

UNIVERSIDADE TIRADENTES

**JOÃO VICTOR ANDRADE TORRES
WELLINGTON FERREIRA MOTA**

CONCRETO RECICLADO

**O Uso de Resíduo da Construção Civil como substituto parcial de agregado
graúdo.**

Aracaju – Sergipe

2018

JOÃO VICTOR ANDRADE TORRES
WELLINGTON FERREIRA MOTA

CONCRETO RECICLADO

**O Uso de Resíduo da Construção Civil como substituto parcial de agregado
gráúdo.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Tiradentes, como parte das
exigências para a obtenção do Título de Bacharel
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Paulo Eduardo Silva Martins.

Aracaju – Sergipe

2018

JOÃO VICTOR ANDRADE TORRES
WELLINGTON FERREIRA

CONCRETO RECICLADO
**O Uso de Resíduo da Construção Civil como substituto parcial de agregado
graúdo.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Tiradentes, como parte das
exigências para a obtenção do Título de Bacharel
em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Paulo Eduardo Silva Martins

Aracaju, 04 de Dezembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Por João Victor

Agradeço Primeiramente a Deus, por ter me proporcionado chegar até aqui, a ele devo tudo que tenho, agradeço também aos meus pais, José Adelmo Cordeiro de Torres e Artemísia Jacy Andrade Torres, por toda a dedicação, incentivo e paciência, contribuindo diretamente para que eu pudesse ter um caminho mais ameno durante todos esses anos, agradeço também as minhas irmãs, por terem sido minhas primeiras amigas e me incentivado ao longo de toda a minha trajetória. Quero agradecer também aos meus amigos da vida e aos que a faculdade me deu, que me ajudaram e deram apoio em tudo que precisei durante esse tempo.

Agradeço aos professores que sempre estiveram dispostos a ajudar, responsáveis diretos por nossa formação, garantindo um melhor aprendizado, em especial ao Amigo, Coordenador e Professor Orientador, Paulo Eduardo, que nunca deixou de me ajudar, sempre se mantendo presente e prestativo. Agradeço também a Universidade Tiradentes por ter me proporcionado a oportunidade de adquirir conhecimentos que me permitiram chegar hoje, ao final desse ciclo de maneira satisfatória.

Por Wellington Ferreira

Agradeço primeiramente a Deus por permitir que tudo isso acontecesse ao longo de minha vida. Agradeço também aos meus pais, Justino Mendonça Mota e Josefa Ferreira Mota, pelos ensinamentos, pelo apoio e por toda a dedicação durante toda a minha vida. Agradeço aos meus irmãos por sempre estarem ao meu lado e por me ajudarem sempre quando precisei. Quero agradecer a minha namorada, Mariana Nicole, por toda a paciência que teve, e ainda tem, comigo durante todo esse tempo e por todo o apoio. Quero agradecer também a todos os meus amigos formados dentro e fora da instituição de ensino, cada um de vocês foram importante nessa jornada.

Agradeço também a instituição de ensino e seu corpo docente que foram fundamentais nessa caminhada de formação acadêmica e fundamentais para a aquisição de conhecimentos. Agradecer ao professor, coordenador, orientador e amigo, Paulo Eduardo, por se mostrar sempre prestativo e disposto a ajudar. Todos tiveram total importância para a conclusão desse ciclo.

RESUMO

As questões ambientais ocupam cada vez mais seu espaço nas legislações dos países, devido à grande geração de resíduos oriundos de indústrias, principalmente as do setor construtivo. A preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais, tem levado à busca por alternativas de crescimento mais sustentáveis. Dentro dessa corrida pelo bem estar ambiental, os resíduos produzidos pela indústria passam, cada vez mais, a serem vistos como uma fonte alternativa de matéria prima, afim de reduzir o impacto causado pelo consumo desordenado de recursos naturais e pelas áreas de disposição. Neste contexto se insere os resíduos oriundos da construção e demolição (RCD). Transformar o RCD em uma matéria prima alternativa dentro do próprio setor constitui um grande desafio para o meio técnico-científico. Alguns pesquisadores vêm tentando incorporar a utilização desses resíduos em vários setores da construção, um deles é na produção de concretos, visto que, resultaria num aumento potencial de utilização. Nesse contexto, o presente trabalho, visa estudar a influência da utilização de RCD como agregado reciclado, substituindo parcialmente a brita granítica, na produção de concreto. Os experimentos realizados no CTEA (Centro Tecnológico de Engenharia e Arquitetura) foram fundamentados na caracterização dos materiais constituintes e confecção de concreto com 0%; 6,25%; 12,5%; 18,75%; e 25% de Resíduos de Construção e Demolição.

Palavras-chave: meio ambiente, concreto reciclado, agregado graúdo, resíduos da construção e demolição (RCD).

ABSTRACT

Environmental issues occupying more and more space in your countries laws, due to the generation of waste from industries, especially the constructive industry. The concern with the environment and the scarcity of natural resources, has led to the search for more sustainable growth alternatives. Within this race for environmental well-being, the waste generated by industry is increasingly being seen as an alternative source of raw materials in order to reduce the impact caused by the consumption of natural resources and cluttered areas disposal. In this context it is part of the waste from construction and demolition (RCD). Turn the RCD into a raw material alternative within the sector itself, a major challenge for the scientific and technical means. Some researchers have been trying to incorporate the use of such waste in several sectors of construction, one of them in the production of concretes, would result in a potential increase of use. In this context, the present study aims to study the influence of RCD as aggregate recycled, partially replacing the granitic gravel, in the production of concrete. The experiments performed in the CTEA (Technological Center of engineering and architecture), was based on constituent materials characterization and preparation of concrete with 0%; 6.25%; 12.5%; 18.75%; and 25% of construction and demolition waste.

