UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – UNIJUI

MAÍRA SPLENDOR SGANDERLA

(RE) APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS CLASSE A DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO DO CONCRETO

Ijuí

2015

MAÍRA SPLENDOR SGANDERLA

(RE) APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS CLASSE A DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO DO CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Professor Me. Lucas Fernando Krug.

Ijuí

2015

MAÍRA SPLENDOR SGANDERLA

(RE) APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS CLASSE A DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO DO CONCRETO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da banca examinadora.

Ijuí, 26 de Novembro de 2015.

Prof. Lucas Fernando Krug

Mestre pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS - Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Fernanda da Cunha Pereira.

Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Prof. Lucas Fernando Krug

Mestre pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Dedico este trabalho a minha família, em especial ao meu pai Ari Sganderla e minha mãe Claudete T. S. Sganderla.

AGRADECIMENTOS

Ao término de mais uma etapa da longa marcha que é a vida percebo que somos nada no mundo sozinhos. Precisamos uns dos outros, pois toda nossa evolução seja pessoal ou profissional se fortalece com o convívio.

Então, agradeço a minha família por todo apoio de sempre e pelo incessante incentivo.

Agradeço a todos os meus professores que ao longo da minha graduação proporcionaram-me a construção do conhecimento.

Agraço, especialmente o meu orientador Professor Mestre Lucas Fernando Krug, pela presteza e dedicação durante a elaboração deste trabalho. Aos alunos voluntários, do curso da Engenharia Civil, Lucas Ritter e Diego Menegusso, por me ajudarem a realizar os ensaios desenvolvidos no decorrer da pesquisa e a toda a equipe do Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ –LEC.

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar.

RESUMO

SGANDERLA, Maíra. S. **(Re) Aproveitamento dos Resíduos Classe A da Construção Civil na Substituição Parcial do Agregado Miúdo do Concreto**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

O setor da construção civil como qualquer outro setor produtivo é uma das maiores geradores de resíduos, devido à falta de controle de obrar e em virtude das demolições de construções, após o uso. Uma das alternativas para a reutilização dos resíduos é a aplicações do mesmo como agregado alternativo, em substituição total ou parcial, ao natural, para uma nova composição de concretos. O emprego desses resíduos como agregados para argamassas e concretos não estruturais é amplamente difundido. Tendo em vista, que a utilização de substituição ao agregado em concretos estruturais tem sido pouco estudada, e na maioria das vezes, esses estudos se limitam a agregados graúdos. A utilização desses materiais como agregado miúdo para concreto estrutural pode ser uma opção em função do volume de resíduos finos disponíveis. Dessa forma, faz-se interessante o estudo para fins estruturais confeccionados com agregado miúdo, no intuito de se avaliar sua resistência para fins estruturais. Neste âmbito, este trabalho trata sobre o emprego de agregado miúdo reciclado, proveniente de resíduos da construção e demolição (RCD), em busca de uma produção de novos concretos, com função estrutural. Foram produzidos em laboratório concretos com diferentes teores de substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos reciclados. Os teores de substituição estudados foram de 20% e 40%, após a execução, dos corpos-de-prova, analisando-se a resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral e absorção por capilaridade dos mesmos nas idades pré-estabelecidas. Com os resultados obtidos, é possível analisar que o traço com substituição parcial de 20%, relatou resultados bem positivos, quanto aos ensaios realizados.

Palavras-chave: Entulho. Reciclagem. Areia reciclada.

ABSTRACT

SGANDERLA, Maíra. **S. (Re) Utilization of Waste Class A Construction in Partial Replacement Kid Aggregate Concrete.** 2015. Work Completion of course. Course of Civil Engineering, Regional State University Northwest Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

The sector of construction as any other productive sector is one of the largest waste generators, due to lack of obrar control and because of the buildings from demolition after use. One of the alternatives for the reuse of waste is the same applications as an alternative aggregation, in full or partial replacement, natural, to a new composition of concrete. The use of this waste as aggregate for non-structural mortars and concretes is widespread. Considering that the use of replacement to the aggregate in structural concrete has been little studied, and most of the time, these studies are limited to coarse aggregates. The use of these materials as fine aggregate for structural concrete may be an option depending on the volume of fine waste available. Thus, it is interesting study for structural purposes made with fine aggregate, in order to evaluate their resistance for structural purposes. In this context, this work deals with the use of recycled aggregate kid, waste from construction and demolition (RCD), in search of a new production of concrete with structural function. They were produced in concrete laboratory with different replacement levels of natural fine aggregates by recycled aggregates kids. Substitution levels studied were 20% and 40%, after carrying out the bodies of the test piece, analyzing the resistance to compressive, tensile strength by diametrical compression and absorption by capillarity of the same in the pre-established age. With the results, you can analyze the trace with partial replacement of 20%, reported very positive results with regard to the tests.

Keywords: Rubble. Recycling. Recycled sand.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos Resíduos. 35
Figura 2 – Características e Classificações dos Resíduos. 36
Figura 3 - Requisitos para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural. 40
Figura 4 – Agregado Miúdo Natural. 44
Figura 5 – Agregado Miúdo Reciclado. 45
Figura 6 – Agregado Graúdo. 46
Figura 7 - Correspondência entre Classe de Agressividade e Qualidade do Concreto. 48
Figura 8 - Determinação do Consumo de Água aproximado. 49
Figura 9- Determinação do Vb para Cálculo do Consumo de Brita. 49
Figura 10 - Tolerâncias admitidas para consistência do concreto através do abatimento do tronco de cone. 51
Figura 11 – Abatimento de Cone “Slump Test” - Traço Referência. 53
Figura 12 - Disposição do corpo-de-prova. 55
Figura 13 - Ensaio de tração por compressão diametral. 56
Figura 14 – Rompimento do Corpo-de-Prova. 58
Figura 15 - Rompimento do Corpo-de-Prova. 59
Figura 16 – Rompimento do Corpo-de-Prova. 61
Figura 17 - Ensaio de Absorção do Corpo-de-Prova. 62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de Cimentos Fabricados no Brasil. 25
Tabela 2 – Classificação de acordo com as dimensões nominais..... 28
Tabela 3 – Quantidade de Materiais. 51
Tabela 4 - Slump Test e relação água/cimento corrigido. 52
Tabela 5 - Fator de correção h/d 54
Tabela 6 – Absorção por Capilaridade. 63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Síntese dos Resultados da Resistência à Compressão Simples. 60
Gráfico 2 - Síntese dos Resultados da Resistência à Tração por Compressão Diametral. 61
Gráfico 3 – Porcentagem Absorvida x Tempo de Ensaio. 63

LISTA DE SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição

ACI – American Concrete Institute

ARC – Agregado Reciclado de Concreto

ARM – Agregado Reciclado Misto

ASTM – American Society for Testing and Materials

CCP – Concreto de Cimento Portland

CP – Corpo-de-prova

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NR – Norma Regulamentadora

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16

1.1 CONTEXTO 18

1.2 PROBLEMA 18

1.2.1 Questões de Pesquisa 19

1.2.2 Objetivos de Pesquisa 19

1.2.3 Delimitação 20

1.3 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA 20

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 21

2.1 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND 21

2.2 CONSTITUIÇÃO DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND 22

2.2.1 Cimento 23

2.2.2 Agregados 26

2.2.2.1 Agregados Graúdos – Pedra Brita 27

2.2.2.2 Agregados Miúdo – Areia Natural 28

2.2.2.3 Agregados Reciclados – Areia Artificial 29

2.2.3 Água 30

2.3 MÉTODOS DE DOSAGENS USUAIS 31

2.4 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) 33

2.5 FORMA DE APLICAÇÃO DO RCD EM OBRA 38

3 METODOLOGIA 42

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO 42

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS 43

3.2.1 Aglomerante 43

3.2.2 Agregado Miúdo Natural 43

3.2.3 Agregado Miúdo Reciclado 45

3.2.4 Agregado Graúdo 46

3.2.5 Água 47

3.3 CÁLCULO DE DOSAGEM PELO MÉDOTO DA ABCP 47

3.3.1 Primeiro Passo – Determinação do Fcj 48

3.3.2 Segundo Passo – Estipular fator água/cimento 48

3.3.3 Terceiro Passo – Consumo de Água 48

3.3.4 Quarto Passo – Consumo de Cimento 49

3.3.5 Quinto Passo – Consumo de Agregado Graúdo 49

3.3.6 Sexto Passo – Consumo de Agregado Miúdo (Areia Natural) 50

3.3.7 Sétimo Passo – Determinação do Traço 50

3.3.8 Oitavo Passo - Definir Volume de Concreto a Produzir para Aproximadamente 23 Corpos de Prova 50

3.3.9 Nono Passo - Determinar a Quantidade de Cada Material a ser Utilizado 50

3.4 PROCEDIMETOS PARA A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS 54

3.4.1 Resistência à Compressão Simples 54

3.4.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral 55

3.4.3 Absorção por Capilaridade 57

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS 58

4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES 58

4.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL 60

4.3 ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE 62

5 CONCLUSÃO 65

REFERÊNCIAS 67

Anexo A – CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NATURAL 75

Anexo B – CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO RECICLADO..... 76

Anexo C – CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO 77

1 INTRODUÇÃO

Tem-se o conhecimento que a construção civil é uma das atividades mais antigas de que se tem conhecimento e é exercitada a muitos anos de forma artesanal. Este fator é um dos fundamentais causadores da necessidade de utilizar tantos recursos minerais. Desde o surgimento de cidades do Império Romano, os construtores já procuravam maneiras de utilizar os resíduos provenientes de construção e demolição na produção de novas obras (ISAIA, 2007).

Com o decorrer do tempo e a intensa urbanização descontrolada, causado pelo aumento da população urbana, refletiu-se no crescimento demasiado de entulho, criando problemas nas cidades devido ao alto volume descartado que consiste em cerca de duas toneladas para cada tonelada de lixo domiciliar produzido (PINTO E GONZALEZ, 2005).

Os avanços tecnológicos têm provocado uma contínua e crescente pressão sobre os recursos naturais do planeta, à medida que o desenvolvimento demanda uma quantidade razoável de matéria prima e gera um grande volume de resíduos. Do ponto de vista do desenvolvimento sustentável esses resíduos devem ser minimizados ou reaproveitados na cadeia produtiva (SOUZA, 2006). Das várias perdas, diretas e indiretas, identificadas no processo construtivo o que mais chama atenção é a geração de entulho. A quantidade de resíduos da construção e demolição produzidos mundialmente gira em torno de um bilhão de toneladas. (BUTLLER, 2005).

Resíduo ou entulho é geralmente o fruto da falta de controle do processo construtivo. Uma grande parte da geração desses resíduos, comumente denominados de RCD, poderia ser evitada durante a concepção e a execução do projeto. No entanto, é importante lembrar que a etapa de demolição faz parte do processo construtivo, gerando os chamados resíduos de construção e demolição (RCD). A prática da chamada desconstrução poderia minimizar a geração de resíduos de demolição, mas não pode eliminá-los (SOUZA, 2006).

De acordo com Angulo *et al.* (2003), as possibilidades de aplicação de agregado miúdo reciclado, apesar de não ser universalmente recomendado, devem ser estudadas uma vez que corresponde a aproximadamente 50% da quantidade total de resíduo gerado. Por outro lado, a utilização da areia natural na quantidade imposta pela construção civil conduz a uma depredação ambiental. Dessa forma se torna importante o estudo da utilização do resíduo de concreto como

agregado miúdo para concretos estruturais convencionais. Um primeiro passo para esse estudo, dentro do escopo de uma pesquisa científica, é a minimização das interferências entre os diversos materiais que compõe o concreto. Isto poderia ocorrer através do estudo da utilização do resíduo de concreto como agregado miúdo para argamassas que seriam matrizes de concretos estruturais convencionais.

Aliada a tal reação desses setores tem-se a dificuldade por parte das empresas e governos municipais em criar mecanismos de gerenciamento eficazes, capazes de: i) nortear um uso mais inteligente dos materiais nas frentes de trabalho, visando com isso uma redução no volume de material a ser descartado mais tarde; ii) contribuir com a segregação desses resíduos *in loco*, de modo a facilitar o seu reuso posterior e iii) realizar e controlar a disposição do que não pode ser submetido a processos de reciclagem ou reuso direto em locais apropriados, diminuindo com isso o surgimento de áreas clandestinas de bota-fora, que ocorrem em muitas vezes em áreas de preservação ambiental (OLIVEIRA, *et al.* 2005).

Neste âmbito foi aprovada a Resolução nº 307, de 05/07/2002, pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que criou instrumentos para trabalhar no sentido da superação dessa realidade, definindo responsabilidades e deveres e tornando obrigatória em todos os municípios do país a implantação pelo poder público local de Planos Integrados de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil. Como forma de minimizar os impactos ambientais decorrentes das atividades relacionadas à geração, transporte e destinação desses materiais. Também determina para os geradores a adoção, sempre que possível, de medidas que minimizem a geração de resíduos e sua reutilização ou reciclagem, ou, quando for inviável, que eles sejam reservados de forma segregada para posterior utilização.

O setor privado, por sua vez, fica responsável pelo gerenciamento ambientalmente correto dos resíduos sólidos, pela sua reincorporação na cadeia produtiva e pelas inovações nos produtos que tragam benefícios socioambientais, sempre que possível. Os governos federais, estaduais e municipais são responsáveis pela elaboração e implementação dos planos de gestão de resíduos sólidos. Assim como dos demais instrumentos previstos na Lei nº 12.305/10, esta lei institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), contendo instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao País no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos (MMA, 2015).

1.1 CONTEXTO

O crescimento acelerado das cidades e a falta de infraestrutura para suportá-lo vêm provocando diversos problemas, dentre os quais aqueles decorrentes da deposição irregular dos resíduos sólidos gerados em atividades de construção, demolição e reformas (STOLZ, 2008). Além do desperdício de materiais, a geração de entulho também gera gastos com relação a sua deposição em aterros. Adotadas as técnicas para redução do volume de resíduos produzidos, uma segunda ação seria no sentido da reciclagem de resíduos (SOUZA, 2006).

