

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MARINA PEREIRA PANDOLFI

**ESTUDO DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM CONCRETO
PARA PAVIMENTAÇÃO**

Alegrete

2016

MARINA PEREIRA PANDOLFI

**ESTUDO DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM CONCRETO
PARA PAVIMENTAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Maurício Silveira dos
Santos

Coorientador: Simone Dornelles
Venquiaruto

Alegrete

2016

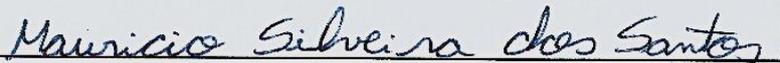
MARINA PEREIRA PANDOLFI

ESTUDO DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM CONCRETO
PARA PAVIMENTAÇÃO

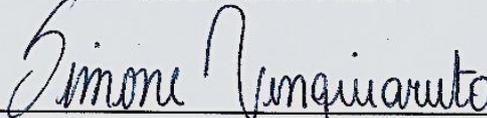
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 30 de novembro de
2016.

Banca examinadora:



Prof. Me. Maurício Silveira dos Santos
Orientador - UNIPAMPA



Prof. Me. Simone Dornelles Venquiaruto
Coorientadora - UNIPAMPA



Prof. Dr. Fladimir Fernandes dos Santos
UNIPAMPA



Prof. Me. Marcelo de Jesus Dias de Oliveira
UNIPAMPA

MARINA PEREIRA PANDOLFI

Dedico este trabalho aos meus pais, Afonso e Janete, à minha irmã Júlia e à minha avó Jandira.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente à Deus, por tudo o que tenho nessa vida.

Ao meus pais e minha irmã, por todo apoio e amor incondicional durante todos esses anos de graduação.

Ao Prof. Me. Maurício Silveira dos Santos e Prof. Me Simone Dornelles Venquiaruto por todo auxílio e orientação durante esse período, que para mim, foi o mais importante e complexo de todo o curso.

Ao Prof. Me Marcelo de Jesus Dias de Oliveira e à Raquel Machado, que me deram suporte para a realização dos ensaios, e que sem eles, não seria capaz de realiza-los.

A todos os professores que me auxiliaram nessa jornada, compartilhando seus conhecimentos

A todos amigos pelo apoio e momentos de descontração.

Ao colega Fabricio Segabinazzi, pela ajuda no laboratório.

Agradeço à empresa Pedra Rosada pelas britas doadas e ao colega Bruno Rodrigues Ribeiro pela doação do cimento, utilizados na confecção dos concretos para realização dos ensaios.

“Se vi mais longe foi por estar em pé sobre ombros de gigantes”.

Isaac Newton

RESUMO

O entulho produzido por obras de construção civil é um grande problema para o meio ambiente, por não ter um tratamento adequado e por seu descarte ocorrer, na maioria das vezes, irregular. Considerando esses problemas, o objetivo desse trabalho é estudar o uso desses entulhos, conhecidos como RCC, no concreto para pavimentação e avaliar o seu desempenho como agregado graúdo reciclado. Os concretos foram confeccionados com diferentes teores de RCC substituindo o agregado graúdo natural em 5%, 10% e 15%. Para a avaliação do desempenho mecânico de cada mistura, foram realizados ensaios de resistência à tração desses concretos, seguindo a norma ABNT NBR 12142/2010, possuindo como um parâmetro, a resistência mínima de 4,5 MPa e o ensaio de compressão simples, regido pela ABNT NBR 5739/2007. Também foram realizados ensaios de retração dos concretos a cada 7 dias, baseando-se na ASTM C157/C157M/2008, para avaliar a ocorrência de possíveis patologias pela secagem do concreto. Os resultados obtidos com as substituições foram, tomadas as devidas proporções, satisfatórios, superando em alguns casos os valores do concreto referência. Um exemplo é o traço com 15% de substituição, que foi o que melhor se comportou de forma geral, retraindo cerca de 65% menos do que o traço referência, e obtendo praticamente, a mesma resistência à tração na flexão alcançada pela referência, chegando-se a conclusão que há viabilidade na utilização desses concretos na prática como pavimento.

Palavras chave: Concreto, resíduos da construção civil, pavimento de concreto

ABSTRACT

The debris produced by construction works is a major problem for the environment, because it does not have an adequate treatment and because its disposal occurs, in most cases, irregular. Considering these problems, the objective of this work is to study the use of these debris, known as RCC, in concrete for paving and to evaluate its performance as a large recycled aggregate. The concretes were made with different RCC contents replacing the natural bulk aggregate in 5%, 10% and 15%. In order to evaluate the mechanical performance of each mix, tensile strength tests of these concretes were carried out, following the ABNT NBR 12142/2010 standard, having as a parameter, the minimum strength of 4.5 MPa and the simple, controlled compression test By ABNT NBR 5739/2007. Concrete retraction tests were also carried out every 7 days, based on ASTM C157 / C157M / 2008, to evaluate the occurrence of possible pathologies due to concrete drying. The results obtained with the substitutions were, in due proportions, satisfactory, surpassing in some cases the values of the reference concrete. An example is the trait with 15% substitution, which was the one that best behaved in general, retracting about 65% less than the reference trait, and practically obtaining the same tensile strength at the flexion reached by the reference, arriving It is concluded that there is feasibility in the use of these concretes in practice as pavement.

Keywords: Concrete, construction waste, concrete pavement

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Entulho de obra.....	19
Figura 2 – Seção transversal de pavimento flexível	27
Figura 3 – Seção transversal de pavimento rígido	28
Figura 4 – Sequência adotada para os procedimentos metodológicos	33
Figura 5 – RCC antes de quebrado.....	40
Figura 6 – RCC na dimensão de brita 1	40
Figura 7 – Diagrama de dosagem	43
Figura 8 – Conjunto corpo-de-prova e prensa.....	47
Figura 9 – CPs após o ensaio de compressão simples.....	48
Figura 10 – Demarcação do corpo-de-prova.....	49
Figura 11 – Corpo-de-prova posicionado na prensa	49
Figura 12 – CP rompido no terço médio.....	50
Figura 13 – Representação dos 5% da distância de ruptura no CP	51
Figura 14 – Ruptura do corpo-de-prova fora do terço médio	51
Figura 15 – Distância de ocorrência da ruptura.....	52
Figura 16 – Pinos concretados nos CPs	53
Figura 17 – Equipamento de ensaio de retração.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo	34
Tabela 2 – Distribuição granulométrica do agregado graúdo	37
Tabela 3 – Resultados de massa específicas e absorção de água.....	39
Tabela 4 – Resultados de massa específicas e absorção de água.....	41
Tabela 5 – Quantidade de materiais para 1m ³ de concreto	44
Tabela 6 – Número de camadas e golpes no corpo de prova	46
Tabela 7 – Resultados das resistências à compressão simples	55
Tabela 8 – Resultados das resistências à tração na flexão	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	34
Gráfico 2 – Distribuição granulométrica do agregado graúdo	37
Gráfico 3 – Resultados dos ensaios de compressão simples	56
Gráfico 4 – Resultados do ensaio à tração na flexão	57
Gráfico 5 – Resultados do ensaio de retração	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos RCC	20
Quadro 2 – Principais responsabilidades na gestão de RCC.....	21
Quadro 3 – Reciclagem e reutilização de RCC	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
cm - Centímetro
cm³ - Centímetro cúbico
CP – Corpo de prova
DER – Departamento de Estradas de Rodagem
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
g - Grama
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
kg - Quilograma
mm - Milímetro
min - Minuto
MPa – Mega Pascal
m³ - Metro cúbico
N - Newton
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
NM – Norma Mercosul
RCC – Resíduo da Construção Civil
µm – Micro metro
α - Alfa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivo geral	17
1.1.2 Objetivos específicos	17
1.2 Justificativa	17
1.3 Estrutura do trabalho	18
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 Resíduos da Construção Civil (RCC)	19
2.1.1 Gerenciamento ambientalmente adequado de RCC	20
2.1.2 Redução, reutilização e reciclagem de RCC	23
2.1.2.1 Redução	23
2.1.2.2 Reutilização	24
2.1.2.3 Reciclagem	25
2.2 Pavimento	26
2.2.1 Pavimento flexível	27
2.2.2 Pavimento rígido	27
2.2.3 Pavimento de concreto	28
2.3 Concreto	29
2.3.1 Cimento Portland	30
2.3.2 Agregado reciclado	31
2.3.3 Uso de RCC em pavimento de concreto	31
3 METODOLOGIA	33
3.1 Caracterização do material	33
3.1.1 Agregado miúdo	33
3.1.2 Agregado graúdo	36
3.1.3 Agregado graúdo reciclado	39
3.1.4 Cimento	41
3.2 Dosagem	42
3.3 Confeção, moldagem e cura	45
3.4 Ensaios	46
3.4.1 Resistência à compressão simples	46
3.4.2 Tração à flexão	48
3.4.3 Retração	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	55

4.1 Resultados do ensaio de compressão simples.....	55
4.2 Resultados do ensaio de tração à flexão	57
4.3 Resultados do ensaio de retração	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
5.1 Conclusões	61
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	61
REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da construção civil no decorrer dos séculos foi em paralelo com o do homem, sempre marcado por elementos construtivos grandiosos que surpreendem até hoje, por técnicas utilizadas e pelas tecnologias arcaicas elaboradas com o conhecimento do povo da época. Um grande exemplo desses elementos, são as pirâmides egípcias, que foram construídas como túmulos para faraós e seus tesouros, existindo há milênios.

Com o passar dos anos, tanto as edificações como os materiais utilizados evoluíram, suprimindo as necessidades que os tempos atuais exigiam. Além disso, a consciência ambiental também surgiu quando os impactos de todas as edificações começaram a interferir na natureza de forma irreversível e matérias-primas não renováveis começaram a se esgotar, tornando toda essa evolução prejudicial ao meio ambiente.

Objetivando a diminuição desses impactos, foi instituída a Resolução 307/2002 pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na qual estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos sólidos da construção civil orientando sobre medidas que devem ser tomadas para a redução, a reutilização e a reciclagem dos resíduos produzidos nos canteiros de obras (BRASIL, 2002).

Corroborando com essa Resolução, posteriormente foi sancionada a Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, reunindo o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo Governo Federal, visando o gerenciamento ambientalmente adequado de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Na construção civil, o impacto de suas atividades é significativo para o meio ambiente, pois a massa produzida de resíduos está entre 10 e 17% da massa da edificação, além da perda nos custos da obra que pode chegar à 11% (LIMA, 1999), até porque, uma vez em que se reutiliza um resíduo que o próprio canteiro produziu, não há a necessidade de extrair um novo material para tal finalidade além desses rejeitos não serem descartados de forma inadequada na natureza.

Existem inúmeras formas de se reutilizar elementos que compõem o entulho de obras, desde a sua forma bruta, para regularização de terrenos, para a utilização em base e sub-base para vias, ou utilizá-los após a britagem na forma de agregado,

tanto graúdo como miúdo na confecção de concreto para revestimento, em blocos de concreto, em pavers (ZORDAN, 1997; LIMA, 1999) e em pavimento de concreto, que é o objetivo da pesquisa desse trabalho.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a substituição de porcentagens do agregado graúdo natural por Resíduos da Construção Civil em concretos para pavimentação.

1.1.2 Objetivos específicos

- comparar resultados obtidos nas misturas com RCC, com resultados de concreto convencional, confeccionado com agregado graúdo natural;
- avaliar o processo de retração por secagem, através do ensaio de retração e a possível ocorrência de patologias proporcionadas por ele;
- verificar a possibilidade da utilização do RCC nos pavimentos de concreto de cimento Portland, atendendo as especificações exigidas pelas normas brasileiras.

1.2 Justificativa

O estudo sobre a reutilização de RCC é importante, visto que em cada obra, sendo realizada por inteira ou uma simples reforma, ela produz resíduos que ainda podem ser aproveitados, evitando a poluição do meio ambiente.

Considerando que os geradores de resíduos da construção civil devem ser responsáveis pela sua destinação final ambientalmente adequada, reciclar e reutilizar RCC, são ações propostas na Resolução CONAMA nº 307/2002 e na Lei nº 12.305 que visam contribuir para a preservação do meio ambiente, ao determinar que os geradores evitem depositar, de forma irregular, os resíduos na natureza.

Na construção civil, mesmo sendo uma ideia moderna, já existem algumas formas de emprego de RCC, como já dito na introdução desse trabalho, tais como em camadas de regularização e como agregados. Apesar disso, ainda há

necessidade da realização de mais estudos que abordem a substituição do agregado gráudo natural por resíduos da construção civil em concreto para pavimentação, atendendo as especificações exigidas pelas normas brasileiras e levando em conta as possíveis ocorrências de patologias nos pavimentos de concreto de cimento Portland.

Este trabalho é mais um estudo do emprego de resíduos da construção como forma de agregado em concreto, porém, na área de pavimentação, e que busca conhecer seu comportamento na mistura, e se obter, de forma satisfatória resultados sobre sua aplicação na confecção de concreto para pavimentação. Caso sejam satisfatórios os resultados, além de diminuir impactos ambientais com a redução do despejo dos resíduos em aterros, também poderá contribuir para a redução de custos na produção desse concreto.

1.3 Estrutura do trabalho

Em busca de alcançar os objetivos propostos, este trabalho está dividido em quatro capítulos.

O primeiro contém a descrição da introdução, dos objetivos e da justificativa.