Keywords: environment, recycled concrete, heavyweight aggregate, construction and demolition waste (CDW).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão.	22
Figura 2 - Materiais para confecção do concreto convencional.....	33
Figura 3 - Amostra do material coletado.	36
Figura 4 - Britador de mandíbula utilizado para triturar o material separado.....	37
Figura 5 - Agitador de peneiras.	38
Figura 6 – RCD triturado e separado granulometricamente.....	38
Figura 7 - Betoneira e preparo do concreto.....	40
Figura 8 - Corpos de provas já moldados.	42
Figura 9 - Corpos de prova armazenados em tanque com água.	43
Figura 10 - Retificação do corpo de prova.	43
Figura 11 - Rompimento dos corpos de prova.	44
Figura 12 - Curva granulométrica do agregado miúdo.....	48
Figura 13 - Curva granulométrica do agregado graúdo.....	48
Figura 14 - Curva granulométrica do RCD.	49
Figura 15 - Análise de regressão do concreto de tratamento T0.....	55
Figura 16 - Análise de regressão do concreto de tratamento T1.....	55
Figura 17 - Análise de regressão do concreto de tratamento T2.....	56
Figura 18 - Análise de regressão do concreto de tratamento T3.....	56
Figura 19 - Análise de regressão do concreto de tratamento T4.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos físicos.....	18
Tabela 2 - Requisitos químicos para a água.....	18
Tabela 3 – Trabalhabilidade das misturas de concreto.....	28
Tabela 4 - Porcentagem de RCD por traço.....	34
Tabela 5 – Traços de concreto com cimento CP V – ARI.....	39
Tabela 6 – Dosagem utilizada.....	39
Tabela 7 – Análise granulométrica do agregado miúdo.....	45
Tabela 8 – Análise granulométrica do agregado graúdo.....	46
Tabela 9 – Análise granulométrica do RCD.....	46
Tabela 10 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	47
Tabela 11 – Limites da composição granulométrica do agregado graúdo.....	47
Tabela 12– Abatimento pelo Slump Test.....	50
Tabela 13 – Valores de resistência com 7 dias de cura.....	51
Tabela 14 – Valores de resistência com 14 dias de cura.....	52
Tabela 15 – Valores de resistência com 28 dias de cura.....	53
Tabela 16 – Análise de variância.....	54
Tabela 17 – Resultado do teste de Tukey.....	54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GERAL	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1. CONCRETO.....	15
3.1.1. ELEMENTOS CONSTITUINTES DO CONCRETO	15
3.1.1.1. CIMENTO PORTLAND	15
3.1.1.2. AGRAGADOS.....	16
3.1.1.3. ÁGUA	17
3.1.2. PROPRIEDADES DO CONCRETO	18
3.1.2.1. CONCRETO FRESCO.....	18
3.1.2.1.1. TRABALHABILIDADE	19
3.1.2.2. CONCRETO ENDURECIDO.....	19
3.1.2.2.1. CLASSES.....	19
3.1.2.2.2. RESISTÊNCIA A ABRASÃO.....	20
3.1.2.2.3. PROPRIEDADE TÉRMICAS.....	20
3.1.2.2.4. PROPRIEDADES ACÚSTICAS.....	20
3.1.2.2.5. PERMEABILIDADE	21
3.1.2.2.6. RESISTÊNCIA.....	21
3.1.2.2.7. DURABILIDADE	22
3.2. RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO.....	23
3.2.1. HISTÓRICO.....	23
3.2.2. DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO.....	24

3.2.3. USO DO RESÍDUO DE DEMOLIÇÃO E CONSTRUÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETO	25
3.2.4. PROPRIEDADES DO CONCRETO RECICLADO	26
3.2.4.1. MASSA ESPECÍFICA.....	26
3.2.4.2. TRABALHABILIDADE DO CONCRETO RECICLADO	27
3.2.4.3. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO.....	29
3.3. IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS A CONSTRUÇÃO CIVIL.....	30
4. MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1. CARACTERÍSTICAS LOCAIS.....	35
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO RCD	36
4.3. ENSAIO GRANULOMÉTRICO.....	37
4.4. TRAÇOS UTILIZADOS PARA O CONCRETO COM RCD	38
4.5. PREPARO DO CONCRETO	40
4.6. ENSAIO DE CONSISTÊNCIA	41
4.7. MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA.....	41
4.8. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO.....	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1. ENSAIO GRANULOMÉTRICO.....	45
5.2. ENSAIO DE CONSISTÊNCIA (SLUMP TEST)	49
5.3. ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	50
5.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA	54
6. CONCLUSÃO	58
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

1. INTRODUÇÃO

A Construção Civil é um dos setores mais importantes para o Brasil, considerada o termômetro da economia no País, é um dos ramos que mais tem impactado na geração de empregos e na melhoria de áreas como a infraestrutura e contribuindo para a redução do déficit habitacional. Segundo dados obtidos através da CCR (2018), avalia-se que são cerca de 13 milhões de pessoas que trabalham nesse setor, considerando empregos formais, informais e indiretos. A estimativa é de 62 novos empregos indiretos para cada 100 empregos diretos. É também um dos setores com maior representatividade no PIB tendo uma participação de 6,2% e um faturamento anual de 1,1 Trilhões de reais.

Possuindo um papel tão expressivo na economia local, é procedente que também seja um dos grandes vilões ambientais. Sendo o maior consumidor de matéria prima, dispondo de um grande consumo de energia, havendo poluição em quase todos os processos e uma crescente produção de resíduos sólidos, fica claro a grandiosidade do setor construtivo brasileiro e o quanto ele pode ser prejudicial. De acordo com o IPEA (2012), são 31 milhões t/ano de RCD produzido no Brasil, esses resíduos, descartados de forma irregular, são altamente prejudiciais ao Meio Ambiente. Assim, fica impossível pensar em desenvolvimento sustentável sem que os setores da construção se tornem igualmente sustentáveis.

