDELLA, P. S. The study of precast *pavers* production from concrete blocks waste. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 42, n. 1, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0375.2021v42n1p21>. Acesso em: 16 de março de 2023.

SILVA, B. C. L.; GACHET, L. A.; LINTZ, R. C. C. Análise microscópica de concreto pigmentado com resíduos de borracha aplicado em piso intertravado. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 4, 2020. Disponível em: < https://doi.org/10.1590/s1517-707620200004.1197>. Acesso em: 23 de novembro de 2022.

SILVA, C. M. M. DE A; CAPUZZO, V. M. S. Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregados de resíduo de concreto utilizando a abordagem de mistura dois possíveis. **Revista Matéria**, v. 25, n. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0882>. Acesso em: 03 de março de 2023.

SILVA, C. O. **Execução e manutenção de pavimento intertravado**. 2016.

SILVA, D. A. e; MELO, C. E. L. de. Utilização de material cerâmico proveniente do RCD para aplicação em concreto: uma revisão. **Risco Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online)**, *[S. l.]*, v. 19, p. 1-15, 2021. DOI: 10.11606/1984-4506.risco.2021.162069. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/risco/article/view/162069>. Acesso em: 02 de março de 2023.

SILVA, D. de A.; GEYER, A. L. B. Influência da Forma do agregado graúdo nas propriedades mecânicas do concreto. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 12, n. 5, p. 67- 82, 2018. ISSN:2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/influencia-da-forma>. Acesso em: 02 de março de 2023.

SILVA, D. G. C.; SANTANA, C. V.; PÓVOAS, Y. V. Production of components with plaster residue and sodium citrate: physical, mechanical, rheological analysis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 33-43. 2019. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000200304>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

SILVA, R. V.; DE BRITO, J.; EVANGELISTA, L.; DHIR, R. K. Design of reinforced recycled aggregate concrete elements in conformity with Eurocode 2. **Construction and Building Materials**, v. 105, p. 144–156, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.080>. Acesso em: 03 de março de 2023.

SILVA-URREGO, Y.; DELVASTO-ARJONA, S. Uso de residuos de construcción y demolición como material cementicio suplementario y agregado grueso reciclado en concretos autocoMPactantes. **Informador Técnico**, *[S. l.]*, v. 85, n. 1, p. 20–33, 2020. DOI:

10.23850/22565035.2502. Disponível em: <https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/2502>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

SIMIELE, D. **Aproveitamento de resíduos de concreto na confecção de peças para pavimento intertravado de concreto**. 2010. 119 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2010.

SOARES, D.; DE BRITO, J.; FERREIRA, J.; PACHECO, J. Use of coarse recycled aggregates from precast concrete rejects: Mechanical and durability performance. **Construction and Building Materials**, v. 71, p. 263–272, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.034>. Acesso em: 03 de março de 2023.

SUDA, G. H**. Aplicação de agregados de resíduos de construção e demolição na produção de concreto**. 2021. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2021.

ULLOA-MAYORGA, V. A.; URIBE-GARCÉS, M. A.; PAZ-GÓMEZ, D. P.; ALVARADO, Y. A.; TORRES, B.; GASCH, I. Performance of pervious concrete containing combined recycled aggregates. **Ingeniería e Investigación**, v. 38, n. 2, p. 34-41, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v38n2.67491>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

UYGUNOLU, T.; TOPCU, I. B.; GENCEL, O.; BROSTOW, W. The effect of fly ash content and types of aggregates on the properties of pre-fabricated concrete interlocking blocks (PCIBs). **Construction and Building Materials**, v. 30, p. 180–187, 2012. Dsiponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.020>. Acesso em: 09 de março de 2023.

VIANA NETO, L. A. C.; SALES, A. T. C.; SALES, L. C. Efeitos da variabilidade de agregados de RCD sobre o desempenho mecânico do concreto de cimento Portland. **Revista Matéria**, v. 23, n. 1, 2018. Disponível em: < https://doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0294>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

VIAS CONCRETAS. **Tecnologia / pavimento de concreto**. 2023. Disponível em: <https://viasconcretas.com.br/tecnologia/pavimento-de-concreto>. Acesso em: 23 de março de 2023.

VIEIRA, D. de M.; LIMA, M. da S.; BASTOS, J. B. dos S.; FARIAS, T. R. L. Contribuições aos estudos sobre a aplicação do Resíduo de Construção e Demolição (RCD) na composição de camadas de pavimentos no Brasil. **Revista Tecnologia**, *[S. l.]*, v. 42, n. 2, p. 14, 2022. DOI: 10.5020/23180730.2022.12133. Disponível em: <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/12133>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

WIEBBELLING, P. O. G. **Pavimento com blocos intertravados de concreto:** estudo de caso na Univates. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 27 nov. 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10737/953>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

WONG, C. L.; MO, K. H.; YAP, S. P.; ALENGARAM, U. J.; LING, TUNG-CHAI. Potential use of brick waste as alternate concrete-making materials: a review. **Journal of cleaner**

production, v, 195, p. 226 – 239, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.193>. Acesso em: 02 de março de 2023.