A reciclagem de resíduos pela indústria da construção civil vem se consolidando como uma prática importante de sustentabilidade (ANGULO; ZORDAN; JOHN, 2001). Segundo Costa (2005), o estudo da areia artificial, agregado proveniente de RCD, em substituição à areia natural em concreto de cimento Portland provoca reflexões acerca da importância da construção civil. Segundo Bugim (2013) o Rio Jacuí, é responsável por mais de 70% do volume de areia natural utilizado no Rio Grande do Sul, chegou a ser proibida a extração por irregularidades cometidas por algumas empresas mineradoras causando assim a falta de matéria prima para o setor da construção civil.

Diante das abordagens, o presente estudo justifica-se por buscar alternativa para o reaproveitamento de resíduos da classe A de construção e demolição (RCD), como substituição de agregados miúdos que compõem o concreto de cimento Portland. Desta forma estarão sendo poupados recursos naturais, economizando dinheiro e assim agregando valor à obra, além de contribuir para um melhor equilíbrio ambiental. Destaca-se a importância do estudo e da experimentação de novas tecnologias e de materiais alternativos que possam ser usados nas edificações produzidas neste setor.

1.2 PROBLEMA

A construção civil é responsável pelo consumo de 40% a 75% da matéria-prima produzida no planeta. Atualmente, o consumo de cimento é maior que o de alimentos e o de concreto, só perde para o de água. Para cada ser humano, são produzidos 500 quilos de entulho ao ano, o que equivale a 3,5 milhões de toneladas por ano. Esses dados fazem da construção civil a indústria mais poluente do planeta, cita Agopyan em entrevista ao Globo Ciência em 2013. Sendo a única indústria capaz de absorver quase que totalmente os resíduos que produz. Porém,

de um modo geral os produtos advindos do processo de reciclagem não são bem vistos pela população (OLIVEIRA, 2009).

Agopyan e John (2011) comentam sobre várias limitações a serem vencidos para a introdução de produtos ou agregados reciclados dentro da construção civil, entre elas estão duas de significativa importância. Na primeira, os autores descrevem que o caminho envolve o desenvolvimento de aplicações onde os produtos contendo agregado reciclado apresentem vantagens competitivas sobre os produtos tradicionais, além de preço compatível. Na segunda, os autores afirmam que, existe também o temor de que os clientes considerem um produto contendo resíduos como de menor qualidade. Esta limitação somente pode ser enfrentada por uma política consistente e prolongada de educação ambiental. O desenvolvimento de marcas de qualidade ambiental de produto – que são essencialmente diferentes da certificação ambiental de empresas.

1.2.1 Questões de Pesquisa

- Questão principal

Existe viabilidade técnica para a utilização de resíduos da construção e demolição (RCD) como agregado miúdo na produção de concreto de cimento Portland?

- Questões secundárias

Existe alguma diferencia nos resultados de resistência à compressão simples, tração por compressão diametral e na absorção de um concreto com substituição parcial do agregado miúdo por um resíduo miúdo de construção ou demolição?

1.2.2 Objetivos de Pesquisa

- Objetivo Geral

A pesquisa visa dar continuidade a través das sugestões propostas por PREDOZO (2014), analisando os aspectos técnicos do reaproveitamento de resíduos da construção civil, aplicando o método de dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e comparar os resultados obtidos entre o Concreto de Cimento Portland (CCP) de referência utilizando areia natural e o CCP com substituição parcial de areia artificial reciclada de entulhos.

- Objetivos específicos

Avaliar as características físicas do CCP com areia reciclada no estado endurecido, ou seja, através de sua resistência à compressão simples;

Avaliar a resistência à tração por compressão diametral;

Avaliar os concretos produzidos através da absorção por capilaridade.

1.2.3 Delimitação

Utilização de agregado miúdo reciclado, proveniente de resíduos de construção e demolição (RCD), de classe A, para uma nova composição de concreto de cimento Portland.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

A estrutura da apresentação deste trabalho está distribuída da seguinte maneira:

- Capítulo 1:

É contemplada com uma breve introdução sobre o tema, abordando algumas justificativas, bem como as questões da pesquisa e os objetivos, geral e específico deste trabalho.

- Capítulo 2:

Explanação de algumas referências bibliográficas sobre o concreto de cimento Portland, abordando seus materiais constituintes e os métodos de dosagens. Abordando, também, assuntos sobre resíduos de construção e demolição (RCD).

- Capítulo 3:

Encontra-se a metodologia utilizada, desde caracterização do objeto de estudo até o método de dosagem, com todos os detalhes dos procedimentos executados.

- Capítulo 4:

Encontra-se os resultados obtidos através dos ensaios de resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral e absorção por capilaridade, quanto ao concreto endurecido.

- Capítulo 5:

Conclusão sobre a pesquisa desenvolvida, enfatizando os resultados e suas recomendações e fornecimento de sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

O concreto é, depois da pedra, da argila e da madeira, um dos materiais de construção mais antigos que a humanidade conhece. Segundo Fábio Luís Pedroso (2009), sua aplicação no âmbito da construção indispensável:

> O concreto é material construtivo amplamente disseminado. Podemos encontrá-lo em nossas casas de alvenaria, em rodovias, em pontes, nos edifícios mais altos do mundo, em torres de resfriamento, em usinas hidrelétricas e nucleares, em obras de saneamento, até em plataformas de extração petrolífera móveis. (PEDROSO, 2009, p. 14).

De maneira sucinta, pode-se afirmar que o concreto é uma pedra artificial que se molda à inventividade construtiva do homem. Este foi capaz de desenvolver um material que, depois de endurecido, tem resistência similar às das rochas naturais e, quando no estado fresco, possibilita sua modelagem em formas e tamanhos os mais variados (PEDROSO, 2009).

Para Helene e Andrade (2010), o concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade. Mesmo sendo o mais recente dos materiais de construção de estruturas, pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida.

> Na mistura do concreto, o Cimento Portland, juntamente com a água, forma uma pasta mais ou menos fluida, dependendo do percentual de água adicionado. Essa pasta envolve as partículas de agregados com diversas dimensões para produzir um material, que, nas primeiras horas, apresenta-se em um estado capaz de ser moldado em fôrmas das mais variadas formas geométricas. Com o tempo, a mistura endurece pela reação irreversível da água com o cimento, adquirindo resistência mecânica capaz de torná-lo um material de excelente desempenho estrutural, sob os mais diversos ambientes de exposição. (HELENE; ANDRADE, 2010, p. 905).

Concreto de cimento Portland é o material resultante da mistura, em determinadas proporções, de aglomerante, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Pode-se ainda, se necessário, usar aditivos. A água e o cimento, quando misturados, desenvolvem um processo denominado hidratação e formam uma pasta que adere às partículas dos agregados. Nas primeiras horas após o preparo é possível dar a essa mistura o formato desejado. Algumas horas depois ela

endurece e, com o passar dos dias, adquire grande resistência mecânica, convertendo-se num material monolítico dotado das mesmas características de uma rocha (ARAUJO; RODRIGUES; FREITAS, [20-?]).

Com a sua descoberta no fim do século XIX e seu intensivo uso no século XX, que transformaram o concreto no material mais consumido pelo homem depois da água, revolucionaram a arte de projetar e construir estruturas cuja evolução sempre esteve associada ao desenvolvimento das civilizações ao longo da história da humanidade (HELENE; ANDRADE, 2010).

Duas das mais desenvolvidas e poderosas sociedades atuais, os Estados Unidos e o Canadá, consideram o investimento no estudo das estruturas de concreto, como um dos mais importantes investimentos na ciência e tecnologia para obter e manter a qualidade de vida de seu povo e a liderança de seu parque industrial. Essas sociedades entendem que o profundo conhecimento sobre concreto posiciona e mantém a sua indústria na fronteira do conhecimento, assegurando sua alta competitividade (HELENE; ANDRADE, 2010).

No Brasil, assim como em outros países do mundo, o concreto tem um papel de destaque sendo o principal e mais consumido material de construção (HELENE; ANDRADE, 2010). Conforme pesquisa executada pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), no mercado brasileiro entre 2005 e 2008, houve um aumento no consumo de concreto preparado em centrais em torno de 180%. Estima-se que no ano de 2012, as concreteiras tenham produzido cerca de 51 milhões de m³, sendo que a pesquisa projeta para 2017 um consumo de aproximadamente 72,3 milhões de m³ de concreto.

2.2 CONSTITUIÇÃO DO CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

O objetivo amplo do concreto pode expressar-se resumidamente como a escolha dos materiais adequados entre aqueles disponíveis e a determinação da combinação mais econômica. Desde que produza um concreto que atenda características de desempenhos mínimos estabelecidos (MEHTA; MONTEIRO 1994).

O concreto é um material de construção resultante da mistura, em quantidades racionais, de aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água. Logo após a mistura o concreto deve possuir plasticidade suficiente para as operações de manuseio, transporte e lançamento em formas, adquirindo coesão e resistência com o passar do tempo, devido às reações que se

processam entre aglomerante e água. Em alguns casos são adicionados aditivos que modificam suas características físicas e químicas (ALMEIDA, 2002).

2.2.1 Cimento

O cimento Portland, mundialmente conhecido, foi descoberto na Inglaterra por volta do ano de 1824, e a produção industrial foi iniciada após o ano de 1850 (BASTOS, 2011).

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland: "O cimento pode ser definido como um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Na forma de concreto, torna-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes, de acordo com as necessidades de cada obra." (ABCP, 2002).

Conhecido como um produto fino, o cimento é o principal elemento dos concretos e o responsável pela transformação da mistura de materiais que compõem o concreto no produto final desejado. Após seu endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento Portland não se decompõe mais (ABCP, 2002).

Neste mesmo âmbito, Bauer (1979), informa que o cimento Portland é composto pelos seguintes produtos:

> "Cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de *clinker* constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfatos de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego. O *clinker* é um produto de natureza granulosa, resultante da calcinação de uma mistura daqueles materiais, conduzida até a temperatura de sua fusão incipiente" (BAUER, 1979, p. 35).

O cimento é composto de clínquer e de adições, sendo o clínquer o principal componente, presente em todos os tipos de cimento. O clínquer tem como matérias-primas básicas o calcário e a argila. A propriedade básica do clínquer é ser um ligante hidráulico, que endurece em contato com a água (BASTOS, 2011).

A NBR 5732 (1991), também especifica que o cimento Portland comum é considerado como um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores especificados.

O concreto de cimento Portland, hidráulico é um material de construção constituído por uma mistura de um aglomerante com um ou mais materiais inertes e água, que quando misturados, devem oferecer condições plásticas que facilitem operações de manuseio, indispensáveis ao transporte e lançamento nas fôrmas, adquirindo com o tempo coesão e resistência (NBR 5732, 1991).

Os tipos de cimento que existem no Brasil diferem em função da sua composição, como o cimento comum, o composto, o de alto-forno, o pozolânico, o de alta resistência inicial, o resistente a sulfatos, o branco e o de baixo calor de hidratação. Dentre os diferentes tipos de cimento listados na Tabela 1, os de uso mais comuns nas construções são o CPII E-32, o CPII F-32 e o CPIII-40. O cimento CPV-ARI é também muito utilizado em fábricas de estruturas pré-moldadas (BASTOS, 2011).

Tabela 1 – Tipos de Cimentos Fabricados no Brasil.

Nome Técnico		Identificação do Tipo e Classe
Cimento Portland Comun	Cimento Portland Comum	CP I-25 CP I-32 CP I-40
	Cimento Portland Comum com adição	CP I-S-25 CP I-S-32 CP I-S-40
Cimento Portland Composto	Cimento Portland Composto com escória	CP II-E-25 CP II-E-32 CP II-E-40
	Cimento Portland Composto com pozolana	CP II-Z-25 CP II-Z-32 CP II-Z-40
	Cimento Portland Composto com fíler	CP II-F-25 CP II-F-32 CP II-F-40
Cimento Portland de alto-forno		CP III-25 CP III-32 CP III-40
Cimento Portland pozolânico		CP IV-25 CP IV-32
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V-ARI
Cimento Portland resistente a sulfatos		Siglas e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo RS. Ex.: CP I-32RS, CP II-F32RS, CP III-40RS, etc.
Cimento Portland de baixo calor de hodratação		Siglas e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo BC. Ex.: CP I-32BC, CP II-F32BC, CP III-40BC, etc.
Cimento Portland branco	Cimento Portland branco estrutural	CPB-25 CPB-32 CPB-40
	Cimento Portland branco não estrutural	CPB
Cimento para poços petrolíferos		CPP - classe G

Fonte: Adaptado de ABCP (2015).

Os diferentes tipos de cimento têm uma nomenclatura própria e são fabricados segundo as resistências à compressão de 25, 32 ou 40 MPa. No comércio o cimento é fornecido em sacos de

50 kg, com exceção do cimento ARI que pode ser encontrado também em sacos de 40 kg (BASTOS, 2011).

2.2.2 Agregados

Agregados para construção civil são materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas para uso em obras de engenharia civil, tais como, a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha (SERNA; REZENDE, 2008). Segundo Bauer (1979), os agregados podem ser definidos como materiais granulosos e inertes que entram na composição das argamassas e concretos.

Para a indústria da construção civil é considerada como sendo substâncias minerais mais consumidas e, portanto, as mais significativas em termos de quantidades produzidas no mundo. Sua utilização na composição do concreto é de suma importância, porque cerca de 70% da sua composição é constituída pelos agregados, e são os materiais de menor custo dos concretos (FERREIRA; PEREIRA, [20-?]).

Para os autores Mehta e Monteiro, o agregado é considerado como: “Agregado é o material granular, como areia, cascalho, pedra esmagada, escória de alto-forno, ou resíduos de construção ou demolição.” (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 11). São materiais minerais, granulares, inertes, utilizados principalmente em obras de infraestrutura e edificações. Os agregados mais comuns são pedra britada, areia e cascalho, e são as substâncias minerais mais consumidas no Brasil e no mundo (ANEPAC, 2015).