São várias as formas de produção de resíduos da Construção Civil, desde a montagem e fabricação das peças, passando pela execução da obra, chegando até a manutenção das estruturas. Pensando nessa grande quantidade de resíduos produzidos, e na necessidade de diminuir a extração de recursos naturais, que alguns pesquisadores passaram a realizar pesquisas voltadas a reciclagem de resíduos da construção e demolição (RCD). A primeira pesquisa que se tem conhecimento no Brasil, voltada a reciclagem de RCD's foi realizada por Pinto (1986), ele utilizou o RCD na fabricação de argamassas, alguns anos depois Bodi (1997) fez uma pesquisa utilizando RCD em pavimentos.

Apenas em 2002 o Brasil passou a ter políticas públicas voltadas para o resíduo gerado pela construção civil, ao entrar em vigor, em 5 julho a Resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), onde foram estabelecidos critérios e diretrizes para a gestão dos resíduos da construção. Unindo força a Resolução nº 307, em 2010, foi sancionada a lei nº 12.305 de 02 de agosto,

Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual define a forma de como o país deve dispor os seus resíduos, incentivando a reciclagem e a sustentabilidade. Em Dezembro do mesmo ano, por meio do Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, foi criado o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar o comportamento em relação à esforços mecânicos de compressão do concreto submetido a substituição parcial de Agregado Graúdo natural por agregado graúdo produzido através de resíduos da construção e demolição, durante os períodos de 7, 14 e 28 dias de cura.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. CONCRETO

Kaefer (1998) definiu concreto como “Material plástico, que é moldado de maneira a adquirir a forma desejada antes que desenvolva um processo de endurecimento, adquirindo resistência suficiente para resistir sozinho aos esforços que o solicitam”.

Por sua vez, Pedroso (2009), define concreto como pedra artificial que se molda à inventividade construtiva do homem, que possui resistência similar a das rochas naturais e que em seu estado fresco, é um composto plástico, possibilitando sua modelagem em várias formas e tamanhos.

A ASTM foi mais a fundo e definiu concreto como um material compósito que consiste de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas de diferentes naturezas, constituídas por aglomerantes, agregados graúdos e miúdos, água e adição ou não de componentes minoritários. Duas propriedades do concreto que o fazem ser destaque como materiais de construção são a sua resistência a água, diferente de outros materiais e a sua plasticidade.

O concreto mais básico que se tem conhecimento, é constituído por apenas 4 elementos, Cimento Portland, Água, agregado graúdo e agregado miúdo. Onde o cimento e a água, formam uma pasta que preenche a maior parte dos vazios entre os agregados e é responsável pela ação ligante e enrijecedora do concreto. Já os agregados são materiais inertes, por não possuírem efeitos ligantes, e equivalem a mais ou menos 3/4 da mistura final.

3.1.1. ELEMENTOS CONSTITUINTES DO CONCRETO

3.1.1.1. CIMENTO PORTLAND

A ABCP (2003), definiu cimento Portland como um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes que endurece sob ação da água. De acordo com Bauer (1994), obtido através da pulverização do clínquer, o cimento é constituído essencialmente por Cal(Cao), sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃) e óxido de ferro (Fe₂O₃), que correspondem a mais ou menos 95% do total, possuindo também

uma pequena porcentagem de Magnésia (MgO) e anidrido sulfúrico (SO₃). Ao misturar água e cimento, é iniciada a fase de hidratação, onde ocorrem várias reações químicas, gerando produtos que possuem características de pega e endurecimento.

Devido à hidratação dos aluminatos é que ocorrem a pega e o enrijecimento, já que as liberações do C3A são instantâneas e soltam uma grande quantidade de calor. Segundo Ribeiro (2015), para garantir o tempo de Aplicação nas obras, essas reações são retardadas através do uso da gipsita (gesso), na fabricação do cimento. Vale lembrar, que uma vez endurecido, mesmo sob nova ação da água, o cimento Portland resiste sem se decompor.

Há alguns anos, no Brasil, existia praticamente um modelo de cimento Portland, com a evolução dos conhecimentos técnicos, surgiram diversos novos tipos. Hoje em dia, existem no País além do cimento Portland comum, os cimentos Portland compostos, que são obtidos através da adição de alguns produtos como a escória de alto forno, materiais pozolânicos, entre outros. Essa variação dos produtos permite a obtenção de características diferentes de acordo com a necessidade da obra.

Segundo a ABCP (2002), os cimentos compostos hoje, já representam mais de 75% da fabricação de cimento Portland no Brasil. Esse crescimento se deu, devido a necessidade de se usar diferentes cimentos em diferentes regiões, como uma tentativa de se adequar ao lugar.

Bauer (1994) dividiu a fabricação do cimento em 6 etapas, que são a extração da matéria-prima, britagem, moedura e mistura, queima, moedura do clínquer e expedição. A produção de Cimento ocorre em instalações industriais de grande porte, seguindo esses 6 passos, normalmente junto as jazidas que se encontram em localizações favoráveis quanto ao transporte do produto final aos grandes centros de consumo.

3.1.1.2. AGREGADOS

Bauer (1994) define agregado como o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos. Pode-se classificar os agregados de acordo com a sua origem, as dimensões de partículas e o peso específico aparente, porém para o uso

do concreto, a classificação que predomina é a de acordo com as dimensões de suas partículas, separando os agregados entre graúdos (brita e cascalhos) e miúdos (areia).

Os agregados constituem uma parcela muito grande do concreto, sendo representados por cerca de 80% do produto final, por se tratarem de materiais com custos relativamente baixos, muitos autores ligam seu uso apenas a natureza econômica. Porém, segundo Neville (1997) o lado econômico não é a única razão para o uso do agregado, já que os mesmos conferem vantagens técnicas consideráveis ao concreto, que passa a ter uma estabilidade dimensional e uma melhor durabilidade do que a pasta de cimento pura.

Por possuírem uma grande variação de suas características, é importante na tecnologia do concreto, fazer um estudo e um controle de qualidade com os Agregados. Segundo Ribeiro (2015), As propriedades físicas e químicas dos agregados e das misturas ligantes são essenciais para a vida das estruturas em que são usados. São inúmeros os exemplos de falência de estruturas provocados por causa da seleção e o uso inadequado dos agregados.

