

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI**

**ALEXSSANDER FERREIRA DE SOUSA
JANINY FERNANDES DE MIRANDA
MARCELO LADEIRA LEONHARDT**

**RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (RCD)
COMO AGREGADO PARA O CONCRETO**

**TEÓFILO OTONI/MG
2017**

**ALEXSSANDER FERREIRA DE SOUSA
JANINY FERNANDES DE MIRANDA
MARCELO LADEIRA LEONHARDT
FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI**

**RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (RCD)
COMO AGREGADO PARA O CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil das Faculdades Unificadas de Teófilo Otoni, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientador(a): Prof. Me. Jouséberon Miguel

TEÓFILO OTONI/MG

2017



FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI

FOLHA DE APROVAÇÃO

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Resíduos da construção civil e demolição (RCD) como agregado para o concreto. Elaborado pelos alunos Alexssander Ferreira de Sousa, Janiny Fernandes de Miranda e Marcelo Ladeira Leonhardt, foi aprovado por todos os membros da banca examinadora e aceito pelo curso de Engenharia Civil das Faculdades Unificadas de Teófilo Otoni como requisito parcial para a obtenção do título de:

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

Teófilo Otoni, 01 de julho, 2017.

Prof.(a) Me. Jouséberon Miguel

Prof. Orientador

Prof.Examinador 1

Prof.Examinador 2

Dedicamos primeiramente a Deus por nos permitir mais essa conquista. E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse sonho, dedicamos também aos nossos pais, irmãos, namorado, esposas, colegas, amigos e familiares.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter nos dado saúde e força para superar as dificuldades. Ao nosso orientador Jouséberson Miguel, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos. Aos nossos pais e familiares, pelo amor, incentivo e apoio incondicionais.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

RESUMO

A construção civil tem causado grande impacto ao meio ambiente por conta do grande volume de resíduos gerados na construção civil ou na demolição e afetando cada vez mais a exploração de recursos naturais. A reciclagem dos resíduos gerado na construção civil e sua transformação em fonte alternativa de matéria-prima tem sido um grande desafio. Este estudo teve como objetivo investigar a influência da adição do RCD na fabricação de concreto, como agregado graúdo, na resistência à compressão. Esta pesquisa foi realizada na cidade de Teófilo Otoni – MG onde foram analisadas as características dos resíduos, avaliando a viabilidade de utilizar RCD como agregado graúdo para o concreto, através de análise laboratorial. Assim o agregado foi utilizado na sua forma graúda com percentuais fixados em 0%, 15%, 30% e 50% de substituição. Conforme os ensaios executados no transcorrer do estudo, foi possível constatar que o uso do resíduo reciclado em substituição parcial do agregado graúdo natural torna-se uma excelente possibilidade de reciclagem. Assim foi possível determinar que a utilização dos resíduos de construção e demolição (RCD) na forma de agregado graúdo para o concreto, em todos os percentuais analisados, não possui influência negativa na resistência à compressão, tornando-se uma alternativa de reciclagem e a possibilidade de uso em concreto estrutural.

Palavras-chaves: Agregado. Concreto. Construção civil. Reciclagem. Resíduos da Construção Civil. Demolição.

ABSTRACT

Civil construction has caused great impact to the environment due to the large volume of waste generated in construction or demolition and increasingly affecting the exploitation of natural resources. The recycling of waste generated in construction and its transformation into an alternative source of raw material has been a major challenge. The purpose of this study was to investigate the influence of the addition of RCD on the concrete production, as a large aggregate, on the compressive strength. This research was carried out in the city of Teófilo Otoni - MG, where the characteristics of the residues were analyzed, evaluating the feasibility of using RCD as a large aggregate for the concrete, through laboratory analysis. Thus the aggregate was used in its bulk form with percentages set at 0%, 15%, 30% and 50% of substitution. According to the tests performed in the course of the study, it was possible to verify that the use of the residue in partial replacement of the natural aggregate becomes an excellent possibility of recycling. Thus, it was possible to determine that the use of construction and demolition residues (RCD) in the form of a bulk aggregate for concrete, in all percentages analyzed, does not have a negative influence on the compressive strength, becoming an alternative of recycling and the possibility Of use in structural concrete.

Keywords: Aggregate, Concrete, Construction, Recycling, Building and demolition waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Resíduos de Construção e Demolição.....	28
Figura 2 - Areia natural.....	34
Figura 3 - Brita natural.....	34
Figura 4 - Microestrutura do concreto	46
Figura 5 - Microestrutura do concreto reciclado	46
Figura 6 - Areia natural para ensaio granulométrico	50
Figura 7 - RCD	53
Figura 8 - Britador	53
Figura 9 – Betoneira.....	60
Figura 10 - Abatimento do tronco de cone	61
Figura 11 - Moldes de corpos de prova.....	62
Figura 12 - Taque de água para cura.....	63
Figura 13 - Máquina retificadora.....	63
Figura 14 - Prensa hidráulica	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica do agregado miúdo natural.....	51
Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado graúdo natural	52
Gráfico 3 - Curva granulométrica do agregado graúdo RCD.....	54
Gráfico 4 - Concreto convencional de referência sem adição de RCD	66
Gráfico 5 - Concreto com adição de 15% de RCD	67
Gráfico 6 - Concreto com adição de 30% de RCD	67
Gráfico 7 - Concreto com adição de 50% de RCD	68
Gráfico 8 - Resultados do ensaio de resistência à compressão.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nomenclatura dos Cimentos Portland 1997	38
Tabela 2 - Caracterização física do agregado miúdo natural	50
Tabela 3 - Caracterização física do agregado graúdo natural.....	51
Tabela 4 - Caracterização física do RCD	54
Tabela 5 - Composição química, resistência e índices físicos do cimento CII E 3255	
Tabela 6 - Característica química e física da água	56
Tabela 7 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto	58
Tabela 8 - Quantidade de água de amassamento do concreto em função do abatimento e da Dimensão máxima característica do agregado.....	58
Tabela 9 - Volume compactado seco (V_c) de agregado graúdo por m^3 de concreto	59
Tabela 10 - Traços do concreto.....	60
Tabela 11 - Valores de abatimentos recomendados em função do tipo de obra.....	61

QUADROS

Quadro 1 - Classe de agressividade ambiental.....	57
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
C – Consumo de cimento
 C_a – Consumo de Água do Concreto
 C_b – Consumo de Agregado Graúdo
CCR – Concreto Compactado com Rolo
 C_m – Consumo de Agregado Miúdo
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CPC – Cimento Portland
CSN – Companhia Siderúrgica Nacional
DMC – Dimensão Máxima Característica
 F_{ck} – Resistência Característica do Concreto à Compressão
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
NM – Níveis de Normalização
MF – Módulo de Finura
Mpa – Mega Pascal
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCD – Resíduos de Construção Civil e Demolição
RCD's – Resíduos de Construções e Demolições
Unesco – Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura
 (V_c) – Volume compactado seco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo geral.....	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	Breve história da construção civil	17
3.2	Impacto ambiental da construção civil	18
3.3	Consumo de recursos naturais na construção civil.....	18
3.4	Legislação e normas ambientais.....	19
3.4.1	A resolução 307 do CONAMA 2002	20
3.5	Classificação e os tipos de resíduos sólidos.....	21
3.6	Perdas e desperdícios de materiais na Construção Civil	22
3.7	Resíduos Sólidos da Construção e Demolição.....	23
3.7.1	A coleta e o transporte dos resíduos de construção e demolição.....	24
3.7.2	Os entraves para reciclagem dos resíduos sólidos da construção e demolição 24	
3.7.3	Processo de reciclagem do RCD.....	25
3.7.4	Agregados reciclados provenientes da RCD	26
3.8	Utilização do agregado de reciclados de construção e demolição.....	27
3.8.1	Utilização do RCD como agregado em concreto	29
3.9	A importância da reciclagem do RCD	30
3.10	Sustentabilidade	31
3.11	Concreto convencional	32
3.12	Agregados	32
3.12.1	Característica dos agregados	34
3.12.2	Agregados alternativos	35

3.13	Aglomerantes	36
3.13.1	Cimento	36
3.13.2	Tipos de Cimento Portland	39
3.13.3	Cal.....	41
3.13.4	Gesso.....	41
3.14	Influência dos agregados reciclados no concreto	42
3.15	Propriedades do concreto com agregado reciclado	43
3.15.1	Módulo de elasticidade	43
3.15.2	Massa específica	43
3.15.3	Porosidade, absorção de água e permeabilidade.....	44
3.15.4	Consistência e trabalhabilidade do concreto com adição de agregados reciclados	45
3.16	Estrutura do concreto com adição de agregados reciclados	45
3.17	Resistência mecânica do concreto produzido com agregados reciclados	47
4	MATERIAIS E MÉTODOS	49
4.1	Caracterização dos materiais	49
4.1.2	Caracterização dos agregados graúdos	51
4.1.3	Caracterização do RCD	52
4.1.4	Cimento Portland.....	55
4.1.5	Água	55
4.2	Obtenção do traço	56
4.2.1	Método de dosagem	56
4.2.2	Etapas para desenvolvimento do traço de acordo com o método	57
4.3	Produção do concreto	60
4.3.1	Moldagem e cura dos corpos de prova.....	62
4.4	Ensaio de resistência à compressão	63
4.5	Classificação da pesquisa quanto aos fins	65

4.6	Classificação da pesquisa quanto aos meios	65
4.7	Tratamentos de Dados	65
4.8	Resultados e discussões	66
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
	REFERÊNCIAS	73
	APÊNDICE A – Resultados dos ensaios de granulometria.....	81
	APÊNDICE B – Resultados dos ensaios de resistência à compressão ...	83
	APÊNDICE C – Gráfico dos ensaios de resistência à compressão.....	85

1 INTRODUÇÃO

A constante geração de grande quantidade de resíduos na construção civil vem crescendo de forma acelerada causando um aumento no setor, sejam em obras para demolições, reparos, reformas, escavação de aterros ou construção nova. Devido a esse fato à adoção de tecnologias para reaproveitamento e reciclagem dos Resíduos de Construções e Demolições (RCD's) vem ganhando espaço, reduzindo os custos e atendendo às legislações, pela nova lei federal da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

O entulho é gerado pela deficiência na construção, como em falhas ou na omissão na elaboração e execução do projeto, na má qualidade dos materiais, má manipulação dos materiais, além da substituição de componentes pela construção ou reforma. No contexto atual a grande demanda dos resíduos da construção e demolição (RCD) vem crescendo de forma acelerada. Devido a essa grande demanda, surge a necessidade de encontrar uma destinação sustentável e correta para o mesmo.

Na maioria dos casos os RCD's não têm a destinação e reutilização correta. Muitas vezes depositados em áreas clandestinas, podendo causar problemas sanitários (enfermidades causadas por vetores e por poluentes químicos), sociais, econômicos (comprometimento do sistema de drenagem, desperdícios de matérias e energias), e ambientais (contaminação do solo e águas subterrâneas).

Com a reutilização e reciclagem de RCD como matéria-prima, traz vários benefícios tanto econômicos como ambientais, minimizam extração de recursos naturais e reduz os níveis de poluição.

Uma das alternativas de reutilização dos RCD's é em forma de agregado para o concreto, que são materiais adicionados à massa de cimento e água para gerar o corpo de forma mais econômico na resistência à compressão. Evitando que esses resíduos sejam descartados de forma incorreta no meio ambiente.

Para minimizar os impactos, surge a necessidade de agir de forma correta e economicamente sustentável. Com isso, o presente estudo visa utilizar o RCD como agregado para o concreto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a influência da adição de resíduos de construção e demolição como agregado na resistência a compressão de concretos, com diferentes percentuais.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar diferentes percentuais de dosagem do resíduo da construção e demolição (RCD) como agregado graúdo no concreto.
- Realizar ensaios de compressão em concretos moldados com diferentes teores de RCD.
- Comparar a resistência dos concretos com idades de 7, 14 e 28 dias.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Breve história da construção civil

Na antiguidade o homem habitava em cavernas que eram encontradas no meio ambiente, era um meio de se proteger das intempéries do tempo e do ataque de predadores. Com o passar do tempo e à medida que a sociedade foi evoluindo e se tornando mais complexas os meios de habitação também se modificaram. Entretanto, a história da construção civil inicia-se no momento em que o ser humano passa a entender que pode construir o seu próprio lar em conformidade com as suas carências, e isso aconteceu no término do período da pré-história, período que também é chamado de idade antiga. O Stonehenge foi a primeira construção que se tem conhecimento a surgir, com 5 metros de altura e pesando aproximadamente 50 toneladas. Essa construção está localizada na Inglaterra, e é considerado patrimônio cultural da Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (Unesco) (FAY, 1997).

No Brasil a construção civil no decorrer dos anos passou por grandes transformações, dando seu grande salto rumo ao crescimento na década de 1940, época na qual tínhamos como Presidente da República Getúlio Vargas, que fez altos investimentos no setor da construção civil e militar, fazendo com que a década de 1940 torna-se o marco da construção civil no país. A partir da década de 50 os investimentos públicos no setor diminuíram, passando a iniciativa privada a ser o maior investidor e também o mais interessado no setor. Em 1970 em pleno Regime Militar, o governo passou a investir mais no setor, e os construtores particulares só podiam construir prédios residenciais e escritórios de pequeno porte (CARDOSO, 2013).

Nos anos 80, a situação inverteu-se novamente, com um retorno maior do capital privado no setor da construção civil, já em 1990 além do retorno do capital privado no setor, as empresas também passaram a preocupar com a qualidade do produto final e com a qualificação da mão de obra dos trabalhadores, antes deixados de lado. No cenário atual o desafio do setor da construção civil é tentar manter o seu nível de crescimento a meio tantas denúncias de corrupção (CARDOSO, 2013).

Mesmo diante de tantas mazelas a construção civil é ainda o setor que mais cresce e gera empregos no Brasil.

3.2 Impacto ambiental da construção civil

É de notório conhecimento que, toda edificação realiza impactos econômicos e sociais. Medidas podem ser providenciadas para evitar ou minorar os impactos gerados pelas construções. Segundo Spadotto *et al.*, (2011) a construção civil é responsável por transformar a região onde se instala a obra, geradas por suas atividades diretas ou indiretas.

Algumas obras da construção civil podem gerar grandes impactos que influenciam o ecossistema podendo alterá-lo, por meio de inundações de grandes áreas, impermeabilização do solo, corte de vegetações, entre outras atividades e em sua fase de construção gera ruídos, resíduos, entre outros poluentes. Os resultados além de ambientais, também podem influenciar o meio social, visual e econômico. Na construção civil há várias leis e diretrizes que visam o controle dos impactos produzidos no meio ambiente por meio de estudos no ecossistema a ser alterado.

No entanto, os impactos não são apenas ambientais, mas também sociais quando da implantação de novas construções. A construção civil é uma das áreas de atividade que mais degrada a sociedade, uma vez que pode alterar a vida das pessoas de uma rua, bairro ou até mesmo de uma grande cidade. De acordo Spadotto *et al.*, (2011) as mudanças podem agregar benefícios ou até mesmo trazer problemas para as pessoas que residem ou transitam por aquele local.

3.3 Consumo de recursos naturais na construção civil

O setor da construção civil, por ser um dos maiores ramos da economia, gera bens de maiores dimensões físicas do planeta, tornando-se o maior consumidor de recursos naturais. Para Oliveira (2007) uma das maiores preocupações que são levantadas é o que será feito no momento que esses recursos naturais se tornarem escassos.

O consumo descabido de recursos naturais tem como consequência o esgotamento de jazidas e também a grande geração de resíduos. Para Valporto, Azevedo (2016) podem ser observados outros impactos ambientais, como emissão de gases poluentes e o consumo de energia, bem como, a contaminação da água por lavagem de matéria prima extraída e por processos industriais

É possível estimar que no Brasil, a construção habitacional consome cerca de uma tonelada por metro quadrado de recursos naturais. De acordo com Souza e Deana (2007) o consumo de recursos pode chegar a 200 mil toneladas por ano. Conforme Lima (2007), a construção de edificações consome cerca de 75% dos recursos extraídos da natureza, sendo que, a maior parte desses recursos não é renovável.

3.4 Legislação e normas ambientais

O Brasil é considerado um dos poucos países a ter aprovado normas específicas para utilização de agregados reciclados. Segundo Neto (2005) estima-se que para cada tonelada de lixo urbano recolhido, são recolhidos duas toneladas de entulho. A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 307/2002, que classifica os RCD's em quatro categorias:

- Classe A: concreto, alvenaria, argamassa, solos;
- Classe B: plástico, papéis, metais, madeiras;
- Classe C: resíduos sem tecnologia ou sem viabilidade econômica para reciclagem;
- Classe D: resíduos perigosos, a serem destinados de acordo com normas técnicas específicas.

