



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005

ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

HEITOR COELHO TEIXEIRA

VIABILIDADE TÉCNICA DE BLOCOS INTERTRAVADOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS GERADOS NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS FABRICADAS EM CONCRETO

**Palmas-TO
2016**

HEITOR COELHO TEIXEIRA

VIABILIDADE TÉCNICA DE BLOCOS INTERTRAVADOS PRODUZIDOS COM
RESÍDUOS GERADOS NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS FABRICADAS EM
CONCRETO

Monografia elaborada e apresentada como requisito de aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Dênis Cardoso Parente

HEITOR COELHO TEIXEIRA

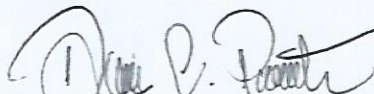
VIABILIDADE TÉCNICA DE BLOCOS INTERTRAVADOS PRODUZIDOS COM
RESÍDUOS GERADOS NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS FABRICADAS EM
CONCRETO

Monografia elaborada e apresentada como
requisito de aprovação na disciplina Trabalho de
Conclusão de Curso II em Engenharia Civil pelo
Centro Universitário Luterano de Palmas
(CEULP/ULBRA).

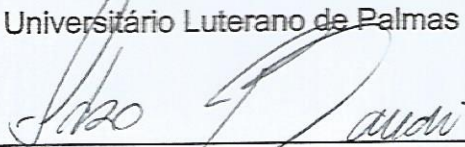
Orientador: Prof. Esp. Dênis Cardoso Parente

Aprovado em 29/11 de 2016.

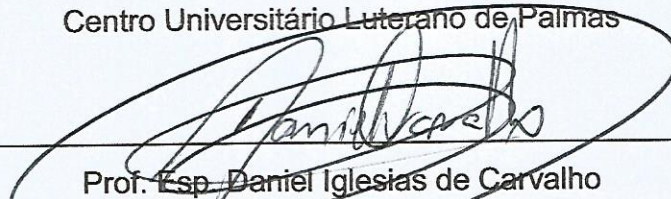
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Esp. Dênis Cardoso Parente
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Msc. Fabrício Bassani dos Santos
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Esp. Daniel Iglesias de Carvalho
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas-TO
2016

Dedico

Aos meus pais, Paulo e Luzivan,
aos meus irmãos Felipe e Caroline
e à minha namorada Ana Paula.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelas oportunidades que me foram concedidas.

Ao meu orientador Prof. Esp. Dênis Cardoso Parente, pelo suporte e incentivo.

À minha família pelo alicerce que é.

A minha namorada Ana Paula Brito, pelo apoio incondicional em toda a minha trajetória acadêmica, inclusive para execução desse trabalho.

Aos meus amigos que colaboraram com o desenvolvimento desse trabalho e com o meu crescimento acadêmico e profissional, os futuros engenheiros Thiago Valuá, Victor Moreira, Lucas Bandeira, Felipe Martins, Reinaldo Pova e José Luiz.

A todos professores do colegiado de Engenharia Civil do CEULP/ULBRA, que contribuíram com suas experiências para meu crescimento profissional e que também colaboraram para esse trabalho.

Aos meus amigos de infância, Sávio Miranda, Fellipe Colares, Gabriel Gomes, Lucas Branquinho, Lucas Pires e Luiz Hermínio.

A todos colegas adquiridos ao longo dessa caminhada.

E chegou o tempo de minha partida.
Combati o bom combate, terminei a minha
carreira, guardei a fé.

Timóteo 4, 6-7

Sumário

RESUMO	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIACÕES	xii
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivos	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivos Específicos	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. Resíduos Sólidos	16
2.2. Resíduos sólidos de construção civil	17
2.3. Uso do RCD como agregado	19
2.4. Pavimento intertravado com peças de concreto	20
2.4.1. Vantagens da pavimentação intertravada	21
2.4.2. Intertravamento dos blocos	22
2.4.3. Modelo de assentamento	22
2.4.4. Formato dos blocos intertravados	23
2.4.5. Ensaios para blocos intertravados	25
2.5. Fabricação dos blocos	26
2.5.1. Cimento Portland	26
2.5.2. Agregado Graúdo	27
2.5.3. Agregado miúdo	27
2.5.4. Água	27
2.5.5. Traço	28
2.5.6. Cura	29
3. METODOLOGIA	31
3.1. Materiais utilizados	31
3.2. Caracterização do agregado reciclado	32
3.2.1. Área de coleta do ARC	32
3.2.2. Processamento do ARC e caracterização do agregado graúdo reciclado	32
3.3. Caracterização do agregado natural	33
3.3.1. Área de coleta dos agregados naturais	33
3.3.2. Agregado miúdo	33
3.3.3. Agregado graúdo	34

3.4.	Fabricação dos blocos.....	34
3.4.1.	Traço de concreto	34
3.4.2.	Procedimento para fabricação dos blocos.....	35
3.5.	Ensaio dos blocos.....	36
3.6.	Análise de resultados.....	36
4.	RESULTADOS	37
4.1.	Agregado reciclado.....	37
4.1.1.	Beneficiamento do RCD	37
4.1.2.	Granulometria.....	39
4.1.3.	Massa Unitária.....	41
4.1.4.	Massa específica	42
4.1.5.	Absorção de água	43
4.2.	Agregado miúdo	44
4.2.1.	Granulometria.....	44
4.2.2.	Massa unitária	45
4.2.3.	Massa específica	46
4.3.	Agregado graúdo natural	46
4.3.1.	Granulometria.....	46
4.3.2.	Massa unitária	48
4.3.3.	Massa específica	48
4.4.	Traço do concreto.....	49
4.5.	Fabricação dos blocos.....	54
4.6.	Resistência a compressão.....	56
4.7.	Absorção de água	61
5.	CONCLUSÃO	64
6.	RECOMENDAÇÕES	66
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

RESUMO

TEIXEIRA, H. C.

Viabilidade técnica de blocos intertravados produzidos com resíduos gerados na fabricação de peças fabricadas em concreto, 2016. 70 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - CEULP/ULBRA. Palmas-TO. 2016.

A geração de resíduos sólidos é um problema crescente em todas as partes do mundo. Na construção civil, os rejeitos também estão presentes como em qualquer outra atividade produtiva. Com base neste aspecto a presente pesquisa tentou, através de ensaios técnicos, propor uma alternativa sustentável que minimiza impactos gerados na produção de blocos de concreto para a pavimentação e ainda gerar aumento de produtividade do processo. Trata-se de um estudo que foi realizado no Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA e teve como objetivo o reaproveitamento do RCD gerado na produção de blocos de concreto utilizados na pavimentação intertravada, reintegrando-o na linha de produção como um agregado graúdo reciclado de concreto para a utilização parcial na fabricação de novos blocos. Foram utilizados resíduos de produção (lotes de produção inutilizáveis e blocos quebrados), que passaram por processo de beneficiamento, chegando a dimensões idênticas ao de um agregado graúdo natural. Desta maneira, com porcentagens de substituição pré-definidas, de 20%, 40% e 60%, o agregado graúdo natural foi substituído parcialmente pelo agregado graúdo reciclado de concreto. Em paralelo a este ensaio, também foram moldados blocos com os agregados naturais usuais para este fim, que serviram como referência na análise dos resultados, possibilitando assim uma avaliação da influência da incorporação do agregado reciclado na fabricação de blocos intertravados de concreto, através da comparação com os blocos de referência, verificando características propostas pela norma ABNT 9781/2013, que são elas: resistência a compressão e absorção de água. De acordo com a norma ABNT NBR 9781/2013 a resistência a compressão mínima para blocos de pavimentação é de 35Mpa enquanto a absorção de água máxima é de 6%. Com base neste fator, através do método de dosagem ABCP/ACI, o traço de concreto foi proposto, para que fosse alcançando essa resistência mínima. Verificou-se que a medida em que se aumenta a porcentagem de agregado reciclado no concreto, a resistência diminui e a absorção de água aumenta, possivelmente pela presença de outro tipo de agregado na composição do concreto, e também principalmente pela presença de argamassa no agregado reciclado. Os blocos de referência e com substituição parcial de 20% do agregado natural atenderam perfeitamente aos condicionantes da norma, apresentando valores de 35,66 MPa e 35,37 Mpa para resistência a compressão e, 5,81% e 5,91% de absorção de água, respectivamente. Enquanto blocos com 40% e 60 % de teores de agregado reciclado também apresentaram bons resultados, porém abaixo das indicações da NBR 9781/2013, sendo 34,12 MPa e 33,9 MPa para resistência a compressão e 6,12% e 6,34% para absorção de água, respectivamente.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção típica de pavimento intertravado.....	20
Figura 2 - Modelos tradicionais de assentamento de blocos.	23
Figura 3 - Formato de peças tipo I.....	24
Figura 4 - Formato de peças tipo II (ABNT, NBR 9781/2013).....	24
Figura 5 - Formato de peças tipo III	24
Figura 6 - Formato de peças tipo IV	25
Figura 7 - Processo para obtenção do agregado reciclado.....	37
Figura 8 - Resíduo de concreto bruto.....	38
Figura 9 - Resíduo quebrado.....	38
Figura 10 – Agregado graúdo reciclado de concreto.....	38
Figura 11 - Curva granulométrica do agregado reciclado.....	40
Figura 12 - Ensaio de granulometria do agregado reciclado.....	40
Figura 13 - Ensaio de massa unitária do agregado reciclado	41
Figura 14 - Ensaio de massa específica do agregado reciclado	42
Figura 15 - Ensaio para determinação de absorção de água do agregado reciclado.....	43
Figura 16 - Curva de composição granulométrica da areia.....	45
Figura 17 - Curva granulométrica do agregado graúdo natural	47
Figura 18 - Insumos utilizados para confecção dos blocos de concreto	53
Figura 19 - Substituição parcial do agregado graúdo natural	54
Figura 20 - Fabricação dos blocos	54
Figura 21 - Blocos desformados e marcados	55
Figura 22 - Estado do concreto com substituição parcial de 60% do agregado natural	55
Figura 23 - Blocos marcados e em estado de cura	56
Figura 24 - Fórmulas utilizadas para o cálculo	58
Figura 25 - Ensaio de resistência a compressão até o rompimento do corpo de prova	60
Figura 26 - Resistência estimada a compressão	61
Figura 27 - Variação da absorção de água nos blocos.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de referência para ensaios com blocos intertravados	26
Tabela 2 - Análise granulométrica do agregado reciclado.....	39
Tabela 3 - Massa unitária do agregado graúdo reciclado.....	41
Tabela 4 - Massa específica do agregado reciclado	42
Tabela 5 - Absorção de água do agregado reciclado.....	43
Tabela 6 - Granulometria do agregado miúdo	44
Tabela 7 - Massa unitária do agregado miúdo	46
Tabela 8 - Massa específica do agregado miúdo	46
Tabela 9 - Granulometria do agregado graúdo natural	47
Tabela 10 - Massa unitária do agregado graúdo natural	48
Tabela 11 - Massa específica do agregado graúdo natural	49
Tabela 12 - Dados de projeto para definição do traço	50
Tabela 13 – Passo 1: estimativa dos teores de água e ar incorporado.....	50
Tabela 14 - Passo 2: estimativa da relação água/cimento	50
Tabela 15 - Passo 3: cálculo do teor de cimento	51
Tabela 16 - Passo 4: cálculo do teor de agregado graúdo.....	51
Tabela 17 - Passo 5: cálculo do teor de agregado miúdo	51
Tabela 18 - Traço do concreto	52
Tabela 19 - Traço de referência para massa total de 30Kg	52
Tabela 20 - Traço com substituição de 20% para massa total de 30Kg	52
Tabela 21 - Traço com substituição de 40% para massa total de 30Kg	53
Tabela 22 - Traço com substituição de 60% para massa total de 30Kg	53
Tabela 23 - Resistência a compressão dos blocos de referência	57
Tabela 24 - Resistência a compressão dos blocos com 20% de substituição do agregado natural.....	57
Tabela 25 - Resistência a compressão dos blocos com 40% de substituição do agregado natural.....	57
Tabela 26 - Resistência a compressão dos blocos com 60% de substituição do agregado natural.....	58
Tabela 27 - Resistência a compressão estimada do bloco de referência.....	59
Tabela 28 - Resistência a compressão estimada dos blocos com 20% de substituição do agregado natural.....	59
Tabela 29 - Resistência a compressão estimada dos blocos com 40% de substituição do agregado natural.....	59
Tabela 30 - Resistência a compressão estimada dos blocos com 60% de substituição do agregado natural.....	59
Tabela 31 - Absorção de água para blocos de referência.....	62
Tabela 32 - Absorção de água para blocos com 20% de substituição.....	62
Tabela 33 - Absorção de água para blocos com 40% de substituição.....	62
Tabela 34 - Absorção de água para blocos com 60% de substituição.....	62

LISTA DE ABREVIações

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ARC – Agregado resíduo de concreto

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

Mpa – Megapascal

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosur

RCD – Resíduo de construção e demolição

1. INTRODUÇÃO

O cenário mundial hoje reflete a preocupação com as reservas dos recursos naturais de maneira geral. Tal fato, está aliado ao crescente consumo de matérias primas, como consequência do aumento da população no planeta e do uso indiscriminado desses bens não renováveis.