Neste mesmo contexto a NBR 7211 (2009), especifica que:

> Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura conta a corrosão à durabilidade ou, quando for requerido o aspecto visual externo do concreto. (NBR 7211, 2009, p. 04).

A composição granulométrica dos agregados tem importante influência sobre a qualidade dos concretos, agindo na compacidade, durabilidade, proteção contra corrosão e resistência (HELENE; TERZIAN, 1992). Os agregados classificam-se segundo a origem, as dimensões das partículas e o peso específico aparente (BAUER, 1979).

Segundo a origem:

- Naturais – Os que já se encontram em forma particulada na natureza, pronto para o uso: areia, cascalho, seixo rolado, etc.
- Artificiais – Os que têm sua composição particulada obtida por processos industriais. Nestes casos, a matéria-prima pode ser: rocha, escória de alto forno, argila, etc.

Segundo as dimensões das partículas:

- Miúdo – agregados cujos grãos passam pela peneira 4,75 mm e ficam retidos na peneira 150 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248.
- Graúdo – agregados cujos grãos passam pela peneira 75 mm e ficam retidos na peneira 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248.

Segundo o peso específico aparente: Conforme a densidade do material que constitui as partículas, os agregados são classificados em leves, médios e pesados (PREDOZO, 2014).

- Leves: agregados com massa específica menor que 2000 kg/m³. Exemplo: EPS, argila expandida, vermiculita.
- Normais: agregados com massa específica entre 2000 kg/m³ e 3000 kg/m³. Exemplo: areias naturais de cava ou praia, pedras britadas, pedregulho, etc.
- Pesados: agregados com massa unitária acima de 3000 kg/m³. Exemplo: barita, magnetita, hematita, etc.

2.2.2.1 Agregados Graúdos – Pedra Brita

Agregados graúdos são materiais granulares provenientes de rochas, comprovadamente inertes e de características semelhantes, cujos grãos passam na peneira da malha com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira de 4,8 mm, tais como seixo rolado, cascalho e pedra britam (NBR 7211, 2005).

Os autores Mehta e Monteiro relatam que agregado graúdo é: “O agregado graúdo do termo refere-se às partículas de agregado superiores a 4,75 mm (peneira nº 4). Cascalho é o agregado grosso resultante da desintegração natural por intemperismo da rocha.” (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 11).

A NBR 7225 (1993) especifica que o agregado graúdo é: “Pedra britada ou brita ou pedregulho muito grosso, grosso e médio, de dimensões nominais entre 100,00 mm e 4,8 mm.” (NBR 7225, 1993, p. 02). Neste mesmo âmbito Bauer (1979) ressalta que, a brita é o agregado obtido a partir de rochas que ocorrem em depósitos geológicos, chamados de jazidas, pelo processo industrial da cominação, ou fragmentação controlada de rocha maciça, gerando produtos que se enquadram em diversas categorias.

Conforme a Tabela 2, os agregados graúdos (britas) têm a seguinte numeração e dimensões mínimas e máximas.

Tabela 2 – Classificação de acordo com as dimensões nominais.

Pedra Brita Numerada	**Tamanho Nominal**	
Número	Abertas de Peneiras de Malhas Quadradas (mm)	
	Mínima	Máxima
1	4,8	12,5
2	12,5	25
3	25	50
4	50	76
5	76	100

Fonte: Adaptado da NBR 7225 (1993).

As britas são os agregados graúdos mais usados no Brasil, com uso superior a 50 % do consumo total de agregado graúdo nos concretos (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

No passado era comum a mistura de britas 1 e 2 para a confecção de concretos, porém, hoje no Brasil, a grande maioria dos concretos feitos para as obras correntes utiliza apenas a brita 1 na sua confecção. As britas normais são geralmente obtidas pela trituração de rochas, como basalto, gnaisse e granito (BASTOS, 2011).

2.2.2.2 Agregados Miúdo – Areia Natural

A areia é um agregado miúdo que pode ser originário de fontes naturais como leitos de rios, depósitos eólios, bancos e cavas ou de processos artificiais como a britagem. Quando proveniente de fontes naturais, a extração do material, na maioria dos casos, é feita por meio de dragas e processos de escavação e bombeamento (HAGEMANN, [20-?]).

Para a NBR 7225 (1993), o agregado miúdo é conhecido como sendo: “Pedregulho fino, pedrisco grosso, médio e fino, areia grossa, média e fina, de dimensões nominais entre 4,8 mm e 0,075 mm.” (NBR 7225, 1993, p. 02).

Quanto ao tamanho de seus grãos, a areia é classificada em faixas granulométricas. A classificação da NBR 7225/1993 é apresentada a seguir:

- Areia Fina: de 0,075 a 0,42 mm;
- Areia Média: de 0,42 a 1,2 mm;
- Areia Grossa: de 1,2 a 2,4 mm.

Neste mesmo âmbito a NBR 7211 (2005) especifica que o agregado miúdo é aquele que: "Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μm." (NBR 7211, 2005, p. 03).

Segundo Bauer (2001) apresenta outra distribuição de tamanho de grãos para as três faixas granulométricas da areia:

- Areia Fina: de 0,15 a 0,6 mm;
- Areia Média: de 0,6 a 2,4 mm;
- Areia Grossa: de 2,4 a 4,8 mm.

De acordo com Petrucci (1998), entende-se por agregado miúdo normal ou corrente a areia natural quartzosa ou o pedrisco resultante de britamento de rochas estáveis, com tamanhos de partículas tais que no máximo 15 % ficam retidos na peneira 4,8 mm.

Como material de construção, a areia pode ser destinada ao preparo de argamassas, concreto betuminoso, concreto de cimento Portland, pavimentos rodoviários, base de paralelepípedos, confecção de filtros para tratamento de água e efluentes, entre outras aplicações (HAGEMANN, [20-?]).

2.2.2.3 Agregados Reciclados – Areia Artificial

De acordo com a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), areia reciclada é o material com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm, isentos de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.

Os agregados artificiais são provenientes de materiais previamente beneficiados. Comumente são provenientes de rejeitos industriais, urbanos e resíduos da construção e demolição. Ou seja, são agregados produzidos artificialmente, que normalmente sofrem algum

tipo de tratamento para posteriormente serem utilizados na confecção do concreto (SOUZA, 2006).

O aumento da demanda na área de construção civil, e consequentemente de concreto, tem promovido um aumento no consumo das matérias primas o que ocasiona a diminuição das reservas naturais. Visando minimizar o impacto ambiental, diferentes materiais e resíduos têm sido utilizados como agregados em substituição aos naturais para confecção do concreto. Dentre eles destacam-se os resíduos de construção e demolição (RCD). Como os RCD são gerados dentro das cidades, pode existir uma grande vantagem competitiva, no tocante a logística, dos agregados reciclados com relação aos naturais. Entretanto, em ambos os casos, é necessário à produção em larga escala para que a operação seja lucrativa, o que torna muitas vezes a atividade incompatível com a necessidade de ocupação da malha urbana, de acordo com (ANGULO *et al.* 2003).

Dessa forma, entende-se que a areia artificial é obtida a através de um processo de reciclagem do entulho da construção civil, materiais que são recicláveis para a produção de agregados. Na fase da trituração do entulho deve ser controlado um parâmetro importante do agregado reciclado: a granulometria, que deverá ser adequada à finalidade estabelecida (PRANDINI, *et al*, 1995).

2.2.3 Água

A água é um elemento indispensável ao concreto para possibilitar as reações químicas de hidratação do cimento, provocando uma reação exotérmica (emite calor) que resulta no seu endurecimento. Entretanto quando existe na massa do concreto mais água do que o cimento necessita para endurecer, este excesso não é absorvido na reação e “sobra” água no concreto, na forma de bolhas minúsculas. Essas bolhas vão acabar se transformando em vazios e canalículos, depois da perda da água por evaporação, que são os responsáveis pela redução de resistência e impermeabilidade do concreto (PEDROZO, 2014).

Por isso, é preciso cuidado com a água no concreto, devendo ser respeitada a quantidade estabelecida no projeto para o traço que se deseja utilizar e consequentemente para a resistência que se deseja obter. Normalmente a água potável é a indicada para a confecção dos concretos (SILVA, 2004).

Existe uma quantidade mínima de água que possibilita a hidratação do cimento e uma boa trabalhabilidade (BOTELHO; MARCHETTI, 2010). Essa quantidade precisa ser mantida no interior do concreto por meio do processo de cura, para que seja permitido o progresso da formação de gel no cimento presente no concreto, o que o torna cada vez mais resistente e impermeável (BAUER, 2001).

De acordo com a NBR 6118 (2007) a água a ser empregada no preparo do concreto deverá ser isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas, presumindo-se satisfatórias as águas potáveis e as que possuam pH entre 5,8 e 8,0 e respeitam os seguintes limites máximos:

- Matéria orgânica (expressa em oxigênio consumido).....3 mg/l
- Resíduo sólido.....500 mg/1
- Sulfatos (expresso em íons SO_4).....300 mg/1
- Cloretos (expressos em íons C1).....500 mg/1
- Açúcar..... 5mg/1

Os limites acima incluem as substâncias trazidas ao concreto pelos agregados. No caso de não ser atendido qualquer dos limites, a água só poderá ser utilizada se obedecer a recomendações e limites decorrentes de estudos prévios em laboratório nacional idôneo. Ainda conforme NBR 6118 (2007), a quantidade de água necessária à mistura nos traços de concretos e argamassas depende da umidade natural contida na areia e por isso se faz necessário a sua determinação ou proceder ao ajuste experimental até a obtenção da quantidade de água ideal para o traço.

A cura do concreto é um procedimento fundamental para a hidratação do cimento. Entende-se por “cura do concreto” um conjunto de medidas que têm por objetivo evitar a evaporação da água utilizada na mistura do concreto, a qual deverá reagir com o cimento, hidratando-o. Este processo favorece a resistência mecânica à ruptura e ao desgaste, impermeabilidade e resistência ao ataque de agentes agressivos. Outro fator importante a ser considerado é que a cura em água reduz a retração da peça na fase em que o concreto tem pouca resistência, fato este de fundamental importância, por evitar formação de fissuras de retração, que podem comprometer a impermeabilidade do concreto (BAUER, 2001).

2.3 MÉTODOS DE DOSAGENS USUAIS

Segundo Priskulink (1977), o objetivo da dosagem do concreto é a recomendação da proporção adequada de aglomerante, agregados miúdo e graúdo, água e eventualmente, aditivos visando à obtenção de um concreto que atenda as seguintes condições:

a) No estrado fresco: Seja trabalhável e mantenha sua homogeneidade nas etapas de mistura, transporte, lançamento e adensamento;
b) No estado endurecido: Apresentar, na idade específica, as propriedades exigidas no projeto estrutural (resistência mecânica, retração, deformação lenta) acordes com as especificações de cálculo e a aparência exigida no projeto arquitetônico;
c) Seja durável, mantendo suas propriedades ao longo da vida útil prevista para a estrutura, resistindo, pois, a eventuais efeitos danosos oriundos de reações entre os seus componentes e das ações físicas e químicas do meio;
d) Seja econômico.

Entende-se por estudo de dosagem dos concretos de cimento Portland os procedimentos necessários à obtenção da melhor proporção entre os materiais constitutivos do concreto, também conhecido por traço. Essa proporção ideal pode ser expressa em massa ou em volume, sendo preferível e sempre mais rigorosa a proporção expressa em massa seca de materiais (HELENE; TUTIKIAN, 2011). Neste mesmo âmbito os autores Helene e Tutikian (2011), ainda relatam a inexistência de um consenso nacional de uma norma brasileira sobre os procedimentos e parâmetros de dosagem tem levado vários pesquisadores a proporem seus próprios métodos de dosagem, muitas vezes confundidos com uma recomendação da instituição para a qual trabalham, ou através da qual foram publicados.

Apesar de os métodos de dosagem IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), INT (Instituto Nacional de Tecnologia), ITERS (Instituto Tecnológico do Estado do Rio Grande do Sul) e o método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), diferirem entre si, certas atividades são comuns a todos, como, por exemplo, o cálculo da resistência média de dosagem, a correlação da resistência à compressão com a relação água/cimento para determinado tipo e classe de cimento, sempre e quando um estudo de dosagem tiver por objetivo a obtenção de uma resistência especificada, sem descuidar da economia e da sustentabilidade que sempre devem nortear um estudo de dosagem contemporâneo. Um estudo de dosagem deve ser realizado visando obter a mistura ideal e mais econômica, numa determinada região e com os materiais ali disponíveis, para atender uma série de requisitos (O CONCRETO, 2012).

O método da ABCP foi publicado em 1984 pela Associação de Cimento Portland como um estudo técnico titulado como: Parâmetros de Dosagem do Concreto. Este método, baseado no texto da Norma ACI 211.1, constitui-se numa adaptação prática do método americano as condições brasileira e permite a utilização de agregados graúdos britados e areia de rio que se enquadram na NBR 7211 (2005). Desta forma o método, que considera tabelas e gráficos elaborados a partir de valores médios de resultados experimentas, constitui-se numa ferramenta de dosagem de concretos convencionais, adequadas aos materiais mais utilizados em várias regiões do Brasil.

De acordo com Predozo (2014), o desenvolvimento do método segue as seguintes etapas:

a) Fixar a relação água /cimento (a/c);
b) Determinar o consumo aproximado de água do concreto (Ca);
c) Determinar o consumo de cimento (Cc);
d) Determinar o consumo de agregados:
   - Agregado graúdo (Cb);
   - Agregado miúdo (Vm);
e) Divide-se todas as massa obtidas pela do cimento (Cc) para obter o traço, (Equação 1);

Equação 1 - Traçado

$$\frac{Cc}{Cc} : \frac{Cb}{Cc} : \frac{Vm}{Cc} : \frac{CA}{Cc}$$

Fonte: PEDROZO (2014).

2.4 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Angulo (2000), considera RCD todo e qualquer resíduo oriundo das atividades de construção, seja ele de novas construções, reformas, demolições, que envolvam atividades de obras de arte, solos ou resíduos de vegetação presentes em limpezas de terreno. Leite (2001) cita em seu trabalho que este material pode ser definido como um resíduo proveniente de construções, reparos, reformas, e demolições de estruturas e estradas.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 10004 (2004) classifica os resíduos sólidos, quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Esta norma brasileira define resíduos sólidos como sendo:

> Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes do sistema 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. (NBR 10004, 2004, p. 01).