Mehta e Monteiro (1994) escreveram que o agregado é o principal responsável pela massa unitária, módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto. Desta forma Ribeiro (2015) definiu as características mais importantes de um agregado como a sua forma, sua massa específica, massa unitária, granulometria, textura, resistência a compressão e abrasão, absorção de água, umidade e sanidade. A composição química da rocha é menos importante que a composição física, quando não são encontrados elementos reativos com o cimento ou com o meio ambiente.

3.1.1.3. ÁGUA

A água é utilizada por quase todos os serviços da engenharia. No concreto ela é importante em dois processos, durante a mistura e posteriormente na cura. Pode-se classificar a água no concreto como Água de amassamento e água de cura.

A Água de Amassamento é a água que junto ao cimento formam a pasta, que possui função ligante e enrijecedora, além de causar tal reação, a água de amassamento permite ao concreto trabalhabilidade.

A água deve ser analisada se não vier da rede pública de água potável. Segundo Guerra (2013), A melhor maneira de avaliar a qualidade da água para amassamento é fazendo uma mistura utilizando a água suspeita e outra utilizando água potável. Ao serem analisados os resultados de resistência aos 7 e 28 dias, a amostra suspeita não poderá ter valores inferiores a 10% dos valores da amostra de água pura.

Por influenciar diretamente na qualidade do concreto, a água deve atender alguns requisitos físicos e químicos definidos pela ABNT NBR NM 137(1997). (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 – Requisitos físicos.

Requisito		Diferença máxima
Tempo de pega (min)	Inicial	30
	Final	30
Resistência a compressão (7d e 28d) (%)		10

Fonte: Adaptado de ABNT NBR NM 137 (1997).

Tabela 2 - Requisitos químicos para a água.

Requisito	Limites	
	Mínimo	Máximo
Sólidos totais	-	5.000
Potencial de hidrogênio (pH) ¹	5,5	9
Ferro (Fe)	-	1 ²

Fonte: Adaptado de ABNT NBR NM 137 (1997).

Outro fator importante é o armazenamento da água, este, definido na ABNT NBR 12655(2015), onde é aconselhado armazenar a água em caixas estanques e tampadas, de modo a evitar a contaminação por substâncias estranhas.

3.1.2. PROPRIEDADES DO CONCRETO

As propriedades do concreto serão consideradas sob dois aspectos: Propriedades do concreto fresco e propriedades do concreto endurecido.

3.1.2.1. CONCRETO FRESCO

3.1.2.1.1. TRABALHABILIDADE

Segundo Neville (1997), um concreto facilmente adensado é um concreto trabalhável. Porém, reduzir o significado de trabalhabilidade a facilidade de lançamento e resistência à segregação, é ser muito vago em sua definição. A noção de trabalhabilidade, portanto, é mais subjetiva que física. Bauer (1994) garantiu que o componente físico mais importante da trabalhabilidade é a consistência, porém não é apenas uma característica inerente ao concreto como a consistência, envolve também as considerações relativas a natureza da obra e aos métodos de execução adotados. Um concreto pode ser trabalhável em um caso e não ser em outro.

Devido à necessidade de o concreto possuir consistência adequada em determinadas situações, foram várias as pesquisas voltadas a encontrar um método que consiga medir a consistência de um concreto fresco, porém, esses métodos são meramente comparativos, já que não conseguem medir diretamente as propriedades fundamentais do concreto fresco. Os métodos de medição da consistência são ensaio de abatimento, de penetração, de escorregamento, compactação e remoldagem. De acordo com Neville (1997), não existe ensaio satisfatório por meio do qual se possa medir o grau de trabalhabilidade. Nenhum dos ensaios citados mede qualquer propriedade fundamental do concreto, são úteis apenas para indicar a evolução de um parâmetro que influencia nas propriedades do concreto.

3.1.2.2. CONCRETO ENDURECIDO

3.1.2.2.1. CLASSES

A classificação dos concretos se dá em grupos de resistência, grupos I e II, conforme a resistência a compressão (F_{ck}), sendo do grupo I os concretos até C50 e do grupo II concretos superiores. O C é utilizado para concretos com a massa específica entre 2000 e 2800 kg/m³, seguida do valor da resistência, de acordo com a ABNT NBR 8953 (2015).

Ainda segundo esta norma, a classe C20 ou superior, se aplica ao concreto com armadura passiva e a classe C25 ou superior ao concreto com armadura ativa. A classe C15 pode ser usada apenas em fundações e em obras provisórias.

3.1.2.2.2. RESISTÊNCIA A ABRASÃO

A resistência à abrasão é importante em superfícies sujeitas a movimentação de cargas. Para Bauer (1994), A destruição da estrutura do concreto pode ocorrer devido ao arrancamento ou ao rompimento dos agregados utilizados. Para que o concreto seja resistente à abrasão, pode-se usar agregados mais duros e com maiores grãos, a qualidade da pasta em conjunto com o agregado contribui igualmente com a resistência a abrasão. Vale lembrar que a resistência à abrasão está ligada proporcionalmente a resistência à compressão.

3.1.2.2.3. PROPRIEDADE TÉRMICAS

A condutibilidade, o calor específico, a dilatação térmica e a capacidade de resistência ao fogo são algumas das propriedades térmicas do Concreto endurecido.

A dilatação térmica tem seu coeficiente, para efeitos de análises estruturais, definido como $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$.

Segundo Bauer (1994), A estrutura de concreto pode ser submetida a temperaturas razoavelmente elevadas, porém mais ou menos estáveis, onde a elevação da temperatura ocorre de forma gradual, ou podem ser submetidas a temperaturas elevadas rapidamente alcançadas, em casos de incêndio por exemplo.