No segundo consta a fundamentação teórica, abordando os temas propostos como apresentação dos resíduos da construção e demolição, suas possíveis reutilizações, uma breve definição de concreto e seus componentes, concreto para a pavimentação e a possibilidade de utilizar os resíduos na confecção desses concretos.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia proposta para a realização do trabalho. No quarto capítulo apresenta-se os resultados das atividades realizadas e no quinto capítulo tem-se, as conclusões.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são abordados tópicos que descrevem sobre o tema a ser discutido nesse trabalho, tais como a definição de resíduos da construção civil, sua gestão e possíveis utilizações, uma breve descrição sobre concreto, concreto para pavimentação e o uso dos RCC em pavimentos de concreto.

2.1 Resíduos da Construção Civil (RCC)

O histórico da construção civil se remete a evolução do homem sobre a Terra, sempre tendo uma importante atividade no desenvolvimento socioeconômico da sociedade, porém essa área é grande geradora de impactos ambientais, seja na ocupação de locais antes não habitados, na utilização e esgotamento de recursos naturais e também na geração de resíduos que muitas vezes não têm sua destinação e disposição final ambientalmente correta.

Segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002 (BRASIL, 2002), resíduos da construção civil são materiais provenientes de construções, reformas, reparos, demolições de obras de construção civil e materiais resultantes da limpeza e escavação de terrenos. Materiais esses comumente nomeados de entulhos, onde podem ser encontrados tijolos, concreto, solos, rochas, metais, resinas, vidros, plásticos, fiação elétrica, entre outros, como exemplificado na Figura 1.

Figura 1 – Entulho de obra



Fonte: Elaboração própria

A Resolução CONAMA nº 307/02 também classifica os RCC, agrupando-os em quatro classes, sendo que os principais materiais componentes dessas classes estão representados no Quadro 1:

Quadro 1 – Classificação dos RCC

Classe	Tipo de Resíduo
A	Cacos de cerâmicas, tijolos, blocos, telhas, concreto, argamassa.
B	Plástico, madeira, papelão, metais, vidros.
C	Gesso
D	Tintas, solventes, óleos ou provenientes de clínicas de radiologia, instalações industriais.

Fonte: Adaptado de BRASIL (2002)

2.1.1 Gerenciamento ambientalmente adequado de RCC

Os resíduos gerados em canteiros de obras, geralmente provenientes do processo construtivo, criam sérios problemas para as cidades, devido à escassez de serviços de coleta especializada, que possa oferecer o transporte, a separação a destinação e disposição final ambientalmente corretas para os resíduos. Junto a isso, o que realmente ocorre nos canteiros é o acúmulo de entulhos em caçambas, sem qualquer tipo de diferenciação entre materiais, ocorrendo a mistura de resíduos cerâmicos, com solventes, tintas e vidros sendo, posteriormente, descartados de forma aleatória em aterros definidos pelo poder público.

Esse tipo de descarte é considerado um grande problema para o ambiente, uma vez que juntamente com os restos de blocos cerâmicos, telhas, concreto, que são materiais com grande possibilidade de reaproveitamento, pode haver algum tipo de material químico prejudicial ao meio ambiente, colocando em risco a saúde das pessoas e dos animais.

Para que não ocorra essas atitudes, tanto empresas públicas quanto privadas devem possuir um plano de gerenciamento dos resíduos por ela produzido. E para que esse plano de gerenciamento funcione, há “a necessidade de assegurar o cumprimento de legislações específicas, que definem e organizam as responsabilidades relativas à geração, coleta, transporte, acondicionamento e disposição final” (BLUMENSCHNEIN, 2007, p. 5). O Quadro 2 exemplifica os agentes relevantes à gestão e suas principais responsabilidades.

Quadro 2 – Principais responsabilidades na gestão de RCC

Agentes	Responsabilidades
Estado	Introduzir instrumentos de regulamentação visando o gerenciamento da coleta; o transporte e a fiscalização; estabelecer padrões de fiscalização e utilização de entulho para aterramentos; fortalecer atividades recicladoras; estabelecer metas para redução do uso de recursos naturais; entre outros.
Geradores	Redução das perdas e da geração de resíduos através da adoção de métodos construtivos racionais; gerenciamento de resíduos sólidos durante o processo construtivo; conscientização da necessidade de utilizar materiais reciclados, de viabilizar atividades de reciclagem e assegurar a qualidade dos resíduos.
Clientes, empreendedores, arquitetos, engenheiros e consultores.	Estabelecer critérios de especificação que visem a utilização de materiais reciclados e a adoção de princípios de sustentabilidade; exigir a adoção de sistema de gestão de resíduos em canteiros de obras; entre outros.
Transportadores	Exigir o exercício da atividade de transportar de maneira consciente e responsável levando os resíduos às áreas corretas; conscientizar seus motoristas sobre os impactos causados por resíduos dispostos irregularmente.
Processadores dos resíduos	Assegurar a qualidade dos agregados.

Fonte: Adaptado de Blumenschein (2007)

Para consolidar a ideia da gestão de resíduos da construção e demolição, firmando as responsabilidades citadas anteriormente, foi sancionada a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, na qual institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, reunindo o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo Governo Federal, visando a gestão e o gerenciamento ambientalmente adequado de resíduos sólidos.

Conforme o Art. 20 dessa mesma Lei, estão sujeitos à elaboração do plano de gerenciamento:

- geradores de resíduos de saneamento básico, industriais, de mineração e resíduos de serviço e saúde;
- estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços que gerem resíduos perigosos ou resíduos não perigosos e que não se comparam com resíduos domiciliares;
- empresas de construção civil;

- responsáveis por resíduos de serviços de transporte, originados de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodovias, ferrovias e passagens de fronteira;
- responsáveis por atividades agrossilvopastoris.

Observa-se que o Art. 21 da Lei nº 12.305 estabelece um conteúdo mínimo que o plano de gerenciamento deve possuir, sendo os seguintes:

- descrição do empreendimento ou atividade;
- diagnóstico dos resíduos gerados ou administrados, contendo origem, volume e caracterização;
- explicitação dos responsáveis por cada etapa do gerenciamento e definição dos procedimentos operacionais relativos às etapas do gerenciamento dos resíduos sob responsabilidade do gerador;
- identificação das soluções consorciadas ou compartilhadas com outros geradores;
- ações preventivas e corretivas a serem executadas em situações de gerenciamento incorreto ou acidentes;
- metas e procedimentos relacionados à minimização da geração de resíduos sólidos, entre outros;
- medidas saneadoras dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos, e;
- periodicidade de sua revisão, observando o prazo de vigência da respectiva licença de operação.

É importante frisar que no Art. 4º da Resolução CONAMA nº 307/2002, consta a informação de que cabe aos geradores, como objetivo prioritário, a não geração e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Diante disso, aborda-se na sequência, alguns desses objetivos.

2.1.2 Redução, reutilização e reciclagem de RCC

O conceito de redução, reutilização e reciclagem, comumente chamados de “3Rs”, reúne um conjunto de princípios que possibilitam a redução na geração e o desperdício de resíduos (NOVAES; MOURÃO, 2008).

“O reuso de componentes construtivos e a reciclagem de materiais não são conceitos novos, ao contrário, até o século XIX esta era a prática comum em todo o mundo e, nos dias de hoje, continua sendo em países subdesenvolvidos” (ADDIS, 2010, p. 29).

Cabe dizer que desde os primórdios das construções em alvenaria, essa prática ocorria na Roma, na Grécia e no Egito antigos, onde os blocos de pedras eram reutilizados em novas construções, sempre que houvesse algum evento destrutivo como terremotos, guerra ou simplesmente pelo desgaste da construção. Essa reutilização ocorria pelo fato de que a força humana utilizada nesse processo seria menor do que retirar novas pedras que poderiam ser obtidas em locais a quilômetros de distância do local da obra. (ADDIS, 2010).

2.1.2.1 Redução

A redução na produção de RCC é o primeiro passo para se iniciar o processo de gestão dos resíduos, com a finalidade de minimizar as perdas. De acordo com Novaes e Mourão (2008), a redução impulsiona a empresa para uma obra sustentável, dessa forma, acarretando em vantagens como:

- diminuição dos custos de transporte e disposição final;
- redução dos custos com compras;
- diminuição dos espaços com estocagem;
- obra mais limpa;
- aumento na segurança dos trabalhadores;
- melhoria na imagem da empresa.

Blumenschein (2007) acredita que para compreender o mecanismo da geração de resíduos é necessário analisar o processo construtivo das obras, incluindo o planejamento e a análise da viabilidade do empreendimento, assim

havendo a elaboração de um projeto a ser seguido na execução da construção, contendo a utilização da edificação, de reparos, de reformas, visando prevenir e reduzir a geração de resíduos.

2.1.2.2 Reutilização

A reutilização é o reaproveitamento de materiais que seriam descartados, tanto na fase de construção quanto na fase de demolição, sendo essa atividade de grande importância na atualidade, tendo em vista a crescente escassez de matéria-prima no planeta.

Novaes e Mourão (2008) citam algumas medidas que podem incentivar um maior aproveitamento dos resíduos produzidos em uma obra. Essas medidas são:

- implantação da central de corte e furo de cerâmicas nas obras, evitando a quebra de peças e o aumento do desperdício;
- reutilização de embalagens plásticas e metálicas;
- utilização do resíduos produzido durante a obra, em possíveis regularizações do terreno.

Além das aplicações na forma bruta dos entulhos, como em bases de pavimentação, regularização de terrenos, há possibilidades de utilização dos RCC na forma de agregado, podendo ser empregados em argamassas de assentamento e revestimento, concretos, serviços de drenagens, na fabricação de pré-moldados (blocos, meio-fio, pavers, entre outros) e também na pavimentação (ZORDAN, 1997; LIMA, 1999).

Pesquisas realizadas por Zordan (1997), onde confeccionou corpos-de-prova com agregado graúdo feito de entulho, com traços em massa definidos como 1:3, 1:5 e 1:7 (cimento:entulho), estabelecendo a relação de 50% de agregado graúdo para 50% de agregado miúdo, incluindo o cimento, e amostras curadas imersas em água com cal e rompidas aos 28 e 60 dias.

Após a realização dos ensaios, Zordan (1997) observou que a presença de materiais cerâmicos polidos no entulho utilizado afetava negativamente a resistência. Por outro lado, na resistência à compressão simples, os concretos com agregado reciclado apresentaram, em média 49%, 62% e 93% da resistência do concreto de referência, utilizando os traços 1:3, 1:5 e 1:7, respectivamente. Já no que se refere

aos dias de cura, o autor notou que os resultados de resistência foram mais expressivos na dosagem 1:7 em ambas as idades (28 e 60 dias).

Outro exemplo dessa utilização encontra-se em Sousa (2001), que para a realização de sua pesquisa, utilizou porcentagens de agregado reciclado no lugar de agregado natural para confeccionar blocos de concreto.

O supracitado autor verificou que a quantidade de entulho empregada na confecção de concreto influenciava consideravelmente nos resultados. Alcançou valores da resistência à compressão menores que a metade das obtidas nas amostras de referência, quando ensaiados corpos-de-prova cilíndricos, cujo traço 1:10 (cimento:agregado), substituía de 60% a 70% dos agregados convencionais por entulho. Quando a substituição era de 30% a 50%, a resistência chegava a ser um pouco acima da obtida com materiais convencionais (SOUSA, 2001).

2.1.2.3 Reciclagem

A reciclagem é o ciclo de um material considerado velho, que o transforma em novo, prologando sua vida útil, evitando o descarte em locais inadequados e não o tornando um material poluidor. “O meio ambiente não consegue absorver a quantidade de resíduo gerado pela sociedade consumista” (NOVAES; MOURÃO, 2008, p. 61), nem mesmo renovar os recursos naturais utilizados na produção de novos materiais, tornando cada vez mais escassa a sua matéria-prima.

Da mesma forma, quando são observados os resíduos da construção civil não é diferente, pois há a necessidade de adaptar obras para que ocorra a reciclagem e a reutilização de materiais produzidos por ela que seriam descartados. A reciclagem de RCC varia de acordo com a sua composição, como por exemplo, resíduos cerâmicos podem, quase em sua totalidade, ser usados como agregado. (JOHN; AGOPYAN, 2000). Com base em John e Agopyan (2000), estão expressos no Quadro 3 outros exemplos de reciclagem e reutilização de resíduos da construção civil:

Quadro 3 – Reciclagem e reutilização de RCC

Material	Reciclagem e Reutilização
Concretos estruturais e rochas naturais	Podem ser reciclados como agregados para concretos estruturais.
Cerâmicas vermelhas e de revestimento - materiais mais porosos, de menor resistência mecânica	Por absorverem maior quantidade de água, são indicados à aplicação em concretos de baixa resistência, como blocos de concreto, contra pisos e camadas drenantes.
Gesso	Por ser solúvel em água e apresentar reações expansivas com o cimento Portland, pode ter frações misturadas com solo e materiais cerâmicos e utilizados na forma de sub-base e base para pavimentação.
Metais	Facilmente vendido a indústria de sucata.

Fonte: Adaptado de John e Agopyan (2000)

Vale alertar que materiais como plásticos, papelões, vidros, tintas, solventes, entre outros, para realizar a sua reciclagem, reutilização, armazenamento e/ou disposição final ambientalmente adequada, deve-se ter orientação de normas técnicas específicas desenvolvidas para cada tipo de resíduo.

2.2 Pavimento

Pavimento é uma estrutura construída sobre superfície após terraplanagem com o objetivo de fornecer ao usuário segurança e conforto, que deve ser alcançado com a máxima qualidade e mínimo custo (SANTANA, 1993 apud MARQUES, 2012).

O Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte define como pavimento uma superestrutura constituída por um sistema de camadas, formadas por materiais de diferentes resistências e deformabilidades, sobre um semi-espaco considerado infraestrutura ou terreno de fundação, a qual é designada de subleito (DNIT, 2006).

Balbo (2007) descreve pavimento como uma estrutura não perene, composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados a partir do subleito, adequado para atender a estrutura e a operação do tráfego, de forma durável e com mínimo custo possível, considerando serviços de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação obrigatórios.

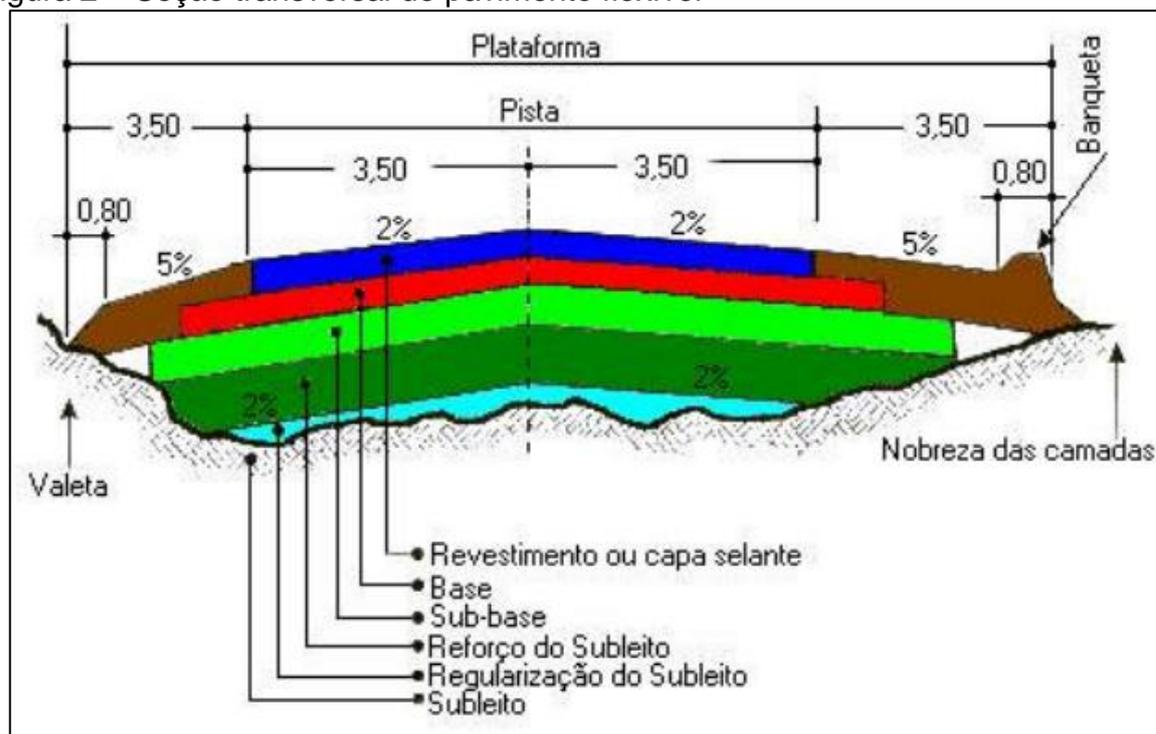
De forma geral, os pavimentos são classificados em flexível e rígidos, os quais são apresentados nos itens 2.2.1 e 2.2.2.

2.2.1 Pavimento flexível

Pavimento flexível é a estrutura em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado, distribuindo a carga em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Camadas essas que sua constituição é em função da intensidade do tráfego, da resistência do solo e das características dos materiais disponíveis, geralmente formada por revestimento betuminoso delgado sobre camadas puramente granulares. (DNIT, 2006; BRANCO; PEREIRA; SANTOS, 2006; MARQUES, 2012).

Na Figura 2 está representada a seção transversal típica das camadas do pavimento flexível.

Figura 2 – Seção transversal de pavimento flexível



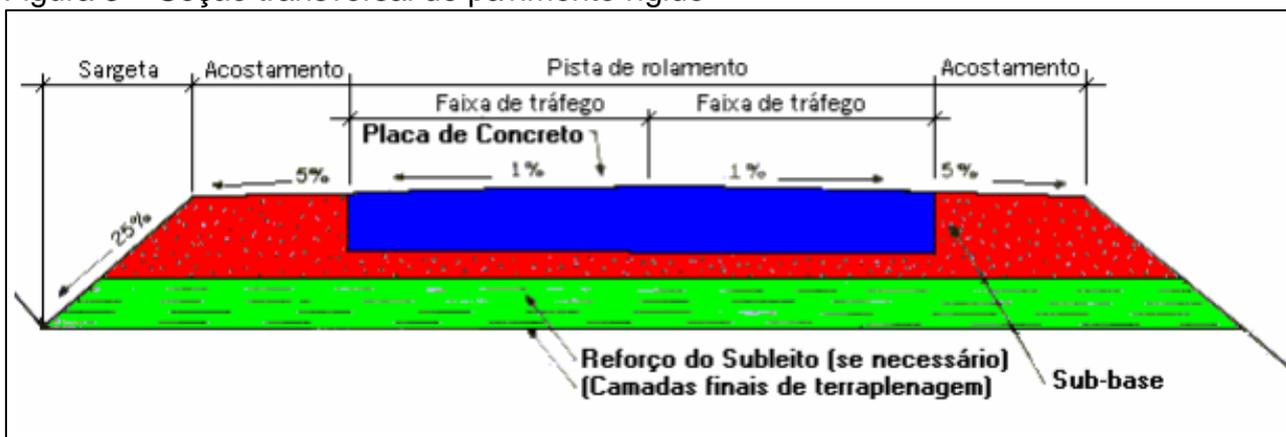
Fonte: Marques (2012, p. 3).

2.2.2 Pavimento rígido

O pavimento rígido possui uma elevada rigidez em relação as camadas inferiores, assim absorvendo praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. (DNIT, 2006).

A constituição do pavimento rígido é feita “por uma laje de betão de cimento, compactado por vibração, a qual é apoiada numa camada de sub-base constituída por material granular, ou no caso de tráfego intenso, por esse material estabilizado com ligante hidráulico” (BRANCO; PEREIRA; SANTOS, 2006, p. 15). A Figura 3 exemplifica a composição comum do pavimento rígido.

Figura 3 – Seção transversal de pavimento rígido



Fonte: Marques (2012, p.4).

A elevada resistência à flexão dessa constituição, faz com que os pavimentos não sofram deformações acentuadas mesmo quando submetidos ao tráfego pesado, intenso, lento e às altas temperaturas. Porém, a camada que antecede a laje de betão deve ser regular, para que sua execução seja realizada em boas condições resistente à erosão, sob o tráfego da obra ou em serviço, evitando o descalçamento da mesma (BRANCO; PEREIRA; SANTOS, 2006).

Diferente do pavimento flexível, na qual sua vida útil é de aproximadamente de 10 anos, os pavimentos de concreto são concebidos para durarem até 30 anos, apenas com as intervenções de manutenção mínimas, dessa forma, elevando o custo/benefício dessa obra que requer um investimento maior que a implantação de outro tipo de pavimento (LOTURCO, 2005).

2.2.3 Pavimento de concreto

O Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná define como pavimento de concreto a camada constituída por placas de concreto de cimento Portland, não armada ou com armadura sem função estrutural, que desempenham simultaneamente as funções de base e de revestimento (DER/PR, 2005).

Quando o pavimento de concreto é incorporado à laje do tabuleiro, ele é executado separadamente da laje do tabuleiro, mas aderido a esta por meio de grampos posicionados na laje (DER/SP, 2007, p. 3).

O concreto empregado na execução dos pavimentos rígidos deve apresentar resistência característica à tração na flexão definida em projeto, que geralmente é de 4,5 MPa. Ele também deverá apresentar baixa variação volumétrica, trabalhabilidade compatível com o equipamento a ser empregado no espalhamento, adensamento e acabamento do concreto. E para garantir grande durabilidade, o consumo de cimento deve ser igual ou acima de 320 kg/m³ de concreto (DNIT, 2004, p.65).

Para que as condições citadas anteriormente sejam atendidas, é necessário a realização de estudos do traço do concreto, considerando o tipo e a eficiência do cimento, a quantidade ideal de água, a temperatura do concreto, os materiais a serem empregados entre outros fatores.

Loturco (2005) afirma que um dos motivos para que o uso do pavimento de concreto em rodovias brasileiras terem aumentado, é o fato de que o número de rodovias sob concessão é alto, e esse tipo de revestimento é de grande durabilidade (em média 20 anos) e as manutenções dos mesmos serem mínimas nesse período.

O supracitado autor ainda recomenda certas práticas para evitar o surgimento de defeitos nos pavimentos rígidos, nas quais cita-se como exemplos:

- controlar o fornecimento de concreto, a dosagem e a qualidade dos agregados;
- realizar vibração para o acabamento fino da superfície;
- planejar o processo de obtenção para conforto e segurança;
- manter os equipamentos limpos e com manutenções em dia.

2.3 Concreto

Pinheiro (2007) define concreto como um material de construção, resultante da mistura de aglomerantes, agregados e água em proporções adequadas. Cabe informar que o “concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade” (HELENE; ANDRADE, 2010, p. 905).

Na mistura do concreto, o cimento juntamente com a água, formam uma pasta fluida (dependendo do percentual de água adicionada), que envolve as partículas de agregados com diversas dimensões produzindo um material, que nas

primeiras horas, apresenta-se em estado capaz de ser moldado em diversas formas. Ao passar do tempo, essa mistura endurece, pela reação irreversível da água com o cimento, assim, adquirindo resistência mecânica, que o torna um excelente material de desempenho estrutural, sob diversos ambientes em que ele pode ser exposto (HELENE; ANDRADE, 2010, p. 920).

Existem inúmeros tipos de concreto que podem ser produzidos a partir desse conceito básico (cimento, água e agregados), e que foram desenvolvidos para atender as necessidades construtivas, podendo incorporar nessa mistura aditivos, pigmentos, fibras entre outros, buscando sempre uma tecnologia que atenda propriedades físicas, mecânicas e durabilidade requeridas para o concreto (HELENE; ANDRADE, 2010). Os mais comuns são o concreto convencional ou simples e o concreto armado.

O concreto simples “é aquele sem qualquer característica especial e que é utilizado no dia-a-dia da construção civil” (PORTAL DO CONCRETO, 2006?), e sua constituição é gerada por cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo, sendo ele, basicamente uma argamassa com agregado graúdo. Após o seu endurecimento, apresenta boa resistência à compressão e baixa resistência à tração (PINHEIRO, 2007).

Concreto armado é a associação do concreto convencional com armaduras feitas com barras de aço (PINHEIRO, 2007). “Essas armações são necessárias para atender a deficiência do concreto em resistir a esforços de tração” (PORTAL DO CONCRETO, 2006?) sendo indispensável na fabricação de diversos elementos construtivos, tais como, por exemplo, vigas, lajes, pilares.

2.3.1 Cimento Portland

Cimento, originado do latim *caementu*, que significa “pedra proveniente de rochedos”, é usado há milênios, como na construção de pirâmides, onde os egípcios utilizavam uma espécie de gesso calcinado. Na Roma e Grécia antigas eram aplicados em monumentos uma massa obtida pela hidratação de cinzas vulcânicas. A evolução dessas misturas se deu com pesquisas desenvolvidas por engenheiros da época. O ponto mais marcante para a história atual do cimento foi quando o construtor inglês Joseph Aspdin, com experiências envolvendo processos de mistura, queima e moagem de argila e pó de pedra calcária, conseguiu um material

pulverulento, que misturado com certa quantidade de água, produzia uma argamassa, e que depois de seca, se tornava um material de dureza semelhante a pedras utilizadas nas edificações. E, mais tarde, patenteou essa mistura de cimento Portland (PORTAL DO CONCRETO, 2006?).

O Cimento Portland passou por vários desenvolvimentos até chegar na forma como é conhecido hoje. Sua formação é obtida com a pulverização de *clinker*, constituído basicamente de silicatos hidráulicos de cálcio, com proporções de sulfato de cálcio natural (BAUER, 2008).

2.3.2 Agregado reciclado

Agregado é um material particulado sem coesão, de atividade química basicamente nula, que pode ser também conhecido por nomes específicos, como fíler, pedra britada, bica-corrida, entre outros, e que são classificados segundo sua origem, dimensões das partículas e o peso específico aparente (BAUER, 2008).

Balbo (2007) define os agregados como um conjunto de grãos minerais dentro de um determinado limite de dimensão, naturais ou artificiais que podem ser britados ou não, usado na construção civil na confecção de argamassas, concretos asfálticos etc.

Na Resolução CONAMA nº 307/2002 consta que agregado reciclado é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos da construção que apresentem características técnicas para aplicação em obras de edificação, infraestrutura, em aterros sanitários ou qualquer outra obra de engenharia (BRASIL, 2002).

2.3.3 Uso de RCC em pavimento de concreto

Estudos abordando a utilização de RCC como agregado reciclado ainda estão em progresso, pois no Brasil um aspecto que complica seu uso é sua viabilidade. Não existe um controle de qualidade desses materiais, uma vez que para o emprego do agregado reciclado na pavimentação, a qualidade do RCC também é importante (JOHN; AGOPYAN, 2000).

