

VÂNIA REGINA FERREIRA DOS SANTOS

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE PISOS TÁTEIS, INTERTRAVADOS,
PRODUZIDOS COM AGREGADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO
CIVIL – RCC E FIBRAS DE AÇO**

**Limeira
2014**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA**

VÂNIA REGINA FERREIRA DOS SANTOS

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE PISOS TÁTEIS, INTERTRAVADOS,
PRODUZIDOS COM AGREGADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO
CIVIL – RCC E FIBRAS DE AÇO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestra em Tecnologia, área de concentração em Tecnologia e Inovação.

Orientador: Prof^ª. Dra. Luísa Andréia Gachet Barbosa

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA
VÂNIA REGINA FERREIRA DOS SANTOS, E ORIENTADA PELA
PROF (A). DR (A). LUÍSA ANDRÉIA GACHET BARBOSA.

**Limeira
2014**

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Tecnologia
Vanessa Evelyn Costa - CRB 8/8295

Sa59a Santos, Vânia Regina Ferreira dos, 1956-
Análise do desempenho de pisos táteis, intertravados, produzidos com agregados de resíduos de construção civil - RCC e fibras de aço / Vânia Regina Ferreira dos Santos. – Limeira, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Luísa Andréia Gachet Barbosa.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia.

1. Acessibilidade. 2. Pisos. 3. Materiais de construção. I. Barbosa, Luísa Andréia Gachet. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Tecnologia. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Analysis of the performance of tactile floor, interlocked, produced with aggregate by residues of civil construction - RCC and steel fibers

Palavras-chave em inglês:

Accessibility

Floors

Construction materials

Área de concentração: Tecnologia e Inovação

Titulação: Mestra em Tecnologia

Banca examinadora:

Luísa Andréia Gachet Barbosa [Orientador]

Rosa Cristina Cecche Lintz

Carlos Roberto dos Santos

Data de defesa: 21-02-2014

Programa de Pós-Graduação: Tecnologia

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Análise do desempenho de pisos táteis, intertravados, produzidos com agregados de resíduos de construção civil-RCC e fibras de aço

Vânia Regina Ferreira dos Santos

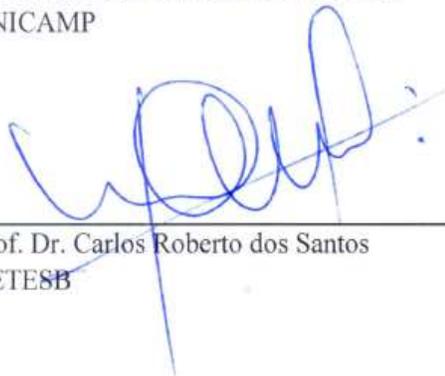
A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



Prof. Dra. Luísa Andréia Gachet Barbosa
UNICAMP
Presidenta



Profa. Dra. Rosa Cristina Cecche Lintz
UNICAMP



Prof. Dr. Carlos Roberto dos Santos
CETESB

RESUMO

As questões de acessibilidade reduzem as desigualdades e promovem a inclusão social. Embora, no Brasil, nas últimas décadas as políticas públicas relacionadas à mobilidade urbana vem sendo incrementadas para assegurar a todos o direito constitucional de ir e vir, a realidade apontada no Censo Demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE sobre população residente por tipo de deficiência, enfatiza a importância da atenção à questão da acessibilidade e de assegurar os direitos das pessoas com deficiência. Com a crescente demanda de execução de calçadas com padrões de acessibilidade, levantou-se a problemática da escassez de estudos sobre a dosagem quando pretende-se produzir pisos táteis intertravados de concreto com fibras de aço, utilizando o Resíduo de Construção Civil – RCC reciclado como matéria prima visando uma solução ambiental adequada para a disposição final desses RCC, contribuindo ainda, para a preservação dos recursos naturais. Frente ao exposto, com o intuito de colaborar com o meio técnico na resolução desses problemas e auxiliar na minimização do impacto ambiental causado pela extração do agregado natural e disposição irregular dos RCC e ainda fornecer maior autonomia e qualidade de vida da pessoa com deficiência visual, esta pesquisa tem como principal objetivo produzir pisos táteis intertravados de concretos com fibras de aço substituindo em massa porcentagens de agregados miúdos naturais por reciclados. Inicialmente foram selecionados os materiais e realizada a caracterização, e posteriormente, feito uma pesquisa bibliográfica para escolher um traço de partida para a produção dos pisos. Foram realizados alguns ensaios experimentais para adequá-lo, uma vez que foi adicionado fibras e também realizado um estudo para a relação água/cimento, devido a substituição do agregado natural pelo reciclado de cor cinza. Foram moldados pisos táteis, corpos-de-prova prismáticos e placas de concreto, com cinco traços, o primeiro utilizado como concreto de referência com fibras de aço e os demais com adição de RCC nas proporções de 15%, 20%, 25% e 50%. Foram analisadas as propriedades: resistência à compressão, absorção de água, resistência à abrasão, tenacidade e resistência à tração e feitas comparações do resultado obtido com de outros autores nacionais e internacionais e com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Os resultados encontrados comprovam a viabilidade de produzir pisos táteis de concreto com fibras de aço utilizando RCC.

Palavras-chave: Acessibilidade.Pisos.Materias de construção.

ABSTRACT

Accessibility matters reduce inequalities and promote social inclusion. Although, over the last decades, public policies related to urban mobility have been implemented in Brazil to ensure to everybody the constitutional right of coming and going, The reality according to the demographic census of 2010 of Brazilian Institute of Geography and Statistics – IBGE about the residents for type of disability, points up the importance of providing accessibility and ensuring the rights of disabled people. The demand for this kind of paving increases to be used in sidewalks with accessibility standards, the problem of lack of studies about dosage for the production of interlocked steel fiber floors raises, using recycled Construction Waste as raw material. The production would provide an appropriate environmental solution for the final disposal of Construction Waste, contributing for the preservation of natural resources. In view of this, aiming to collaborate with the technical area in solving these problems, assist in minimizing the environmental impact caused by the extraction of the natural aggregate and irregular Construction Waste disposal and offer more autonomy and quality of life to the visual impaired person, this research main objective is to produce interlocked floors made of concrete and steel fiber replacing in mass percentages small natural aggregates to recycled aggregates. First it was selected the materials and performed characterization tests. Later a review of the literature was performed to choose a starting trait for the paving production. We also had experimental tests for adjusting it since we had added fiber to it and a study was made to determine the relation between water/cement due to the replacement of the natural aggregate to the grey recycled one. Some tactile floors, prismatic sample parts and concrete plaques were molded with 5 traces: the first used as concrete reference with steel fibers and the others with addition of Civil Construction Waste in the following proportions: 15%, 20%, 25% and 50% in mass replacement. It was then analyzed the properties: resistance compression, water absorption, abrasion, tearing and traction. It was made comparisons between this work and other national and international authors and with the ABNT standards - Associação Brasileira de Normas Técnicas and the findings proved the viability in producing tactile concrete and steel fibers floors using Civil Construction Waste.

Key-Words: Accessibility.Floors.Construction materials.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Justificativa	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Concreto de Cimento Hidráulico	5
2.2 Considerações Sobre Resíduos Sólidos	6
2.3 Resíduos de Construção Civil - RCC	7
2.3.1 Normas Técnicas Específicas de RCC	9
2.3.2 Legislação Ambiental Relacionada ao RCC	10
2.3.3 Quantidade Gerada no Brasil e no Mundo	11
2.3.4 Reciclagem de RCC	12
2.3.5 Agregado Reciclado	13
2.3.6 Agregado Reciclado da Usina de Reciclagem de Resíduos de Rio Claro	14
2.4 Fibras de Aço	17
2.4.1 Normalização para Fibras de Aço	18
2.4.2 Concreto com Fibras de Aço	19
2.4.3 Dosagem do Concreto com Fibras	20
2.5 Pavimentos Intertravados com Blocos Pré-Moldados de Concreto	21
2.5.1 Sistema de Pavimento	21
2.5.2 Pavimento Intertravado	21
2.5.3 Peças de Concreto	23
2.5.4 Vantagens dos Pisos Intertravados	24
2.5.5 Pisos Intertravados com Sinalização Tátil	25
2.5.6 Piso Tátil de Alerta	26
2.5.7 Piso Tátil Direcional	26
2.5.8 Composição da Sinalização Tátil de Alerta e Direcional	27
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	29
3.1 Materiais	32
3.1.1 Cimento Portland V ARI	32
3.1.2 Agregados	33
3.1.2.1 Composição Granulométrica	33
3.1.2.2 Massa Específica e Massa Específica Aparente	34
3.1.2.3 Absorção de Água	35

3.1.2.4 Material Pulverulento.....	35
3.1.2.5 Massa Unitária	36
3.1.3 Fibra	36
3.1.4 Aditivo.....	37
3.1.5 Água	37
3.2 Estudo do Traço	37
3.3 Produção dos Concretos	40
3.3.1 Moldagem e Cura das Peças.....	44
3.3.2 Determinação da Resistência à Compressão Axial	48
3.3.3 Determinação da Absorção de Água.....	49
3.3.4 Determinação da Resistência à Abrasão	50
3.3.5 Determinação da Tenacidade	53
3.3.6 Determinação da Resistência à Tração na Flexão	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1 Caracterização dos Materiais	57
4.1.1 Cimento Portland V ARI.....	57
4.1.2 Agregados	57
4.1.2.1 Composição Granulométrica.....	57
4.1.2.2 Massa Específica e Massa Específica Aparente.....	62
4.1.2.3 Absorção de Água	63
4.1.2.4 Material Pulverulento.....	65
4.1.2.5 Massa Unitária	65
4.2 Ensaio de Abatimeto do Tronco de Cone.....	66
4.3 Ensaio de Resistência à Compressão.....	67
4.4 Ensaio de Absorção de Água	70
4.5 Ensaio de Resistência à Abrasão.....	73
4.6 Ensaio de Tenacidade.....	76
4.7 Ensaio de Resistência à Tração na Flexão.....	77
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	81
6. REFERÊNCIAS	83

Dedicatória

À minha família, em especial ao meu pai in memoriam

Agradecimentos

À Deus.

À Prof^ª Dra. Luisa, por sua amizade, ensinamentos, dedicação e paciência.

À Prof^ª Dra. Rosa, pela paciência e disponibilidade para me auxiliar neste trabalho.

À Prof^ª Dra. Ana Elisabete pelos preciosos apontamentos e sugestões prestados na qualificação.

Ao Dr. Carlos Roberto pelos preciosos apontamentos e sugestões prestados.

Aos tecnólogos Reginaldo, Emerson e Ivonei do Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade de Tecnologia da UNICAMP, pela ajuda durante a realização dos ensaios.

Ao Prof. Dr. Leandro Mouta Trautwein do Laboratório de Matérias de Construção da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP pela realização dos ensaios de tenacidade.

Ao Centro Cerâmico do Brasil - CCB em especial ao Sr. Thiago e Sr. Júlio César pela realização dos ensaios de abrasão.

À empresa Kata Entulho Reciclagem pela colaboração e fornecimento do resíduo que foi a matéria-prima deste trabalho.

À empresa Belgo Bekaert Arames Ltda, em especial ao Sr. Vinícius pelo fornecimento das fibras de aço, utilizadas nos concretos.

À empresa BASF S.A. em especial ao Sr. Antonio pelo fornecimento do aditivo utilizado na produção dos compósitos.

A todos os amigos de trabalho, em especial ao Alexandre, pelo incentivo e apoio, à Cristiane, Eloisa, Graziela, Daniela e a estagiária Fabíola pelo auxílio.

Às amigas Marcela pelo incentivo e Talita pelo apoio.

À amiga e colega Fabiana pelos momentos de convivência, pela paciência, trocas de experiências e por sempre me socorrer nos momentos das angústias e realização dos trabalhos.

À minha mãe Laurinda, minhas irmãs Valdinéia e Vanice e minhas filhas Carime e Carolina, pelo incentivo e apoio.

A todos aqueles que de alguma maneira colaboraram e me ajudaram a chegar até aqui.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resíduos de concreto separados na Usina de Reciclagem de Rio Claro.	15
Figura 2 - Britagem.	16
Figura 3 - Peneiramento.	16
Figura 4 - Agregados miúdos produzidos na Usina de Reciclagem de Rio Claro.....	16
Figura 5 - Fibras de aço soltas curtas (a) e longas (b) e longas coladas (c).	17
Figura 6 - Esquema de concentração de tensões para um concreto sem (a) e com reforço de fibras (b)19	
Figura 7 - Seção típica de um pavimento intertravado.....	22
Figura 8 - Deslocamentos das peças de concreto.....	22
Figura 9 - Sinalização tátil de alerta – Modulação do piso.....	26
Figura 10 - Sinalização tátil direcional – Modulação do piso.....	27
Figura 11 - Composição de sinalização tátil de alerta e direcional.	27
Figura 12 - Fluxograma das etapas do trabalho experimental.....	29
Figura 13 - Fluxograma da caracterização dos materiais cimento, agregados, aditivo e fibras.	30
Figura 14 - Fluxograma dos tipos de concreto produzidos com cimento CP V ARI.	30
Figura 15 - Fluxograma de execução dos ensaios, quantidade e idade do concreto de referência com fibras sem RCC.	31
Figura 16 - Fluxograma de execução dos ensaios, quantidade e idade do concreto com fibras com porcentagens de RCC.....	32
Figura 17- Conjunto e agitador de peneiras.	34
Figura 18 - Massa retida individual em cada peneira (areia reciclada).	34
Figura 19 - Processo de secagem superficial do agregado (areia reciclada).	35
Figura 20 – Fibra de aço utilizada neste trabalho.....	36
Figura 21 - Concreto fresco produzido.	39
Figura 22 - Abatimento do tronco de cone com fator $a/c = 0,43$	39
Figura 23 – Materiais: a) separados e pesados; b) fibras de aço e c) RCC.	40
Figura 24 – Betoneira utilizada para a mistura dos componentes do concreto.	41
Figura 25 – Concreto fresco produzido.....	42
Figura 26 – Equipamentos utilizados no ensaio de abatimento.	42
Figura 27 – Ensaio de abatimento pelo tronco de cone.....	43
Figura 28 – Moldes lubrificados.	43
Figura 29 – Moldagem das peças.....	44
Figura 30 – Pisos moldados acondicionados em câmara úmida.	45

Figura 31 – Peças retiradas dos moldes e identificadas.	45
Figura 32 – Determinação das dimensões dos pisos.	46
Figura 33 – Peças em câmara úmida.....	46
Figura 34 – Amostras de pisos com dimensões: a) antes de serem cortados; b) pisos cortados	47
Figura 35 – Pisos após serem retirados da câmara úmida: (a) processo de capeamento; (b) pisos capeados	47
Figura 36 - Piso sendo ensaiado à compressão axial.....	49
Figura 37 – Ensaio de absorção de água:(a) pesagem de cada piso na balança digital; (b) secagem dos pisos na estufa.	50
Figura 38 – Dispositivo para ensaio de resistência à abrasão profunda de placas cerâmicas não esmaltadas.	50
Figura 39 – Equipamento utilizado no ensaio de resistência à abrasão profunda.	51
Figura 40 – Ensaio de resistência à abrasão profunda: (a) reservatório sendo abastecido e (b) placa sendo ensaiada.	53
Figura 41 - Placa ensaiada: (a) nos lugares A e B e (b) determinação da cavidade.	53
Figura 42 – Corpos-de-prova talhados.	54
Figura 43 – Corpos-de-prova sendo ensaiados.....	55
Figura 44 - Prisma sendo ensaiado com carga no terço médio do corpo-de-prova.....	56
Figura 45 - Curva do agregado miúdo, referente à Tabela 7 /zona utilizável inferior (areia).	58
Figura 46 – Curva do agregado miúdo, referente à Tabela 8 / zona utilizável superior (pó de pedra)..	59
Figura 47 - Curva do agregado miúdo, referente à Tabela 9 / zona ótima (areia reciclada).....	60
Figura 48 - Curva do agregado graúdo, referente à Tabela 10/ pedrisco-zona 4,75/12,5mm.....	61
Figura 49 - Pisos rompidos à compressão axial.	67
Figura 50 - Resultados da resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade.	69
Figura 51 – Resultado de absorção de água dos concretos.	72
Figura 52 – Resultado da resistência à abrasão profunda.	75
Figura 53 – Relação: resistência à compressão axial x resistência à abrasão profunda.	75
Figura 54 - ilustra os corpos-de prova após a ruptura.	77
Figura 55 - Resultado da resistência à tração na flexão.	79
Figura 56 – Corpo-de-prova prismático: (a) ensaiado com carga no meio do vão e (b) após a ruptura.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos RCCs.....	8
Tabela 2 - Etapas do Plano de Gerenciamento de Resíduos.....	9
Tabela 3 - Formas de Destinação dos RCCs.	9
Tabela 4 - Objetivo de cada Norma.	10
Tabela 5 - Traço adotado.	38
Tabela 6 – Resultado determinação da massa específica do cimento ABNT NBR NM 23:2001.	57
Tabela 7 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica ABNT NBR NM 248:2003 (areia).	58
Tabela 8 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica ABNT NBR NM 248:2013 (pó de pedra).	59
Tabela 9 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica ABNT NBR NM 248:2013 (areia reciclada).	60
Tabela 10 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica ABNT NBR NM 248:2013 (pedrisco).....	61
Tabela 11 – Resultado da determinação da massa específica, massa específica aparente da areia ABNT NBR NM 52:2009.	62
Tabela 12 – Resultado da determinação da massa específica, massa específica aparente do pó de pedra ABNT NBR NM 52:2009.	62
Tabela 13 – Resultado da determinação da massa específica, massa específica aparente da areia reciclada ABNT NBR NM 52:2009.	63
Tabela 14 – Resultado da determinação da Massa Específica, Massa Específica Aparente do pedrisco ABNT NBR NM 53:2009.	63
Tabela 15 – Resultado determinação da absorção de água ABNT NBR NM 30:2001 (areia).	64
Tabela 16 – Resultado determinação da absorção de água ABNT NBR NM 30:2001 (pó de pedra). ..	64
Tabela 17 – Resultado determinação da absorção de água ABNT NBR NM 30:2001 (areia reciclada).	64
Tabela 18 - Determinação da Absorção de Água ABNT NBR NM 53:2009 (pedrisco).	64
Tabela 19 - Determinação do Material Pulverulento ABNT NBR NM 46:2003 areia reciclada.	65
Tabela 20 - Determinação da Massa Unitária ABNT NBR 45:2006.....	66
Tabela 21- Condições ambientais de temperatura e umidade.	67
Tabela 22 – Resultado da Resistência à Compressão Axial.	68

Tabela 23 - Absorção de água. dos concretos aos 7 e 28 dias.	71
Tabela 24 – Resultado ensaio de resistência à abrasão profunda dos concretos após 28 dias.....	74
Tabela 25 – Resultados dos ensaios de energia da fratura (ou tenacidade à fratura) aos 28 dias.....	76
Tabela 26 – Resultado – Resistência à tração na flexão dos concretos aos 28 dias de idade.	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
a/c	Água/cimento
ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
CIF	Classificação Internacional de Funcionalidade, Deficiência e Saúde
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cp	Corpo-de-prova
CP VARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
CRPD	Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência
DNIT	Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes
FT	Faculdade de Tecnologia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
JSCE	Japan Society Of Civil Enggineers
OMS	Organização Mundial da Saúde
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RCC	Resíduo de Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SUASA	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
UNICAMP	Universidade de Campinas
WHO	Word Health Organization

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que mais de um bilhão de pessoas vivam com alguma forma de deficiência, algo próximo de 15% da população mundial (WHO, 2011).

Dados do Censo 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, aproximadamente 45,6 milhões de brasileiros (quase um quarto da população), tem algum tipo de deficiência, desses, 67,7% são idosos e que a deficiência visual, foi apontada como a mais acometida. O Censo revelou ainda, que a participação de idosos na população representa 7,4% (IBGE, 2010).

De acordo com o Relatório Mundial sobre a Deficiência da Organização Mundial da Saúde – OMS, tanto para a Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos das Pessoas com Deficiências (CRPD na sigla original) quanto para a Classificação Internacional de Funcionalidade, Deficiência e Saúde – CIF o ambiente pode facilitar ou restringir a participação das pessoas com deficiência. A falta de acessibilidade é uma das barreiras incapacitantes (WHO, 2011).

A acessibilidade deve estar presente nos espaços, no meio físico, no transporte, na informação e comunicação, inclusive nos sistemas e tecnologias da informação e comunicação, bem como em outros serviços e instalações abertos ao público ou de uso público, tanto na cidade como no campo (BRASIL, 2013a).

Vários são os produtos cadastrados no Catálogo Nacional de Tecnologia Assistiva (ajudas técnicas ou produtos de apoio) para deficiência visual como: teclado braile, scanner, mapa tátil, mesa de relevos táteis, piso tátil direcional, dentre outros (BRASIL, 2013b).

Os pisos táteis, por suas características diferenciadas de textura e coloração, permitem identificar, pelo contato dos pés ou de bengalas, eventuais desníveis, mobiliários sobressalentes, rampas, degraus e rotas recomendadas (SÃO PAULO, 2008). A sinalização tátil nos pisos pode ser do tipo alerta e direcional (ABNT, 2004a).

O pavimento com blocos de concreto de cimento Portland, também denominados intertravados possui a vantagem de ser versátil do ponto de vista de arranjos arquitetônicos, comunicação visual, sinalização horizontal, tanto para pistas de rolamento de veículos quanto para calçamentos laterais de vias públicas e praças (BALBO, 2005). Apresenta capacidade estrutural, durabilidade, conforto térmico, economia de energia elétrica, permite o sinal de alerta,

a diversidade de cores e formatos, contribui muito para a arquitetura do entorno, propicia a drenagem do pavimento, possibilitando infiltração de água no subsolo (ABCP, 2012a; ABCP, 2012b).

Os programas de urbanização de calçadas de várias cidades brasileiras já seguem os princípios do Desenho Universal e também aprovam os pisos intertravados como uma das soluções de produtos de pavimentação que atendem às normalizações e projetos (SERAFIM, 2010).

Com a crescente demanda desses pisos para execução de calçadas com padrões de acessibilidade, levantou-se a problemática da escassez de estudos sobre a dosagem quando pretende-se produzir pisos táteis intertravados, com fibras de aço, utilizando o Resíduo de Construção Civil – RCC reciclado como matéria prima.