A Norma da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) sobre como produzir agregados, possui regulamentadas as seguintes NBR's (Norma Brasileira Regulamentadora):

NBR 15112/04 - Resíduos de construção e resíduos volumosos;

NBR 15113/04 - Resíduo sólido da construção civil e resíduos inertes;

NBR 15114/04 - Resíduos sólidos da construção civil;

NBR 15115/04 - Agregados reciclados e resíduos sólidos da construção civil;

NBR 15116/04 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil.

3.4.1 A resolução 307 do CONAMA 2002

A gestão e manuseio de resíduos da construção e demolição estão disciplinados desde o ano de 2002 pela Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Tem o objetivo de fazer a redução, reutilização, reciclagem e a devida destinação final destes materiais com o intuito de diminuir o impacto ambiental gerado pelos resíduos. A resolução 307/2002 fomentou responsabilidades para os geradores, transportadores, receptores e municípios produtores de resíduos, gerando assim, um ciclo para se tornar executável a legislação.

A resolução indica como implementar o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, de responsabilidade dos municípios norteando como incorporar o Programa Municipal de Resíduos e projetos de gerenciamento dos mesmos. Ficou estabelecido que os municípios deveriam ter seu Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil pronto para execução até o início de 2004. No entanto, são poucos os municípios que efetivamente implantaram a ordenação da resolução CONAMA 307/2002 (WIENS, HAMADA, 2006).

A classificação dos resíduos da construção civil é feita através da resolução CONAMA 307/2002 da seguinte forma:

Resolução CONAMA 307 - Art. 3º: Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

I – Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive, solos provenientes de terraplenagem;
- b) De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

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

II – Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;

III – Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

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 outras como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

3.5 Classificação e os tipos de resíduos sólidos

Os resíduos sólidos são classificados quanto a sua origem, tipo de resíduo, composição química e periculosidade, de acordo com a NBR NM 10.004/2004, descritos abaixo.

- Conforme a sua origem: resíduo hospitalar ou de serviços de saúde, seja qualquer resto oriundos de hospitais e serviços de saúde: pronto-socorro, farmácias, enfermarias entre outros, normalmente composto de seringas, curativos, agulhas e outros tipos de materiais que podem apresentar qualquer tipo de contaminação.
- Resíduo domiciliar: são gerados em residências com diversas composições, sendo influenciado por motivos como renda familiar e localização geográfica. Resíduos sanitários como papel higiênico, restos de alimentos, vidro, plástico, entre outros.
- Resíduo agrícola: são produzidos pelas atividades agropecuárias (criação de animais, cultivos, processamento, etc), são constituídos por embalagens de defensivos agrícolas e os restos orgânicos.
- Resíduo comercial: são aqueles gerados pelo comércio, tendo a maior parte composta por materiais recicláveis como papelão, papel e plásticos.

- Resíduo industrial: são produzidos pelo processo industrial, tendo assim sua composição bem diversificada, é rejeito perigoso. É composto por impurezas da fundição do ferro, lodos, cinzas, plásticos, óleos, papel, entre outros.
- Entulho: derivado da construção civil e reformas, praticamente 100% do resíduo pode ser reaproveitado. Os entulhos são constituídos por restos de demolição (tijolo, reboco, cimento, madeiras, metais, etc), de obras e escavações diversas.
- Resíduo Público ou de Varrição: são aqueles recolhidos de galerias, vias públicas, áreas de festas, e em qualquer local público. Os resíduos públicos são constituídos por galhos e gramas, folhas de árvores, plástico, papel, resto de alimentos, entre outros.
- Resíduos Sólidos Urbanos: são todos os resíduos gerados nas cidades e assim coletados pelo serviço municipal (de varrição, comercial, domiciliar e de entulhos).

3.6 Perdas e desperdícios de materiais na Construção Civil

Os resíduos de construção e demolição são originados em grandes volumes. Em uma obra em andamento, é possível observar uma caçamba na porta, isso se deve a cultura das construções de ter uma caçamba à disposição para recolher os resíduos da construção. O desperdício em obras - os RCD's - habitualmente chamados de entulhos, geram impactos ambientais, deste modo os gestores de obras devem estar atentos ao cumprimento das condicionantes legais dispostas na Resolução nº 307 do CONAMA, bem como, na Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Frequentemente o profissional responsável por determinada obra, encontra dificuldades para entender o projeto, assim acarreta grandes ou pequenos erros de execução. Esses "erros" devem ser corrigidos com alterações no projeto, havendo então perdas e desperdícios de materiais envolvidos, gerando RDC's. O conceito de Shingo (1981) *apud* Formoso, *et al.*, (1996) classifica a perda de materiais da construção civil em perdas por: superprodução, substituição, espera, transporte, no

processamento em si, no estoque e de movimento. O profissional deve ficar atento para identificar essas formas de desperdício.

Para Formoso, *et al.*, (1996) não são todas as perdas que se transformam em resíduos, uma parte fica na obra. Quando a obra é de pequeno porte esse prejuízo não é tão considerável, mas quando este ocorre em obras grandes estes desperdícios, têm um custo elevado no final da obra.

3.7 Resíduos Sólidos da Construção e Demolição

A tarefa de quantificação de geração de Resíduos Sólidos da Construção e Demolição no Brasil é difícil, diferente de outros países, pois uma importante fonte na geração de RCD são os geradores informais, para os quais dados estatísticos são indisponíveis e podem representar uma parcela importante dos RCD gerados em um município (PINTO, 2005). Contudo, grandes cidades como São Paulo, Rio de Janeiro e Salvador possuem estimativas da produção de resíduos. Nestas três capitais, a média de produção de RCD foi de 0,49 kg por habitante/dia, correspondendo a cerca de 31% dos resíduos recolhidos em todo o Brasil (NUNES, 2004).

Segundo Castro (2012), dentre os fatores que influenciam a geração de perdas no ramo da construção civil, que influencia diretamente na produção de RCD, destacam-se: a má execução de projeto, a ineficiência da tecnologia escolhida, a não compatibilização do projeto, a falta de metodologia de serviços e o armazenamento e transporte inadequados de materiais no canteiro de obra. Os materiais que mais sofrem perda são: concreto, aço, argamassa, cerâmica, blocos, madeira e gesso.

O CONAMA publicou a Resolução nº 307 em 05 de julho de 2002 para a gestão dos resíduos da construção civil e para a formação de um Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil pelos municípios. Com isso, o Poder Público tem a responsabilidade de controlar, orientar e fiscalizar a conformidade da execução dos processos de gerenciamento.

Por conseguinte, o responsável por construções tem a responsabilidade de preparar seus projetos de gestão de resíduos que compreenda um Plano de Redução de Resíduos, um plano de Reutilização de Resíduos e um Plano de

Gestão de Resíduos nos canteiros de obras. Deste último dependerá e influenciará diretamente a qualidade do processo de reciclagem dos resíduos de construção (BLUMENSCHHEIN, 2007).

A redução da geração do resíduo da construção civil está ligado diretamente ao processo construtivo como um todo e em todas as suas fases. O quantitativo de perdas pode ser mínimo com a devida integração entre todas as fases da construção, desde o projeto até a execução (CASTRO, 2012).

3.7.1 A coleta e o transporte dos resíduos de construção e demolição

Para Pinto (1999), no Brasil a destinação do entulho não é realizada de forma correta, estes em muitos casos são descarregados em terrenos baldios. As prefeituras em sua maioria não possuem recursos suficientes para propiciar um destino adequado ao RCD. Existem diversas empresas especializadas na coleta de resíduos, utilizam caçambas metálicas que realizam o estoque e o transporte dos resíduos produzidos até o local de disposição final, muitas vezes clandestino, sem autorização e preparação do solo para o recebimento do material que é despejado.

O recolhimento do RCD descartado de forma ilegal representa um custo significativo para sociedade e meio ambiente, segundo Pinto (1999) os valores variam entre US\$ 5,4 / ton e US\$ 14,8 / ton de RCD recolhido por diferentes cidades e com diferentes técnicas de recolhimento. Com o objetivo de solucionar este impasse é preciso projetar e colocar em prática um sistema de coleta efetivo, de fácil acesso a todos, regido pelas prefeituras que possam fomentar campanhas de conscientização, com o objetivo de alcance a sociedade em geral.

3.7.2 Os entraves para reciclagem dos resíduos sólidos da construção e demolição

A reciclagem do RCD demorou a ser feita devido à grande falta de informação que se tem a respeito do mesmo. De acordo com Isaia (2007), as pesquisas em relação à reciclagem do RCD não têm por objetivo o desgaste do tema, mas sim seu debate, e averiguação da possibilidade de reciclagem e reutilização dos resíduos das indústrias ligadas à construção civil.

Segundo Levy (2001), apenas a partir de 1946 houve o desenvolvimento da reciclagem do entulho da construção civil no Brasil. Com este objetivo o autor cita que se fossem cobradas taxas de aterro, o desejo por materiais naturais iria ser reduzido e, conseqüentemente, a procura por materiais reciclados ou reutilizáveis seria maior.

A grande dificuldade da reciclagem de resíduos é a falta de informação sobre o assunto. O resíduo considerado como lixo, pode ser transformado em matéria prima. De acordo Morais (2006), o agravante é que grande parte do entulho produzido nas pequenas reformas e construções imobiliárias, acabam sendo destinadas de forma irregular em terrenos baldios e leitos de rios e lagoas, gerando impacto ambiental e na degradação urbana.

Para Levy (2001), as técnicas para a reciclagem dos resíduos de RCD evoluíram, mas não se pode dizer que a reciclagem tornou-se amplamente efetiva. Pinto (1999), diz que entre os entraves para a reciclagem dos resíduos de construção e demolições estão a falta de conhecimento sobre o volume de resíduos gerados, a real possibilidade de seu reaproveitamento, bem como, o custo para a sociedade e os graves impactos que estes resíduos causam no meio ambiente.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei nº 12305/2010, todas as cidades deveriam ter apresentado seus planos de gerenciamento de resíduos da construção civil, porém, apenas 15% dos municípios já dispõem de políticas específicas para a reciclagem de RCD.

3.7.3 Processo de reciclagem do RCD

Para o processo de reciclagem do RCD, alguns procedimentos devem ser seguidos para que o produto final esteja em condições de serem reutilizados. Segundo Grande (2007) o processo de reciclagem do RCD inicia-se com a coleta e o transporte dos resíduos, feito por caminhões caçambas e transportado até a usina recicladora.

Após a chegada à usina, os resíduos são pré-selecionados e armazenados conforme suas características e destino. Em seguida, os resíduos são submetidos ao processo de triagem manual, momento no qual serão removidos materiais

contaminantes e impurezas, assim como, vidros, plásticos e metais, que também são destinados à reciclagem (GRANDE, 2007).

Ainda segundo o mesmo autor, depois de passar pela triagem manual, com o uso da pá carregadeira, os resíduos são transportados até a primeira etapa do processo de moagem, feito pelo alimentador vibratório, que é a etapa responsável pela separação dos resíduos e por abastecer o britador de mandíbulas. Após a primeira etapa de britagem, os materiais são transportados por uma esteira e acomodados na parte superior do silo, e logo depois, despejado na calha vibratória, abastecendo o moinho de martelos. No moinho, os resíduos são britados novamente, diminuindo ainda mais sua granulometria.

E para finalizar, os resíduos resultantes são transportados por um sistema de esteiras até as peneiras, onde serão classificados, de acordo com sua granulometria, como areia, pedrisco, brita 1, brita 2, brita 3 e pedregulho. Concluída essa etapa, o material reciclado está pronto para o uso, e é encaminhado ao mercado consumidor. Este será comercializado como agregados para produzir artefatos de concretos.

3.7.4 Agregados reciclados provenientes da RCD

De acordo com a resolução nº 307 do CONAMA (2002), agregado reciclado é o material granular que atende as normas técnicas, gerado através do beneficiamento dos resíduos da construção ou demolição, podendo ser aplicado em obras de edificação, infraestrutura, em aterros sanitários e outras obras de engenharia.

Uma solução que ganha força entre os pesquisadores, é a reciclagem de RCD e sua reutilização na própria construção civil como forma de matéria-prima alternativa. Podendo diminuir a exploração de jazidas minerais, para extração de recursos naturais não renováveis (BRASILEIRO, MATOS, 2015).

A resolução do CONAMA (2002) classifica os RCD's como: resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados (de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura).

3.8 Utilização do agregado de reciclados de construção e demolição

As primeiras pesquisas científicas compreendendo o uso de agregados reciclados de RCD no Brasil foram realizadas por Bodi (1997) em pavimentos, Levy (1997) em argamassas e Zordan (1997) em concretos. A Prefeitura de São Paulo, (1991), Londrina, PR (1993), e de Belo Horizonte, MG (1994) foram às primeiras usinas de reciclagem instaladas. Em 1999, foi reconhecido por Pinto (1999) o valor do tema, apontando que o RCD pode corresponder a mais de 50% da massa dos resíduos sólidos municipais.

A reciclagem de RCD no Brasil, comparado a outros países de primeiro mundo, é relativamente tímida, pois possui imenso potencial de extensão. A questão ambiental no Brasil ainda é vista como preservação da natureza (fauna e flora); deposição de materiais em aterros e monitoramento da poluição do ar; falta de cultura para segregação de resíduos; custo baixo dos agregados naturais; dificuldades de novas tecnologias na Construção Civil. Porém, pesquisas são feitas sobre a utilização do agregado reciclado de resíduos da construção civil e demolição na composição de componentes como: concreto, blocos de alvenarias e pavimentação, na realização do concreto compactado com rolo (CCR), o emprego destes, ainda é relativamente pequeno (MIRANDA, ÂNGULO, CARELI, 2009). A Figura 1 ilustra o aspecto visual do RCD com dimensões dentro da faixa granulométrica da brita 01.

Figura 1 - Resíduos de Construção e Demolição



Fonte: autores, (2017)

Os resíduos sólidos têm na indústria da construção civil, o setor de maior potencial de absorção como material reutilizável. Diversos autores em seus estudos apontam várias possibilidades de aplicações dos resíduos de construção e demolição (BRASILEIRO, MATOS, 2015).

De acordo com o autor Brasileiro (2013), existem diversas formas de aplicabilidade do RCD reciclado na construção civil, tais como: em camadas de base e sub-base de pavimentação, em coberturas primárias de vias, na produção de argamassas de assentamento e revestimento, produção de concretos, produção de pré-moldados, em camadas drenantes, e para vários outros fins.

Outros estudos demonstram que a utilização do agregado de concreto para fabricação de novos concretos, apontaram bons resultados econômicos e técnicos (BRASILEIRO, 2013). O agregado proveniente da cerâmica vermelha pode ser utilizado para produzir novos tijolos, bem como, se mostrou também um componente interessante a ser acrescido à produção de argamassa.

3.8.1 Utilização do RCD como agregado em concreto

Accetti e Pinheiro (2000) definem concreto com adição de resíduos, como: “um material composto com a presença de fibras subdivididas arbitrariamente, ou de forma orientada e ordenada”.

Segundo o autor Naaman (1985) *apud* Watanabe (2008), pelo que tudo indica o surgimento do primeiro concreto produzido com adição de resíduos ocorreu em 1874, que parece ser de A. Berard, da Califórnia, com o objetivo de produzir um tipo especial de pedra, ele adicionou sucata de ferro ao concreto.

Desde o início da década de 60, novas técnicas de adição de resíduos ao concreto vêm sendo desenvolvidas, de modo que um enorme volume de resíduos e materiais vem sendo inseridos no mercado, conforme vão surgindo novas aplicações. .

Os Estados Unidos, acompanhado pelo Reino Unido e Japão, foram os primeiros países a realizarem estudos específicos, para as possíveis aplicações e uso comercial dos concretos com adição de resíduos (TEZUKA,1999 *apud* WATANABE, 2008).

O autor Menta de Sá (2016), enfatiza que no Brasil as técnicas de reaproveitamento de resíduos estão em fase inicial e concentra-se nas regiões Sul e Sudeste. Ele atribui esta dificuldade de inserção dessa nova forma de aplicação dos agregados reciclados a uma escassez de estudos científicos nesta área da engenharia civil, o que é justificado pelo baixo grau de disseminação destas novas técnicas em outras regiões do país. O autor realça que a falta de conhecimento técnico sobre essa matéria, desde a sua produção, inclusive no desenvolvimento das potencialidades conferidas à utilização dos concretos reciclados é o que dificulta ou inviabiliza a produção de concreto com adição de resíduos reciclados, tendência ainda tímida no Brasil.

De acordo Watanabe (2008), a produção de concreto com a adição de agregados reciclados no Brasil ainda não é comumente utilizado, mesmo assim, observa-se que a transformação de RCD em materiais reutilizáveis na área da construção civil, é um caminho a ser seguido tanto pela iniciativa privada tanto pelo setor público, na busca por mitigar o volume de resíduos produzidos pela construção civil.