Lima (1999) afirma que a aplicação de agregado reciclado na pavimentação é onde se obtém melhores resultados, superando em muitos casos os alcançados com agregado convencional.

Um exemplo de uso de agregado reciclado na confecção de pavimentos de concreto é o proposto por Tseng (2010), que em sua pesquisa, utilizou as placas de concreto antigo, proveniente do revestimento de pavimento do Rodoanel Metropolitano Mário Covas. Esse pavimento velho foi retirado do seu local de origem e foi britado, dando origem aos agregados reciclados.

Para a realização dos ensaios, foram moldados 7 corpos-de-prova (CP), todos contendo o mesmo traço em volume, diferenciando as porcentagens de agregados reciclados em cada um. O CP de referência foi feito com 100% de agregados (miúdo e graúdo) naturais; já os demais foram produzidos todos com 100% de agregado graúdo reciclado e variando as porcentagens de agregado miúdo (reciclado e natural).

Os ensaios de tração na flexão foram realizados aos 7 e aos 28 dias, onde as tensões médias de ruptura aos 7 dias, no pior caso, atingiram cerca de 85% da tensão média do concreto de referência (CP com 25% agregado miúdo reciclado e 75% agregado natural e CP com 50% agregado miúdo reciclado e 50% natural). Aos 28 dias, a menor tensão média de ruptura obteve 80% da tensão do CP de referência.

A autora também realizou ensaios de compressão simples aos 7 e 28 dias, sendo que o CP composto por 100% agregado graúdo reciclado, 75% agregado miúdo convencional e 25% agregado miúdo reciclado, superou a tensão média de ruptura do CP de referência em 27% aos 7 dias. Essa porcentagem foi um pouco menor no ensaio aos 28 dias, sendo o concreto confeccionado com agregado miúdo 100% natural, superando 9% do concreto com agregado convencional.

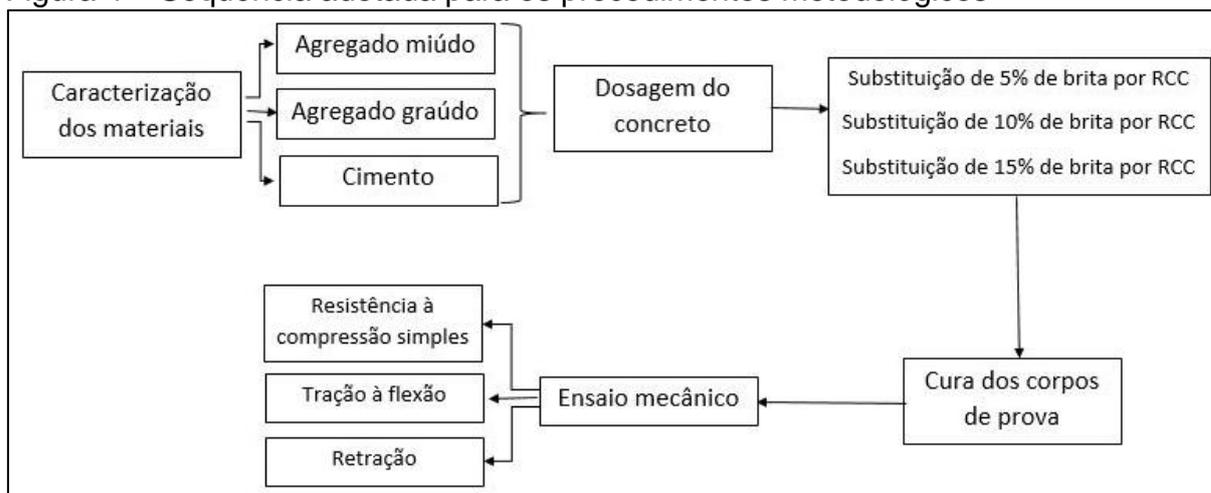
Tseng (2010) ainda conclui que a reciclagem de pavimento de concreto, é uma boa solução para a reconstrução de antigas rodovias em concreto, sendo uma boa saída para o problema de disposição final dos resíduos sólidos, reduzindo custos de construção e energia.

Já com relação à viabilidade técnica da aplicação do concreto britado como matéria prima para obter um novo concreto, a grande maioria dos ensaios apresentaram resultados satisfatórios, provando a possibilidade de seu emprego (TSENG, 2010, p. 191).

3 METODOLOGIA

Nesse capítulo estão a descrição dos métodos adotados e os materiais utilizados para a realização desse trabalho. A Figura 4 esquematiza os procedimentos seguidos.

Figura 4 – Sequência adotada para os procedimentos metodológicos



Fonte: Elaboração própria.

3.1 Caracterização do material

Para realizar os ensaios de caracterização, as amostras dos materiais utilizados foram coletadas conforme a NBR NM 26 (ABNT, 2009) e a NBR NM 27 (ABNT, 2001).

3.1.1 Agregado miúdo

A NBR 7211 (ABNT, 2005) define como agregado miúdo aquele cujos os grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e que ficam retidos na peneira de malha de 150 μ m. Nesse trabalho, foram utilizadas a série normal de peneiras.

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), o agregado miúdo para ser utilizado na composição de concreto, deve atender os limites descritos na norma referente a sua distribuição granulométrica. Na Tabela 1 está presente os valores que a norma

descreve como zona utilizável e os valores obtidos no agregado miúdo empregado nesse trabalho.

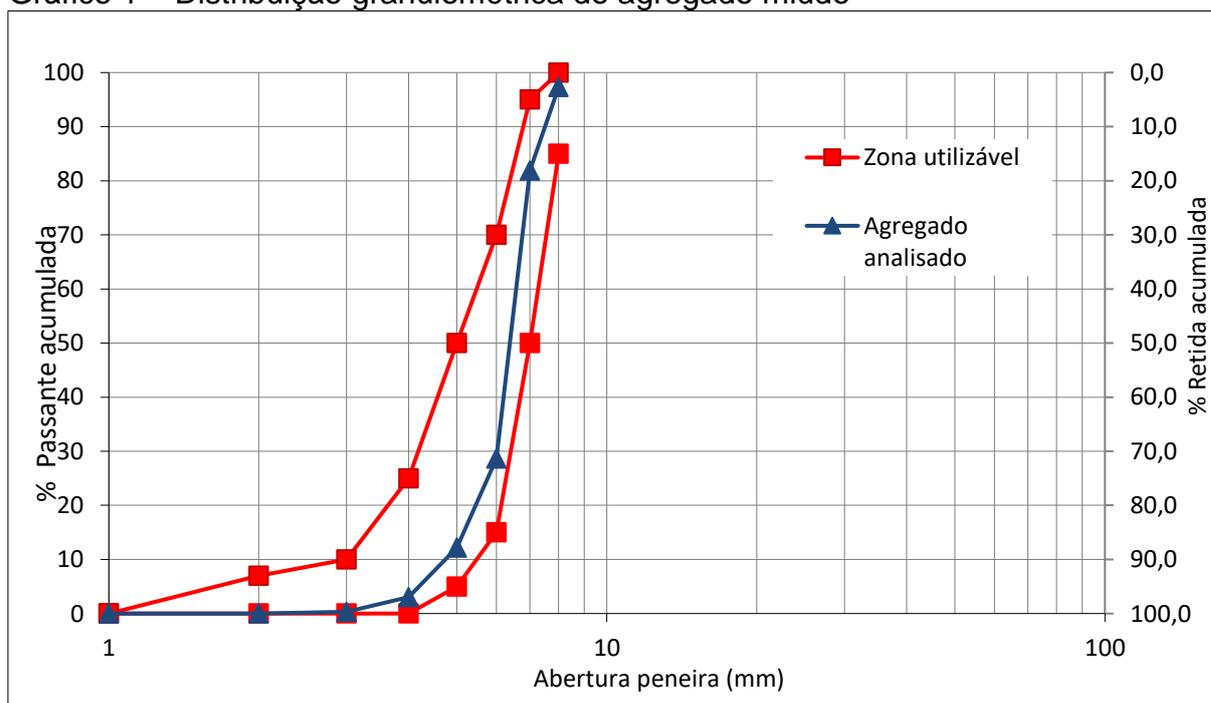
Tabela 1 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha	Porcentagem, em massa, retida acumulada		
	Limite inferior	Limite superior	Valores obtidos em laboratório
	Zona utilizável		Amostra
9,5 mm	0	0	0
6,3 mm	0	7	0
4,75 mm	0	10	0,343
2,36 mm	0	25	3,02
1,18 mm	5	50	12,161
600 µm	15	70	28,658
300 µm	50	95	81,844
150 µm	85	100	97,341

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7211 (2005)

A partir da massa retida acumulada e as zonas dispostas na norma NBR 7211 (ABNT, 2005), foi traçada a curva granulométrica do agregado miúdo utilizado, como exposto no Gráfico 1, onde pode-se notar que a curva do agregado se adequa dentro da zona utilizável. A dimensão máxima característica desse agregado foi $D_{m\acute{a}x} = 2,36$ mm e o módulo de finura igual à 2,23.

Gráfico 1 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Elaboração própria

Além disso, foi realizada a determinação da massa unitária, tanto para o material compactado, quanto para o material em estado solto, sendo que os ensaios seguiram, respectivamente, o “método A” e o “método C”, prescritos na NBR NM 45 (ABNT, 2006).

O método A consiste em pesar o recipiente cilíndrico vazio e, em seguida, iniciar o ensaio preenchendo-o 1/3 de seu volume. Adensar uniformemente essa camada com 25 golpes da haste de adensamento, repetindo esse procedimento para as outras duas camadas seguintes, enchendo totalmente o cilindro. Após essa primeira etapa, deve-se nivelar a camada superficial com a borda do recipiente. Registrar a massa de todo o conjunto.

O método C resume-se em determinar a massa do recipiente cilíndrico vazio, como no procedimento anterior, e preenche-lo até transbordar, utilizando uma pá ou concha, despejando o agregado à uma altura de no máximo 50 mm acima da sua borda. Em seguida, nivela-se a camada superficial e registra-se a massa de todo o conjunto.

Utilizando os valores obtidos pelos ensaios descritos anteriormente, calcula-se a massa unitária do agregado pela fórmula (1):

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad \dots(1)$$

Onde:

ρ_{ap} – massa unitária do agregado [kg/m³];

m_{ar} – massa do recipiente mais o agregado em kg;

m_r – massa do recipiente vazio em kg;

V – Volume do recipiente em m³.

O valor médio desse ensaio de massa unitária do agregado miúdo, através do ensaio pelo “método A”, foi:

$$\rho_{ap} = 1500,98 \text{ kg/m}^3$$

O valor médio da massa unitária obtida através do “método C” foi de:

$$\rho_{ap} = 1378,19 \text{ kg/m}^3$$

A determinação da massa específica do agregado miúdo foi guiada pela norma NBR 9776 (ABNT, 1987), na qual menciona o início do procedimento com a colocação de água no frasco Chapman, até a marca de 200 cm³ e deixando de repouso para que a água aderida às laterais internas escorram totalmente. Em seguida, deve-se introduzir no frasco 500 g de agregado miúdo seco. A leitura do nível atingido pela água no gargalo indica o volume, em cm³, ocupado pelo conjunto água-agregado.

A massa específica do agregado miúdo é calculada pela expressão (2):

$$\gamma = \frac{500}{L-200} \quad \dots(2)$$

Onde:

γ – massa específica do agregado miúdo [g/cm³];

L – leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

O resultado obtido nesse experimento, foi:

$$\gamma = 2,62 \text{ g/cm}^3$$

3.1.2 Agregado graúdo

A NBR 7211 (ABNT, 2005) especifica como agregado graúdo os grãos que passam pela peneira de abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira de abertura de malha de 4,75 mm. A série de peneiras utilizadas para esse ensaio de caracterização, como para a classificação do agregado miúdo, foi a série normal.

A distribuição granulométrica do agregado graúdo (brita 1) utilizado, está exemplificada na Tabela 2, juntamente com os valores dos limites que esse agregado deve atender, segundo a norma.

