

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL - GUARAPUAVA
ENGENHARIA CIVIL**

GUILHERME HENRIQUE SUDA

**APLICAÇÃO DE AGREGADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2021

GUILHERME HENRIQUE SUDA

**APLICAÇÃO DE AGREGADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. MSc. Dyorgge Alves Silva

GUARAPUAVA

2021

ATA DA DEFESA

Realizou-se no dia **24**, de **agosto** de 2021, às **10 h 00 min**, no Campus Guarapuava da UTFPR, a defesa Trabalho de Conclusão de Curso, como requisito parcial para aprovação do aluno **Guilherme Henrique Suda**, na disciplina de TCC2 do Curso de Engenharia Civil intitulado: **Aplicação de agregados de resíduos de construção e demolição na produção de concreto**.

A Banca foi composta pelo Presidente:

Dyorgge Alves Silva (Orientador), e pelos seguintes membros:

Marcela Maier Farias Czap

Rafaella Salvador Paulino

Guarapuava, 24 de agosto de 2021.

AGRADECIMENTOS

Não é possível colocar nestes parágrafos todos os que passaram por essa jornada, porém as que contribuíram com certeza sabem disso.

Agradeço a todos os professores que orientaram e sanaram as dúvidas acadêmicas e profissionais nesta trajetória, e os professores orientadores desse trabalho que de alguma forma ajudaram com pesquisas e sugestões.

Aos profissionais da área e colegas de trabalho que orientaram e compartilharam conhecimento.

Aos meus colegas de sala e de universidade que deixaram todo caminho mais animador e tranquilo.

A minha companheira e namorada que sempre me deu suporte e alegria nos momentos mais difíceis.

Gostaria de deixar registrado, principalmente, o meu reconhecimento à minha família, em especial meus pais que sempre me deram as oportunidades e toleraram minhas ausências.

Por tanto agradeço a todos que contribuíram nesses anos acadêmicos e para vida, sou muito grato a Deus pelas pessoas ao redor de mim.

RESUMO

SUDA, Guilherme Henrique. **Aplicação De Agregados De Resíduos De Construção E Demolição Na Produção De Concreto**. 2021. 61 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava.

A construção civil produz bilhões de toneladas de resíduos todo ano. Métodos de redução e reutilização, manejo, e disposição final dos mesmos vêm sendo levados em consideração na última década junto à grande emissão de CO_2 , emitida durante a extração de agregados naturais. Levando em conta a situação global e nacional quanto à geração de resíduos de construção e demolição, estudou-se a viabilidade do emprego do mesmo na substituição como agregado reciclado em frações do agregado gráudo natural, na mistura do concreto. Verificou-se as propriedades do agregado reciclado quanto a granulometria, massa específica e absorção de água a fim de adequar-se uma dosagem e caracterizar o elemento construtivo na mistura do concreto para confecção de blocos para piso intertravado. Verificou-se as conformidades, exigidas pelos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 9781:2013, quanto a resistência à compressão dos corpos de prova e ABNT NBR 5739:2018 e quanto a resistência à compressão dos pavers moldados. Obteve-se os resultados de acordo com os procedimentos normativos e dos quatro traços de concreto estudados, Ref., AR25, AR50 e AR75, onde AR 25 apresentou resultados de ganho de resistência à compressão e AR50 apresentou-se como o limite de substituição de agregado para não afetar significativamente as propriedades mecânicas quanto à compressão do concreto.

Palavras-chave: Resíduos De Construção E Demolição. Agregados. Materiais de construção. Concreto. Piso Intertravado. Construção Civil.

ABSTRACT

SUDA, Guilherme Henrique. **Application Of Construction And Demolition Waste Aggregates In Concrete Production**. 2021. 61 pages. Work of Conclusion Course in Civil Engineering - Federal Technology University – Paraná, Guarapuava.

Civil construction produces billions of tons of waste every year. Methods of reduction and reuse, management, and their final disposal have been taken into account in the last decade, along with the large emission of carbon dioxide, emitted during the extraction of natural aggregates. Taking into account the global and national situation regarding the generation of construction and demolition waste, the feasibility of using it to replace it as recycled aggregate in fractions of the natural coarse aggregate in the concrete mixture was studied. It was verified the properties of the recycled aggregate, in terms of granulometry, specific mass and water absorption in order to adjust a dosage and characterize the constructive element in the concrete mixture for making paver blocks. The conformity required by the requirements established in ABNT NBR 9781:2013 and ABNT NBR 5739:2018 was verified regarding the compressive strength of the molded specimens and pavers. The results were obtained according to the normative procedures for the four studied concrete mixes, Ref., AR25, AR50 and AR75, where AR 25 showed satisfactory results in terms of compressive strength and AR50 was the aggregate replacement limit to not significantly affecting in the mechanical properties of concrete.

Keywords: Construction & Demolition Waste. Aggregates. Construction and Building Materials. Concrete. Paver Blocks. Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diferenças entre o agregado natural (a) e agregado de concreto reciclado (b).....	20
Figura 2 - Zona de transição interfacial (ITZ)	22
Figura 3 - Material da usina avaliado no trabalho.....	24
Figura 4 – Fluxograma Processos de Reciclagem da Usina.....	25
Figura 5 - Triagem manual realizada pelos funcionários	25
Figura 6 - Triagem mecânica.....	26
Figura 7 – Britagem do RCD	26
Figura 8 – Despejo do material peneirado	27
Figura 9 – Curva Granulométrica - Agregado Miúdo.....	29
Figura 10 - Curva Granulométrica - Agregado Graúdo Natural.....	30
Figura 11 - Curva Granulométrica - Agregado Graúdo Reciclado.....	31
Figura 12 – Frasco de Chapman.....	32
Figura 13 – Ensaio conforme NBR 9776.....	32
Figura 14 – Consumo em Kg do traço de referência	36
Figura 15 – Consumo em Kg dos traços de substituição	36
Figura 16 - Agregado submerso.....	37
Figura 17 – Agregado saturado com superfície seca	38
Figura 18 – Confeção dos corpos de prova cilíndricos	38
Figura 19 – Blocos de concreto moldados	39
Figura 20 – Retífica para capeamento dos corpos de prova.....	40
Figura 21 – Prensa usada nos ensaios à compressão.....	40
Figura 22 – Agregado Reciclado RCD	42
Figura 23 – Avaliação visual dos corpos de prova produzidos: Ref. (esquerda); AR25 (direita)	43
Figura 24 – Corpos de prova com Agregado Reciclado: AR25 (esq.); AR50 (meio); AR75 (dir.).....	43
Figura 25 – Pisos intertravados frescos	44
Figura 26 - Influência do teor de substituição do agregado natural por AR na resistência à compressão em corpo de prova cilíndrico de concreto de mesma relação água / cimento.....	46

Figura 27 – CPs de referência – Ruptura Tipo B – Cônica com mais de uma partição	46
Figura 28 - CPs AR25 – Ruptura Tipo E – Cisalhada	47
Figura 29 - CPs AR50 – Ruptura Tipo E e F – Cisalhada e Fraturas no topo ou base	47
Figura 30 - CPs AR75 –Ruptura Tipo E – Cisalhada	48
Figura 31 – Posicionamento dos pisos intertravados na prensa	48
Figura 32 - Influência do teor de substituição do agregado natural por AR na resistência à compressão em pavers de concreto de mesma relação água / cimento	50
Figura 33 – Rompimento por esmagamento dos pavers.....	50
Figura 34 – Composição Analítica de Concreto FCK = 25MPa.....	51
Figura 35 – Custo do m ³ de concreto	55
Figura 36 – Custo do m ² de paver.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ensaio para caracterização dos agregados.....	27
Quadro 2 – Valores estimados para teores de argamassa seca (α)	35
Quadro 3 – Valores estimados de relações água/cimento (x).....	35
Quadro 4 – Experimentos para os concretos endurecidos.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composições Granulométricas do agregado miúdo.....	28
Tabela 2 – Composições Granulométricas dos agregados graúdos.....	30
Tabela 3 – Resultados do ensaio de Frasco de Champman.....	32
Tabela 4 – Resultados do ensaio de frasco de Le Chatelier.....	32
Tabela 5 – Resultados ensaios de caracterização das pedras.....	33
Tabela 6 – Consumo e características dos traços definidos.....	36
Tabela 7 – Resistência à compressão dos corpos de prova aos 7 dias.....	44
Tabela 8 – Resistência à compressão dos corpos de prova aos 28 dias.....	45
Tabela 9 – Resistência à compressão dos pavers aos 7 dias.....	49
Tabela 10 - Resistência à compressão dos pavers aos 28 dias.....	49
Tabela 11 – Composição do m ³ de concreto para o valor unitário de brita 1 da composição (a).....	52
Tabela 12 - Composição do m ³ de concreto para o valor unitário brita 1 de mercado (b).....	52
Tabela 13 - Composição do m ³ de concreto para o valor unitário brita 1 reciclada da usina (c).....	53
Tabela 14 – Orçamento para o material da fabricação de pavers.....	54

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

RCD	Resíduos de Construção e Demolição
IEPA	Instituto de Pesquisa Econômica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACR	Agregados de Concreto Reciclado
CONAMA	Conselho Nacional Do Meio Ambiente
AR	Agregado Reciclado
AN	Agregado Natural
ITZ	Zona de Transição Interfacial
DMC	Diâmetro Máximo Característico
REF	Traço de Referência
AR25	Traço com 25% de substituição
AR50	Traço com 50% de substituição
AR75	Traço com 75% de substituição
RC	Resistência à Compressão
FCK	Resistência Característica do Concreto à Compressão
MPA	Mega Pascal
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
M2	Unidade Metro Quadrado
M3	Unidade Metro Cubico
KG	Unidade Quilo
H	Unidade Hora
CHP	Unidade Custos Horários Produtivos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 OBJETIVO	17
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 AGREGADOS RECICLADOS (AR)	18
3.1.1 Agregados de Concreto Reciclado (ACR)	19
3.1.2 Propriedades Físicas e Mecânicas de interesse dos ARs	20
3.2 APLICAÇÕES DE RCD COMO AGREGADOS RECICLADOS EM PAVERS - BLOCOS DE PISO INTERTRAVADO	22
4 MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1 AGREGADO GRAÚDO DE RECICLAGEM - PRODUÇÃO	24
4.1.1 Triagem.....	25
4.1.2 Britagem	26
4.1.3 Peneiramento	27
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	27
4.2.1 Análise Granulometria	28
4.2.1.1 Granulometria Agregado Miúdo	28
4.2.1.2 Granulometria Agregado Graúdo.....	29
4.2.2 Massa Específica do Agregado Miúdo.....	31
4.2.3 Massa Específica do Cimento	32
4.2.4 Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água do Agregado Graúdo	33
4.3 FORMULAÇÕES EM MASSA E VOLUME E CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	33
4.3.1 Traço De Referência.....	33
4.3.2 Confecção Dos Corpos De Prova E Pavers	37

4.4 PROPRIEDADE AVALIADA DO CONCRETO ENDURECIDO	39
4.5 VIABILIDADE ECONOMICA DA APLICAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO NO CONCRETO	41
5 RESULTADOS E ANÁLISE	42
5.1 ANÁLISE VISUAL DAS AMOSTRAS	42
5.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	44
5.2.1 Resistência À Compressão Dos Corpos De Provas Aos 7 Dias	44
5.2.2 Resistência À Compressão Dos Corpos De Provas Aos 28 Dias	45
5.2.3 Resistência À Compressão Dos Pavers Aos 7 Dias	48
5.2.4 Resistência À Compressão Dos Pavers Aos 28 Dias	49
5.3 VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DA APLICAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO	51
5.3.1 Custo do Concreto	51
5.3.2 Custo De Fabricação	54
5.3.3 Análise de viabilidade ambiental	55
6 CONCLUSÕES	57
7 REFERENCIAS	59
ANEXO I – RESULTADOS DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO DOS ENSAIOS AOS 7 DIAS	62
ANEXO II – RESULTADOS DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO DOS ENSAIOS AOS 28 DIAS	63

1 INTRODUÇÃO

O uso de recursos naturais todos os anos gera um consumo e um desperdício de toneladas de material. A construção civil lidera os números, com os resíduos de construção e demolição (RCD). A quantidade total de resíduos gerados na União Europeia foi superior a 2,5 bilhões de toneladas (EUROSAT, 2010), cerca de 35%, ou seja, 860 milhões de toneladas, derivam de atividades de construção e demolição e 27%, em torno de 672 milhões de toneladas, de mineração e pedreira. Em Hong Kong, todos os anos, uma enorme quantidade de resíduos de construção e demolição é produzida (POON, KUN, LAN, 2002). A disposição de resíduos tornou-se um grave problema social e ambiental em território global e nacional e a possibilidade de reciclagem de resíduos da indústria da construção é, portanto, de crescente importância (POON, 2006). Na cidade de São Paulo o volume de RCD produzido chega a 500kg/hab.ano (JOHN, 2004). Em relação ao manejo dos resíduos de construção civil, de acordo com a o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IEPA, 2016) segundo dados de 2008 divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, por meio da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB, 99,96% dos municípios brasileiros têm serviços de manejo de Resíduos Sólidos, mas 50,75% deles dispõem seus resíduos em vazadouros; 22,54% em aterros controlados; 27,68% em aterros sanitários. Esses mesmos dados apontam que 3,79% dos municípios têm unidade de compostagem de resíduos orgânicos; 11,56% têm unidade de triagem de resíduos recicláveis; e 0,61% têm unidade de tratamento por incineração.