A temática deste trabalho está relacionada com a adição de RCC nas peças de concreto com fibras de aço para pavimentação, com o propósito de torná-lo um material de construção mais sustentável, sem perder suas características especificadas pela normatização.

Estudos desenvolvidos por diversos autores, Lintz *et al.* (2012), Jankovick, Nikolie e Bojovic (2012), Baldan *et al.* (2011), Berger *et al.* (2011), Quiroga e Torres (2010), Moreira (2010), Cabral (2007), Lovato (2007), Simieli *et al.* (2007), sobre a viabilidade técnica da incorporação de agregados reciclados provenientes de resíduos de construção em concretos, em substituição total ou parcial aos agregados naturais, têm constatado que é possível utilizar os agregados obtidos pela reciclagem dos materiais de demolição na elaboração de concretos de resistência média (entre 25MPa e 30 MPa). Todavia, a principal dificuldade encontrada na fabricação desses concretos é devido à alta absorção de água pelos agregados reciclados que afeta significativamente as propriedades dos concretos e sua durabilidade. Para Matar e El Dalati (2012) o uso de agregados reciclados na produção de blocos de concreto é muito limitada.

1.1 Objetivos

Esta pesquisa teve como principal objetivo avaliar a influência dos RCC nos concretos com fibras de aço produzidos com agregados reciclados miúdo para confecção de pisos táteis intertravados.

Realizou-se uma análise preliminar dos materiais de partida, que são: cimento CP V ARI,

areia, pó de pedra, pedrisco, RCC e fibra de aço. Após as análises físicas dos materiais, foram calculados os traços a serem desenvolvidos. Tais traços se diferem pela quantidade de RCC, que abrangem 15%, 20%, 25% e 50% de substituição em massa do agregado natural miúdo (areia) ao concreto com fibras de aço (referência). Portanto, o presente trabalho estudou, por meio de ensaios de resistência à compressão axial, absorção de água, resistência à abrasão profunda, tenacidade e resistência à tração na flexão a produção de pisos táteis intertravados com fibras de aço com agregados de RCC os quais foram avaliados pelos parâmetros da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 9781:2013.

Dessa forma, esta pesquisa poderá contribuir para minimizar o impacto ambiental causado pela extração do agregado natural e disposição irregular dos RCC e maior autonomia e qualidade de vida da pessoa com deficiência visual.

Também poderá impactar positivamente na redução dos custos de disposição final dos RCC, dependendo da sua classificação pela Resolução CONAMA n° 307 de 2002.

1.2 Justificativa

A pessoa com deficiência visual deve ser inserida na sociedade e uma das formas é garantindo o direito de ir e vir com autonomia. Sendo assim, necessita do piso tátil que constitui-se como uma referência que permite a sua acessibilidade, mobilidade e principalmente a percepção do espaço. Este piso é amplamente contemplado nos projetos urbanos acessíveis, assim como os pisos intertravados pela inúmeras vantagens e dentre elas de permitirem a sinalização tátil e atenderem as normalizações e projetos. Também, umas das grandes preocupações atuais é a sustentabilidade, neste foco, substituir o agregado natural por resíduo de construção civil – RCC e garantir a resistência à compressão mínima e o índice de absorção de água de acordo com a ABNT NBR 9781:2013, justifica-se o estudo do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Concreto de Cimento Hidráulico

O concreto é uma mistura de cimento, agregado e água e, por vezes, algum tipo de aditivo. O cimento hidráulico mais comumente usado para fazer concreto é o cimento Portland. As misturas em determinadas proporções são: pasta de cimento (cimento Portland e água), argamassa (pasta de cimento e agregado miúdo) e concreto (argamassa e agregado graúdo).

Embora não seja tão duro e nem tão resistente quanto o aço, é o material mais usado na construção civil. Isto, devido a vários fatores: é resistente à água, facilidade de se obter elementos estruturais de várias formas e tamanhos, pouca manutenção, baixo custo e rápida disponibilidade do material (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

O concreto tem que atender as prescrições de norma com relação às características mecânicas quando endurecido, e também possuir trabalhabilidade e consistência quando fresco, enquanto transportado e colocado nas fôrmas. O conhecimento das propriedades do concreto torna possível a escolha de um concreto mais adequado e econômico (NEVILLE, 1982).

As características que um concreto depois de endurecido deve atender são: resistência, durabilidade, impermeabilidade e aparência. Para Neville (1982) o requisito mais importante é uma resistência à compressão satisfatória, pois além de assegurar a tensão estabelecida, muitas outras propriedades desejáveis são concomitantes com uma resistência elevada.

Para o concreto fresco as propriedades desejáveis são: consistência, plasticidade, poder de retenção de água e trabalhabilidade. Essas propriedades asseguram a obtenção de uma mistura fácil de transportar, lançar e adensar.

Mehta e Monteiro (2008) dividem o concreto em três categorias com base na resistência à compressão: concreto de baixa resistência – menos de 20 MPa, concreto de resistência moderada de 20 MPa a 40 MPa e concreto de alta resistência mais de 40 MPa.

Nas últimas décadas, o concreto passou por permanente e dinâmica evolução, o uso de novos materiais como aditivos redutores de água, materiais reciclados, resíduos, fibras, alteram significativamente as propriedades do concreto, assim como, também evoluíram os equipamentos e técnicas construtivas.

É elevado o consumo de matéria-prima na indústria da construção civil (FIORITI *et al.* 2007). Segundo Mehta e Monteiro (2008), o concreto comum, tipicamente, contém 12% de

cimento, 8% de água de amassamento e 80% de agregados, por massa, que torna a indústria de concreto a maior consumidora de recursos naturais no mundo. A alternativa de produzir concreto com agregados reciclados é, sem dúvida, uma solução que vem sendo largamente pesquisada (LEVY, 2005).

Lintz *et al.* (2012) estudaram as propriedades mecânicas do concreto contendo resíduos de construção objetivando seu emprego na fabricação de blocos vazados de concreto simples para alvenaria. Os pesquisadores notaram que os valores apresentados pelo ensaio de resistência à compressão são influenciados pelas porcentagens crescentes de resíduos de construção e demolição (RCD) na mistura, apontando o grande potencial do aproveitamento desse material em substituição aos agregados naturais utilizados na fabricação de materiais à base de concreto como blocos.

Jankovick, Nikolic e Bokovic (2012) estudaram a aplicação de tijolos triturados na produção de concreto para elementos de pavimentação. Foi substituído o agregado natural por tijolos triturados na proporção de 25%, 32,5%, 50%, 60%, 65% e 100% em massa. Os pesquisadores mostraram a possibilidade de utilização de blocos com substituição de até 32,5% de agregado natural com tijolo triturado. A resistência à abrasão dos elementos de pavimentação diminui à medida que o percentual de agregados aumenta, assim como a absorção de água do concreto também, é diminuída.

2.2 Considerações Sobre Resíduos Sólidos

Em conformidade com a ABNT NBR 10004:2004 são definidos resíduos sólidos os resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam das 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 técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

A ABNT NBR10004:2004 ainda classifica os resíduos sólidos em: Classe I - Perigosos, Classe II-A – Não Inertes e Classe II-B – Inertes.

Resíduos Classe I – Perigosos são aqueles que apresentam inflamabilidade,

corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, ou seja, apresentam risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices ou riscos ao meio-ambiente, quando gerenciados de forma inadequada.

Os 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. Esses resíduos podem ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

São enquadrados na Classe II-B – Inertes, os resíduos que não apresentam, após teste de solubilização, concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Segundo Nota Técnica – Utilização de resíduos sólidos da ABNT NBR 10004:2004 a classificação de um resíduo sólido, por si só, não deve impedir o estudo de alternativas para a sua utilização. No entanto, é essa classificação que orienta os cuidados especiais no gerenciamento do resíduo sólido, os quais podem inviabilizar sua utilização quando não se puder garantir segurança ao trabalhador, ao consumidor final ou ao meio ambiente.

Ainda, a mesma Nota Técnica dispõe que para a utilização de um resíduo sólido ou de misturas de resíduos sólidos na fabricação de um novo produto ou para outras finalidades, este último deve estar em conformidade com os requisitos estabelecidos pelos órgãos responsáveis pela liberação do produto.

2.3 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL – RCC

No Brasil, a Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, alterada pela Resolução CONAMA nº 348 de 2004, Resolução CONAMA nº 431 de 2011 e Resolução CONAMA nº 448 de 2012 define resíduos da construção civil - RCC como os 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 asfálticos, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Segundo Lovato (2007) a composição desses resíduos depende da fonte que o originou,

do momento em que a amostra foi coletada e do tipo de construção.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 307 de 2002, todos os geradores (pessoas físicas ou jurídicas públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos de construção civil) deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, obrigando através do Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil, elaborado pelos Municípios e Distrito Federal, o incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo.

Esses resíduos devem ser gerenciados adequadamente com o objetivo de minimizar seus impactos ambientais e econômicos tais como o uso de áreas de aterros, deposições irregulares, assoreamento de córregos, entupimento de galerias e bueiros, dentre outros (ANGULO, 2005).

A Resolução CONAMA nº 307 de 2002 também estabelece, além da classificação dos RCCs (Tabela 1), as etapas do Plano de Gerenciamento dos RCC (Tabela 2) e formas de destinação de acordo com a sua classificação (Tabela 3).

Tabela 1 - Classificação dos RCCs.

Classe	Definição
A	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, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.
B	resíduos recicláveis para outras destinações, tais como; plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso.
C	resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.
D	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.

Fonte: BRASIL, 2002

Tabela 2 - Etapas do Plano de Gerenciamento de Resíduos.

Etapa	Objetivos
Caracterização	o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos.
Triagem	realizada, preferencialmente, pelo gerador na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade, respeitadas as classes de resíduos estabelecidas.
Acondicionamento	o gerador deve garantir o confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e de reciclagem.
Transporte	realizado em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos (ABNT NBR 13221:2010).
Destinação	realizada em função de sua classificação

Fonte: BRASIL, 2002.

Tabela 3 - Formas de Destinação dos RCCs.

Classe	Destinação
A	reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros,
B	reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura,
C	armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas,
D	armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas,

Fonte: BRASIL, 2002.

2.3.1 Normas Técnicas Específicas de RCC

O manejo, especificação e uso dos RCC estão normalizados pela ABNT NBR 15112 a ABNT NBR 15116, desde 30.07.2004. A Tabela 4 contem o objetivo de cada norma.

Tabela 4 - Objetivo de cada Norma.

Norma	Objetivo
NBR 15112:2004	fixa requisitos para projeto, implantação e operação de áreas de transbordo e triagem de resíduos de construção civil e de resíduos volumosos.
NBR 15113:2004	fixa requisitos para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos sólidos de construção civil classe A e de inertes.
NBR 15114:2004	fixa requisitos para projeto, implantação e operação de áreas de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil classe A.
NBR 15115:2004	estabelece critérios de execução das camadas de reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos e camada de revestimento primário com agregado reciclado de resíduos sólido da construção civil em obras de pavimentação.
NBR 15116:2004	estabelece requisitos para emprego de agregado reciclado em obras de pavimentação viária e preparo de concreto sem função estrutural.

Fonte: ABNT, 2004c; ABNT, 2004d; ABNT, 2004e; ABNT, 2004f; ABNT,2004g.

2.3.2 Legislação Ambiental Relacionada ao RCC

A Constituição Federal de 1988, em seu Art. 225, parágrafo 3º, estabelece que: “As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independente da obrigação de reparar os danos causados” (BRASIL, 1988).

A Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 chamada “Lei dos Crimes Ambientais”, define no Capítulo V, Seção III, artigo 54 como crime ambiental: “Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou passam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora”, e no §2º, inciso V, prescreve: “Se o crime ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamento, a pena prevista é reclusão, de um a cinco anos” (BRASIL, 1998).

Em 2 de agosto de 2010, foi publicada a Lei nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências, sendo regulamentada em 23 de dezembro de 2010 pelo Decreto nº 7.404 (BRASIL, 2010).

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, o poder público,

empresas e cidadãos, responsáveis pela geração de resíduos sólidos e por ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos (exceto radioativos) deverão até 2014 se adequar a nova política (BRASIL, 2010).

A PNRS institui a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares de serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Segundo a PNRS, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos tem por objetivo:

- compatibilizar interesses entre os agentes econômicos e sociais e os processos de gestão empresarial e mercadológica com os de gestão ambiental, desenvolvendo estratégias sustentáveis;
- promover o aproveitamento de resíduos sólidos, direcionando-os para a sua cadeia produtiva ou para outras cadeias produtivas;
- reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais;
- incentivar a utilização de insumos de menor agressividade ao meio ambiente e de maior sustentabilidade;
- estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis;
- propiciar que as atividades produtivas alcancem eficiência e sustentabilidade;
- incentivar as boas práticas de responsabilidade socioambiental

2.3.3 Quantidade Gerada no Brasil e no Mundo

No mundo, 13,1 bilhões de toneladas de lixo devem ser geradas em 2050, 20% a mais que em 2009 (PNUMA 2011). No Brasil, 62 milhões de toneladas de resíduos foram geradas em 2011, enquanto a população cresceu 0,9%, o volume de resíduos aumentou 1,8%, o dobro, em relação a 2010 (ABRELPE, 2012).

O setor da construção civil e o da demolição são a maior fonte de resíduos (JOHN *et al.*, 2001), produz mais de 40% de todos os resíduos sólidos do mundo (PNUMA 2011) e segundo Pinto (1999), a geração RCD estimada é em média de 500 kg/hab.ano.

2.3.4 Reciclagem de RCC

De acordo com a Resolução CONAMA n° 307 de 2002 reciclagem é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação. A transformação envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA e, se couber, do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária – SNVS e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária – SUASA (BRASIL, 2010).

A implantação de usinas de reciclagem foi iniciada no Brasil na década de 90, pelas administrações de municípios das regiões Sul e Sudeste (SOUZA, 2006).

Segundo Miranda, Angulo e Careli (2009) a taxa de crescimento das usinas de reciclagem brasileiras aumentou após a vigência da Resolução CONAMA n° 307 de 2002. Cerca de 45% das usinas nacionais que estão em operação ou em instalação, são privadas (existem 47), já a produção das usinas públicas é intermitente devido às dificuldades administrativas, às mudanças de cenário político e ao pouco conhecimento técnico. Este panorama da reciclagem inclui o período entre 1986 a 2008. No entanto, para Ulsen (2011) a taxa média de reciclagem dos RCDs ainda é muito restrita, tanto no Brasil, como no mundo a exceção de alguns países europeus e asiáticos.

Em relação ao processo de reciclagem, quase todas as usinas brasileiras são bem semelhantes. São compostas dos seguintes equipamentos: pá carregadeira ou retroescavadeira, alimentador vibratório, transportadores de correia, britador de mandíbula ou impacto, separador magnético permanente ou eletroímã, e peneira vibratória. Nenhuma apresenta uma rotina de controle de qualidade dos agregados produzidos (MIRANDA, ANGULO e CARELI, 2009).

Estudos recentes mostram que, com métodos adequados de processamento do agregado de concreto reciclado, não há perda na qualidade do concreto com este tipo de agregado (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Na Europa, os códigos de boas práticas recomendam a uniformização de procedimentos de reciclagem de modo a estabelecer confiabilidade a aplicação dos agregados reciclados, reconhecendo a existência de limitações quanto ao uso em concretos estruturais e às limitações das soluções diante de questões regionais (MELO, 2011).

Para John (2000) as principais contribuições ambientais da reciclagem são:

- preservação de recursos naturais quando substituídos por resíduos, prolonga a vida útil das reservas naturais e reduz a destruição da paisagem, flora e fauna;
- redução do volume de aterros e da prática de incineração, em especial aos aterros com resíduos perigosos ou não-inertes, que concentram substâncias químicas em níveis que se tornam perigosos e podem contaminar o lençol freático;
- redução do consumo de energia para a produção de um determinado bem, porque muitas vezes os materiais já incorporam energia ;
- redução da poluição emitida para a fabricação de um mesmo produto;
- permite geração de empregos e aumento da competitividade da economia;
- aumento da durabilidade da construção em determinadas situações com a incorporação de resíduos (escórias de alto forno e pozolanas) ao cimento;
- redução dos custos da proteção ambiental, pois a reciclagem permite gerar valor a partir de um produto que antes se constituía em despesas;
- economia de divisas, na eventualidade da importação de alguma das matérias-primas recicladas.

Dentre os impactos ambientais da reciclagem, Angulo *et al.* (2005) destacam:

- quantidade de materiais e energia necessários ao processo para transformar o produto ou tratá-lo de forma a torná-lo apropriado a ingressar novamente na cadeia produtiva;
- geração de resíduos que dependendo de sua periculosidade e complexidade, podem causar novos problemas como impossibilidade de serem reciclados, falta de tecnologia para o seu tratamento, falta de locais para dispô-lo e custo que isto ocasiona;
- risco à saúde dos usuários do novo material e dos próprios trabalhadores da indústria recicladora devido a lixiviação de frações solúveis ou até mesmo pela evaporação de frações voláteis;

2.3.5 Agregado Reciclado

Segundo a Resolução CONAMA n° 307 de 2002 os resíduos de construção reutilizáveis ou recicláveis como agregado se enquadram na Classe A.

A ABNT NBR 15116:2004 classifica os agregados em dois tipos: agregado reciclado de

concreto (ARC), cujo teor de fragmentos à base de cimento e rochas é maior que 90% e agregado reciclado misto (ARM), cujo teor é menor que 90%.

Para Matar e El Dalati (2012) o uso de agregados reciclados na produção de blocos de concreto é muito limitada.

Segundo Miranda, Angulo e Careli (2009), a dificuldade para qualquer aplicação está no controle da variabilidade das características físicas ou na presença de impurezas e contaminantes. As normas não garantem a homogeneidade dos agregados reciclados, nem sua aceitação no mercado. O custo do controle de qualidade é baixo e precisa ser implantado com o intuito de se reduzir a variabilidade e de melhorar a qualidade e a confiabilidade do produto.

Para Angulo (2005), Miranda, Angulo e Careli (2009), existe uma grande variedade de técnicas que podem ser utilizadas para melhorar a qualidade do agregado reciclado, como *scrubber*, dosador de agregados, classificadores pneumáticos e jigsawes, que podem reduzir as proporções de finos e de materiais orgânicos e leves (ou porosos), melhorando a qualidade do agregado reciclado.

A principal aplicação do agregado reciclado é o uso em pavimentação ou aplicações geotécnicas, que requerem propriedades mecânicas menos exigentes, também em argamassas e concretos, entretanto, usinas européias e japonesas investem na melhoria do agregado reciclado para aplicações em concretos estruturais (ULSEN, 2011).

Segundo Melo (2011) as diretrizes internacionais para a produção do agregado reciclado estão voltadas para a relação de igualdade entre os requisitos técnicos e comercialização dentre os produtos naturais e reciclados, incentivando a certificação dos produtos e a paridade entre os componentes (reciclados ou naturais). O esforço é normalizar a proporção de agregado reciclado a ser adicionada para uso, observando-se as condições de exposição do material impostas pelo ambiente. A recomendação está em observar a matéria prima (RCC) e o produto a comercializar.

2.3.6 Agregado Reciclado da Usina de Reciclagem de Resíduos de Rio Claro

A usina de reciclagem de resíduos Kata Entulho, localizada na cidade de Rio Claro/SP está instalada numa área de aproximadamente 12.000m². Foi projetada para gerar 180m³/dia de agregados reciclados e vem produzindo em média cerca de 100m³/dia (55% de sua capacidade).

A usina recebe, além do resíduo de construção civil de residências, o resíduo de concreteiras, ecopontos e empresas de marcenaria. Após o recebimento, o material é descarregado em área pré-estabelecida, onde ocorre a separação manual desses resíduos (restos de poda, ferro, papel, plástico, madeira e outros materiais que não sejam de frações recicláveis, possíveis de serem vistas pelos separadores).

Após o processo de separação, os materiais são encaminhados para a britagem (conjunto alimentador vibratório + britador de mandíbulas + correia transportadora). Em seguida, os agregados reciclados são transportados, pela correia, do britador ao peneirador mecânico, produzindo os agregados já fracionados.

Os agregados são classificados em três faixas granulométricas: areia (agregado miúdo), pedrisco e rachão (agregado graúdo).

Nas Figuras 1, 2, 3 e 4, observam-se, respectivamente: os resíduos de concreto separados, britagem, peneiramento e os agregados miúdos, produzidos na Usina de Reciclagem de Rio Claro.

Figura 1 - Resíduos de concreto separados na Usina de Reciclagem de Rio Claro.



Figura 2 - Britagem.



Figura 3 - Peneiramento.



Figura 4 - Agregados miúdos produzidos na Usina de Reciclagem de Rio Claro.



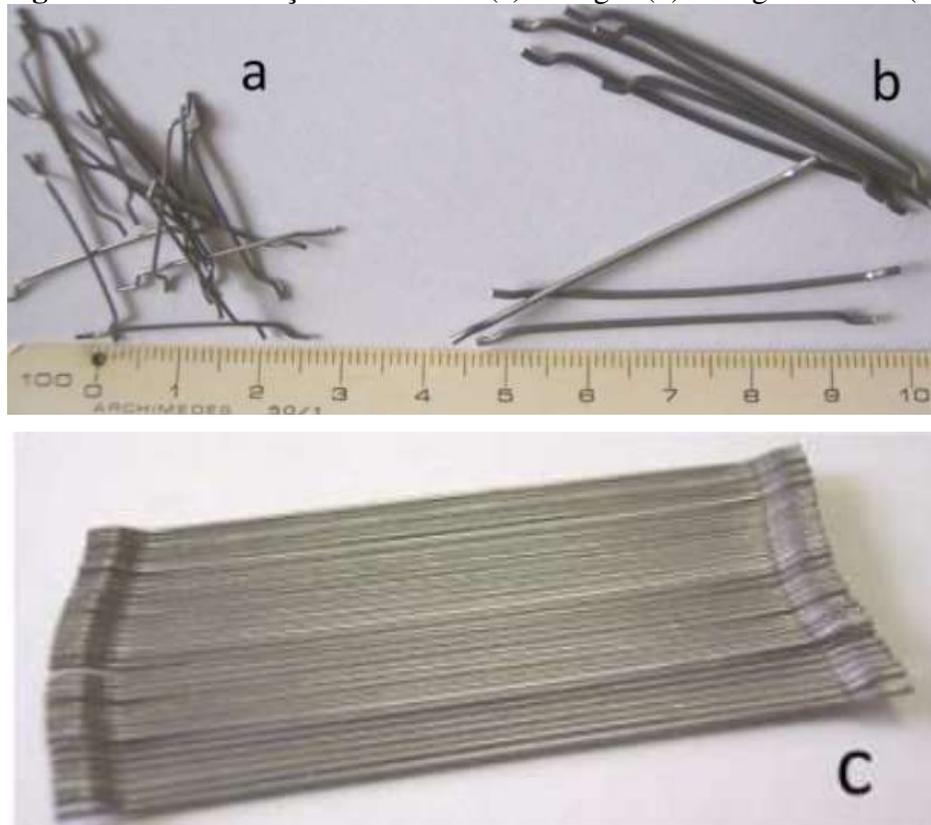
2.4 - Fibras de Aço

Segundo Figueiredo (2011) fibras são elementos descontínuos, cujo comprimento é bem maior que a maior dimensão da seção transversal.