APÊNDICE A – INFORMAÇÕES REFERENTE AOS CORPOS DE PROVA DA EMPRESA ENGENHARIA JÚNIOR

Tabela 33 – Resistências e tempo de cura dos corpos de prova.

(continua)

N° CPs	Resistência desejada (MPa)	Resistência de rompimento (MPa)	Tempo de cura (dias)
815	30	34,82	28
841	30	25,75	14
848	30	40,65	28
854	30	38,2	28
857	30	29,32	14
859	30	36,4	28
860	30	31,58	14
864	30	35,72	28
941	30	25,29	14
957	30	40,27	28
969	30	38,38	28
1044	30	41,56	28
1232	30	26,76	7
1234	30	21,14	7
1243	30	24,75	14
1265	25	29,7	28
1291	30	22,4	14
1293	30	16,71	7
1294	30	19,37	14
1338	30	28,52	7
1344	30	32,08	7
1352	30	39,99	28
1355	30	39,37	28
1364	30	36,09	28
1367	30	31,52	28
1370	30	32,76	28
1382	25	23,87	7
1405	30	25,15	7
1418	30	31,95	28
1421	30	24,24	14
1425	30	24,38	7
1429	30	29,37	14
1432	30	23,18	7
1441	30	12,31	7
1469	30	25,94	14

Tabela 33 – Resistências e tempo de cura dos corpos de prova.

(continua)

N° CPs	Resistência desejada (MPa)	Resistência de rompimento (MPa)	Tempo de cura (dias)
1484	25	26,59	28
1489	25	28,35	14
1495	30	33,22	14
1497	30	34,38	7
1500	30	23,9	7
1504	25	24,76	14
1509	30	23,21	7
1527	30	33,48	7
1534	30	30,97	14
1537	25	26,65	14
1544	25	31,49	28
1561	25	18,13	14
1562	25	26,83	28
1565	25	25,05	28
1573	30	29,25	14
1608	30	23,08	7
1610	30	35,88	28
1611	30	18,88	7
1622	25	33,83	28
1628	30	11,52	7
1762	30	34,04	28
1789	30	8,29	7
1792	30	15,01	14
1794	30	9,35	7
1796	30	11,55	14
1811	30	20,32	14
1812	30	31,61	28
1813	30	30,56	28
1820	30	14,69	14
1821	30	33,33	28
1822	30	17,66	7
1836	30	31,32	7
1841	30	27,02	7
1847	25	24,64	9
1849	30	34,76	7
1857	30	31,58	7
1871	30	27,37	7
1877	30	26,96	7
1879	30	25,02	7

Tabela 33 – Resistências e tempo de cura dos corpos de prova.

(conclusão)

N° CPs	Resistência desejada (MPa)	Resistência de rompimento (MPa)	Tempo de cura (dias)
1882	30	26,7	7
1886	30	25,13	28
1888	30	26,34	7
1891	30	24,08	7
1892	30	24,07	14
1894	30	28,01	7
1897	30	26,23	7
1901	30	27,03	7
1903	30	29,42	7
1907	30	29,45	7
1909	30	23,3	7
1912	25	19,29	8
1913	30	30,15	7
1914	30	28,1	28
1924	30	28,85	28
1929	30	30,93	7
1929	30	30,93	7
1932	30	24,51	7
1935	30	25,04	7
1960	25	10,86	7
1964	25	15,9	14
1969	30	18,19	7
1971	30	21,93	14
1972	25	13,48	7
1974	25	28,31	28
1975	25	15,58	7

Fonte: Autor (2023).

APÊNDICE B – AVALIAÇÃO DIMENSIONAL DOS BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA

Tabela 34 – Avaliação dimensional dos *pavers*.

(continua)

Tipo de traço	Ordem	Dimensões (mm)		
		Comprimento	Largura	Espessura
BCR	1	197,33	101,85	80,65
	2	198,13	102,45	79,44
	3	197,46	99,95	78,59
	4	197,17	102,90	78,66
	5	197,68	100,19	78,16
	6	197,75	98,51	78,40
	7	199,23	101,62	78,97
	8	197,96	101,49	79,68
	9	197,47	101,68	77,17
	10	198,66	102,43	80,06
	11	198,30	101,08	77,48
	12	197,26	100,52	78,02
BCRE5%	1	197,80	100,32	77,02
	2	199,08	102,95	77,19
	3	197,03	101,34	77,15
	4	197,64	98,79	78,63
	5	199,02	101,78	79,18
	6	198,91	102,68	78,94
	7	199,01	100,90	78,25
	8	198,88	102,93	81,14
	9	197,38	100,35	80,29
	10	197,97	102,06	77,68
	11	198,70	102,77	80,96
	12	199,06	101,74	79,55
BCRE10%	1	197,58	101,33	80,33
	2	198,35	102,78	82,57
	3	198,66	102,91	80,39
	4	199,32	99,25	80,86
	5	198,62	101,56	80,95
	6	199,07	100,94	78,63
	7	198,17	99,37	81,60
	8	198,67	102,31	80,01
	9	199,02	102,46	80,39
	10	198,60	101,79	81,96
	11	197,46	100,61	78,55
	12	197,16	101,64	81,01
BCRE15%	1	198,67	99,67	79,28

Tabela 34 – Avaliação dimensional dos *pavers*.