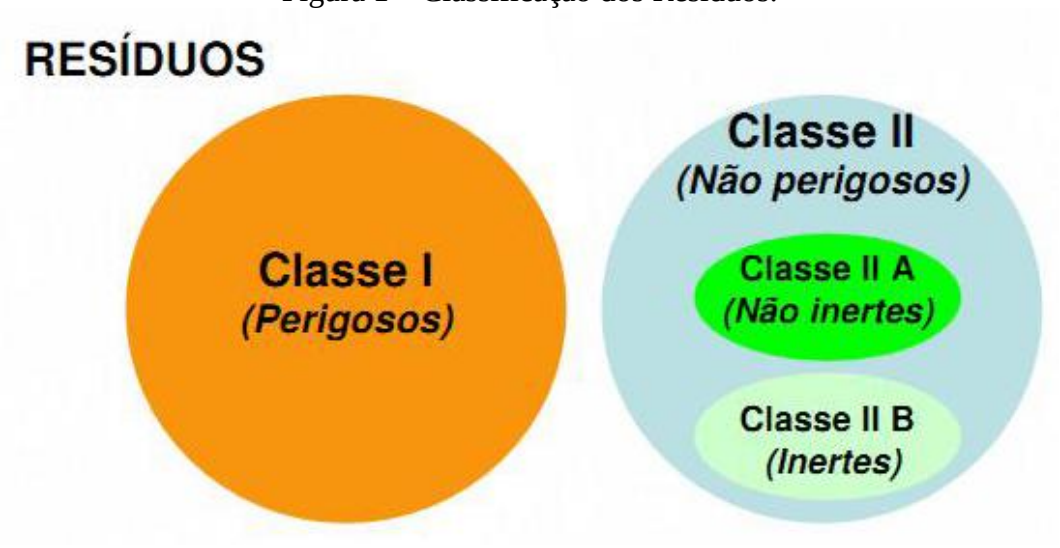
A classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser criteriosa e estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem (NBR 10004, 2004).

A própria NBR 10004 (2004), estabelece três classificações referentes aos resíduos:

> - Classe I (Perigosos) – São os que apresentam riscos ao meio ambiente e exigem tratamento e disposição especiais, ou que apresentam riscos à saúde pública.
> - Classe II (Não-inerte) – São basicamente os resíduos com as características do lixo doméstico.
> - Classe III (Inertes) – São os resíduos que não se degradam ou não se decompõem quando dispostos no solo, são resíduos como restos de construções, os entulhos de demolição, pedras e areias retirados de escavações. (NBR 10004, 2004, p. 03).

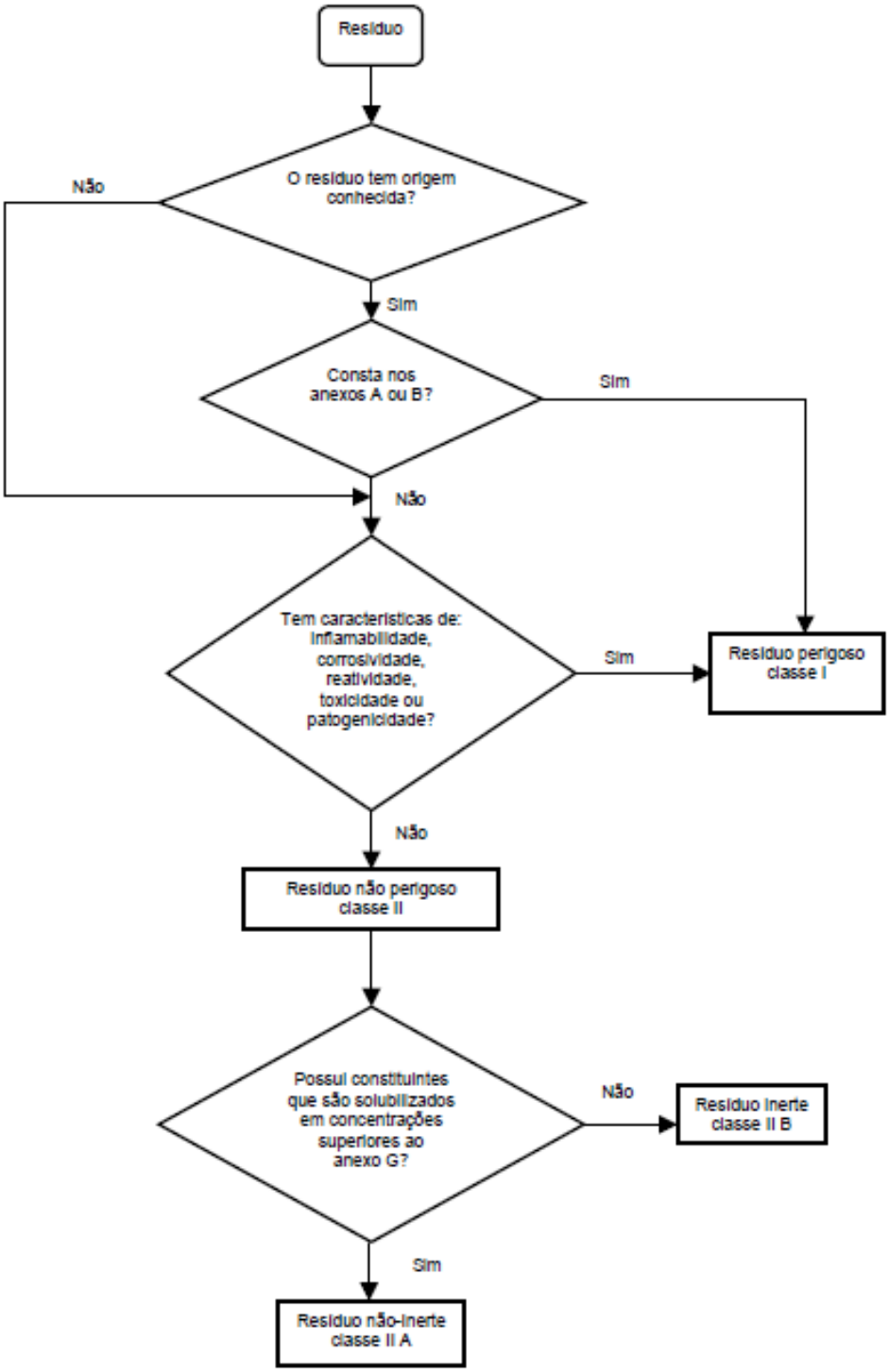
As classificações têm como finalidade de facilitar o entendimento e reconhecimento da população a respeito dos resíduos que são gerados. Visando melhor a identificação de quais resíduos podem apresentar riscos ao meio ambiente, os que são intitulados como apenas lixos domésticos e os que são compostos com restos de construções e demolições. A Figura 1 e Figura 2 apresentam de forma sucinta as características e classificações dos resíduos.

Figura 1 – Classificação dos Resíduos.



Fonte: NBR 10004 (2004).

Figura 2 – Características e Classificações dos Resíduos.



Fonte: NBR 10004 (2004).

Neste mesmo âmbito, em 17 julho de 2002 o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA publicou a resolução número 307 que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.

> Provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. (BRASIL, 2002, p.01).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, estabelece que os resíduos provenientes das construções, reformas e demolições de empreendimentos da construção civil, são identificados por classe, conhecidas como classe A, classe B, classe C e classe D, classificando-as da seguinte maneira:

I - Classe A - São os resíduos reutilizáveis (aplicados sem transformação) ou recicláveis (reaproveitados após terem sido submetidos a uma transformação) 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;

II - Classe B - São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso; (redação dada pela Resolução n° 431/2011).

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (redação dada pela Resolução n° 431/2011).

IV - Classe D: São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem

como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (redação dada pela Resolução n° 348:2004).

Cavalcante e Cheriaf (1996), lembram que além da identificação das propriedades que classificam um resíduo como sendo utilizável ou não para o setor construtivo, também devem ser analisadas as características técnicas bem como o impacto ambiental devido ao uso. Leite (2001) comunga da mesma opinião. Segundo a autora, os resíduos, sejam eles quais forem, devem ser classificados, do ponto de vista do risco ambiental, para que possam sofrer o correto destino e manuseio. A separação do resíduo em cerâmica vermelha e concreto, baseada na cor usual desses materiais, poderia ser uma forma de classificação. No entanto de acordo com Angulo *et al.* (2004) a classificação em vermelho e cinza pode não ser significativa em termos de variação de porosidade e, potencialmente, de resistência mecânica dos agregados.

Muller (2006) classifica o RCD baseado em três critérios: tipo de atividade construtiva, origem e material. Quanto à atividade construtiva os RCD podem ser de construção, de atividades de manutenção, de demolição total ou parcial e de solo ou rochas provenientes de terraplanagens e fundações. Quanto à origem a autora classifica os resíduos em resíduos de edificações, de obras de infraestrutura e de pavimentação rodoviária. Em função do tipo de material, os resíduos podem ser concreto, alvenaria, asfalto e RCD misturado.

2.5 FORMA DE APLICAÇÃO DO RCD EM OBRA

O RCD é composto por uma gama bastante grande de materiais. Esta característica é, sem dúvida, um dos grandes empecilhos para a aplicação em larga escala dos resíduos de construção e demolição como agregados para produção de novos concretos (WERLE, 2010).

Conforme Lovato (2007), o RCD pode ser constituído por diferentes materiais, tais como: solos, rochas naturais, concreto, argamassas, cerâmica vermelha, cerâmica de revestimento, cimento, gesso, vidro, chapas de aço galvanizado, madeira, plásticos, materiais betuminosos, tintas, papéis de embalagens e restos de vegetais. A composição do RCD está relacionada com as tecnologias e materiais que estão sendo empregados no momento.

De acordo com, Patrícia Maria Ribeiro Lacôrte, os resíduos da classe A são gerados nas seguintes etapas de um empreendimento:

> Os resíduos classe A são gerados principalmente na fase de vedações e acabamento. Esse fato é, em grande parte, devido a deficiências no planejamento da execução destas etapas. Na tentativa de minimizar a distância entre projeto e execução, foram desenvolvidos métodos de racionalização construtiva. (LACÔRTE, 2013, p. 18).

Na alvenaria estrutural e de vedação, a simples utilização do conceito de modulação ou paginação pode reduzir significativamente o desperdício, assim como a geração de resíduos, levando-se em conta o uso de meios blocos e espessura adequada da argamassa de assentamento. Portanto, com o objetivo de minimizar a geração dos resíduos classe A, é necessário planejar cuidadosamente a execução da alvenaria desde a fase dos projetos de arquitetura, estrutura(s) e instalações prediais, até o projeto de produção da própria alvenaria (LACÔRTE, 2013). Os resíduos podem ser transformados em matéria-prima secundária, na forma de agregados, graúdos ou miúdos, reciclados, que se corretamente processados podem ser aplicados como diferentes materiais para obras civis (LACÔRTE, 2013).

As especificações da ABNT tratam desde a disposição correta destes materiais até a utilização de agregados reciclados em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. (SANTOS, 2007). E são elas:

- NBR 15112 – Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;

- NBR 15113 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação;

- NBR 15114 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Área de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;

- NBR 15115 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos;

- NBR 15116 – Agregados reciclados de resíduos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

De acordo com a NBR 15116 (2004) o reaproveitamento de resíduos da classe A, pode ser aplicado em concreto de cimento Portland, de acordo com: “Material destinado a usos como enchimentos, contrapiso, calçadas e fabricação de artefatos não estruturais, como blocos de vedação, meio-fio (guias), sarjeta, canaletas, mourões e placas de muro.” (NBR 15116, 2004, p.02). O resíduo composto à base de concreto e argamassa, sem impurezas, tais como gesso,

terra, metais, papel, vidro, plástico, madeira madura, matéria orgânica. Destinam-se, após beneficiamento, à preparação de argamassa e concreto não estrutural (LACÔRTE, 2013).

Na literatura é muitas vezes difícil distinguir o uso de RCD para concreto estrutural. Em muitos trabalhos analisam-se resíduos como agregados para concretos sem fins estruturais e em outros para concretos. Raramente são citados resíduos para concreto estrutural (SOUZA, 2006).

Ainda na NBR 15116 (2004), verifica-se uma divisão em duas classes dos agregados, sendo eles:

> ARC – É o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A, composto na sua fração graúda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Sua composição deve ser determinada conforme o anexo A e atender aos requisitos das aplicações específicas.
> ARM – É o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo de classe A, composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Sua composição deve ser determinada conforme o anexo A e atender aos requisitos das aplicações específicas. (NBR 15116, 2004, p. 03).

A NBR 15116 (2004), também estabelece que em concreto sem função estrutural, admite-se o emprego de agregado reciclado classe A, substituindo parcial ou totalmente os agregados convencionais. O resíduo de classe A beneficiado para a obtenção de agregados tipo ARC e ou tipo ARM deve obedecer aos requisitos da Figura 3.

Figura 3 - Requisitos para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural.

PROPRIEDADES		AGREGADO RECICLADO CLASSE A				NORMAS DE ENSAIO	
		ARC		ARM			
		GRAÚDO		MIÚDO		AGREGADO GRAÚDO	AGREGADO MIÚDO
Teor de fragmentos à base de cimentos e rochas (%)		≥ 90	-	< 90	-	Anexo A	-
Absorção de água (%)		≤ 7	≤ 12	≤ 12	≤ 17	NBR NM 53	NBR NM 30
Contaminantes - Teores máximos em relação à massa de agregado reciclado (%)	Cloretos	1				NBR NM 9917	
	Sulfatos	1				NBR NM 9917	
	Materiais não minerais	2				Anexo A	Anexo B
	Torrões de argila	2				NBR 7218	
	Teor total máximo de contaminantes	3				-	
Teor de material passante na malha 0,075mm (%)		≤ 10	≤ 15	≤ 10	≤ 20	NBR NM 46	

Fonte: NBR 15116 (2004).