Existem fibras de várias formas e tamanhos produzidas com aço, plástico, vidro e materiais naturais, entretanto para a maioria das peças estruturais e não estruturais, a fibra de aço é a mais utilizada dentre todas as fibras (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Seu comprimento pode variar de 25 mm (fibras curtas), ilustrada na Figura 5a, a 60 mm (fibras longas), ilustrada na Figura 5b. Podem ser fornecidas soltas (Figura 5a e 5b) ou coladas em pentes, (Figura 5c) o que facilita o processo de homogeneização do material (FIGUEIREDO, 2005).

Figura 5 - Fibras de aço soltas curtas (a) e longas (b) e longas coladas (c).



Fonte: FIGUEIREDO, 2005.

Segundo o mesmo autor, o módulo de elasticidade e a resistência mecânica são as duas propriedades mais importantes na definição da capacidade de reforço que a fibra pode proporcionar ao concreto. Assim, fibras que possuem alta resistência e alto módulo de elasticidade atuam como um reforço no concreto endurecido, podendo até substituir a armadura convencional em alguns casos (FIGUEIREDO, 2005).

O mercado de fibras de aço tem como principal aplicação os pavimentos industriais seguido do concreto projetado e os pré-moldados (FIGUEIREDO, 2011).

2.4.1 Normalização para Fibras de Aço

A ABNT NBR 15530:2007 - Fibras de aço para concreto – Especificações - estabelece parâmetros de classificação para as fibras de aço de baixo teor de carbono e define os requisitos mínimos de: forma geométrica, tolerâncias aos defeitos de fabricação, resistência à tração e dobramento das fibras. Esta norma é estabelecida apenas ao produto final, não enfatizando o desempenho da mesma quando adicionada ao concreto, pois isso depende do consumo de fibras e da resistência da matriz.

Segundo a ABNT NBR 15530:2007 estão previstos três tipos de fibras em função de sua conformação geométrica:

- Tipo A: fibra de aço com ancoragens nas extremidades;
- Tipo C: fibra de aço corrugada;
- Tipo R: fibra de aço reta.

A ABNT NBR 15530:2007 também prevê três classes para as fibras segundo o aço que deu origem:

- Classe I: fibra oriunda de arame trefilado a frio;
- Classe II: fibra oriunda de chapa laminada cortada a frio;
- Classe III: fibra oriunda de arame trefilado e escarificado.

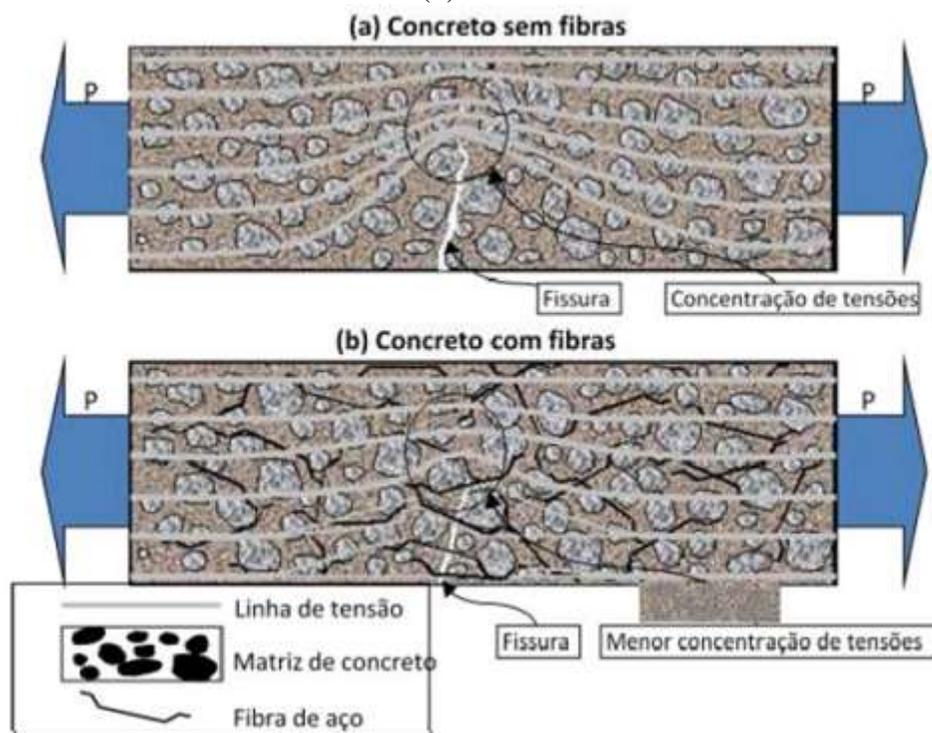
A ABNT NBR 15530:2007 também prescreve o fator de forma mínimo, sendo obtido através da relação entre o comprimento e o diâmetro equivalente da fibra. Em geral, quanto maior for o fator de forma da fibra, maior será a capacidade resistente após a fissuração do concreto (FIGUEIREDO, 2005).

2.4.2 Concreto com Fibras de Aço

O concreto reforçado com fibras é um material composto, também denominado de compósito. É constituído de duas fases distintas principais: o próprio concreto denominado matriz e a fibra.

Quando se adicionam fibras ao concreto, estas agem como pontes de transferência de tensões, minimizando a concentração de tensões nas extremidades da fissura. Com isso ocorre uma grande redução da velocidade de propagação das fissuras no concreto. Dessa forma, o concreto que tem um comportamento naturalmente frágil, passa a ter um comportamento pseudo-dúctil. Em outras palavras, apresenta certa capacidade resistente após a fissuração. Assim, com a utilização de fibras, poderá ser obtida uma menor fissuração do concreto (FIGUEIREDO, 2000; FIGUEIREDO, 2005; FIGUEIREDO, 2011). A Figura 6 ilustra o esquema de concentração de tensões para um concreto sem (a) e com reforço de fibras (b)

Figura 6 - Esquema de concentração de tensões para um concreto sem (a) e com reforço de fibras (b).



Fonte: Figueiredo, 2000 apud Figueiredo, 2011.

As maiores vantagens com o acréscimo de fibras no concreto são: o aumento da tenacidade e o aumento da resistência à tração (FIGUEIREDO, 2000).

A definição mais aceita atualmente interpreta tenacidade como a área sob a curva carga por deformação, que representa o trabalho dissipado no material até um certo nível de deformação. Tal valor é utilizado na avaliação dos compósitos e possui a desvantagem básica de depender das dimensões do corpo-de-prova, bem como do sistema de aplicação dos esforços (FIGUEIREDO, 2005).

O método de determinação da tenacidade mais empregado no Brasil, que também é o de concepção mais simples, é o ensaio prescrito pela Japan Society of Civil Engineers (JSCE-SF4) (FIGUEIREDO, 2005). Há também o método proposto pelo RILEM Technical Committee 50 – Frature Mechanics of Concrete (TC 50-FMC).

Algumas adversidades também podem ser observadas, como redução da trabalhabilidade do compósito no estado fresco (MEHTA e MONTEIRO, 2008), aparecimento dos chamados ouriços (bolas formadas por fibras aglomeradas) que quando incorporados no concreto produz uma redução do teor de fibras homogeneamente distribuído, como também um ponto fraco (poroso ao extremo), no local onde o mesmo se alojar (FIGUEIREDO, 2005).

Outras propriedades do concreto reforçado com fibras: resistência à compressão, fadiga e esforços dinâmicos e durabilidade.

2.4.3 Dosagem do Concreto com Fibras

O American Concrete Institute (ACI) 544 estabelece que o concreto reforçado com fibras de aço normalmente é especificado pela resistência e pelo teor de fibras. Normalmente, a resistência à flexão é especificada para aplicações de pavimentos (de 5 MPa a 7 MPa aos 28 dias) e resistência à compressão para aplicações estruturais (34 MPa a 48 MPa) (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Segundo Figueiredo (2005) para o concreto plástico simples, a dosagem do concreto com fibras deve iniciar-se com a determinação de um teor de argamassa adequado. O teor é significativamente superior ao do concreto simples, pelo fato da fibra ficar impregnada na argamassa do concreto. Quanto maior o consumo de fibras, maior será o teor de argamassa necessário para envolvê-las de maneira adequada. Além disso, o aumento da área de molhagem

exigirá um maior consumo de água para se obter o mesmo nível de abatimento de tronco de cone. Se não for esta a alternativa adotada, deve-se utilizar um aditivo plastificante, ou ainda aumentar o seu teor, caso já tenha sido utilizado o aditivo.

Pietra, Figueiredo e Bittencourt (2003) estudaram o efeito da adição de fibras em concretos com agregados convencionais e com agregados reciclados oriundos de resíduos de construção e demolição (RCD). Foi utilizado concreto de traço 1:2:3, relação água/cimento 0,5 e teores de fibras de 10, 20 e 40 Kg/m³. A principal conclusão foi que, para o concreto convencional, não houve alteração significativa de resistência à tração com a adição de fibras. Entretanto, para o concreto com agregados reciclados, com o aumento do teor de fibras, a tensão de ruptura se aproximou daquela obtida para o concreto convencional.

Olivito e Zuccarello (2010) investigaram o comportamento mecânico de concreto reforçado com fibras de aço com relação às variações tanto do formato quanto do comprimento. O teor de fibras em volume foi de 1% e 2%. Concluíram que há aumento de tenacidade e ductilidade quando o teor de fibras em volume aumenta e para o mesmo teor de fibra, quando o comprimento da fibra aumenta.

2.5 Pavimentos Intertravados com Blocos Pré-Moldados de Concreto

2.5.1 Sistema de Pavimento

O Sistema de Pavimento pode ser definido como um conjunto de componentes que interagem mutuamente. Os componentes deste sistema (revestimento, base, sub-base e subleito) são submetidos a fatores externos como tráfego, as operações de manutenção e as condições ambientais (DNIT, 2011).

2.5.2 Pavimento Intertravado

Segundo a ABNT NBR 9781:2013, pavimento intertravado é definido como pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base) seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justapostas em uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o

intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção. A Figura 7 ilustra a seção típica de um pavimento intertravado.

Figura 7 - Seção típica de um pavimento intertravado.



Fonte: SILVA e MARCHIONI, 2011.

Quando da execução do pavimento deverá ser cumprido às especificações da ABNT NBR 1598:2011 - Pavimento Intertravado com peças de concreto – Execução.

O processo de assentamento das peças, garante o intertravamento, característica principal do pavimento (Serafim, 2010), que é definida como a capacidade das peças de concreto de resistir a deslocamentos individuais, sejam eles verticais, horizontais, de rotação ou giração em relação às peças adjacentes (SILVA e MARCHIONI, 2011). A Figura 8 ilustra o deslocamento das peças de concreto.

Figura 8 - Deslocamentos das peças de concreto.



Fonte: ABCP, 2010.

2.5.3 Peças de Concreto

Segundo a ABNT NBR 9781:2013, o concreto utilizado nas peças deve ser constituído de cimento Portland, agregados e água, sendo permitido o uso de aditivos e pigmentos conforme requisitos abaixo:

- cimento Portland: pode ser de qualquer tipo e classe, devendo obedecer às ABNT NBR 5732:1991, ABNT NBR 5733:1991, ABNT NBR 5735:1991, ABNT NBR 5736:1999, ABNT NBR 11578:1997 e ABNT NBR 12989:1993;
- agregados: podem ser naturais, industriais ou reciclados, obedecendo a ABNT NBR 7211:2009 ou outras Normas Brasileiras pertinentes;
- água: deve atender à ABNT NBR 15900-1:2009;
- aditivos: devem atender à ABNT NBR 11768:2011;
- pigmentos: deve ser de base inorgânica e atender à ASTM C 979/C 979M.

Segundo Godinho (2009) o principal objetivo de estabelecer padrões de qualidade para materiais utilizados é garantir a durabilidade das peças pré-moldadas de concreto.

As peças são produzidas em diversos formatos, agrupadas por tipos, e segundo a ABNT NBR 9781:2013 devem atender aos seguintes requisitos quanto a dimensões e tolerâncias:

- dimensões: comprimento máximo de 250 mm, largura mínima de 97 mm na área da peça destinada à aplicação de carga no ensaio de resistência à compressão e espessura mínima de 60 mm, especificada em múltiplos de 20 mm.
- tolerâncias: a variação dimensional é de mais ou menos 3 mm, tanto para o comprimento, largura e espessura.

A falta de um controle dimensional das peças influencia o funcionamento do pavimento. Afeta o perfeito alinhamento horizontal das peças prejudicando o assentamento e a manutenção e as juntas não mais se encontram o que impede a execução do modelo escolhido para o assentamento (GODINHO, 2009).

A ABNT NBR 9781:2003 estipula que a resistência característica à compressão (f_{pk}) aos 28 dias das peças deve ser maior ou igual a 35 MPa para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha e deve ser maior ou igual a 50 MPa para tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados. Para Godinho (2009) as peças devem ter resistência suficiente para garantir seu manuseio durante a fabricação e

execução do pavimento, além de ter capacidade estrutural suficiente para resistir às ações do tráfego e quaisquer outras formas de utilização. É um dos ensaios mais requeridos.

Quanto a absorção de água a ABNT NBR 9781:2013 a amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7% .

Basicamente, a durabilidade da peça está relacionada à resistência à abrasão e à capacidade de suportar ciclos de gelo e degelo nos países de clima frio (GODINHO, 2009). A determinação da resistência à abrasão é facultativa. Para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, a cavidade máxima deve ser menor ou igual a 23 mm e para o tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuado deve ser menor ou igual a 20 mm (ABNT NBR 9781:2013).

A ABNT NBR 9781:2013 especifica que as peças constituintes do lote devem ser inspecionadas visualmente, objetivando a identificação de peças com defeitos que possam vir a prejudicar o assentamento, o desempenho estrutural ou a estética do pavimento.

A normatização para determinação da resistência à compressão, absorção de água, resistência à abrasão e avaliação dimensional estão inseridas em forma de Anexos A, B, C e D, respectivamente, na ABNT NBR 9781:2013.

2.5.4 Vantagens dos Pisos Intertravados

O piso intertravado com peças de concreto é de fácil execução. A manutenção é simples e dispensa mão-de-obra especializada, eventuais consertos são realizados com a fácil remoção e reaproveitamento das peças. A liberação ao tráfego é imediata, assim que o pavimento esteja assentado, além de outras vantagens como: capacidade estrutural, durabilidade, conforto térmico, economia de energia elétrica, permite a incorporação do sinal de alerta, a diversidade de cores e formatos contribui muito para a arquitetura do entorno, propicia a drenagem do pavimento, possibilitando infiltração de água no subsolo (ABCP, 2012a; ABCP, 2012b).

2.5.5 Pisos Intertravados com Sinalização Tátil

Vizioli (2006) concluiu que no levantamento feito nas calçadas é importante verificar as especificações de dureza e desgaste do material, embora alguns materiais possuem características estéticas, muitas vezes eles não são as melhores opções em termos de caminhabilidade.

Siscão (2011) por meio dos resultados do seu estudo, não foi possível afirmar conclusivamente que as leis não vêm sendo cumpridas, mas foi possível observar que as principais reclamações dos usuários, falta de manutenção e execução de baixa qualidade dos pisos das calçadas estão diretamente relacionados com o não cumprimento dos critérios legais, como por exemplo na cidade de São Paulo que prevê que os pisos devem ser regulares, anti-derrapantes e ofereçam segurança aos pedestres. Segundo a autora, no Brasil o Decreto Federal nº 5.296 de 02 de dezembro de 2004 e a norma ABNT NBR 9050:2004 são as maiores relevâncias sobre a acessibilidade físico-espacial.

Arias (2008) ao estudar a arquitetura como instrumento do projeto inclusivo: percepção do surdocego mostrou que o surdocego necessita de algumas pistas, principalmente táteis, que vão além das exigências da ABNT NBR 9050:2004. Verificou-se que alguns itens recomendados pela Norma e que foram executados nos espaços analisados, não representaram pistas de acessibilidade e alguns deles até constituíram elementos de insegurança aos usuários, dentre eles o revestimento da calçada com piso intertravado, indicando a importância de um estudo que reavalie o desempenho de materiais, assim como suas texturas e cores para que possam ser usados como pistas efetivamente funcionais.

Segundo a ABNT NBR 9050:2004 os pisos para circulação devem ter superfície regular, firme estável e antiderrapante sob qualquer condição, que não provoque trepidação em dispositivos com rodas (cadeiras de rodas ou carrinhos de bebê).

O piso intertravado, com sinalização tátil para confecção de calçadas, tem sido aprovado em diversos municípios brasileiros como por exemplo São Paulo, Londrina (SERAFIM, 2010).

Segundo a ABNT NBR 9050:2004, a sinalização tátil no piso pode ser do tipo de alerta ou direcional. Ambas devem ter cor contrastante com a do piso adjacente, e podem ser sobrepostas ou integradas ao piso existente, atendendo às seguintes condições:

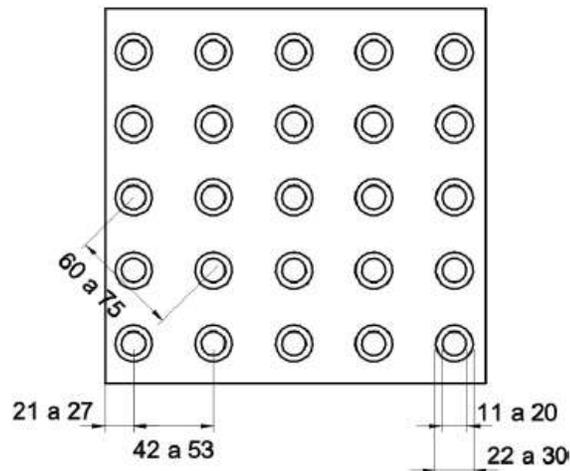
- quando sobrepostas, o desnível entre a superfície do piso existente e a superfície do piso implantado deve ser chanfrado e não exceder 2 mm;

- quando integradas, não deve haver desnível.

2.5.6 Piso Tátil de Alerta

A textura da sinalização tátil de alerta consiste em um conjunto de relevos tronco-cônicos com altura entre 3 e 5 mm, conforme Figura 9. A modulação do piso deve garantir a continuidade de textura e o padrão de informação (ABNT, 2004a). As dimensões do piso estão em milímetros.

Figura 9 - Sinalização tátil de alerta – Modulação do piso.



Fonte: ABNT 2004a.

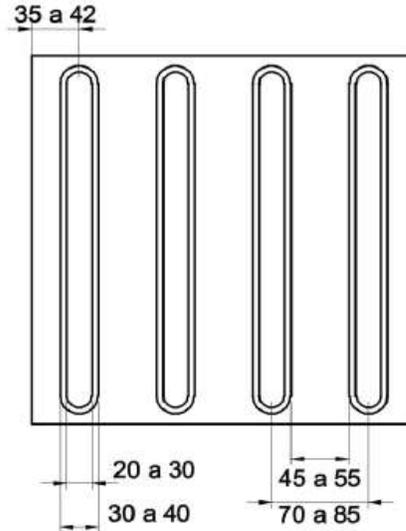
2.5.7 Piso Tátil Direcional

O piso tátil direcional deve ser utilizado quando da ausência ou descontinuidade de linha-guia identificável, como guia de caminhada em ambientes internos ou externos, ou quando houver caminhos preferenciais de circulação (ABNT, 2004a).

A sinalização tátil direcional deve, conforme a ABNT NBR 9050:2004 ter textura com seção trapezoidal, qualquer que seja o piso adjacente, ser instalada no sentido do deslocamento, ter largura entre 20cm e 60cm, ser cromodiferenciada em relação ao piso adjacente e quando este tiver textura, recomenda-se que a sinalização tátil direcional seja lisa. A altura do relevo deve estar entre 4 e 5 mm e quando em placas sobrepostas, a altura do relevo pode ser de 3 mm. A textura da sinalização tátil direcional consiste em relevos lineares, regularmente disposto,

conforme Figura 10. As dimensões do piso estão em milímetros.

Figura 10 - Sinalização tátil direcional – Modulação do piso.

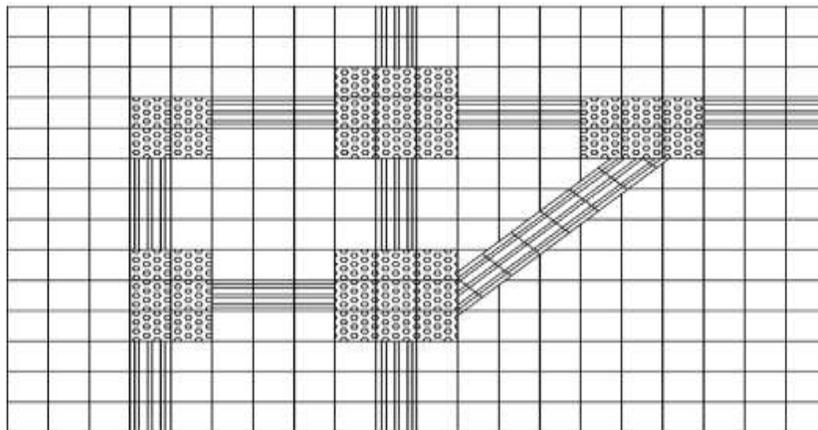


Fonte: ABNT, 2004a.

2.5.8 Composição da Sinalização Tátil de Alerta e Direcional

A composição dos pisos táteis, de alerta e direcional, oferece à pessoa com deficiência visual uma leitura total do espaço. No caso de mudança de direção, a junção do piso tátil de alerta indica o ponto de alteração no trajeto (SÃO PAULO, 2008). A Figura 11 exemplifica a composição dos dois pisos táteis.

Figura 11 - Composição de sinalização tátil de alerta e direcional.