Além disso, há uma grande preocupação global com a redução de carbono gerado no processo de extração do agregado natural (AN). A extração e trituração de agregados virgens dependem do uso de energia e conseqüentemente emissão de CO_2 , uma questão importante nos países desenvolvidos e uma preocupação global que requer solução sustentável (BEHERA, 2014). O consumo global de agregados usados na construção excedeu mais de 26 bilhões de toneladas em 2012 (SONAWADE, 2013), o que demonstra a importância de estudar o material e encontrar soluções mais ecológicas e econômicas. O reaproveitamento de resíduos consiste em uma solução ecológica no sentido de aproveitar e reciclar o produto requerido para

um cuidado com o meio ambiente e uma solução econômica reduzindo os custos e atraindo os olhos dos empresários e de grandes corporações.

Já existe a aplicação e reutilização de agregado reciclado derivado do RCD em paisagismo, construção de estradas (sub-bases e camadas de base, pavimentos betuminosos de superfície), argamassas e concreto (HANSEN, 1992).

O volume de material de construção mais utilizado em aplicações estruturais é o concreto, conseqüentemente é o agregado reciclado mais encontrado nos RCD's, este chamado de Agregados de Concreto Reciclado (ACR). O concreto é constituído basicamente por materiais aglomerantes, ou seja, de ligação, de água, agregados e aditivos. Entre esses componentes, o agregado desempenha um papel crucial no concreto, pois ocupa o maior volume, cerca de 60 a 75% do volume total de concreto (SH KOSMATKA – ASSOCIAÇÃO DE CIMENTO DO CANADÁ, 2002).

Uma das maiores dificuldades da utilização do RCD, como agregado no concreto, está na heterogeneidade do material. A variação da composição é um fator limitante, por isso o agregado corretamente separado tem maiores potenciais de utilização (BUTTNER, 2007). O resíduo de concreto com traço conhecido também é de grande importância para caracterização das propriedades físicas e mecânicas do agregado.

O uso de ACR na sua substituição parcial do AN do concreto de elementos de concreto coopera para uma produção limpa e sustentável. Já se desenvolveram estudos com a aplicação de RCD na produção de alvenaria maciça e pisos intertravados (POON, 2001), essas apresentaram resultados satisfatórios. Os blocos de concreto para pisos devem apresentar resistências à compressão e tração, estas normatizadas pela ABNT NBR 9781:2013. Entende-se, portanto, que muito ainda precisa ser analisado em território nacional na aplicação de material reciclado em concreto e estudo da resistência para a produção de produtos de concreto provenientes desse material.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Aplicar o agregado reciclado de resíduos de construção e demolição como material de construção na substituição parcial de agregado natural na produção de concreto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos secundários deste trabalho são:

- a) Revisar técnicas de processamento do agregado reciclado;
- b) Caracterizar o agregado reciclado e suas propriedades;
- c) Calcular um traço adequado para o concreto convencional e concreto com substituição de agregado natural por agregado reciclado, conforme método proposto em literatura;
- d) Analisar o comparativo das resistências à compressão dos concretos com RCD e concreto de referência;
- e) Estudar a viabilidade econômica e ambiental da substituição do material natural pelo reciclado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 AGREGADOS RECICLADOS (AR)

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são todos aqueles materiais gerados nos empreendimentos do ramo, como resíduos de concreto em obra ou usinas, alvenaria quebrada, rejeitos de pré-moldados, estes que muitas vezes não tem destino apropriado podem ser extraídos a fim de serem utilizados como agregados reciclados (AR). Os ARs podem ser de muitos tipos: agregados de asfalto e betume, agregados de vidro, agregados de cerâmica, agregados de tijolos (BEHERA, 2014). O agregado de concreto reciclado, conhecido com ACR, é o processamento realizado pela trituração de concreto original ou antigo, estes com boa ou má qualidade trazem características ao AR (BUTTLER, 2007).

A Resolução nº 307 do CONAMA de 2002 (Conselho Nacional Do Meio Ambiente) estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, visando proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental.

Os resíduos de natureza da construção civil representam um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas. Segundo o CONAMA, a disposição de RCD em locais inadequados contribui para a degradação da qualidade ambiental. Todo município deve ser responsável pela gestão e destinação ambientalmente correta de tais resíduos buscando a redução dos impactos ambientais.

Segundo as Resolução nº 469, que alterou a nº307, em 2015, os resíduos da construção civil são classificados em quatro classes:

- Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
 - a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

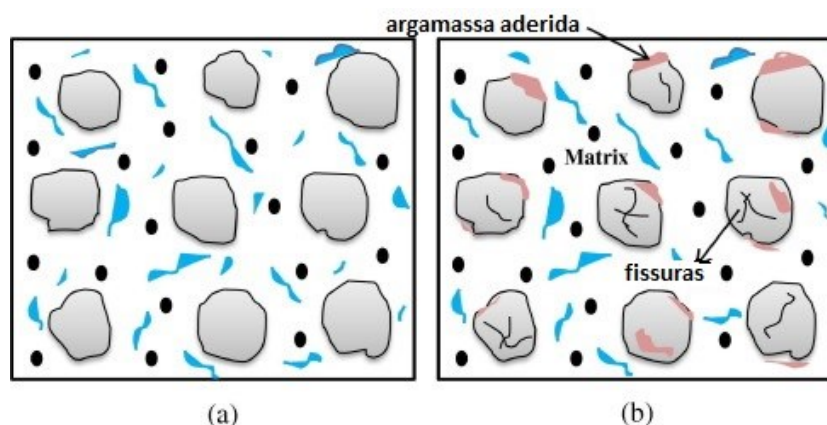
c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

- Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;
- Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação;
- Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

3.1.1 Agregados de Concreto Reciclado (ACR)

O concreto composto de AR em termos de fino ou grosso ou ambos, processado a partir de resíduos de construção e demolição, com uma substituição parcial ou 100% dos agregados naturais convencionais, é conhecido como ACR. A Figura 1 mostra os diagramas esquemáticos do concreto com agregado natural e agregado de concreto reciclado, respectivamente. Na figura, apresentam-se a fase agregada, a fase da argamassa e as zonas de transição interfacial entre o agregado grosso e agregado aderido. Essas três fases são responsáveis por limitar as propriedades do ACR.

Figura 1 – Diferenças entre o agregado natural (a) e agregado de concreto reciclado (b)



Fonte: Adaptado de Behera (2014)

O agregado reciclado precisa de mais atenção com relação ao desempenho do concreto quanto ao agregado natural usado no concreto. Na prática, o AR é obtido a partir de diferentes tipos de construção e estruturas demolidas, e assim suas propriedades obtidas de várias fontes também variam de estrutura para estrutura.

3.1.2 Propriedades Físicas e Mecânicas de interesse dos ARs

A qualidade do agregado reciclado depende dos métodos de processo de reciclagem que foram adotados, mas suas propriedades dependem principalmente da proporção água/cimento (a/c) do concreto original a partir do qual foi obtido (HANSEN, 1993). O AR obtido dos resíduos de construção e demolição geralmente consiste em argamassa com agregado graúdo natural e argamassa aderida.

A característica mais distinta em relação aos agregados naturais (ANs) dos ARs é a sua argamassa aderida antiga, que a torna porosa devido ao alto teor de argamassa, não homogênea e menos densa. Segundo Poon (POON, 2001), AR extraído da trituração de concreto usado consiste em 65-70% de agregados grossos e finos naturais e 35-30% de pasta de cimento em volume. O volume da argamassa residual no AR varia de 25% a 60% de acordo com o tamanho do agregado, o que aumenta a porosidade e deixa o agregado menos denso. Essas características influenciam algumas propriedades do agregado, como a absorção de água.

A quantidade de argamassa aderida significa características de resistência do concreto original, eficácia do procedimento de britagem,

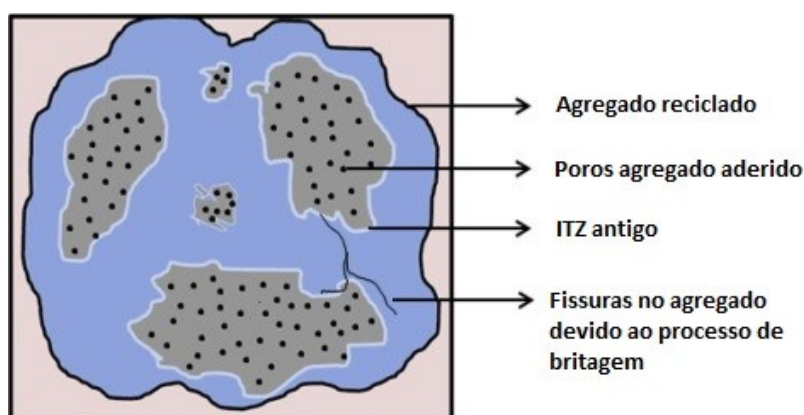
método de britagem e tamanho das partículas de AR. Sempre existe uma relação recíproca entre essa argamassa aderida e a qualidade do AR.

(M. Behera; et al, 2014, p 504)

Logo, presença de argamassa aderida é a grande responsável por sua capacidade de absorção de água, que dessa forma normalmente é alta nos agregados reciclados. A alta porosidade dos ARs é responsável pela maior capacidade de absorção de água, pois essa alta taxa de poros permite absorver mais água. Os agregados reciclados tem capacidade de absorção de água onde se apresentam cerca de 2 a 3 vezes maior que o agregado natural (POON, 2001). A capacidade de absorção de água do AR está diretamente ligada com a quantidade de pasta de cimento anexada à superfície das partículas agregadas. Recomendações da ABNT NBR NM 53:2003 especificam o agregado graúdo com capacidade de absorção de água superior a 7% influenciam nas propriedades mecânicas do concreto. A capacidade de absorção de água da AR também reflete a absorção de água do concreto produto do agregado (HANSEN, 1992).

O AR, portanto, tem sua granulométrica com alta heterogeneidade, podendo ser muito grosseiro ou muito fino como resultado do processamento e esmagamento através de vários tipos de britadores. A quantidade de frações finas no AR é maior que no AN britado (BUTTLER, 2007). O agregado reciclado, proveniente dos resíduos de construção e demolição, possui a chamada antiga zona de transição interfacial (ITZ), apresentado na Figura 2, devido à presença da argamassa ou pasta de cimento aderida ao seu redor (POON, 2004). A presença de poros na argamassa aderente, rachaduras e fissuras contínuas são desenvolvidas no interior do agregado em consequência do processo de esmagamento.