Ainda segundo a autora Watanabe (2008), a possibilidade de fabricar concretos a partir de agregados reciclados (RCD), é com certeza uma alternativa que vem sendo vastamente estudada quanto da sua viabilidade técnica e econômica em substituição ao agregado natural.

3.9 A importância da reciclagem do RCD

Segundo Brasileiro e Matos (2015) a indústria da construção civil é ainda a grande responsável pela maior parte do impacto ambiental, tanto pelo consumo de produtos naturais, quanto pela modificação da paisagem e geração de resíduos. Quando esses resíduos são depositados em áreas inadequadas, podem gerar graves consequências para o meio ambiente.

Uma das alternativas para diminuir esses impactos ambientais é a reciclagem. Cerca de 75% do total de resíduos gerados podem ser reciclados ou reaproveitados de alguma maneira. A utilização destes resíduos como agregado para o concreto tem-se mostrado interessante, pois têm resultados satisfatórios e são importantes para a preservação de recursos naturais não renováveis (ANGULO, ZORDAN, JOHN, 1999).

Dentre os principais objetivos da reciclagem está a manutenção da qualidade do meio ambiente, auferido pela redução do número de áreas de deposição clandestina, tendo como benefício secundário a redução dos gastos da administração pública com a gestão de RCD, aumento da vida útil de aterros e a conservação das fontes de matéria prima, na medida em que são substituídas por material reciclado e a produção de materiais reciclados com baixo custo. Conforme Brasileiro e Matos (2015) a reciclagem auxilia na diminuição da geração de resíduos, reduz a deposição de RCD em locais inadequados, como também, minimiza a extração de matérias primas do meio ambiente.

3.10 Sustentabilidade

O termo sustentabilidade tem sido vastamente utilizado, fazendo alusão às diversas formas de preservação ambiental, com bases em ações não-predatórias, reaproveitando os materiais já existentes, como restos de construções e demolições que podem ser reciclados.

No documento denominado “Nosso Futuro Comum ou Relatório de Brundtland”, realizado na Noruega em 1987, o termo sustentabilidade significa “suprir as necessidades da geração presente sem afetar a habilidade das gerações futuras de suprir as suas”. Neste novo olhar para a questão da sustentabilidade a relação homem/meio-ambiente delinea uma correlação do uso dos recursos naturais num limite mínimo para o bem-estar da sociedade e um limite máximo para a utilização destes, de modo que estes sejam preservados.

Desta forma, pode-se afirmar que um empreendimento é sustentável, quando ele devolve ao meio ambiente todo ou boa parte dos recursos que utilizou e afiança qualidade de vida às populações que nele vivem ou trabalhem nas imediações ou na área afetada pelo projeto/construção. Possibilitando assim, um mínimo de impacto na região atingida durante gerações.

Ser ecologicamente correto não é suficiente. Para uma empresa ou produto serem considerados sustentáveis, os mesmos devem ainda conter atitudes que visem ser socialmente equitativo aceito culturalmente e economicamente viável. Resultando na capacidade deste empreendimento manter-se implantado num determinado ecossistema sem, contudo, impactar drasticamente esse meio.

A sustentabilidade econômica advinda do processo de reciclagem dos RCD's é também um dos inúmeros benefícios, sobre este assunto os autores Angulo, Zordan e John (1999) ratificam que este proporciona a geração de empregos e dota a economia nacional de uma crescente competitividade, bem como, os autores ainda salienta que aos resíduos serem devolvidos à cadeia produtiva das usinas de reciclagem ligadas às empresas de construção civil, [...] “permite gerar valor a partir de um produto que antes constituía despesas”.

3.11 Concreto convencional

O concreto convencional constitui-se de um composto homogêneo de cimento, areia, brita e água. Geralmente não são utilizados aditivos na sua produção. A resistência do concreto vai depender do traço e para qual finalidade foi preparado, e pode variar de 10 a 40 MPa (Mega Pascal), bem como, essa variação dependerá da destinação e propósitos da obra, tais como: fundação, estrutura, pisos e calçamentos. É o concreto mais usado nas obras. É preparado e usado em moldes, geralmente feitos de madeira (formas) ou aplicado diretamente no solo no caso de fundações, através do uso de carrinhos manuais, podendo também ser usinado (feito por uma concreteira), ou feito na própria obra com o auxílio de uma betoneira.

A quantidade de seus ingredientes (dosagem ou traço) devem estar de acordo com as condições recomendadas de resistência mecânica, durabilidade e trabalhabilidade, que são propriedades imprescindíveis para a qualidade do concreto. Normalmente a resistência mecânica, fornece informações gerais de sua qualidade, por estar diretamente ligada à microestrutura da pasta de cimento enrijecida (RIBEIRO, PINTO, STARLING, 2006).

Embora o concreto convencional seja considerado um concreto simples de ser produzido e de fácil trabalhabilidade, jamais se deve negligenciar um estudo prévio sobre sua composição, para assim determinar o uso mais econômico, obedecendo rigorosamente às normas da ABNT, para sua elaboração, execução e gerência tecnológica da estrutura.

3.12 Agregados

De acordo com Neville (2013) estima-se que $\frac{3}{4}$ do volume de concreto são preenchidos pelos agregados, sendo assim, a qualidade dos agregados é imprescindível para preservar as propriedades do concreto. Os agregados não só influenciam de forma negativa na resistência do concreto, como também na durabilidade e no desempenho estrutural do mesmo.

Por muito tempo os agregados eram vistos como um material inerte, de baixo custo, que se mantinha em contato com a argamassa de cimento, de forma a proporcionar um grande volume de concreto. Só que na prática, eles não são efetivamente inertes, pois suas propriedades tanto físicas, térmicas e por vezes químicas, influenciam significativamente na performance do concreto (NEVILLE, 2013).

Ainda segundo Neville (2013) economicamente é rentável produzir concretos com um maior percentual de agregados e com a menor quantidade de cimento possível, contanto que, a relação custo/benefício satisfaça as propriedades requeridas do concreto, tanto no estado fresco como no endurecido.

Os agregados naturais se originam através dos processos de intemperismo e abrasão ou pela britagem de enormes blocos de rocha-mãe. Dessa forma, as propriedades dos agregados estão diretamente relacionadas com as propriedades da rocha-mãe. Porém, existem outras propriedades que não estão ligadas a rocha-mãe, como por exemplo, forma, dimensões granulométricas das partículas, textura externa e absorção. Todas essas propriedades citadas anteriormente possuem influência significativa na qualidade do concreto fresco e enrijecido (NEVILLE, 2013).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 7211/2009, fixou as propriedades e características que determinam os agregados que serão utilizados na construção civil. Em termos gerais, os agregados têm como funções: a confecção de concretos, argamassas, base de pavimentação, gabiões, melhoramentos de solos e construção de ferrovias, entre outras funções, bem como, conferem maior resistência à abrasão e reduzem a retração quando comparado aos aglomerantes. Os agregados são divididos em agregados graúdos e miúdos.

Ainda Conforme a NBR 7211/2009 os agregados miúdos são aqueles cujos grãos atravessam a peneira de 4,8mm, e ficam retidos na peneira de 0,075 mm. A exemplo tem-se a areia natural, ilustrada na Figura 2, e a areia de britagem.

Figura 2 - Areia natural



Fonte: autores, (2017)

Já o agregado graúdo são os grãos que ficam retidos na peneira 4,8 mm e passam na peneira de malha 152 mm. O agregado graúdo pode ser a pedra britada, ilustrada na Figura 3, o cascalho, a areia brita ou areia artificial, o filer, o bicar-corrida, o rachão, o restolho etc.

Figura 3 - Brita natural



Fonte: autores, (2017)

3.12.1 Característica dos agregados

O agregado corresponde 65% a 85% em volume do concreto, sendo assim, é apontado como responsável direto pela massa unitária, módulo de elasticidade e segurança dimensional do concreto.

A massa específica do agregado graúdo influi diretamente na massa específica do concreto, sendo também diretamente proporcional à resistência do concreto, isto é, quando maior a porosidade (índice de vazios) do agregado, menor será sua resistência tornando-se o elo fraco da mistura (WATANABE, 2008).

Os agregados influenciam no concreto ainda através das características granulométricas, de textura e formato dos agregados, pois, a textura influencia na capacidade de “ancoragem” da pasta de cimento na superfície do agregado, superfície lisa piora e a rugosa facilita a aderência. Já a granulometria influencia na trabalhabilidade do concreto, pois, grãos de dimensões similares dificultam a rolagem dos agregados entre si.

Para agregados com grande diâmetro característico ou de forma lamelar ocorre a formação de um filme de água junto às paredes do agregado (exsudação interna), enfraquecendo sua ligação com a pasta; por outro lado, agregados de diâmetros menores aumentam a superfície de contato entre o agregado e a pasta de cimento elevando a resistência do concreto. Para concretos de massa específica normal (2400 a 2500 kg/m³) com resistência de até 50 MPa aos 28 dias, o agregado pouco influi na resistência final sendo mais resistente que os demais componentes da mistura (KAEFER *apud* WATANABE, 2008).

Nos agregados graúdos reciclados o padrão de qualidade do resíduo de concreto, é imprescindível para determinar as propriedades mecânicas do novo concreto a ser produzido. A argamassa que fica em contato com o material reciclado pode ser considerado o elo mais fraco da mistura, em casos em que sua resistência for menor que a resistência da nova zona de transição; isso se deve à sua maior absorção de água (WATANABE, 2008).

Para Menta de Sá (2016), a maior parcela do volume de concreto é preenchida pelos agregados, por isso, é importante considerar que suas características físicas e químicas, irão afetar consideravelmente as propriedades do concreto.

O concreto desde os primeiros momentos após a mistura dos elementos constituintes, cimento, areia, água e brita, iniciam-se reações químicas, principalmente entre a água e o cimento, com grande liberação de energia (MENTA DE SÁ, 2016).

3.12.2 Agregados alternativos

Diante da escassez das reservas minerais, leis ambientais cada vez mais severas, o alto custo do material devido à elevação do valor do transporte para regiões, onde não há agregados convencionais e considerados como adequados

para fabricação de concretos, mostra-se a necessidade da utilização dos agregados alternativos.

O uso de agregados alternativos na construção civil tem como principal função, oferecer estabilidade dimensional aos elementos do concreto ou reduzir os investimentos gastos com material na construção (EVANGELISTA, 2004).

Segundo Trigo (2012) em diversos casos, os agregados alternativos que venha a serem utilizados apontam algum tipo de falha, seja ela física ou mineralógica, que paralelo à falta de informações e conhecimento a respeito destes materiais, dificulta seu uso e aplicação.

Existem vários tipos de agregados alternativos utilizados na construção civil, por exemplo: Resíduos de Calçados, Isopor, Argila Expandida, Argila Calcinada, Louça Sanitária, Resíduos de Raspa de Pneus, mas os mais comumente encontrados no mercado são os agregados provenientes da Construção Civil, que depois de passar por todo processo de beneficiamento (reciclagem) eles se tornam reutilizável, como é o caso da areia, do pedrisco e da brita.

3.13 Aglomerantes

Para Bueno (2000) aglomerantes pode ser definido como um material ativo, normalmente pulverulento, que auxilia na junção entre os grãos dos agregados, e são utilizados na fabricação de concretos e argamassas. Existem atualmente no mercado vários tipos de aglomerantes, mas, os mais utilizados na construção civil são: o cimento, a cal e o gesso.

3.13.1 Cimento

É um produto pulverulento (pó), com tonalidade acinzentada, resultante do processo de calcificação de rochas calcáreas carbonatadas, contendo um percentual de argila que varia entre 20 a 40%. O cimento se diferencia da cal, por possuir um maior teor de argila e por ter uma pega mais rápida, o que conseqüentemente, propicia uma maior resistência mecânica. Observação: pega é um acontecimento

físico-químico, pelo qual ocorre a solidificação da massa de cimento. Mesmo com o término da pega, a massa de cimento continua seu processo de endurecimento ao longo do tempo, aumentando progressivamente sua resistência (BUENO, 2000).

O cimento é um produto já consolidado na indústria da construção civil, sendo o material de construção mais utilizado no mundo. A ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) classifica os diferentes tipos de cimentos, conforme ilustrado na Tabela 1, segundo os seguintes critérios:

- Tipo de cimento
- Composição química;
- Resistência à compressão axial, sendo 25, 32 ou 40 MPa.

Tabela 1 - Nomenclatura dos Cimentos Portland 1997

Nome técnico		Sigla	Classe	Identificação do tipo e classe
Cimento portland comum (NBR 5732)	Cimento portland comum	CP I	25 32 40	CP I-25 CP I-32 CP I-40
	Cimento portland comum com adição	CP I-S	25 32 40	CP I-S-25 CP I-S-32 CP I-S-40
Cimento portland composto (NBR 11578)	Cimento portland composto com escória	CP II-E	25 32 40	CP II-E-25 CP II-E-32 CP II-E-40
	Cimento portland composto com pozolana	CP II-Z	25 32 40	CP II-Z-25 CP II-Z-32 CP II-Z-40
	Cimento portland composto com filer	CP II-F	25 32 40	CP II-F-25 CP II-F-32 CP II-F-40
Cimento portland de alto-forno (NBR 5735)		CP III	25 32 40	CP III-25 CP III-32 CP III-40
Cimento portland pozolânico (NBR 5736)		CP V	25 32	CP V-25 CP V-32
Cimento portland de alta resistência inicial (NBR 5733)		CP V-ARI	-	CP V-ARI
Cimento portland resistente aos sulfatos (NBR 5737)		-	25 32 40	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo RS. Exemplo: CP I-32RS, CP II-F-32RS, CP III-40RS ETC.
Cimento portland de baixo calor de hidratação (NBR 13116)		-	25 32 40	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo BC. Exemplo: CP I-32BC, CP II-F-32BC, CP III-40BC ETC.
Cimento portland branco (NBR 12989)	Cimento portland branco estrutural	CPB	25 32 40	CPB-25 CPB-32 CPB-40
	Cimento portland branco não estrutural	CPB	-	CPB
Cimento para poços petrolíferos (NBR 9831)		CPP	G	CPP –classe G

Fonte: Guia básico de utilização do Cimento Portland

3.13.2 Tipos de Cimento Portland

O cimento é a principal matéria prima da construção civil. No Brasil são comercializados 11 tipos diferentes de cimento. São classificados de acordo com suas características, propriedades, destinação e aplicações. Abaixo está descrito os 11 tipos de cimento encontrados no mercado nacional conforme a ABCP (2002).

- CP I – Cimento Portland comum

É considerado o mais simples entre os tipos de cimento encontrados no mercado. Contém somente o gesso como aditivo, que age como retardante da pega. Utilizado em locais onde não são requeridas características especiais do cimento. Sua produção é voltada para a indústria, tem um custo elevado e baixa resistência.

- CP I-S – Cimento Portland comum com adição

Possui composição semelhante ao CP I, porém, contém uma pequena porção de material pozolânico, possibilitando ao material baixa permeabilidade.

- CP II-E – Cimento Portland com adição de escória de alto-forno

A classe de cimento CP II são materiais compostos por conter outro material. Isso proporciona ao cimento um baixo calor de hidratação, fazendo com que o mesmo libere menos calor quando em contato com a água.

O CP II-E possui composição intermediária em relação ao Cimento Portland comum e o Cimento Portland com acréscimo de outras substâncias. Possui em sua composição, escória granulada de alto-forno, o seu uso é indicado para estruturas com um menor desprendimento de calor.

- CP II-Z – Cimento Portland com adição de material pozolânico

O CP II-Z possui em sua composição o pozolana, que concede ao cimento baixa permeabilidade. Este tipo de cimento é aconselhado o seu uso em obras subterrâneas e locais com presença de água.

- CP II-F – Cimento Portland com adição de material carbonático – fíler

Contém em sua composição 6% a 10% de material carbonático. São empregados em concreto simples, armado, protendido, pré-moldados, pisos e pavimentos de concreto, etc. Seu uso não é recomendado em lugares muito agressivos.

- CP III – Cimento Portland de alto-forno

Possui em sua composição um maior percentual de escória de alto-forno, podendo chegar até 70% em massa. Garantindo ao cimento alta impermeabilidade e durabilidade, menor calor de hidratação, elevada resistência à expansão e a ação de sulfatos. É indicado para usos gerais quanto em grandes estruturas com alto grau de agressividade, como em barragens, afluentes de indústrias, entre outros.

- CP IV – Cimento Portland pozolânico

Contém em sua composição um percentual de 15% e 50% de material pozolânico. O alto percentual de pozolana concede ao cimento alta impermeabilidade e durabilidade. Dessa forma, garante maior estabilidade em ambientes submetidos à ação de ácido, principalmente ambientes que sofrem a ação do sulfato.