Fonte: ABNT, 2004a

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo serão descritos os materiais e os métodos utilizados no trabalho experimental desta pesquisa.

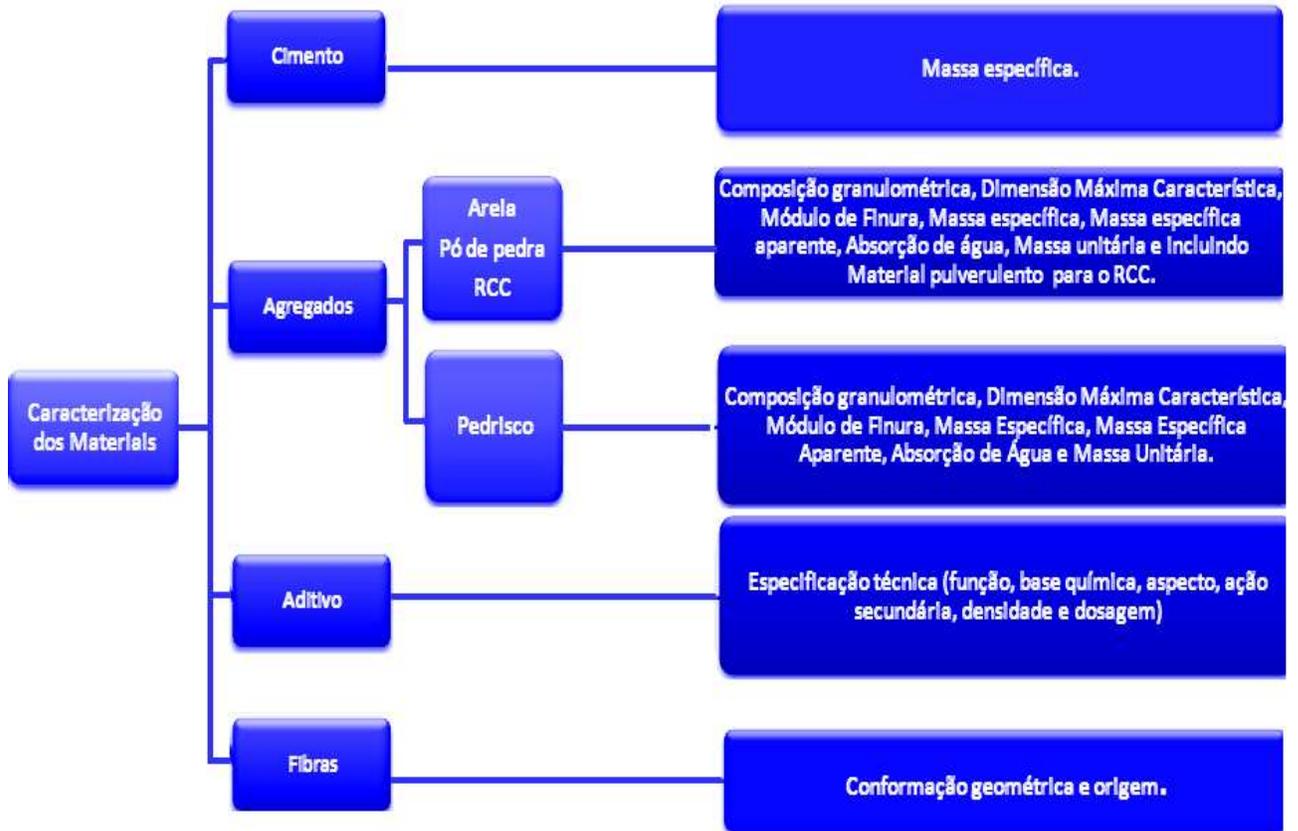
O planejamento do trabalho experimental foi dividido nas seguintes etapas: caracterização dos materiais de partida, estudo do traço para fabricação do concreto, moldagem dos pisos, ensaios mecânicos e análise de resultados, ilustradas no fluxograma da Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma das etapas do trabalho experimental.



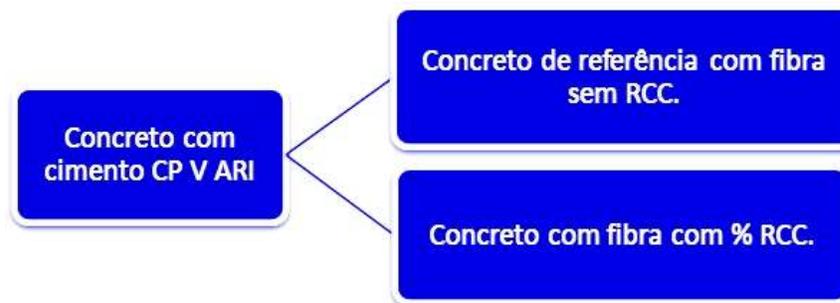
A Figura 13 representa o fluxograma da caracterização dos materiais cimento, agregados, aditivo e fibras utilizados na produção dos concretos em estudo.

Figura 13 - Fluxograma da caracterização dos materiais cimento, agregados, aditivo e fibras.



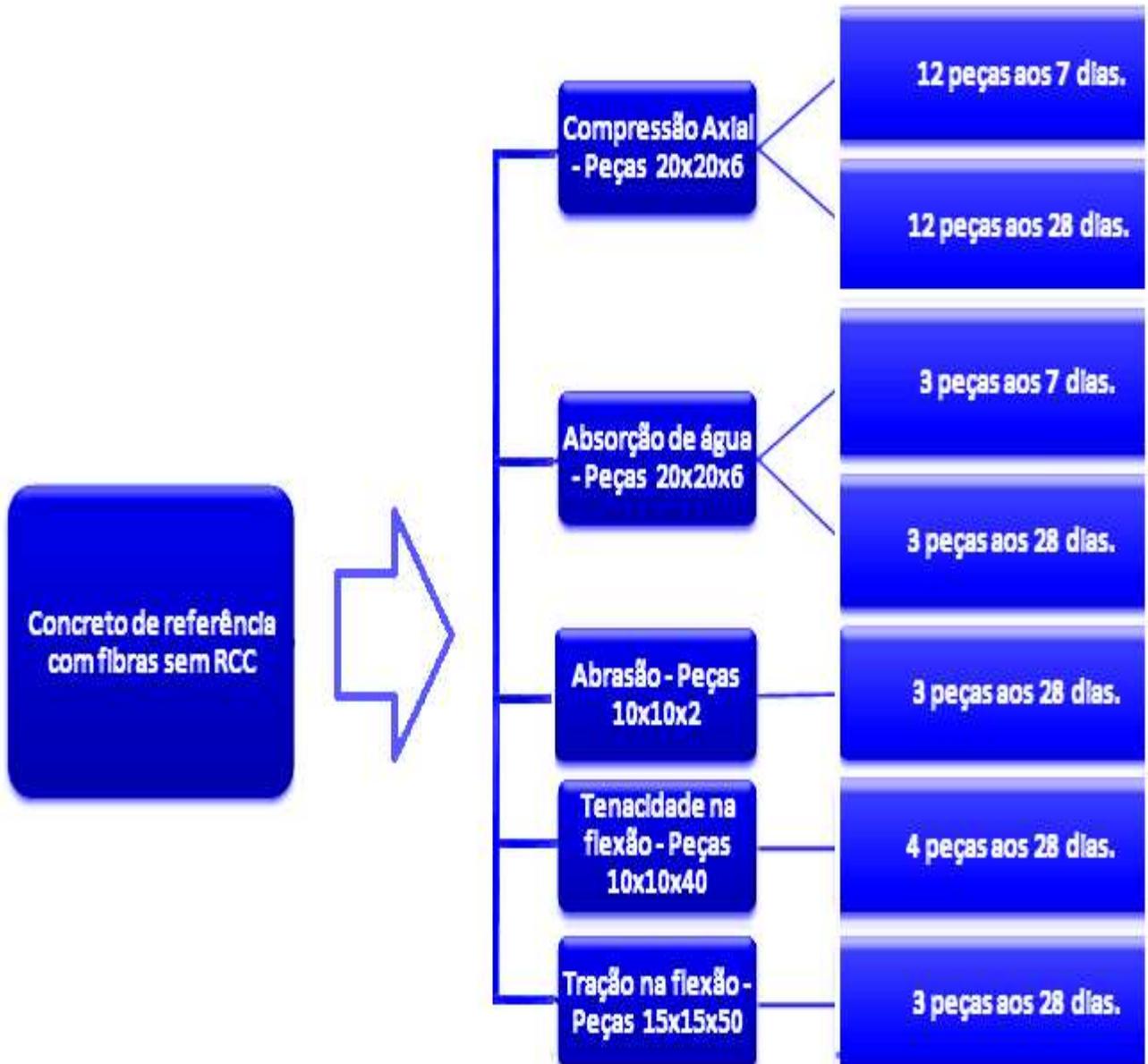
A Figura 14 representa o fluxograma dos tipos de concreto produzidos com cimento CP V ARI.

Figura 14 - Fluxograma dos tipos de concreto produzidos com cimento CP V ARI.



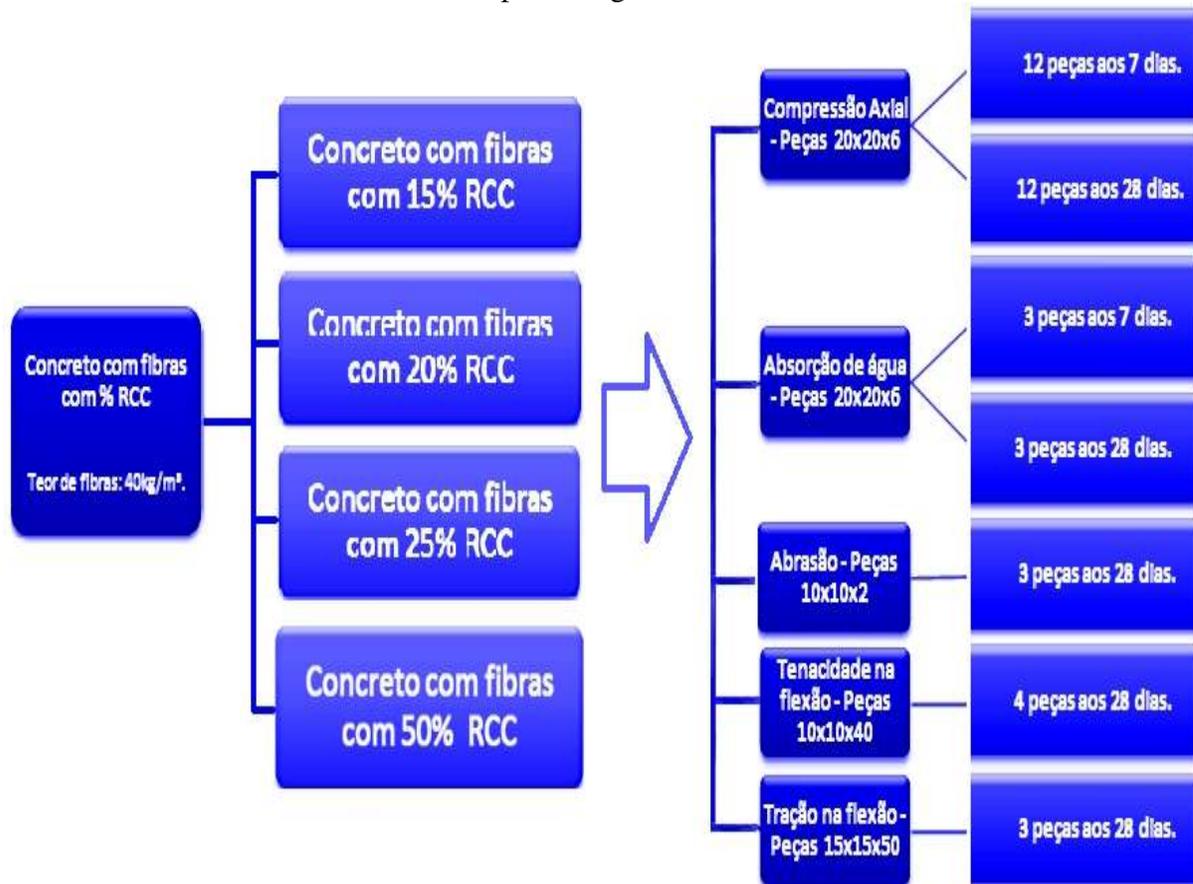
A Figura 15 representa o fluxograma de execução dos ensaios, quantidade e idade do concreto de referência com fibras sem RCC.

Figura 15 - Fluxograma de execução dos ensaios, quantidade e idade do concreto de referência com fibras sem RCC.



O fluxograma de execução dos ensaios, quantidade e idade do concreto com fibras com porcentagens de RCC, é apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Fluxograma de execução dos ensaios, quantidade e idade do concreto com fibras com porcentagens de RCC.



3.1 Materiais

Os materiais utilizados no trabalho experimental desta pesquisa foram caracterizados por meio de ensaios físicos, obedecendo às recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

3.1.1 Cimento Portland V ARI

O cimento utilizado foi o cimento Portland V – ARI, fabricado pela empresa Holcim, por atingir alta resistência inicial nas primeiras idades, fator esse que, para o traço de peças pré-moldados de concreto é essencial.

A massa específica do cimento foi determinada segundo a ABNT NBR NM 23:2001 – Cimento Portland e outros Materiais em Pó – Determinação da Massa Específica.

3.1.2 Agregados

Os agregados utilizados foram: areia quartzoza, pó de pedra proveniente da pedreira Cavinato, areia de RCC proveniente da Usina Kata Entulho e pedrisco, todos os materiais oriundos da região de Limeira.

Com o objetivo de estabelecer padrões para a produção de todos os concretos, os agregados foram caracterizados por meio da composição granulométrica (determinando-se a dimensão máxima característica do agregado, módulo de finura, curva de composição granulométrica e classificação do agregado), massa específica, massa específica aparente, absorção de água e massa unitária.

3.1.2.1 Composição Granulométrica

As composições granulométricas dos agregados foram determinadas segundo a ABNT NBR NM 248:2003 - Agregados – Determinação da Composição Granulométrica e caracterizados conforme ABNT NBR 7211:2009 – Agregados para concreto – Especificação.

A ABNT NBR 7211:2009 define dimensão máxima característica como grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa e define módulo de finura como sendo a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

Na Figura 17 observa-se o conjunto e agitador de peneiras utilizados no ensaio para a determinação da composição granulométrica dos agregados e na Figura 18 observa-se a massa retida individual de cada peneira para a areia reciclada.

Figura 17- Conjunto e agitador de peneiras.



Figura 18 - Massa retida individual em cada peneira (areia reciclada).



3.1.2.2 Massa Específica e Massa Específica Aparente

Após a verificação da granulometria, a massa específica e massa específica aparente dos agregados miúdos (areia, pó de pedra e areia reciclada) foram determinadas segundo a ABNT NBR NM 52:2009 – Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. A massa específica e massa específica aparente do agregado graúdo (pedrisco) foram determinadas segundo a ABNT NBR NM 53:2009 – Agregado graúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. A massa específica dos agregados é usada para cálculo de quantidades (consumo) de materiais utilizados para a produção do concreto.

A Figura 19 ilustra o processo de secagem superficial do agregado (areia reciclada) para determinação da massa específica e massa específica aparente.

Figura 19 - Processo de secagem superficial do agregado (areia reciclada).



3.1.2.3 Absorção de Água

A absorção de água dos agregados miúdos foram determinados segundo a ABNT NBR NM 30:2001 - Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. A absorção de água do agregado graúdo foi determinada segundo a ABNT NBR NM 53:2001 Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. O conhecimento da absorção de água é essencial devido às características físicas do agregado, para com ela corrigir a água na elaboração do traço do concreto.

3.1.2.4 Material Pulverulento

O excesso de finos na composição do agregado aumenta a exigência de água para uma mesma consistência, aumentando o fator água/cimento, portanto, diminuindo a resistência, além de alterar o volume do concreto. Para a areia reciclada foi determinada a porcentagem de material pulverulento segundo a ABNT NBR NM 46:2003.

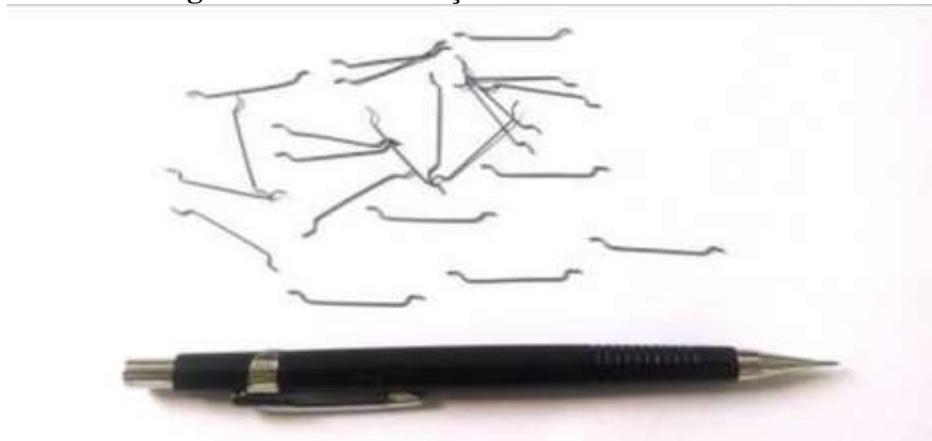
3.1.2.5 Massa Unitária

As massas unitárias dos agregados são utilizadas nas transformações dos traços em peso para volume e vice-versa, como também no cálculo do consumo do material empregado por metro cúbico de concreto. Para a areia, pó de pedra, areia reciclada e pedrisco foram determinadas a massa unitária segundo a ABNT NBR 45:2006.

3.1.3 Fibra

As fibras utilizadas de acordo com a ABNT NBR 15.530:2007 enquadram-se no tipo A e classe I, que corresponde ao catálogo da Dramix a RL 45/30 BN. São produzidas soltas, possuem fator de forma (l/d) igual a 45, comprimento de 30 mm, diâmetro de 0,62 mm, com 13.000 Fibras/kg e aço de baixo carbono. A dosagem mínima é de 30 kg/m³. Na Figura 20 observa-se a fibra de aço utilizada neste trabalho.

Figura 20 – Fibra de aço utilizada neste trabalho.



A adição de fibras na produção dos concretos altera a consistência e, conseqüentemente a sua trabalhabilidade. Dentre as fibras do catálogo da Dramix optou-se pela geometria que tivesse: o menor comprimento (30mm), pois segundo Figueiredo (2005), fibras mais longas contribuem para a redução da perda de mobilidade da mistura por dificultar a movimentação das partículas de maiores dimensões, como é o caso dos agregados. Também, pela espessura máxima dos pisos (60 mm). E dentre as de menor comprimento, a que tivesse menor diâmetro, pois, Segundo Figueiredo (2005), quanto menor for o diâmetro da fibra, maior será a influência de sua incorporação na perda de fluidez da mistura.

3.1.4 Aditivo

O aditivo empregado foi o Glenium® 51. Conforme especificações técnicas do fabricante possui a função de aditivo superplastificante de terceira geração para concreto. Densidade 1,067 a 1,107 g/cm³ e dosagem de 02 a 1% sobre o peso de cimento.

A dosagem 1% utilizada na preparação do concreto foi definida, inicialmente, por meio de ensaio experimental realizado no Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade de Tecnologia – UNICAMP.

3.1.5 Água

Para preparação do concreto foi utilizada água proveniente da rede pública de abastecimento da cidade de Limeira.

3.2 Estudo do Traço

O traço é a indicação correta das proporções entre os materiais a serem empregados na confecção do concreto (FERNANDES, 2012), com o objetivo de obter característica mínima de consistência, resistência e durabilidade, de maneira mais econômica (NEVILLE, 1982). Pode ser expresso em massa ou volume.

A ABNT NBR 9781:2013 prescreve para peças de concreto para pavimentação intertravada que a resistência característica à compressão aos 28 dias deve ser de, no mínimo, 35 MPa, quando houver tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha e de, no mínimo, 50 MPa para tráfego de veículos especiais.

Cruz (2003) ao estudar a dosagem de peças pré-moldados de concreto (PPC), pisos intertravados para moldagem em vibroprensas, utilizou valores de módulo de finura do concreto (MFC) de 2,8+/-0,2 e 3,0+/-0,2. Para cada valor de MFC foram considerados dois valores de umidade (U) de 5,0+/-1,0% e de 7,0+/-1,0%, medidas no momento da moldagem das PPC. Para cada caso foram feitos 4 traços (1:3,0, 1:4,5, 1:6,0 e 1:7,5) onde foram variados os consumos de cimento (550, 420, 330 e 270 Kg/m³, respectivamente). O autor concluiu que: nas análises de resistência à compressão, tomou-se como referência a família de traços de MFC=2,8 e U=7,0%

por ter sido a que apresentou os melhores resultados relativos dentre todas as famílias de traços estudados e na moldagem, os pisos com consumo de cimento de 420 Kg/m³ (traço=1:4,5) apresentaram maiores valores de resistência (44,6 MPa - cura em câmara, 43,8 MPa – cura em câmara 24 horas lonado e 36,9 MPa – cura ambiente natural).

Nesta pesquisa, com base na revisão bibliográfica, buscou-se um traço visando uma resistência à compressão de, no mínimo, 50 MPa (alta resistência), superior ao exigido pela ABNT NBR 9781:2013, de no mínimo 35 MPa para pavimentos sujeitos a solicitações de tráfego de pedestres (pisos táteis) pois, com a adição dos RCC ao concreto, os resultados encontrados para a resistência são menores. Também, aplicando os conceitos de adição de fibras na mistura, a condição de consistência será alterada e conseqüentemente reduzindo a trabalhabilidade, prejudicando a compactação.

Sendo assim, adotou-se o traço experimental em massa para o concreto sem fibras, apresentado na Tabela 5, pois segundo Fernandes (2012) da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, essa dosagem sugerida é usualmente empregada na produção de artefatos de concreto vibroprensados e utilizado na produção de pisos intertravados, alcançando resistência de 50 MPa, atingindo, portanto, a resistência desejada.

Tabela 5 - Traço adotado.

MATERIAIS	TRAÇO (proporção em massa)
Cimento	1
Areia	0,77
Pó de pedra	2,33
Pedrisco	1,11
Relação a/c	0,43

Para a mistura, utilizou-se o traço 1:0,77:2,33:1,11:0,43, 1% de aditivo superplastificante sobre a massa do cimento e o consumo de cimento foi de 431,00 kg/m³.