Nesse contexto de crescimento e uso desenfreado de recursos naturais, também está inserida a construção civil, que na verdade se estrutura como um dos maiores consumidores de matérias primas, tais como: agregados miúdos e graúdos, porcelanas, revestimentos cerâmicos, além do cimento Portland (PURIFICAÇÃO, 2009).

Como foco desta pesquisa, está o bloco de pavimentação de concreto intertravado, que combina três requisitos fundamentais para a pavimentação, sendo eles: estética, capacidade estrutural e integração com o ambiente.

Como em todo processo produtivo, na produção de blocos de concreto intertravados e também, toda a construção civil, existem perdas e rejeitos de produção, além de resíduos de demolição, esses são chamados de resíduos de construção e demolição – RCD. Seu uso e disposição final, também são fontes de preocupação. Tendo como princípio o equilíbrio natural do planeta, a busca por uma gestão sustentável destes rejeitos se faz necessária, o reuso e a reciclagem, quando possíveis são uma importante ferramenta nesta tentativa, e em última instância o descarte final em local adequado que é definido por lei (De PAULA, 2010).

Jhon 1999, afirma que a reciclagem de resíduos apresenta várias vantagens ambientais e é um a parte fundamental do desenvolvimento sustentável de qualquer país. A construção civil é o setor que mais consome materiais naturais e consequentemente, potencialmente um grande reciclador. Até recentemente, a reciclagem foi vista como sendo apenas uma fórmula de baixar custos. No caso do concreto, a reciclagem é vista como uma ferramenta para melhorar o desempenho do produto.

Segundo a resolução CONAMA 307/2002, os resíduos de construção estão classificados em: Classes, A, B, C e D. Sendo os resíduos de classe A aqueles que possuem potencial de emprego na fabricação de concretos argamassas e elementos de alvenaria. Os resíduos provenientes da fabricação de concreto, estão incluídos

nesta classificação do Conselho Nacional do Meio Ambiente, como resíduos de Classe 'A', fator que, indica a possível viabilidade para a realização deste estudo (CONAMA, 2002).

Nesta conjuntura, este trabalho tem como foco a confecção de blocos intertravados de concreto a partir da substituição do agregado graúdo natural, por um agregado graúdo reciclado proveniente do beneficiamento de resíduos de construção e demolição da própria produção de blocos de concreto para a pavimentação, na tentativa assim, de tornar este processo mais eficiente, diminuindo o desperdício de material na produção dos blocos, o despejo inadequado de rejeitos, além de contribuir para o desenvolvimento sustentável do planeta, que é de primordial importância para a manutenção da vida e garantia dos recursos das futuras gerações.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica da incorporação parcial de agregado de concreto reciclado, como agregado graúdo na confecção de blocos intertravados de pavimentação urbana com baixo tráfego.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar os agregados naturais de referência e o agregado de concreto reciclado que serão utilizados nos ensaios em laboratório;
- Propor dosagem de insumos e traço de concreto para confecção de blocos de pavimentação;
- Avaliar de acordo com a norma vigente, NBR 9781/2013 e referencial teórico, a resistência a compressão e absorção de água nos blocos fabricados com os agregados naturais de referência e reciclados;
- Analisar a viabilidade técnica do bloco de acordo com os números de resistência a compressão e absorção de água obtidos nos blocos, tendo como base, o que preconiza a NBR 9781/2013 para estes dois parâmetros;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta revisão da literatura, onde foram levantadas algumas características consideradas importantes para esta pesquisa. O principal objetivo foi identificar as principais particularidades dos temas, de maneira sucinta e direta, subsidiando o entendimento para exposição da metodologia e posterior discussão de resultados.

2.1. Resíduos Sólidos

De acordo com a ABNT, através da NBR 10.004/2004, resíduo sólido fica definido como:

Resíduos nos estados sólidos e semissólidos que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnicas e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (CASTILHOS JR et al., 2006).

Ainda segundo a ABNT 10.004/2004, os resíduos sólidos são distinguidos quando a sua periculosidade em 2 classes: Classe I – Perigosos e II – Não Perigosos. Os resíduos não perigosos se subdividem em duas categorias, A – Não Inertes e B – Inertes (ABNT, 2004).

Segundo Scheneider 2003, temos a seguinte classificação:

- Resíduos Classe I: Perigosos

Apresentam periculosidade e devem ser manuseados com muita cautela e dispostos em locais adequados. São considerados perigosos por possuírem características de risco à saúde pública e ao meio ambiente devido às propriedades intrínsecas de:

- Inflamabilidade
- Corrosividade

- Reatividade
 - Toxicidade
 - Patogenicidade
- Resíduos classe II – A: Não-inertes

São aqueles que não se enquadram nas classificações de Resíduos Classe I - Perigosos ou de Resíduos Classe II B - Inertes, nos termos desta Norma, mas possuem propriedades tais como:

- Combustibilidade
 - Biodegradabilidade
 - Solubilidade em água
- Resíduos Classe II – B: Inertes

Em geral, são os resíduos que têm a capacidade de permanecerem inalterados aos ataques do meio ambiente e também com o passar do tempo, sem com isso, contaminar o ecossistema e prejudicar a saúde pública.

2.2. Resíduos sólidos de construção civil

Neste contexto de resíduos sólidos, está inserida a definição de resíduos sólidos da construção civil (RCD), que pode ser caracterizada como rejeitos derivados de processos construtivos, ou de demolição no setor da construção civil em geral (BROTTI, 2014).

Segundo a Resolução CONAMA 307/2002, os resíduos sólidos da construção civil, também conhecidos pela sigla RCD (resíduos de construção e demolição) – são definidos como:

Materiais provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., e são comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Ainda de acordo com esta mesma resolução, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, de número 307, os resíduos de construção civil são classificados da seguinte maneira:

I - 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.) produzido nos canteiros de obras.

II - Classe B - resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeira e outros.

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso.

IV - Classe D - são os 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.

Como foco deste trabalho, temos os resíduos de classe A, mais especificamente os resíduos provenientes do próprio concreto.

Alguns fatores podem ser apontados como influenciadores de perdas e geração desses resíduos, como: tecnologias e metodologias de trabalho aplicadas de forma incorreta, a falta de compatibilização de projetos, falta de padronização de serviços, estocagem inadequada de materiais entre outros (BROTTI, 2014).

O processo de reciclagem deste resíduo pode produzir diferentes tipos de agregados. Na Holanda, segundo Hendricks e Janssen (2001):

São gerados agregados reciclados de concreto, alvenaria e misto para a utilização em sub-base de vias. No Brasil, tem-se verificado a produção de agregados reciclados dos tipos concreto (às vezes denominado como cinza ou branco, e composto basicamente de concreto e argamassa) e misto (também, chamado de vermelho, cuja composição inclui diversos materiais pertencentes à Classe A da Resolução CONAMA de 2002).

Os agregados reciclados podem ser utilizados em diversos serviços de engenharia como camadas drenantes (com ausência de finos), lastro para assentamento de tubos ou de guias, envelopamento de galerias e estabilização de solos expansíveis ou com baixa capacidade de suporte, utilização na fabricação de novos concretos, dentre outros (BRITO FILHO, 1999).

2.3. Uso do RCD como agregado

Os agregados reciclados apresentam características peculiares que dependem muito dos materiais que chegam às centrais de processamento e do tipo de processo utilizado nas mesmas como, por exemplo, o tipo de britador, os dispositivos para extração de impurezas, entre outros (LEITE, 2001).

Dentre as características mais importantes a serem estudadas para utilização de agregados para a produção de concretos estão a granulometria, a absorção de água, a forma e a textura e a resistência à compressão (LEITE, 2001).

Porém, deve se destacar que, o presente trabalho trata especificamente do reaproveitamento de resíduos proveniente da fabricação de blocos de concreto, então é interessante apontar as principais diferenças entre esses resíduos e os resíduos provenientes da construção e demolição propriamente ditos (RCD). O resíduo de construção em si, pode ser definido como qualquer sobra de material proveniente das construções, novas, reformas, demolições, obras de arte e limpeza de terrenos com presença de solos ou vegetação como destacado anteriormente. Já o resíduo proveniente da fabricação de blocos de concreto é bem específico. Não há variáveis de contaminação com outros materiais, ao contrário dos RCD, que são heterogêneos e suas frações variam a cada canteiro de obras. Esta característica do RCD dificulta

o reaproveitamento do resíduo em relação aos provenientes da fabricação de blocos. Mesmo no interior da fábrica de blocos, onde há poucas variáveis para a contaminação do resíduo, parte deste é contaminado ora por lascas de madeiras provenientes dos paletes de transporte dos blocos, ora por materiais pulverulentos presentes nas botas dos operários. Logo estes resíduos oriundos das fábricas de blocos de concreto são caracterizados pela sua homogeneidade e pela possibilidade do conhecimento das propriedades mecânicas dos mesmos (MARTINS, 2012).

2.4. Pavimento intertravado com peças de concreto

Após a Segunda Guerra Mundial, com a necessidade de reconstruir a Europa, surgiram as peças pré-moldadas de concreto, material mais durável que a argila para o uso em pavimentação. O desenvolvimento das máquinas de vibro compressão permitiu a fabricação em série destas peças, ocorrendo assim sua difusão (BROTTI, 2014).

O pavimento intertravado define-se como pavimento flexível cuja estrutura caracteriza-se por um revestimento em blocos, com alta durabilidade, e é composta por uma camada de base, sub-base e subleito. No revestimento, as juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento, a definição está proposta pela ABNT NBR – 15953/2011. A seção típica está demonstrada na Figura 1 (BROTTI, 2014)



Figura 1 - Seção típica de pavimento intertravado (BROTTI, 2014)

2.4.1. Vantagens da pavimentação intertravada

Com a regulamentação da ABNT para a execução de pavimento intertravado, a ABCP tem a expectativa de que esse sistema de pavimentação se torne cada vez mais utilizado no Brasil, tanto quanto já é na Europa e nos Estados Unidos. Destacando algumas das vantagens: (ABCP,2009).

- Ideal para ruas urbanas onde trafegam veículo com velocidade abaixo de 70 km/h;
- Permite incorporar a sinalização viária horizontal, utilizando-se peças pigmentadas, sem a necessidade de pinturas;
- Coloração mais clara proporciona maior conforto térmico, reduz a formação de ilhas de calor nos centros urbanos e melhora a visibilidade com economia de iluminação artificial;
- Aumenta a segurança de frenagem dos veículos;
- Facilita a manutenção no caso de abertura de valas, com reaproveitamento total das peças de concreto;
- É executado com equipamento simples, sem a necessidade de máquinas mais robustas e sem expor os operários a temperaturas elevadas e à exaustão de gases da massa de asfalto;
- Qualificação barata da mão de obra local.

Deve se destacar também que, a facilidade na manutenção é uma das principais vantagens desse tipo de pavimento, pois existe a possibilidade de remoção parcial ou total do pavimento de forma rápida, sem quebra ou perda de blocos, instalação de canalização subterrânea, e correção de eventuais recalques, com baixo custo. Após longo tempo de uso, a pavimentação intertravada pode ser removida e aproveitada no mesmo local ou em outra obra (ABCP,2009).

A segurança também é um fator a ser destacado, pois os pisos intertravados com suas superfícies antiderrapantes aumentam a segurança, principalmente nos aclives e declives, portanto, em trechos com rampas íngremes ou com curvas sinuosas, o pavimento oferece melhor aderência e maior segurança, até mesmo quando a pista estiver molhada (ABCP,2009).

A praticidade na execução do pavimento intertravado é feita de maneira simples, através de mão de obra não especializada devido à grande facilidade de

assentamento dos blocos de concreto, desfazendo da necessidade de ferramentas especiais, podendo ser considerada uma grande vantagem (ABCP,2009).

2.4.2. Intertravamento dos blocos

Nada mais é que a capacidade de associação dos blocos, em conjunto, que possibilita resistir a esforços em todas as direções, e movimentos individuais de blocos vizinhos. A resistência que esses pavers possuem nas direções horizontais, verticais e rotacionais em relação aos vizinhos, é que configuram o intertravamento do pavimento. E as juntas, se preenchidas completamente com areia compactada, proporcionam o bom desempenho esperado, independentemente assim do formato dos blocos de concreto (JÚNIOR, 2007).

2.4.3. Modelo de assentamento

A paginação, ou modelo de assentamento dos blocos, irá influenciar tanto na estética, quanto no desempenho do pavimento, porém, não existe uma unanimidade quanto a melhor paginação para o assentamento de blocos de concreto na pavimentação, sendo o modelo de assentamento ‘espinha de peixe’, o mais aceito entre os pesquisadores (WIEBBELLING, 2015).