- CP V- ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial

O CP V não contém adições de outras substâncias em sua composição. Ele se diferencia pelo processo de dosagem e produção do clínquer, material existente em todo tipo de cimento. O clínquer utilizado nesse tipo de cimento contém frações diferenciadas de calcário e argila. Por possuir uma alta reatividade, já nas primeiras horas alcança resistências maiores que os cimentos convencionais. Seu uso é indicado para produção de concreto.

- CP-RS – Cimento Portland resistente a sulfatos

É o tipo de cimento utilizado de acordo com exigências específicas. São comumente utilizados em ambientes que sofrem com a ação dos sulfatos, como em redes de esgoto, ambientes industriais e em construções em contato com água que contém a presença de sal.

- CP-BC – Cimento Portland de baixo calor de hidratação

É o cimento que tem por objetivo retardar o desprendimento de calor em grandes estruturas, evitando o surgimento de fissuras de origem térmica.

- CP-B - Cimento Portland branco

O CP-B possui uma cor diferenciada dos outros tipos de cimento, possuindo a tonalidade branca. Sua coloração branca se dá pela utilização de matérias primas com baixo teor de manganês e ferro, além de caulim na substituição da argila. Seu uso é recomendado como cimento estrutural ou não estrutural em rejuntas de cerâmicas.

3.13.3 Cal

É um tipo de aglomerante que é produzido com a calcificação, em altas temperaturas das pedras calcárias. Na construção civil são utilizados dois tipos de cal: a cal hidratada e a cal hidráulica

Também conhecida como cal comum, a cal hidratada para a realização da pega necessita da presença de ar, diferentemente da cal hidráulica que exige a presença de água. É utilizada na produção de argamassas com a presença ou não de cimento, e usada em rejuntos ou em revestimentos (BUENO, 2000).

A cal hidráulica possui um percentual de argila maior que a cal hidratada. O seu endurecimento se dá pela ação da água, sem a presença de ar. É muito pouco utilizada em obras rurais, sendo empregada apenas em casos específicos como em alicerce, vedação de trincas e infiltrações (BUENO, 2000).

3.13.4 Gesso

Material oriundo da gipsita (sulfato de cálcio hidratado e calcinado). É um produto em forma de pó, de tonalidade branca com granulometria bastante fina. Quando homogeneizado na água inicia a pega, e endurece dentro de 20 a 40 minutos. Muito utilizado para fabricar argamassa fina empregada em revestimentos

de forros e em ornamentos. Só é recomendado seu uso em ambiente interno, pois absorve de forma muito lenta a umidade do ar (BUENO, 2000).

3.14 Influência dos agregados reciclados no concreto

Para Metha e Monteiro (1994) as principais propriedades dos agregados que possuem influencia direta nas propriedades do concreto, são a porosidade, a massa específica, a forma e textura, a resistência, o módulo de elasticidade, a absorção de água e a quantidade de impurezas. Estas propriedades influenciam na dosagem e no comportamento do concreto fresco e enrijecido. Já no agregado reciclado a influência dessas propriedades depende do material que deu origem, do modelo de britador empregado e da retirada de seus contaminantes.

Apesar de, as diversas propriedades dos agregados poderem ser estudadas individualmente, é muito difícil estabelecer um parâmetro de qualidade de algum agregado. Portanto, o desempenho no concreto deve ser utilizado como parâmetro para definir a qualidade do agregado reciclado (CARRIJO, 2005).

A variação da composição química e mineralógica dos agregados graúdos reciclados (RCD) é muito baixa. A grande diferença que existe entre a porção de argamassa e concreto contida nos agregados graúdos reciclados (RCD), está na absorção de água e massa específica aparente da massa de concreto enrijecida, ou seja, são apenas diferenças físicas. Segundo Carrijo (2005), é possível afirmar que a massa específica aparente dos agregados graúdos reciclados é estabelecida pela porosidade.

Diversas propriedades do concreto como, resistência à compressão, módulo de elasticidade, absorção, entre outras, são influenciadas pela porosidade e absorção dos agregados. A porosidade influencia a massa específica aparente dos agregados e, como consequência, também o volume de concreto para uma dada massa de agregado (DE LARRARD, 1999 *apud* CARRIJO, 2005).

3.15 Propriedades do concreto com agregado reciclado

3.15.1 Módulo de elasticidade

Quando o percentual de substituição do agregado natural pelo reciclado for inferior a 20%, neste caso, não ocorrem alterações consideráveis no módulo de elasticidade. No entanto, quando o percentual de substituição chega a 100%, ocorrem quedas de 20% a 40% no módulo de elasticidade, e quanto mais resistente for o concreto maior será essa diferença (ALEJOS *et al.*, 2004 *apud* CARRIJO, 2005).

O módulo de elasticidade do concreto está intrinsecamente relacionado à massa específica, à fração volumétrica, ao módulo de elasticidade do agregado e da pasta de cimento e às características da zona de transição. Já o módulo de elasticidade do agregado está relacionado ao seu diâmetro máximo, à sua forma, textura, granulometria, composição mineralógica e principalmente à sua porosidade. Assim a utilização dos agregados mais porosos no concreto contribui para a redução do módulo de elasticidade deste (MEHTA; MONTEIRO, 1994 *apud* CARRIJO, 2005).

De acordo com Hansen (1992) *apud* Carrijo (2005) normalmente os concretos reciclados possui uma queda entre 15% a 40% do módulo de elasticidade comparados aos concretos convencionais.

3.15.2 Massa específica

Nos concretos produzidos com agregados reciclados de concreto, ocorre uma redução em sua massa específica quando há um aumento no percentual de agregado reciclado em substituição ao agregado natural, essa redução é de 7% e 5,7%, respectivamente, com substituição de 100% do agregado natural pelo reciclado (POON *et al.* 2002 *apud* MENTA DE SÁ, 2016).

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 os concretos estruturais devem ter massa específica entre 1200 kg/m³ e 2800 kg/m³, exceto para os concretos leves fabricados com material expandido que podem apresentar massa específica menor que 1200 kg/m³, mas com a condição de atender os

limites mínimos estabelecidos para sua aplicação (ISAIA 2005 *apud* MENTA DE SÁ, 2016).

Embora os concretos fabricados com agregados reciclados apresentem uma massa específica menor que o concreto convencional, o seu uso é recomendado em casos onde o peso próprio da estrutura é um problema, além disso, pode ainda diminuir as seções da estrutura, possibilitando uma economia financeira significativa (CABRAL *et al*, 2007).

Segundo Neville (1997) *apud* Watanabe (2008) os concretos estruturais leves apresentam valores de massa específica no estado enrijecido entre 1300 kg/m³ e 1900 kg/m³, com resistência mínima de 17 MPa, como é o caso dos concretos de argila expandida. No caso dos concretos estruturais, com peso normal, os mesmos possuem valores de massa específica entre 2300 kg/m³ e 2500 kg/m³. Entre os valores de 1900 kg/m³ e 2300 kg/m³, estão os concretos estruturais com adição de RCD, com resistência mínima de 15 MPa (MACHADO JR, AGNESINI, BALLISTA, 1999).

3.15.3 Porosidade, absorção de água e permeabilidade

Os concretos fabricados com agregados reciclados de concreto possuem uma elevada porosidade, sendo considerado um fator negativo, pois aumenta a absorção de água podendo ocasionar o processo de lixiviação (SANI *et al.*, 2005 *apud* MENTA DE SÁ, 2016).

[...] para concretos produzidos com agregados reciclados de concreto, há m aumento dessa porosidade quando se aumenta o percentual de substituição do agregado natural pelo reciclado, haja vista que, gradativamente vai se aumentando o teor de pasta no concreto e conseqüentemente se promove o aumento de poros (CABRAL *et al*, 2007).

Segundo Watanabe (2008) a durabilidade das estruturas de concreto está diretamente relacionado à sua permeabilidade, que é a capacidade de absorção de água do concreto enrijecido.

Em pesquisas realizadas com concretos fabricado com agregados reciclados, com fator água/cimento entre 0,5 a 0,7 e abatimento de 21cm, resultou em um grau

de permeabilidade de 2 a 5 vezes maiores que os concretos de referência (KASAI (s/d) *apud* HANSEN, 1986 *apud* WATANABE, 2008).

3.15.4 Consistência e trabalhabilidade do concreto com adição de agregados reciclados

De acordo com, Metha e Monteiro (2008) trabalhabilidade pode ser definido, como a especificidade do concreto que estabelece a força necessária para o manejo de certo volume de concreto fresco, sem perda significativa ou com o mínimo de perda em sua homogeneidade. Neste conceito a palavra manejo, caracteriza a operacionalização de lançamento e o adensamento do concreto.

As pesquisas já existentes e averiguadas são uníssonas em assegurar que os concretos produzidos a partir de agregados reciclados demonstram consistência mais seca do que concretos convencionais produzidos com o mesmo fator água/cimento. O autor abaixo indicado alega que esta tendência é justificada pela “maior porosidade do agregado reciclado em relação ao agregado natural, que termina por elevar a absorção de água” (LEVY, 1997).

O fato dos agregados reciclados geralmente apresentarem camadas de argamassa aderida à sua superfície e de apresentarem parcelas de materiais cerâmicos faz com que seja absorvida maior quantidade de água de amassamento pelos agregados durante a mistura, conduzindo a maior perda de trabalhabilidade em relação aos concretos de agregados naturais (WATANABE, 2008).

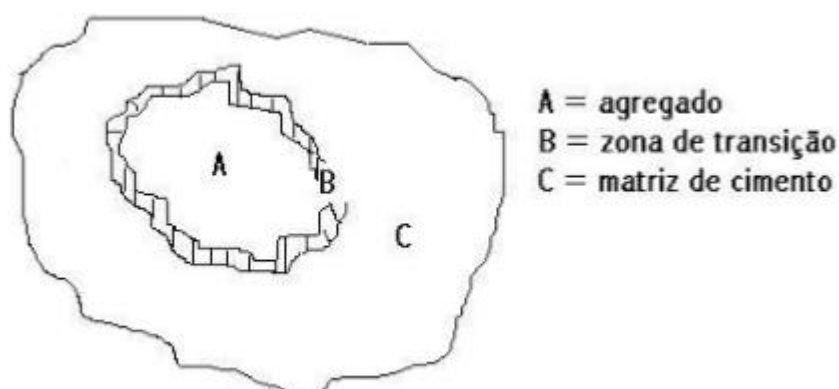
Alguns autores utilizam esse aumento da absorção de água dos agregados reciclados, para justificar o processo de “cura interna”, onde afirmam que a água absorvida no momento da mistura, irá auxiliar na hidratação do cimento envolta do agregado, assim ampliando a resistência do concreto nesta zona de ligação.

3.16 Estrutura do concreto com adição de agregados reciclados

De acordo Watanabe (2008), pode ser constatado dois componentes principais na macroestrutura do concreto produzido com agregados naturais, que são: a massa do cimento enrijecido e as partículas de agregado. Contudo, a autora

ênfatiza que analisando a estrutura do concreto com o auxílio do microscópio, nota-se a presença de outra fase que está em contato com o agregado, que é a chamada zona de transição, como mostra a Figura 4. Essa zona de transição possui características diferentes do restante da massa, e por se normalmente mais fraca, exerce uma grande influência nas propriedades do material.

Figura 4 - Microestrutura do concreto



Fonte: (BUTTLER, 2003)

Em relação à microestrutura do concreto com adição de agregados reciclados, demonstrada na Figura 5, percebe-se que as propriedades do material, são diretamente influenciadas pelas características da pasta do concreto em contato com o agregado reciclado e pela nova pasta do concreto em contato com o agregado alternativo (WATANABE, 2008).

Figura 5 - Microestrutura do concreto reciclado



Fonte: BUTTLER (2003)

Para Menta de Sá (2016), o que torna o agregado reciclado diferente do agregado natural é o volume de pasta de concreto aderida tanto na superfície do agregado quanto em seus poros. A pasta de concreto presente no agregado possui grande influência em propriedades importantes do concreto, como o percentual de absorção, a massa específica, o módulo de elasticidade, resistência mecânica e a durabilidade dos concretos fabricados com agregados reciclados.

JUAN e GUTIÉRREZ (2004) *apud* MENTA DE SÁ (2016) concluíram em seus estudos que a quantidade de argamassa aderida ao agregado natural, possui influência negativa nas características dos agregados reciclados. Os autores ressaltam ainda, que quanto mais argamassa aderida ao agregado menor será sua densidade, e por consequência terá uma maior absorção de água. Para os autores a quantidade de argamassa aderida ao agregado natural ideal, seria de no máximo 44%.

3.17 Resistência mecânica do concreto produzido com agregados reciclados

Segundo Menta de Sá (2016) a resistência à compressão do concreto é o atributo que melhor o identifica, por causa de sua sensibilidade e eficiência em mostrar com exatidão as alterações das propriedades de um concreto.

A resistência à compressão axial dos concretos tem sido tradicionalmente utilizada ao longo do tempo como um parâmetro principal de dosagem e controle de qualidade dos concretos. No estado endurecido é de relevada importância embora outras características bem mais importantes como durabilidade e permeabilidade são fundamentais para se prever a vida útil de uma estrutura (MENTA DE SÁ, 2016).

Existem diversos fatores que podem interferir na resistência a compressão do concreto, como a heterogeneidade dos elementos constituintes, transporte, adensamento e cura do concreto.

[...] a correspondência entre a resistência potencial do concreto à compressão, obtida através dos procedimentos de ensaio e controle e a resistência real ou efetiva do concreto na estrutura devem ser asseguradas através do controle tecnológico dos serviços envolvidos e é independente dos ensaios realizados (MENTA DE SÁ, 2016).

Em suas pesquisas Nixon (s/d) *apud* Hansen (1986) *apud* Watanabe (2008), concluiu que existe uma pequena queda da resistência à compressão de concretos fabricados com agregados reciclados, quando contrapostos com os concretos fabricados com agregados convencionais. O mesmo ressalta que essa queda pode chegar a 20%, mas geralmente esse percentual é bem menor.

Latterza (1998) *apud* Watanabe (2008) apresentou em seu estudo, percentuais que variaram entre 15 a 20% na resistência à compressão de concretos com adição de agregados reciclados, quando contrapostos aos concretos de referência.

Conforme Khaloo (1994) *apud* Watanabe (2008) concretos fabricados com agregados reciclados que possuem pequeno consumo de cimento, podem proporcionar maior resistência à compressão. Este fato se inverte se aumentar o consumo de cimento.

Os autores Leite (2001) e Cabral *et al* (2007) afirmam que o fator predominante, que possui influência direta na resistência a compressão do concreto fabricado com agregado reciclado, é a relação água/cimento. Segundo os mesmos autores uma forma de minimizar a perda da resistência é forçar uma redução na relação água/cimento dos concretos produzidos com agregados reciclados, resultando com isso no aumento do consumo de cimento.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo procurou-se avaliar as propriedades técnicas dos concretos com adição de agregado graúdo, oriundo dos resíduos de construção e demolição (RCD), além de fazer uma análise comparativa entre os concretos convencionais e os concretos com adição de RCD obtidos nesse estudo que são:

- Concreto convencional de referência de 30Mpa com 0% de agregado graúdo RCD.
- Concreto com adição de 15% de RCD, como material graúdo.
- Concreto com adição de 30% de RCD, como material graúdo.
- Concreto com adição de 50% de RCD, como material graúdo.

A viabilidade técnica de utilização do RCD no concreto será analisada por meio de suas propriedades mecânicas (resistência à compressão axial).

Os resultados alcançados nos ensaios citados serão contrapostos com a finalidade de verificar a resistência do concreto com adição de RCD e a possibilidade de sua utilização na indústria da construção civil.

4.1 Caracterização dos materiais

4.1.1 Caracterização do agregado miúdo

A areia natural utilizada nesse estudo é oriunda do comércio local, extraída da região de Teófilo Otoni/MG. Os parâmetros granulométricos e do DMC máximo dos agregados miúdos é muito importante, pois possui influência direta nas propriedades do concreto no estado fresco e enrijecido, e também é utilizada no processo de dosagem dos concretos.

Na Figura 6 abaixo mostra o processo de determinação da composição granulométrica.

Figura 6 - Areia natural para ensaio granulométrico



Fonte: (Autores, 2017)

Foram utilizadas 4 amostras de agregado miúdo natural (areia grossa), lavada e com umidade zero. A caracterização do agregado miúdo natural seguiu as normas da ABNT, onde foram avaliadas as características físicas do produto, como está demonstrado na Tabela 2.