Após a mistura, com o concreto fresco (Figura 21) foi realizado o ensaio de consistência de acordo com a ABNT NBR 67:1998 Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, determinando o valor do abatimento de 30 mm, que resultou em uma mistura firme, ideal para moldagem, conforme ilustra a Figura 22.

Figura 21 - Concreto fresco produzido.



Figura 22 - Abatimento do tronco de cone com fator $a/c = 0,43$.



A idéia da produção de concretos sem fibras é verificar se o traço estudado em laboratório com uso de aditivo a 1% sobre a massa do cimento e o fator água/cimento de 0,43 propiciasse condições de moldagem, trabalhabilidade, utilizando o equipamento mesa vibratória para adensamento e compactação, pensando que para concreto com adição de fibras, como citado anteriormente, a consistência será alterada e conseqüentemente reduzindo a trabalhabilidade. Também, segundo Figueiredo (2000), as maiores vantagens com o acréscimo de fibras no concreto são: o aumento da tenacidade e o aumento da resistência à tração.

Portanto, a partir desta dosagem experimental, foi definida a composição em massa do concreto referência com 40 Kg/m³ de fibras de aço (sem RCC) em 1: 0,77: 2,33: 1,11 (cimento, concreto areia, pó de pedra e pedrisco) com uma relação água/cimento de 0,43 e com a adição de

1% de aditivo superplastificante sobre a massa do cimento.

A dosagem de 40 kg/m³ (0,5%) de adição de fibras de aço é devido este valor ser usualmente empregado para concretos utilizados em pavimento. Segundo Mehta e Monteiro (2008) a baixa fração volumétrica (<1%) é utilizada para reduzir fissuração por retração, usada em lajes e pavimentos com grande superfícies expostas, dentre outras vantagens.

A partir do concreto referência, foram produzidos outros quatro traços com adição de resíduos de construção civil – RCC nas proporções de 15%, 20%, 25% e 50%, em substituição da massa do agregado miúdo (areia).

3.3 Produção dos Concretos

Os procedimentos para produção dos concretos foram realizados conforme o disposto na ABNT NBR 5738:2003.

Para a produção dos concretos com fibras foi obedecida a seguinte sequência: pesagem dos materiais, utilização de betoneira com capacidade de mistura de 220 litros e moldagem dos pisos, corpos-de-prova e placas. Na Figura 23 observam-se os materiais: (a) separados e pesados; (b) fibras de aço utilizadas e (c) RCC utilizado e na Figura 24 observa-se a betoneira utilizada para a mistura dos componentes do concreto.

Figura 23 – Materiais: a) separados e pesados; b) fibras de aço e c) RCC.



Figura 24 – Betoneira utilizada para a mistura dos componentes do concreto.



Os materiais adicionados na betoneira (com cuba e pás umedecidas) seguiram a seguinte sequência: foi adicionado cuidadosamente o agregado graúdo (pedrisco) sem que houvesse perda do material pulverulento, em seguida foram adicionados a água (com reserva de 01 litro) e cimento. Num intervalo de 01 minuto os componentes foram misturados e em seguida foram adicionados o superplastificante (com 01 litro da água reservada), areia, areia reciclada úmida (no caso com adições) e pó de pedra, misturando-se por mais dois minutos.

Passado esta etapa, com o auxílio de uma colher de pedreiro foi feita a raspagem dos materiais aderidos nas paredes da betoneira. Passados os dois minutos de mistura foram adicionados gradativamente as fibras para evitar a formação de ouriços (acúmulo isolado de fibras na mistura), completando um intervalo de tempo correspondente a 10 minutos.

Decorrido o tempo da mistura, o concreto foi descarregado em carriola previamente limpa e úmida, para em seguida e antes da moldagem determinar o índice de consistência do concreto através do ensaio de abatimento pelo tronco de cone conforme especificações da ABNT NBR NM 67:1998. Na Figura 25 observa-se o concreto fresco produzido.

Figura 25 – Concreto fresco produzido.



Na Figura 26 observam-se os equipamentos utilizados no ensaio de abatimento pelo método do tronco de cone: placa metálica de base, molde em forma de tronco de cone, haste, de socamento, régua metálica graduada e concha metálica para o enchimento do molde e na Figura 27 o ensaio de abatimento pelo método do tronco de cone.

Figura 26 – Equipamentos utilizados no ensaio de abatimento.



Figura 27 – Ensaio de abatimento pelo tronco de cone.



A etapa que antecede a moldagem é a lubrificação interna dos moldes com uma fina camada de óleo mineral. Esse procedimento foi necessário para não ocorrer fragmentação das peças na hora da desforma. Também, os moldes de aço e de madeira tiveram suas juntas vedadas com uma mistura de cera virgem e óleo mineral para evitar vazamentos. Na Figura 28 observam-se os moldes lubrificados antes de receberem o concreto.

Figura 28 – Moldes lubrificados.



3.3.1 Moldagem e Cura das Peças

Para cada traço foram moldados, manualmente, 30 (trinta) pisos (200x200x60 mm) em formas, sendo 24 (vinte e quatro) pisos para rompimento nas idades de 7 e 28 dias para os ensaios de resistência à compressão axial e 03 (três) pisos para o ensaio de absorção de água aos 7 e 28 dias. Também foram moldados manualmente 03 (três) placas 100x100x20mm para rompimento aos 28 dias para o ensaio de resistência à abrasão profunda, que com auxílio de uma mesa vibratória permaneceram vibrando durante 2 minutos.

Também, para cada traço, foram moldados 4 (quatro) corpos-de-prova prismáticos 100x100x400 mm para rompimento aos 28 dias para o ensaio de tenacidade e 3 (três) corpos-de-prova prismáticos (150x150x500 mm) para rompimento aos 28 dias para o ensaio de resistência à tração na flexão que foram preenchidos manualmente com concreto, com o auxílio de vibrador de imersão. Após o adensamento do concreto, as superfícies das formas foram alisadas com colher de pedreiro. Na Figura 29 observa-se a moldagem das peças.

Figura 29 – Moldagem das peças.

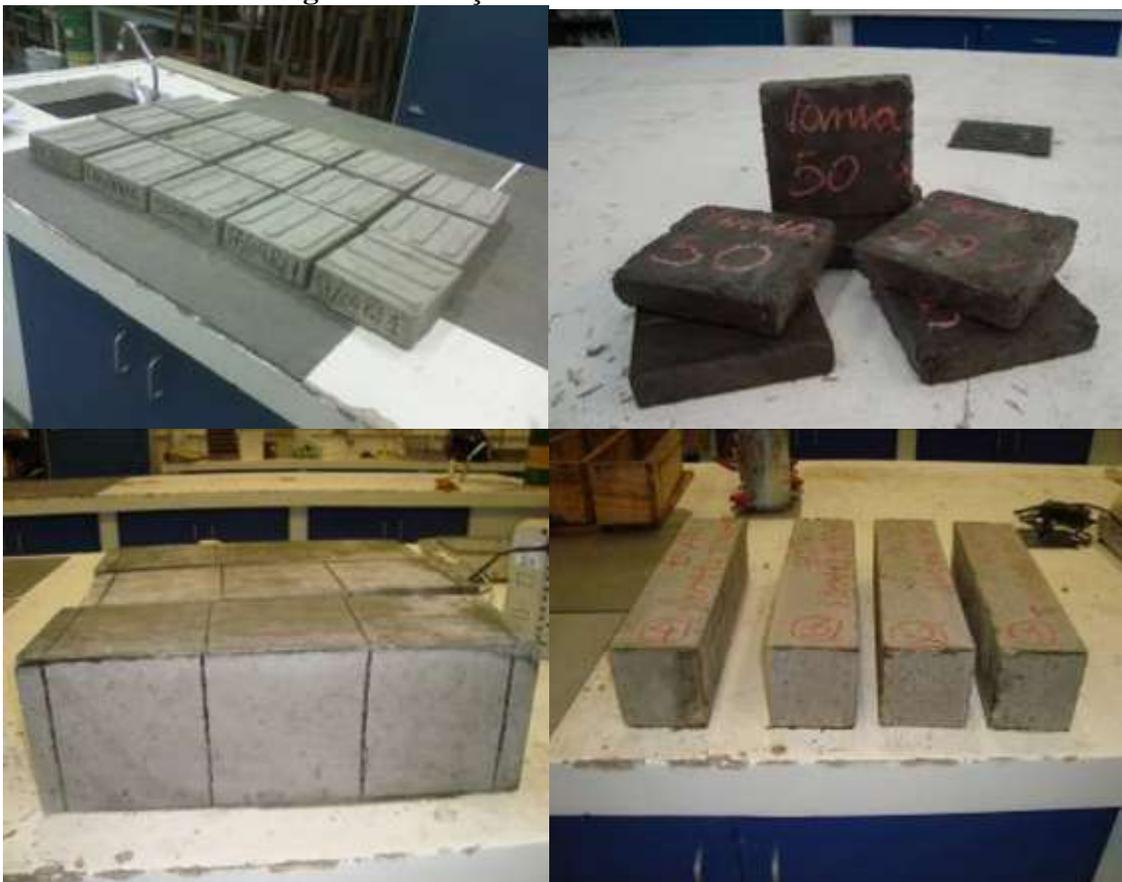


Em seguida, os pisos, os corpos-de-prova prismáticos e as placas, moldadas, foram acondicionadas em câmara úmida e decorrido um período de 24 horas, foram retiradas dos moldes e identificadas. A moldagem e cura obedeceram a ABNT NBR 5738:2008. Na Figura 30 observam-se os pisos moldados acondicionados na câmara úmida e na Figura 31 os pisos, e corpos-de-prova retiradas dos moldes e identificadas.

Figura 30 – Pisos moldados acondicionados em câmara úmida.



Figura 31 – Peças retiradas dos moldes e identificadas.



Após a identificação de cada peça determinou-se as dimensões dos pisos conforme a ABNT NBR 9781:2013 e em seguida, todas as peças foram submetidas ao processo de cura por imersão até as idades de realização dos ensaios. Na Figura 32 observa-se a determinação das dimensões dos pisos e na Figura 33 observam-se as peças em câmara úmida.

Figura 32 – Determinação das dimensões dos pisos.



Figura 33 – Peças em câmara úmida.



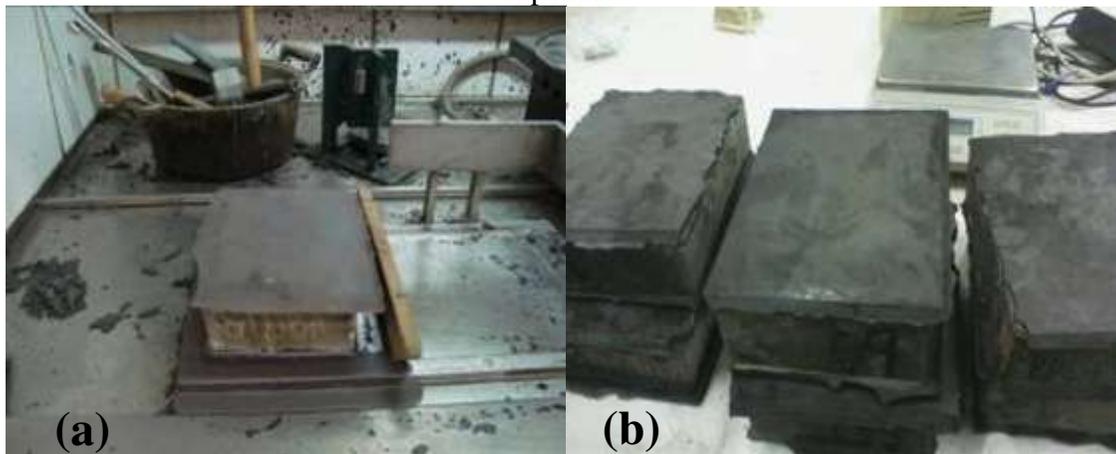
Após serem retirados da câmara úmida 24 horas antes do rompimento, os pisos tiveram suas larguras cortadas em 140 mm, com serra de disco conforme Figura 34, pois de acordo com a ABNT NBR 9781:2013, para o ensaio de resistência à compressão a largura da peça não pode exceder a esse limite.

Figura 34 – Amostras de pisos com dimensões: a) antes de serem cortados; b) pisos cortados.



Em seguida, os pisos tiveram sua face inferior e superior capeadas com uma mistura de 75% de enxofre e 25% de caulim com a finalidade de regularização das superfícies de carregamento. Após o capeamento, os pisos foram conservados em câmara úmida até o momento do rompimento. Na Figura 35 observa-se o processo de capeamento dos pisos.

Figura 35 – Pisos após serem retirados da câmara úmida: (a) processo de capeamento; (b) pisos capeados.



3.3.2 Determinação da Resistência à Compressão Axial

A resistência à compressão axial dos pisos foi determinada conforme as especificações da ABNT NBR 9781:2013.

Para a execução dos ensaios utilizou-se uma prensa hidráulica calibrada, com capacidade de carga de 120 toneladas, do Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade de Tecnologia – UNICAMP.

No ensaio, os pisos foram colocados na prensa e alinhados de forma que o seu centro de gravidade ficasse rigorosamente alinhado com o centro de carga dos cilindros de aço superior e inferior, ambos com diâmetro de $90 \pm 0,5$ mm e receberam a aplicação de carga de compressão a uma velocidade de 0,5 MPa/s.

A resistência à compressão axial de cada piso foi calculada em MPa dividindo-se a carga total aplicada até o momento de sua ruptura pela área de carregamento, multiplicando-se o resultado por 0,95 (fator multiplicativo p, função da altura da peça).

Admite-se que as resistências à compressão obedeçam à distribuição normal, sendo o valor característico estimado pela Equação 1:

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

sendo:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n - 1}}$$

onde:

f_p = resistência média das peças, expressa em megapascais (MPa);

f_{pi} = resistência individual das peças, expressa em megapascais (MPa);

$f_{pk,est}$ = resistência característica estimada à compressão, expressa em megapascais (MPa);

n = número de peças da amostra;

s = desvio-padrão da amostra, expresso em megapascais (MPa);

t = coeficiente de Student (nível de confiança de 80%), em função do tamanho da amostra.

A Figura 36 ilustra o ensaio de resistência à compressão axial.

Figura 36 - Piso sendo ensaiado à compressão axial.



3.3.3 Determinação da Absorção de Água

O ensaio de absorção de água foi realizado com amostras de 3 pisos, de acordo com a ABNT NBR 9781:2013, para cada traço, aos 7 e 28 dias de idade. Esse ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade de Tecnologia – UNICAMP e os equipamentos utilizados no ensaio para a determinação da absorção de água foram uma balança calibrada com resolução de 0,1 g e uma estufa com temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

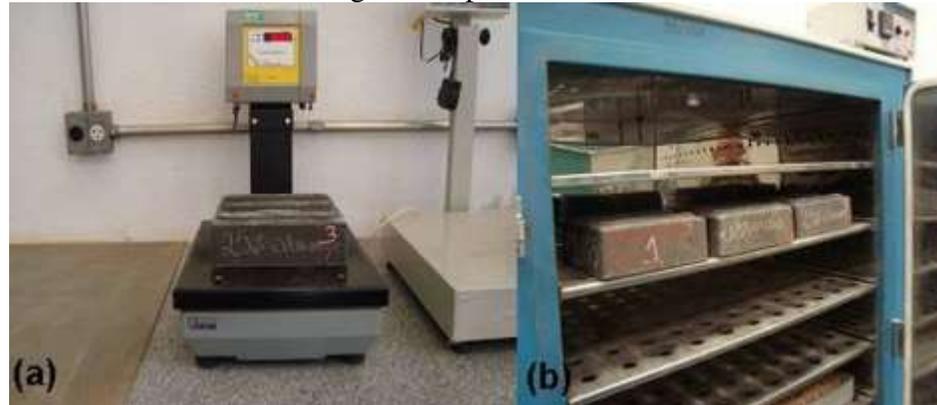
Após os pisos terem sido submetidos ao processo de cura por imersão, nas idades de realização dos ensaios cada peça, na condição de saturada com superfície seca, teve sua massa medida (M2) em balança de precisão digital. A seguir, foram colocados na estufa a $110 \pm 5^\circ\text{C}$, mantendo esta condição por 24 horas. Após este período, os pisos foram retirados da estufa e pesados individualmente na condição seco.

Esse procedimento repetiu-se a cada 2 h, até que em duas determinações sucessivas não registrou-se para cada piso diferença de massa superior a 0,5% em relação ao valor anterior, determinado-se, então a sua massa seca (M1).

A operação de pesagem e anotação do valor foi realizada de no máximo 10 minutos, com o corpo de prova fora da temperatura da estufa. De posse desses resultados, a absorção de cada piso foi determinada por meio da Equação 2 e na Figura 37 estão ilustrados o ensaio de absorção de água.

$$\text{Absorção (\%)} = (\text{Massa saturada} - \text{Massa seca}) \times 100 / \text{Massa seca} \quad (2)$$

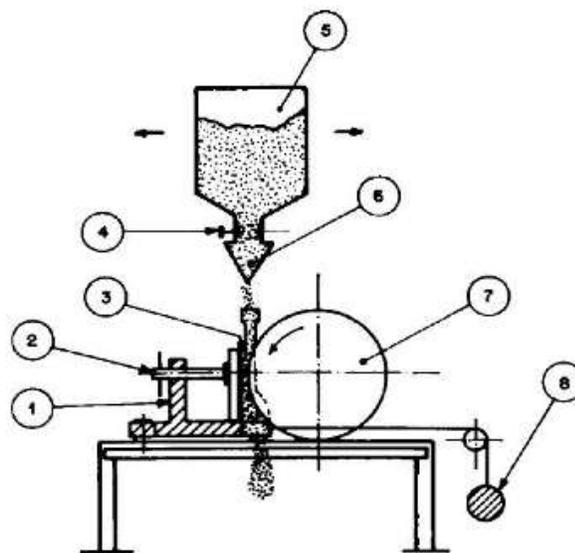
Figura 37 – Ensaio de absorção de água:(a) pesagem de cada piso na balança digital; (b) secagem dos pisos na estufa.



3.3.4 Determinação da Resistência à Abrasão

O ensaio de resistência à abrasão profunda das placas foi realizado de acordo com a ABNT NBR 13818:1997 – Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio. O dispositivo de abrasão, segundo esta norma, consiste essencialmente em um disco rotativo de aço, uma caixa de armazenagem de material abrasivo, um funil de escoamento para saída do material abrasivo, um suporte para o corpo-de-prova e um contrapeso, conforme indicado na Figura 38.

Figura 38 – Dispositivo para ensaio de resistência à abrasão profunda de placas cerâmicas não esmaltadas.



Fonte: ABNT NBR13818:1997

Legenda:

- 1 Suporte do corpo-de-prova
- 2 Parafuso de fixação
- 3 Corpo-de-prova
- 4 Válvulas
- 5 Caixa de armazenamento do material abrasivo
- 6 Funil de escoamento
- 7 Disco de aço
- 8 Contrapeso

Foram ensaiadas 3 placas com dimensões de 100 x 100 x 20 mm (comprimento x largura x espessura), para cada traço, aos 28 dias de idade. Para a execução dos ensaios utilizou-se um Abrasímetro CAP do Laboratório do Centro Cerâmico do Brasil – CCB, localizado no município de Santa Gertrudes, no estado de São Paulo. A Figura 39 mostra o equipamento utilizado para o ensaio de abrasão profunda.

Figura 39 – Equipamento utilizado no ensaio de resistência à abrasão profunda.



Antes do ensaio, as placas foram lavadas com água corrente e enxugadas com um pano úmido. No ensaio, a placa é colocada no equipamento de maneira que tangencie em relação ao disco rotativo. O disco de aço utilizado possui diâmetro de 200,20 mm e espessura de 10 mm. Na

sequência, o reservatório do equipamento é abastecido com material abrasivo (grãos de alumina, grana F 80), de modo que o fluxo seja pelo menos $(100 \pm 0,05)$ g a cada (100 ± 5) rotações do disco. Após, gira-se o disco de aço a (75 ± 5) rpm a 150 revoluções e em seguida, remove-se a placa do equipamento e mede-se o comprimento da cavidade com um paquímetro de resolução de 0,1 mm. Cada placa foi ensaiada em 2 lugares (A e B).

A resistência à abrasão profunda é expressa em volume de material removido, em mm^3 , calculado pelo comprimento da cavidade C_{cav} , por meio da Equação 3:

$$V = \left(\frac{\pi x \alpha}{180} - \text{sen} \alpha \right) x \left(\frac{h x d^2}{8} \right) \quad (3)$$

sendo:

$$\frac{\text{sen} \alpha}{2} = \frac{C_{\text{cav}}}{d}$$

onde:

V = volume de material removido, em mm^3 ;

α = ângulo correspondente ao centro do disco até a cavidade;

C_{cav} = é o comprimento da cavidade da corda, em milímetros;

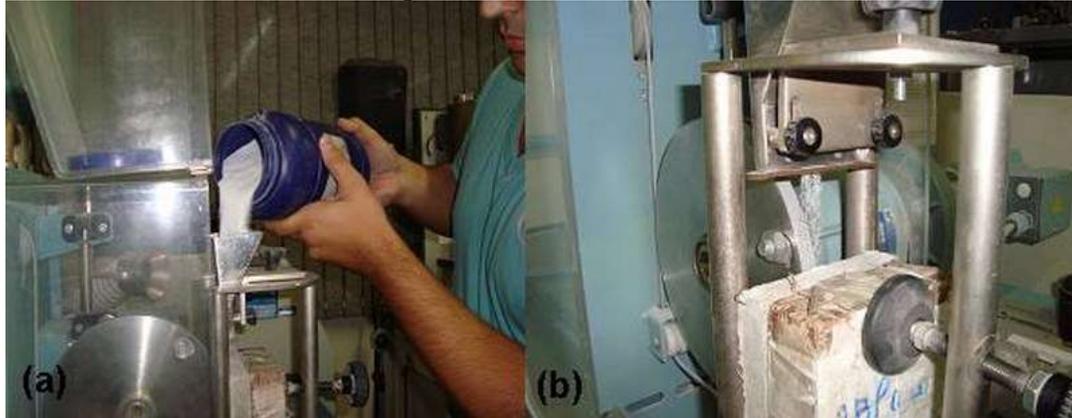
π = 3,14;

d = diâmetro do disco rotativo, em milímetros;

h = espessura do disco, em milímetros.