No primeiro caso, por ser algo pré-determinado no projeto, a estrutura se comporta de forma normal, exigindo-se apenas alguns cuidados. No segundo caso, por ser submetida acidentalmente a elevadas temperaturas, as estruturas podem resistir bem ou mal, depende da gravidade do acidente e das características próprias do concreto.

3.1.2.2.4. PROPRIEDADES ACÚSTICAS

O concreto, como material de construção, tem um comportamento que desempenha um papel importante como isolante ou amortecedor de energias sonoras. De acordo com Passeri (2010), quanto mais pesado, ou seja, quanto mais massa possuir o material, melhor o isolamento acústico.

3.1.2.2.5. PERMEABILIDADE

É a propriedade do concreto relacionada a porosidade, mais precisamente com a distribuição dos poros. Todo concreto é permeável, afinal, sendo um material poroso, possui diversos vazios.

Petry (2004), afirma que a permeabilidade é uma das variáveis que mais influem na durabilidade da estrutura, uma vez que a probabilidade de acontecer o início da degradação da estrutura através da penetração de fluidos agressivos através dos poros do concreto, é grande.

É possível produzir concreto com características de impermeabilidade melhores. Segundo Bauer (1994), todo fator que ajude a melhorar a resistência à compressão do concreto, será benéfico também quanto a impermeabilidade, pois, quanto maior a resistência, menos permeável é o concreto.

3.1.2.2.6. RESISTÊNCIA

A resistência à compressão simples, denominada f_c é a característica mecânica mais importante do concreto. Para determiná-la, são moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, como rege a ABNT NBR 5738 (2015), os quais são ensaiados de acordo com a ABNT NBR 5739 (2018).

De acordo com Pinheiro et al. (2010), após o ensaio de uma grande quantidade de corpos de prova, é possível fazer um gráfico através dos valores obtidos de F_c contra a quantidade de corpos de prova relativos a determinado F_c , também chamado de densidade de frequência. Através desses dados, encontra-se uma curva, denominada curva estatística de Gauss ou curva de distribuição normal para a resistência do concreto a compressão. (Figura 1).

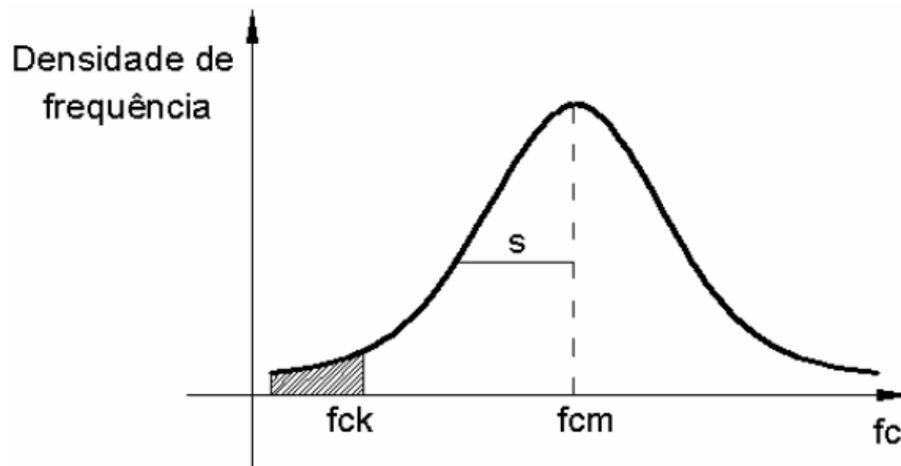


Figura 1 - Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão.
Fonte: Pinheiro et al. (2010).

Ainda segundo os autores na curva encontrada, determinam-se valores de fundamental importância que são a resistência média do concreto a compressão, f_{cm} e a resistência característica do concreto a compressão f_{ck} . Onde valor de f_{cm} é a média aritmética dos resultados de f_c e f_{ck} é determinada pela fórmula:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65s$$

Onde s é o desvio padrão que corresponde a distância entre a abscissa de f_{cm} e a do ponto de inflexão da curva.

Para Neville (1997), a resistência do concreto em uma determinada idade e submetido à cura úmida depende apenas de dois fatores: a relação água/cimento e o grau de adensamento.

3.1.2.2.7. DURABILIDADE

Petry (2004) define durabilidade como um parâmetro variável que depende tanto das estruturas do concreto quanto do ambiente. A qualidade dos materiais e algumas características do concreto, além do meio a que estão expostas as estruturas influenciam diretamente na durabilidade.

Massazza (1998) descreveu alguns fatores que afetam a durabilidade do concreto, com a composição química do cimento e agregados, microestrutura da

pasta endurecida, variações de temperatura, composição química do ar, água e solo que rodeiam a estrutura.

De fato, durabilidade das estruturas de concreto é a capacidade de manter as propriedades e o desempenho durante o seu tempo de serviço a fatores degradantes.

3.2. RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

3.2.1. HISTÓRICO

Ao contrário do que se imagina, a reciclagem de resíduos da construção não é algo tão recente e segundo relatos de Schulz e Hendricks (1992), alguns estudos comprovam que eram utilizados pelos romanos, alvenarias britadas na produção de concreto. A produção e a reciclagem de RCD's são quase tão antigas quanto o homem, afinal, desde que a construção era feita de forma artesanal eram produzidos resíduos. Marusin, citado por Ortiz (1998) afirma que os Fenícios 700 anos antes dessa era atual, já misturavam cal e ladrilhos moídos como material de construção.

Infelizmente, durante a idade moderna, os estudos científicos voltaram-se apenas para levar os resíduos gerados, para bem longe dos grandes centros. Durante muito tempo acreditou-se na inesgotabilidade dos recursos, o que gerou estudos preocupados apenas em como extrair cada vez mais recursos naturais. Devido a isso, a adoção de conceitos, técnicas e de uma postura mais sustentável por parte de todos, é algo contemporâneo.