A Figura 2 a seguir, representa alguns modelos de assentamento para blocos intertravados de concreto

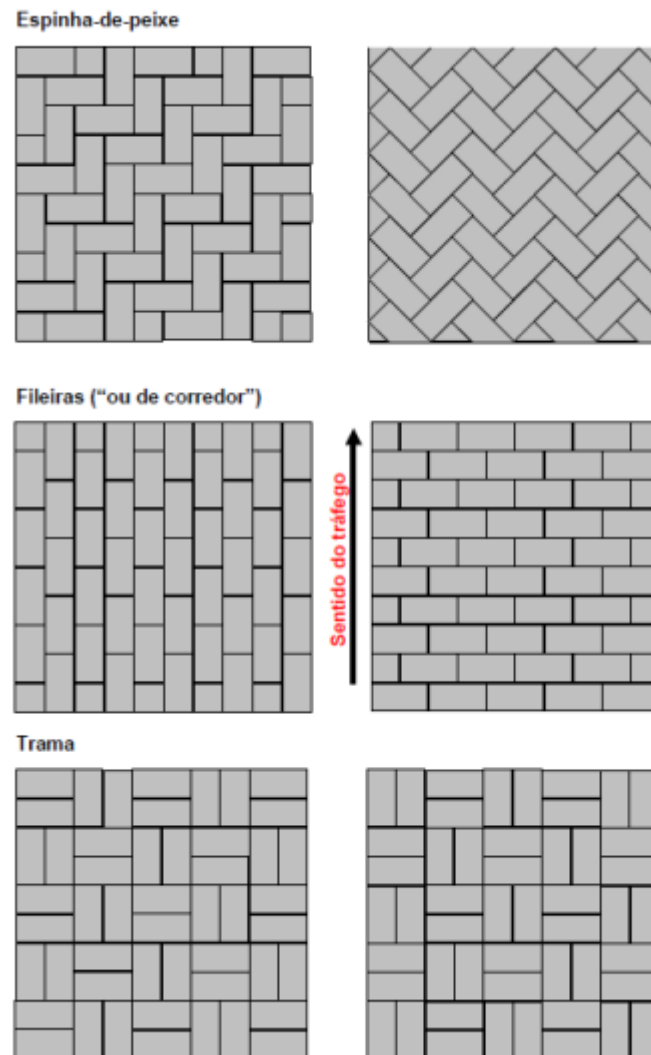


Figura 2 - Modelos tradicionais de assentamento de blocos (WIEBBELLING, 2015).

2.4.4. Formato dos blocos intertravados

Os blocos de concreto podem ser produzidos em diversos formatos, o principal requisito recomendado em relação ao formato dos blocos, é que estes permitam o assentamento em combinação bidirecional (WIEBBELLING, 2015).

Segundo a ABNT NBR 9781/2013, os formatos das peças de concreto utilizadas em pavimentação, podem ser divididas em:

- Tipo I: Peças de concreto com formato próximo ao retangular, com relação comprimento/largura igual a dois, que se arranjam entre si nos quatro lados e

podem ser assentadas em fileiras ou em espinha de peixe. A Figura 3 abaixo, ilustra o formato das peças do tipo 1:

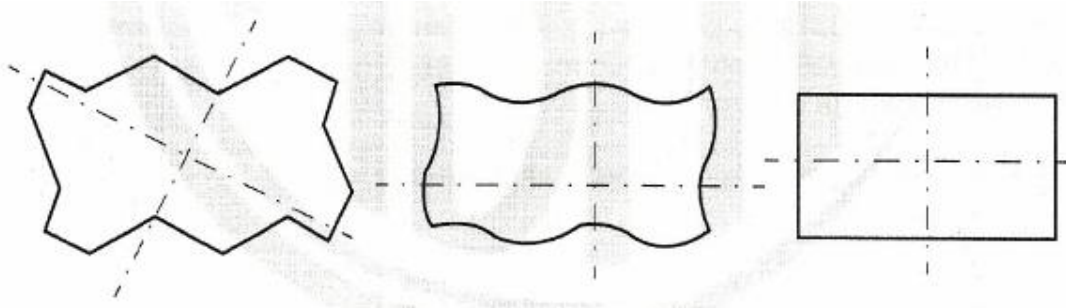


Figura 3 - Formato de peças tipo I (ABNT, NBR 9781/2013)

- Tipo II: Peças de concreto com formato único, diferente do retangular e que só podem ser assentadas em fileiras. A Figura 4 ilustra esse tipo de bloco:

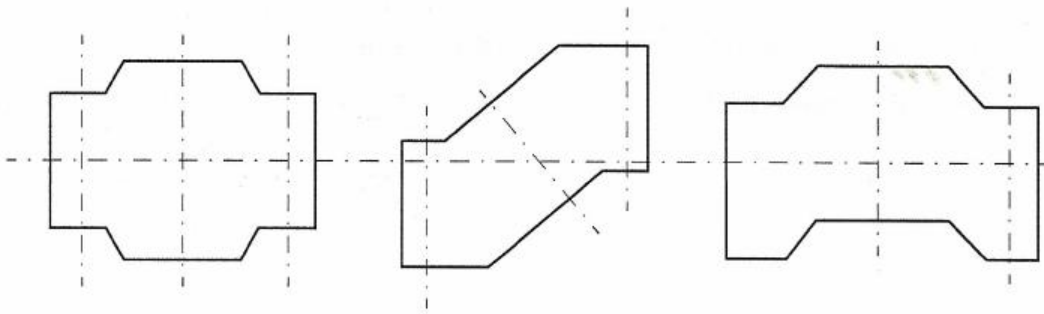


Figura 4 - Formato de peças tipo II (ABNT, NBR 9781/2013)

- Tipo III: Peças de concreto com formatos geométricos característicos, como trapézios, hexágonos, triedros etc., com pesos superiores a 4 kg, que é o caso do foco desta pesquisa, o bloco sextavado, bastante utilizado em pavimentação urbana. A Figura 5, mostra os blocos tipo III:

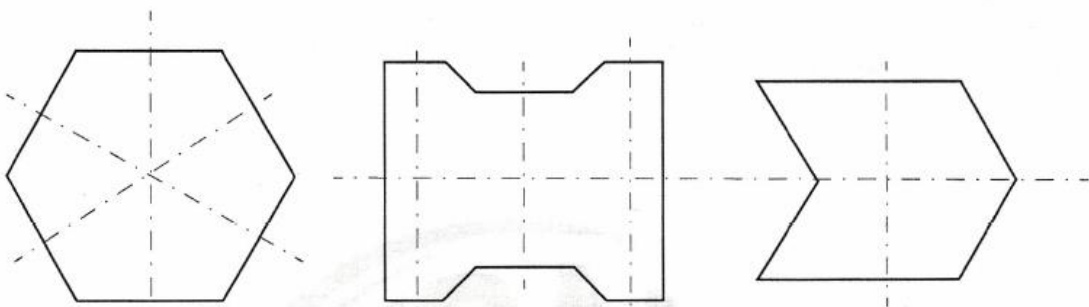


Figura 5 - Formato de peças tipo III (ABNT, NBR 9781/2013)

- Tipo IV: Conjunto de peças de concreto de diferentes tamanhos, ou uma única peça com juntas falsas, que podem ser utilizadas com um ou mais padrões de assentamento. A Figura 6 demonstra os blocos tipo IV:

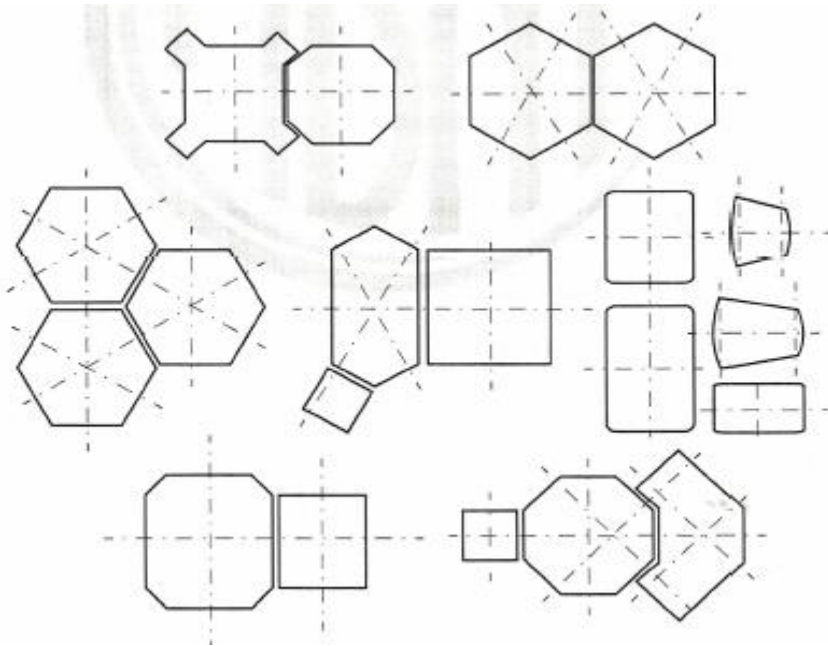


Figura 6 - Formato de peças tipo IV (ABNT, NBR 9781/2013)

2.4.5. Ensaio para blocos intertravados

Segundo a ABNT NBR 9781/2013, a resistência característica a compressão, a absorção de água e a resistência a abrasão são os ensaios técnicos a serem levados em consideração na hora de analisar o bloco de pavimentação, e eles devem respeitar as seguintes características, representadas na Tabela 1:

Tabela 1 - Valores de referência para ensaios com blocos intertravados (ABNT, NBR 9781/2013):

Resistencia Característica a compressão	Solicitação	Resistencia aos 28 dias (Mpa)
	Tráfego pedestres e veículos leves	≥ 35
	Veículos especiais e pesados	≥ 50
Resistencia a abrasão (Opcional)	Solicitação	Cavidade Máxima (mm)
	Tráfego pedestres e veículos leves	≤ 23
	Veículos especiais e pesados	≤ 20
Absorção de água	Valor médio	
	$\leq 6\%$	

2.5. Fabricação dos blocos

Para a fabricação de blocos intertravados de concreto são utilizados normalmente os seguintes materiais: cimento Portland, agregados graúdos, agregados miúdos e água. Ocasionalmente são utilizados adições minerais e aditivos químicos (MOTTA, 2005).

2.5.1. Cimento Portland

A NBR 9781/2013, cita que o cimento utilizado para fabricação dos blocos intertravados de concreto deve respeitar as respectivas normas, independentemente do tipo de cimento. Geralmente as indústrias utilizam o cimento de alta resistência inicial resistente a sulfatos, o pozolânico ou o composto com pozolana (WIEBBELLING, 2015). O cimento tem grande influência na resistência final, porém as regulagens, o tipo de equipamento utilizado, as formas de vibração também são importantes e tem influência na resistência dos blocos intertravados de concreto. De acordo com as características do equipamento e do tempo e forma de vibração, os blocos intertravados de concreto podem ter uma capacidade maior de resistência (PETTERMANN, 2006).

2.5.2. Agregado Graúdo

Os agregados graúdos utilizados na fabricação dos blocos intertravados de concreto são resultantes do britamento de rochas estáveis (brita “0” ou “1”). Estes são os mais indicados por apresentarem, geralmente, uma melhor aderência com a pasta de cimento, favorecendo a obtenção de resistências mecânicas mais elevadas (WIEBBELLING, 2015).

Para a utilização deste agregado, faz-se necessário a prévia caracterização deste material, especificando sua massa específica, massa específica aparente, absorção de água e composição granulométrica, de acordo com o que preconiza as normas regulamentadoras NM 53:2009 e NBR 248:2003 respectivamente.

2.5.3. Agregado miúdo

Na fabricação de blocos intertravados de concreto, pode-se utilizar agregados miúdos artificiais, como pó de brita basalto, proveniente do processo de britamento de rochas estáveis para produção de agregados graúdos. Estes são os menos utilizados, pois em determinadas regiões não se tem a disponibilidade deste material e o formato mais anguloso e alongado dos grãos, dificulta a moldagem dos blocos e também requer mais pasta de cimento para produzir misturas mais trabalháveis (PETTERMANN, 2006).

Para a utilização deste agregado, faz-se necessário a prévia caracterização deste material, especificando sua massa específica, massa específica aparente de acordo com o que preconiza a normas regulamentadora NM 52:2009.

2.5.4. Água

A água para a fabricação dos blocos intertravados de concreto deve estar isenta de substâncias que possam prejudicar as reações de hidratação do cimento. PETTERMANN, 2006 relata que desde que não prejudique na desforma e altere no formato do bloco, a quantidade de água ideal é a máxima possível compatível com o equipamento.

2.5.5. Traço

Consiste na proporcionalidade entre agregados, cimento e água, configurando assim características específicas para determinado tipo de concreto, para se chegar ao traço de concreto, existe um procedimento teórico, chamado dosagem de concreto, que nada mais é a definição teórica dessa proporcionalidade entre insumos.

O método de dosagem de concreto da ABCP/ACI, adaptado do método da ACI 211.1-81 para a realidade nacional, junto com o método do IPT/EPUSP, desenvolvido pelos pesquisadores do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e posteriormente adaptado e divulgado pelos professores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, são métodos que, devido ao peso das instituições que os desenvolveram e divulgaram, tem apresentado uma grande difusão quanto ao seu conhecimento e uso, e por tanto, são as alternativas levantadas para este trabalho (BOGGIO, 2000).