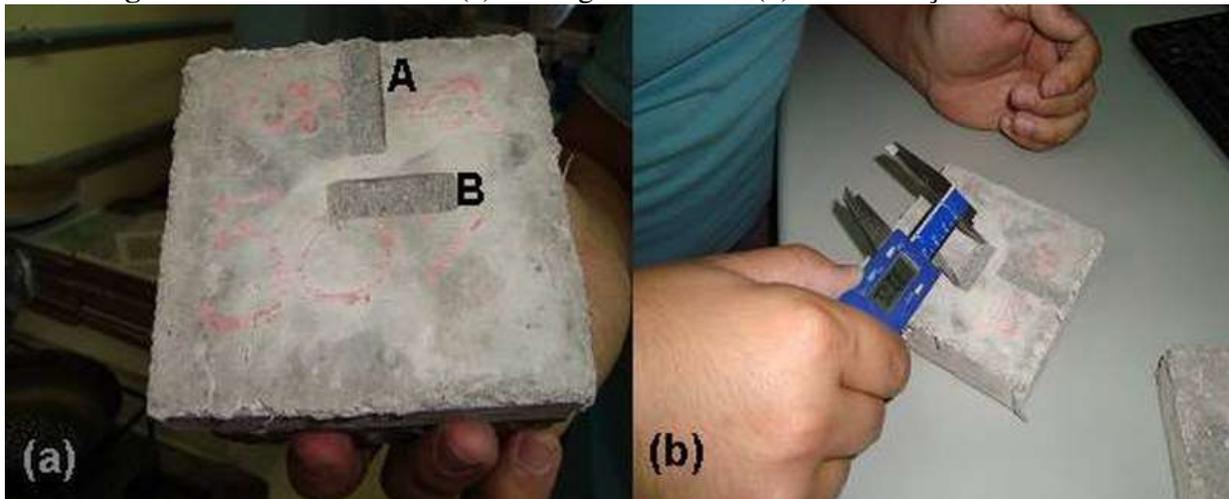
Segundo a ABNT NBR 13818:1997, quanto maior é o comprimento da cavidade da corda (C_{cav}), maior é o volume de material removido ($V_{\text{médio}}$), indicando menor resistência à abrasão profunda da peça. A Figura 40 ilustra o ensaio de resistência à abrasão profunda.

Figura 40 – Ensaio de resistência à abrasão profunda: (a) reservatório sendo abastecido e (b) placa sendo ensaiada.



Na Figura 41 observa-se a placa ensaiada nos dois lugares (posição A e posição B) e a determinação do comprimento de cada cavidade.

Figura 41 - Placa ensaiada: (a) nos lugares A e B e (b) determinação da cavidade.



3.3.5 Determinação da Tenacidade

Foram ensaiados no Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, quatro corpos-de-prova prismáticos, para cada traço, aos 28 dias. Na etapa que antecede o ensaio de tenacidade, os corpos-de-prova prismáticos tiveram suas faces talhadas conforme observa-se na Figura 42. Na Figura 43 observa-se o corpo-de-prova sendo ensaiado.

Sabe-se que a tenacidade de fratura, K_c , aumenta com o aumento do volume, da dimensão

máxima característica bem como da textura áspera do agregado e que a tenacidade diminui com o aumento da relação a/c e com o aumento do teor de ar, no concreto fresco.

O RILEM Technical Committee 50 – Fracture Mechanics of Concrete (TC 50-FMC) recomenda que as dimensões do corpo-de-prova de concreto estejam em função do diâmetro máximo do agregado utilizado, além de propor o cálculo da energia da fratura, G_f , baseado no modelo proposto por Hillerborg (1985). As dimensões dos corpos-de-prova prismáticos foram de 100 x 100 x 400 mm. Nesse comitê, a energia da fratura, G_f , é definida como a energia dissipada para a formação de uma unidade de superfície de fissura. O G_f é considerado um parâmetro de resistência do material e deve ser obtida a partir da área sob a curva do gráfico tensão – deformação de um corpo-de-prova solicitado à tração axial. A área a ser analisada nesse gráfico é aquela onde ocorre o amolecimento, isto é, a área após o pico de tensão correspondente à resistência à tração do concreto.

O CEB Model Code 1990 recomenda determinar experimentalmente a energia da fratura segundo a Rilem TC-50 FMC. Quando não se dispõe de dados experimentais, o código modelo do CEB-FIB 1990 recomenda o uso da Equação 4:

$$G_f = G_{f0}(f_{cm}/f_{cm0})^{0.7} \text{ [Nm/mm}^2\text{]} \quad (4)$$

Sendo:

$f_{cm0} = 10 \text{ MPa}$;

f_{cm} = resistência à compressão (MPa);

G_{f0} é um coeficiente que depende da dimensão máxima característica do agregado d_{max} .

Figura 42 – Corpos-de-prova talhados.



Figura 43 – Corpos-de-prova sendo ensaiados.



3.3.6 Determinação da Resistência à Tração na Flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado de acordo com a ABNT NBR NBR 12142:2010 – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos-de-prova prismáticos, com uma amostra de 03 corpos-de-prova prismáticos (150x150x500 mm) para a idade de 28 dias para cada traço. Esse ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da Faculdade de Tecnologia – UNICAMP e o equipamento utilizado no ensaio é uma prensa hidráulica calibrada para ensaios mecânicos com capacidade de carga de 120 toneladas.

Com as linhas traçadas nas faces de rasamento e oposta (face correspondente ao fundo da forma) para facilitar a centralização do corpo-de-prova no dispositivo de carregamento, o corpo-de-prova foi colocado na prensa e posicionado com a face de rasamento na posição lateral. Essa face é denominada de largura média do corpo-de-prova na seção de ruptura (b).

A seguir, foi aplicada a carga continuamente, sem choque, a uma velocidade de 0.9 a 1.2 MPa/min, até a ruptura. O corpo-de-prova foi retirado da prensa e com um paquímetro com aproximação de 0,1mm determinou-se, na seção de ruptura, a altura e a largura média (média de três determinações) do corpo-de-prova.

Assim, como a ruptura ocorreu no terço médio da distância dentre os elementos de apoio, a resistência à tração na flexão foi determinada pela Equação 5. Na Figura 44 estão ilustrados o ensaio de resistência à tração na flexão.

$$f_{ctf} = F \cdot l / b \cdot d^2 \quad (5)$$

Onde:

f_{ctf} = resistência à tração na flexão, em MPa;

F = carga máxima obtida no ensaio (N);

l = dimensão do vão entre apoios, em mm;

b = largura média do corpo-de-prova na seção de ruptura, em mm;

d = altura média do corpo-de-prova na seção de ruptura, em mm.



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos materiais utilizados na produção dos concretos e, a seguir, os resultados obtidos nos ensaios de abatimento, de resistência à compressão axial, de absorção de água, abrasão, tenacidade e tração na flexão. O objetivo é avaliar a influência dos RCC nos concretos com fibras de aço produzidos com agregados reciclados miúdo.

4.1 Caracterização dos Materiais

4.1.1 Cimento Portland V ARI

Os resultados da determinação da massa específica do cimento, conforme a ABNT NBR NM 23:2001 estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultado determinação da massa específica do cimento ABNT NBR NM 23:2001.

Amostra (Nº)	Massa da Amostra M (g)	Leitura Inicial V'1 (cm ³)	Leitura Final V'2 (cm ³)	VOLUME Deslocado (V) (cm ³)	Massa Específica γ (g/cm ³)
01	60	0,5	19,8	19,3	3,11
02	60	0,5	19,8	19,3	3,11
Média			$\gamma = 3,11$ (g/cm³)		

4.1.2 Agregados

4.1.2.1 Composição Granulométrica

Os resultados das composições dos agregados areia, pó de pedra, areia reciclada e pedrisco encontram-se nas Tabelas 7, 8, 9 e 10 respectivamente e as Figuras 45, 46, 47 e 48 ilustram as curvas granulométricas dos agregados areia, pó de pedra, areia reciclada e pedrisco, respectivamente.

Tabela 7 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica ABNT NBR NM 248:2003 (areia).

Peneiras (mm)	Material Retido (g)		Porcentagens retidas, em massa					
			Individuais (%)			Acumuladas (%)		
	M1	M2	M1	M2	Média	M1	M2	Média
9,5	0,00	0,00	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0
6,3	1,36	0,99	0,3	0,2	0	0,3	0,2	0
4,8	1,79	1,57	0,4	0,3	0	0,7	0,5	1
2,4	13,09	12,44	2,8	2,7	3	3,5	3,2	3
1,2	46,27	39,42	9,9	8,6	9	13,4	11,8	13
0,6	64,90	63,88	13,9	13,9	14	27,3	25,7	27
0,3	59,84	59,36	12,8	12,9	13	40,1	38,6	39
0,15	171,55	180,59	36,6	39,2	38	76,7	77,8	77
Fundo	108,72	102,32	23,3	22,2	23	100,0	100,0	100
Totais	467,52	460,57	100,0	100,0	100			

Dimensão Máxima Característica: 2,4mm

Módulo de Finura: 1,60

Classificação do Agregado: Aproximou-se da Zona Utilizável Inferior

Figura 45 - Curva do agregado miúdo, referente à Tabela 7 /zona utilizável inferior (areia).

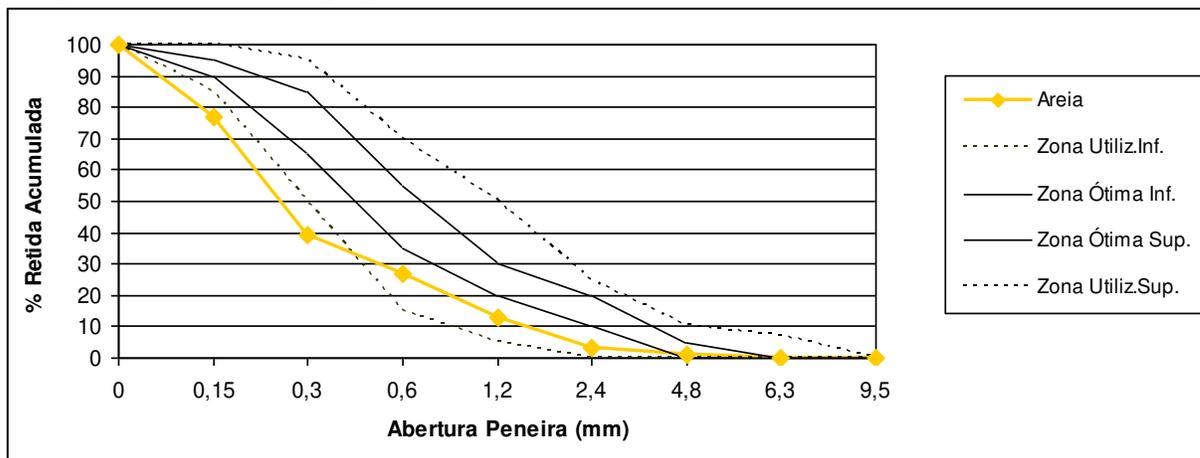


Tabela 8 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica ABNT NBR NM 248:2013 (pó de pedra).

Peneiras (mm)	Material Retido (g)		Porcentagens retidas, em massa					
			Individuais (%)			Acumuladas (%)		
	M1	M2	M1	M2	Média	M1	M2	Média
9,5	0,00	0,00	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0
6,3	0,62	0,06	0,1	0,0	0	0,1	0,0	0
4,8	1,94	2,54	0,4	0,5	0	0,5	0,5	1
2,4	99,30	100,89	20,7	21,7	21	21,2	22,2	22
1,2	137,06	129,70	28,7	28,0	29	49,9	50,2	50
0,6	86,56	84,60	18,1	18,2	18	68,0	68,4	68
0,3	54,08	50,30	11,3	10,8	11	79,3	79,2	79
0,15	38,50	35,80	8,0	7,7	8	87,3	86,9	87
Fundo	60,90	60,64	12,7	13,1	13	100,0	100,0	100
Totais	478,96	464,53	100,0	100	100			

Dimensão Máxima Característica: 4,8mm

Módulo de Finura: 3,07

Classificação do Agregado: Zona Utilizável Superior

Figura 46 – Curva do agregado miúdo, referente à Tabela 8 / zona utilizável superior (pó de pedra).

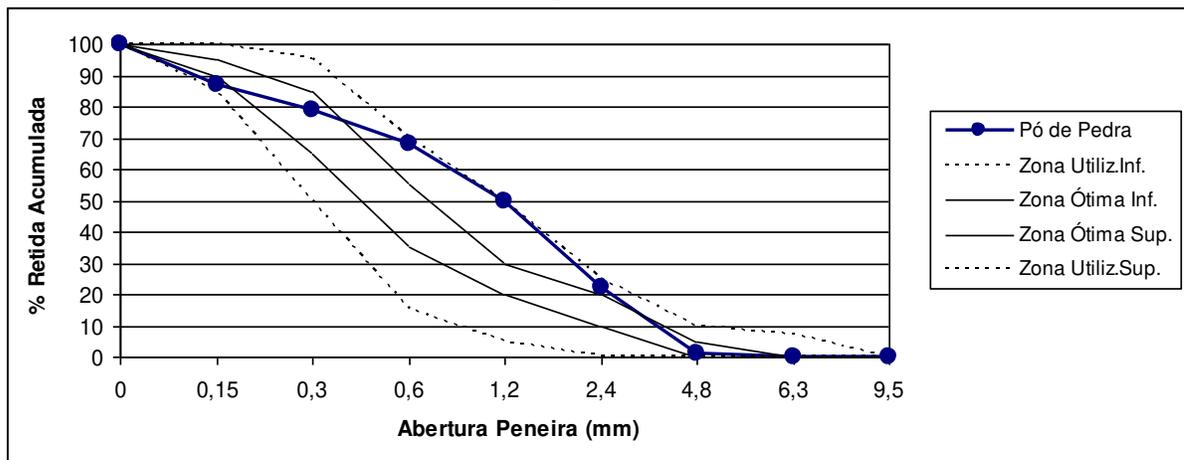


Tabela 9 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica ABNT NBR NM 248:2013 (areia reciclada).

Peneiras (mm)	Material Retido (g)		Porcentagens retidas, em massa					
			Individuais (%)			Acumuladas (%)		
	M1	M2	M1	M2	Média	M1	M2	Média
9,5	0,00	0,00	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0
6,3	0,00	0,00	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0
4,8	0,00	0,00	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0
2,4	29,45	33,78	8,4	9,5	9	8,4	9,5	9
1,2	59,07	60,20	16,8	16,9	17	25,2	26,4	26
0,6	52,28	48,77	14,8	13,7	14	40,0	40,1	40
0,3	113,03	113,81	32,1	31,9	32	72,0	72,0	72
0,15	63,16	64,78	17,9	18,2	18	90,2	90,2	90
Fundo	35,35	35,01	10,0	9,8	10	100,0	100,0	100
Totais	352,34	356,35	100,0	100,0	100			

Dimensão Máxima Característica: 4,8mm

Módulo de Finura: 2,37

Classificação do Agregado: Aproximou-se da Zona Ótima

Figura 47 - Curva do agregado miúdo, referente à Tabela 9 / zona ótima (areia reciclada).

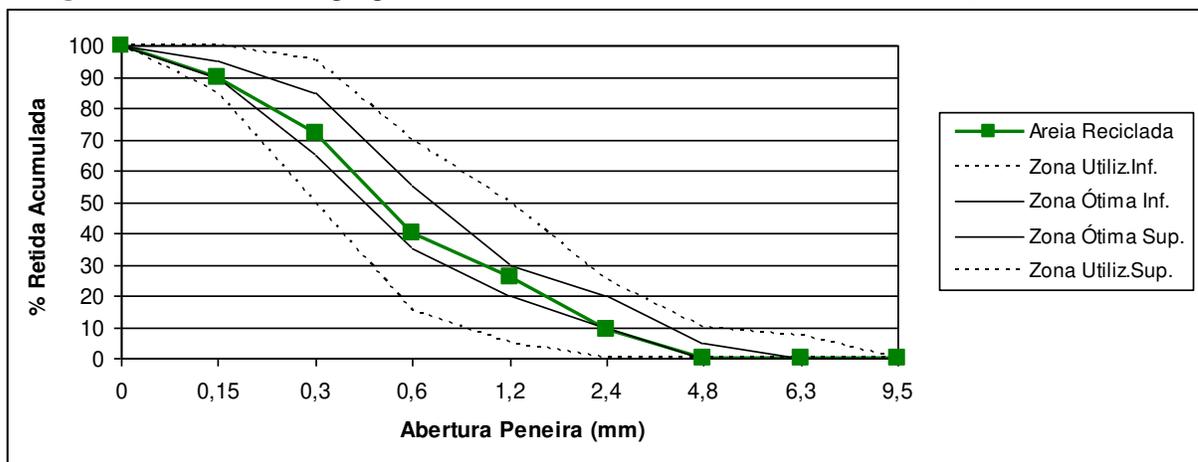


Tabela 10 – Agregados – Determinação da Composição Granulométrica ABNT NBR NM 248:2013 (pedrisco).

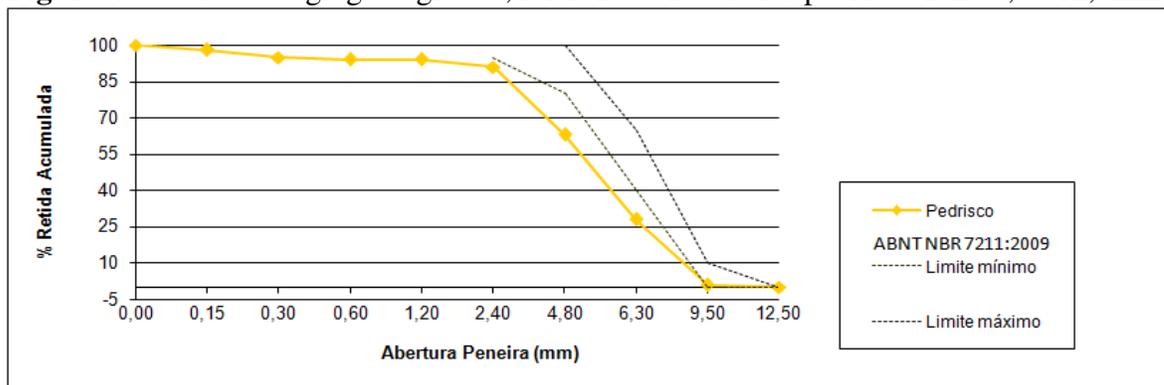
Peneiras (mm)	Material Retido (g)		Porcentagens retidas, em massa					
			Individuais (%)			Acumuladas (%)		
	M1	M2	M1	M2	Média	M1	M2	Média
12,5	6,88	6,51	0,4	0,4	0	0,4	0,4	0
9,5	22,63	13,68	1,2	0,8	1	1,6	1,2	1
6,3	480,29	492,06	25,0	28,3	27	26,6	29,5	28
4,8	693,00	575,50	36,0	33,1	34	62,6	62,6	63
2,4	545,40	496,60	28,4	28,6	29	91,0	91,2	91
1,2	48,71	42,46	2,5	2,4	2	93,5	93,6	94
0,6	12,04	10,88	0,6	0,6	1	94,1	94,2	94
0,3	9,45	8,4	0,5	0,5	1	94,6	94,7	95
0,15	55,17	49,97	2,9	2,9	3	97,5	97,6	98
Fundo	47,98	41,82	2,5	2,4	2	100,0	100,0	100
Totais	1921,53	1737,88	100,0	100,0	100			

Dimensão Máxima Característica: 9,5mm

Módulo de Finura: 5,36

Classificação do Agregado: Aproximou-se de Agregado Graúdo – Brita 0

Figura 48 - Curva do agregado graúdo, referente à Tabela 10/ pedrisco-zona 4,75/12,5mm.



4.1.2.2 Massa Específica e Massa Específica Aparente

Seguindo a metodologia da ABNT NBR NM 52:2009 e da ABNT NBR 53:2009 foram determinadas a massa específica e massa específica aparente para os agregados miúdos e para os agregado graúdos, respectivamente. Os resultados das determinações das massas específicas da areia, pó de pedra, areia reciclada e pedrisco encontram-se nas Tabelas 11, 12, 13 e 14, respectivamente.

Tabela 11 – Resultado da determinação da massa específica, massa específica aparente da areia ABNT NBR NM 52:2009.

Determinação N°	1	2
Massa Específica Aparente do Agregado Seco, em g/cm ³ (d1)	2,59	2,63
Massa Específica Aparente do Agregado Saturado Superfície Seca, em g/cm ³ (d2)	2,60	2,63
Massa Específica do Agregado em g/cm ³ (d3)	2,61	2,64
Média d1 (Aparente) em g/cm³	2,61	
Média d2 (Agregado Saturado Superfície Seca) em g/cm³	2,62	
Média d3 (agregado) em g/cm³	2,63	

Tabela 12 – Resultado da determinação da massa específica, massa específica aparente do pó de pedra ABNT NBR NM 52:2009.

Determinação N°	1	2
Massa Específica Aparente do Agregado Seco, em g/cm ³ (d1)	2,57	2,54
Massa Específica Aparente do Agregado Saturado Superfície Seca, em g/cm ³ (d2)	2,64	2,61
Massa Específica do Agregado em g/cm ³ (d3)	2,78	2,73
Média d1 (Aparente) em g/cm³	2,56	
Média d2 (agregado Saturado Superfície Seca) em g/cm³	2,63	
Média d3 (agregado) em g/cm³	2,76	

Tabela 13 – Resultado da determinação da massa específica, massa específica aparente da areia reciclada ABNT NBR NM 52:2009.

Determinação N°	1	2
Massa Específica Aparente do Agregado Seco, em g/cm ³ (d1)	1,81	1,81
Massa Específica Aparente do Agregado Saturado Superfície Seca, em g/cm ³ (d2)	2,08	2,10
Massa Específica do Agregado em g/cm ³ (d3)	2,50	2,56
Média d1 (Aparente) em g/cm³	1,81	
Média d2 (Agregado Saturado Superfície Seca) em g/cm³	2,09	
Média d3 (Agregado) em g/cm³	2,53	

Tabela 14 – Resultado da determinação da Massa Específica, Massa Específica Aparente do pedrisco ABNT NBR NM 53:2009.

Determinação N°	1	2
Massa Específica Aparente do Agregado Seco, em g/cm ³ (d1)	2,81	2,81
Massa Específica Aparente do Agregado Saturado Superfície Seca, em g/cm ³ (d2)	2,86	2,86
Massa Específica do Agregado em g/cm ³ (d3)	2,96	2,96
Média d1 (Aparente) em g/cm³	2,81	
Média d2 (agregado Saturado Superfície Seca) em g/cm³	2,86	
Média d3 (agregado) em g/cm³	2,96	

4.1.2.3 Absorção de Água

Os resultados do ensaio da determinação da absorção de água da areia, pó de pedra, areia reciclada e pedrisco encontram-se nas Tabelas 15, 16, 17 e 18, respectivamente.