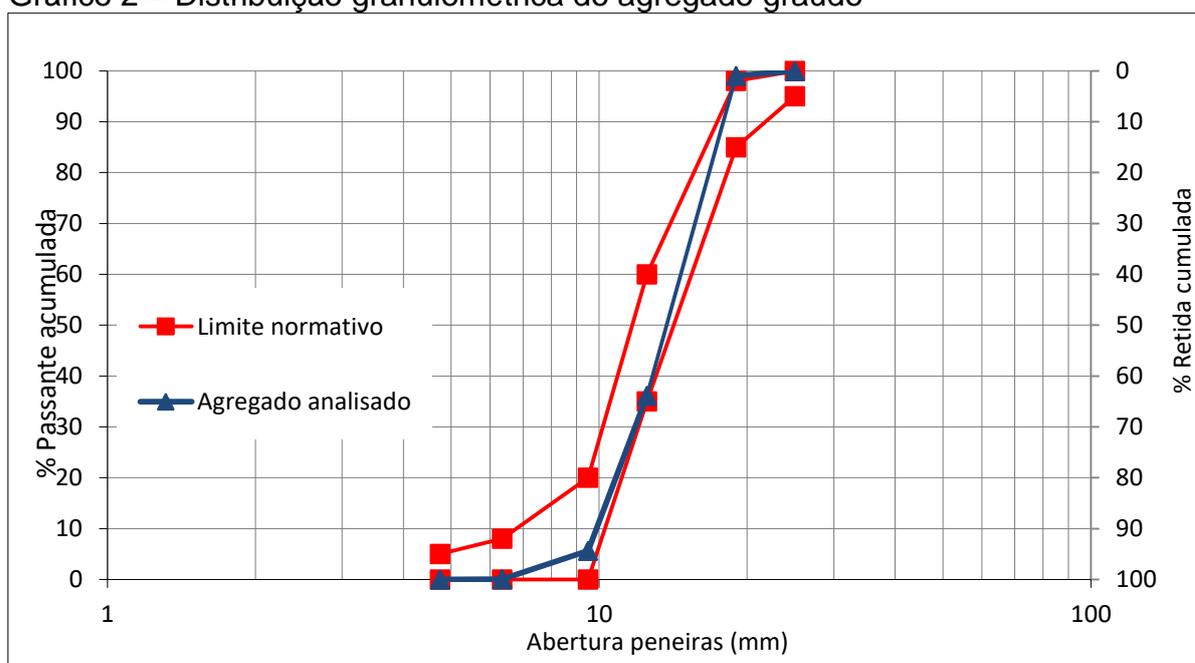
Tabela 2 – Distribuição granulométrica do agregado graúdo

Peneira com abertura de malha	Porcentagem, em massa, retida acumulada		
	Limite inferior	Limite superior	Valores obtidos em laboratório
	Zona granulométrica d/D		Amostra
	9,5	25	
19 mm	2	15	1
9,5 mm	80	100	94,4
6,3 mm	92	100	99,9
4,75 mm	95	100	100
2,36 mm	-	-	100
1,2 mm	-	-	100
0,6 mm	-	-	100
0,3 mm	-	-	100
0,15 mm	-	-	100

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7211 (2005)

A partir da massa retida acumulada e a zona granulométrica dispostas na norma NBR 7211 (ABNT, 2005), foi traçada a curva granulométrica do agregado graúdo utilizado, como pode ser visto no Gráfico 2, onde nota-se que a curva do agregado se adequa, quase que totalmente dentro da zona utilizável. A dimensão máxima característica desse agregado foi $D_{m\acute{a}x} = 19$ mm e o módulo de finura igual à 6,95.

Gráfico 2 – Distribuição granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Elaboração própria

Para a determinação da massa unitária, tanto para o estado compactado como para o estado solto, seguiu-se a NBR NM 45 (ABNT, 2006), utilizando o “método A” e o “método C”, da mesma forma como realizado para os agregados miúdos, citado anteriormente no tópico 3.1.1.

O resultado médio desse ensaio, obtido pelo “método A” foi:

$$\rho_{ap} = 1332,02 \text{ kg/m}^3$$

O valor médio da massa unitária obtida através do “método C” foi de:

$$\rho_{ap} = 1252,46 \text{ kg/m}^3$$

Para o agregado graúdo, também foi realizado o ensaio de massa específica aparente, baseando-se na NBR NM 53 (ABNT, 2009), onde a brita foi colocada submersa em água por aproximadamente 24 horas. Após esse período, o agregado foi retirado, seco superficialmente com pano absorvente e pesado. Essa mesma amostra foi colocada em recipiente e submergida em água, para realização da pesagem submersa. Após, o agregado foi seco em estufa e novamente pesado.

A massa específica do agregado seco é calculada a partir da seguinte expressão:

$$d = \frac{m}{m_s - m_a} \quad \dots(3)$$

Onde:

d – massa específica do agregado seco [g/cm³];

m – massa da amostra seca [g];

m_a – massa em água, da amostra [g].

A massa específica do agregado na condição saturado com a superfície seca, é obtida pela fórmula:

$$d_s = \frac{m_s}{m_s - m_a} \quad \dots(4)$$

Onde:

d_s – massa específica do agregado saturado com superfície seca [g/cm³];

m_s – massa da amostra saturada com superfície seca [g];

m_a – massa em água, da amostra [g].

E a massa específica aparente do agregado graúdo, é obtida pela fórmula:

$$d_a = \frac{m}{m_s - m_a} \quad \dots(5)$$

Onde:

d_a – massa específica aparente do agregado seco [g/cm^3];

m – massa do agregado seco [g];

m_s – massa da amostra saturada com superfície seca [g];

m_a – massa em água, da amostra [g].

E a absorção de água pela brita, é calculada pela expressão:

$$A = \frac{m_s - m}{m} * 100 \quad \dots(6)$$

Onde:

A – absorção de água [%];

m – massa do agregado seco [g];

m_s – massa da amostra saturada com superfície seca [g].

Os resultados dos ensaios de massas específicas e absorção de água para o agregado graúdo estão apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 – Resultados de massa específicas e absorção de água

Massa específica do agregado seco (d)	2,73 g/cm^3
Massa específica do agregado saturado e superfície seca (d_s)	2,77 g/cm^3
Massa específica aparente do agregado seco (d_a)	2,73 g/cm^3
Absorção de água (A)	1,44 %

Fonte: Elaboração própria

3.1.3 Agregado graúdo reciclado

O tipo de resíduo utilizado como agregado nesse trabalho, foi o de Classe A (cacos de cerâmicas, tijolos, blocos, telhas, concreto, argamassa) e foram obtidos

britados, com algumas impurezas, tais como restos de ferros, madeiras e plástico, porém, com granulometria de elevadas dimensões, como pode ser visto na Figura 5. Como nesse trabalho substituiu-se agregado graúdo por porcentagens em massa de RCC britado na confecção de concreto, o RCC foi quebrado até atingir tamanhos semelhantes com a brita 1, como apresentado na Figura 6.

Figura 5 – RCC antes de quebrado



Fonte: Elaboração própria

Figura 6 – RCC na dimensão de brita 1



Fonte: Elaboração própria

Para a caracterização desses agregados foram realizados alguns ensaios de caracterização da brita, assim, podendo saber o quão esse tipo de agregado se assemelha ao agregado natural.

Na caracterização granulométrica para o RCC foram britados os materiais coletados para que pudesse obter uma curva equivalente à curva de brita. Não foi realizada qualquer separação do tipo de material, como material de concreto, cerâmico etc. Os mesmos foram utilizados com as características que possuíam quando coletado na empresa que recolhe o RCC e gerado o agregado.

Na caracterização do agregado, foi realizado o ensaio de massa específica aparente, baseando-se na NBR NM 53 (ABNT, 2009), onde o RCC já britado, foi colocado submerso em água por aproximadamente 24 horas. Após esse período, o agregado foi retirado, seco superficialmente com pano absorvente e, após, foi pesado. Essa mesma amostra foi colocada em recipiente e submergida em água, para realização da pesagem submersa. Após essa etapa, o agregado reciclado foi seco em estufa e novamente pesado.

A massa específica do agregado seco foi calculada a partir da expressão (3), a massa específica do agregado na condição saturado com a superfície seca foi obtida pela fórmula (4) e a massa específica aparente do agregado graúdo foi obtida pela fórmula (5).

A absorção de água pelos RCC foi calculada pela mesma expressão da brita, representada pela fórmula (6). Os resultados dos ensaios de massas específicas e absorção de água para o agregado reciclado foram os seguintes:

Tabela 4 – Resultados de massa específicas e absorção de água

Massa específica do RCC seco (d)	1,91 g/cm ³
Massa específica do RCC saturado e superfície seca (d_s)	2,16 g/cm ³
Massa específica aparente do RCC seco (d_a)	1,91 g/cm ³
Absorção de água (A)	13,01 %

Fonte: Elaboração própria

3.1.4 Cimento

Para determinação da massa específica do cimento Portland, foi usada como base a NBR NM 23 (ABNT, 2001), onde se preencheu o frasco de Le Chatelier, com querosene até o nível entre as marcas 0 e 1 cm³, registrando-se a marcação.

Após, foi introduzido o cimento aos poucos com cuidado para que não grudasse nas paredes do frasco, até que o líquido (querosene) atingisse a marcação entre 18 cm³ e 24 cm³ e girou-se no intuito de eliminar o ar contido dentro do sistema. Novamente foi registrada a marcação em que o líquido atingiu e efetuou-se a pesagem do conjunto (ABNT, 2001). A massa específica foi obtida pela expressão (7).

$$\rho = \frac{m}{(V_2 - V_1)} \quad \dots(7)$$

Onde:

ρ – massa específica do cimento [g/cm³];

m – massa do material ensaiado [g];

V_1 – volume atingido pelo líquido [cm³];

V_2 – volume atingido pelo líquido + cimento [cm³]

O valor médio obtido foi:

$$\rho = 2,646 \text{ g/cm}^3$$

3.2 Dosagem

Realizou-se a dosagem do concreto pelo método IPT, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, que entende que a melhor proporção entre agregados disponíveis é aquela que consome a menor quantidade de água para obter o abatimento requerido, onde fixando a trabalhabilidade de projeto pode-se explorar diferentes teores de argamassa e relações água-cimento.

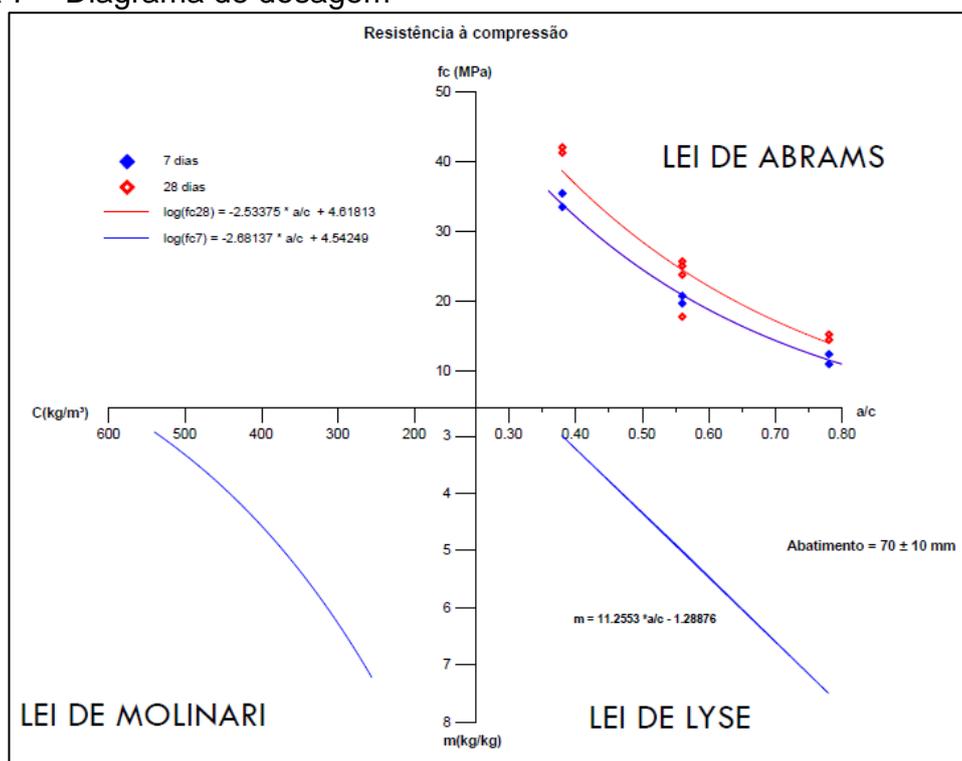
A dosagem inicia com um traço intermediário 1:5 com um teor de argamassa baixo, em torno de 36% a 38%. A trabalhabilidade adequada que se deseja para a mistura (slump) é definida e executa-se o concreto. Caso abatimento requerido e teor de argamassa não sejam adequados na primeira mistura, o concreto deve retornar para a betoneira e ser acrescentados incrementos de cimento e areia, objetivando aumentar o teor de argamassa do concreto.

Para o traço 1:5, o método recomenda que seja utilizado um referencial de água, que é de aproximadamente 5 litros. O ajuste de argamassa e da água do traço intermediário (1:5) são determinados pela trabalhabilidade desejada (Slump Test) e pela análise visual do concreto a medida que os incrementos de argamassa e água vão sendo adicionados à mistura.

Após a dosagem do traço intermediário determina-se o valor real da água utilizada para a obtenção do abatimento desejado e determina-se a relação de água da mistura por materiais secos (H). Com o valor de “H” fixo do traço intermediário, estima-se as relações a/c (água/cimento) dos traços 1:3 (traço rico) e 1:7 (traço pobre). A partir do teor ideal de argamassa, determinado anteriormente na mistura 1:5, e com os a/cs estimados, calculam-se os quantitativos dos traços rico e pobre e executam-se as moldagens. Para todas as misturas devem ser coletadas amostras de concreto para controle de referência à compressão axial em idades específicas e devem ser determinados os respectivos consumos de cimento de cada traço (VENQUIARUTO, 2016)

A partir dos dados obtidos, “m” (areia + brita), relações a/c, resistência à compressão e consumo de cimento dos três traços, é possível gerar gráficos que vão compor um diagrama de dosagem, como exemplificado na Figura 7:

Figura 7 – Diagrama de dosagem



Fonte: Venquiaruto (2016)

Seguindo esse método para calcular o traço do concreto utilizado para a realização do presente trabalho, com um valor de “m” de 3,5, teor de argamassa (α) de 48% e relação a/c de 0,35, obteve-se o traço para o concreto de referência: 1 : 1,16 : 2,34 e um consumo de cimento de cimento $C = 503,97 \text{ kg/m}^3$, atendendo assim, o consumo mínimo de 320 kg/m^3 recomendado pelo DNIT (DNIT, 2004).