A dosagem da ABCP/ACI preocupa-se com a trabalhabilidade através de diversos fatores relativos aos materiais, às condições de execução e adensamento e às dimensões das peças, além de que considera tabelas e gráficos elaborados a partir de valores médios de resultados experimentais e constitui-se numa ferramenta de dosagem de concretos convencionais, adequada aos materiais mais utilizados em várias regiões do Brasil (BOGGIO, 2000).

Já o método IPT/EPUSP estabelece, como resultado final de sua aplicação, um diagrama de dosagem graficado sobre três quadrantes onde são representadas “leis de comportamento” expressas pelas correlações denominadas: Lei de Abrams, Lei de Lyse, Lei de Molinari e Teor de Argamassa Seca (BOGGIO, 2000).

Ainda tendo como foco o IPT/EPUSP, ao se analisar o passo a passo de dosagem, nota-se que o mesmo faz o uso da determinação experimental de argamassa para a trabalhabilidade exigida. Este fator, torna o método IPT/EPUSP inviável para o escopo desta pesquisa, tendo em vista que o objetivo principal, é a substituição na mesma medida entre agregado graúdo natural e reciclado, e avaliar as consequências apenas dessa substituição, mantendo constantes as outras variáveis. (BOGGIO, 2000).

Como foco deste trabalho, o método de dosagem do traço a ser utilizado, será o ACPB/ACI que consiste na determinação das proporções ideais entre os agregados, que para tal apoia-se no ensaio de massa unitária compactada. Após os agregados ensaiados e caracterizados, o método para cálculo da dosagem de insumos, segue

por uma definição de projeto, onde, são definidos parâmetros iniciais, como slump esperado, diâmetro máximo característico e desvio padrão, este último escolhido de acordo com o controle que se deseja para os resultados, podendo ser rigoroso, razoável ou regular. Decidido esses parâmetros, a metodologia de cálculo passa por determinação dos teores de água e ar incorporado, a estimativa da relação de água/cimento, o cálculo do teor de cimento propriamente dita, seguida pelo teor de agregado graúdo e miúdo em sequência.

2.5.6. Cura

A fabricação dos blocos intertravados pode ser realizada por meio da disposição de blocos virados, blocos dormidos e blocos prensados. Assim, a Norma técnica que regula a fabricação das peças de concreto para pavimentação é a ABNT NBR 9781/2013 – Peças de concreto para pavimentação — Especificação e métodos de ensaio, que substituiu a NBR 9781/1987 – Peças de Concreto para Pavimentação – Especificação. Desta forma, versaremos nesse item, a descrição dos três tipos de blocos intertravados fabricados e utilizados atualmente, de acordo com a sua produção (MEDEIROS, 2013).

- **Blocos Virados**

Produzido por concreto relativamente seco, é adensado em mesa vibratória em formas individuais ou conjuntas e, logo após, deformados sobre uma base plana impermeável. Essa forma de produção tem a vantagem de possuir menor volume de vazios, ótima capacidade e máxima resistência para o concreto na dosagem empregada. Porém o acabamento pode ser prejudicado caso ocorra aderência do material ao molde ou pequenas deformações provocadas no momento da desforma (MEDEIROS, 2013).

- **Blocos Dormidos**

Esse processo advém do preenchimento dos moldes com concreto plástico em relação aos blocos virados, com o auxílio da mesa vibratória deve-se deixar o concreto endurecer e assim, o desmolde ocorrer no dia seguinte à moldagem. A economia de cimento devido ao baixo teor de argamassa e o excelente aspecto visual propiciado

devido à superfície lisa das formas são características vantajosas. Já o alto investimento em formas, a baixa produtividade e a superfície lisa nas laterais que diminui o atrito entre as peças e prejudica o intertravamento são características prejudiciais a essa maneira de produção (MEDEIROS, 2013).

- Blocos Prensados

Os blocos prensados são produzidos através dos equipamentos pneumáticos ou hidráulicos, que caracterizam – se em máquinas de melhor desempenho pelo fato de proporcionarem maior índice de compactação, comparado com métodos manuais de produção. Os blocos prensados possuem uma grande vantagem, devido seu processo ser mecanizado, o que assegura um melhor controle de qualidade e padrão das peças. O seu concreto é bastante diferente dos demais, pois devido a sua moldagem ser em sistema a compressão, permite que o concreto tenha menos água, deixando-o com um aspecto de solo úmido, caracterizando um concreto bastante seco. (MEDEIROS, 2013).

3. METODOLOGIA

O foco deste trabalho é incorporar o concreto proveniente de demolição do rejeito de blocos de pavimento substituindo parcialmente o agregado graúdo.

A pesquisa foi realizada por meio de coleta em campo e análises laboratoriais, que foram executadas nas dependências do Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA, com o objetivo de observar a eficiência da utilização parcial de agregado graúdo reciclado, na produção de blocos intertravados avaliando sua resistência a compressão e absorção de água e comparando-a com parâmetros de blocos confeccionados a partir de material usual para esta finalidade.

Esta matéria prima reciclada, é oriunda de resíduos sólidos de construção gerados também, em um processo de fabricação de pavimento intertravado.

3.1. Materiais utilizados

Foram utilizados no desenvolvimento deste projeto os seguintes materiais:

- Cimento Portland CP II – Z- 32;
- Agregado miúdo natural;
- Agregado graúdo natural;
- RCD proveniente de percas do processo produtivo da fabricação de blocos de concreto.

Para preparação do agregado reciclado, caracterização dos agregados e moldagem dos blocos foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Britador de mandíbulas;
- Betoneira;
- Balança de grande porte e balança de precisão;
- Peneira mecânica;
- Picnômetro;
- Conjunto de peneiras de série normal e intermediária;
- Estufa;
- Formas retangulares para blocos tipo I;

3.2. Caracterização do agregado reciclado

3.2.1. Área de coleta do ARC

No interior do estado do Tocantins, no município de Itacajá, se localiza uma empresa local, que trabalha com a fabricação e assentamento de blocos intertravados de pavimentação. Como em todo processo produtivo, também existem perdas e rejeitos de fabricação nesta linha produção. Tendo em vista este fato, o material que foi utilizado como matéria prima bruta, são os blocos de concreto, de lotes inutilizáveis e que se quebram no processo produtivo (feito de maneira virada), assentamento ou transporte. Foram coletados 50kg desse material para o processamento em laboratório e posterior transformação em agregado graúdo para a confecção dos novos blocos.

3.2.2. Processamento do ARC e caracterização do agregado graúdo reciclado

Para o beneficiamento do agregado de resíduo de concreto (ARC), os rejeitos gerados no processo construtivo da empresa, passaram por:

- Britagem em britador de mandíbulas de eixo excêntrico de laboratório, modelo BM2 – 9060mm, e peneiramento excluindo o material passante na peneira de 4,8mm e retido na peneira de 25mm, para separação granulométrica, obtendo-se assim o agregado graúdo reciclável uniformizado;
- Em seguida foi realizada a análise granulométrica, segundo a norma NBR NM 248/2003. Neste experimento, a agitação das peneiras é mecânica tendo como finalidade e separação das diversas frações granulométricas. Desta maneira, as massas retidas nas peneiras foram calculadas em relação percentual com a massa total. A determinação do módulo de finura também é objeto deste ensaio e será representado como resultado. Ao final, foi montado um relatório com números identificando massas retidas em cada peneira, dimensão máxima, modulo de finura, e curva granulométrica do agregado reciclado;

- Foram também realizados mais ensaios de caracterização física deste agregado, efetuando as determinações de massa específica, massa específica aparente, absorção de água de acordo com a norma NM 52/2009. Com a finalidade de garantir a confiabilidade desta caracterização, foi respeitada a massa mínima da amostra, de acordo com a dimensão máxima do agregado. Para os resultados de massa específica e massa específica aparente a unidade de medida é gramas por centímetros cúbicos. Já para absorção de água, o resultado é representado em porcentagem. Os resultados atenderam aos parâmetros previstos em norma.
- Tendo em vista que essas características forneceram informações que podem ser comparadas com o agregado gráudo natural, esta etapa de caracterização foi de suma importância para o desenvolvimento do projeto, influenciando diretamente em aspectos fundamentais como a dosagem de concreto.

3.3. Caracterização do agregado natural

3.3.1. Área de coleta dos agregados naturais

Tanto agregado gráudo quanto o miúdo foram disponibilizados pelo laboratório de materiais de construção civil do CEULP/Ulbra, considerados materiais de boa qualidade, para que fosse possível obter resultados conclusivos quanto a viabilidade técnica de sua utilização para este fim.

3.3.2. Agregado miúdo

- A matéria prima utilizada foi a areia natural, proveniente da extração de rio. Foram utilizados aproximadamente 45Kg do material nestes ensaios;
- Para a caracterização do agregado miúdo natural, experimentos para distinção de massa específica e massa específica aparente de acordo com a norma NM 52/2009 foram realizados. Os valores que constam nos resultados seguiram os parâmetros previstos em norma.

3.3.3. Agregado graúdo

- Para o agregado graúdo natural, foi utilizada a brita de origem granítica 1 (19mm), na quantidade de aproximadamente 40Kg, para realização dos experimentos;
- O agregado passou exatamente pelo mesmo procedimento de caracterização física do material reciclado, respeitando procedimentos previstos nas normas NBR NM 248/2003 e NM 52/2009, privando a homogeneidade de metodologia e coerência dos resultados obtidos.

3.4. Fabricação dos blocos

3.4.1. Traço de concreto

De acordo com a NBR 9781/2013, a resistência à compressão mínima para blocos intertravados de concreto é de 35Mpa, baseado nesta referência, o traço deve proporcionar a dosagem de um concreto que visa atender a esta requisição.

Como método de dosagem analisado para esta pesquisa, o ABCP/ACI foi utilizado, tendo em vista a sua preocupação com vários fatores relativos aos materiais que foram utilizados além de condições de execução e dimensões das peças.

O método IPT/EPUSP apesar de possuir excelentes características para este tipo de finalidade, foi rejeitado como citado no item 2.5.5, utiliza-se de dosagem experimental do teor de argamassa, o que poderia dar como resultado, dois produtos com características de argamassa diferentes, tornando dessa maneira os resultados tendenciosos na substituição do agregado natural pelo reciclado.

Além de que, deve ser levado em consideração que o agregado graúdo reciclado, possui a mesma dimensão máxima do agregado graúdo natural, e o agregado miúdo utilizado é o mesmo para os dois tipos de concreto, então o método de dosagem deve valorizar as características dos materiais utilizados, sendo o ACI a escolha para esta situação, homogeneizando o procedimento de dosagem e possibilitando uma melhor análise de comparação entre concreto que utiliza material reciclado e o concreto de referência.

A proporcionalidade dos materiais é dada de acordo com o método de dosagem proposto, e calculada por massa. Então foi realizada uma mistura em betoneira com o agregado natural que foi tomado como referência no projeto.

Em seguida, a dosagem do concreto com o agregado reciclado obedeceu a mesma proporcionalidade, substituindo-se apenas parcialmente o agregado gráudo natural, pelo RCD britado e caracterizado anteriormente. As porcentagens de substituição do agregado gráudo natural pelo reciclado foram de 20%, 40% e 60%, na tentativa de analisar de forma sucinta a real influência da matéria prima reciclada no concreto.

Nos resultados, esteve prevista a absorção de água por parte do agregado reciclado e possíveis influencias deste fator no processo. Foram utilizados exatamente a mesma proporcionalidade e materiais com exceção do RCD, afim de se obter um resultado coerente e que torne possível uma análise crítica do mesmo.

3.4.2. Procedimento para fabricação dos blocos

Foi utilizado um procedimento para fabricação dos blocos de pavimentação experimental, com a finalidade de simplificar ao máximo o processo e tornar possível, caso o concreto reciclado apresente resultados significativos, a sugestão de implementação deste reaproveitamento nesta pesquisa.

Foram utilizadas misturas com o agregado natural que foi tomado como referência e com o agregado gráudo reciclado substituindo em 20%, 40% e 60% o agregado natural gráudo de forma direta, na tentativa de analisar de forma sucinta a real influência da matéria prima reciclada no concreto.

Nestes termos, o processo produtivo aconteceu da seguinte forma:

- Os agregados foram misturados com cimento Portland e água na dosagem pré-definida, em misturador de concreto;
- Em seguida, o concreto foi inserido em fôrmas retangulares (tipo I) segundo a NBR 9781/2013
- Posteriormente as fôrmas preenchidas foram submetidas a processo de vibração em mesa para redução de vazios e adensamento do material.
- Por fim, foi feita a cura inicial (1 dia) em sistema de descanso, devido ao método de caráter experimental aplicada, e posterior desforma do produto obtendo-se assim os blocos para a caracterização de acordo com a NBR 9781/2013
- Foram fabricados 10 blocos para cada composição de materiais, com a finalidade de se obter consistência nos resultados.

3.5. Ensaio dos blocos

A metodologia foi realizada de acordo com o que preconiza a NBR 9781/2013, que trata das peças de concreto para a pavimentação, sendo utilizado o bloco fabricado na realização dos ensaios.