Tabela 15 – Resultado determinação da absorção de água ABNT NBR NM 30:2001 (areia).

Determinação N°	1	2
Massa do Agregado Saturado Superfície Seca, em g	824,24	834,00
Massa do Agregado Seco, em g	819,54	831,50
Absorção de Água do Agregado Miúdo, em %	0,57	0,30
Média da Absorção de Água do Agregado Miúdo, em %	0,44	

Tabela 16 – Resultado determinação da absorção de água ABNT NBR NM 30:2001 (pó de pedra).

Determinação N°	1	2
Massa do Agregado Saturado Superfície Seca, em g	486,02	534,12
Massa do Agregado Seco, em g	473,02	520,62
Absorção de Água do Agregado Miúdo, em %	2,74	2,59
Média da Absorção de Água do Agregado Miúdo, em %	2,67	

Tabela 17 – Resultado determinação da absorção de água ABNT NBR NM 30:2001 (areia reciclada).

Determinação N°	1	2
Massa do Agregado Saturado Superfície Seca, em g	889,12	894,13
Massa do Agregado Seco, em g	771,62	774,73
Absorção de Água do Agregado Miúdo, em %	15,23	15,41
Média da Absorção de Água do Agregado Miúdo, em %	15,32	

Tabela 18 - Determinação da Absorção de Água ABNT NBR NM 53:2009 (pedrisco).

Determinação N°	1	2
Massa do Agregado Saturado Superfície Seca, em g	1898,10	1915,60
Massa do Agregado Seco, em g	1864,60	1882,60
Absorção de Água do Agregado Graúdo, em %	1,80	1,75
Média da Absorção de Água do Agregado Graúdo, em %	1,77	

Embora o agregado areia reciclada tenha apresentado índice de absorção de água bem elevado (15,32%), se comparado com o índice de absorção de água da areia (0,44%) e com o índice de absorção de água do pó de pedra (2,67%) o valor atende o estabelecido pela ABNT NBR 15116:2004 – Agregados reciclados de resíduos sólidos de construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos (valor de referência \leq 17% para ARM miúdo).

O resultado indica que na composição do agregado de RCC contém resíduos porosos de materiais cerâmicos, argamassas, concreto e solos (partículas finas como silte e argila), embora apresente predominância de material cimentício.

4.1.2.4 Material Pulverulento

Para a areia reciclada foi determinada a porcentagem de material pulverulento segundo a ABNT NBR NM 46:2003. A Tabela 19 apresenta dados do ensaio de materiais pulverulentos.

Tabela 19 - Determinação do Material Pulverulento ABNT NBR NM 46:2003 areia reciclada.

Determinações	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Individual (%)	Média (%)
M1	634,20	544,20	14,20	14,52
M2	638,50	543,70	14,84	

Conforme a Tabela 19 a média do teor de materiais pulverulentos apresentou valor de 14,52%, indicando que o teor de materiais pulverulentos excede do valor especificado pela NBR 7211:2009 que estabelece que para concreto submetido a desgaste superficial seu teor máximo é de 3,0%, mas atende a ABNT NBT 15116:2004 – Agregados reciclados de resíduos sólidos de construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos, cujo valor de referência é \leq 15% para ARC (agregado de resíduo de concreto).

4.1.2.5 Massa Unitária

A Tabela 20 apresenta dados do ensaio de massa unitária para os agregados areia, pó de pedra, areia reciclada e pedrisco.

Tabela 20 - Determinação da Massa Unitária ABNT NBR 45:2006.

Agregados	Massas (kg)				Volume (m ³)	Massa Unit. (ρ _{ap}) (kg/m ³)		Desvio (%)
	Det.	Recipiente + agregado (mar)	Recipiente (mr)	Agregado	V	Indiv.	Média	
Areia	1	21,96	6,34	15,62	0,01	1.562	1.572	-0,64
	2	22,08	6,34	15,74	0,01	1.574		0,13
	3	22,14	6,34	15,80	0,01	1.580		0,51
Pó de pedra	1	21,94	6,34	15,60	0,01	1.560	1.562,7	-0,17
	2	21,94	6,34	15,60	0,01	1.560		-0,17
	3	22,02	6,34	15,68	0,01	1.568		0,34
Areia reciclada	1	17,94	6,34	11,60	0,01	1.160	1.162	-0,17
	2	17,92	6,34	11,58	0,01	1.158		-0,34
	3	18,02	6,34	11,68	0,01	1.168		0,52
Pedrisco	1	21,46	6,34	15,12	0,01	1.512	1.498	0,93
	2	21,30	6,34	14,96	0,01	1.496		-0,13
	3	21,20	6,34	14,86	0,01	1.486		-0,80

4.2 Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone

O ensaio de abatimento do tronco de cone seguiu as especificações da ABNT NBR NM 67:1998.

Adotando-se a metodologia de pré umedecer os RCC para a produção dos concretos, de uma forma geral observa-se, para um valor fixo de a/c de 0,43, que o abatimento medido ficou próximo de 100mm para todos os traços, suficiente para a trabalhabilidade e moldagem nas condições ambientais de temperatura e umidade indicadas na Tabela 21.

Tabela 21- Condições ambientais de temperatura e umidade.

Traço	Temperatura Ambiente (°C)	Umidade Ambiente (%)
Referência	20° (noite)	58
15% RCC	26° (tarde)	55
20% RCC	26,4° (tarde)	57
25% RCC	29° (tarde)	42
50% RCC	35,8° (tarde)	28

4.3 Ensaio de Resistência à Compressão

Foram rompidas 12 pisos de concreto para cada traço: referência, 15%RCC, 20%RCC, 25%RCC e 50%RCC aos 7 e 28 dias, atendendo-se o preconizado na ABNT NBR 9781:2013.

A Figura 49 ilustra o piso após a ruptura. Observa-se que o piso rompeu de maneira correta, apresentando o formato de cunha. Os resultados do ensaio de resistência à compressão axial estão apresentados na Tabela 22.

Figura 49 - Pisos rompidos à compressão axial.

Tabela 22 – Resultado da Resistência à Compressão Axial.

Traço	Idade (dias)	Resistência Média (f_p) (MPa)	Resistência Característica (f_{pk}) (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
Referência	7	65,6	59,5	7
	28	64,2	59,5	5,4
15%RCC	7	59,4	54,8	5,3
	28	71,4	66,6	5,4
20%RCC	7	63,9	56,8	8,2
	28	73,4	70	3,9
25%RCC	7	68,5	66,8	2
	28	72,7	70,9	2
50%RCC	7	63,5	61,4	2,5
	28	70,1	67	3,5

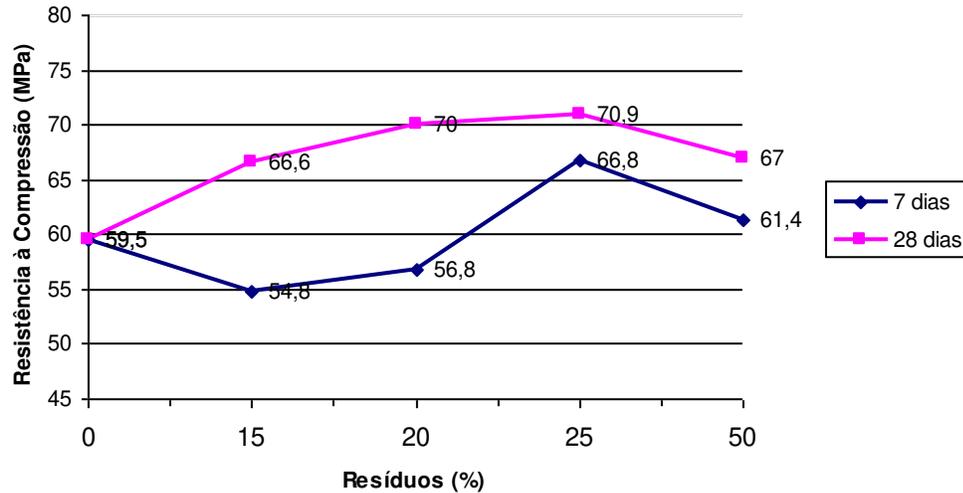
Pelos resultados apresentados na Tabela 22 observa-se que, aos 7 dias, a adição de RCC nas proporções de 15% e 20% em substituição da massa do agregado miúdo (areia) apresentam uma redução de 7,9% e de 4,54 %, respectivamente, em relação a resistência característica do concreto referência. A adição de RCC nas proporções de 25% e 50% apresentam um aumento de 12,27% e de 3,19%, respectivamente, em relação ao concreto referência. Aos 28 dias, a adição de RCC nas proporções de 15%, 20%, 25% e 50% apresentam um acréscimo de 11,93%, 17,65%, 19,6% e de 12,61% respectivamente, em relação ao concreto referência.

Tanto o concreto referência com fibras de aço como com a adição de RCC nas proporções de 15%, 20%, 25% e 50% em substituição em massa do agregado miúdo, aos 7 e 28 dias de idade, atingem o limite mínimo de 35 MPa para as solicitações de tráfegos de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha e de no mínimo, 50 MPa, quando houver tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados, conforme especificações da ABNT NBR 9781:2013.

A Figura 50 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão (característica) aos 7 e 28 dias e mostra aos 28 dias uma tendência de aumento na resistência mecânica nas proporções à medida que se aumenta a proporção do resíduo até 25%RCC, sendo

que o melhor desempenho foi obtido com a adição do RCC na proporção de 25% em substituição em massa do agregado natural miúdo (areia), aos 28 dias de idade.

Figura 50 - Resultados da resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade.



Possivelmente, as melhorias obtidas com o emprego do agregado reciclado para os traços 15%RCC, 20%RCC, 25%RCC e 50%RCC aos 28 dias, estejam ligadas ao efeito físico (filler) proporcionado pela porção fina das partículas de resíduo que permitiram um melhor empacotamento com as partículas de cimento, possibilitando maior compactação à microestrutura da pasta cimentícia, aumentando a resistência mecânica.

O comportamento obtido nesta propriedade também foi constatado por Carvalho (2013) estudando a incorporação do resíduo da retífica de placas cerâmicas de revestimentos como substituto parcial da areia e do cimento em peças pré moldadas de concreto para uso em pavimento intertravado e concluiu que a substituição do agregado miúdo pelo resíduo de porcelanato na proporção de 30% resultou em um aumento de 14% da resistência mecânica em relação ao concreto controle.

Na pesquisa desenvolvida por Simieli *et al* (2007) onde foi avaliado o comportamento do concreto produzido com agregados reciclados em substituição parcial pelo agregado natural (areia), para utilização em pavimentos intertravados, utilizando-se o traço 1:2,36:1,81, com 0,8% de aditivo nas idades de 7, 28 e 56 dias, constatou-se que o melhor resultado foi obtido no 56º dia, para dosagem com 20% de substituição dos agregados naturais e que os resultados foram satisfatórios quanto à resistência à compressão para os concretos produzidos com 40% de

agregados reciclados e sempre superiores aos 35 MPa recomendado pela normalização brasileira.

Da mesma forma, Matar e El Dalati (2012) estudaram a influência do uso de agregados reciclados em blocos vazados de concreto pré-moldados quanto a resistência à compressão aos 28 dias. Os resultados mostraram que blocos com 30% de agregados reciclados (RA 30) têm aumento de 2,5% na resistência à compressão em comparação com blocos que contém 50% de agregados reciclados (RA 50) e que a resistência à compressão ainda aumenta em comparação com blocos que não contém quaisquer agregados reciclados, elevando-se de 8,5% para RA 30 e 5,9% para RA 50.

Foi observado nesta pesquisa que a substituição do agregado miúdo natural, areia, nas proporções 15%, 20%, 25% e 50% em massa, pelo agregado de resíduo de construção civil – RCC em concretos com fibras de aço na dosagem de 40kg/m³(referência) tem sua resistência à compressão axial elevada, ratificando a reciclagem do RCC como agregado miúdo na produção de pisos táteis intertravados.

4.4 Ensaio de Absorção de Água

O ensaio de absorção de água foi realizado com amostras de 3 pisos, para os traços: referência, 15%RCC, 20%RCC, 25%RCC e 50%RCC aos 27 e 28 dias, de acordo com a ABNT NBR 9781:2013 e os resultados estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Absorção de água. dos concretos aos 7 e 28 dias.

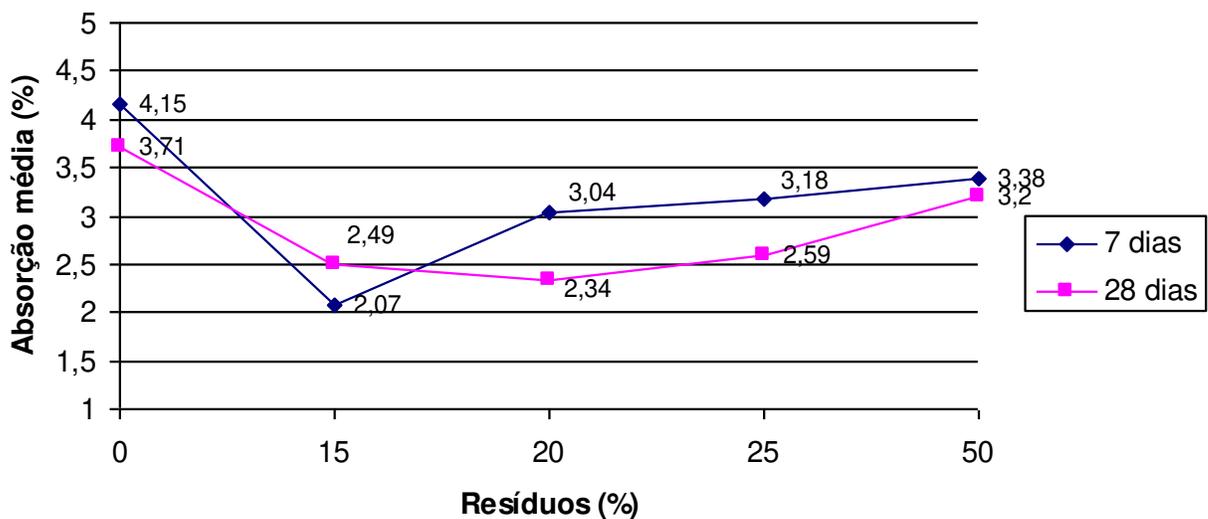
Traço	Cp	Idade (dias)	Massa cp seco M1(g)	Massa cp sat. M2 (g)	Absorção de água (%)	Média Absorção (%)
Referência	1	7	5.900,0	6.155,0	4,32	4,15
	2	7	6.065,0	6.310,0	4,03	
	3	7	6.085,0	6.335,0	4,10	
	1	28	6.050,0	6.270,0	3,63	3,71
	2	28	5.960,0	6.180,0	3,69	
	3	28	6.010,0	6.240,0	3,82	
15% RCC	1	7	5.910,0	6.035,0	2,11	2,07
	2	7	6.000,0	6.120,0	2,00	
	3	7	5.930,0	6.055,0	2,10	
	1	28	5.460,0	5.600,0	2,56	2,49
	2	28	5.755,0	5.895,0	2,43	
	3	28	5.815,0	5.960,0	2,49	
20% RCC	1	7	6.000,0	6.180,0	3,00	3,04
	2	7	6.090,0	6.275,0	3,03	
	3	7	5.940,0	6.125,0	3,11	
	1	28	6.075,0	6.210,0	2,22	2,34
	2	28	5.915,0	6.045,0	2,19	
	3	28	5.920,0	6.075,0	2,61	
25% RCC	1	7	6.015,0	6.205,0	3,16	3,18
	2	7	5.945,0	6.140,0	3,28	
	3	7	5.955,0	6.140,0	3,10	
	1	28	5.915,0	6.060,0	2,45	2,59
	2	28	5.790,0	5.940,0	2,59	
	3	28	5.835,0	5.995,0	2,74	
50% RCC	1	7	5.835,0	6.030,0	3,34	3,38
	2	7	5.695,0	5.895,0	3,51	
	3	7	5.740,0	5.930,0	3,31	
	1	28	5.725,0	5.910,0	3,23	3,20
	2	28	5.605,0	5.780,0	3,12	
	3	28	5.825,0	6.015,0	3,26	

A análise dos resultados obtidos demonstra que o concreto de referência com fibras de aço com dosagem de 40 kg/m³ (sem RCC) apresentou uma absorção média de 4,15% aos 7 dias e 3,71% aos 28 dias. Aos 7 dias, as peças pré-moldadas de concreto apresentaram um decréscimo da absorção de água em relação ao concreto referência de 50,12%, 26,75%, 23,38% e 18,55% nas adições de RCC nas proporções de 15%, 20%, 25% e 50% de RCC, respectivamente, em substituição da massa do agregado miúdo e aos 28 dias um decréscimo da absorção em relação ao concreto referência de 32,88%, 36,93%, 30,19% e 13,75% nas adições de RCC nas proporções de 15%, 20%, 25% e 50%, respectivamente.

Tanto para o concreto referência com fibras de aço (sem RCC) como com a adição de RCC nas proporções de 15%, 20%, 25% e 50% em substituição em massa do agregado miúdo, aos 7 e 28 dias, a amostra de peças de concreto apresenta absorção de água com valor médio menor a 6% e valor individual menor que 7%, atendendo, portanto, as especificações da ABNT NBR 9781:2013.

A Figura 51 apresenta os resultados dos ensaios de absorção de água aos 7 e 28 dias e mostra uma brusca diminuição de absorção com 15% de RCC com tendência de aumento na absorção de água à medida que se aumenta a proporção do resíduo, entretanto, não ultrapassando o concreto de referência com fibras de aço (sem RCC).

Figura 51 – Resultado de absorção de água dos concretos.



A análise dos resultados de absorção de água indicam que a durabilidade do concreto referência, com fibras de aço na dosagem de 40 kg/m^3 (sem RCC), se afetada, não será pela substituição dos RCC em função da absorção de água, uma vez que, para todas as substituições estudadas, houve um decréscimo na porcentagem de absorção de água nos concretos rompidos aos 7 dias e 28 dias de idade.

Estudos realizados por Jankovick, Nikolic e Bokovic (2012), mostraram que a aplicação de tijolos triturados na produção de concreto para elementos de pavimentação tem a absorção de água do concreto diminuída, à medida que o percentual de agregados aumenta no concreto.

Esta constatação pode também ser observada na pesquisa desenvolvida por Carvalho (2013), já citado anteriormente.

4.5 Ensaio de Resistência à Abrasão

Foram ensaiados três corpos-de-prova para cada traço, aos 28 dias de idade. A Tabela 24 contém os resultados dos ensaios de determinação da resistência à abrasão profunda de acordo com a ABNT NBR 13818:1997.

Tabela 24 – Resultado ensaio de resistência à abrasão profunda dos concretos após 28 dias.

Traço	Placa	Posição A		Posição B		V Médio (mm ³)
		C _{cav} (mm)	V (mm ³)	C _{cav} (mm)	V (mm ³)	
Ref.	1	33,08	305	31,22	256	249,7
	2	29,41	214	30,01	227	
	3	30,16	231	31,59	265	
15% RCC	1	31,63	266	29,52	216	228,8
	2	31,17	255	29,47	215	
	3	30,33	235	28,06	186	
20% RCC	1	28,26	190	28,51	195	194,3
	2	25,69	142	30,00	227	
	3	30,07	229	27,93	183	
25% RCC	1	26,89	163	29,13	208	192,5
	2	28,73	199	26,87	163	
	3	27,24	170	31,07	252	
50% RCC	1	31,03	251	28,36	192	225,85*
	2	30,17	231	27,78	180	
	3	30,69	243	31,31	258	

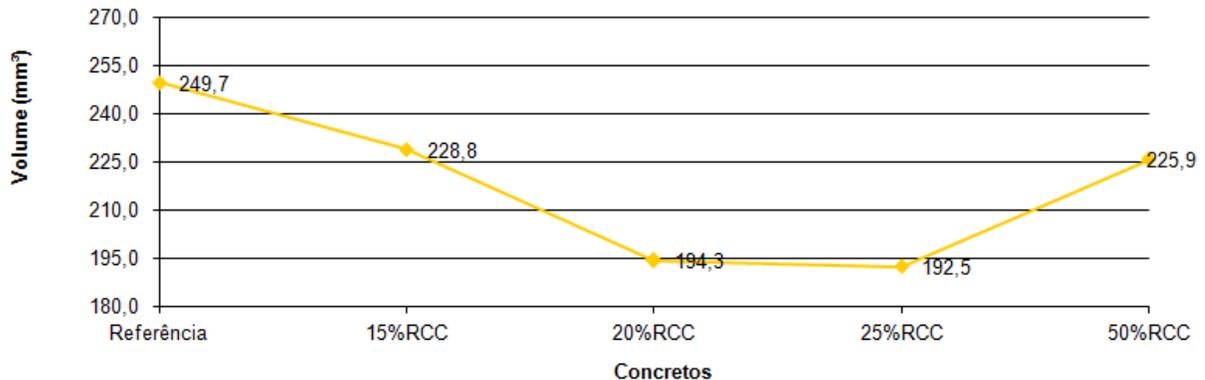
* Esse ensaio foi realizado duas vezes para confirmação do resultado.

Analisando os resultados obtidos observa-se que o concreto referência com fibras de aço com dosagem de 40 kg/m³ (sem RCC) apresenta volume de desgaste médio de 249,7 mm³. A adição de RCC nas proporções de 15%, 20%, 25% e 50%, em substituição em massa do agregado miúdo (areia) apresentam uma redução de 8,37%, 22,19%, 22,90% e 9,55%, respectivamente, em relação ao volume de desgaste do concreto referência.