A primeira utilização significativa de resíduos da construção e demolição a que se tem conhecimento aconteceu apenas após a segunda guerra mundial, ao reaproveitarem o RCD como matéria prima na reconstrução da Europa. Algumas cidades foram total ou parcialmente destruídas, o que gerou milhares de escombros espalhados pelas ruas. Unindo isso, a alguns fatores como, a necessidade de dar destino ao enorme contingente de entulhos, a falta de matéria-prima e a urgência de reconstrução das cidades, os países europeus acabaram fazendo uma reutilização parcial desses resíduos.

Com o fim da Segunda Grande Guerra a quantidade de entulhos nas cidades alemãs era de aproximadamente 400 a 600 milhões de metros cúbicos. As estações de reciclagem produziram cerca de 11,5 milhões de metros cúbicos de agregado

reciclado de alvenaria e 17500 unidades foram construídas (HELLER, citado por SCHULZ e HENDRICKS, 1992).

De acordo com o Shanghai manual (2010), os resíduos da construção civil, representam cerca de 20 a 30% do fluxo de resíduos sólidos gerados pelas cidades em países desenvolvidos. Conforme Pinto (2005), nas Cidades brasileiras o RCD representa de 41 a 70% da massa total de resíduos sólidos. Através dos dados citados, é possível observar que a produção de RCD é enorme. Segundo John, Citado por Santos (2009), a geração de RCD é anterior ao início de qualquer obra ou serviço, se observarmos que a produção de insumos para a construção civil, além de consumir recursos naturais também gera resíduos.

Há alguns anos a construção civil no Brasil, já reaproveita resíduos industriais, como exemplos estão as escórias de alto forno utilizadas na fabricação do cimento Portland composto. Porém, a reciclagem de RCD é um pouco mais atual, o primeiro estudo para a utilização de resíduos da construção e demolição foi concluído em 1986, pelo arquiteto Tarcísio de Paula Pinto. Sua pesquisa constituiu em utilizar os materiais reciclados na produção de argamassa. (PINTO, 1986). A reciclagem teve seu início no Brasil em 1991, no Município de Belo Horizonte, onde foi implantada a primeira estação de tratamento e reciclagem desses materiais.

3.2.2. DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

A Resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) define Resíduos da Construção e Demolição como:

(...)provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha;(Brasil,2002,p.1).

De forma Simplificada, é possível definir Resíduos da construção e demolição, como qualquer resíduo advindo de construções, reparos, reformas, demolições de estruturas e estradas.

De acordo com Leite (2001), A classificação dos Resíduos Sólidos, se dá pelo ponto de vista do risco ambiental que eles provocam, para que possam sofrer o correto destino e manuseio. A norma que é responsável pela classificação dos resíduos sólidos no Brasil é a ABNT NBR 10004(2004) – “Resíduos Sólidos – Classificação”. Essa norma classifica os resíduos como Perigosos e Não perigosos, possuindo uma subclassificação dentro da classificação dos não perigosos, podendo ser inertes ou não inertes.

Assim, fica entendido que o RCD é classificado como II-B, ou seja, não perigoso e inerte, por não possuírem componentes mineiras poluentes e serem praticamente inertes quimicamente.

Porém, para Zordan (2000), o resíduo da construção, a depender da sua origem e dos seus materiais constituintes, pode estar inserido em qualquer classe. Isto se deve ao fato de que os RCD's são materiais grandes e pesados, que quando depositados de forma incorreta, se tornam verdadeiros focos de depósitos de entulhos e lixos. Além disso, os resíduos da construção podem estar ligados a materiais de pinturas, a substâncias de tratamento de superfície, metais pesados e etc, que podem contaminar os solos através da percolação.

3.2.3. USO DO RESÍDUO DE DEMOLIÇÃO E CONSTRUÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETO

A busca pela obtenção de concretos mais resistentes e com maior durabilidade tem conduzido cada vez mais os estudos, a se aprofundarem nas propriedades dos agregados. Assim, além de função econômica, os agregados passam a ter um papel que pode influenciar a trabalhabilidade, a resistência e a durabilidade do concreto.

De acordo com Mehta e Monteiro (1991), as características mais importantes a serem estudadas para a utilização de agregados em concretos estão a granulometria, absorção de água, a forma e a textura, a resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias presentes nos materiais.

Quando se estuda as propriedades dos agregados, todos esses fatores devem ser levados em consideração, principalmente quando se trata do estudo de materiais novos, como é o caso do agregado obtido através da reciclagem de resíduos.

Quebaud e Buyle-Bodin (1999), afirmam que os agregados reciclados apresentam características muito específicas, assim, sua caracterização depende do tipo de material que chega as centrais de processamento e do tipo de processo utilizados nos mesmos.

Com base em tal afirmação entende-se que uma das maiores dificuldades em se usar agregado reciclado se dá pelo fato de os materiais que chegam às estações de reciclagens, serem bastante heterogêneos. Barra (1997) apresenta também, a menor resistência e a maior porosidade desses materiais, unida à heterogeneidade, como as principais diferenças entre agregados reciclados e agregados naturais.

Somente uma caracterização regularizada de agregados produzidos através de RCD's permitirá a obtenção de uma melhor propagação em seu uso em concretos. Conhecer bem o comportamento do material reciclado dentro das misturas de concreto conduzirá a produtos de melhor qualidade, podendo assim, evoluir para o reaproveitamento completo de resíduos.

3.2.4. PROPRIEDADES DO CONCRETO RECICLADO

3.2.4.1. MASSA ESPECÍFICA

Devido a menor massa específica dos agregados reciclados e da existência de um total menor de vazios, conclui-se que a massa específica do concreto reciclado tende a ser menor que a do concreto convencional. Devido aos agregados reciclados influírem diretamente a massa específica da mistura, que Bazuco (1999) acabou caracterizando o concreto reciclado como um concreto intermedial entre os concretos leves e convencionais.