Os ensaios de resistência à compressão ocorreram no tempo de cura de 28 dias, visando avaliar a resistência e o número absoluto em MPa para o concreto nesta idade.

Ainda de acordo com a NBR 9781/2013, ensaios de absorção de água se fizeram necessário e foram executados nos blocos com idade de cura de 28 dias, possibilitando assim, a caracterização completa desse material.

3.6. Análise de resultados

A partir dos resultados obtidos, os blocos provenientes do uso parcial de agregado reciclado, foram comparados aos blocos confeccionados com matéria prima usual, e colocados à luz da NBR 9781/2013, sendo possível assim, a avaliação da viabilidade técnica deste material como agregado graúdo para a produção de blocos intertravados de pavimentação.

4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios realizados em laboratório de acordo com as normas e especificações vigentes, os resultados obtidos da produção dos blocos intertravados e as respectivas análises de dados.

4.1. Agregado reciclado

4.1.1. Beneficiamento do RCD

Como especificado na metodologia, o resíduo de concreto passou por um processo de beneficiamento até que se chegasse no agregado reciclado propriamente dito. O processo está especificado de acordo com a Figura 7.

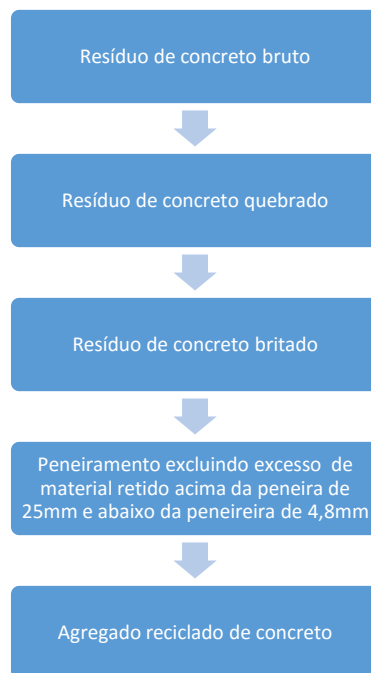


Figura 7 - Processo para obtenção do agregado reciclado

O resíduo bruto teve de passar por redução de sua dimensão para que fosse possível introduzi-lo no britador, devido ao diâmetro máximo de entrada da máquina, desta maneira existiu uma transformação prévia do resíduo de concreto bruto, para um resíduo de concreto quebrado, possibilitando assim o andamento do processo. Devido à natureza do material, após a britagem, o peneiramento se fez necessário a fim de padronizar o agregado gerado, além de melhorar a qualidade da granulometria

do mesmo. Foi possível notar um esfarelamento excessivo no processo de beneficiamento, justificando esta etapa, evitando assim excessiva quantidade de finos. As Figuras 8, 9 e 10 expõem a matéria prima utilizada e os resultados obtidos de acordo com as fases do processo de obtenção do agregado.



Figura 8 - Resíduo de concreto bruto



Figura 9 - Resíduo quebrado



Figura 10 – Agregado graúdo reciclado de concreto

4.1.2. Granulometria

Um das características dos agregados que mais se destacam para a fabricação do concreto é a composição granulométrica, a qual influi nas propriedades do mesmo, como por exemplo, no estado fresco podem afetar consistência e trabalhabilidade, e no estado endurecido a resistência à compressão, resistência à abrasão e aspecto visual. Desta maneira a determinação da granulometria do agregado reciclado deve atender a metodologia estabelecida pela NM 248/2003 e limites propostos pela NBR 7211. A Tabela 4 expõe os resultados obtidos, massa retidas nas series de peneiras da série normal e intermediarias para a granulometria do agregado reciclado de concreto.

Tabela 2 - Analise granulométrica do agregado reciclado

PROPRIEDADES DA AMOSTRA															
MASSA DA AMOSTRA TOTAL SECA =		9999,30 g													
DIÂMETRO MAXIMO =		19 mm													
ANALISE GRANULOMETRICA															
PENEIRAS		CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS							GRADUAÇÕES NBR 7211						
POL.	mm	MASSA RETIDA (g)		% RETIDO		% RETIDO ACUMULADO		MÉDIA	GRAD. 2		GRAD. 1		GRAD. 0	TOLERÂN.	
1 1/2"	31,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	5				-	
1"	25,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5	25	0	5		± 5	
3/4" *	19,0	2250,00	2154,00	45,01	43,08	45,01	43,08	44,04	65	95	2	15		± 5	
1/2"	12,5	1950,00	1880,00	39,01	37,60	84,02	80,68	82,35	92	100	40	65	0	5	± 5
3/8" *	9,5	451,00	432,00	9,02	8,64	93,04	89,31	91,18	95	100	80	100	2	15	± 5
1/4"	6,3	200,00	228,00	4,00	4,56	97,04	93,87	95,46			92	100	40	65	± 5
Nº 4 *	4,8	93,00	157,50	1,86	3,15	98,90	97,02	97,96			95	100	80	100	± 5
Nº 8 *	2,36	42,00	95,90	0,84	1,92	99,74	98,94	99,34					95	100	-
FUNDO		13,00	52,90	0,26	1,06	MODULO DE FINURA =								3,33	
TOTAL		4999,00	5000,30	100	100										

A classificação do agregado foi determinada comparando a composição granulométrica do material reciclado com as faixas granulométricas especificadas em normas. O gráfico de curva granulométrica foi construído com a relação entre as aberturas das peneiras em milímetros e a porcentagem retida acumulada e é apresentado na Figura 11 a seguir.

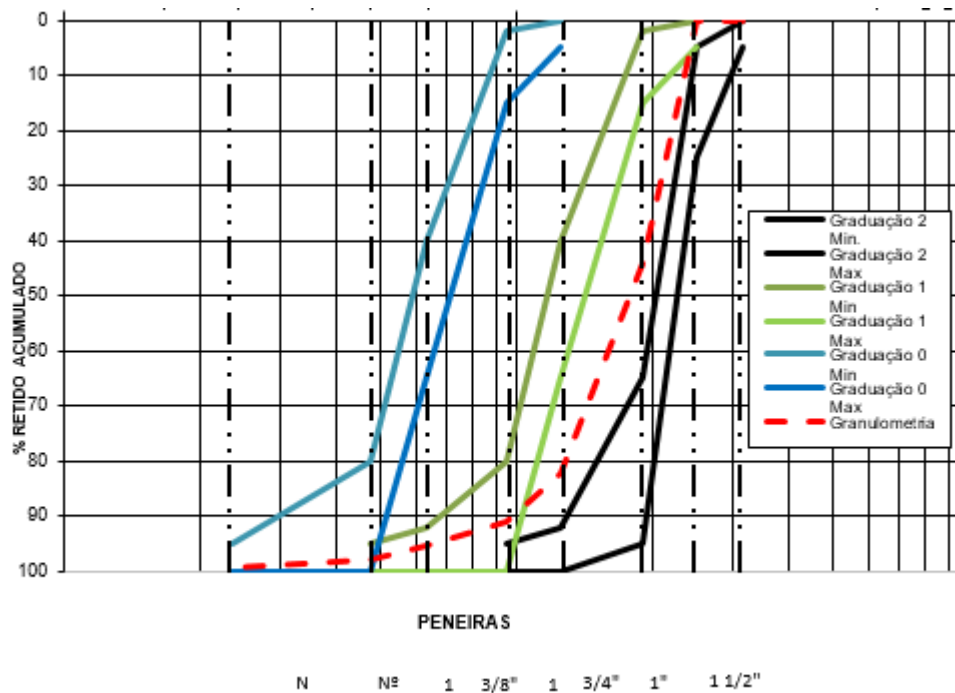


Figura 11 - Curva granulométrica do agregado reciclado

Analisando as porcentagens retidas em cada peneira e a curva granulométrica do agregado é possível observar que o agregado reciclado atende os limites preconizados na NBR 7211, situando-se na zona entre a graduação 1 e graduação 2, compreendendo dimensões significativas na faixa de 9,5 a 19mm. A Figura 12 mostra algumas etapas do ensaio de granulometria realizado.



Figura 12 - Ensaio de granulometria do agregado reciclado

4.1.3. Massa Unitária

Os ensaios para determinação da massa unitária seguiram especificações contidas na NM 45, assim, adotou-se recipientes de 15dm³ para a realização do experimento. Os resultados obtidos são expostos na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Massa unitária do agregado graúdo reciclado

MASSA UNITÁRIA DO AGREGADO GRAÚDO RECICLADO - NM 45				
VARIÁVEIS		AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3
MASSA DO CAIXOTE + AMOSTRA (g)	A	24700,00	24700,00	24900,00
MASSA DO CAIXOTE (g)	B	7500,00	7500,00	7500,00
MASSA DA AMOSTRA (g)	C	17200,00	17200,00	17400,00
VOLUME DO CAIXOTE (cm ³)	D	15000,00	15000,00	15000,00
$Mu = \frac{(A - B)}{D}$		1,147	1,147	1,160
Massa Unitária=		1,151		g/cm³

A Figura 13, relata como foi realizado o ensaio para a obtenção de massa unitária do agregado graúdo reciclado.



Figura 13 - Ensaio de massa unitária do agregado reciclado

4.1.4. Massa específica

Para a massa específica os ensaios seguiram as recomendações da NM 53, utilizando-se do picnometro, os resultados obtidos estão expostos na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Massa específica do agregado reciclado

MASSA ESPECIFICA DO AGREGADO GRAÚDO RECICLADO - NM 53					
Variáveis		Amostra 1	Amostra 2	Unidade	
Massa da Amostra	A	400,0	400,0	g	
Picnometro + Água	B	2507,0	2507,0	g	
Picnometro + Água + Agregado	C	2750,0	2748,9	g	
$ME = \frac{A}{B + A - C}$		1ª Determinação	2,55	g/cm ³	
		2ª Determinação	2,55	g/cm ³	
Massa Especifica		2,55		g/cm ³	

A Figura 14 demonstra o ensaio de determinação de massa específica do agregado reciclado.



Figura 14 - Ensaio de massa específica do agregado reciclado

4.1.5. Absorção de água

O ensaio para determinação da absorção de água no agregado graúdo reciclado foi realizado de acordo com a NBR NM 53, conforme descritos na metodologia.

A NBR 15.116 admite para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural uma absorção de água de $\leq 7\%$ para agregado graúdo, portanto o RCD analisado atende o máximo permitido, conforme exposto na Tabela 5.

Tabela 5 - Absorção de água do agregado reciclado

ABSORÇÃO DE ÁGUA - NM 53				
Variáveis		Amostra 1	Amostra 2	Unidade
Massa da Amostra Saturada	A	3143,5	3163,5	g
Massa da Amostra Seca	B	2950,5	2977,5	g
$Absorção = \left(\frac{A - B}{A} \right) * 100$		1ª Determinação	6,13	%
		2ª Determinação	5,87	%
Absorção de água		6,00		%

A Figura 15 expõe as etapas compostas na realização do ensaio de absorção de água no agregado graúdo proveniente de concreto reciclado.



Figura 15 - Ensaio para determinação de absorção de água do agregado reciclado

4.2. Agregado miúdo

4.2.1. Granulometria

Conforme descrito na metodologia, o ensaio de granulometria do agregado foi realizado de acordo com a NM 248. A granulometria é um método de análise que visa classificar as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada tamanho. Os resultados obtidos nas series de peneiras normais e intermediárias, são expostos na Tabela 6 a seguir:

Tabela 6 - Granulometria do agregado miúdo

PROPRIEDADES DA AMOSTRA													
MASSA DA AMOSTRA TOTAL SECA =						500,16g							
MÓDULO DE FINURA						2,78							
ANALISE GRANULOMÉTRICA													
PENEIRAS		CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS							GRADUAÇÕES NBR 7211				
POL.	mm	MASSA RETIDA (g)		% RETIDO		% RETIDO ACUMULADO		MÉDIA	Limites Inferiores		Limites Superiores		
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	
1/4"	6,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	7	
Nº4*	4,75	0,30	0,28	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0	0	5	10	
Nº10*	2,36	2,10	2,15	0,42	0,43	0,48	0,49	0,48	0	10	20	25	
Nº16*	1,18	45,80	45,60	9,16	9,12	9,64	9,60	9,62	5	20	30	50	
Nº30*	0,600	317,60	317,40	63,51	63,45	73,15	73,05	73,10	15	35	55	70	
Nº50*	0,300	110,20	110,05	22,04	22,00	95,18	95,05	95,12	50	65	85	95	
Nº100*	0,150	21,10	21,75	4,22	4,35	99,40	99,40	99,40	85	90	95	100	
FUNDO		3,00	2,99	0,60	0,60	LIMITES DE MÓDULO DE FINURA			2,2 a 2,9	1,55 a 2,20		2,90 a 3,50	
TOTAL		500,10	500,22	100	100				Ótima	Inferior	Superior		

Analisando a Tabela 6 observando os limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo e a massa retida em cada peneira fazendo a composição granulométrica da areia, observa-se que a mesma atende os limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo, já que a porcentagem, em massa, retida acumulada de cada peneira esteve praticamente sempre entre os limites inferiores ou superiores da zona utilizável, e algumas vezes atendeu a zona ótima, além de,

apresenta um módulo de finura considerado ótimo. Conforme ilustrado na Figura 16, a seguir.