Segundo pesquisadores portugueses Evangelista e Brito (2006), apesar de não ser usual, é necessário o estudo para o emprego da fração miúda do RCD como agregado em função da quantidade gerada nas usinas de beneficiamento.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Visando atender ao que contempla este estudo, reutilização de resíduos da construção civil na substituição parcial do agregado miúdo. O material utilizado para a substituição de areia natural por areia artificial de entulhos foi fornecida pela empresa recicladora de entulhos Resicon da cidade de Santa Rosa – RS, os materiais utilizados na pesquisa, como areia média e brita 1 foram fornecidos pelo Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ e Cimento Portland foi adquirido através de empresa que trabalha com o produto.

Através dos resultados adquiridos na pesquisa de Pedrozo (2014), o qual optou por teores de substituição de 25 %, 50 % e 75 % de agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado, concluiu-se que a resistência do concreto com substituição de 50 % e 75 % de agregado miúdo reciclado, não mostraram-se satisfatórios. Neste mesmo âmbito os autores Leite (2001) e Negri (2007), através dos resultados obtidos em suas pesquisas, afirmam que os melhores resultados obtidos estão relacionados ao baixo percentual de agregado reciclado substituído. Sendo assim, os testes desenvolvidos para a realização desta pesquisa, foram realizados com a substituição parcial do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado com teores de 20 % e 40 % de resíduos da construção.

Para iniciar os testes realizou-se uma dosagem de concreto padrão, utilizando agregado miúdo natural, pelo método da ABCP, que inicialmente se arbitra um fator água/cimento para atingir a resistência de 25MPa ou o mais aproximado possível, mas para isso precisa-se de 28 dias. Após definir o traço padrão, realizaram-se as moldagens dos CP com a substituição parcial do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado, com as porcentagens de 20 % e 40 %, para produção dos corpos de prova que serão analisados, então rompê-los nas idades pré-estabelecidas para comparar os resultados.

Estabelecidas as composições a ser estudado, o procedimento experimental consistiu-se na confecção dos concretos, moldagem dos corpos-de-prova, cura dos corpos-de-prova em câmara úmida e na realização de ensaios para avaliação do desempenho mecânico e durabilidade dos compostos cimentícios.

Essas características foram avaliadas a partir dos seguintes testes:

- Avaliação da característica física do cimento de concreto Portland (CCP) com areia reciclada no estado endurecido, ou seja, sua resistência à compressão axial.
- Avaliação da resistência à tração por compressão diametral.
- Avaliação da absorção do concreto.

Com as dosagens estabelecidas, confeccionaram-se vinte e três (23) CP para cada traço estudado (referência, 20 % de substituição e 40 % de substituição), para os seguintes ensaios:

- Resistência à compressão simples (nas idades de 3, 7, 14, 21 e 28 dias sendo dois CP para cada idade);
- Resistência à tração por compressão diametral (nas idades de 3, 7, 14 21 e 28 dias sendo dois CP para cada idade);
- Absorção por Capilaridade (três CP para idade de 28 dias);

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

3.2.1 Aglomerante

O cimento é um material com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes que endurece sob a ação da água (PEDROZO, 2014). O cimento que foi utilizado para a realização da pesquisa foi o CP II-Z-32, que contém adição de material pozolânico que varia de 6 % a 14 % em massa, também pode conter adição de material carbonático (fíler) no limite máximo de 10 % em massa, sendo ideal tanto para obras de usos em geral como subterrâneas (NBR 11578, 1991).

Realizou-se o ensaio da massa específica, de acordo com a NBR 6474/1984, para a caracterização física do cimento no laboratório de Engenharia Civil – UNIJUÍ. De acordo com o ensaio realizado obteve-se uma massa específica do cimento de 3077Kg/m³.

3.2.2 Agregado Miúdo Natural

O agregado miúdo natural utilizado para a realização deste estudo foi fornecido pelo Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ. Realizou-se o procedimento de secagem da areia em estufa e posteriormente depositada em uma padiola, conforme a Figura 4.

Figura 4 – Agregado Miúdo Natural.

Fonte: Autoria Própria (2015).

Após o resfriamento do material, foram realizados os ensaios abaixo relacionados para a caracterização do material e os resultados estão no ANEXO A.

- Composição Granulométrica de acordo com a NBR 7217/1987. Pelo qual obteve-se os resultados de Módulo de Finura de 1,69 e Diâmetro Máximo de 1,2mm.
- Massa Específica – Frasco de Chapman conforme a NBR 9776/1987. Pelo qual obteve-se resultado de 2600 Kg/m³.
- Massa Unitária Solta de acordo com a NBR 7251/1982. Pelo qual obteve-se resultado de 1,56 Kg/dm³.

3.2.3 Agregado Miúdo Reciclado

O agregado miúdo reciclado utilizado nesta pesquisa, Figura 5, é proveniente da cidade de Santa Rosa - RS, da empresa recicladora de entulhos Resicon.

Novamente foi realizado o procedimento de secagem do material em estufa, em seguida realizou-se o armazenado, do mesmo, em um tonel lacrado com identificação devida do material.

Figura 5 – Agregado Miúdo Reciclado.

Fonte: Autoria Própria (2015).

Após o resfriamento do material foram realizados os mesmos ensaios que foram feitos para o agregado miúdo natural, para a caracterização física do material, onde os resultados obtidos estão demonstrados no ANEXO B.

- Composição Granulométrica de acordo com a NBR 7217/1987. Pelo qual obteve-se os resultados de Módulo de Finura de 2,80 e Diâmetro Máximo de 4,80mm.
- Massa Específica – Frasco de Chapman conforme a NBR 9776/1987; Pelo qual obteve-se resultado de 2440 Kg/m³.
- Massa Unitária Solta de acordo com a NBR 7251/1982. Pelo qual obteve-se resultado de 1,36 Kg/dm³.

É importante salientar que o material a ser utilizado, para substituição do agregado miúdo, deve sofrer uma separação rigorosa dos materiais logo no seu recebimento em empresas recicladoras. A empresa recicladora Resicon, a qual disponibilizou o material para o desenvolvimento da pesquisa, realiza uma separação criteriosa dos materiais reciclados recebidos na indústria. Tendo em vista que os resíduos que chegam até a empresa recicladora, provém de vários setores da construção civil, sendo assim, em momentos tem mais materiais cerâmicos e em outros mais materiais de concreto, por isso da importância desse processo de separação e reciclagem que é realizado com os materiais.

3.2.4 Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado para a realização da pesquisa foi à brita 01 (Figura 6), fornecido pelo Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ, proveniente da região de Ijuí/RS, a qual é largamente utilizada em obras da região.

Figura 6 – Agregado Graúdo.

Fonte: Autoria Própria (2015).

Tendo em vista que a brita também passou pelo procedimento de secagem em estufa e posteriormente depositada em uma padiola. Foram realizados os ensaios abaixo relacionados para a caracterização do material e os resultados estão no ANEXO C.

- Composição Granulométrica de acordo com a NBR 7217/1987. Pelo qual obteve-se os resultados de Módulo de Finura de 6,83e Diâmetro Máximo de 19mm.
- Massa Específica conforme a NBR 7251/1982. Pelo qual obteve-se resultado de 2930 Kg/m³.
- Massa Unitária Solta de acordo com a NBR 7251/1982. Pelo qual obteve-se resultado de 1,64 Kg/dm³.

3.2.5 Água

Para a confecção do concreto, foi utilizada água do Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ, proveniente de poço artesiano que abastece o prédio.

3.3 CÁLCULO DE DOSAGEM PELO MÉDOTO DA ABCP

Tendo em vista que o método de dosagem ABCP, tem como função determinar uma quantidade aproximada dos materiais a serem utilizados, foi realizado dois traços como teste para o traço referência, onde foram utilizados dois fatores água/cimento variando de 0,50 e 0,60. Vislumbra-se que para ambos os traços a resistência, na idade de 28 dias, deram superiores a 25 MPa. Sendo assim, para o traço referência foi optado pela utilização como fator de água/cimento de 0,60. Pois, de acordo com a NBR 6118/2003, Figura 7, o valor máximo a ser utilizado como fator água/cimento na classe de agressividade I é de 0,60. Por isso optou-se por não corrigir mais o fator água/cimento para os 25 MPa, pois estaria em desacordo com a NBR 6118/2003.

Figura 7 - Correspondência entre Classe de Agressividade e Qualidade do Concreto.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

NOTAS

1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (2003).

Diante disto, foi realizada a dosagem pelo método ABCP, para definir as quantidades dos materiais a serem utilizados na execução dos traços em estudo, como mostra os cálculos a seguir:

Dados:

- Diâmetro máximo do agregado graúdo: 19 mm
- Módulo de finura do agregado miúdo: 1,69
- Massa unitária compactada (MUC) do agregado graúdo: 1640 Kg/m³
- Massa específica real do agregado miúdo: 2600 Kg/m³
- Massa específica real do agregado graúdo: 2930 Kg/m³
- Abatimento “SLUMP TEST”: 90 mm±10 mm
- Massa específica do cimento CP II-Z-32: 3077 Kg/m³

3.3.1 Primeiro Passo – Determinação do Fcj

$$Fcj = Fck + 1{,}65 \times Sd \rightarrow Fcj = 25 + 1{,}65 \times 4{,}0 \rightarrow \boldsymbol{Fcj = 31{,}6 MPa}$$

3.3.2 Segundo Passo – Estipular fator água/cimento

$$\boldsymbol{a/c = 0{,}60}$$

3.3.3 Terceiro Passo – Consumo de Água

Conforme a Figura 8, levando em consideração o abatimento requerido e o diâmetro máximo do agregado graúdo.

Figura 8 - Determinação do Consumo de Água aproximado.

Abatimento (mm)	Dmáx agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: ABCP (2015).

$$a = 205\ litros$$

3.3.4 Quarto Passo – Consumo de Cimento

$$Cc = Ca/a/c \rightarrow Cc = 205/0{,}60 \rightarrow \mathbf{Cc = 341{,}67\ Kg/m^3}$$

Onde:

Cc= Consumo de cimento;

Ca= Consumo de água;

a/c= Fator água/cimento.

3.3.5 Quinto Passo – Consumo de Agregado Graúdo

Depende do conhecimento da dimensão máxima característica do agregado graúdo e do módulo de finura do agregado miúdo, Figura 9.

Figura 9- Determinação do Vb para Cálculo do Consumo de Brita.

MF	Diâmetro máximo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: ABCP (2015).

$$Cb = Vb \times MUC \rightarrow Cb = 0{,}77 \times 1640 \rightarrow \boldsymbol{Cb = 1262{,}8 Kg/m^3}$$

Onde:

Cb= Consumo de brita;

Vb= Volume de brita, determinado pela relação entre o módulo de finura do agregado miúdo e o diâmetro máximo do agregado graúdo;

MUC= Massa unitária compactada do agregado graúdo.

3.3.6 Sexto Passo – Consumo de Agregado Miúdo (Areia Natural)

$$Vm = 1 - (Cc/\gamma c + Cb/\gamma b + Ca/\gamma a) \rightarrow Vm = 1 - (341{,}67/3077 + 1262{,}8/2930 + 205/1000) \rightarrow \boldsymbol{Vm = 0{,}253}$$

$$Cm = Vm \times \gamma m \rightarrow Cm = 0{,}253 \cdot 2600 \rightarrow \boldsymbol{Cm = 657{,}72\ Kg/m^3}$$

Onde:

Cm= Consumo de areia;

Cc= Consumo de cimento;

Cb= Consumo de brita;

Ca= Consumo de água;

γc= Massa específica do cimento;

γb= Massa específica real do agregado graúdo;

γa= Massa específica da água.

3.3.7 Sétimo Passo – Determinação do Traço

$$Cc/Cc : Cb/Cc : Cm/Cc : Ca/Cc \rightarrow 341{,}67/341{,}67 : 1262{,}8/341{,}67 : 657{,}72/341{,}67 : 205/341{,}67$$

$$\mathbf{1 : 3{,}70 : 1{,}93 : 0{,}60}$$

3.3.8 Oitavo Passo - Definir Volume de Concreto a Produzir para Aproximadamente 23 Corpos de Prova

$$V = (0{,}001571 \times 23) + 0{,}005498 \rightarrow \boldsymbol{V = 0{,}042 m^3}$$

3.3.9 Nono Passo - Determinar a Quantidade de Cada Material a ser Utilizado

- Cimento: 341,67 x 0,042=14,35Kg
- Agregado graúdo: 1262,8 x 0,042=53,04Kg

- Agregado miúdo natural: 657,72 x 0,042=27,62g
- Água: 205x0,042=8,61Kg

Através da Tabela 3 é possível visualizar a quantidade de material que foi utilizado no traço de referência e nos demais traços de substituição de agregado miúdo de 20% e 40%.

Tabela 3 – Quantidade de Materiais.

Material	**Quantidade dos Materiais (Kg).**		
	Traço Ref. (TR)	**Traço Subs. 20%**	**Traço Subs. 40%**
Cimento	14,35	14,35	14,35
Agregado Graúdo	53,04	53,04	53,04
Agregado Miúdo Natural	27,62	22,1	16,6
Agregado Miúdo Reciclado		5,53	11,05
Água	8,61	8,61	8,61

Fonte: Autoria Própria (2015).

Através da Figura 10, observam-se as tolerâncias para a consistência do concreto. Para a pesquisa em questão, foi determinado que o concreto tivesse consistência plástica com abatimento de 90mm $\pm$10mm.

Figura 10 - Tolerâncias admitidas para consistência do concreto através do abatimento do tronco de cone.

Consistência	Abatimento (mm)	Tolerância (mm)
Muito seco		
Seco	0 - 20	±5
Rijo	20 - 50	±10
Plástico	50 - 120	±10
Úmido	120 - 200	±20
Fluído	200 - 250	±30

Fonte: WITKOWSKI - SENAI (2006).