Figura 2 - Zona de transição interfacial (ITZ)



Fonte: Adaptado de Behera (2014)

O AR possui propriedades mecânicas inferiores, como baixa resistência ao esmagamento, baixa resistência ao impacto e resistência à abrasão do que o agregado natural (BEHERA, 2014). Estes e alguns fatores, como o ITZ apresentado na Figura 2, dificultam o grande uso do AR no concreto, pois afeta o desempenho do concreto em termos de trabalhabilidade, resistência e durabilidade. Assim, algumas propriedades importantes do AR, como distribuição de tamanho de partícula, forma e tamanho do agregado, porosidade, absorção, dureza, resistência e nível de impureza, devem ser necessariamente avaliadas antes de sua utilização no concreto.

3.2 APLICAÇÕES DE RCD COMO AGREGADOS RECICLADOS EM PAVERS - BLOCOS DE PISO INTERTRAVADO

Os pisos intertravados de concreto, conhecidos popularmente por “pavers”, tem origem do termo “paving blocks”. O produto popularizou-se como matéria prima na execução de calçadas, principalmente de pedestres e veículos leves. Estes que não exigem um material tão resistente, mas sim de qualidade e com propriedades estipuladas pela ABNT NBR 9781:2013, como a resistência característica à compressão de 35MPa, absorção de água e resistência à abrasão.

Estudos recentes substituíram agregado natural pelo reciclado, derivados de resíduos de construções e demolição, em proporções de 15%, 30%, 45%, 60% e 75%. Os blocos de pavimentação reciclados foram submetidos a inspeção visual, tolerância

de dimensão, resistência à compressão, absorção de água e teste de impacto. Pode-se observar que o agregado reciclado pode substituir até 60% dos agregados naturais em pavers fabricados em laboratório. Mas quando a porcentagem de substituição aumentou para 75%, mostrou uma mudança significativa nas propriedades dos blocos. (KUMAR; SHRIVASTAVA. 2020).

Segundo Soutsos (2010), nos estudos realizados no campo de agregados reciclados, pode-se substituir uma parte significativa dos agregados naturais. O autor preparou diversos blocos de pavimentação de concreto substituindo 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% dos agregados graúdos naturais por agregado reciclado graúdo e observou que não houve alteração significativa nas propriedades do pavimento até 60% de substituição.

No estudo abordado por Guo e Chen (2018), chegou-se na conclusão que é possível substituir até 75% de agregados naturais para a fabricação de blocos de concreto sem afetar muito de suas propriedades mecânicas e de durabilidade.

Já no trabalho de Gayerre (2011), o seu estudo indicou que a substituição do agregado natural por agregado reciclado graúdo na fabricação blocos de piso obteve resultados satisfatórios na substituição de 50%, e o mesmo trabalho concluiu que é viável até 50% de substituição dos agregados naturais sem apresentar alteração significativa nas propriedades dos blocos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos indicados neste trabalho, foi desenvolvido um programa experimental que contribuísse para o entendimento do uso de concretos com agregado reciclado na dosagem e produção de um artefato de concreto sem finalidade estrutural do tipo paver. Além disso, foram realizadas visitas numa recicladora de RCD da região de Guarapuava para verificar as diversas etapas da produção do agregado graúdo reciclado, e para coleta de resíduo de demolição beneficiamento, bem como, a sua caracterização e dos demais materiais utilizados no estudo. Os concretos produzidos com vários teores de substituição de AR foram avaliados no estado endurecido, quanto a resistência à compressão axial em diferentes idades.

4.1 AGREGADO GRAÚDO DE RECICLAGEM - PRODUÇÃO

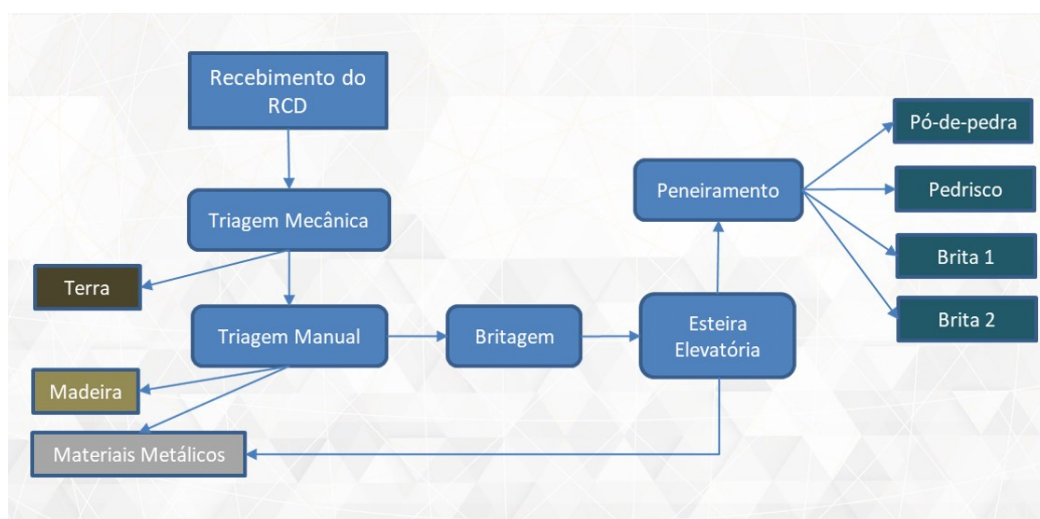
Obteve-se as amostras de resíduo de construção e demolição do material reciclado da usina da empresa W De Rocco, localizada na cidade de Guarapuava, Paraná Figura 3. A usina, que é responsável pela britagem e peneiramento do resíduo, possui o reaproveitamento do resíduo proveniente de aluguel de caçambas, serviço este realizado pela empresa. Os processos de reciclagem da usina são representados pelo fluxograma da Figura 4.

Figura 3 - Material da usina avaliado no trabalho



Fonte: Autor (2021)

Figura 4 – Fluxograma Processos de Reciclagem da Usina



Fonte: Autor (2021)

4.1.1 Triagem

Na usina recicladora, antes de ser britado o RCD é separado no procedimento de triagem, este realizado manualmente pelos funcionários para a retirada de impurezas ou granulometrias de graduação elevadas indesejadas (Figura 5). Toda madeira é encaminhada para outro processo e transformada em cavaco, este destinado a empresas que utilizam em fornalhas. Os materiais metálicos são separados e destinados a empresas responsáveis, como ferro-velho.

Figura 5 - Triagem manual realizada pelos funcionários



Fonte: Autor (2021)

A terra e grande parte do material pulverulento é também separado numa “pré-triagem”, esta realizada mecanicamente, Figura 6.

Figura 6 - Triagem mecânica



Fonte: Autor (2021)

4.1.2 Britagem

O procedimento de britagem é subsequente ao da triagem. Após a britagem do material, o mesmo é transportado, por meio de uma esteira elevatória, ao peneiramento, Figura 7. Neste intervalo ocorre uma segunda separação de materiais metálicos agora com o material britado, por meio de um imã.

Figura 7 – Britagem do RCD



Fonte: Autor (2021)

4.1.3 Peneiramento

Após a britagem, a esteira encaminha o RCD as peneiras (Figura 8), que peneiram em três produtos finais com 4 limites de granulometria, a brita 1 é o material destinado ao estudo.

Figura 8 – Despejo do material peneirado



Fonte: Autor (2021)

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Realizou-se ensaios de caracterização dos materiais seguindo as recomendações das Normas Brasileiras, no laboratório de materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Guarapuava, conforme Quadro 1:

Quadro 1 – Ensaios para caracterização dos agregados.

Propriedade	Norma
Determinação da composição granulométrica - Agregados	NBR NM 248:2003
Determinação da massa específica - Cimento	NBR NM 23:2001
Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água - Agregado graúdo	NBR NM 53:2003
Determinação da massa específica - Agregado miúdo	NBR 9776:1987

Fonte: Autor (2021)

4.2.1 Análise Granulometria

4.2.1.1 Granulometria Agregado Miúdo

Obteve-se a granulometria dos agregados conforme ABNT NBR NM 248 :2003. Os resultados expressos pela curva granulométrica nos determinam a dimensão máxima característica, modulo de finura, e otimização da dosagem do concreto.

Para granulometria da areia coletou-se duas amostras disponível do laboratório do campus. O peneiramento foi realizado mecanicamente pelo agitador de peneira do laboratório. As duas amostras de aproximadamente 500g tiveram o mesmo tempo e intensidade de agitação.

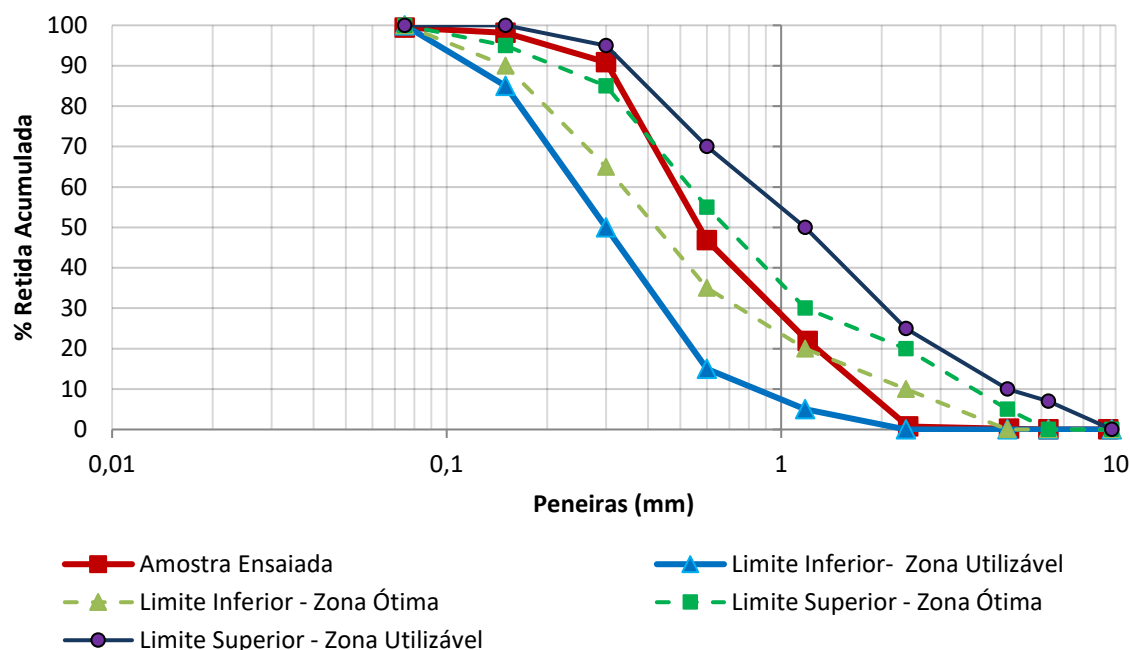
Os resultados médios obtidos para o agregado miúdo natural encontram-se na Tabela 1 e na Figura 9.

Tabela 1 – Composições Granulométricas do agregado miúdo.