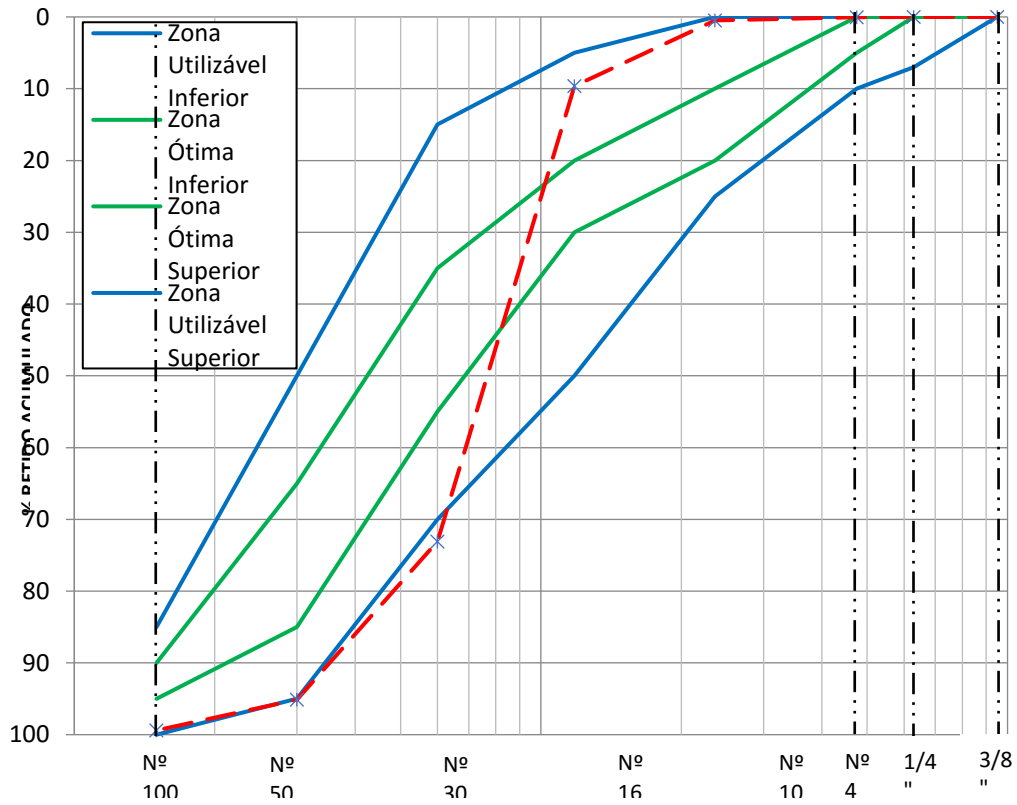


Figura 16 - Curva de composição granulométrica da areia

4.2.2. Massa unitária

Para a massa unitária o procedimento estabelecido foi o mesmo do ensaio realizado com o agregado graúdo reciclado, obedecendo o preconizado pela NM 45 e utilizando-se do mesmo recipiente de 15 dm³, obtendo os seguintes resultados:

Tabela 7 - Massa unitária do agregado miúdo

MASSA UNITÁRIA DO AGREGADO MIÚDO - NM 45				
VARIÁVEIS		AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3
MASSA DO CAIXOTE + AMOSTRA (g)	A	30800,00	30800,00	30850,00
MASSA DO CAIXOTE (g)	B	7500,00	7500,00	7500,00
MASSA DA AMOSTRA (g)	C	23300,00	23300,00	23350,00
VOLUME DO CAIXOTE (cm ³)	D	15000,00	15000,00	15000,00
$Mu = \frac{(A - B)}{D}$		1,553	1,553	1,556
Massa Unitária=		1,55		g/cm³

4.2.3. Massa específica

Também segundo o que preconiza a NM 53, e idêntica ao procedimento realizado com o agregado graúdo reciclado, os ensaios para a determinação de massa específica do agregado miúdo apresentaram os seguintes resultados:

Tabela 8 - Massa específica do agregado miúdo

MASSA ESPECIFICA DO AGREGADO MIÚDO - NM 53				
Variáveis		Amostra 1	Amostra 2	Unidade
Massa da Amostra	A	500	500	g
Picnometro + Água	B	2509,7	2509,7	g
Picnometro + Água + Agregado	C	2818,9	2819,0	g
$ME = \frac{A}{B + A - C}$		1ª Determinação	2,62	g/cm ³
		2ª Determinação	2,622	g/cm ³
Massa Especifica		2,62		g/cm³

4.3. Agregado graúdo natural

4.3.1. Granulometria

Seguindo a metodologia idêntica realizada com o agregado reciclado, o produto natural apresentou as seguintes massas retidas nas peneiras de serie normal e intermediária, de acordo com a NM 248:

Tabela 9 - Granulometria do agregado graúdo natural

PROPRIEDADES DA AMOSTRA															
MASSA DA AMOSTRA TOTAL SECA =				10008,90								g			
DIÂMETRO MÁXIMO =				19								mm			
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA															
PENEIRAS		CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS							GRADUAÇÕES NBR 7211						
POL.	mm	MASSA RETIDA (g)		% RETIDO		% RETIDO ACUMULADO		MÉDIA	GRAD. 2		GRAD. 1		GRAD. 0		TOLE RÂN.
1 1/2"	31,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	5					-
1"	25,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5	25	0	5			± 5
3/4" *	19,0	226,50	230,00	4,53	4,59	4,53	4,59	4,56	65	95	2	15			± 5
1/2"	12,5	3482,00	3490,00	69,64	69,68	74,17	74,27	74,22	92	100	40	65	0	5	± 5
3/8" *	9,5	1230,00	1233,00	24,60	24,62	98,76	98,89	98,83	95	100	80	100	2	15	± 5
1/4"	6,3	57,80	51,50	1,16	1,03	99,92	99,92	99,92			92	100	40	65	± 5
Nº 4 *	4,8	2,00	2,30	0,04	0,05	99,96	99,96	99,96			95	100	80	100	± 5
Nº 8 *	2,36	1,00	0,80	0,02	0,02	99,98	99,98	99,98					95	100	-
FUNDO		1,00	1,00	0,02	0,02	MODULO DE FINURA =									3,03
TOTAL		5000,30	5008,60	100	100										

Analisando a curva granulométrica exposta na Figura 17, é possível observar que o agregado graúdo natural, apresenta características de granulometria variando entre os limites de graduação 1 e graduação 2, segundo a NBR 7211.

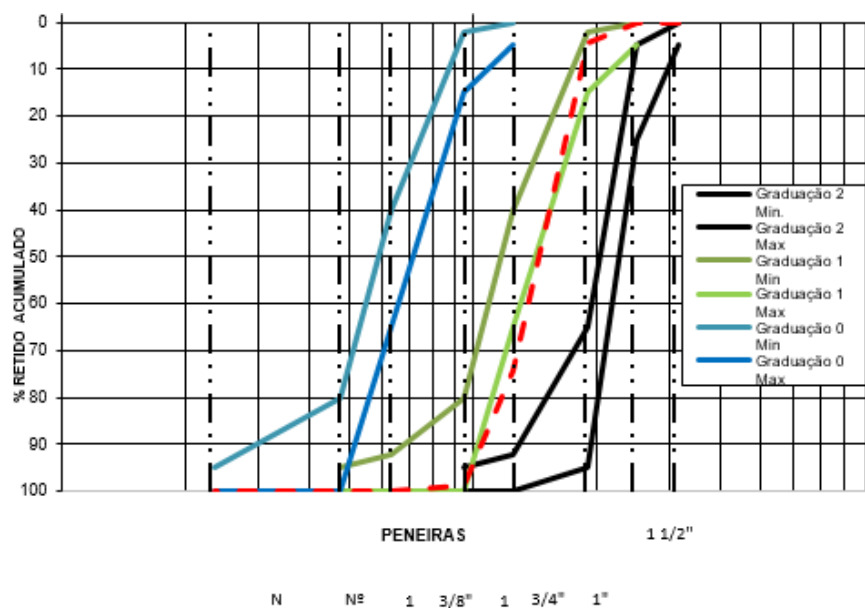


Figura 17 - Curva granulométrica do agregado graúdo natural

4.3.2. Massa unitária

Também seguindo a mesma metodologia aplicada para a determinação de massa unitária do agregado graúdo reciclado, o material graúdo natural apresentou os seguintes resultados, conforme exposto na Tabela 10.

Tabela 10 - Massa unitária do agregado graúdo natural

MASSA UNITÁRIA DO AGREGADO GRAÚDO NATURAL - NM 45				
VARIÁVEIS		AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3
MASSA DO CAIXOTE + AMOSTRA (g)	A	27500,00	27450,00	27400,00
MASSA DO CAIXOTE (g)	B	7500,00	7500,00	7500,00
MASSA DA AMOSTRA (g)	C	20000,00	19950,00	19900,00
VOLUME DO CAIXOTE (cm ³)	D	15000,00	15000,00	15000,00
$Mu = \frac{(A - B)}{D}$		1,333	1,330	1,326
Massa Unitária=		1,33		g/cm³

Acompanhando o padrão de resultados apresentado pelo produto reciclado, o agregado natural se mostra relativamente compatível com o produto reciclado, fator que foi determinante para o cálculo do traço de concreto.

4.3.3. Massa específica

Da mesma maneira dos outros ensaios, o procedimento obedeceu ao preconizado pela NM 53 e foi realizada de maneira idêntica ao agregado graúdo reciclado. Assim, obtendo-se os seguintes valores para massa específica:

Tabela 11 - Massa específica do agregado graúdo natural

MASSA ESPECIFICA DO AGREGADO GRAÚDO NATURAL - NM 53				
Variáveis		Amostra 1	Amostra 2	Unidade
Massa da Amostra	A	400,0	400,0	g
Picnometro + Água	B	2507,0	2507,0	g
Picnometro + Água + Agregado	C	2757,0	2757,2	g
$ME = \frac{A}{B + A - C}$		1ª Determinação	2,67	g/cm ³
		2ª Determinação	2,67	g/cm ³
Massa Específica		2,67		g/cm³

Analisando de maneira geral os resultados do agregado reciclado, com o agregado graúdo natural, é possível notar relativa semelhança em algumas características, como por exemplo com os números de massa específica dos grãos, em que os valores absolutos diferem em menos de 5%. Partindo desse pressuposto, de maneira empírica, foi adotada a substituição direta em massa do agregado natural pelo reciclado, nas respectivas composições citadas anteriormente.

4.4. Traço do concreto

De acordo com os valores obtidos nos resultados de caracterização dos agregados, estabeleceu-se o traço de concreto conforme o método da ABCP/ACI, fixando uma resistência de cálculo esperada de 35Mpa, valor que a norma NBR 9781/2013 preconiza. Com relação as substituições do agregado graúdo natural para o reciclado, optou-se pela substituição direta em massa, tendo em vista a relativa semelhança apresentada na caracterização de cada um desses materiais. A Tabela 12 expõe os dados de projeto utilizado para a concepção do traço dos blocos em concreto.

Tabela 12 - Dados de projeto para definição do traço

Dados de projeto	
SLUMP	Dado teórico (Concreto Seco) (Adotado para cálculo 50 mm)
Diâmetro máximo	19 mm
Módulo de finura areia	2,778
FCK	35 MPa
SD	5,5

A partir destes dados iniciais definidos de acordo com exigências da norma, os passos de dosagem foram seguidos conforme o método citado, estabelecendo-se as massas proporcionais para cada insumo, obtendo-se assim o concreto a ser utilizado.

Devido à natureza de concretos para blocos pavers apresentarem consistência seca (solo úmido), a trabalhabilidade não pôde ser caracterizada pelo método de abatimento do tronco de cone, seu adensamento, como já citado anteriormente, foi obrigatoriamente auxiliado por energia mecânica adequada à sua trabalhabilidade, possibilitando a moldagem dos blocos (CRUZ, 2003).

Logo, um valor médio de 50mm foi adotado de forma teórica para o slump do concreto na definição de projeto, apenas para que fosse possível chegar em um traço final. Desta forma, com os critérios iniciais de projeto o cálculo desenvolve-se conforme os passos representados nas Tabelas 13, 14, 15, 16 e 17 a seguir:

Tabela 13 – Passo 1: estimativa dos teores de água e ar incorporado

Estimativa dos teores de água e ar incorporado (Tabela)		
Teor de água	205	L/m ³
Ar incorporado	0,02	

Tabela 14 - Passo 2: estimativa da relação água/cimento

Estimativa da relação água/cimento		
fcj <i>(fck+1,65*sd)</i>	44,075	Mpa
Água/cimento (Tabela)	0,38	

Tabela 15 - Passo 3: cálculo do teor de cimento

Cálculo do teor de cimento		
Massa de cimento $Massa = \frac{\text{Teor de água}}{a/c}$	540,54	Kg
Volume de cimento $Volume = \frac{\text{Massa cimento}}{\text{massa esp, cimento}}$	0,18	m ³

Tabela 16 - Passo 4: cálculo do teor de agregado graúdo

Cálculo do teor de agregado graúdo		
Volume de brita / m³ de concreto (Tabela)	0,62	m ³ /m ³ de concreto
Consumo de brita (Volume de brita por m ³ de concreto * massa unitária agregado natural)	826,46	Kg

Tabela 17 - Passo 5: cálculo do teor de agregado miúdo

Cálculo do teor de agregado miúdo		
Volume de areia / m³ de concreto $1 - \left(\frac{\text{Teor de água}}{1000} - \text{ar incorporado} - \text{teor cimento} - \text{teor brita} \right)$	0,28	m ³ /m ³ de concreto
Consumo de areia (Volume de areia por m ³ de concreto * massa específica agregado miúdo natural)	746,67	Kg

Diante do exposto, utilizando todos os resultados em massa e em volume, dividindo pelo teor de cimento obtido, o traço de concreto ficou configurado conforme a Tabela 18 a seguir.