Segundo Kikuchi et al. (1993) é relevante explicar que ocorre uma diminuição gradativa da massa específica do concreto com agregados reciclados à medida que a proporção de substituição do agregado natural por agregado reciclado aumenta. Da mesma maneira, o ar incorporado ao concreto aumenta à medida que o teor de substituição aumenta em consequência do ar incorporado ao concreto reciclado.

Segundo Levy (1997), pode ocorrer uma redução de 5 a 10% na massa específica, devido ao ar incorporado.

Devenny e Khalaf (1999), afirmaram que concretos produzidos com agregado graúdo de tijolos cerâmicos britados concederam valores de massa específica de 13 a 15% se comparados ao concreto convencional produzido para referência. Os autores encontraram também uma relação entre a densidade e a resistência, observando que o aumento na densidade dos concretos provoca um aumento de resistência a compressão.

Segundo Leite (2001) vale lembrar que a composição dos resíduos utilizados influencia no valor da massa específica, já que quanto mais densos, maior vai ser a sua massa específica.

3.2.4.2. TRABALHABILIDADE DO CONCRETO RECICLADO

Existe uma unanimidade entre os autores a afirmação de que concretos com agregados reciclados apresentam menor índice de consistência que os concretos executados com agregados naturais do mesmo traço. A justificativa dada é que o material reciclado possui uma maior porosidade o que acaba ocasionando um aumento na absorção da água por parte dos agregados reciclados, diminuindo assim, a água livre pra mistura.

Além da absorção da água, Vries, citado por Bazuco (1999), afirma que a forma dos agregados reciclados também interfere na trabalhabilidade, desse modo, por serem mais angulares, possuem uma menor trabalhabilidade. Em complemento a essa afirmação Rashwan e Abourizk (1997), explicam que a quantidade de água existente não é o principal fator que influencia a trabalhabilidade e sim as formas e texturas superficiais dos agregados reciclados, pois essas características proporcionam um maior travamento das misturas de concreto, dificultando a mobilidade das partículas, necessitando assim de uma maior quantidade da pasta para vencer a barreira.

Em contrapartida, Hansen (1992), afirma que utilizando somente agregado graúdo é utilizado, existe apenas uma pequena diferença na trabalhabilidade do concreto reciclado e do convencional. Em concordância, Schulz e Hendricks (1992) explicam que concretos de alvenaria britada podem ser produzidos com todo tipo de

consistência, desde que os tijolos ou blocos provenientes de alvenaria apresentem uma maior densidade, ou seja, sejam menos porosos.

Hansen e Narud (1983) compararam concretos produzidos com agregados reciclados com concretos produzidos com agregados naturais e concluíram que os concretos reciclados necessitam de 5% a mais de água livre para que assim, atinja os mesmos índices de consistência dos convencionais. Além disso, perceberam também que existe uma maior coesão entre as partículas de agregados reciclados e que a perda de abatimento no concreto reciclado acontece mais rapidamente. Devido a superfície áspera característica dos agregados reciclados, estes, apresentam um maior atrito, o que justifica o fato de os concretos reciclados serem mais coesos.

Mansur (1999), avaliou 4 traços de concreto, com substituição total de agregado gráudo natural por agregado gráudo reciclado, os traços foram definidos com as seguintes relações água/cimento, 0,3; 0,4; 0,5 e 0,6. Para a produção do concreto os agregados foram imersos na água por 24 horas, para que assim, absorvesse uma quantidade de água com o intuito de na hora da mistura, houvesse uma porcentagem maior de água livre. Por fim, a trabalhabilidade das misturas foram medidas pelo método de abatimento do tronco de cone, cujos resultados se encontram na Tabela 3.

Tabela 3 – Trabalhabilidade das misturas de concreto.

Abatimento (mm)				
Tipo do concreto	Relação a/c			
	0,3	0,4	0,5	0,6
Referência	116	107	91	34
Reciclado	95	82	51	22

Fonte: Adaptada de Mansur et al. (1999).

Com base nos resultados da Tabela 1, é possível observar que apesar da absorção de água, por parte dos agregados reciclados, terem sido compensados pela submersão durante 24 horas, os concretos reciclados ainda apresentaram uma menor trabalhabilidade se comparado ao concreto convencional.

Observa-se que ainda não existe um parâmetro único que norteie a produção de concreto com o uso de agregados reciclados, muito menos, algum que consiga medir a trabalhabilidade de forma convincente. Assim, percebe-se que

trabalhabilidade merece uma atenção maior dos estudiosos, para que possamos caracterizá-la mais a fundo.

3.2.4.3. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Hansen (1992) menciona estudos onde se encontraram valores de resistência à compressão de concretos com agregados graúdos reciclados de 5 a 20% mais baixos que os valores de resistência dos concretos de referência.

Já Charius et al., citados por Schulz e Hendricks (1992), encontraram um aumento de resistência à compressão de concretos com agregado graúdo obtido através de tijolos britados. Os autores consideraram a atividade pozolânica das partículas como fator que pudesse explicar tal aumento.

Machado et al. (1998) afirmam que a taxa de absorção do agregado reciclado pode diminuir o teor de água livre no concreto quando o mesmo é utilizado seco, e assim haverá aumento de resistência à compressão. O agregado reciclado por ser mais poroso absorve mais água que o agregado natural, tal absorção acarreta na diminuição do fator água/cimento, como foi estudado por Mansur (1999) e citado no tópico 3.2.4.2. (Trabalhabilidade do concreto reciclado). O que pode ocasionar junto a outros fatores, um aumento de resistência, já que geralmente quanto menor o fator água/cimento maior a resistência e menor é a trabalhabilidade.

Topçu e Gunçan (1995) substituíram proporções de 0, 30, 50, 70 e 100% de agregados naturais por reciclados de concreto para a produção de novos concretos e encontraram uma redução de até 80% da resistência a medida que a porcentagem de substituição aumentava.

Desse modo, Bazuco (1998) afirma que fatores como as propriedades dos agregados reciclados utilizados, o teor de substituição e os níveis de resistência utilizados, devem ser levados em consideração.