Para os concretos em que foram substituídos os agregados graúdos naturais por agregados reciclados, adaptou-se o consumo de cimento para cada porcentagem de substituição (5%, 10% e 15%). Essa substituição foi feita em massa, e a correção do consumo de cimento foi realizada pela equação (8):

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{b}{\gamma_b} + \frac{RCC}{\gamma_{RCC}} + a/c} \quad \dots(8)$$

A seguir, na Tabela 5, encontram-se expostos os correspondentes traços para realização de 1m^3 de concreto.

Tabela 5 – Quantidade de materiais para 1m^3 de concreto

Material	Referência (kg/m^3)	5% (kg/m^3)	10% (kg/m^3)	15% (kg/m^3)
Cimento	503,97	502,59	501,52	500,0
Areia	584,6	583,0	581,76	580,0
Brita	1179,29	1115,75	1058,2	995,0
RCC	-	60,31	115,35	175,0
Água	176,39	175,9	175,53	175,0

Fonte: Elaboração própria

Sabendo que a absorção de água dos agregados reciclados é alta, em todas as misturas, esses agregados foram adicionados saturados com superfície seca, para que eles não absorvessem a água de hidratação do cimento, interferindo no ganho de resistência.

Como a quantidade de água dosada nesse trabalho é relativamente baixa, os concretos confeccionados possuam textura bastante granular e de difícil trabalhabilidade. Com a finalidade de melhorar essa trabalhabilidade de todos os concretos confeccionados, adicionou-se 0,4% de aditivo super-plastificante, tornando-o auto-adensável. Somente utilizou-se o super-plastificante pelo fato de

que na universidade havia sua disponibilidade, pois com aditivo plastificante já seria suficiente para melhorar a trabalhabilidade dos traços.

3.3 Confeção, moldagem e cura

A confeção do concreto foi realizada na betoneira, onde a ordem de colocação do material, para o concreto convencional foi:

1. colocação do agregado graúdo e metade da quantidade da água, misturando cerca de 2 minutos;
2. adicionou-se o cimento e misturou cerca de 2 minutos;
3. adicionou-se o agregado miúdo e o restante da água e misturou-se até obter homogeneidade.

Para a confeção do concreto com agregado reciclado, a colocação do material teve uma ordem diferente, para que o choque entre os RCC e as britas não interferissem na granulometria do agregado reciclado, visto que são mais frágeis. Então, as colocações dos materiais na betoneira foram:

1. colocação da porcentagem de brita e metade da água, misturando por cerca de 2 minutos;
2. adicionou-se o cimento e misturou por 2 minutos;
3. adicionou-se a porcentagem do agregado reciclado, o agregado miúdo e o restante da água e misturou até a homogeneidade do conjunto.

Após a mistura na betoneira, houve a moldagem dos corpos-de-prova. Três cilíndricos (10x20 cm), para o ensaio de resistência à compressão simples, três prismáticos (10x10x40 cm) para o ensaio de resistência à tração na flexão e quatro prismáticos (7x7x28 cm) para o ensaio de retração por secagem. As moldagens foram realizadas conforme descrito na NBR 5738 (ABNT, 2015). Todos os CP foram adensados manualmente com a haste de adensamento, seguindo o número de camadas e golpes prescritos, como pode ser visto na Tabela 5. Após adensados, o rasamento foi feito com uma régua metálica na altura da borda do molde.

Tabela 6 – Número de camadas e golpes no corpo de prova

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do adensamento manual	Número de golpes
Cilíndrico	100	2	12
Prismático	100	1	75

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5738 (2015)

Logo após a moldagem, os moldes foram colocados sobre superfície plana e livre de qualquer tipo de vibração e armazenados em local protegido de qualquer tipo de material reativo e não absorvente, evitando a perda de água do concreto.

A cura dos corpos-de-prova foi através da câmara úmida até a realização dos ensaios, exceto para os CPs de retração, que foram retirados da câmara úmida aos 7 dias, e condicionados em ambiente climatizado em temperatura ambiente (25°C). Assim a partir desse momento iniciou-se o ensaio não destrutivo de retração. Os demais CPs foram mantidos na câmara úmida até a realização dos ensaios destrutivos de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão simples, realizados aos 7 e aos 28 dias.

3.4 Ensaios

Ensaios tem a finalidade de verificar o comportamento do concreto. Qual sua capacidade resistente, o quanto pode retrain, sua quantidade de poros entre outros. Nesse trabalho foram realizados com a finalidade de verificar se o comportamento do concreto produzido com os RCC se assemelha ao comportamento do concreto fabricado com agregado graúdo convencional. A seguir, estão descritos os ensaios realizados.

3.4.1 Resistência à compressão simples

O ensaio para a determinação da resistência à compressão simples foi realizado seguindo as recomendações da norma ABNT NBR 5739/2007, onde após seu tempo de cura, prepara-se o corpo-de-prova cilíndrico retificando sua base irregular, para que o carregamento a ser aplicado, seja distribuído uniformemente por toda sua área. Em seguida, posiciona-o entre os pratos de compressão em

posição vertical para que se possa iniciar o ensaio (ABNT, 2007). Esse esquema, citado anteriormente, pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 – Conjunto corpo-de-prova e prensa



Fonte: Elaboração própria

O carregamento é imposto pela prensa, de forma uniformemente crescente e cessa quando houver a queda de força que indica a ruptura do CP (ABNT, 2007). Na Figura 9 observa-se os corpos-de-prova após a realização do ensaio.

Figura 9 – CPs após o ensaio de compressão simples



Fonte: Elaboração própria

A partir dos valores de forças alcançadas até a ruptura, foram calculadas as resistências à compressão por meio da expressão (9):

$$f_c = \frac{4 * F}{\pi * D^2} \quad \dots(9)$$

Onde:

f_c – resistência à compressão [Mpa];

F – força máxima alcançada [N];

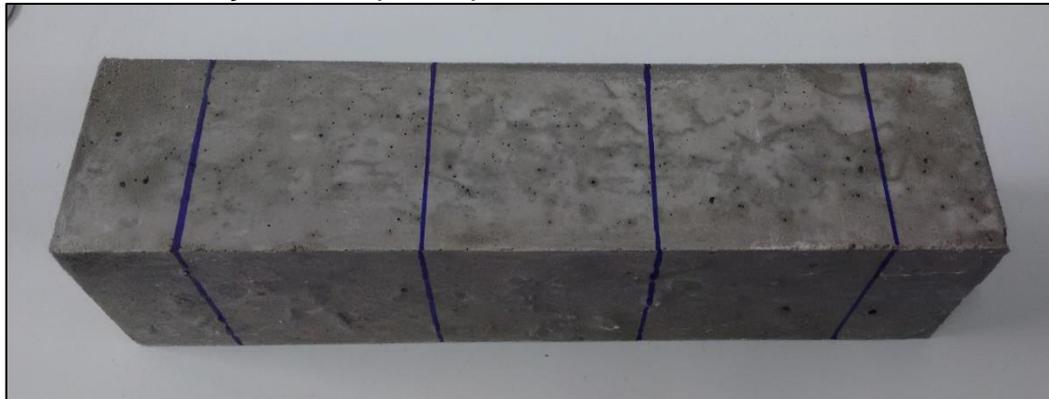
D – diâmetro do corpo-de-prova [mm].

3.4.2 Tração à flexão

O ensaio de tração à flexão foi realizado nos CPs prismáticos 10x10x40 cm, seguindo as recomendações da NBR 12142 (ABNT, 2010), onde foram submetidos à um carregamento constante imposto por uma prensa, com velocidade de 1 mm/min, até ocorrer sua ruptura. Para seu posicionamento adequado na prensa, e verificação do terço onde ocorreu a ruptura, desenhou-se as marcações onde seriam os apoios, distando 5 cm das bordas, e três terços de 10 cm cada, para análise.

A representação das demarcações no CP e o conjunto corpo-de-prova e prensa, está representado na Figura 10 e 11, respectivamente.

Figura 10 – Demarcação do corpo-de-prova



Fonte: Elaboração própria

Figura 11 – Corpo-de-prova posicionado na prensa

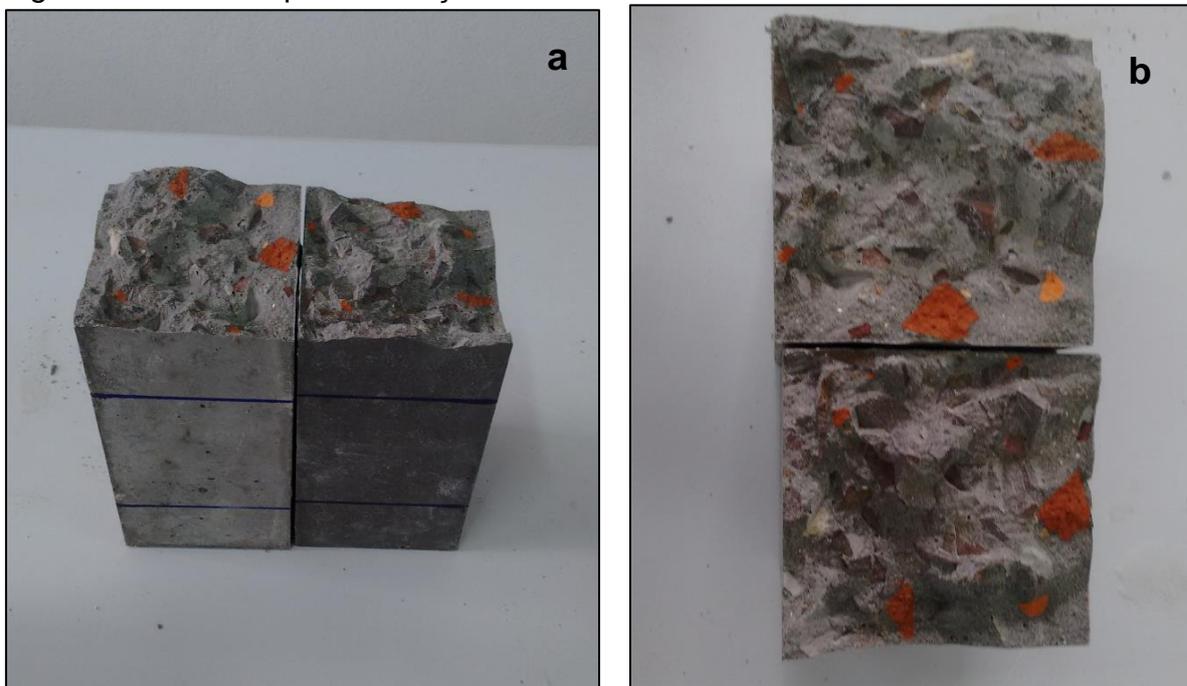


Fonte: Elaboração própria

Na Figura 12, parte a, está a exposição de um corpo-de-prova após o ensaio, e sua ruptura ocorreu no seu terço médio, que pode ser explicado que a ruptura foi devido à tração. Pode-se notar que durante as realizações dos ensaios, as rupturas dos CPs ocorreram sempre em sus pontos mais frágeis, que muitas vezes é em sua interface agregado-argamassa, ou quando analisado as rupturas dos CPs com porcentagens de substituição de agregado natural pelo reciclado, a fragilidade do

agregado influencia também no seu ponto mais frágil. Na Figura 12, parte b, está exemplificado a área de ruptura, sendo ali, seu ponto mais frágil.

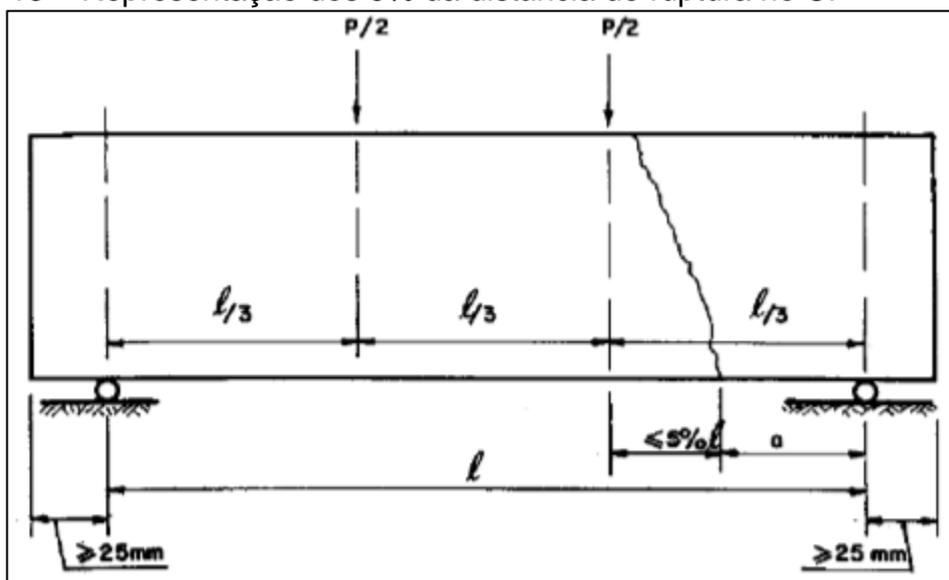
Figura 12 – CP rompido no terço médio



Fonte: Elaboração própria

Caso a ruptura do CP ocorra no terço médio da distância entre os apoios, a resistência à flexão é calculada pela expressão (10), já se a ruptura ocorrer fora do terço médio, a uma distância do mesmo não superior a 5% de l , como mostra na Figura 13, a resistência à flexão é obtida pela expressão (11).