Peneira (mm)	Amostra 1		Amostra 2		Média	
	% ret	% acum	% ret	% acum	% ret	% acum
4,8	0,06	0,06	0,24	0,24	0,15	0,15
2,4	0,51	0,57	0,60	0,83	0,55	0,70
1,2	21,12	21,69	21,33	22,16	21,20	21,90
0,6	27,70	49,39	22,12	44,29	24,89	46,79
0,3	43,67	93,06	44,59	88,88	44,09	90,88
0,15	5,90	98,96	8,66	97,53	7,27	98,15
0,075	0,74	99,70	1,83	99,37	1,29	99,44
fundo	0,04	99,75	0,21	99,57	0,12	99,56
	Dmáx:	2,4 mm	Dmáx:	2,4 mm	Dmáx:	2,4 mm
	Mód. Fin.:	2,64	Mód. Fin.:	2,54	Mód. Fin.:	2,59

Fonte: Autor (2021)

Figura 9 – Curva Granulométrica - Agregado Miúdo



Fonte: Autor (2021)

4.2.1.2 Granulometria Agregado Graúdo

Obteve-se a granulometria dos agregados convencional e reciclado conforme NBR NM 248:2003. Os resultados expressos pela curva granulométrica nos determinam a dimensão máxima característica, modulo de finura, e otimização da dosagem do concreto.

Para granulometria da areia coletou-se duas amostras de cada material: a) Agregado Natural (Brita 1); b) Agregado Reciclado (Brita 1). O peneiramento foi realizado mecanicamente pelo agitador de peneira do laboratório. As amostras de aproximadamente 5 quilos tiveram o mesmo tempo e intensidade de agitação para fim de comparativo.

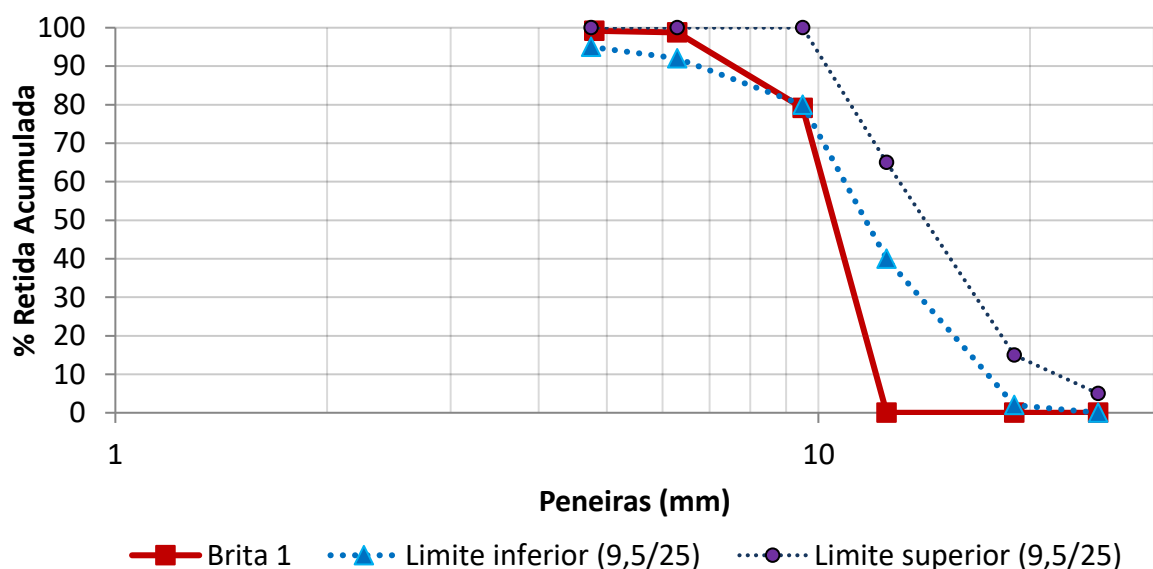
Os resultados obtidos para o agregado graúdo natural (AN) e reciclado (AR) encontram-se na Tabela 2 e nas Figura 10 e Figura 11.

Tabela 2 – Composições Granulométricas dos agregados graúdos.

Peneira (mm)	Agregado Natural		Agregado Reciclado		Média	
	% ret	% acum	% ret	% acum	% ret	% acum
12,5	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00	0,19
9,5	79,12	79,12	81,60	81,98	80,36	80,55
6,3	19,61	98,73	13,44	95,42	16,53	97,08
4,8	0,47	99,20	2,17	97,59	1,32	98,39
fundo	0,57	99,77	2,33	99,92	1,45	99,85
	Dmáx :	12,5 mm	Dmáx :	12,5 mm	Dmáx :	12,5 mm
	Mód. Fin. :	3,76	Mód. Fin. :	3,73	Mód. Fin. :	3,76

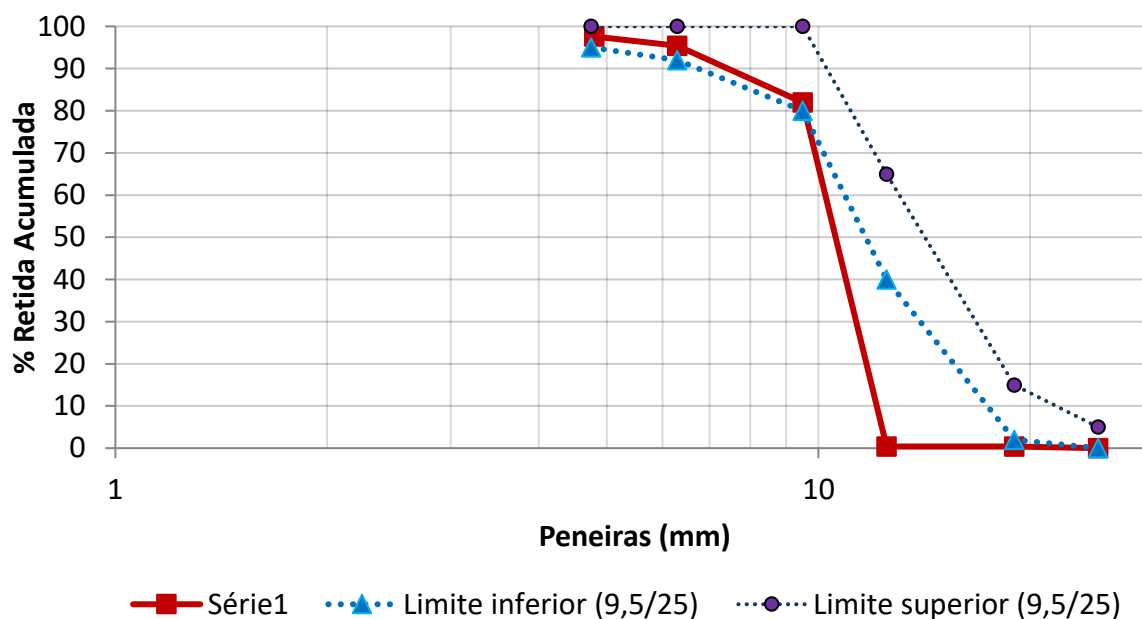
Fonte: Autor (2021)

Figura 10 - Curva Granulométrica - Agregado Graúdo Natural



Fonte: Autor (2021)

Figura 11 - Curva Granulométrica - Agregado Graúdo Reciclado



Fonte: Autor (2021)

A granulometria realizada, conforme ABNT NBR NM 53:2003, da brita 1 natural em comparativo com a brita 1 reciclada apresentou-se semelhante, principalmente das peneiras 9,5mm a 4,8mm, características da brita 1 convencional. Ambas apresentaram praticamente zero retenção na peneira 12,5mm;

4.2.2 Massa Específica do Agregado Miúdo

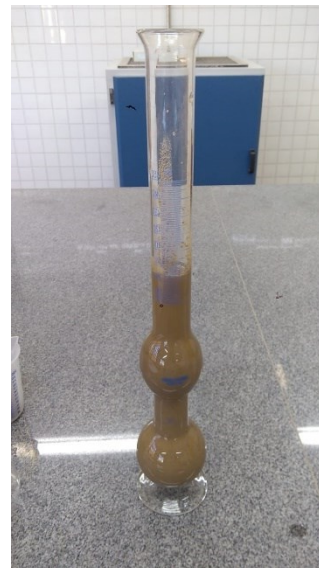
Obteve-se a massa específica da areia pelo frasco de Chapman conforme ABNT NBR 9776:1987 e visto nas Figura 12 e Figura 13. Com os resultados são apresentados na Tabela 3.

Figura 12 – Frasco de Chapman



Fonte: Autor (2021)

Figura 13 – Ensaio conforme NBR 9776:1987



Fonte: Autor (2021)

Tabela 3 – Resultados do ensaio de Frasco de Champman

Massa Específica da areia					
Amostra 1		Amostra 2		Média	
m (g)	Leitura (cm ³)	m (g)	Leitura (cm ³)	m (g)	Leitura (cm ³)
500,00	393,50	500,00	393,00	500,00	393,25
$\gamma_{\text{méd}}$ (g/cm ³):	2,58	$\gamma_{\text{méd}}$ (g/cm ³):	2,59	$\gamma_{\text{méd}}$ (g/cm ³):	2,59

Fonte: Autor (2021)

4.2.3 Massa Específica do Cimento

Obteve-se a massa específica do cimento pelo frasco de Le Chatelier. Os resultados dos ensaios são apresentados na Tabela 4. Com os resultados dos ensaios otimizou-se a dosagem do concreto.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de frasco de Le Chatelier

Massa Específica do Cimento		
Leitura inicial (Li)	Leitura final (Lf)	Massa Cimento (g)
0,7	20,6	60,0
M_e (g/cm ³):	3,05	g/cm ³

Fonte: Autor (2021)

4.2.4 Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água do Agregado Graúdo

Os resultados dos ensaios de massa específica, massa específica aparente e absorção de água das pedras (brita 1) natural e reciclada são apresentados na Tabela 5. Com os resultados dos ensaios otimizou-se a dosagem do concreto.

Tabela 5 – Resultados ensaios de caracterização das pedras

Brita 1	Massa específica (g/cm³)	Massa específica aparente (g/cm³)	Absorção de água (%)
Agregado Natural	2,51	2,62	1,70
Agregado Reciclado	2,04	2,55	9,60

Fonte: Autor (2021)

Na comparação da massa específica, o volume de sólidos no AR é 19% menor em comparação com o AN, isto porque o agregado de RCD possui impurezas como resíduos de cerâmica vermelha, material menos denso do que os agregados convencionais. Para a massa específica aparente, o agregado de RCD é praticamente igual ao do convencional a massa. A absorção de água do agregado reciclado chegou a 9,6%, indicando que a porosidade do AR é fortemente influenciada pela quantidade de cerâmica vermelha presente no material e pela quantidade de argamassa esta aderida no grão.

4.3 FORMULAÇÕES EM MASSA E VOLUME E CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

4.3.1 Traço De Referência

Na confecção dos corpos de prova (ABNT NBR 5738:2015), tanto os concretos com agregado reciclados quanto o concreto com agregado natural, moldaram-se no traço de concreto seco de referência, calculado conforme método proposto por Campitelli (2004). Determinou-se as razões água-cimento (a/c) efetivas fixando o material utilizado de acordo com a ABNT NBR 6118:2014 para concretos estruturais.

No método simplificado de dosagem proposto, considera-se um traço inicial dado por 1: a: p: x (cimento; areia; pedra; água). Para que o concreto seja dosado é necessário relacionar cada parcela do material às propriedades desejadas. A consistência, coesão e resistência a compressão são os três principais fatores para mensurar o traço desejado. A resistência a compressão, para os mesmos materiais, varia inversamente com a relação água/cimento (x), de acordo com a equação de Abrams:

$$f_{cj} = \frac{A}{B^x} \quad \text{Equação 1}$$

Assim, um traço inicial de concreto (CAMPITELI, 2004) pode ser expresso em função de suas características H , α e x , respectivamente: consistência, coesão e relação água/cimento.

$$1 : \left(\alpha \cdot \frac{x}{H} - 1 \right) : \frac{x}{H} (100 - \alpha) : x \quad \text{Equação 2}$$

onde:

- α : teor de argamassa seca;
- H : relação água-materiais secos;
- x : relação água-cimento.