Foi confeccionado o concreto de traço referência, traço com substituição de 20% e o traço com substituição de 40%, observando-os e corrigindo o consumo de água. Foi possível observar que o agregado miúdo reciclado absorve maior quantidade de água e para atingir a trabalhabilidade requerida, com abatimento do tronco de cone, Figura 11, “Slump test” de 90mm ±10mm, teve-se que ser realizado um ajuste no fator água/cimento, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 - Slump Test e relação água/cimento corrigido.

Traços	**A/C Inicial**	**Slump Test (mm)**	**Massa Específica**	**A/C Final**
Referância	0,6	95	22,81	0,51
Subs. 20%	0,6	80	22,5	0,54
Subs. 40%	0,6	90	22,62	0,6

Fonte: Autoria Própria (2015).

Figura 11 – Abatimento de Cone “Slump Test” - Traço Referência.

Fonte: Autoria Própria (2015).

Tendo em vista que todas as misturas de concretos, para cada traço foi realizada em betoneira, seguindo as normas ABNT NBR 12655/1996 – Concreto – Preparo, controle e recebimento e ABNT NBR 5738/2003 – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova.

3.4 PROCEDIMETOS PARA A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

3.4.1 Resistência à Compressão Simples

A resistência à compressão simples, denominada f_c, é a característica mecânica mais importante. Para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos-de-prova para ensaio (PINHEIRO, *et al*. 2010).

A norma norteadora para a realização deste ensaio da resistência à compressão simples é a NBR 5738 (1994) – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Os corpos-de-prova padrões brasileiros são realizados em esferas cilíndricas, com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, e a idade de referência para o ensaio é 28 dias.

De acordo com a NBR 5739 (2007), o cálculo da resistência à compressão dever ser calculada de acordo com a Equação 2:

Equação 2 – Cálculo da resistência à compressão.

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2}$$

Fonte: Adaptação da NBR 5739 (2007).

Onde:

f_c = Resistência à compressão, em megapascals (MPa);

F = Força máxima alcançada, em Newtons (N);

D = Diâmetro do corpo-de-prova, em milímetros (mm).

Tratando-se de corpos-de-prova com relação h/d menor do que 1,94 multiplica-se o F pelo fator de correção correspondente ao h/d encontrado (Tabela 5).

Tabela 5 - Fator de correção h/d

Relação h/d	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00
Fator de correção	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87
NOTA: Os índices correspondentes à ralação h/d podem ser obtidos por interpolação linear, com aproximação de centésimos.					

Fonte: Adaptado da NBR 5739 (2007).

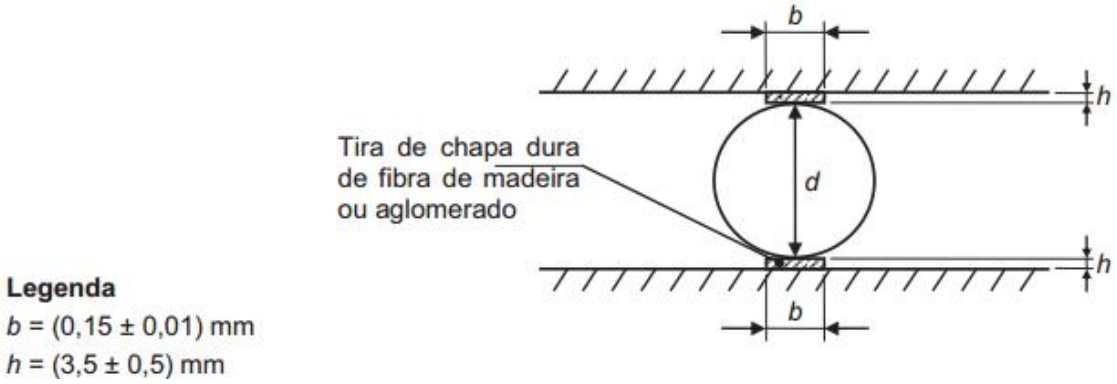
Os resultados obtidos através deste método serão expressos em megapascal, com três algarismos significativos.

3.4.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral

É o ensaio mais utilizado, por ser mais simples de ser executado, quando necessita-se caracterizar o concreto quanto aos esforços de tração e utiliza o mesmo CP cilíndrico do ensaio de compressão (15 cm por 30 cm). Também é conhecido internacionalmente como Ensaio Brasileiro, pois foi desenvolvido por Lobo Carneiro, em 1943 (PINHEIRO, *et al*. 2010).

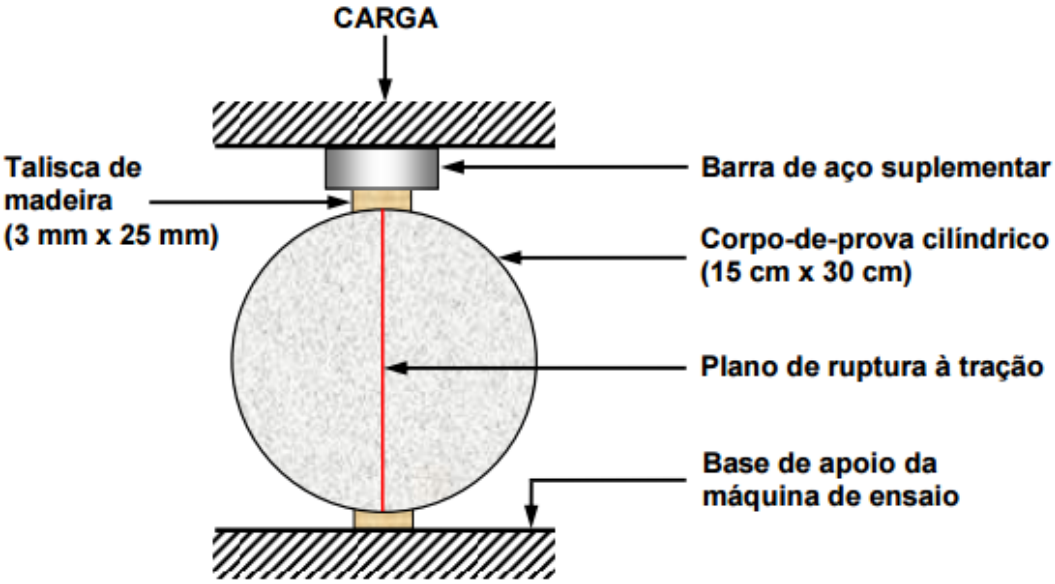
Para a sua realização, o corpo-de-prova cilíndrico é colocado com o eixo horizontal entre os pratos da máquina de ensaio, e o contato entre o corpo de prova e os pratos deve ocorrer somente ao longo de duas geratrizes, onde são colocadas tiras padronizadas de madeira, diametralmente opostas (Figura 12 e 13), sendo aplicada uma força até a ruptura do concreto por fendilhamento, devido à tração indireta (PINHEIRO, *et al*. 2010).

Figura 12 - Disposição do corpo-de-prova.



Fonte: NBR 7222 (1994).

Figura 13 - Ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: Adaptado de Mehta e Monteiro (2008).

De acordo com a NBR 7222 (1994), o cálculo da resistência à tração por compressão diametral é calculada através da Equação 3:

Equação 3 – Cálculo da resistência à tração por compressão diametral.

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi \times d \times l}$$

Fonte: Adaptado da NBR 7222 (1994).

Onde:

$f_{ct,sp}$ = Resistência à tração por compressão diametral, em megapascals (MPa);

F = Força máxima obtida no ensaio, em Newtons (N);

d = Diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm);

l = Comprimento do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

O ensaio é simples de ser executado e fornece resultados mais uniformes do que os da tração direta, devido às dificuldades de execução do ensaio de tração direta.

3.4.3 Absorção por Capilaridade

A durabilidade de um concreto está ligada a sua porosidade capilar. A permeabilidade do concreto à água depende principalmente da relação água/cimento que determina o tamanho, volume e continuidade dos espaços capilares, e da dimensão máxima do agregado, que influencia a espessura e as microfissuras na zona de transição entre agregado graúdo e pasta de cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008). É através da estrutura dos poros que os agentes agressivos do meio ambiente penetram e se difundem.

A NBR 9779 (1995) prescreve o modo pelo qual é executado o ensaio para determinação da absorção de água por capilaridade, através da ascensão capilar, de argamassa e concreto endurecido. O cálculo da absorção de água é realizado através da Equação 4:

Equação 4 – Cálculo da absorção.

$$C\ (\%) = \frac{A - B}{S} \times 100$$

Fonte: Adaptado da NBR 9779 (1995).

Onde:

C = Absorção de água por capilaridade, em g/cm²;

A= Massa do corpo-de-prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado, em g;

B = Massa do corpo-de-prova seco, assim que este atingir a temperatura de (23 ± 2)ºC, em g;

S = Área da seção transversal, em cm².

Todos os procedimentos experimentais foram efetuados no LEC - Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ. Tendo em vista que a moldagem e cura de corpos-de-prova para a realização dos ensaios citados, são realizados em cilindros, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Através das realizações dos ensaios de rompimento dos corpos de provas (Figura 14 e 15) dos traços de referência, substituição de 20 % e substituição de 40 %, é possível analisar as resistências à compressão simples adquiridas.

Figura 14 – Rompimento do Corpo-de-Prova.

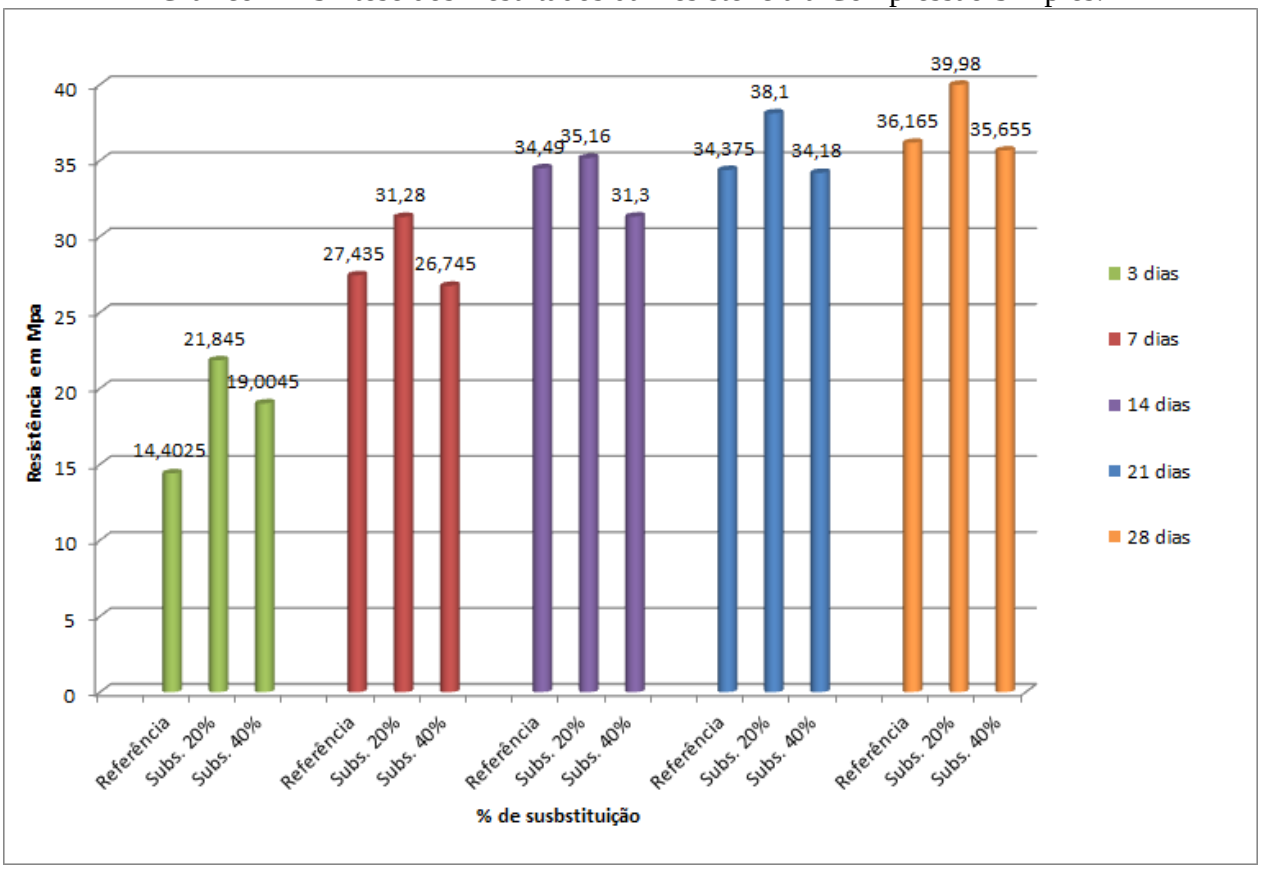
Fonte: Autoria Própria (2015).

Figura 15 - Rompimento do Corpo-de-Prova.

Fonte: Autoria Própria (2015).

Através do Gráfico 1, o qual sintetiza os resultados obtidos em todas as idades analisadas. É possível analisar que os resultados com substituição de 20 % e 40 % são satisfatórios, pois obtiveram resultados superiores que o traço referência. Dando ênfase ao traço de substituição de 20 % que obteve valores de resistência superiores, em todas as idades analisadas.

Gráfico 1 – Síntese dos Resultados da Resistência à Compressão Simples.



Fonte: Autoria Própria (2015).

É fundamental salientar a importância da separação dos materiais reciclados recebido pela indústria recicladora, pois a composição dos mesmos pode interferir nos resultados a serem obtidos.