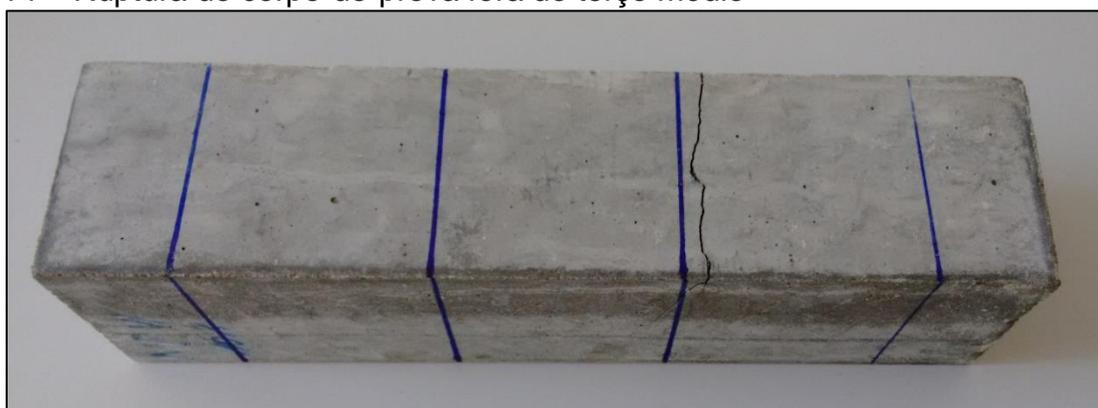
Figura 13 – Representação dos 5% da distância de ruptura no CP



Fonte: NBR 12142 (ABNT, 2010)

Em um dos ensaios, a ruptura do corpo de prova ocorreu fora do terço médio, porém, dentro do limite dos 5% de l , portanto, não houve a necessidade de invalidar esse ensaio. A Figura 14 apresenta o CP após sua ruptura e a Figura 15 a distância em que ocorreu a ruptura (1,5 cm):

Figura 14 – Ruptura do corpo-de-prova fora do terço médio



Fonte: Elaboração própria

Figura 15 – Distância de ocorrência da ruptura



Fonte: Elaboração própria

As equações utilizadas, citadas anteriormente foram:

$$f_{ctM} = \frac{p \cdot l}{b \cdot d^2} \quad \dots(10)$$

Onde:

f_{ctM} – resistência à tração na flexão [Mpa];

p – carga máxima aplicada [N];

l – distância média do corpo-de-prova na seção de ruptura [mm];

b – largura média do corpo-de-prova na seção de ruptura [mm];

d – altura média do corpo-de-prova na seção de ruptura [mm].

$$f_{ctM} = \frac{3 \cdot p \cdot a}{b \cdot d^2} \quad \dots(11)$$

Onde:

a – distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo ($a \geq 0,283 l$) [mm].

Caso a ruptura ocorra além dos 5% de l , ($a < 0,283 l$) o ensaio não tem validade.

3.4.3 Retração

Para a execução desse ensaio, tomou-se as recomendações dadas pela C157/C157M (ASTM, 2008). Os CPs foram moldados em formas prismáticas de 7x7x28 cm e introduzidos neles pinos, como pode ser visto na Figura 16. Pinos esses que foram suporte para a realização desse ensaio.

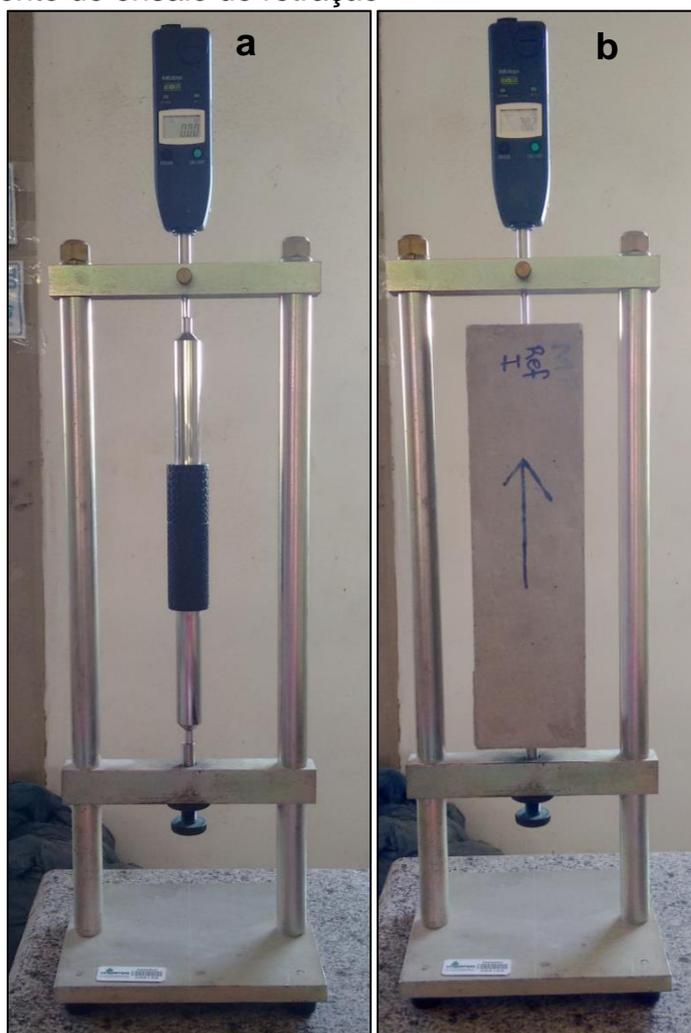
Figura 16 – Pinos concretados nos CPs



Fonte: Elaboração própria

Para iniciar o ensaio, foi inserido o medidor digital ao mecanismo que iria posicionar o corpo-de-prova, para que ele pudesse medir os comprimentos dos CPs. Com a haste do equipamento, deve-se zerar o medidor, tomando seu comprimento como comprimento inicial ($L_{inicial}$). Esse conjunto está exposto na Figura 17, parte a. As leituras foram feitas sempre com a mesma posição do corpo-de-prova, como pode ser visto na Figura 17, parte b, por isso, houve a demarcação dos CPs com setas, indicando qual de seus lados deviam se posicionarem para cima.

Figura 17 – Equipamento de ensaio de retração



Fonte: Elaboração própria

As medidas foram tomadas à cada 7 dias, até completarem 28 dias da moldagem. Para calcular a variação do comprimento do CP, em qualquer idade, foi utilizada a equação a seguir:

$$\Delta L_x = \frac{L_{inicial} - L_x}{L_{inicial}} * 100 \quad \dots(12)$$

Onde:

ΔL_x – diferença do comprimento da amostra em qualquer idade [%];

$L_{inicial}$ – comprimento inicial do CP (aos 7 dias) [mm];

L_x – comprimento a qualquer idade [mm].

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo estão apresentados os resultados obtidos nos ensaios descritos anteriormente e uma breve discussão sobre o comportamento das misturas submetidos a eles.

4.1 Resultados do ensaio de compressão simples

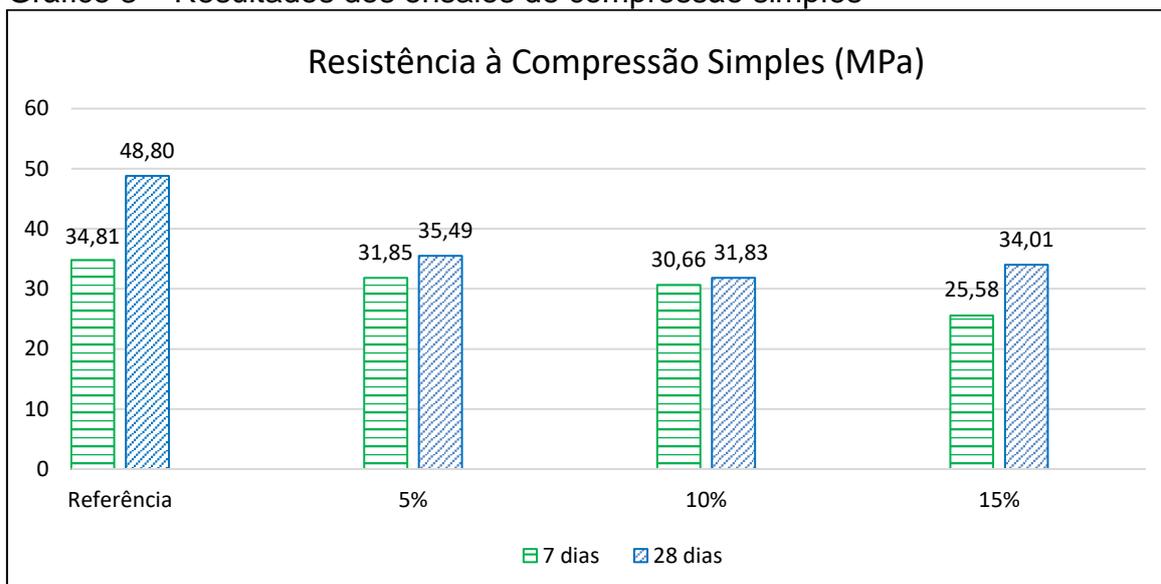
Os resultados alcançados na realização do ensaio de compressão simples, tanto aos 7 quanto aos 28 dias de idade, para cada traço de concreto referência e com as substituições do agregado natural pelo reciclado, estão apresentados separadamente na Tabela 7, e expressos no Gráfico 3.

Tabela 7 – Resultados das resistências à compressão simples

CP	Resistência (MPa)		Média (MPa)	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
Referência	33,91	46,35	34,81	48,8
	35,71	49,63		
	-	50,42		
5%	31,4	42,74	31,85	35,49
	29,91	33,31		
	34,24	30,4		
10%	29,55	37,64	30,66	31,83
	30,58	34,39		
	31,83	23,45		
15%	26,38	34,92	25,58	34,01
	24,7	37,15		
	25,66	29,96		

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 3 – Resultados dos ensaios de compressão simples



Fonte: Elaboração própria

Nota-se, no Gráfico 3, que a resistência à compressão foi reduzindo gradualmente, tanto aos 7 como aos 28 dias, conforme aumentou a porcentagem de RCC empregado. Isso se deve pela maior fragilidade do agregado reciclado em comparação ao agregado natural, possuindo então, menor resistência à compressão, podendo apresentar também, menor adesão entre a argamassa e sua superfície de contato, ocasionando assim, o rompimento com menor carregamento.

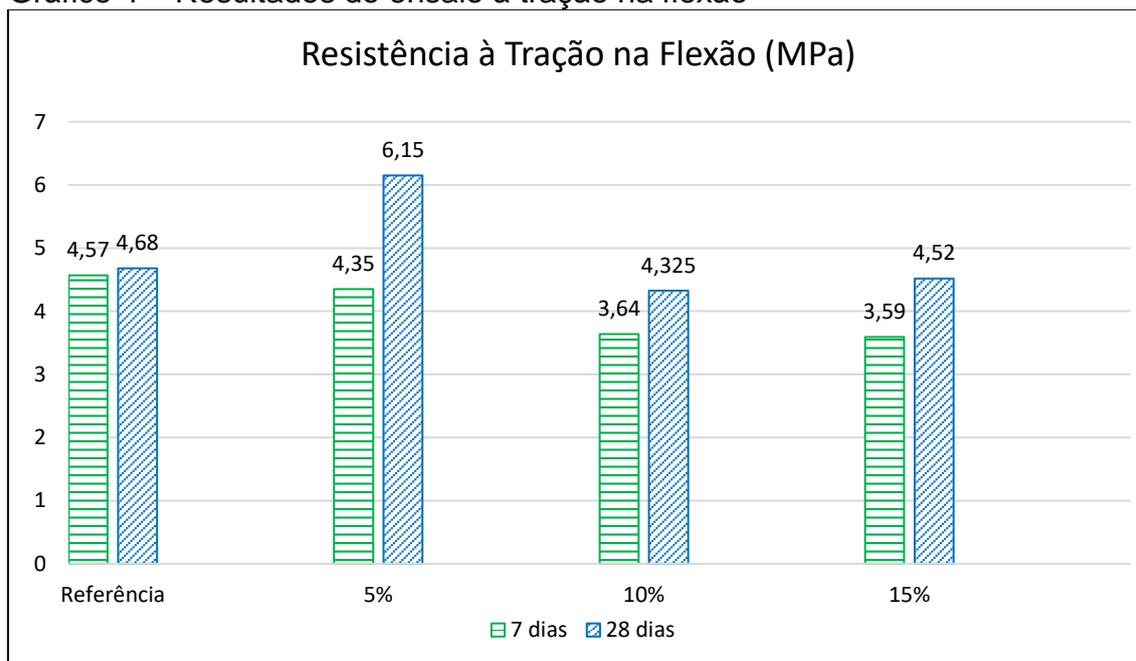
Porém, aos 28 dias, o CP com 15% de substituição obteve um aumento na média de sua resistência, superando o CP com 10% de substituição, chegando a aproximadamente 70% da resistência do concreto referência e comparando com seu resultado aos 7 dias, houve um ganho em sua resistência de cerca de 25%. Esse fato pode ter ocorrido porque o RCC foi adicionado à mistura saturado (devido sua alta absorção de água, para evitar que o mesmo absorvesse água de hidratação do cimento) e essa água pode ter sido liberada tardiamente, auxiliando na hidratação do cimento assim, aumentando sua resistência.

Outro fator que pode ter colaborado para o aumento da resistência, é pelo fato de que o agregado reciclado ser mais frágil que o agregado natural, e quando adicionado à betoneira, houve sua quebra, formando finos que preenchem os vazios entre a argamassa e agregados, assim, aumentando também, a resistência do concreto.