A consistência do concreto é influenciada pela relação água-materiais secos (H), pela dimensão máxima característica e pela massa específica do agregado graúdo, obtidos na caracterização dos materiais em laboratório. O modelo matemático proposto por Campitelli (2004) relaciona a consistência do concreto com os fatores mencionados através da Equação 3:

$$H = 783 \cdot (148 - DMC) + (163 - DMC) \cdot \frac{S}{4410 \cdot \gamma} \quad \text{Equação 3}$$

onde:

- DMC : diâmetro máximo característico do agregado graúdo;
- γ : módulo de finura do agregado miúdo.

As coesões, ou teores de argamassa seca (α) podem ser adotados pelo Quadro 2, em função do módulo de finura do agregado miúdo.

Quadro 2 – Valores estimados para teores de argamassa seca (α)

DMC (mm) do agregado graúdo	Módulo de finura do agregado miúdo		
	menor do que 2,4	entre 2,4 e 2,8	maior que 2,8
9,5	55	57	59
19	50	52	54
25	46	48	50
38	43	44,5	46
50	37	39	41
76	33	34,5	36
102	30	31	32
152	27	28	29

Fonte: Campiteli (2004)

Os valores estimados para a relação água/cimento (x) podem ser adotados de equações de Abrams conhecidas. Na ausência de equações de Abrams conhecidas, pode-se adotar valores tabelados no Quadro 3:

Quadro 3 – Valores estimados de relações água/cimento (x)

fcj(Mpa)	Estimativa da relação água/cimento - x (1/kg)			
	Cimentos do tipo CPI,II,III e IV			CP V ARI
	Classe 25	Classe 32	Classe 40	
10	0,79	0,89	0,96	0,96
15	0,64	0,74	0,81	0,81
20	0,53	0,63	0,71	0,71
25	0,45	0,55	0,62	0,62
30	0,38	0,48	0,56	0,56
35	0,32	0,42	0,50	0,50

Fonte: Campiteli (2004)

Portanto substituindo os valores na Equação 2, obteve-se o traço pelo método proposto para usar de referência na substituição de brita 1 natural pela reciclado a fim de comparativo. A dosagem dos materiais, tanto para o concreto de referência como para os de substituição por agregado reciclado, foi feita a partir dos mesmos materiais (cimento e areia e brita 1) afim de reduzir quaisquer interferências no estudo. O traço de referência serviu de base para os traços de substituição e seus respectivos consumos de materiais que se encontram na Tabela 6, e são ilustrados nas Figuras 14 e 15.

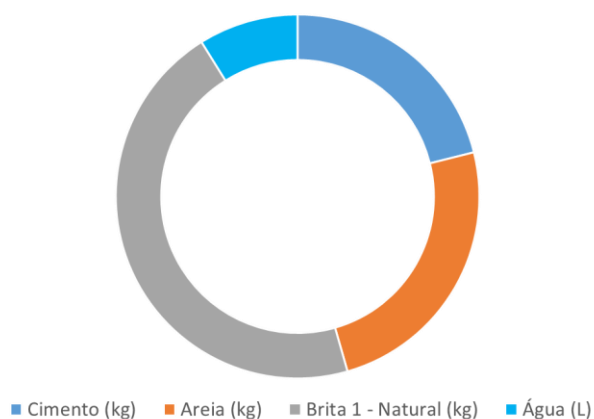
Tabela 6 – Consumo e características dos traços definidos

Materiais	Traço Referencia	Traço Ref - AR25	Traço Ref - AR50	Traço Ref - AR75
Cimento (kg)	1,00	1,00	1,00	1,00
Areia (kg)	1,16	1,16	1,16	1,16
Brita 1 - Natural (kg)	2,16	1,62	1,08	0,54
Brita 1 - Reciclado (kg)	0,00	0,54	1,08	1,62
Água (L)	0,42	0,42	0,42	0,42
Cimento / Agregado (%)	30,12	30,12	30,12	30,12

Fonte: Autor (2021)

Figura 14 – Consumo em Kg do traço de referência

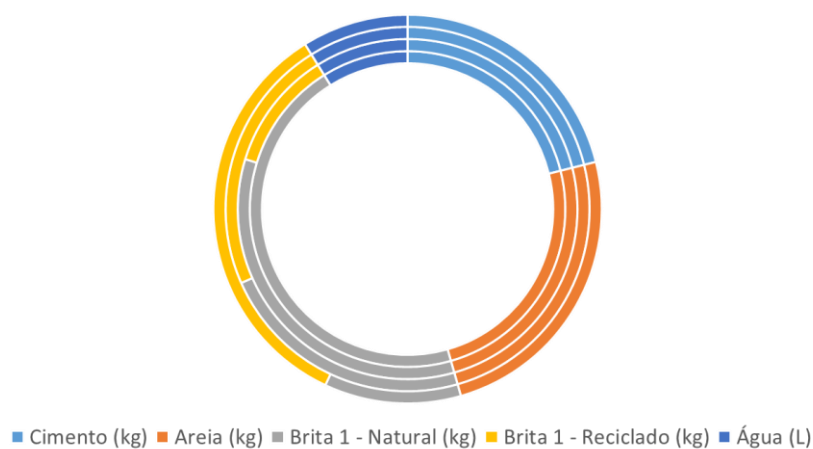
Materiais - Traço de referência



Fonte: Autor (2021)

Figura 15 – Consumo em Kg dos traços de substituição

Traços: Ref.; AR25; AR50; AR75



Fonte: Autor (2021)

4.3.2 Confeção Dos Corpos De Prova E Pavers

Moldaram-se os corpos de prova de concreto para realização dos ensaios em formas cilíndricas (10x20) de 10 centímetros de diâmetro 20 centímetros de altura, confeccionados no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava. Nos primeiros concretos produzidos, observou-se que o agregado reciclado exigiu muito mais água que o natural, o que era esperado devido a maior quantidade de vazios no AR. Para produção do concreto dá-se as seguintes considerações:

- O agregado reciclado foi saturado, submerso por 24 horas e depois usado na condição saturada com superfície seca, conforme apresentado nas Figura 16 e Figura 17, afim de garantir a trabalhabilidade do concreto e que a absorção de água elevada daquele não influenciasse no traço. Para os consumos no traço foi considerado o peso do agregado saturado;
- Deixou-se a areia em estufa por 24h para todos os concretos, anulando a interferência por umidade da areia;
- O mesmo concreto de cada um dos traços foi usado para confecção tanto dos corpos de prova, como dos blocos de piso intertravado;
- O cimento utilizado nos traços foi o CP II-Z classe 32;
- Após a confecção dos corpos de provas e pavers, as amostras foram deixadas em cura submersa até 24 horas antes dos ensaios de resistência à compressão.

Figura 16 - Agregado submerso



Fonte: Autor (2021)

Figura 17 – Agregado saturado com superfície seca



Fonte: Autor (2021)

Para os ensaios de resistência à compressão, foram confeccionados 8 corpos de prova e 8 pavers de cada traço de concreto, sendo com 0%, 25%, 50% e 75% de substituição de agregado gráúdo natural (brita 1) pelo agregado reciclado (RCD) nomeados, respectivamente, de REF, AR25, AR50, AR75, totalizando 32 corpos de prova e 16 pavers, sendo metade para o ensaio de compressão à 7 dias e a outra metade para o ensaio à 28 dias.

Figura 18 – Confeção dos corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autor (2021)

Confeccionou-se os pavers de concreto em formas plásticas dupla (geminada) para fabricação de bloquetes com altura de 6 centímetros, 10 centímetros de largura e 20 centímetros de comprimento.

Figura 19 – Blocos de concreto moldados



Fonte: Autor (2021)

4.4 PROPRIEDADE AVALIADA DO CONCRETO ENDURECIDO

Avaliou-se os concretos no estado endurecido, tanto dos corpos de prova quanto dos pavers, pela resistência à compressão das amostras nas idades de 7 e 28 dias conforme Quadro 4.

Quadro 4 – Experimentos para os concretos endurecidos

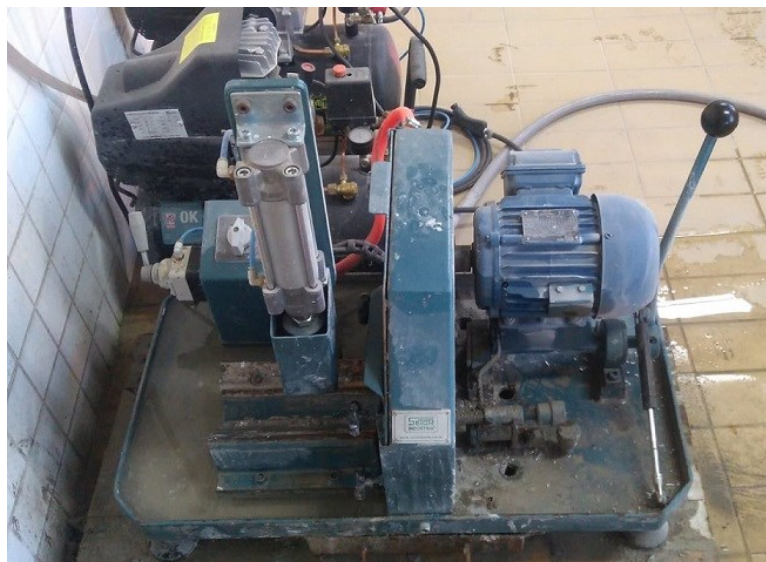
Propriedade	Número de corpos de provas / blocos intertravados (p/ cada concreto)	Norma
Resistência à compressão 7 dias (Corpos de Prova)	4	NBR 5739:2018
Resistência à compressão 28 dias (Corpos de Prova)	4	
Resistência à compressão 7 dias (Pavers)	2	NBR 9781:2013
Resistência à compressão 28 dias (Pavers)	2	

Fonte: Autor (2021)

Confeccionou-se 8 corpos de prova e 4 pavers para cada substituição (0%, sendo o traço de referência, 25%, 50%, 75%), totalizando 48 amostras de concreto.

Após o processo de cura submersa, submeteu-se os corpos de prova e pisos intertravados aos ensaios de compressão aos 7 e 28 dias. Antes de serem levados à prensa, retificou-se na máquina da Figura 20 os corpos de prova em suas faces, conforme recomendação da ABNT NBR 5739:2018.

Figura 20 – Retífica para capeamento dos corpos de prova



Fonte: Autor (2021)

Após a retífica, levou-se os corpos de prova para prensa hidráulica da Figura 21 para o ensaio à compressão, no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Guarapuava.

Figura 21 – Prensa usada nos ensaios à compressão



Fonte: Autor (2021)

4.5 VIABILIDADE ECONOMICA DA APLICAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO NO CONCRETO

Para análise econômica da aplicação de agregado reciclado na substituição do agregado natural, utilizou-se o banco de dados da CAIXA de Junho de 2021, do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) que tem por objetivo a produção de séries mensais de custos e índices para o setor habitacional e de séries mensais de salários medianos de mão de obra e preços medianos de materiais de construção. Realizou-se também uma pesquisa para um valor médio de brita 1 nos lojistas na cidade de Guarapuava, para fins comparativos.

5 RESULTADOS E ANÁLISE

5.1 ANÁLISE VISUAL DAS AMOSTRAS

Observou-se que a brita 1 de RCD possui aparentemente uma granulometria similar a brita 1 convencional disponível para o ensaio. Analisou-se visualmente a presença de material cerâmico no conjunto das amostras. Notou-se também uma grande quantidade de argamassa aderida as amostras do agregado RCD e uma fração de cerâmica vermelha conforme visto na Figura 22.

Figura 22 – Agregado Reciclado RCD



Fonte: Autor (2021)

Os corpos de prova foram desmoldados após 24 horas, e verificou-se visualmente a diferença entre os corpos de prova de referência, somente com agregado natural, e os corpos de prova frescos com substituição por agregado reciclado. A Figura 23 e Figura 24 apresentam o aspecto resultante.