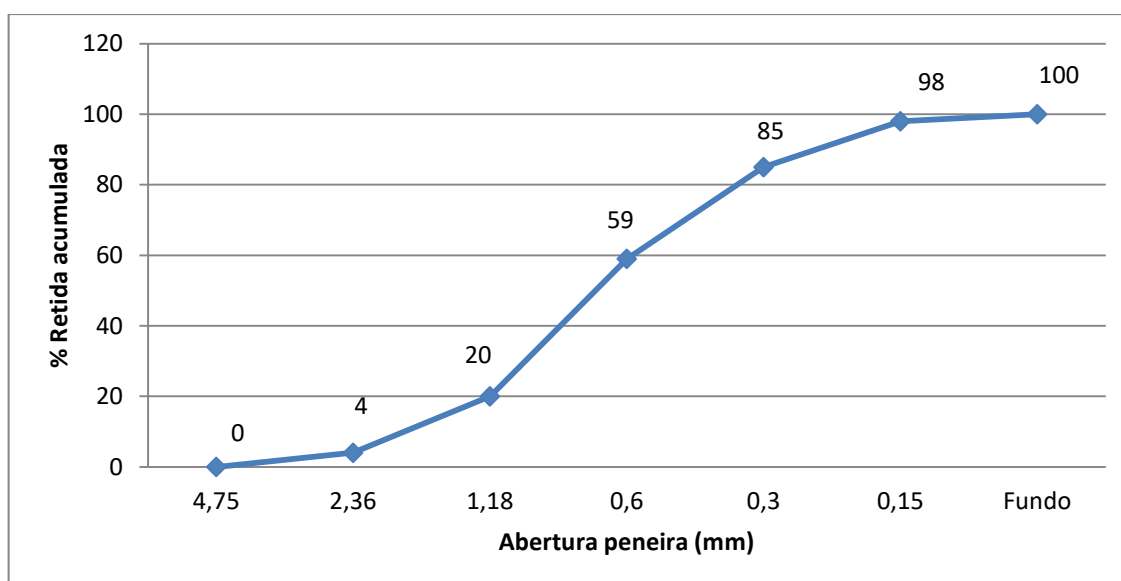
Tabela 2 - Caracterização física do agregado miúdo natural

Massa unitária (NBR NM 45:2006)	1,4 g/cm ³
Massa específica (NBR NM 52:2009)	2,569 g/cm ³
Massa específica aparente do agregado seco (NBR NM 52:2009)	2,518 g/cm ³
Massa específica do agregado saturado superfície seca (NBR NM 52:2009)	2,538 g/cm ³
Absorção de água (NBR NM 30:2001)	0,81%
Módulo de Finura (NBR NM 248:2003)	2,66
Dimensão Máxima (NBR NM 248:2003)	2,36mm

Fonte: (Autores, 2017)

No Gráfico 1 é possível observar a curva granulométrica do agregado miúdo natural das amostras.

Gráfico 1- Curva granulométrica do agregado miúdo natural



Fonte: (Autores, 2017)

4.1.2 Caracterização dos agregados graúdos

A caracterização dos agregados graúdos naturais, seguiu as normas da ABNT, onde foram avaliadas as características físicas do produto, como pode ser observado na Tabela 3.

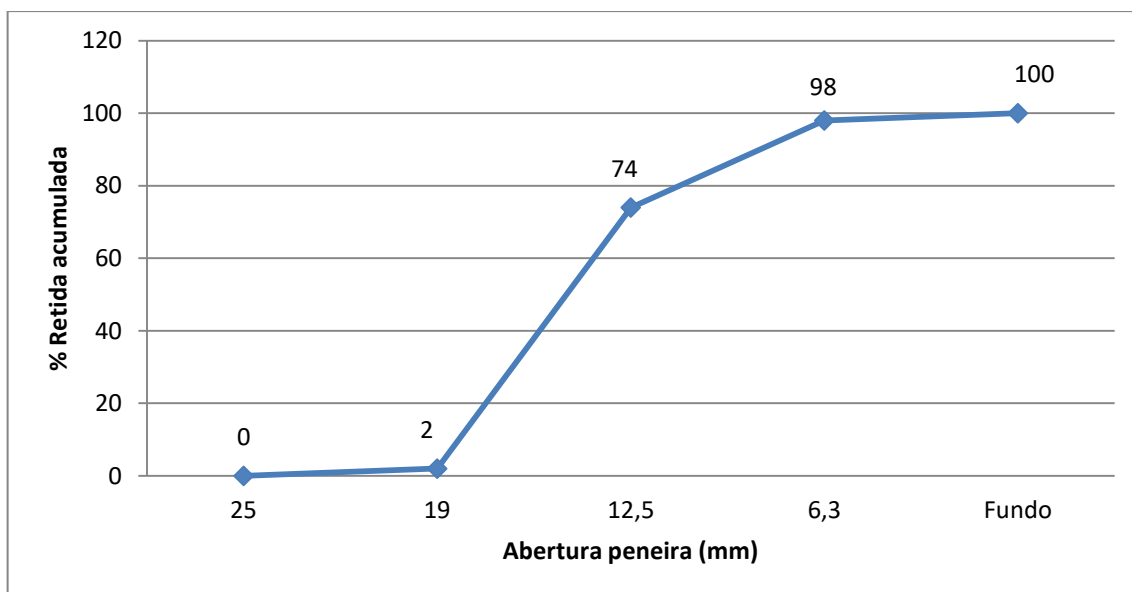
Tabela 3 - Caracterização física do agregado graúdo natural

Massa unitária (NBR NM 45:2006)	1,5 g/cm ³
Massa específica do agregado seco (NBR NM 53:2009)	2,582 g/cm ³
Massa específica aparente (NBR NM 53:2009)	2,610 g/cm ³
Absorção de água (NBR NM 53:2009)	0,43%
Dimensão Máxima (NBR NM 248:2003)	19mm

Fonte: (Autores, 2017)

No Gráfico 2 é possível observar a curva granulométrica do agregado graúdo natural das amostras.

Gráfico 2 - Curva granulométrica do agregado graúdo natural



Fonte: (Autores, 2017)

4.1.3 Caracterização do RCD

Foram coletados uma porção razoável de RCD, proveniente da parte estrutural de uma laje, no Aterro Sanitário Municipal, localizado na cidade de Teófilo Otoni/MG e transportado para empresa Pedreira Mattar localizada na zona rural de Teófilo Otoni/MG, onde foi realizado o processo de redução das dimensões dos grãos. Na Figura 7 pode ser observado o RCD retirado do aterro.

Figura 7 - RCD



Fonte: (Autores, 2017)

Para o procedimento de britagem fez-se necessário à retirada de todas as impurezas e parte de ferragens. Após a britagem, foram obtidas frações granulométricas da amostra segregadas como agregado miúdo, brita 0, brita 1 e brita 2, assim sendo acondicionados em recipientes estanques e protegidos da ação do intempéries. O RCD foi utilizado nesse estudo foi o classificado como brita 1, substituindo parcialmente o agregado graúdo natural, na Figura 8 é possível observar o britador utilizado no beneficiamento do RCD.

Figura 8 - Britador



Fonte: (Autores, 2017)

A caracterização do RCD seguiu as normas da ABNT, onde foram seguidos os procedimentos de caracterização necessários para obtenção do traço de dosagem experimental. As normas utilizadas bem como os valores encontrados estão apresentados na Tabela 4.

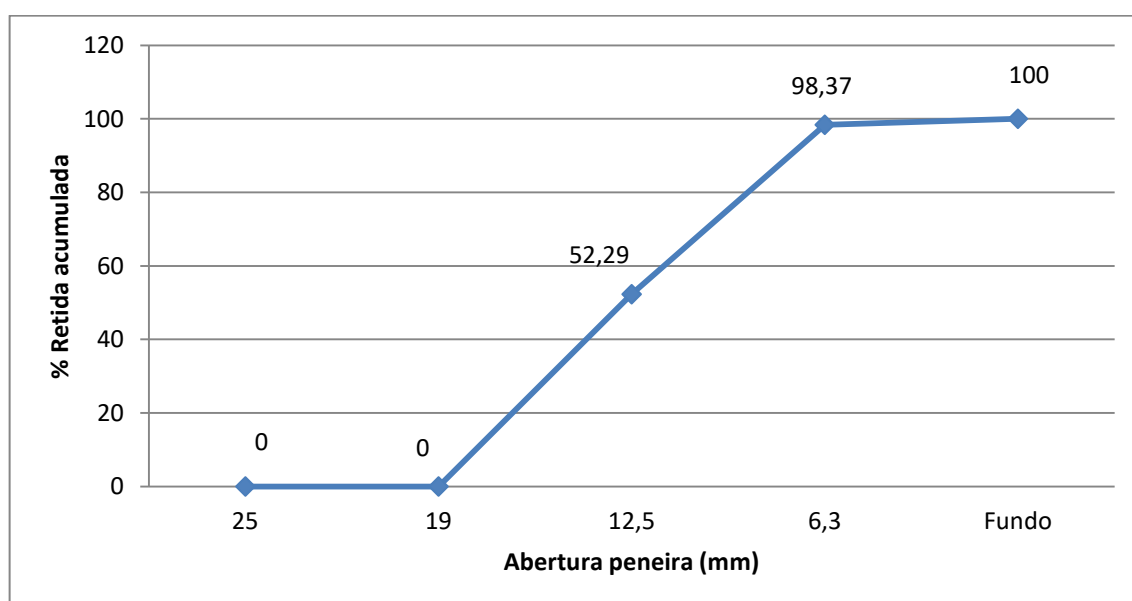
Tabela 4 - Caracterização física do RCD

Massa unitária (NBR NM 45:2006)	1,2 g/cm ³
Massa específica do agregado seco (NBR NM 53:2009)	2,212 g/cm ³
Massa específica aparente (NBR NM 53:2009)	2,510 g/cm ³
Absorção de água (NBR NM 53:2009)	5,37%
Dimensão Máxima (NBR NM 248:2003)	12,5mm

Fonte: (Autores, 2017)

A partir dos dados obtidos no ensaio de determinação da composição granulométrica, a curva granulométrica representada pelo Gráfico 3 pode ser calculada.

Gráfico 3 - Curva granulométrica do agregado graúdo RCD



Fonte: (Autores, 2017)

4.1.4 Cimento Portland

Foi utilizado Cimento Portland CII - E – 32 (composto com escória de alto-forno), fabricado pela CSN (COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL). As propriedades químicas, físicas e mecânicas do cimento utilizado estão de acordo com a ABNT NBR NM 11578: 1991.

Com o propósito de caracterizar o produto utilizado nesse experimento são apresentados abaixo na Tabela 5 os resultados da composição física e química do produto, disponibilizado pelo fabricante.

Tabela 5 - Composição química, resistência e índices físicos do cimento CII E 32

- Características Físicas e Composição			
Proporção em massa para composição do CII-32			
Tipo de cimento	Clinker e gesso	Escória granulada de alto-forno	Material carbonático
CP II E	56 – 94%	06 – 34%	0 – 10%

Na tabela abaixo se pode avaliar as características e propriedades físicas do cimento CII-E-32 quanto ao início e fim de pega, expansibilidade e quente e a frio, e resistência à compressão com 3, 7 e 28 dias de idade:

Principais características físicas do cimento CP II

Tipo de cimento	Classe	Finura Resíduo na Peneira 75µm	Tempo de Pega		Expansibilidade		Resistência à compressão			
			Início (horas)	Fim (horas)	À frio (mm)	À quente (mm)	3 dias (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)	91 dias (MPa)
CP II	E-32	≤ 12,0	≥ 1	≤ 10	≤ 5	≤ 5	≥ 10	≥ 20	≥ 32	-

Fonte: (CSN, 2017)

4.1.5 Água

Para a confecção e imersão dos corpos-de-prova de concreto foi utilizada água fornecida pela Companhia de Saneamento de Minas Geras (COPASA), responsável pelo abastecimento de água da cidade de Teófilo Otoni/MG. A Tabela 6 apresenta a características físicas da água, disponibilizado pela COPASA.

Tabela 6 - Característica química e física da água

Dados referentes ao período: 04/2017							
Parâmetro	Unidade	Números de amostras				Valor Médio	Limites
		Mínimo	Analisadas	Fora Padrão	Que atende		
Cloro	mg/L Cl	109	134	4	130	0,94	0,2 a 2
Coliformes Totais	NMP/100mL	109	110	0	110	100,00%	Obs.
Cor	UH	28	30	0	30	4,97	15
Escherichia coli	NMP/100mL	109	110	0	110	-	Obs.
Fluoreto	mg/L F	0	30	0	30	0,69	0,6 a 0,85
Turbidez	uT	109	110	0	110	0,76	5
pH	-	0	30	0	30	7,08	6 a 9,5

Fonte: (COPASA, 2017)

4.2 Obtenção do traço

4.2.1 Método de dosagem

Foi adotado o traço de acordo com o método de dosagem experimental da ABCP/ACI, pois ainda não existe nenhum método específico para dosagem para concretos com agregados reciclados.

O método ABCP/ACI foi publicado em 1984 pela Associação Brasileira de Cimento Portland, denominado de “Parâmetro de Dosagem do Concreto” e tem como autor o Engenheiro Públio Penna Firme Rodrigues, texto revisado em 1995. Esse método é baseado na Norma ACI 211.1-81, revisado em 1985 – (Standart Practice for Selecting Proportion for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete - 1985), que é um ajustamento do método americano, de acordo com as normas brasileiras, permitindo que os agregados graúdo e miúdo se enquadrem na NBR NM 7211/2009.

4.2.2 Etapas para desenvolvimento do traço de acordo com o método

1º etapa: Determinação da relação água/cimento

A determinação da relação água/cimento deve seguir os critérios de durabilidade e resistência mecânica. A escolha do fator água/cimento do estudo foi em função da resistência mecânica é definida com base na Curva de Abrams do cimento. Cimento utilizado CII - E – 32, com resistência de 30MPa em 28 dias, levando em consideração o desvio padrão de 4.

Já o critério de durabilidade, leva em consideração a agressividade do ambiente. Foi utilizada nesse experimento a classe de agressividade ambiental II (CAA II), com agressividade moderada para o meio urbano, com pequeno risco de deterioração conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Classe de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Riso de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ¹⁾²⁾	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ¹⁾²⁾	
IV	Muito forte	Industrial ¹⁾³⁾	Elevado
		Respingo de maré	
<p>Notas:</p> <p>1) Pode-se admitir um micro-clima com classe de agressividade um nível mais brando para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura.</p> <p>2) Pode-se admitir uma classe de agressividade um nível mais branda em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas em ambientes predominantemente secos ou regiões onde chove raramente.</p> <p>3) Ambiente quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em industrias de celulose, armazéns de fertilizantes, industrias químicas.</p>			

Fonte: (NBR 6118/2014)

Com a classe de agressividade já definida (CAA II, meio urbano), e com base nos dados da Tabela 7 abaixo, a estrutura de concreto armado projetada para concreto de densidade normal deve ter uma resistência a compressão (f_{ck}) de no mínimo 25MPa, empregando a relação água/cimento máxima de 0,60.

Tabela 7 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (quadro 2)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

Notas:

- 1) O concreto empregado na execução de estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
- 2) CA corresponde a componentes e elementos estruturais do concreto armado.
- 3) CP corresponde a componentes e elementos estruturais do concreto protendido.

Fonte: (NBR 6118/2014)

2º etapa: Determinação do Consumo de Água do Concreto (C_a)

A determinação do consumo de água dar-se através da dimensão máxima característica e da trabalhabilidade desejada do concreto no estado fresco. De posse destes valores utiliza-se a Tabela 8 onde o consumo é obtido de forma direta.

Tabela 8 - Quantidade de água de amassamento do concreto em função do abatimento e da Dimensão máxima característica do agregado

Abatimento (mm)	Dimensão máxima característica do agregado graúdo Dmc (mm)				
	9,5	19	25	32	38
40 a 60	220 kg/m ³	195 kg/m ³	190 kg/m ³	185 kg/m ³	180 kg/m ³
60 a 80	225 kg/m ³	200 kg/m ³	195 kg/m ³	190 kg/m ³	185 kg/m ³
80 a 100	230 kg/m ³	205 kg/m ³	200 kg/m ³	195 kg/m ³	190 kg/m ³

Fonte: (RODRIGUES, 1990)

3º etapa: Determinação do Consumo de Cimento (C)

A determinação do consumo de cimento foi calculada de acordo com a relação água/cimento e consumo de água.

4º etapa: Determinação do consumo de agregado graúdo (C_b)

O consumo de agregado graúdo é obtido em função do MF do agregado miúdo e DMC do agregado graúdo através da Tabela 9.

Tabela 9 - Volume compactado seco (V_c) de agregado graúdo por m^3 de concreto

MF AREIA	D_{max} (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/ACI,1994)

5º etapa: Determinação do consumo de agregado miúdo (C_m)

Como o método baseia-se na determinação do consumo de materiais para confecção de $1m^3$ de concreto, ao se determinar o volume dos demais constituintes, subtrai-se de $1m^3$ os volumes anteriormente determinados e obtém-se o volume de agregado miúdo.