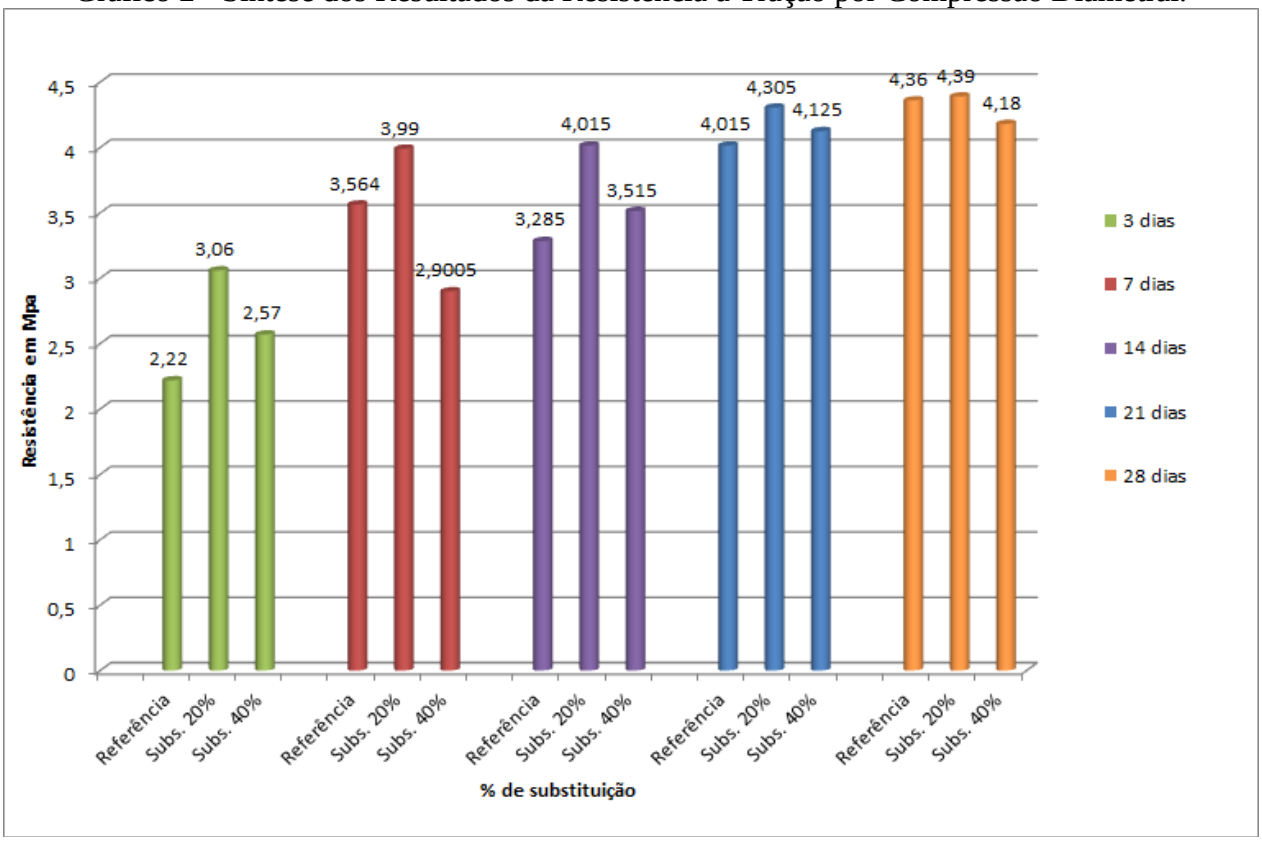
4.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

É possível também analisar a resistência à tração por compressão diametral, através das realizações dos ensaios de rompimento dos corpos de provas (Figura 16) dos traços de referência, substituição de 20 % e substituição de 40 %. O Gráfico 2, realiza uma síntese dos resultados obtidos, o qual facilita o entendimento e interpretação dos resultados.

Figura 16 – Rompimento do Corpo-de-Prova.

Fonte: Autoria Própria (2015).

Gráfico 2 - Síntese dos Resultados da Resistência à Tração por Compressão Diametral.



Fonte: Autoria Própria (2015).

Vislumbra-se que os resultados obtidos por tração por compressão diametral, no gráfico apresentado, é possível analisar que os resultados são satisfatórios, tanto para o traço de substituição de 20 % como o de 40 %, tendo em vista que seus resultados foram bem próximos. Porém, dá-se ênfase novamente ao traço de substituição de 20 % que obteve valores de resistência superiores, em todas as idades analisadas.

4.3 ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

Os ensaios realizados pela absorção por capilaridade (Figura 17) dos corpos-de-prova dos traços de referência, substituição de 20 % e substituição de 40 %, foram analisados a cada 24 horas até atingir 72 horas em contato com a água. É possível analisar o comportamento dos CP através dos dados recolhidos durante os ensaios (Tabela 6).

Figura 17 - Ensaio de Absorção do Corpo-de-Prova.

Fonte: Autoria Própria (2015).

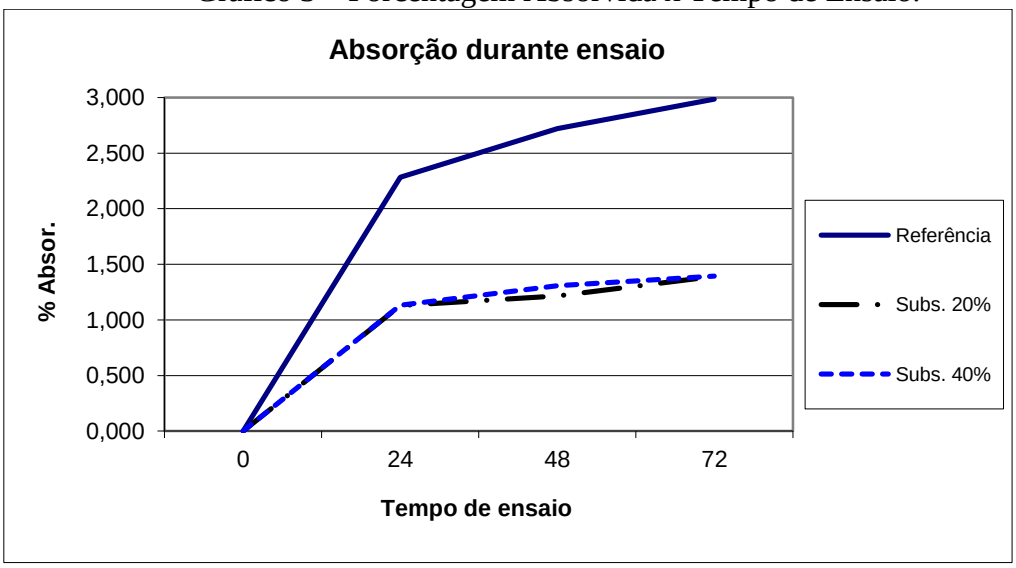
Tabela 6 – Absorção por Capilaridade.

Traço	N° CP	Massa seca (Kg)	Massa sat. (Kg) 24h	Massa sat. (Kg) 48h	Massa sat. (Kg) 72h
Referência	6412	3,79	3,88	3,9	3,91
	6413	3,79	3,87	3,89	3,9
	6414	3,81	3,9	3,91	3,92
	média	**3,797**	**3,883**	**3,900**	**3,910**
	%	**0,000**	**2,283**	**2,722**	**2,985**
Subs. 20%	6441	3,8	3,84	3,84	3,85
	6442	3,87	3,91	3,92	3,92
	6443	3,84	3,89	3,89	3,9
	média	**3,837**	**3,880**	**3,883**	**3,890**
	%	**0,000**	**1,129**	**1,216**	**1,390**
Subs. 40%	6464	3,78	3,82	3,83	3,83
	6465	3,82	3,87	3,87	3,88
	6466	3,87	3,91	3,92	3,92
	média	**3,823**	**3,867**	**3,873**	**3,877**
	%	**0,000**	**1,133**	**1,308**	**1,395**

Fonte: Autoria Própria (2015).

O Gráfico 3, ajuda a analisar, visualmente, melhor o comportamento de cada traço estudado.

Gráfico 3 – Porcentagem Absorvida x Tempo de Ensaio.



Fonte: Autoria Própria (2015).

O gráfico relata que os CP do traço de referência foram os que absorveram maior quantidade de água, já os CP com substituição de 20%, obtiveram a menor absorção de água.

Tem-se conhecimento que quanto maior for absorção de um CP através deste ensaio, indica que seu concreto sofrerá mais com as intemperes do tempo, como a chuva, o que pode ocasionar uma oxidação do aço das armaduras, que compõem as estruturas de uma edificação.

5 CONCLUSÃO

Vislumbra-se que esta pesquisa tem como principal objetivo em avaliar o comportamento de uma nova composição de concreto de cimento Portland, utilizando parcialmente agregados miúdos proveniente dos resíduos da construção e demolição (RCD), em diferentes porcentuais de substituições. Antes da fabricação dos corpos-de-prova foi realizada a caracterização física dos agregados utilizados para a confecção dos mesmos, tais como ensaio de massa específica, massa unitária e composição granulométrica.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho possibilitou-se à obtenção das seguintes conclusões:

- Os concretos com maior teor de agregados reciclados necessitam de maior quantidade de água que os concretos convencionais, para a mesma faixa de trabalhabilidade, isto devido ao material ter maior quantidade de finos;
- A resistência à compressão simples do concreto com substituição de 20 % de agregado miúdo reciclado mostrou-se muito satisfatória, com 39,98 MPa alcançado aos 28 dias, superior a resistência obtida no concreto utilizado como referência e no concreto com substituição de 40 %;
- A resistência à tração por compressão diametral do concreto com substituição de 20 % de agregado miúdo reciclado, também mostrou-se muito satisfatória, com 4,39MPa alcançado aos 28 dias, superior a resistência obtida no concreto utilizado como referência e no concreto com substituição de 40 %;
- Já a absorção por capilaridade do concreto, nos mostra que o concreto referência e o concreto com substituição de 40 %, são os que mais absorveram água. Sendo assim, o concreto com substituição de 20 %, absorveu 1,39 % durante 72 h de ensaio.

Sendo assim, através das análises realizadas e mediante os resultados obtidos, pode-se concluir que a utilização de RCD em concretos, com função estrutural é possível, contudo é necessário ampliar ainda mais os estudos, como um maior aprofundamento sobre o comportamento do resíduo de construção e demolição em concretos.

Vislumbra-se a importância em ressaltar o quão importante é a qualidade do agregado reciclado, pois quanto maior for sua qualidade, melhor serão os resultados obtidos posteriormente. Desta forma, enfatiza-se importância de uma boa separação do material recebida pela indústria recicladora. Tendo em vista que pesquisa foi realizada através de resíduos da construção e demolição, com um ótimo controle de separação do material na hora do seu recebimento e o processo de reciclagem.

O uso de materiais reciclados da construção e demolição, como uma alternativa para uma nova composição de concreto Portland, mesmo sendo com pequenas porcentagens de substituição, como exemplo 20 %, incentiva a novas tecnologias construtivas sustentáveis e até mesmo gerando uma melhoria para a conservação ambiental.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Diferentes tipos de porcentuais;
- Análise micro estrutural destes concretos, para a visualização do possível efeito filler do mesmo;
- Produção e análise e desempenho de argamassas com esse material reciclado;
- Análise com junto do agregado miúdo reciclado com o agregado graúdo reciclado;
- Possível análise da elasticidade do concreto;

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil, série sustentabilidade.** São Paulo. ISBN, 2011. Disponível em: < http://www.blucher.com.br/>. Acesso em 23 mar. 2015.

ALMEIDA, Luiz C. de. **Concreto: Notas de aula da disciplina AU414 - Estruturas IV– Concreto armado.** 24p. Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Civil Departamento de Estruturas, 2002.

ANEPAC. **Agregados.** Disponível em: < http://anepac.org.br/wp/agregados/>. Acesso em: 20 abr. 2015.

ANGULO, Sérgio C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados.** (Tese de Livre Docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

ANGULO, Sérgio C. *et al.* **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados separados por líquidos densos.** Anais da I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. (CD-ROM). São Paulo; 2004.

ANGULO, Sérgio C. *et al.* **Metodologia de caracterização de resíduos de construção e demolição**. In: IBRACON Ct-206 – Meio Ambiente. Anais do VI Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil – Materiais Reciclados e suas Aplicações, 2003. (CD-ROM). São Paulo; 2003.

ANGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento Sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil.** 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland.** São Paulo, ABCP, Boletim Técnico BT-106, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 10.004. **Resíduos sólidos** – classificação. Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

_____. NBR 5732/1991. **Cimento Portland comum**. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 5738/1994. **Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto.** Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 5738/2003. **Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova.** Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 5739/2007. **Concreto – Ensaio de Compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 6118/2007. **Projeto de estruturas de concreto** – Procedimento. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 6474/1984. **Cimento Portland e outros materiais em pó** - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 7211/2005. **Agregados para concreto** - Especificação. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 7211/2009. **Agregados para concreto** - Especificação. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 7217/1987. **Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 7222/1994. **Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 7225/1993. **Materiais de pedra e agregados naturais**. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 7251/1982. **Agregado em estado solto –** Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 9776/1987. **Agregados** – Determinação da massa específica Chapman. Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 9779/1995. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade.** Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 11578/1991. **Cimento Portland Composto.** Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 12655/1996. **Concreto** – Preparo, controle e recebimento**.** Rio de Janeiro, Brasil.

_____. NBR 15116/2004. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural** - Requisitos. Rio de Janeiro, Brasil.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção**. São Paulo, Livros Técnicos e Científicos S.A., 1979, 529p.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 471 p.

BASTOS, Paulo S. dos S. **Fundamentos do Concreto Armado.** 88p. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Bauru, São Pulo, 2011.

BRASIL. 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, DF, 17 jul. 2002.

BRASIL. Conselho nacional do meio ambiente – CONAMA Resíduos da Construção Civil, MMA, Resolução n° 431, Brasília, 2011.

BRASIL. Conselho nacional do meio ambiente – CONAMA Resíduos da Construção Civil, MMA, Resolução n° 448, Brasília, 2012.

BRASIL. Conselho nacional do meio ambiente – CONAMA Resíduos da Construção Civil, MMA, Resolução n° 348, Brasília, 2004.

BOTELHO, Manoel H. C.; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto Armado, eu te amo**. 6. ed. São Paulo, 2010. 507 p.

BUGIM, Alexandre. **Audiência pública apresenta detalhes do plano para extração de areia no Jacuí**. Sindibritas. 07 nov. 2013. Disponível em: <http://sindibritas.com.br/home/?p=122> Acesso em: 17 mar. 2015.

BUTLLER, A. M. **Agregados reciclados na produção de artefatos de concreto.** Revista do Concreto – IBRACON, 2005.