Figura 23 – Avaliação visual dos corpos de prova produzidos: Ref. (esquerda); AR25 (direita)



Fonte: Autor (2021)

Observou-se que quanto maior a substituição de agregado natural pelo reciclado, mais coloração barrosa apresentou-se nas amostras.

Figura 24 – Corpos de prova com Agregado Reciclado: AR25 (esq.); AR50 (meio); AR75 (dir.)



Fonte: Autor (2021)

Confeccionou-se os pavers de concreto em formas plásticas dupla (geminada). Aplicou-se desmoldante em todos os moldes e para cada conjunto de corpos de prova foi feito uma única betonada de concreto afim de garantir a homogeneidade dos mesmos. A Figura 25 apresenta os pavers desmoldados após 24 horas.

Figura 25 – Pisos intertravados frescos



Fonte: Autor (2021)

5.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

São apresentados nesse capítulo os resultados dos ensaios descritos no item 4.4. Os Anexo I e Anexo II apresentam uma ilustração com o resumo dos resultados.

5.2.1 Resistência À Compressão Dos Corpos De Provas Aos 7 Dias

Os resultados para os corpos de prova à compressão aos 7 dias são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resistência à compressão dos corpos de prova aos 7 dias

	n	Ref.	AR25	AR50	AR75
Carga de ruptura (kN)	1	86,05	92,01	71,26	69,23
	2	80,27	102,48	78,31	73,91
	3	83,81	110,92	70,33	71,81
	4	95,93	111,12	78,55	68,46
	média	86,52	104,13	74,61	70,85
	desvio	6,71	9,03	4,43	2,49
Tensão (MPa)	RC	10,9	13,1	9,4	8,9

Fonte: Autor (2021)

Observou-se que as amostras obtiveram resultados similares entre si. Notou-se ganho de 20% na resistência à compressão para o concreto com substituição de 25% de agregado natural por reciclado, isso pode se dar principalmente pelo fator água/cimento do concreto, pois o agregado reciclado exige mais água da dosagem diminuindo a fração. Verificou-se, por outro lado, que os concretos com 50% e 75%

de substituição perderam aproximadamente 16% da resistência a compressão em comparação ao concreto de referência.

5.2.2 Resistência À Compressão Dos Corpos De Provas Aos 28 Dias

Manteve-se em cura submersa a outra metade corpo de prova, por mais 21 dias. Os resultados para os corpos de prova à compressão em 28 dias são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resistência à compressão dos corpos de prova aos 28 dias

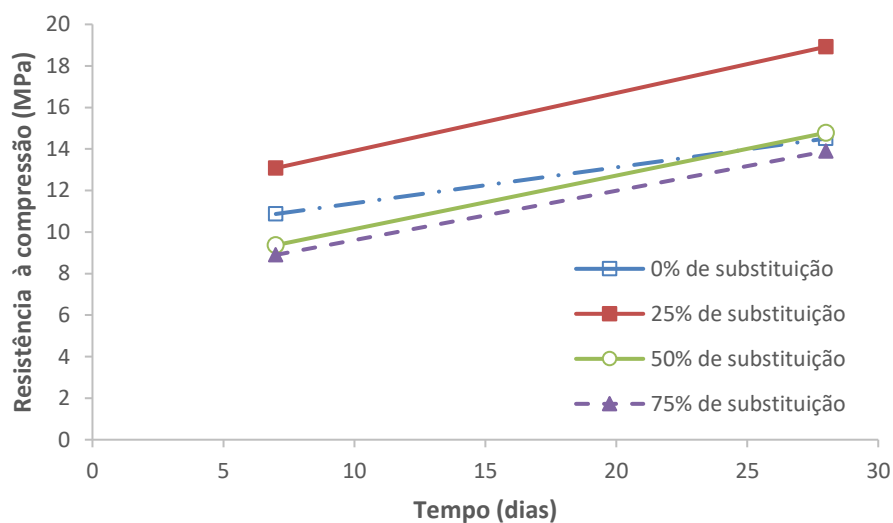
	n	Ref.	AR25	AR50	AR75
Carga de ruptura (kN)	1	138,98	164,46	124,11	110,66
	2	110,66	144,78	114,34	109,24
	3	99,98	166,76	115,73	110,68
	4	111,97	126,56	116,63	111,64
	média	115,4	150,64	117,7	110,56
	desvio	16,61	18,84	4,37	0,99
Tensão (MPa)	RC	14,5	18,9	14,8	13,9

Fonte: Autor (2021)

Observou-se que as amostras obtiveram resultados de tensão de ruptura bastante homogêneos, desviando da média em torno de 2,3 MPa. Notou-se, em comparativo, um ganho de resistência à compressão para o concreto com substituição de 25% de agregado natural por reciclado de 30%. Verificou-se, por outro lado, que o concreto com 75% de substituição perdeu 4% de resistência em comparação ao concreto de referência. O concreto com AR50 apresentou praticamente a mesma média de resistência que o de referência, em torno de 2%, e assim observou-se que 50% é o limite de substituição do estudo para não afetar as propriedades mecânicas do concreto. Este valor é mais que o dobro recomendado por Rilem (1994), que indica uma substituição de até 20% de AN por AR. Observa-se que esta recomendação tem um aspecto bastante conservador e, de não explora o potencial do agregado de resíduo da construção.

Essa Influência dos teores crescentes de substituição de agregado natural por agregado reciclado de concreto na resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos está ilustrada na Figura 26.

Figura 26 - Influência do teor de substituição do agregado natural por AR na resistência à compressão em corpo de prova cilíndrico de concreto de mesma relação água / cimento



Fonte: Autor (2021)

Os tipos de rompimento dos corpos de prova nos ensaios de 28 dias são apresentados entre a Figura 27 a Figura 30 a seguir.

Figura 27 – CPs de referência – Ruptura Tipo B – Cônica com mais de uma partição



Fonte: Autor (2021)

Figura 28 - CPs AR25 – Ruptura Tipo E – Cisalhada



Fonte: Autor (2021)

Figura 29 - CPs AR50 – Ruptura Tipo E e F – Cisalhada e Fraturas no topo ou base



Fonte: Autor (2021)

Figura 30 - CPs AR75 –Ruptura Tipo E – Cisalhada



Fonte: Autor (2021)

5.2.3 Resistência À Compressão Dos Pavers Aos 7 Dias

Para o ensaio à compressão dos pavers, posicionou-se os mesmos de modo a que ficassem centralizados as placas da prensa, para que o centro da prensa coincidissem com o seu centro geométrico conforme Figura 31.

Figura 31 – Posicionamento dos pisos intertravados na prensa



Fonte: Autor (2021)

Os resultados para os pisos intertravados à compressão aos 7 dias são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Resistência à compressão dos pavers aos 7 dias

	n	Ref.	AR25	AR50	AR75
Carga de ruptura (kN)	1	270	264,04	225,17	176
	2	256,3	276	206,92	174,43
	média	263,15	270,02	216,05	175,22
	desvio	9,69	8,46	12,90	1,11
Tensão (MPa)	RC	12,8	13,2	10,3	8,7

Fonte: Autor (2021)

Para o paver com idade de 7 dias, o comportamento se assemelha aos obtidos nos corpos de prova, quanto ao ganho, a amostra AR25 teve 3% de acréscimo de resistência a compressão enquanto as amostras AR50 e AR75 obteve-se perda de 19% e 32 %, respectivamente, de resistência a compressão com substituição de agregado natural pelo reciclado em comparativo ao concreto de referência.

5.2.4 Resistência À Compressão Dos Pavers Aos 28 Dias

Para o ensaio à compressão dos pavers aos 28 dias, os resultados para os pisos intertravados à compressão são apresentados na Tabela 10 - Resistência à compressão dos pavers aos 28 dias.

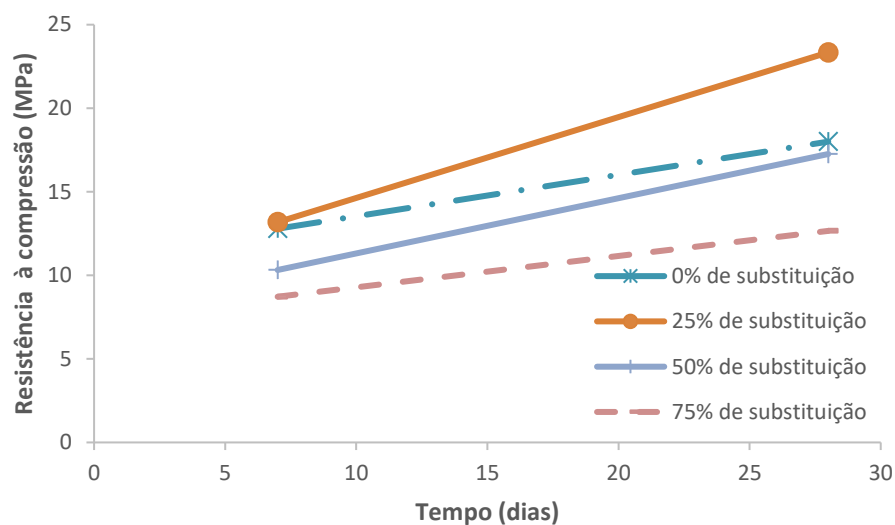
Tabela 10 - Resistência à compressão dos pavers aos 28 dias

	n	Ref.	AR25	AR50	AR75
Carga de ruptura (kN)	1	361,04	501,03	345,69	260,16
	2	393,8	467,8	359,45	253,33
	média	377,42	484,415	352,57	256,745
	desvio	23,16	23,50	9,73	4,83
Tensão (MPa)	RC	18,0	23,3	17,3	12,7

Fonte: Autor (2021)

Os resultados se assemelham quanto ao ganho e perda de resistência dos corpos de prova dos concretos apresentados na Tabela 9. Ainda sim os pavers apresentaram uma resistência sutilmente maior que os corpos de prova devido ao rompimento por esmagamento ocasionado pela prensa. Essa Influência dos teores crescentes de substituição de agregado natural por agregado reciclado de concreto na resistência à compressão dos pavers está ilustrada na Figura 32.

Figura 32 - Influência do teor de substituição do agregado natural por AR na resistência à compressão em pavers de concreto de mesma relação água / cimento



Fonte: Autor (2021)

Os tipos de rupturas dos pavers nos ensaios de 28 dias são apresentados nas Figura 33 a seguir.

Figura 33 – Rompimento por esmagamento dos pavers



Fonte: Autor (2021)

5.3 VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DA APLICAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO

5.3.1 Custo do Concreto

Para exemplificar, como comparativo, a aplicação do AR na fabricação de pavers foi estudada em uma composição analítica desonerada do Paraná para um concreto de 25 MPa com seus devidos materiais e mão de obra descritos a seguir.

Figura 34 – Composição Analítica de Concreto FCK = 25MPa

94965	CONCRETO FCK = 25MPa, TRAÇO 1:2,3:2,7 (EM MASSA SECA DE CIMENTO/ AREIA MÉD	M3				
	IA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. AF_05/2021					
370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	M3	C	0,7229000	60,00	43,37
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	C	362,6579000	0,56	203,08
4721	PEDRA BRITADA N. 1 (9,5 a 19 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	M3	CR	0,5934000	47,98	28,47
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	C	2,3117000	18,90	43,69
88377	OPERADOR DE BETONEIRA ESTACIONÁRIA/MISTURADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	CR	1,4637000	18,55	27,15
88830	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR	CHP	CR	0,7534000	1,58	1,19
	ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - CHP DIURNO. AF_10/20					
	14					
88831	BETONEIRA CAPACIDADE NOMINAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR	CHI	C	0,7103000	0,31	0,22
	ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - CHI DIURNO. AF_10/20					
	14					
	EQUIPAMENTO	:		0,63		0,1815195 %
	MATERIAL	:		295,25		85,0433632 %
	MAO DE OBRA	:		50,53		14,5561414 %
	OUTROS	:		0,76		0,2189759 %
	TOTAL COMPOSIÇÃO	:		347,17		100,0000000 % - ORIGEM DE PREÇO: C

Fonte: Caixa (2021)

Como valor de entrada para a composição da Figura 34 utilizou-se 3 valores unitários de brita 1 (em m³): a) valor unitário da composição (julho/2021 do Paraná); b) valor unitário médio de mercado em Guarapuava; c) a adição de um insumo de valor unitário da brita 1 reciclada da usina (valor de venda) com substituição de 50% de brita convencional. Os valores para os demais insumos e composições foram mantidos para comparativo. Observa-se nas Tabela 13, Tabela 14 e Tabela 15 a seguir os valores para o metro cúbico de concreto adaptados para situação de comparativo estudada.