6º etapa: Determinação do Traço do concreto

Com todos os dados acima em mãos foram feitos os cálculos e determinado os traços do concreto, como ilustrados na Tabela 10, sendo respectivamente: (cimento, areia, brita, água) e (cimento, areia, brita, RCD, água).

Tabela 10 - Traços do concreto

Mistura	Teor de adição %	Traço (kg) CP II – 32– E
1º	Convencional 0% RCD	1: 1,64: 2,64: 0,51
2º	15% RCD	1: 1,64: 2,21: 0,28: 0,51
3º	30% RCD	1: 1,64: 1,86: 0,64: 0,51
4º	50% RCD	1: 1,64: 1,36: 1,07: 0,51

Fonte: (Autores, 2017)

4.3 Produção do concreto

Na confecção do concreto, foi utilizada a betoneira elétrica para homogeneizar a mistura, conforme ilustrada na Figura 9. A produção iniciou-se com a pesagem de todos os materiais utilizados na mistura (cimento, areia, brita, RCD, água), e em seguida foi realizada a ambientação da betoneira, processo necessário para não haver perda de material. Com a betoneira já ambientada e em funcionamento, todo material foi sendo adicionado gradualmente dentro da mesma.

Figura 9 – Betoneira



Fonte: (Autores, 2017)

A consistência desejada fica condicionada conforme ao tipo de estrutura a ser concretada. A NBR 6118:2014 apresenta na Tabela 11 os valores de abatimentos recomendados de acordo com o tipo de construção.

Tabela 11 - Valores de abatimentos recomendados em função do tipo de obra

Valores de abatimentos recomendados em função do tipo de obra	Abatimento (mm)	
	Máximo	Mínimo
Paredes de fundações e sapatas armadas	75	25
Sapatas planas, caixões e paredes de infraestruturas	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifícios	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Construções de concreto massa	50	25

Obs.: Quando o método de adensamento não for vibratório, os valores de abatimentos, apresentados na tabela, podem ser incrementados em 25mm.

Fonte: (NBR 6118/2014)

Para esse experimento o abatimento do tronco de cone adotado foi de 100mm, pois, este estudo considera a utilização de concreto com adição de RCD em vigas e pilares.

Após a completa homogeneização na betoneira, foi dado início ao ensaio de abatimento do tronco de cone, ilustrado na Figura 10, com intuito de garantir o abatimento previamente estabelecido, para tal adotou-se o procedimento conforme a NBR NM 67/1998.

Figura 10 - Abatimento do tronco de cone



Fonte: (Autores, 2017)

Para esse experimento o abatimento do tronco de cone adotado foi de 100mm.

Ressalta-se que de acordo com o primeiro resultado encontrado no ensaio de abatimento do tronco de cone, foi necessário fazer a correção da quantidade de água.

4.3.1 Moldagem e cura dos corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova seguiu a NBR NM 5738/2003. Os corpos de prova utilizados no estudo foram produzidos com moldes cilíndricos com dimensões de 10 cm x 20 cm, como pode ser visto na Figura 11, em virtude do DMC dos agregados graúdos.

Figura 11 - Moldes de corpos de prova



Fonte: (Autores, 2017)

Após 24 horas da confecção dos corpos de prova, os mesmos foram desmoldados e identificados, e em seguida colocados submersos em um tanque de água para cura, como ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Taque de água para cura



Fonte: (Autores, 2017)

4.4 Ensaio de resistência à compressão

A resistência à compressão é a principal propriedade do concreto avaliada no trabalho. O ensaio normalizado pela NBR 5739/2007, antes de iniciar os ensaios de compressão foi necessário realizar o capeamento dos corpos de prova, que é o nivelamento ou regularização das faces, feitos com maquinário apropriado como pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 - Máquina retificadora



Fonte: (Autores, 2017)

Esse capeamento é necessário para que no momento do ensaio de compressão a força seja aplicada em toda área da face.

Para a realização deste ensaio foi utilizada uma prensa hidráulica Figura 14 que possui um acionamento elétrico, com capacidade máxima de 200 toneladas. O processamento e controle de dados são obtidos através do programa computacional.

Figura 14 - Prensa hidráulica



Fonte: (Autores, 2017)

Os ensaios de compressão foram realizados pela empresa Pedreira Mattar. Foram enviados para o ensaio 5 corpos de prova de cada tempo de cura de 7, 14 e 28 dias com os percentuais de 0%, 15%, 30% e 50% de adição de RCD e corpo de prova de concreto convencional.

Ao todo foram enviados 60 corpos de prova. Os corpos de prova foram devidamente colocados na prensa e submetidos à pressão. Seguindo os procedimentos determinados pela NBR 5739/2007 de modo a ser realizada a limpeza das faces de cada corpo de prova e dos pratos da prensa.

Sequencialmente, o corpo de prova foi cuidadosamente centralizado no prato inferior. Então foi iniciado o processo de ruptura, onde o carregamento foi aplicado continuamente e sem choques até a ocorrência da queda da força e ruptura do mesmo. Portanto, esse processo foi seguido durante toda a realização dos ensaios, com todos os corpos de prova.

4.5 Classificação da pesquisa quanto aos fins

Esta proposta de pesquisa tem natureza experimental, pois consiste “em submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objeto” (GIL, 2008), e também comparativa, onde serão investigados os “fenômenos ou fatos, com vistas a ressaltar as diferenças e as similaridades entre eles” (GIL, 2008).

4.6 Classificação da pesquisa quanto aos meios

O delineamento da investigação se dará através do estudo da viabilidade técnica do concreto com adição de RCD, tendo como fontes: livros e periódicos científicos que versem sobre o tema, bem como, análises laboratoriais correspondentes à resistência mecânica, com efeito prático e confiável do uso de RCD em sua efetiva transformação para sua utilização na fabricação de concretos.

4.7 Tratamentos de Dados

Os dados foram coletados e analisados a partir dos resultados alcançados por meio de testes laboratoriais e pesquisas bibliográficas. Para obtenção de maior clareza e confiabilidade aos resultados desta pesquisa foram utilizados recursos matemáticos como gráficos e tabelas com informações imprescindíveis para a

compreensão de seus resultados. As fases deste estudo estão detalhados nos subitens abaixo.

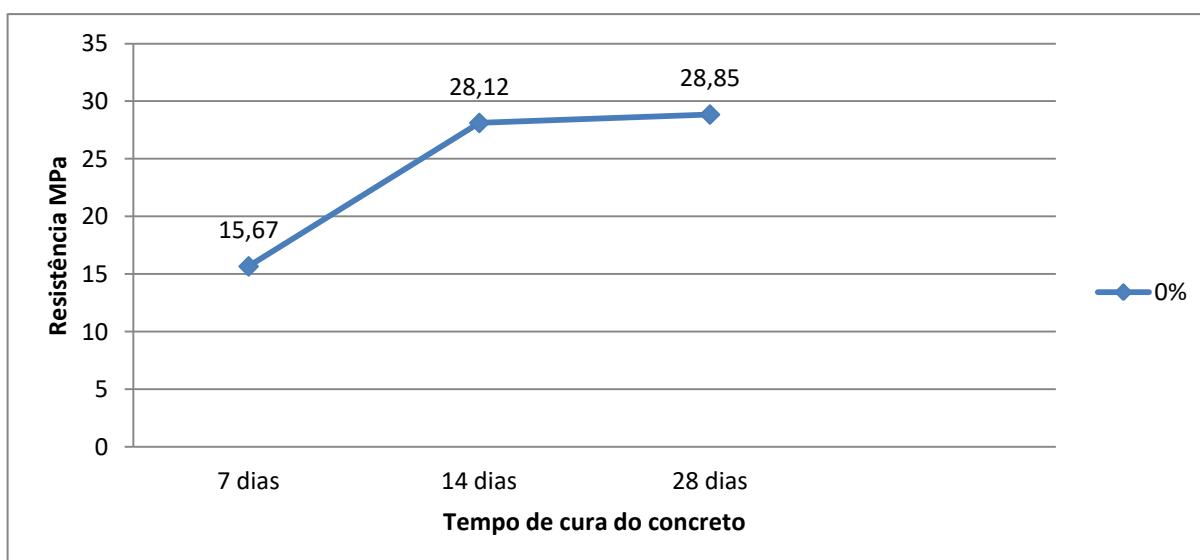
4.8 Resultados e discussões

O presente trabalho teve como principal propósito analisar a viabilidade técnica do concreto com adição de RCD, em substituição parcial ao agregado graúdo natural na fabricação de concreto estrutural.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado em todos os corpos de provas produzidos, em seus respectivos tempo de cura e para melhor compreensão dos resultados foram elaborados gráficos com as médias aritméticas de todos os percentuais de substituição, e um gráfico com todas as médias em conjunto para uma melhor análise.

No Gráfico 4 estão ilustradas as médias dos resultados encontrados no ensaio de resistência à compressão do concreto, com substituição de 0% de RCD, do concreto convencional de referência, sendo possível observar a resistência máxima de 28,85 Mpa.

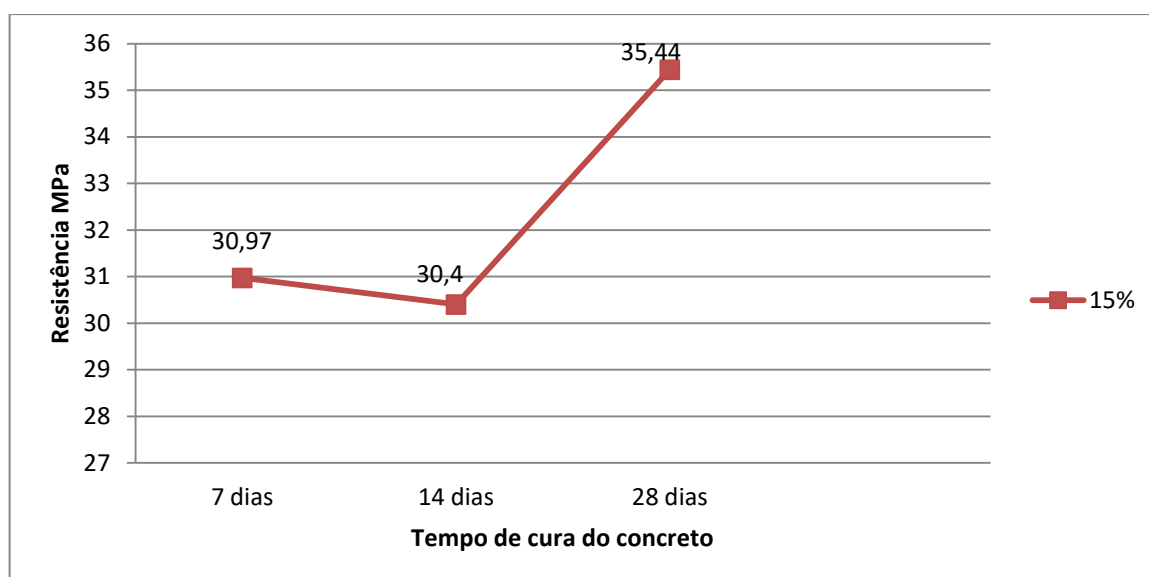
Gráfico 4 - Concreto convencional de referência sem adição de RCD



Fonte: (Autores, 2017)

No Gráfico 5 estão demonstradas as médias encontradas nos ensaios de resistência a compressão do concreto com adição de 15% de RCD.

Gráfico 5 - Concreto com adição de 15% de RCD

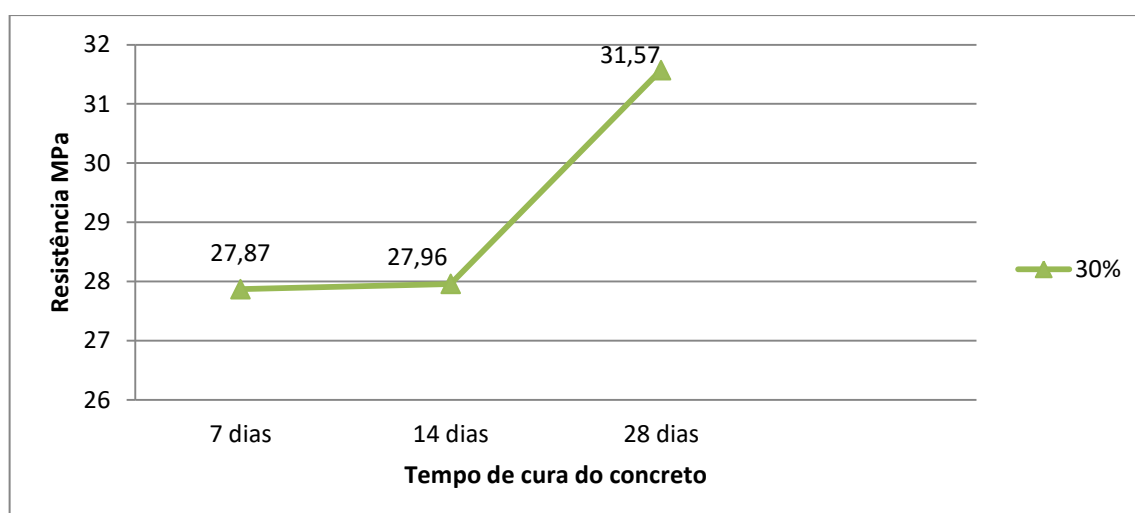


Fonte: (Autores, 2017)

Analisando o gráfico 5 é possível perceber que o concreto com adição 15% de RCD, obteve uma resistência a compressão superior ao concreto convencional de referência.

No Gráfico 6 podem ser observadas as médias dos valores a resistência a compressão do concreto com adição de 30% de RCD.

Gráfico 6 - Concreto com adição de 30% de RCD

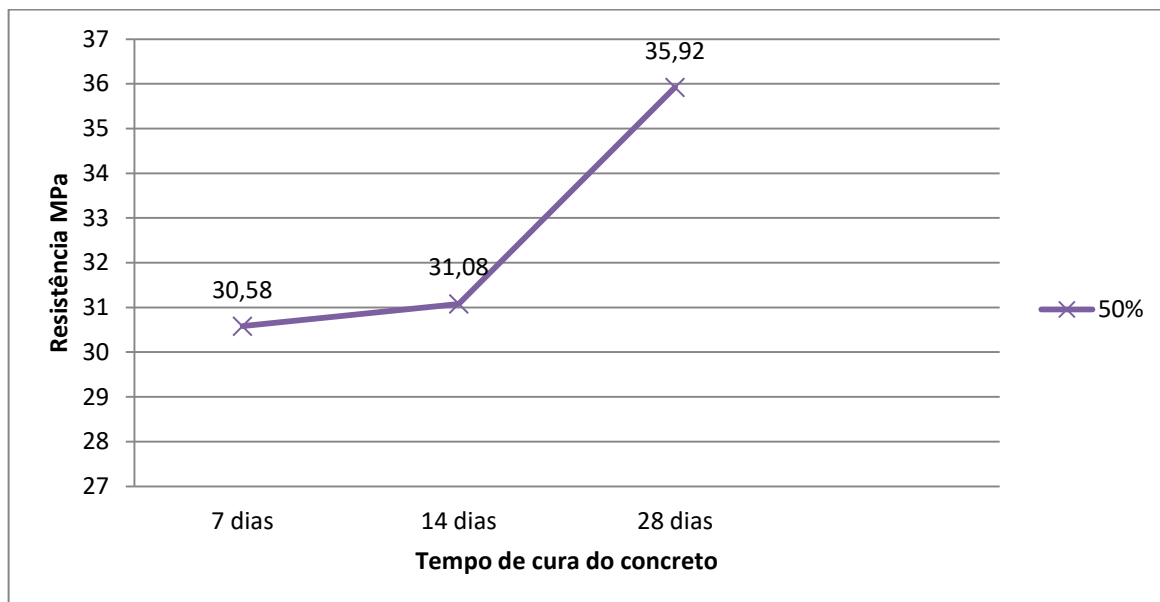


Fonte: (Autores, 2017)

Assim como o concreto com adição de 15% de RCD, o concreto com adição de 30% de RCD, obteve resistência a compressão considerada alta, em relação a resistência a compressão do concreto convencional de referência.

Já o Gráfico 7 contém os valores das médias de resistência a compressão do concreto com adição de 50% de RCD.