(conclusão)

Tipo de traço	Ordem	Dimensões (mm)		
		Comprimento	Largura	Espessura
BCRE15%	2	197,68	102,65	77,74
	3	199,51	102,32	81,72
	4	199,40	100,81	78,40
	5	198,82	102,91	80,56
	6	197,02	102,87	81,22
	7	200,72	102,68	78,51
	8	199,13	101,24	77,84
	9	198,03	99,78	79,43
	10	198,11	102,21	78,56
	11	199,13	102,57	79,32
	12	197,25	102,52	81,89

Fonte: Autor (2022).

APÊNDICE C – RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS DE CONCRETOS PARA PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA

Tabela 35 – Resultado da resistência à compressão.

(continua)

Traço	N°	Força aplicada (N)	Área da superfície (mm²)	Resistência à compressão (MPa)	Média da resistência (MPa)	t	s (MPa)	Resistência característica estimada (MPa)
BCR	1	127388,38	6198,79	20,55	19,79	0,87	3,53	16,72
	2	102871,76		16,60				
	3	109148,01		17,61				
	4	78747,40		12,70				
	5	117385,60		18,94				
	6	117483,67		18,95				
	7	97870,37		15,79				
	8	159161,93		25,68				
	9	124544,46		20,09				
	10	123171,52		19,87				
	11	156612,20		25,26				
	12	136214,37		21,97				
	13	125427,05		20,23				
	14	141117,69		22,77				
BCRE5%	1	129251,65	6198,79	20,85	15,57	0,87	5,61	10,69
	2	72471,14		11,69				
	3	119641,13		19,30				

Tabela 35 – Resultado da resistência à compressão.

(continua)

Traço	N°	Força aplicada (N)	Área da superfície (mm²)	Resistência à compressão (MPa)	Média da resistência (MPa)	t	s (MPa)	Resistência característica estimada (MPa)
BCRE5%	4	111109,34	6198,79	17,92	15,57	0,87	5,61	10,69
	5	71196,28		11,49				
	6	57466,97		9,27				
	7	63449,03		10,24				
	8	140235,10		22,62				
	9	155533,47		25,09				
	10	53446,24		8,62				
	11	63252,89		10,20				
	12	119543,06		19,28				
	13	121602,46		19,62				
	14	73157,61		11,80				
BCRE10%	1	73844,07	6198,79	11,91	12,73	0,87	4,01	9,24
	2	107382,82		17,32				
	3	112972,61		18,22				
	4	105225,35		16,98				
	5	92084,44		14,86				
	6	65704,56		10,60				
	7	108755,75		17,54				
	8	54524,97		8,80				
	9	81983,59		13,23				
	10	48640,98		7,85				
	11	35303,94		5,70				
	12	64527,76		10,41				

Tabela 35 – Resultado da resistência à compressão.

(conclusão)

Traço	N°	Força aplicada (N)	Área da superfície (mm²)	Resistência à compressão (MPa)	Média da resistência (MPa)	t	s (MPa)	Resistência característica estimada (MPa)
BCRE10%	13	61487,70	6198,79	9,92	12,73	0,87	4,01	9,24
	14	92476,71		14,92				
BCRE15%	1	130820,71	6198,79	21,10	19,73	0,87	3,86	16,37
	2	145726,82		23,51				
	3	103460,16		16,69				
	4	132782,04		21,42				
	5	141313,83		22,80				
	6	118562,40		19,13				
	7	147688,15		23,83				
	8	90221,18		14,55				
	9	98752,97		15,93				
	10	132389,78		21,36				
	11	155925,74		25,15				
	12	137587,30		22,20				
	13	85317,86		13,76				
	14	91790,24		14,81				

Fonte: Autor (2023).

ANEXO A – VALOR DO COEFICIENTE DE STUDENT CONFORME A NBR 9781 DE 2013

Tabela 36 – Coeficiente de Student conforme a NBR 9781.

Número de peças da amostra	t
6	0,920
7	0,906
8	0,896
9	0,889
10	0,883
12	0,876
14	0,870
16	0,866
18	0,863
20	0,861
22	0,859
24	0,858
26	0,856
28	0,855
30	0,854
32	0,842
Observação: nível de confiança de 80%.	

Fonte: Adaptado a partir da NBR 9781 (2013).