Tabela 11 – Composição do m³ de concreto para o valor unitário de brita 1 da composição (a).

Código:	94965		Unidade de Medida:	M3	Data Preço:	jun/21	
Descrição	CONCRETO FCK = 25MPA, TRAÇO 1:2,3:2,7 (EM MASSA SECA EM CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. AF_05/2021						
Tipo do Item	Numero do item	Descrição Básica	Unidade	Coefficiente	Custo Unitário (R\$)	Total	
INSUMO	370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO DA JAZIDA, SEM TRANSPORTE	M3	0,7229	R\$ 60,00	R\$ 43,37	
INSUMO	1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	362,6579	R\$ 0,56	R\$ 203,09	
INSUMO	4721	PEDRA BRITA N. 1 (9.5 A 19 MM) POSTO PENEIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	M3	0,5934	R\$ 47,98	R\$ 28,47	
COMPOSICAO	88316	SERVEANTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	2,3117	R\$ 18,90	R\$ 43,69	
COMPOSICAO	88377	OPERADOR DE BETONEIRA ESTACIONÁRIA/MISTURADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,4637	R\$ 18,55	R\$ 27,15	
COMPOSICAO	88830	BETONEIRA CAPACIDADE NORMAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR -	CHP	0,7534	R\$ 1,58	R\$ 1,19	
COMPOSICAO	88831	BETONEIRA CAPACIDADE NORMAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - CHP DIURNO. AF 10/2014	CHP	0,7103	R\$ 0,31	R\$ 0,22	
					Total mão de obra	20,40%	R\$ 70,84
					Total material	79,19%	R\$ 274,93
					Total da Composição		R\$ 347,19

Fonte: Autor (2021)

Tabela 12 - Composição do m³ de concreto para o valor unitário brita 1 de mercado (b).

Código:	94965		Unidade de Medida:	M3	Data Preço:	jun/21	
Descrição	CONCRETO FCK = 25MPA, TRAÇO 1:2,3:2,7 (EM MASSA SECA EM CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. AF_05/2021						
Tipo do Item	Numero do item	Descrição Básica	Unidade	Coefficiente	Custo Unitário (R\$)	Total	
INSUMO	370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO DA JAZIDA, SEM TRANSPORTE	M3	0,7229	R\$ 60,00	R\$ 43,37	
INSUMO	1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	362,6579	R\$ 0,56	R\$ 203,09	
INSUMO	4721	PEDRA BRITA N. 1 (9.5 A 19 MM) POSTO PENEIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	M3	0,5934	R\$ 79,90	R\$ 47,41	
COMPOSICAO	88316	SERVEANTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	2,3117	R\$ 18,90	R\$ 43,69	
COMPOSICAO	88377	OPERADOR DE BETONEIRA ESTACIONÁRIA/MISTURADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,4637	R\$ 18,55	R\$ 27,15	
COMPOSICAO	88830	BETONEIRA CAPACIDADE NORMAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR -	CHP	0,7534	R\$ 1,58	R\$ 1,19	
COMPOSICAO	88831	BETONEIRA CAPACIDADE NORMAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - CHP DIURNO. AF 10/2014	CHP	0,7103	R\$ 0,31	R\$ 0,22	
					Total mão de obra	19,35%	R\$ 70,84
					Total material	80,27%	R\$ 293,88
					Total da Composição		R\$ 366,13

Fonte: Autor (2021)

Tabela 13 - Composição do m³ de concreto para substituição de 50% do valor unitário para brita 1 reciclada da usina (c).

Código:	94965	ADAPTADO	Unidade de Medida:	M3	Data Preço:	jun/21
Descrição	CONCRETO FCK = 25MPA, TRAÇO 1:2,3:2,7 (EM MASSA SECA EM CIMENTO/ AREIA MÉDIA/ BRITA 1) - PREPARO MECÂNICO COM BETONEIRA 400 L. AF_05/2021					
Tipo do Item	Numero do item	Descrição Básica	Unidade	Coefficiente	Custo Unitário (R\$)	Total
INSUMO	370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO DA JAZIDA, SEM TRANSPORTE	M3	0,7229	R\$ 60,00	R\$ 43,37
INSUMO	1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	362,6579	R\$ 0,56	R\$ 203,09
INSUMO	4721	PEDRA BRITA N. 1 (9.5 A 19 MM) POSTO PENEIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	M3	0,2967	R\$ 47,98	R\$ 14,24
INSUMO	ADAPTADO	PEDRA BRITA N. 1 (9.5 A 19 MM) POSTO PENEIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	M3	0,2967	R\$ 40,00	R\$ 11,87
COMPOSICAO	88316	SERVEENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	2,3117	R\$ 18,90	R\$ 43,69
COMPOSICAO	88377	OPERADOR DE BETONEIRA ESTACIONÁRIA/MISTURADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,4637	R\$ 18,55	R\$ 27,15
COMPOSICAO	88830	BETONEIRA CAPACIDADE NORMAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR -	CHP	0,7534	R\$ 1,58	R\$ 1,19
COMPOSICAO	88831	BETONEIRA CAPACIDADE NORMAL DE 400 L, CAPACIDADE DE MISTURA 280 L, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV, SEM CARREGADOR - CHP DIURNO. AF 10/2014	CHP	0,7103	R\$ 0,31	R\$ 0,22
					Total mão de obra	R\$ 70,84
					Total material	R\$ 272,57
					Total da Composição	R\$ 344,82

Fonte: Autor (2021)

Notou-se que o custo por metro cúbico de concreto com a aplicação do agregado reciclado (Tabela 13) ficou menor em comparativo as Tabela 11 e na Tabela 12, vale que ressaltar que ambos os valores unitários (SINAPI e pesquisa de mercado realizada por esse estudo) podem variar de região para região. Propõe-se também observar que o valor unitário do material reciclado é o da Usina localizada em Guarapuava, sendo a única disponível na região.

5.3.2 Custo De Fabricação

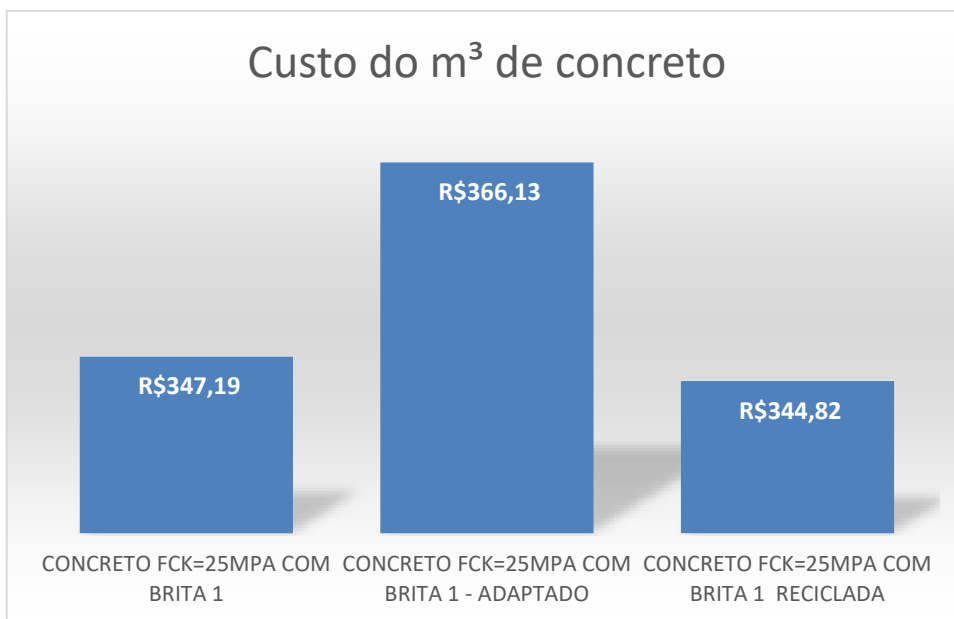
Determinou-se um quantitativo de 1 pallet de piso intertravado 10x20 cm e 6 centímetros de altura, como o confeccionado para os ensaios de compressão. O comércio de pavers é negociado por metro quadrado na região e um pallet equivale o material necessário para executar 14 m² de calçamento, contendo 700 unidades de blocos. Com isso obteve-se o quantitativo necessário de concreto para produção de um pallet de paver. Exemplificando, para uma fábrica que vende, em média, 12 pallets de paver por semana, seu custo de produção seria de acordo com a Tabela 14:

Tabela 14 – Orçamento para o material da fabricação de pavers

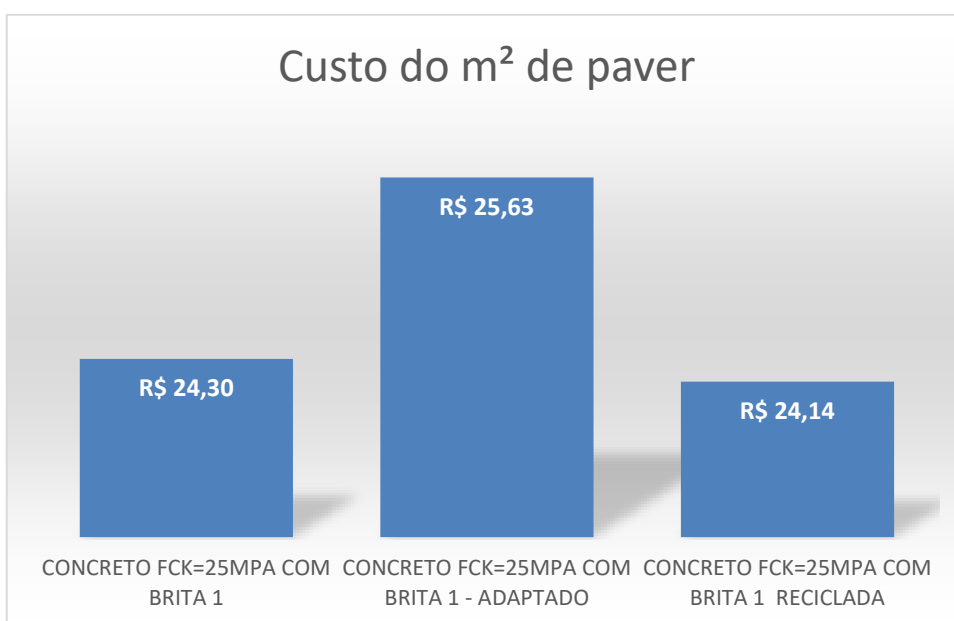
Descrição Básica	m ³ /paver	m ³ por pallet	Número de pallet	Custo Unitário (R\$/m ³)	Custo total semanal	Custo por m ²
CONCRETO FCK=25MPA COM BRITA 1	0,0014	0,9800	12,00	353,22	R\$ 4.082,95	R\$ 24,30
CONCRETO FCK=25MPA COM BRITA 1 - ADAPTADO				372,23	R\$ 4.305,69	R\$ 25,63
CONCRETO FCK=25MPA COM BRITA 1 RECICLADA				344,82	R\$ 4.055,08	R\$ 24,14

Fonte: Autor (2021)

Observa-se que o custo semanal de fabricação de pavers com agregado reciclado traz uma economia semanal de R\$ 27,87 em relação aos valores unitários da SINAPI e de R\$ 250,61 em relação aos valores unitários de lojistas na região, levando em conta uma substituição de 50% do agregado graúdo natural pelo reciclado. Pode-se observar que o custo por metro quadrado, unidade esta utilizada pelos comerciantes para venda, torna-se atrativo pois acrescenta-se mais de um real na margem de lucro por metro quadrado vendido, como podemos observar nas Figura 35 e Figura 36.