CAVALCANTE, J. R.; CHERIAF, M. **Ensaios de Avaliação para Controle Ambiental de Materiais com Resíduos Incorporados**. Anais do Workshop Sobre Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção, 1996. São Paulo: Epusp/Antac, 1997, p. 31–107.

CIÊNCIA, Globo. **Construção Civil consome até 75% da matéria-prima do planeta:** Mão de obra e novas tecnologias podem reduzir o consumo de materiais. Disponível em: <http://glo.bo/12yaSCY>. Acesso em: 23 abr. 2015.

COSTA, Marlo J. da. **Avaliação do Uso da Areia Artificial em Concreto de Cimento Portland: Aplicabilidade de um Método de Dosagem.** 46p. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí, Ijuí, 2005.

ARAUJO; RODRIGUES; FREITAS. Materiais de Construção - Concreto de Cimento Portland. [S.l]. [20-?].

EVANGELISTA, L.; BRITO, J. **Carbonation and chloride penetration in concrete made with fine recycled concrete aggregates.** Anais SIABE 06/ INCOS 06 – II Simpósio Íbero-Americano sobre “Concreto Estrutural”. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro do Concreto: IBRACON, Setembro 2006. Cd, P. 1-12.

FERREIRA, Gilson, E.; PEREIRA, Luana dos S. **Mercados de Agregados no Brasil.** Cap.1. [S.l], [20-?].

HAGEMANN, Sabrina. E. **Apostila de Materiais de Construção Básicos.** Instituto Federal Sul-Rio-Grandense Universidade Aberta Do Brasil. Programa de Fomento ao uso das Tecnologias de Comunicação e Informação nos Cursos de Graduação – TICS. Ministério da Educação. [S.l], [20-?].

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de cimento Portland.** Cap. 29. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto: IBRACON. 2010.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de Dosagem e controle do Concreto.** Ed. Pini; Brasília, DF: SENAI, 1992.

HELENE, Paulo; TUTIKIAN, Bernardo F. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland.** Concreto: ciência e tecnologia. Ibracon, 2011. Disponível em: <http://www.concretophd.com.br/imgs/files/DosagemCap12Concreto2011.pdf>. Acesso em: 27 de abril 2015.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto: IBRACON, 2007.

LACÔRTE, P. M. R. **Aproveitamento de Resíduos na Construção Civil**. Belo Horizonte, 2013.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Dissertação (Tese de Doutorado). Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

LOVATO, Patrícia S. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto**. 180p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, Paulo. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994. 573 p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, Paulo. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008. 3.ed., 674p.

MMA. **Resíduos sólidos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos> Acesso em: 23 mar. 2015.

MULLER, A. L.: **Closed Loop Of Rubble?** In: VII Seminário Desenvolvimento Sustentável e a reciclagem na construção civil, CT-MAB 206, Ibracon, Sao Paulo, June 30, 2006.

NEGRI, Robison. **Proposta de Metodologia para Ajuste de Dosagem de Concretos Desenvolvidos com a Incorporação de Resíduos Sólidos de Construção Classe A.** 144 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharias de Materiais) -Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Centro de ciências tecnológicas – CCT, Joinvile, 2007. Disponível em: <http://www.tede.udesc.br/tde_busca/processaPesquisa.php?listaDetalhes%5B%5D=495&processar=Processar>. Acesso em: 10 julho 2015.

O CONCRETO como material construtivo: Da origem às novas tecnologias. Disponível em: <https://construcaocivilpet.wordpress.com/2012/11/07/o-concreto-como-material-construtivo-da-origem-as-novas-tecnologias/>. Acessado em: 20 mar. 2015.

OLIVEIRA, Eduardo F. de. **Reutilização dos Resíduos Sólidos de Demolição em Obras Residenciais.** 99p. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, J. C. *et al*. **Evaluation of a flexible pavement executed with recycled aggregates of construction and demolition waste in the municipal district of Goiânia – Goiás.** In: 2005 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PAVEMENT RECYCLING, 2005, São Paulo, Anais eletrônicos do 2005 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PAVEMENT RECYCLING. [CD ROM]. São Paulo, 2005. n.p.

PEDROSO, Fábio L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem.** São Paulo, Instituto Brasileiro de Concreto: IBRACON. 2009.

PRANDINI, Luiz F. *et al*. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 1995. 278p.

PREDOZO, Gilnei D**. Avaliação do uso de agregado miúdo obtido através da Reciclagem De Entulhos em Concreto de Cimento Portland.** 70p. Dissertação (Trabalho de Conclusão de

Curso) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí, Ijuí, 2014.

PETRUCCI, Eladio G. R., **Concreto de cimento Portland.** 13. Ed. Ver. Por Vladimir Antônio Paulon – São Paulo: Globo, 1998.

PINHEIRO, Libânio M. *et al*. **Estruturas de Concreto.** Cap. 2. [S.l], 2010.

PINTO e GONZALEZ. **Volume 1 Manual de orientação:** como implantar um sistema de manejo e gestão dos municípios. Brasília: CAIXA, 2005.

PRISKULINK, Simão. **Aspectos reológicos do cimento fresco e sua dosagem: Métodos ACI e ITERS**. In: COLÓQUIO DE DOSAGEM DE CIMENTO. São Paulo: IBRACON, 1977.

SANTOS, E. C. G. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados em estruturas de solos reforçados.** São Carlos – SP, 2007.

SERNA, Humberto A. de La; REZENDE, Márcio M. **Agregados para a Construção Civil.** [S.l], 2008.

SILVA, Luiz C. T. **Dicas de Construção.** [S.l], 2004**.** Disponível em: <http://www.sitengenharia.com.br/diversosagua.htm> Acesso em: 15 abril 2015.

STOLZ, Carina M. **Viabilidade Econômica de Usinas de Reciclagem de Rcd: Um Estudo de Caso para Ijuí/Rs.** 99p. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí, Ijuí, 2008.

SOUZA, Carla A. de. **Utilização de Resíduo de Concreto como Agregado Miúdo para Argamassa de Concretos Estruturais Convencionais.** 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, 2006.

WERLE, Ana P. **Determinação de Propriedades de Concretos com Agregados Reciclados de Concreto, com Ênfase na Carbonatação.** 162p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) -

Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, Rio Grande do Sul, 2010.

WITKOWSKI, Renato S. **Tabelas**. 2006. SENAI. Disponível em: <www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0CDIQFjAF&url=http%3A%2F%2Fwww.acdeliberato.net%2FSenai%2F_Professores%2FRenato%2FRME%2520II%2FTABELA%25201.doc&ei=F3N2VMHmLqnPsQTywYDoBA&usg=AFQjCNHgzobni2DHl2ZQ7m0vi1rKBoEHiA>. Acesso em: 25 ago. 2015.

ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NATURAL

UNIJUÍ UNIVERSIDADE REGIONAL CAMPUS SANTA ROSA	LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL	Material n°: Certificado n°:

ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADOS MIÚDOS

Material: Agregado Miúdo - Areia Natural

Procedência:

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRCIA - NBR 7217								
Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		%	%	
n°	mm	Peso Retido g	% Retida	Peso Retido g	% Retida	Retida Média	Retida Acumulada	
3/8"	9,5		0,00		0,00	0,00	0,00	
1/4"	6,3		0,00	2,55	0,14	0,07		0,07
4	4,8	2,71	0,16	1,4	0,07	0,12	0,18	
8	2,4	9,82	0,56	10,3	0,55	0,56	0,74	
16	1,2	39,65	2,27	52,91	2,83	2,55	3,29	
30	0,6	210,23	12,06	215,49	11,53	11,79	15,09	
50	0,3	703,21	40,34	840,97	44,98	42,66	57,75	
100	0,15	634,95	36,43	602,32	32,22	34,32	92,07	
fundo	<0,15	142,5	8,18	143,52	7,68	7,93		
Total		1743,07	100,00	1869,46	100,00	100,00	169,13	
Diametro maximo:		1,2 mm ;		n° 16		Módulo de finura: 1,69		

MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA - ASTM - C 128				
		AMOSTRAS		
A	Massa picnômetro vazio - g			
B	Massa picnômetro + areia seca - g			
C	Massa picnômetro + areia + água - g			
D	Massa picnômetro + água - g			
E	Massa areia seca (B - A) - g	0	0	0
F	(D - A) - g	0	0	0
G	(C - B) - g	0	0	0
H	(F - G) - g	0	0	0
MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA E/H - g/cm3		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
MÉDIA		#DIV/0!		

MASSA ESPECÍFICA - Chapman			MASSA UNITÁRIA SOLTA - NBR 7251				
Leitura Final cm3	Leitura Média cm3	M. E. A g/cm3 500/(L-200)	Peso bruto Kg	Peso Líquido	Médio	Massa Unitária Média - Kg/dm3	
			42,42	31,02			
393,00	393,00	2,591	41,98	31,16	31,17	1,56	
393			41,85	31,33			
			TARA: 8,62	Kg	VOLUME:	20	dm3

ANEXO B – CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO RECICLADO

UNIJUÍ UNIVERSIDADE REGIONAL CAMPUS SANTA ROSA	LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL	Material n°: Certificado n°:

ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADOS MIÚDOS

Material: Agregado Miúdo Reciclado - RCD

Procedência: Santa Rosa - RS

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRCIA - NBR 7217								
Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		%	%	
n°	mm	Peso Retido g	% Retida	Peso Retido g	% Retida	Retida Média	Retida Acumulada	
3/8"	9,5		0,00	2,25	0,16	0,08	0,08	
1/4"	6,3	4,02	0,29	3,26	0,24	0,26		0,35
4	4,8	19,1	1,39	23	1,67	1,53	1,87	
8	2,4	252,75	18,35	253,97	18,42	18,39	20,26	
16	1,2	227,55	16,52	220,69	16,00	16,26	36,52	
30	0,6	239,7	17,40	238,65	17,31	17,36	53,88	
50	0,3	339,54	24,65	332,67	24,13	24,39	78,27	
100	0,15	152,8	11,09	157,68	11,44	11,27	89,53	
fundo	<0,15	141,75	10,29	146,74	10,64	10,47		
Total		1377,21	100,00	1378,91	100,00	100,00	280,41	
Diametro maximo:		4,8 mm ;		n° 4		Módulo de finura: 2,80		

MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA - ASTM - C 128				
		AMOSTRAS		
A	Massa picnômetro vazio - g			
B	Massa picnômetro + areia seca - g			
C	Massa picnômetro + areia + água - g			
D	Massa picnômetro + água - g			
E	Massa areia seca (B - A) - g	0	0	0
F	(D - A) - g	0	0	0
G	(C - B) - g	0	0	0
H	(F - G) - g	0	0	0
MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA E/H - g/cm3		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
MÉDIA		#DIV/0!		

MASSA ESPECÍFICA - Chapman			MASSA UNITÁRIA SOLTA - NBR 7251				
Leitura Final cm3	Leitura Média cm3	M. E. A g/cm3 500/(L-200)	Peso bruto Kg	Peso Líquido	Médio	Massa Unitária Média - Kg/dm3	
			35,88	27,26	27,18	1,36	
406,00	405,00	2,439	35,63	27,01			
404			35,9	27,28			
			TARA:	8,62	Kg	VOLUME: 20	dm3

ANEXO C – CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

UNIJUÍ UNIVERSIDADE REGIONAL CAMPUS SANTA ROSA	LEC - LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL	Material n°: Certificado n°:

ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADOS GRAÚDOS

Material: Agregado Graúdo - Brita 01

Procedência:

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRCIA - NBR 7217

Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		%	%	
n°	mm	Peso Retido	%	Peso Retido	%	Retida	Retida	
		g	Retida	g	Retida	Média	Acumulada	
3"	76		0,00		0,00	0,00	0,00	
2 1/2"	64		0,00		0,00	0,00		0,00
2"	50		0,00		0,00	0,00		0,00
1 1/2"	38		0,00		0,00	0,00	0,00	
1 1/4"	32		0,00	0	0,00	0,00		0,00
1"	25		0,00	0	0,00	0,00		0,00
3/4"	19	37	0,68	0	0,00	0,34	0,34	
1/2"	12,5	2872	53,00	2944	53,13	53,06		53,40
3/8"	9,5	1825	33,68	1879	33,91	33,79	87,20	
1/4"	6,3	600	11,07	633	11,42	11,25		98,45
4	4,8	20,68	0,38	23,16	0,42	0,40	98,85	
8	2,4	12,6	0,23	13,88	0,25	0,24	99,09	
16	1,2	7,08	0,13	6,43	0,12	0,12	99,21	
30	0,6	10,18	0,19	5,51	0,10	0,14	99,35	
50	0,3	3,78	0,07	2,7	0,05	0,06	99,41	
100	0,15	4,12	0,08	0,63	0,01	0,04	99,46	
200	0,075	0	0,00	0	0,00	0,00		99,46
fundo	<0,075	26,62	0,49	32,93	0,59	0,54		100,00
Total		5419,06	100,00	5541,24	100,00	100,00	682,91	
Diametro maximo:		**19 mm ;**		**n° 3/4"**	**Módulo de finura:**	**6,83**		

MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA - ASTM - C127

A	Massa seca Est. Bruta	B	Massa seca Est. Liquida	C	Massa Imersa Bruta	D	Massa Imersa Liquida	E	Massa SSS Liquida	F	Volume dm3 E-D	M-E-A dm3 **B/F**
g		g		g		g		g		g		
1503,33		1296,83		1048,71		870,75		1312,83		442,08		2,93
1590,84		1384,34		1107,52		929,56		1401,26		471,70		2,93
Cesto ao ar:		206,5		Cesto imerso:		177,96				**Média:**		**2,93**

ABSORÇÃO ASTM - C 127			MASSA UNITÁRIA SOLTA - NBR 7251				
G	Absorç.	Absorção	Peso bruto	Peso Liquido		Massa Unitária	
g	E-B	(G/B)*100	Kg		Médio	Média - Kg/dm3	
16,00		1,23	41	32,39	32,70	**1,64**	
16,92		1,22	41,58	32,97			
			41,36	32,75			
Média:		**1,23**	TARA:	8,61	Kg	VOLUME:	20 dm3