Tabela 18 - Traço do concreto

Traço do concreto				
	Cimento	Areia	Brita	Água
Traço em massa	1,00	1,38	1,53	0,38
Traço em volume	1,00	2,67	3,44	1,14

É possível notar que, devido à alta exigência de resistência final, a relação água/cimento ficou bastante baixa para suprir essa demanda. Este fator torna o concreto dosado pouquíssimo econômico, porém este estudo trata apenas da viabilidade técnica na substituição parcial do agregado graúdo por um material reciclado, abstendo-se de qualquer análise financeira. É válido ressaltar que o resultado obtido, mostra que o cálculo foi preciso. Através de análise empírica foi proposta uma massa total de 30Kg para cada composição do concreto, obtendo-se assim valores para cada elemento que compõe o concreto e para cada dosagem referente as substituições diretas do agregado graúdo natural, conforme exposto nas Tabelas 19, 20, 21 e 22.

Tabela 19 - Traço de referência para massa total de 30Kg

Traço de referência para massa total de 30Kg		
Cimento	7,00	Kg
Areia	9,66	Kg
Brita	10,71	Kg
Água	2,66	L

Tabela 20 - Traço com substituição de 20% para massa total de 30Kg

Traço com substituição de 20% para massa total de 30Kg		
Cimento	7,00	Kg
Areia	9,66	Kg
Brita natural	8,568	Kg
Brita reciclada	2,142	Kg
Água	2,66	L

Tabela 21 - Traço com substituição de 40% para massa total de 30Kg

Traço com substituição de 40% para massa total de 30Kg		
Cimento	7,00	Kg
Areia	9,66	Kg
Brita natural	6,426	Kg
Brita reciclada	4,284	Kg
Água	2,66	L

Tabela 22 - Traço com substituição de 60% para massa total de 30Kg

Traço com substituição de 60% para massa total de 30Kg		
Cimento	7,00	Kg
Areia	9,66	Kg
Brita natural	4,284	Kg
Brita reciclada	6,426	Kg
Água	2,66	L

Deste modo, os blocos moldados passaram por cura de 28 dias para os testes propostos em metodologia. As Figuras 18 e 19 dão noção para a quantidade de insumos utilizada conforme divulgado nas tabelas anteriores de traço do concreto.



Figura 18 - Insumos utilizados para confecção dos blocos de concreto



Figura 19 - Substituição parcial do agregado graúdo natural

4.5. Fabricação dos blocos

As formas foram untadas e preenchidas em sua totalidade pelo concreto, em seguida passaram por vibração em mesa e acabamento final. Após 24 horas, desmoldadas, marcadas e o tempo de cura de 28 dias foi respeitado, este procedimento inclusive, conforme pré-estabelecido pela metodologia deste trabalho, foi seguido para todas as composições. As Figuras 20 e 21, ilustram os passos para a fabricação dos blocos pavers e sua configuração final.



Figura 20 - Fabricação dos blocos



Figura 21 - Blocos desformados e marcados

O concreto de referência apresentou boa coesão e boa aparência, sem agregados aparentes. Após a cura, os blocos produzidos apresentaram uma superfície bem lisa, com poucos poros, sendo realizados então os testes necessários para a caracterização de acordo com a norma vigente.

A medida em que se aumentou o percentual de substituição do agregado natural, o concreto apresentou uma menor coesão e agregados aparentes, fator que está relacionado à absorção de água do agregado reciclado, o deixando com uma aparência bastante incomum. Porém, este estado do concreto não impossibilitou a moldagem perfeita dos blocos, devido ao processo de vibração e adensamento, o produto final foi bastante uniforme, com a mesma aparência dos blocos de referência. A Figura 22 exemplifica o estado do concreto quando se aumentou ao máximo o agregado reciclado.



Figura 22 - Estado do concreto com substituição parcial de 60% do agregado natural

A Figura 23 ilustra os blocos marcados e em estado de cura, após toda a metodologia de caracterização e fabricação pré-estabelecida.



Figura 23 - Blocos marcados e em estado de cura

4.6. Resistência a compressão

Para o ensaio de blocos de concreto, a NBR 9781 determina que as peças devem ser saturadas em água por, no mínimo, 24 horas antes, e suas superfícies devem ser retificadas ou passarem por outro tipo de capeamento que não apresente variações significativas, como o que foi utilizado, regularizando sua superfície na hora da moldagem. Posteriormente as peças devem ser dispostas sobre as placas auxiliares de ensaio, com sua face superior em contato com a placa auxiliar superior, de modo que o eixo vertical que passa pelo seu centro coincida com o eixo vertical passante pelo centro das placas. Por fim, o carregamento deve ser feito continuamente, com velocidade de 550 kPa/s, com variação de mais ou menos 200 kPa/s, até ruptura completa da peça.

Seguindo este procedimento, os resultados obtidos de resistência à compressão e determinação das dimensões do bloco de referência seguem nas Tabela 23, 24, 25 e 26 a seguir.

Tabela 23 - Resistência a compressão dos blocos de referência

Resistência a compressão – Referência							
C. de Prova	Carga de Ruptura (N)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Altura (mm)	A. Carregamento (mm²)	p	Resistência (MPa)
1	685160	94	194	58	18236	0,95	35,69
2	668890	94	194	58	18236	0,95	34,85
3	711390	94	194	58	18236	0,95	37,06
4	726570	94	194	58	18236	0,95	37,85
5	727440	94	194	58	18236	0,95	37,90
6	724510	94	194	58	18236	0,95	37,74

Tabela 24 - Resistência a compressão dos blocos com 20% de substituição do agregado natural

Resistência a compressão - Substituição de 20%							
C. de Prova	Carga de Ruptura (N)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Altura (mm)	A. Carregamento (mm²)	p	Resistência (MPa)
1	677950	94	194	58	18236	0,95	35,32
2	705100	94	194	58	18236	0,95	36,73
3	685260	94	194	58	18236	0,95	35,70
4	690690	94	194	58	18236	0,95	35,98
5	679840	94	194	58	18236	0,95	35,42
6	688630	94	194	58	18236	0,95	35,87

Tabela 25 - Resistência a compressão dos blocos com 40% de substituição do agregado natural

Resistência a compressão - Substituição de 40%							
C. de Prova	Carga de Ruptura (N)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Altura (mm)	A. Carregamento (mm²)	p	Resistencia (mpa)
1	660870	94	194	58	18236	0,95	34,43
2	653610	94	194	58	18236	0,95	34,05
3	678220	94	194	58	18236	0,95	35,33
4	675290	94	194	58	18236	0,95	35,18
5	676700	94	194	58	18236	0,95	35,25
6	727000	94	194	58	18236	0,95	37,87

Tabela 26 - Resistência a compressão dos blocos com 60% de substituição do agregado natural

Resistência a compressão - Substituição de 60%							
C. de Prova	Carga de Ruptura (N)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Altura (mm)	A. Carregamento (mm ²)	p	Resistencia (mpa)
1	737520	94	194	58	18236	0,95	38,42
2	675290	94	194	58	18236	0,95	35,18
3	669870	94	194	58	18236	0,95	34,90
4	663040	94	194	58	18236	0,95	34,54
5	660980	94	194	58	18236	0,95	34,43
6	668380	94	194	58	18236	0,95	34,82

Considerando o traço de referência, os blocos apresentaram em sua totalidade resistências superiores a 35 Mpa, que é o preconizado pela norma NBR 9781/2013, os intertravados com material reciclado também apresentaram valores de resistência requeridos pela norma, porém, a medida que se aumentou a porcentagem de substituição, a os resultados dos ensaios foram decrescendo em valores absolutos gradativamente, aparecendo alguns valores inferiores a 35Mpa.

Ainda de acordo com a norma, é necessário aplicar regras de estatística para afirmar com mais precisão a resistência estimada a compressão. Desta maneira, entram no cálculo fatores como desvio padrão e um coeficiente de redução 'p', que está relacionado com a espessura do bloco, além de outro fator 't' relacionado com o número de corpos de prova.

Então, para todos os blocos, além da média dos resultados obtidos, os seguintes cálculos foram utilizados, conforme esclarece a Figura 24.

$$f_{pk, est} = f_p - t \times s \quad s = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n-1}}$$

n	t
6	0,920

Figura 24 - Fórmulas utilizadas para o cálculo. Fonte: NBR ABNT 9781/2013

Aplicada esta matemática básica, os resultados para os blocos, seguem nas Tabelas 27, 28, 29 e 30.

Tabela 27 - Resistência a compressão estimada do bloco de referência

f_p Médio (MPa)	36,848
s	1,287
t	0,92
f_{pk,est} (Mpa)	35,66

Tabela 28 - Resistência a compressão estimada dos blocos com 20% de substituição do agregado natural

f_p Médio (MPa)	35,836
s	0,507
t	0,92
f_{pk,est} (Mpa)	35,37

Tabela 29 - Resistência a compressão estimada dos blocos com 40% de substituição do agregado natural

f_p Médio (MPa)	35,352
s	1,337552
t	0,92
f_{pk,est} (Mpa)	34,12

Tabela 30 - Resistência a compressão estimada dos blocos com 60% de substituição do agregado natural

f_p Médio (MPa)	35,381717
s	1,5123178
t	0,92
f_{pk,est} (Mpa)	33,99

De acordo com a norma, a composição de referência e a substituição de 20% apresentam a resistência superior à mínima exigida de 35Mpa, estando em conformidade e prontas para a utilização relacionadas a este quesito. A Figura 25 ilustra o estado de ruptura das peças após ensaio realizado com os blocos intertravados de pavimentação.



Figura 25 - Ensaio de resistência a compressão até o rompimento do corpo de prova

A explicação para a queda de resistência sistêmica conforme aumente a substituição do agregado natural pelo reciclado, é a maior presença de seixo e argamassa que compõem o agregado reciclado e a diminuição da brita na composição dos pavers. O seixo apresenta menor resistência global analisando o bloco como um todo, assim como a argamassa, que é friável em relação ao agregado graúdo natural.

Para ratificar essa afirmação, vale ressaltar que o teor de substituição de agregados naturais por reciclados influencia o desempenho mecânico do concreto negativamente. Porém, para o teor de substituição do agregado graúdo natural por reciclado de 30% ou menor, a resistência não é afetada significativamente (CARRIJO, 2005)

Analisando de maneira isolada, todas as resistências médias apresentam valores superiores à 35Mpa, o que expõe um resultado bastante interessante, tendo em vista que o traço foi calculado para superar este valor. Porém, aplicando os conceitos de estatística estabelecidos em norma, apenas os blocos de referência e 20% apresentam resistência estimada superior aos 35 Mpa, enquanto os blocos de 40% e 60% demonstram uma resistência estimada de 34,12 e 33,99 MPa respectivamente.

A Figura 26, expõe essa comparação entre os resultados definitivos dos ensaios.

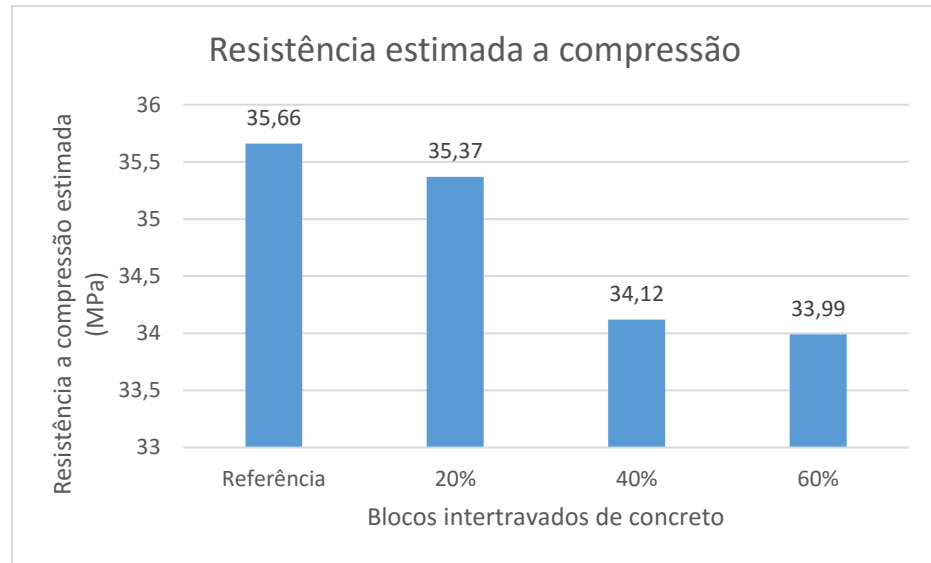


Figura 26 - Resistência estimada a compressão

Santos e Borja 2007, afirmam em seus resultados com blocos intertravados acrescidos de resíduos reciclados, que a adição do resíduo na mistura do concreto resulta na diminuição da resistência à compressão dos corpos de prova de concreto. Dado este confirmado pelo gráfico da resistência a compressão apresentado acima, que apesar da diferença entre resíduos utilizados, apresenta certa semelhança de resultados, onde se percebe que à medida que a porcentagem de resíduo concreto era acrescida à mistura, sua resistência apresentava um valor menor ao anterior sistematicamente.