4.2 Resultados do ensaio de tração à flexão

Os resultados obtidos nesse ensaio de tração à flexão, aos 7 e aos 28 dias de idade, para cada traço com as devidas substituições de agregado natural pelo agregado reciclado, estão representados no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Resultados do ensaio à tração na flexão



Fonte: Elaboração própria

No Gráfico 4 nota-se que aos 28 dias, a média das resistências à tração na flexão no traço com 5% de substituição do agregado graúdo teve um salto, superando em mais de 30% a resistência do traço de referência. Esse aumento pode ter sido proporcionado pela liberação de água presente no agregado reciclado que auxiliou a hidratação do cimento ao longo do tempo de cura, assim, aumentando sua resistência à tração na flexão.

Com a análise dos resultados obtidos nos ensaios aos 7 dias, todas as misturas, excluindo o concreto de referência, não poderiam ser utilizados na pavimentação por não atingirem a resistência à tração mínima de 4,5 Mpa (DNIT, 2004).

Já aos 28 dias, somente a mistura com 10% não seria recomendada por não atingir a tensão mínima recomendada. Porém, analisando separadamente os resultados dos corpos-de-prova ensaiados, nota-se que apenas a resistência de um

corpo-de-prova destoa das demais, sendo ela, de um CP dessa mistura que rompeu fora de seu terço médio. Devido esse fato, sua resistência é calculada pela equação (10), reduzindo, assim, sua resistência à tração, como pode ser visto na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados das resistências à tração na flexão

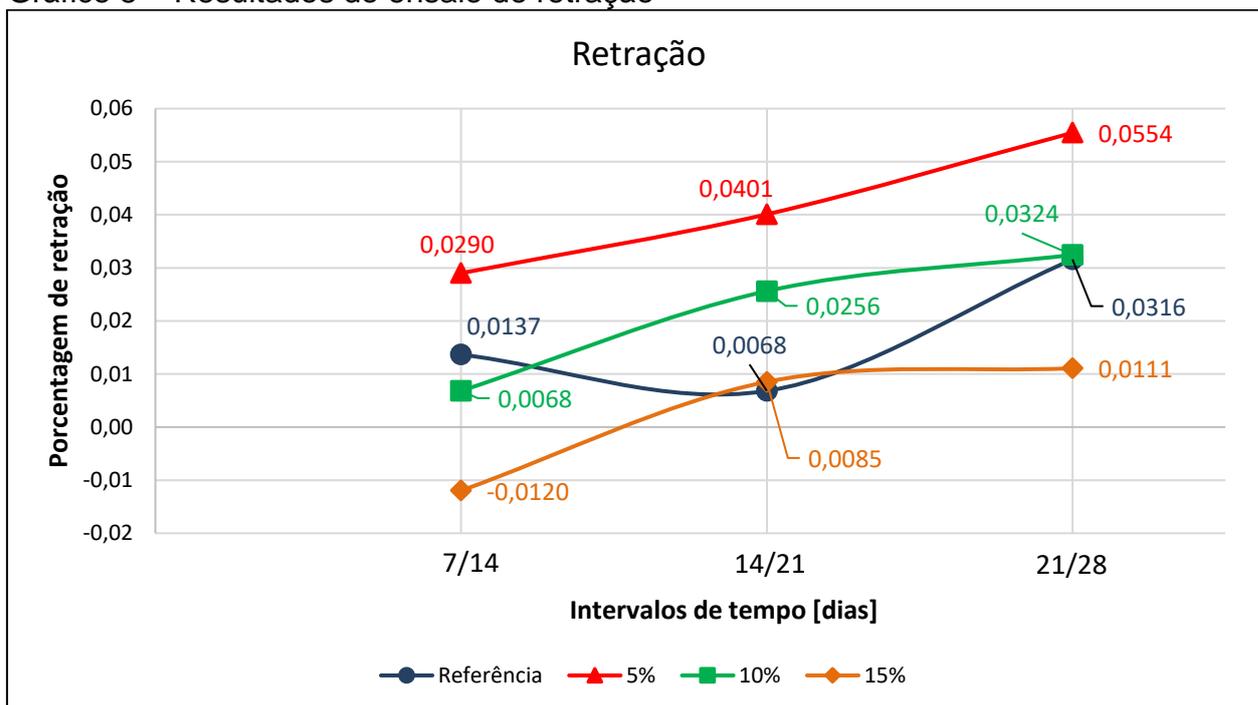
CP	Resistência (MPa)		Média (MPa)	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
Referência	5,19	4,68	4,57	4,68
	3,96	4,68		
	4,56	4,32		
5%	4,62	5,82	4,35	6,15
	3,84	6,54		
	4,59	6,09		
10%	3,96	4,47	3,64	4,325
	2,97	4,01		
	3,99	4,5		
15%	3,93	4,5	3,59	4,52
	3,97	4,5		
	3,57	4,56		

Fonte: Elaboração própria

4.3 Resultados do ensaio de retração

Os resultados do ensaio de retração, realizados com intervalo de 7 dias, até completar os 28 dias de idade, estão expostos no Gráfico 5:

Gráfico 5 – Resultados do ensaio de retração



Expresso as médias dos resultados das leituras nos intervalos de tempo a cada 7 dias no Gráfico 5, pode-se notar que nos traços com 10% e 15% de substituição de agregado graúdo natural por agregado reciclado, mantiveram um padrão, onde, no primeiro intervalo de tempo ocorreu uma grande retração, comparando com seu comprimento inicial e, após houve sua estabilidade, o que é esperado para esse ensaio. Já o traço com 5% de substituição, sua retração aumentou de forma linear, sem bruscas variações, podendo até os 28 dias de idade não ter atingido seu patamar onde ocorre a estabilidade da retração.

Observa-se também, que o traço de referência sofreu uma dilatação em seu segundo intervalo de tempo. Esse caso pode ter ocorrido pelo fato da umidade ambiente ter sido alta em alguns dias, assim, os CPs absorveram essa umidade.

Comparando os traços entre si, o que melhor se comportou foi o com 15% de substituição que retraiu cerca de 0,032 mm, aproximadamente 1/3 da retração sofrida pelo traço de referência, que no mesmo intervalo de tempo retraiu 0,092 mm. Isso pode ter ocorrido pelo fato de que a água presente no interior dos poros do agregado reciclado serviram para hidratação do cimento, elevando sua resistência e evitando a perda para o ambiente.

Pensando na aplicabilidade desses concretos, mesmo que os corpos-de-prova desse ensaio possuam uma dimensão muito menor comparada com as

dimensões das placas de concreto, que são em torno dos 5 metros de comprimento, pode-se utilizar o efeito escala para pressupor o quanto uma placa poderia retrair na prática.

Um exemplo dessa aplicabilidade, analisando o traço com 5% de substituição de agregado, no corpo de prova, até os 28 dias de idade ele retraiu aproximadamente 0,06%, cerca de 0,163 mm, comparando com seu comprimento inicial. Caso utilize-se esse traço na pavimentação, com placas com 5 metros e com a retração de 0,06%, isso resultaria em uma redução de 2,77 mm, influenciando em seu comprimento final, podendo ocasionar patologias ao pavimento, como surgimento de fissuras devido sua grande retração, assim, possibilitando a entrada de água.

Pensando no traço com 15% de substituição, a placa de concreto com 5 metros iria retrair aproximadamente 0,56 mm, sendo amplamente viável essa aplicação na prática, porque esse traço além de possuir pouca retração, também obteve uma resistência mínima de 4,5 MPa, requerida quando solicitado a tração e possuindo a maior substituição de agregado natural pelo reciclado, gerando um ganho tanto para o ambiente, na redução do descarte irregular desse material, quanto na produção do concreto, reduzindo os custos de compra do agregado natural.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

Nota-se que nos ensaios de compressão e nos de tração à flexão, os melhores resultados se deram com 5% de substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado quando comparados ao concreto de referência. Um dos motivos pelo qual isso ocorreu se deve a hidratação retardada do cimento pela água contida nos poros do RCC, melhorando, assim, sua resistência. Porém, não foi o que ocorreu no ensaio de retração, onde o traço com maior substituição (15%) se obteve o melhor resultado, com menores variações de dimensão.

No ensaio de resistência à tração na flexão, o mais importante quando se trata em concreto para pavimentação, a menor substituição obteve resultado excepcional, superando o concreto convencional, entretanto, esse traço obteve o pior resultado quando analisado no ensaio de retração, sendo nesse ponto, não recomendável utiliza-lo na prática, devido alto índice de patologias que esse concreto poderá sofrer.

Analisando o conjunto de resultados, o traço com maior substituição de agregado natural pelo reciclado (15%), possui os critérios mínimos para ser aplicado na prática, pois atinge a média de 4,52 MPa de resistência à tração na flexão e a menor retração dentre todos os traços analisados no presente trabalho, que na visão técnica teria menor chance de ocorrer patologias quanto a retração da placa, como por exemplo, o aparecimento de fissuras. Além de tudo, esse seria o melhor traço para o meio ambiente, pois, em sua confecção consumiria maiores quantias de agregados oriundos do RCC, portanto esses, não seriam descartados de forma irregular, sem contar na economia da obra, na redução da compra de agregados graúdos naturais.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Para uma continuidade desse trabalho, com o objetivo de aprofundar os estudos da utilização de RCC em concretos para pavimentação, sugere-se:

- Estudar porcentagens intermediárias às estudadas, de substituição de agregado natural por agregado reciclado;

- Avaliar a retração dos traços por um período de tempo superior aos 90 dias de idade;

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12142: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos.** Rio de Janeiro, 2010.

____. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.** Rio de Janeiro, 2015.

____. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

____. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificações.** Rio de Janeiro, 2005.

____. **NBR 9776: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.** Rio de Janeiro, 1987.

____. **NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação de massa específica.** Rio de Janeiro, 2001.

____. **NBR NM 26: Agregados – Amostragem.** Rio de Janeiro, 2009.

____. **NBR NM 27: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

____. **NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2009.

____. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificações.** Rio de Janeiro, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C157/C157M – 08: Standard test method for length change of hardened hydraulic-cement mortar and concrete,** 2008.

ADDIS, B. **Reuso de materiais e elementos de construção/** Bill Addis; tradução Christina Del Passo. - - São Paulo: Oficina dos textos, 2010. 368 p.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração.** São Paulo: Oficina dos textos, 2007. 558 p.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção,** volume 1. 5 ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2008. 488 p.

BLUMENSCHIN, R. N. **Manual técnico: Gestão de Resíduos Sólidos em Canteiros de Obras.** Brasília: SEBRAE/DF. 2007. 48 p.

BRANCO, F; PEREIRA, P; SANTOS, L. P. **Pavimentos Rodoviários.** Coimbra: Almedina, 2006. 388 p.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2010.

____. Resolução CONAMA nº. 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2002.

DER/SP – Departamento de Estradas de Rodagem. **Pavimento de concreto de cimento Portland sobre obra de arte incorporado à laje do tabuleiro**. São Paulo: 2007. 18 p. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/ET-DE-P00-047_A.pdf>. Acesso em 11 de abril de 2016, 16:53:47.

DER/PR – Departamento de Estradas de Rodagem. **Pavimentação: Pavimento rígido**. Paraná. 2005. 27 p. Disponível em: <http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/pdf_Pavimentacao/ES-P35-05PavimentoRigido.pdf>. Acesso em 11 de abril de 2016, 17:04:31.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de pavimentação**. 3.ed. – Rio de Janeiro, 2006. 274 p.

____. **Manual de pavimentos rígidos**. 2.ed. – Rio de Janeiro, 2004. 233 p.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (Org). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2010. P. 905 – 944.

JOHN, V. M. AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. In: Seminário de resíduos sólidos domiciliares, CETESB. São Paulo, 2000, 13 p.

JÚNIOR, N. B. C. (coord). **Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para construção civil**. SINDUSCON-MG, 2005. 38p.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduos de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo (EESC USP). São Carlos, 1999, 222 p.

LOTURCO, B. Pavimento rígido. **Tèchne**, São Paulo, Editora Pini, ed. 102, set. 2005. Seção Projetos. Não paginado. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/102/artigo286026-1.aspx>>. Acesso em 20 de abril de 2016, 14:02:11.

MARQUES, G. L. O. **Notas de aula da disciplina de pavimentação**. Disciplina de Pavimentação. Faculdade de Engenharia. Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), 2012. 204 p. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2012/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>> Acesso em 05 de abril de 2016, 20:27:35.

NOVAES, M. V; MOURÃO, C. A. M. A. **Manual de gestão ambiental de resíduos sólidos na construção civil**/ Coopercon – Cooperativa da Construção Civil do Estado do Ceará, 1ª Ed., 2008: Fortaleza, CE. 100 p.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. Apostila – Universidade de São Paulo (EESC USP). São Carlos, 2007, 380 p.

PINTO, T. P. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil**: a experiência do SindusCon –SP/ São Paulo: SindusCon, 2005. 48p.

PORTAL DO CONCRETO. **Concreto**. [S.i.]. [2006?]. Não paginado. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/caementu.html>>. Acesso em: 04 de abril de 2016, 16:24:50.

SOUSA, J. G. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2001, 124 p.

TSENG, E. **Reciclagem total de pavimentos de concreto como agregado para construção de novos pavimentos de concreto: o caso do Rodoanel Metropolitano Mário Covas**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010, 220 p.

VENQUIARUTO, S. D. **Notas de aula de materiais de construção civil**. Disciplina de Materiais de Construção Civil III. Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), 2016. Não paginado.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto**. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1997, 140 p.