Gráfico 7 - Concreto com adição de 50% de RCD

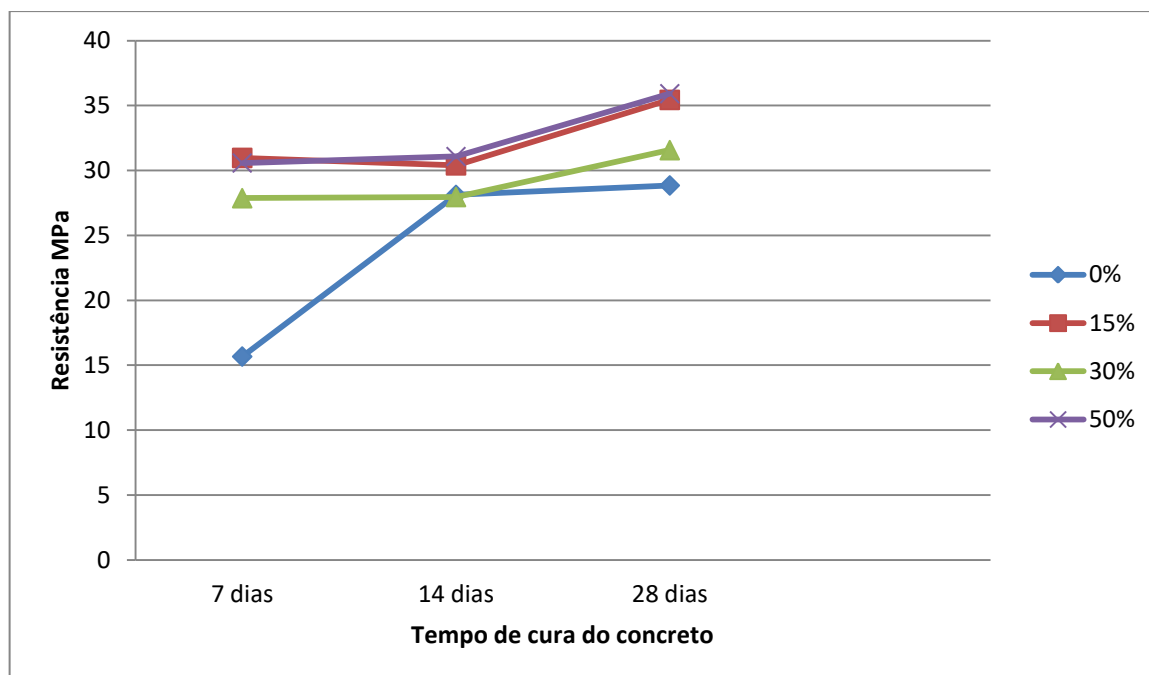


Fonte: (Autores, 2017)

Analisando o Gráfico 7 é possível observar que o concreto com adição de 50% de RCD, obteve o melhor desempenho nos ensaios de resistência a compressão e com adição de 15% de RCD possui valores muito próximos ao concreto convencional. Fato que reforça a possibilidade de utilização do RCD em concreto estrutural sem perda de resistência.

Ainda com o intuito de possibilitar uma melhor compreensão dos resultados, elaboramos o Gráfico 8 com todos os valores em conjunto do ensaio a resistência a compressão, para todos os percentuais de substituição.

Gráfico 8 - Resultados do ensaio de resistência à compressão



Fonte: (Autores, 2017)

Analisando os resultados encontrados, disposto no Gráfico 8, do ensaio de resistência à compressão, é possível constatar os resultados de cada percentual de RCD na fabricação do concreto.

O concreto convencional de referência possui o percentual de 0% de agregado graúdo reciclado, pois será o concreto de referência para analisar a resistência dos outros percentuais, e serviu de base para comparação.

Na análise do Gráfico 8 é possível notar que o concreto convencional de referência apresentou resultados de resistência à compressão inferior aos demais tipos de concretos, com diferentes percentuais de agregados reciclados, em praticamente todas as idades.

Para os percentuais de 15%, 30% e 50%, observa-se que as adições de RCD na forma de agregado graúdo, aos 7, 14 e 28 dias de cura, demonstraram uma resistência superior a resistência do concreto convencional de referência, ou seja, essa substituição parcial do agregado graúdo reciclado torna-se tecnicamente viável.

Para a adição de 15% de agregado graúdo reciclado, a resistência à compressão encontrada foi bem acima de que o concreto convencional de referência, em todos os tempos de cura. Segundo Vieira; Molin; Lima, (2004) já é possível afirmar que a utilização do agregado reciclado no concreto, em quantidades

adequadamente dosadas, não apresenta nenhuma influência negativa na resistência à compressão do concreto.

Os resultados obtidos do concreto com adição de 15% de RCD foram considerados satisfatórios comparado ao estudo realizado por Levy, (2006), que em substituição de 20% do agregado natural pelo agregado reciclado de concreto, o concreto resultante conteve o mesmo desempenho, e em alguns casos obteve até um melhor comportamento que o concreto de referência.

Na adição de 30% de agregado graúdo reciclado, a resistência à compressão apresentou valores acima aos 7 e aos 28 dias, e obteve praticamente os mesmos valores de resistência aos 14 dias, mesmo assim, em relação ao concreto convencional de referência, a resistência foi alta. Evangelista e Brito (2007) *apud* Menta de Sá (2016), fabricaram concretos com adição de agregados miúdos reciclados de concreto, e constatou que o percentual de substituição do agregado natural de até 30% não possui influência na propriedade de resistência a compressão, sendo este concreto recomendado para uso estrutural.

Para a adição de 50% de agregado graúdo reciclado, observando o Gráfico 4, é notório que sua resistência à compressão foi a mais elevada em todos os tempos de cura, entre os percentuais analisados. Demonstrando ser uma alternativa muito interessante em substituição parcial do agregado graúdo natural. Padovan (2013), afirma que o percentual de substituição de até 50% de agregados naturais por agregados reciclados é considerado um percentual adequado para que se mantenha preservadas as propriedades mecânicas dos concretos para uso estrutural.

Diante das análises feitas, percebe-se que a adição de RCD com os diferentes percentuais, aumentou a resistência à compressão do concreto, tornando essa substituição tecnicamente viável.

A possível explicação para o aumento da resistência à compressão dos concretos com adição de RCD, seria a qualidade do agregado e do concreto que deu origem ao agregado reciclado. Kou *et al.* (2012) *apud* Menta de Sá (2016) afirma que tanto a qualidade quanto as propriedades dos agregados, estão diretamente relacionados com o leito de rocha ou com o concreto de onde originam-se, assim, quanto mais elevada for a resistência do concreto de origem, maior será a resistência dos agregados reciclados deste concreto.

Os resíduos utilizados nesse estudo foram provenientes da parte estrutural de uma laje, ou seja, material considerado de boa qualidade. De acordo com Gonçalves

(2004) quando se utiliza apenas a parte graúda do agregado reciclado, para resíduos de boa qualidade a resistência do concreto reciclado, é praticamente igual ao do concreto original.

A maior parte das pesquisas existentes exalta a importância das propriedades do resíduo de concreto, para a resistência a compressão do concreto reciclado. Resíduos oriundos de concretos com baixa resistência ou resíduos provenientes da mistura de varias sobras, de concretos com resistências diferentes, podem acarretar no concreto reciclado resistência abaixo do esperado (GONÇALVES, 2004).

Werle (2010) enfatiza que quando utiliza-se agregado reciclado de concreto com uma resistência maior ou igual ao do novo concreto produzido, não nota-se influência negativa na resistência do novo concreto, no entanto, quando se utiliza agregado reciclado de concreto de resistência inferior, tendo como base de referência a resistência do concreto onde este agregado será acrescido, é possível verificar uma redução significativa da resistência.

Vários estudos já apontam os resíduos de construção e demolição como uma excelente alternativa para substituir o agregado natural em diferentes percentuais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos e de tudo que foi exposto nesse estudo, podemos concluir que o uso dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), proveniente do processo de britagem, se mostra como uma excelente opção em substituição ao agregado graúdo natural, para uso em concreto estrutural. No estudo, o RCD se apresentou com qualidade e comportamento muito satisfatório em todos os percentuais analisados no que diz respeito à resistência mecânica, foco principal da nossa pesquisa e o fator mais importante quando se trata de dimensionamento de estruturas.

Percebe-se também, que a utilização do RCD enquanto agregado é uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente necessária e importante forma de diminuir a extração dos recursos naturais do meio ambiente e uma forma de impactar positivamente a natureza com uma destinação coerente dos resíduos de construção e demolição que vão para aterros clandestinos.

Os resultados auferidos nesse estudo foram confirmados e justificados através da pesquisa bibliográfica e experimental.

Sendo assim, perante aos resultados obtidos, pode-se afirmar que a utilização do RCD como agregado graúdo em concreto estrutural é uma alternativa tecnicamente viável e sustentável.

REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Guia básico de utilização do cimento portland*. 7.ed. São Paulo - SP, 2002. 28 p.

ACCETTI, K. M.; PINHEIRO, L. M. *Tipos de fibras e propriedades do concreto com fibras*. In: 42º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. Anais, Fortaleza, ago. 2000.

ANGULO, Sérgio Cirelli; ZORDAN, Sérgio Eduardo; JOHN, Vanderley Moacyr. *Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil*. PCC - Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica . São Paulo/SP, 1999, 13 p. Disponível em: <<http://www.pedrasul.com.br/artigos/sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 13/10/2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 30: Agregado miúdo - Determinação da absorção da água*. Rio de Janeiro. 2001.

_____. *NBR NM 45: Agregado miúdo - Determinação da Massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro. 2006.

_____. *NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro. 2009.

_____. *NBR NM 53: Agregado miúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro. 2002.

_____. *NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998.

_____. *NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro. 2003.

_____. *NBR 5738: Concreto – procedimento de moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro. 2016.

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

_____. *NBR 6118*: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. *NBR 7211*: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro. 2009.

_____. *NBR 10004*: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: 2004.

_____. *NBR 11578*: Cimento Portland composto - Especificação. Rio de Janeiro: 1997.

_____. *NBR 15112*: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos volumosos – áreas de transbordo e triagem – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: 2004.

_____. *NBR 15113*: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – aterros – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: 2004.

_____. *NBR 15114*: Resíduos reciclados de resíduos sólidos da construção civil – áreas de reciclagem – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: 2004.

_____. *NBR 15115*: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – execução de camadas de pavimentação – procedimentos. Rio de Janeiro: 2004.

_____. *NBR 15116*: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos. Rio de Janeiro: 2004.

BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves. *Manual técnico: Gestão de resíduos sólidos em canteiros de obras*. Brasília: SEBRAE/DF, 2007. 48p.

BRASIL. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. *Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em 10/05/2017.

BRASILEIRO, L. L. *Utilização de Agregados Reciclados Provenientes de RCD em Substituição ao Agregado Natural no Concreto Asfáltico*. 2013. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Natureza), Universidade Federal do Piauí – UFPI,

Teresina – PI, 2013. Disponível em:
<<http://www.leg.ufpi.br/subsiteFiles/materiais/arquivos/files/DISSERTACAO%20-%20Luzana.pdf>>. Acesso em: 01/05/2017.

BRASILEIRO, L. L., MATOS, J. M. E. *Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil*. Cerâmica 61 (2015) 178-189. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v61n358/0366-6913-ce-61-358-00178.pdf>>. Acesso em: 21/05/2017.

BUENO, C. F. H. *Tecnologia de materiais de construções*. UFV - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa/MG, 2000. 40 p. Disponível em:
<http://arquivo.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/materiais_contrucao.pdf>. Acesso em: 16/03/2017.

BUTTLER, Alexandre Marques. *Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – Influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados*. 2003. 220 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de São Carlos. São Carlos/SP, 2003. Disponível em: <
www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-06082003-172935/.../buttler.pdf>. Acesso em: 15/06/ 2017.

CABRAL, A. E. B., et al. *Modelagem da resistência à compressão de concretos produzidos com agregados reciclados de RCD*. 2007. 280 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos – SP . Disponível em:<
www.teses.usp.br/teses/.../ANTONIOEDUARDOModelagemPropConcretocomRCD.pdf>. Acesso em: 15/06/2017.

CARDOSO, W. *Construção Civil no Brasil*. Engenharia e, 2013. 22 p. Disponível em:< <http://www.engenhariae.com.br/colunas/construcao-civil-no-brasil/>>. Acesso em: 13/10/2016.

CARRIJO, P. M. *Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto*. 2005. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, 2005. Disponível em: <
www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-11052006143829/.../Dissertacao.pdf>. Acesso em: 25/03/2017.

CASTRO, C. X. *Gestão de resíduos na construção civil*. 2012. 54 p. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte – MG, 2012. Disponível em: <<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg2/83.pdf>>. Acesso em: 13/06/2017.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente -. Resolução n°. 307, de 02 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 05 de jul./2002.

COPASA. COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS. *Qualidade da água, 2017*. Disponível em: <<http://www2.copasa.com.br/servicos/qualidadeagua/pesqtel.asp?letra=T&cidade=1362>>. Acesso em: 19/06/2017.

CSN. COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL. *Cimentos, 2017*. Disponível em: <http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=59832&conta=45&prSv=1>. Acesso em: 14/06/2017.

EVANGELISTA, A. C. J. *Estudo de materiais alternativos para produção de concretos e argamassas*. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. 2004. 7 p. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVOS%20PDF/14/14-102.pdf>>. Acesso em: 08/05/2017.

FAY, Stephen. *Como foi construído o stonehenge*. Revista Seleções. Novembro 1997. Disponível em: <<https://www.historiadasartes.com/nomundo/arte-na-antiguidade/pre-historia/stonehenge/>>. Acesso em: 14/06/2017.

FORMOSO, C. T. et al., *As perdas na construção civil: conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – Porto Alegre – RS, 1996. 12 p. Disponível em: <<http://www.pedrasul.com.br/artigos/perdas.pdf>>. Acesso em: 15/05/2017.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. São Paulo: Atlas, 2008.

GONÇALVES, R. D. C. *Agregados reciclados de resíduos de concreto – um novo material para dosagem estruturais*. 2001.148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo, São Carlo/SP. 2004. Disponível em:<www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde.../Dissert_Goncalves_RodrigoDC.pdf>. Acesso em: 10/06/2017.

GRANDE, F. M. *Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) – aspectos gerais da gestão pública de São Carlos/SP*. Exacta, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 35-45, jan./jun. 2007. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/810/81050104/>>. Acesso em: 10/06/2017.

ISAIA, G. E. et al., *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*, São Paulo, Editora IBRACON. 2007.

LEITE, M. B., *Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição*. 2001. 290 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2001. Disponível em:< http://www.lume.ufrgs.br/bitstream_id/45864/000292768.pdf>. Acesso em: 14/06/2017.

LEVY, S.M. *Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de concreto e alvenaria*. 2001. 208 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2001. Disponível em: < http://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Tese_Salomon_Mony_Levy.pdf>. Acesso em: 20/05/2017.

LEVY, S. M. *Produzindo concretos ecologicamente e politicamente corretos*. Exacta, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 375 – 384, jul./dez. 2006.

LEVY, S. M. *Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos*. 1997. 146 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 1997.

Lima, P. D. B.. *A excelência em gestão pública: a trajetória e a estratégia do GESPÚBLICA*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007. 227 p. : il. ISBN: 978-85-7303-735-7.

MACHADO JR, E.F.; AGNESINI, M.V.C.; BALLISTA. S.P. *Dosagem de microconcretos estruturais leves com agregados reciclados de construção e demolição – estudo de caso*. São Paulo/SP, 1999. 8 p. Disponível em: < http://www.infohab.org.br/entac2014/2000/Artigos/ENTAC2000_231.pdf >. Acesso em: 23/06/2016.

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

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M., 2008, *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 3. ed. São Paulo: IBRACON.

MENTA DE SÁ, A. J. *Agregados graúdos reciclados de concreto – uma opção para uso em dosagens estruturais*. 2016. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processo). UFPA - Universidade Federal do Pará. Belém/PA, 2016. Disponível em: <<http://ppgpep.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/Dissertacao2016-PPGEP-MP-AuricaryJorgeMentadeSa>>. Acesso em 10/05/2017.

MIRANDA, L. F. R.; ÂNGULO, S. C.; CARELI,É. D. *A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008*. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57-71, jan./mar. 2009. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/7183/4909..>>. Acesso em: 22/06/2017.

MORAIS, G. M. D. *Diagnóstico da deposição clandestina de resíduos de construção e demolição em bairros periféricos de Uberlândia: subsídios para uma gestão sustentável*. 2006. 220 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia/MG, 2006. Disponível em: <http://www.webposgrad.propp.ufu.br/ppg/producao_anexos/009_Greiceana%20Marques%20Dias%20de%20Morais.pdf>. Acesso em: 10/05/2017.

NETO, J.C.M. *Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil*. São Carlos: RiMa, 2005.

NEVILLE, A. M. *Tecnologia do concreto*. Bookman, São Paulo-SP, 2013, p. 41.

NUNES, K. R. A. *Avaliação de investimentos e de desempenho de centrais de reciclagem para resíduos sólidos de construção e demolição*. 2004. 297 p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 2004. Disponível em: <<http://www.getres.ufrj.br/pdf/tese%20katia%20regina.pdf>>. Acesso em: 10/06/2017.