Figura 35 – Custo do m³ de concreto

Fonte: Autor (2021)

Figura 36 – Custo do m² de paver

Fonte: Autor (2021)

5.3.3 Análise de viabilidade ambiental

Assumindo-se a premissa que a cada ano no Brasil, são gerados em torno de 500 kg/habitante de resíduos da construção civil (MC, 2005) e considerando a nossa

população atual de 211 milhões de habitante. Ao se admitir, um traço de concreto que permita manter a característica mecânica de uma convencional, com uma substituição parcial de 50% do agregado de rochas britadas por agregado reciclado, pode-se evitar que 52,5 milhões de toneladas de RCD sejam dispostas em aterros. Na atualidade, este ponto de vista, isso é totalmente viável, e muito bem-visto sob o impacto ambiental. Entretanto, quando a durabilidade e vida útil de obras e artefatos proveniente deste tipo de concreto e assumindo essa premissa abordada, a aplicação do RCD necessita ser ponderada de acordo com a análise de ciclo de vida e a necessidade requerida para seu uso adequado.

6 CONCLUSÕES

Através do estudo obteve-se resultados satisfatórios, principalmente na viabilidade da substituição de agregado natural pelo reciclado em frações menores. Realizou-se o objetivo principal do trabalho através da confecção dos corpos de prova e pisos intertravados com suas devidas substituições para comparativo de suas propriedades.

Caracterizou-se separadamente todos os materiais, e sobre os agregados foi importante concluir:

- Obteve-se níveis elevados de absorção de água no material reciclado em comparação ao natural, o que também foi notado na produção com a trabalhabilidade do concreto;
- Com os valores apresentados de massa específica do agregado reciclado com presença de cerâmica vermelha, concluiu-se que o material apresenta grande porosidade, ou seja, grande número de vazios.

Os agregados reciclados apresentam características físicas e comportamento bastante heterogêneos, o que dificulta sua utilização com confiabilidade, principalmente em situações que demandam um maior controle e responsabilidade por parte do material empregado, como no caso de concretos estruturais. Porém na aplicação de pisos intertravados a perda de resistência não é tão significativa tornando-se assim viável sustentavelmente e economicamente, visto que o material reaproveitado garante um menor número de aterros e retirada de material de jazidas naturais de calcário, gnaise e basalto.

O método de dosagem proposto por Campiteli (2004) demonstrou-se eficiente e com facilidade de aplicação no trabalho proposto, por se tratar de um estudo de comparativo, porém a resistência de projeto desejada de 35Mpa não foi atendida.

Notou-se através dos ensaios em laboratório que diferentes frações de material reciclado afetam diretamente as propriedades físicas, mecânicas e visuais do concreto. Através dos ensaios dos corpos de prova e dos pisos intertravados pôde-se concluir que a porosidade e a absorção dos agregados reciclados influenciam, de maneira significativa, as propriedades do concreto fresco e endurecido quanto à compressão. Os resultados de resistência à compressão obtidos aos 7 e 28 dias foram

satisfatórios para traço AR25, com substituição de 25% de agregado natural por reciclado, apresentando inclusive uma resistência maior em comparação ao traço de referência. Nas amostras com traço de concreto com teores de substituição dos agregados naturais por 50% de agregado reciclado, os resultados mostraram-se similares aos do concreto de referência, definindo-se assim como o limite de substituição de material reciclado sem apresentar alterações significativas das propriedades mecânicas. Em contrapartida, nos pavers, as amostras de AR75 teve significativa redução da resistência à compressão em comparativo ao concreto com somente agregado natural. Concluiu-se assim com as amostras, que acima de 50% de substituição a resistência à compressão apresentou-se inversamente proporcional a porcentagem de substituição do agregado natural por material reciclado.

Evidenciou-se através dos valores unitários de pesquisa de mercado deste estudo e da SINAPI, das composições e da aplicação do concreto reciclado em pavers para calçamento, que o custo de fabricação foi reduzido e torna-se atrativo tanto para os fornecedores quanto para os clientes finais, como construtoras e lojistas.

Além de contribuir com o meio ambiente, que é o ponto chave desse trabalho, ao utilizar materiais reciclados, construtoras e fábricas de elementos de concreto tem a possibilidade de adquirir produtos mais baratos, reduzindo o custo da obra e produto final. Vale ressaltar que a demanda por logística e o custo elevado de criação de usinas com equipamentos de triagem e britagem é um impedimento globalmente presente para a aplicação dos materiais reciclados na construção civil em muitas regiões. Todavia onde o material é processado e destinado como matéria-prima deve-se estudar suas propriedades e aplicação.

7 REFERENCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Maio, 2018.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 7211: Agregados para concreto — Especificação**: Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados. Abril, 2009.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica dos agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**. Março, 1987.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação — Especificações e métodos de ensaio**. Fevereiro, 2013.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Maio, 2001.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Julho, 2003

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Julho. 2003.

Albuquerque, S.M. **Estudo do uso de agregados de resíduos de construção e demolição em blocos de concreto para alvenaria**. São Paulo, 2005.

Ângulo, S.C.; Silva, R.B.; Pileggi S.C.; Silva, C.O. **Concretos secos produzidos com agregados reciclados de RCD separados por densidade**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 335-349, 2015.

Behera, M.; Bhattacharrya, S.K.; Minocha, A.K.; Deoliya, R.; Maiti, S. **Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete – A breakthrough towards**

sustainability in construction sector: A review. Construction and Building Materials, Volume 68, p 501-516, 2014.

Buttler, A.M. **Uso de Agregados Reciclados de Concreto em Blocos de Alvenaria Estrutural.** São Carlos, 2007. 535 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

Campiteli, V.C. **Concreto de cimento Portland: um método de dosagem.** Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná, 2004.

Eurostat, Environment And Energy. **Generation and Treatment of Waste,** European Statistical System, 2010.

Gayarre, F.L.; López-Colina, C.; Serrano, M.A.; López-Martínez, A. **Manufacture of concrete kerbs and floor blocks with recycled aggregate from C&DW.** Construction and Building Materials, v. 40, p. 1193-1199, 2013.

Guo, Z.; Tu, A.; Chen, C.; Lehman, D.E. **Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of concrete building blocks incorporating recycled concrete aggregates.** Journal of Cleaner Production, v. 199, p. 136-149, 2018.

Hansen, T.C. **Recycling of demolished concrete and masonry.** E&FN Spon, London, UK, 1992.

Hansen, T.C.; Narud, H. **Resistência do concreto reciclado de agregado grosso moído.** Concr Int - Des Constr , p. 79 – 83, 2003.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil.** Relatório de Pesquisa, 2016.

Kumar, G.; Shrivastava, S.; Gupta, R.C. **Paver blocks manufactured from construction & demolition waste.** Materialstoday: Proceedings, v. 27, part. 1, p. 311-317, 2020.

Lintz, R.C.; Jacintho, A.E.; Pinmentel, L.L.; Gachet-Barbosa, L.A. **Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos.** Estrut. Mater. vol.5 no.2, 2012.

Poon, C.S.; Chan, D.X. **Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base.** Construction and Building Materials, 20, p. 578-585, 2006.

Poon, C.S.; Shui, Z.H.; Lam, L. **Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates** Construction and Building Materials, 18, p. 461-468, 2004.

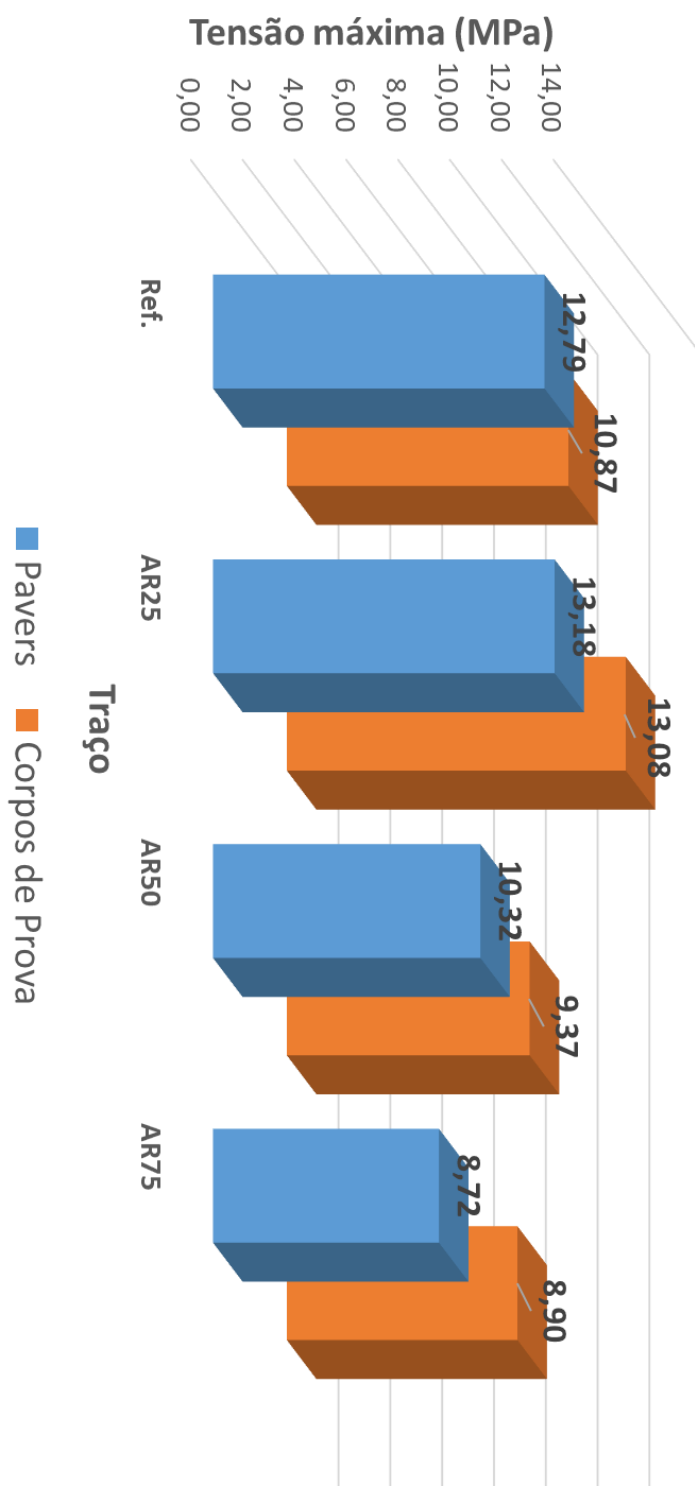
Poon, C.S.; Yu, T.W.; Ng, L.H. **On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong.** Resour Conserv Recycl, 32, p. 157-172, 2001.

SINAPI (Sistema Nacional De Pesquisa De Custos E Índices Da Construção Civil). **Custo de Composições Analíticas – PCI.818.01 – Versão 00.** Julho, 2021.

Sonawane, T.R.; Pimplikar, S.S. **Use of recycled aggregate in concrete.** International Journal of Engineering Research and Technology, 2 (1), p. 1-9, 2013.

Soutsos, M.N.; Tang, K.; Millard, S.G. **Use of recycled demolition aggregate in precast products, phase II: Concrete paving blocks.** Construction and Building Materials, v. 25, part. 7, p. 3131-3143, 2011.

ANEXO I – RESULTADOS DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO DOS ENSAIOS AOS 7 DIAS



ANEXO II – RESULTADOS DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO DOS ENSAIOS AOS 28 DIAS