Segundo a ABNT NBR 13818:1997, quanto maior é o comprimento da cavidade (C_{cav}), maior é o volume de material removido (V_{médio}), indicando menor resistência à abrasão

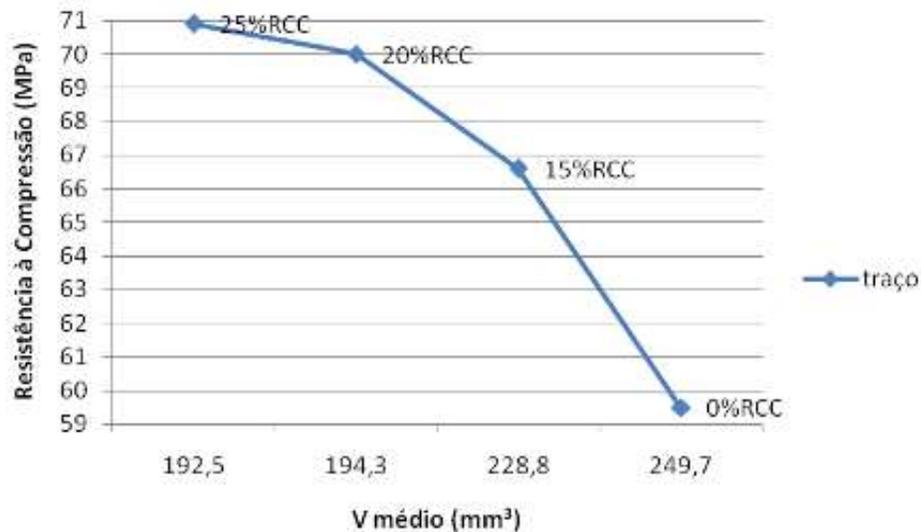
profunda da peça. A Figura 52 ilustra a resistência à abrasão profunda de cada traço.

Figura 52 – Resultado da resisitência à abrasão profunda.



Foi observado nesta pesquisa que as dosagens das peças de concreto que obtiveram as melhores resistências à abrasão profunda foram as que apresentaram resistências à compressão axial mais altas. O melhor resultado foi obtido para a dosagem com 25%RCC de substituição dos agregados naturais com 192,5 mm³ de volume de material removido. A Figura 53 ilustra a relação entre resistência à compressão axial e a resistência à abrasão.

Figura 53 – Relação: resistência à compressão axial x resistência à abrasão profunda.



Por outro lado, Jankovic, Nikolic e Bokovic (2012), já citados anteriormente, concluíram que a aplicação de resíduos de tijolos triturados, substituindo parcialmente o agregado miúdo natural na produção de concretos para elementos de pavimentação reduziu a resistência à abrasão.

4.6 Ensaio de Tenacidade

Os resultados da energia da fratura ou tenacidade à fratura adquiridos por meio dos ensaios experimentais de viga bi-apoiada com entalhe e carga concentrada no meio do vão são apresentados na Tabela 25, para cada traço aos 28 dias. Foi utilizada uma Máquina Universal de Ensaio para 100 kN de capacidade, para ensaios com deslocamentos controlados pelo atuador.

Tabela 25 – Resultados dos ensaios de energia da fratura (ou tenacidade à fratura) aos 28 dias.

Traço	Energia da Fratura (Nm/mm²)
Referência	1,28285
15% RCC	1,29200
20% RCC	1,62651
25% RCC	1,01248
50% RCC	1,15328

A Tabela 25 apresenta a variação da energia da fratura G_f pelo acréscimo de resíduos de construção-RCC para os traços de concreto com porcentagem de fibra e relação água/cimento constante. Observa-se que houve um aumento da energia da fratura com até 20% de substituição de RCC e depois uma queda para 25% e 50%. A Figura 54 ilustra os corpos de prova após a ruptura.

Figura 54 - Corpos-de prova após a ruptura.



4.7 Ensaio de Resistência à Tração na Flexão

Foram rompidos 3 corpos-de-prova para cada traço: referência, 15%RCC, 20%RCC, 25%RCC e 50%RCC aos 28 dias, atendendo-se o preconizado na ABNT NBR 12142:2010. Os resultados são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 – Resultado – Resistência à tração na flexão dos concretos aos 28 dias de idade.

Traço	Cp	Largura média b (mm)	Altura média d (mm)	Carga de ruptura F (N)	Resistência f_{ctf} (MPa)	Resistência Média f_{ctf} (MPa)
Ref.	01	151	150,33	78.456	10,35	10,1
	02	151,33	149,50	74.533,2	9,92	
	03	151,66	149,50	74.533,2	9,89	
15% RCC	01	150	149,67	68.649	9,19	9,5
	02	150,33	150,67	68.649	9,05	
	03	150	150	76.494,6	10,20	
20% RCC	01	150	149,5	56.880,6	7,63	7,5
	02	148,75	148,75	52.957,8	7,24	
	03	149,5	150	56.880,6	7,61	
25% RCC	01	152,83	149,16	66.687,6	8,83	8,6
	02	151,33	150	62.764,8	8,30	
	03	151,66	150,5	66.687,6	8,74	
50% RCC	01	149,67	150,17	60.803,4	8,11	8,1
	02	150,84	150,17	62.764,8	8,31	
	03	150,84	150,17	58.842	7,89	

L = 450mm (distância entre os vãos de apoio)

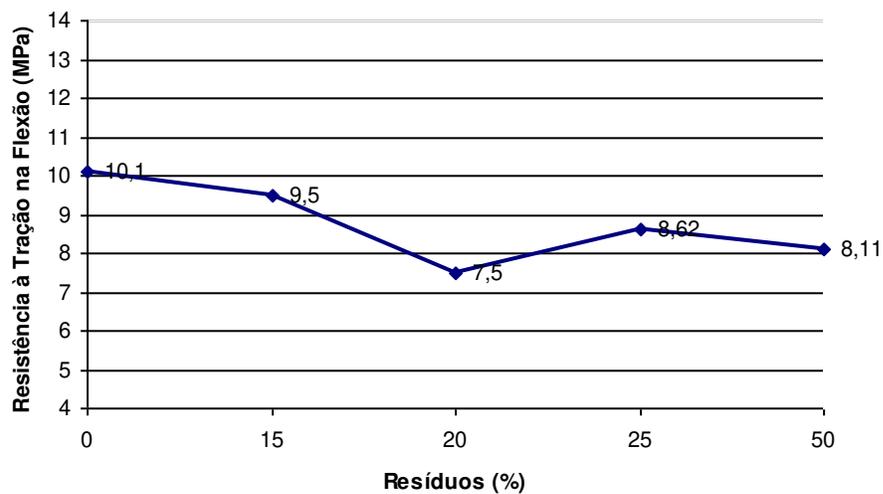
Na avaliação dos resultados, observa-se que com a substituição do RCC teve como consequência um decréscimo de 5,94%, 25,74%, 14,65% e 19,81% na resistência mecânica dos concretos nas proporções de 15%, 20%, 25% e 50%, respectivamente, em relação ao concreto de referência.

Tanto para o concreto referência com fibras de aço (sem RCC) como com a adição de RCC nas proporções de 15%, 20%, 25% e 50% em substituição em massa do agregado miúdo,

aos 28 dias, os resultados das resistências mecânicas atendem a normalização americana American Concrete Institute (ACI) 544 para pavimentos, superando a resistência à tração na flexão de 7 MPa aos 28 dias.

A Figura 55 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão aos 28 dias e mostra uma tendência de redução na resistência mecânica à medida que aumenta a proporção de RCC, sendo que o melhor desempenho foi obtido com a adição do RCC na proporção de 15% em substituição em massa do agregado natural miúdo (areia), aos 28 dias de idade.

Figura 55 - Resultado da resistência à tração na flexão.



Segundo Pietra e Figueiredo (2003) apud Figueiredo (2011), Pietra, Figueiredo e Bittencourt (2003), ao estudarem o efeito da adição de fibras em concretos com agregados convencionais e com agregados reciclados oriundos de resíduos de construção e demolição (RCD), utilizando concreto com traço 1:2:3, relação água/cimento 0,5 e teores de fibras de 10, 20 e 40 kg/m³, concluíram que para o concreto convencional não houve alteração significativa de resistência à tração com a adição de fibras, entretanto, para o concreto com agregados reciclados, com o aumento do teor de fibras, a tensão de ruptura se aproxima daquela obtida para o concreto convencional.

Figura 56 – Corpo-de-prova prismático: (a) ensaiado com carga no meio do vão e (b) após a ruptura.



5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A sociedade está tendo um olhar inclusivo para com as pessoas com deficiência visual e no que tange à acessibilidade físico-espacial o piso tátil é uma solução como orientação para deslocamentos e alerta para perigos.

Como resultado principal da avaliação da influência dos RCC nos concretos com fibras de aço produzidos com agregados reciclados miúdo para confecção de pisos intertravados, concluiu-se por meio dos ensaios de caracterização que os materiais selecionados (cimento, areia, pó de pedra, RCC e pedrisco) foram adequados a produção do concreto, assim como a escolha do aditivo e da fibra de aço utilizada.

O traço 1:0,77:2,33:1,11 com 15%, 20%, 25% e 50% de substituição escolhido é adequado para a produção dos concretos, pois atingiu as prescrições da ABNT NBR 9781:2013 com relação à resistência à compressão axial e absorção de água, obtendo-se trabalhabilidade para a moldagem.

Com relação à resistência à abrasão profunda, constatou-se que o concreto com substituição de até 25% RCC teve uma melhora com o aumento do teor de resíduos, e também os traços com as maiores porcentagens de agregados reciclados de concreto obtiveram as melhores resistência à compressão axial até 25%. Para concretos com porcentagens de substituição superiores a 25% este comportamento não se manteve, ou seja, houve um aumento no valor do volume de material removido, o que indica menor resistência à abrasão profunda.

Para a resistência à tração na flexão os concretos com RCC embora tenham apresentado um decréscimo em relação ao concreto de referência, continuam atendendo ao prescrito pelo ACI 544 para pavimentos.

Os resultados finais mostram que é viável a produção de concretos com fibras de aço com resíduos de construção civil como agregados reciclados miúdos para uso em pisos intertravados, apresentando como uma solução ambiental adequada para a disposição final desses resíduos, contribuindo ainda para a sustentabilidade do sistema, proporcionando benefícios de ordem social e econômica.

Dada a relevância do tema, sugere-se, para a continuidade dos estudos, a partir das dosagens aqui estabelecidas a substituição da areia pelo agregado reciclado miúdo na proporção de 100%, considerando que os resíduos influem diretamente na saúde pública e meio ambiente e

o poder público, empresas e cidadãos, responsáveis pela geração de resíduos sólidos (exceto radioativos) deverão até 2014 se adequar a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Em relação às fibras de aço, sugere-se que sejam utilizadas fibras da reciclagem da estrutura de aço dos pneus usados, contribuindo dessa maneira com a disposição final de mais um resíduo, levando-se em consideração também, o preço da fibra.

Sugere-se também a realização de um estudo econômico financeiro pois acredita-se na economia de matéria-prima e afins.

Como também a caracterização do RCC quanto aos riscos à saúde pública e ambientais.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C979/C979M-10 Standard specification for pigments for integrally colored concrete. Developed by Subcommittee: C09.23| Book of Standards Volume: 04.02.2010.

ANGULO, S.C., Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos. São Paulo, 2005, 167p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ANGULO, S.C.; ZORDAN, S.E.; JOHN, V.M., Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil (Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/artigo%20iv_ct206_2001.pdf>). Acessado em 23.04.2013.

ARIAS, C.R., A arquitetura como instrumento do projeto inclusivo: percepção do surdocego. Campinas, SP: [s.n.], 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Construção) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. Manual de Pavimento Intertravado. Passeio Público. 2010.36p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. Pavimento Intertravado é alternativa sustentável para economia de recursos. (Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/pavimento-intertravado-e-alternativa-sustentavel-para-economia-de-recursos>>). Acessado em 25.07.2012a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. Pavimentos Intertravados – Pontos de destaque. (Disponível em: <http://www.solucoesparacidades.com.br/passeio_publico/pavimento-intertravado>). Acessado em 25.07.2012b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2011. 185p. (Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2011.pdf>>). Acessado em 11.07.2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5732: Cimento Portland comum – Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial – Especificação. ABNT/EB2. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5735: Cimento Portland de alto-forno – Especificação. ABNT/EB208. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5736: Versão Corrigida:1999. Cimento Portland pozolânico – Especificação. ABNT/EB758. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11578: Versão Corrigida:1997. Cimento Portland composto – Especificação. ABNT/EB 2138. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12989: Cimento Portland branco – Especificação. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13818: Versão Corrigida:1997 Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios – Determinação da resistência à abrasão profunda. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9050: Versão Corrigida:2005 Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2004a.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15112: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15113: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15114: Resíduos sólidos da Construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004e.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004f.

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, 2004g.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15530: Fibras de aço para concreto - Especificações. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5738: Emenda 1:2008 Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12142: Determinação da resistência à tração na flexão de corpos-de-prova prismáticos. ABNT/MB 3483. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13221: Transporte terrestre de resíduos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 30: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 45: Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 46: Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 248: Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NOTA TÉCNICA Utilização de resíduos sólidos ABNT NBR 10004:2004 Resíduos sólidos – Classificação. (Disponível em : <<http://www.abnt.org.br/imagens/NOTATECNICA CONSOLIDADO FINAL.pdf> >). Acessado em 12.05.2013.

BALBO, J.T., Pavimentos Viários e Pisos Industriais de Concreto In, Isaia, Geraldo Cechella (Org.) Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. v.2. Capítulo42, p.1297-1332. 2005

BALDAN, V. J. S.; FAGURY, S. C.; MORAES, D. R.; LINTZ, R. C. C.; RIBEIRO, L. C. L. J.; PIRES, M. S. G.; JACINTHO, A. E. P. G. A.; BARBOSA, L. A. G., Análise das resistências de pisos intertravados produzidos com RCD Caso de São Carlos/SP, 10/2011, VII Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção (SIBRAGEC), Vol. 1, pp.1-11, Belém, PA, Brasil, 2011.

BASF The Chemical Company. Ficha Técnica de Produto GLENIUM® 51- Aditivo super plastificante de terceira geração. (Disponível em: < <http://www.basf-cc.com.br/PT/produtos/aditivos/GLENIUM51/Documents/GLENIUM%C2%AE%2051.pdf>>).

Acessado em 10.06.2013.

BELGO BEKAERT ARAMES. Fibras de aço – Dramix. (Disponível em: <<http://www.belgobekaert.com.br/Produtos/Paginas/Fibra-de-Aço-Dramix.aspx>>). Acessado em 04.04.2013.

BERGER, M.; LEIROZ, N.; DA CUNHA P.; TAVARES M.E..Estudo comparativo das propriedades de concretos produzidos com agregados miúdos e graúdos reciclados de RDC.In: Congresso Brasileiro do Concreto, 53º, Florianópolis, Anais, CBC2011(Nov/2011).

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. (Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>). Acessado em 20.04.2013.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências.Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 23.12.2010.

BRASIL. Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004. Regulamenta as Leis nº 10.048/2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e nº 10.098 que estabelece normas gerais e critérios básicos para promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 02.12.2004.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes DNIT. IPR – 745 – Manual de Gerência de Pavimentos. 2011. Rio de Janeiro.

BRASIL. Lei nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana; revoga dispositivos dos Decretos-Leis nºs 3.326, de 3 de junho de 1941, e 5.405, de 13 de abril de 1943, da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, e das Leis nºs 5.917, de 10 de setembro de 1973, e 6.261, de 14 de novembro de 1975; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 03.01.2012.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 03.08.2010.

BRASIL Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 12 de fevereiro de 1998.

BRASIL. Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. Catálogo Nacional de Produtos de Tecnologia Assistiva. (Disponível em: <<http://assistiva.mct.gov.br/index.php>>). Acessado em 22.05.2013b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 17.07.2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 348, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos..Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 17.08.2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso..Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 25.05.2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 448, de 18 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 19.01.2012.

BRASIL. Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Acessibilidade. (Disponível em: < <http://www.pessoacomdeficiencia.gov.br/app/Acessibilidade-0> >). Acessado em 28.05.2013a.

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

CARVALHO, E.V., Utilização do Resíduo da Retífica de Cerâmica de Revestimento na Produção de Concreto para Pavimento Intertravado. Limeira, 133 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, 2013.

CRUZ, L.O.M., Pavimento intertravado de concreto: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento. Rio de Janeiro, 2003. 281p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

FERNANDES, I., Blocos e Pavers – Produção e Controle de Qualidade, São Paulo, ABCP, 2012, 182p.

FIGUEIREDO, A.D., Concreto com fibras de aço. Boletim Técnico (BT/PCC/260).São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2000.

FIGUEIREDO, A. D., Concreto com Fibras. In: Isaia, Geraldo Cechella (Org.) Concreto, Ensino Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005, v.2. Capítulo 39, p. 1195-1225. 2005.

FIGUEIREDO, A.D., Concreto reforçado com fibras. São Paulo, 2011. Tese (Livre Docente) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

FIORITI, C.F.; INO, A.; KASAKI, J. L., Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus. Ambiente Construído, PortoAlegre, V. 7, n.4, p.43-54, Out/Dez.2007.ISS 1678-8621.

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

HILLEBORG, A.; MODEER, M.; PETERSSON, P. E. Analysis of crack formation and crack growth in concretes by means of fracture mechanics and finite elements. Cement and Concrete Research, v.6, n.6, p. 773-782, 1976.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Demográfico 2010 – Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência.(Disponível em: <http://ibge.gov.br/home/presidencia/noticia_visualiza.php?id_noticia=2>). Acessado em 11.07.2012.

JANKOVIC, K.; NIKOLIC,D.; BOJOVIC, D., Concrete paving blocks and flags made with crushed brick as aggregate. Institute for Testing Materials, Bulevar Vojvode Misica 43, 11000 Belgrade, Serbia Construction and Building Materials. V.28 March 2012, Pages 659–663.

JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. JSCE-SF4: method of tests for flexural strength and flexural toughness of steel fiber reinforced concrete. Part III-2. Concrete Libray International. N3, June, 1984. p.58-61.

JOHN, V. M., Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, 2000, 113p. Tese (Livre Docente). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

JOHN, V.M.; SATO, N.M.N.; AGOPYAN,V., SJOSTROM., Durabilidade e sustentabilidade: Desafios para a construção civil brasileira. II Workshop sobre Durabilidade das Construções. São José dos Campos, Dez. 2001.

LEVY, S. Sustentabilidade na construção civil: A contribuição do concreto In, Isaia, Geraldo Cechella (Org.) Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. v.2. Capítulo 50, p1551-1579. 2005.

LINTZ, R.C.C.; JACINTHO, A.E.P.G.A.; PIMENTEL, L.L.; GACHET-BARBOSA, L.A., Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos. RIEM - Revista IBRACON de Estruturas e Materiais. V.5, nº 2 (April;2012) p.166-181. ISSN 1983-4195.

LOVATO, P.S., Verificação dos parâmetros de controle dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto. Porto Alegre, 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MATAR, P.; EL DALATI, R., Using recycled concrete aggregates in precast concrete hollow blocks. Mat.-wiss. u.Werkstofftech. 2012, 43, No. 5.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P.J.M., Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo. IBRACON, 2008.

MELO, A.V.S., Diretrizes para a produção de agregado reciclado em usinas de reciclagem de resíduos da construção civil. Salvador, 2011.232p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia - Escola Politécnica.

MIRANDA, L.F.R.; ANGULO, S.C.; CARELI, E.D., A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil:1986-2008.Ambiente Construído, Porto Alegre, V. 9, n.1, p.57-71, Jan./Mar.2009.ISS 1678-8621

MOREIRA, L.H.H., Avaliação da influência da origem e do tratamento dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto estrutural.São Paulo, 2010. 92p.Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

NEVILLE, A. M., Propriedades do concreto. Tradução Salvador E. Giammusso. 1. Ed. São Paulo: PINI,1982.

OLIVITO, R.S.; ZUCCARELLO, F. A., An experimental study on the tensile strength of steel fiber reinforced concrete.v. 41, Issue 3, April 2010, Pages 246-256.

PIETRA, I.; FIGUEIREDO, A.D.; BITTENCOURT, T.N., Influência do teor de fibras de aço na tenacidade do concreto com agregados reciclados de entulho. In: V Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. Anais. São Paulo, 2003.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE – PNUMA.Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável e a Erradicação da Pobreza – Síntese para Tomada de Decisões. PNUMA, 2011. (Disponível em: <http://www.pnuma.org.br/admin/publicacoes/texto/1101-GREENECONOMY-synthesis_PT_online.pdf>. Acessado em 26.07.2012.

PINTO, T.P., Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos de construção urbana. São Paulo, 1999. 189p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

QUIROGA, P.; TORRES, N. Concrete with aggregates from construction and demolition waste in Colombia. 2nd. International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, p 169-177,2010, 2nd. June 2010.

RILEM COMMITTEE FRACTURE MECHANICS OF CONCRETE. Determination of the fracture energy of mortar and concrete by means of three-point bend tests on notched beams. Materials and Structures, v.18, n. 106, p.285-290, 1985.

SÃO PAULO (município). Prefeitura Municipal de São Paulo – PMSP / SMPED / CPA – Acessibilidade: Mobilidade Acessível na cidade de São Paulo – Edificações, Vias públicas, Leis e Normas, fev, 2008. Disponível em: http://portal.prefeitura.sp.gov.br/secretarias/deficiencia_mobilidade_reduzida/programas/0004.

SERAFIM, M. A., Estudo e proposição de formas de Pavers Intertravados para áreas e passeios público.Bauru 2010.Dissertação de Mestrado.

SILVA, C.O; MARCHIONI, N., Pavimento intertravado: nova normatização para sua execução - Concreto e Construções, São Paulo, Ano XXXIX Abri, Mai, p.37 a 44 Jun/2011.

SIMIÉLI, D.; MIZUMOTO, C.; SEGANTINI A.A.S.; SALLES, F.M., Utilização de agregados reciclados em pavimentos intertravados. Exata, São Paulo, v.5 n.2, p.231-241, jul./dez.2007.

SISCÃO, M. P., Acessibilidade espacial e o meio urbano construído: Estudo de caso no Município de Limeira/SP. São Paulo 2011. 239 p. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

SOUZA, F. R., Estudo da Eco-eficiência de Argamassas e Concretos Reciclados com Resíduos de Estação de Tratamento de Água e de Construções e Demolições. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, UFSCAR. São Carlos, 2006.

VIZIOLI, S. H. T., Espaços públicos abertos de circulação de pedestres e o usuário cadeirante. São Paulo 2006. 212p. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

ULSEN, C., Caracterização e separabilidade de agregados miúdos produzidos a partir de resíduos de construção e demolição. São Paulo 2011. 222p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

WHO, World Health Organization. Relatório mundial sobre a deficiência. The World Bank, 2011. (Disponível em: http://www.pessoacomdeficiencia.sp.gov.br/usr/share/documents/RELATORIO_MUNDIAL_COMPLETO.pdf). 24p. Acessado em 29.05.2012.