OLIVEIRA, D. P. R. *Planejamento estratégico*. 23 ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2007.

PADOVAN, R. G. *Influência da pré molhagem nas propriedades de concretos produzidos com agregados reciclados de concreto*. 2013. 161 p. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo/RS, 2013. Disponível em: <<http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/3270/Rafaela%20Gava%20Padovan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 01/06/2017.

PINTO, T. P. et al. *Ministério das Cidades. Manejo e gestão de resíduos da construção civil: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios*. v. 1. 196 p. Brasília: Caixa, 2005.

PINTO, T. P. *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. 1999. 218 p. Tese (Doutorado em Engenharia da Construção Civil e Urbana), Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://www.casoi.com.br/hjr/pdfs/gestresiduossolidos.pdf>>. Acesso em: 10/06/2017.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. *Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil*. Brasília, 2005.

RIBEIRO, Carmem Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. *Materiais de Construção Civil*. Minas Gerais: Editora da UFMG, 2006.

RODRIGUES, P. P. F. *O Cimento e o Concreto Aparente*. In: II Congresso Brasileiro de Cimento, 1990. In Anais do II Congresso Brasileiro de Cimento, ABCP, 1990.

SOUZA, U. E. L e DEANA, F. D. Levantamento do Estado da Arte: Consumo de Materiais. Tecnologias para construção habitacional mais sustentável, projeto Finep 2386/04, São Paulo, 2007.

SOUZA, U. E. L. *Como Medir a Produtividade da Mão-de-Obra na Construção Civil*. Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

SPADOTTO, Aryane et al., *Impactos ambientais causados pela construção civil*. Universidade do Oeste de Santa Catarina, campus Xanxerê – SC, 2011. 8 p. Disponível em: <https://editora.unoesc.edu.br/index.php/acsa/article/viewFile/745/pdf_232>. Acesso em: 18/06/2017.

TRIGO, A. P. M. *Estudo da dopagem de agregados para finalidade de uso em concretos estruturais*. 2012. 295 p. Tese de Doutorado – Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 2012. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2012DO_AnaPaulaMorenoTrigo.pdf>. Acesso em: 21/03/ 2017.

VALPORTO, M. S., AZEVEDO, P. S. *Gestão do design na identificação dos fatores de impactos ambientais da construção civil*. Estudos em Design | Revista (online). Rio de Janeiro: v. 24 | n. 1 [2016], p. 124 – 151. Disponível em:

<<https://www.eed.emnuvens.com.br/design/article/download/300/215>>. Acesso em: 19/06/2017.

VIEIRA, G. L.; MOLIN, D. C. C.; LIMA, F. B. *Resistência e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição*. RepositóriUM, n.19. Portugal, 2004.18 p. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/242649199>>. Acesso em: 10/05/2017.

WATANAB, P. S. *Concretos especiais – propriedades, materiais e aplicações*. 2008. 192 p. Relatório final de pesquisa, Bolsa de Iniciação Científica FAPESP, Universidade Estadual Paulista UNESP - Campus de Bauru – SP, 2008. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/pbastos/c.especiais/Conc%20Esp%20Paula.pdf>>. Acesso em: 05/05/2017.

WERLE, A. P. *Determinação de Propriedades de Concretos com Agregados Reciclados de Concreto, com ênfase na Carbonatação*. 2010. 162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo/RS, 2010. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/3616/determinacao_propriedades.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 31/05/2017.

WIENS I. K.; HAMADA J. *Gerenciamento de resíduos da construção civil – uma introdução à legislação e implantação*. XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, novembro de 2006. 11 p. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/374.pdf>. Acesso em: 09/05/2017.

ZORDAN, S. E. *A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto*.1997. 159 p.Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas/SP, 1997. Disponível em: <<http://mac.arq.br/wp-content/uploads/2016/03/entulho-como-agregado-concreto.pdf>>. Acesso em: 18/06/2017.

APÊNDICE A – Resultados dos ensaios de granulometria

Caracterização física do agregado miúdo natural, composição granulométrica

1) Massa inicial seca (g): 400g			2) Massa inicial seca (g): 500g			
Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g)		% retida		Média	% Acumulada
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2		
4,75	1,88	1,48	0,5	0,30	0	0
2,36	15,23	21,02	3,88	4,26	4	4
1,18	59,64	83,94	15,08	17,02	16	20
0,6	158,31	189,55	40,02	38,43	39	59
0,3	104,10	126,26	26,32	25,60	26	85
0,15	49,33	61,33	12,47	12,43	13	98
Fundo	7,07	9,60	1,79	1,95	2	100
Mt Total	395,56	493,18				

Fonte: (Autores, 2017)

Caracterização física do agregado graúdo natural, composição granulométrica

1) Massa inicial seca (g): 5990g			2) Massa inicial seca (g): 5139g			
Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g)		% retida		Média	% Acumulada
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2		
25	0	0	0	0	0	0
19	0,130	0,124	2,18	2,42	2	2
12,5	4,262	3,704	71,33	72,29	72	74
6,30	1,465	1,187	24,52	23,17	24	98
Fundo	0,118	0,109	1,97	2,13	2	100
Mt Total	5975	5124				

Fonte: (Autores, 2017)

Caracterização física RCD, composição granulométrica

1) Massa inicial seca (g): 5041g			2) Massa inicial seca (g): 5210g			
Abertura das peneiras (mm)	Massa retida (g)		% retida		Média	% Acumulada
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2		
25	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0
12,5	2554	2803	50,71	53,27	52,29	52,29
6,30	2396	2319	47,58	44,57	46,08	98,37
Fundo	86	81	1,71	1,57	1,64	100
Mt Total	5036	5203				

Fonte: (Autores, 2017)

APÊNDICE B – Resultados dos ensaios de resistência à compressão

Concreto Convencional com adição de 0% RCD

Corpo de Prova	7 Dias	14 Dias	28 Dias
1	15,28 MPa	28,40 MPa	30,28 MPa
2	13,25 MPa	28,86 MPa	27,58 MPa
3	17,45 MPa	28,50 MPa	29,20 MPa
4	16,21 MPa	28,41 MPa	30,16 MPa
5	16,16 MPa	26,44 MPa	27,05 MPa

Fonte: (Autores, 2017)

Concreto com adição de 15% RCD

Corpo de Prova	7 Dias	14 Dias	28 Dias
1	31,19 MPa	29,71 MPa	38,44 MPa
2	30,57 MPa	29,11 MPa	34,95 MPa
3	30,63 MPa	27,41 MPa	37,65 MPa
4	31,62 MPa	33,71 MPa	31,39 MPa
5	30,85 MPa	32,04 MPa	34,79 MPa

Fonte: (Autores, 2017)

Concreto com adição de 30% RCD

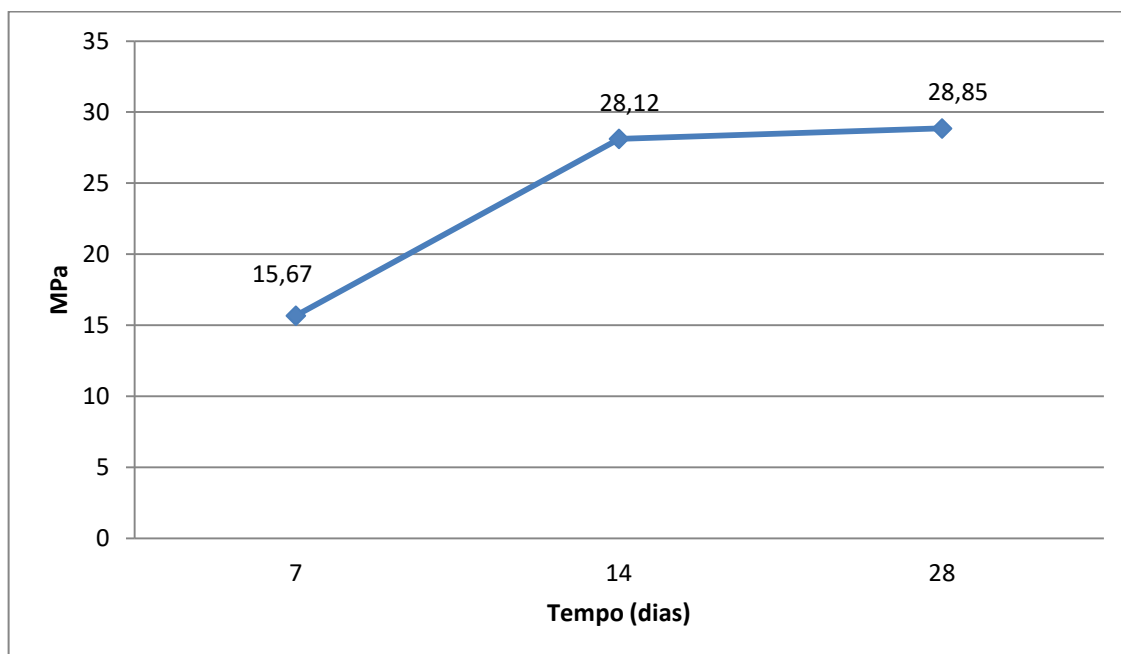
Corpo de Prova	7 Dias	14 Dias	28 Dias
1	27,09 MPa	26,82 MPa	31,10 MPa
2	27,69 MPa	30,07 MPa	31,13 MPa
3	28,70 MPa	26,12 MPa	30,70 MPa
4	28,63 MPa	29,63 MPa	32,05 MPa
5	27,25 MPa	27,18 MPa	32,88 MPa

Fonte: (Autores, 2017)

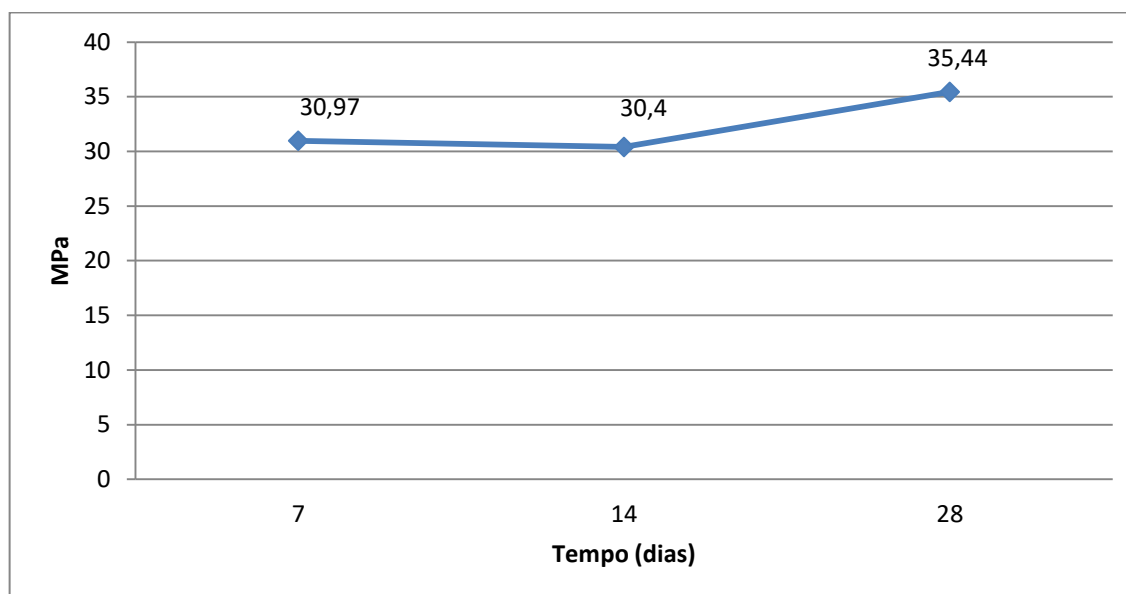
Concreto com adição de 50% RCD

Corpo de Prova	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
1	30,43 MPa	32,78 MPa	35,94 MPa
2	30,33 MPa	30,81 MPa	36,01 MPa
3	29,04 MPa	30,02 MPa	33,95 MPa
4	30,57 MPa	30,61 MPa	35,72 MPa
5	32,51 MPa	31,17 MPa	37,96 MPa

Fonte: (Autores, 2017)

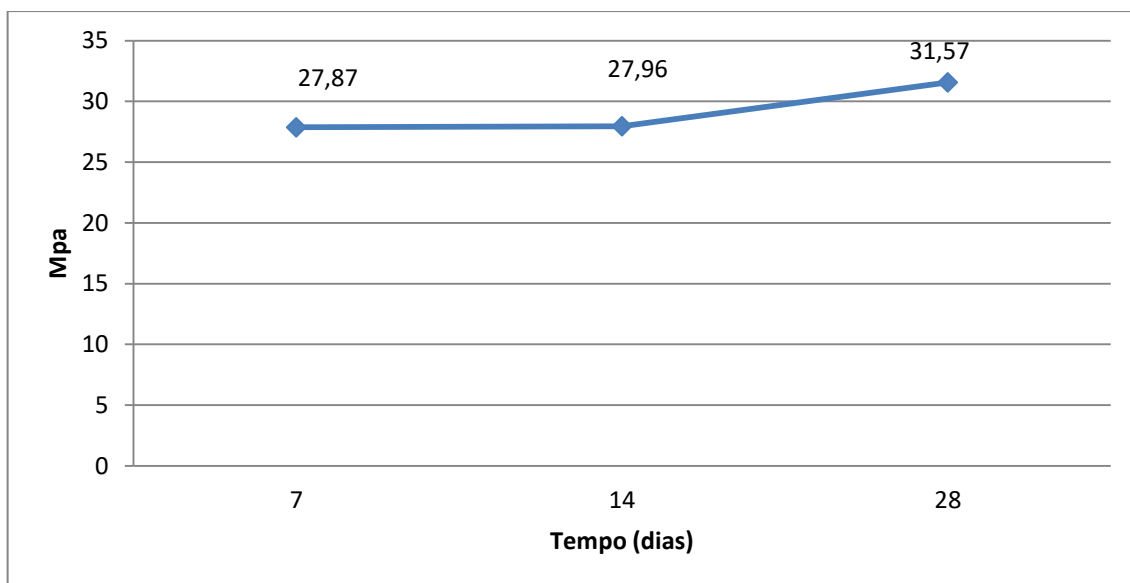
APÊNDICE C – Gráfico dos ensaios de resistência à compressão**Gráfico: Concreto convencional com 0% RCD**

Fonte: (Autores, 2017)

Gráfico: Concreto com adição de 15% RCD

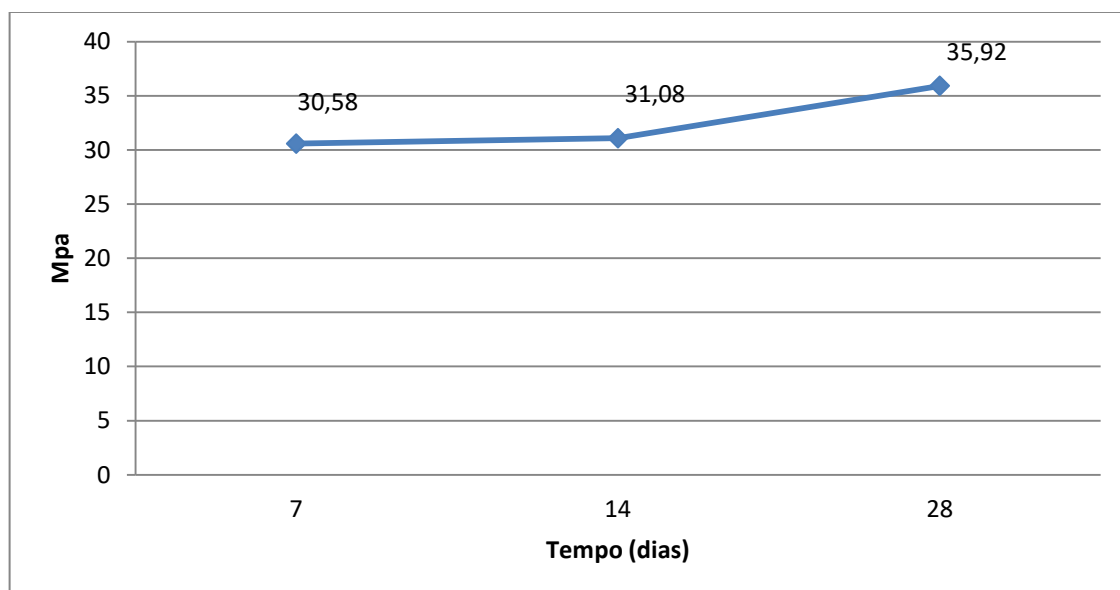
Fonte: (Autores, 2017)

Gráfico: Concreto com adição de 30% RCD



Fonte: (Autores, 2017)

Gráfico: Concreto com adição de 50% RCD



Fonte: autores, (2017)