4.7. Absorção de água

A absorção de água por imersão está relacionada com a medição do volume de poros no concreto. Conforme descrito na metodologia, os ensaios para os blocos de concreto para pavimentação, foram realizados de acordo com a NBR 9781, em que os blocos de concreto são imersos por 24 horas, tempo suficiente para preencher totalmente os poros do concreto, e apresentaram os resultados expostos nas Tabelas 31, 32, 33 e 34. A mesma norma determina que as amostras de peças de concreto devam apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%.

Tabela 31 - Absorção de água para blocos de referência

Absorção - referência			
Corpo de Prova	Massa Saturada (Kg)	Massa Seca (Kg)	%
1	2,6905	2,5393	5,62%
2	2,6666	2,513	5,76%
3	2,686	2,5235	6,05%
Média	5,81%		

Tabela 32 - Absorção de água para blocos com 20% de substituição

Substituição - 20%			
Corpo de Prova	Massa Saturada (Kg)	Massa Seca (Kg)	%
1	2,6412	2,4874	5,82%
2	2,6685	2,5072	6,04%
3	2,6742	2,5174	5,86%
Média	5,91%		

Tabela 33 - Absorção de água para blocos com 40% de substituição

Substituição - 40%			
Corpo de Prova	Massa Saturada (Kg)	Massa Seca (Kg)	%
1	2,6594	2,4995	6,01%
2	2,6755	2,503	6,45%
3	2,655	2,498	5,91%
Média	6,12%		

Tabela 34 - Absorção de água para blocos com 60% de substituição

Substituição - 60%			
Corpo de Prova	Massa Saturada (Kg)	Massa Seca (Kg)	%
1	2,6657	2,5101	0,05837116
2	2,65	2,4803	0,064037736
3	2,6617	2,4813	0,067776233
Média	6,34%		

Para os dados apresentados, novamente os blocos de referência e com substituição parcial do agregado natural de 20%, passam nos testes propostos pela NBR 9781/2013, em que sua absorção de água, também estão dentro dos limites aceitáveis, sendo menores do que 6%.

Os pavers com 40% e 60% de agregado graúdo reciclado, ultrapassam o limite proposto pelo princípio de absorção de água da NBR 9781/2013. Este fator, está relacionado a absorção de água do produto reciclado. É visível a maior absorção de

água promovida pelo aumento de concentração do agregado reciclado no momento da fabricação dos blocos, conforme já demonstrado.

Carrijo 2005 afirma que, os agregados reciclados de concreto por sua vez, possuem uma camada de argamassa aderida ao mesmo, o que lhe confere uma maior porosidade. Além disso entre o agregado graúdo natural e esta camada, há uma zona de transição, contribuindo também para o aumento da porosidade do agregado reciclado. Quando estes agregados são utilizados para a fabricação de novos concretos, há a formação de uma outra zona de transição entre o agregado reciclado e a nova argamassa. Com isso, o concreto reciclado possui uma maior porosidade e permeabilidade que o concreto convencional, o que ratifica a tese de influência direta do agregado reciclado nos maiores resultados de permeabilidade desse concreto.

A Figura 27 demonstra a variação de absorção de água conforme o percentual de substituição do agregado natural. Conforme já explanado, a medida em que se aumenta a composição de agregado natural, maior a absorção de água do concreto reciclado.

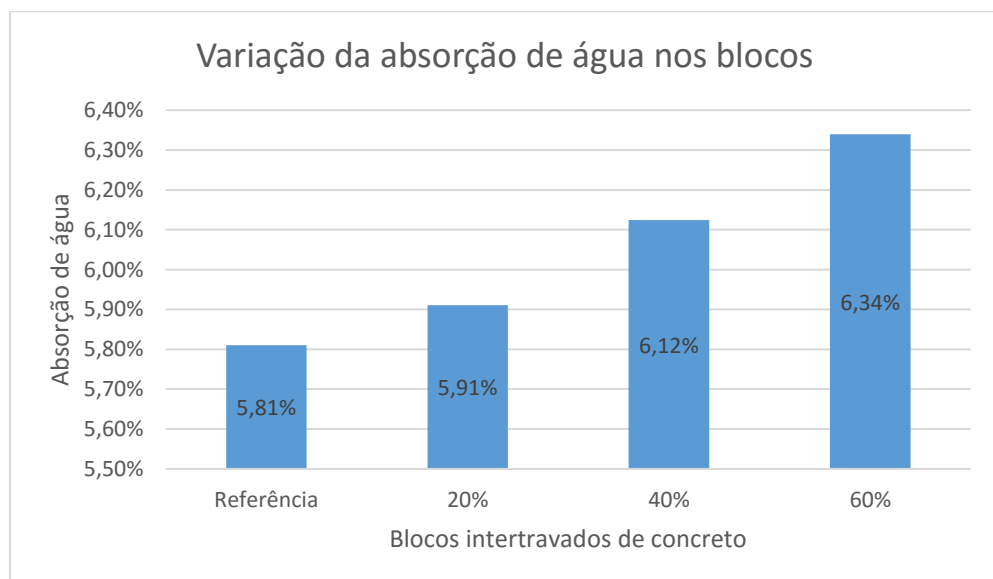


Figura 27 - Variação da absorção de água nos blocos

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como premissa a análise da viabilidade técnica do uso de Resíduos de Construção e Demolição – RCD, gerados no próprio processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto, como substituição dos agregados naturais utilizados na confecção de blocos intertravados de concreto, o que delineou o programa experimental e gerou uma série de resultados, já expostos.

Com os resultados alcançados nos ensaios, somados às informações contempladas em revisão teórica, as quais ofereceram suporte para esta pesquisa, foram obtidas as conclusões que serão explanadas a seguir.

Os testes de resistência a compressão se apresentaram coerentes, com a resistência estimada sendo inversamente proporcional ao percentual de agregado reciclado no concreto. Os blocos de referência e com 20% de substituição do agregado graúdo natural, apresentaram a resistência estimada que é preconizada em norma. Os blocos com 40% e 60% de substituição, apresentaram resistência estimada a compressão inferior a 35 Mpa, sendo reprovados à luz da NBR 9781/2013. Porém é necessário ressaltar que a variação desses resultados foi bastante pequena, demonstrando um ótimo desempenho dos blocos com maiores percentuais de concentração do agregado reciclado.

Quanto a absorção de água, também apresentaram resultados significativos os blocos de referência e com 20% de substituição do agregado natural. Os valores estão abaixo de 6%, atendendo então o indicado pela norma vigente. Os blocos com maiores teores de agregado reciclado, aumentam gradativamente a absorção de água, sendo reprovados neste quesito.

Portanto os pavers de referência e com 20% de composição de agregado reciclado, estão aptos a serem utilizados na pavimentação intertravada, atendendo aos requisitos condicionantes da NBR 9781/2013, considerando que o ensaio de resistência a abrasão é facultativo.

Os blocos com 40% e 60% de agregado reciclado em sua composição, ficam reprovados por valores absolutos em relação a norma, porém, ao se analisar a variação dos números em relação as composições que antederam os requisitos, é nítido o resultado significativo que esses produtos alcançaram.

O traço de concreto, no entanto, se mostrou um tanto impraticável de forma geral, no caso de possível implantação em algum canteiro de obras, devido à baixa

relação de água cimento obtida de acordo com o método ABCP/ACI, e as formas de cura possíveis para esta característica (dormida e virada), o que provavelmente acabará tornando economicamente inviável a produção deste concreto em larga escala. Porém como já exposto anteriormente, este estudo apenas analisa a viabilidade técnica da substituição de agregados, tornando necessário uma análise econômica para a possibilidade real de implantação deste processo.

Com base nestes fatores, o resultado pode ser considerado bastante satisfatório na visão técnica, colaborando para o desenvolvimento sustentável no setor.

6. RECOMENDAÇÕES

Para a continuidade desta pesquisa, recomenda-se:

- Corrigir o fator água/cimento e verificar a alteração nos dados de resistência e absorção de água conforme a substituição do agregado graúdo natural ocorrer, tendo em vista que o agregado reciclado apresenta alta absorção de água.
- Testar outro método de cálculo para dosagem do concreto com a finalidade de obter resultados que enquadrem a substituição de 40% e 60% nas indicações da norma vigente.
- Realizar campanha completa de análise dos blocos, como realização de todos os ensaios requeridos pela NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação – Especificações e métodos de ensaio, como o ensaio de resistência à abrasão dos blocos, que não foi contemplado nesta pesquisa pela falta da aparelhagem necessária.
- Realizar uma análise financeira e readequação do traço, com possível utilização de vibro-prensa na fabricação dos blocos, afim de chegar em resultados técnicos parecidos com os deste estudo e também alcançar a viabilidade econômica de produção.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Curso Pavimento Intertravado, Módulo 1: Introdução aos pavimentos Intertravados, Módulo 2: Fabricação do Blocos, 2009. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/basicosobrecimento/aplicacoes/pavimento-intertravado>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 12655: **Concreto de cimento Portland-Preparo, controle e recebimento**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5739: **Concreto-Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7217: **Agregado - determinação da composição granulométrica**, especificação. Rio de Janeiro, 1987. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7211: **Agregados para concreto**. Rio de Janeiro, 2009, 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8953: **Concreto para fins estruturais–Classificação por grupos de resistência**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecido–Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15116: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10004: **Resíduos sólidos - classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR. 15116: **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil-Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural-Requisitos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NM 248: **Agregados-Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NM 52: **Determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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

BACCHINI, A.V. **Pavimentos intertravados de matriz cimentícia incorporados com lama do beneficiamento de rochas ornamentais**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goyatacazes – RJ, 2011.

BOGGIO, A. J. **Estudo Comparativo de Métodos de Dosagem de Concretos de Cimento Portland**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2000.

BRITO FILHO, J. A. **Cidade versus entulho**. In: 2º Sem. Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. São Paulo, IBRACON, 1999.

BROTTI, Ruan Carlos Wessler. **Contribuição ao Estudo de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) Visando à Fabricação de Peças de Pavimento**. 2014. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco – PR.

CASTILHOS JR., Amado. B. et al. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com ênfase na Proteção de Corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterro sanitário**. Rio de Janeiro: Ed. Abes, 2006.

CARRIJO, Priscila Meireles. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº307 de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.

CRUZ, Luiz Otávio Maia. **Pavimento intertravado de concreto: Estudo dos elementos e métodos de dimensionamento**. 2003. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

De PAULA, P.R.F. **Utilização de resíduos da construção civil na produção de blocos de argamassa sem função estrutural**. Dissertação (Mestrado). Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2010.

GODINHO, D.P. **Pavimento intertravado: uma reflexão sob a ótica da durabilidade e sustentabilidade.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

HENDRICKS, F.; JANSSEN, G. M. T. **Reuse of construction and demolition waste in the Netherlands for road constructions.** Heron, v.46, p. 109-117, 2001.

JOHN, V. M. **Panorama sobre reciclagem de resíduos na construção civil.** In: II Seminário. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil. CT 206. 1999. Ibracon.

JUNIOR, Ivan J. A. **Pavimento intertravado como ferramenta de moderação do tráfego nos centros comerciais de travessias urbanas – Estudo de Caso Guaiúba,** CE. 2007, 221 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 290p. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

MARTINS, Derival das Graças. **Utilização de resíduos gerados na fabricação de blocos de concreto, no momento da prensagem, para confecção de micro concreto.** 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

MEDEIROS, Otto Cabral Franklin de. **O uso da pavimentação intertravada em estacionamentos e calçadas em edifícios residenciais na cidade de Palmas/TO.** CEULP/ULBRA. 2013.

MOTTA, R.S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego.** 2005. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PETTERMANN, Rodrigo. **Avaliação do desempenho de blocos de concreto para pavimentação com Metacaulim e Sílica ativa.** 2006, 71 f. Monografia (Pós-Graduação) – Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

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.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

Santos, Anaaiara Varela, and Edilberto Vitorino de Borja. **Avaliação das Propriedades Mecânicas de Blocos Intertravados com Resíduo de Pneu Reciclado.** HOLOS 3. Vol 8. 2007.

SCHNEIDER, D. M. **Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo**. 2003. 130p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

WIEBBELLING, P.O.G. **Pavimento com blocos intertravados de concreto: Estudo de caso na univates**. Monografia – Centro Universitário Univates. Lajeado, 2015.