Diante dos resultados encontrados, é possível perceber a existência de inúmeras pesquisas voltadas para a substituição de agregados naturais por agregados reciclados, porém existiu uma dificuldade em apontar um parâmetro como sendo o padrão para o estudo de agregados reciclados, já que não foi possível detectar um comportamento correto para trabalhar com agregados reciclados em concreto. Segundo Leite (2001) esse fato é atribuído à dificuldade de avaliar quais parâmetros foram tomados como constantes em cada estudo. Além da grande

variedade de materiais que podem ser reciclados e foram avaliados em cada pesquisa.

3.3. IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS A CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Brasileiro e Matos (2015), os impactos ecológicos não eram considerados nas sociedades primitivas, pois a produção de resíduos era pequena e a assimilação a natureza era grande.

Com o Início da revolução industrial, ao final do século XVIII e início do século XIX, houve um forte processo de urbanização, pois com as indústrias se instalando nos grandes centros urbanos, milhares de trabalhadores foram atraídos, fazendo com que muitas famílias deixassem o trabalho na zona rural para viver nas cidades. Processo esse que ficou conhecido como êxodo rural.

Este fato acabou gerando grandes aglomerados humanos, que passaram a consumir mais energia, alimento e espaço. Com o despreparo das cidades para receber tamanhos contingentes de pessoas, os centros urbanos começaram um crescimento de forma desenfreada, tornando as cidades sujas e sem saneamento. Esse crescimento instantâneo originou diversos problemas de urbanização, como o abastecimento de água, canalização dos esgotos, modernização das estradas, fornecimento de energia, construções habitacionais, construções de escolas, hospitais, entre outros.

A indústria da construção civil é a atividade humana com maior impacto sobre o meio ambiente, de acordo com Brasileiro e Matos (2015) estima-se que 50% dos recursos naturais extraídos estão relacionados a alguma atividade da construção. Assim, fica impossível imaginar que é possível alcançar o desenvolvimento sustentável, sem que a indústria construtiva se torne igualmente sustentável.

São muitos os impactos causados pela construção civil, na execução de uma obra, as mudanças de solos, a extração de recursos naturais para a produção de insumos, o grande consumo de energia, a obtenção de resíduos devido ao desperdício e ao não reaproveitamento de materiais, são apenas alguns dos exemplos da capacidade poluente do setor construtivo no mundo.

Somente após o desenvolvimento tecnológico que o homem passou a se preocupar com a estabilidade do Planeta. A partir dessa comprovação, começaram a aparecer as primeiras preocupações em relação ao aquecimento global, buraco na

camada de ozônio, chuvas ácidas, poluição do ar, consumo desenfreado de energias não renováveis, geração de resíduos, consumos de recursos naturais, entre outros. Assim, surgiu o termo desenvolvimento sustentável.

À vista disso, desenvolvimento sustentável passa a ser definido como “O desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. É o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro.” Essa definição surgiu na Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada pelas Nações Unidas para discutir e propor meios de harmonizar o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Descreve-se neste capítulo todo o procedimento da metodologia aplicada neste trabalho para se chegar as características do concreto produzido através da substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado.

Para a execução e realização do referido trabalho, foi realizado um estudo teórico, prosseguido de procedimentos experimentais realizados no CTEA – Centro de tecnologia de Engenharia e Arquitetura, na Universidade Tiradentes. Para que o objetivo principal fosse atingido, foram realizadas pesquisas Bibliográficas fundamentadas em teorias comprovadas e efetivadas de diversos autores voltadas ao estudo do concreto reciclado, e em laboratório foram executados 5 traços de concreto, dentre eles um concreto convencional, utilizado como referência, e o restante com substituição parcial de agregado graúdo natural por agregado graúdo obtido através da britagem de resíduos da construção. Foram utilizadas neste trabalho as porcentagens de substituição de 6,25%; 12,5%; 18,75% e 25%.

Para que as resultâncias fossem as melhores possíveis, foram confeccionados 60 corpos de prova, 12 para cada porcentagem, sendo estes submetidos a tempos de cura de 7, 14 e 28 dias, para que assim, fosse possível observar a curva de crescimento de resistência.

Os materiais reciclados utilizados para a realização do referido trabalho, foram os blocos cerâmicos, coletados na cidade de Itabaiana/SE, os quais foram separados, britados e classificados através de ensaios laboratoriais.

O Agregado Miúdo utilizado foi a areia quartzosa originária do Município de Itabaiana/SE. O Material foi previamente seco ao natural e peneirado na malha de 4,8mm, sendo rigorosamente retirada toda a fração retida.

Como Agregado Graúdo, foi utilizado a Brita Granítica 1, possuindo diâmetros de 9,5mm a 19mm, disposta no laboratório de realização do experimento. O Material foi lavado e inspecionado para a retirada do material pulverulento e subsequentemente posto pra secar ao natural.

O aglomerante utilizado foi o Cimento Portland de alta resistência inicial, do tipo CP V ARI MAX. Tal escolha tem por finalidade obter uma maior lealdade aos resultados em relação a metodologia utilizada, além da necessidade de desmolde com 24 horas. Esse cimento proporciona diversas melhorias ao processo, sendo estas: uma maior pureza nos corpos, a melhoria no desenvolvimento da secagem,

onde está ocorrendo de forma mais rápida propiciando a elevação da resistência inicial, fazendo que se atinja o padrão de altas resistências em menos tempo, possibilitando assim a desforma em um menor período.

Os materiais utilizados para a confecção do concreto estão dispostos na Figura 2.



Figura 2 - Materiais para confecção do concreto convencional.
Fonte: O autor (2018).

Para o atendimento dos objetivos, o presente trabalho foi realizado em 3 etapas distintas:

- I. Caracterização dos Resíduos de Construção Civil;
- II. Procedimento experimental, com relação de ensaios específicos para se chegar ao abatimento e à resistência à compressão dos corpos de prova de concreto com adição de RCD;
- III. Análise dos resultados obtidos através de análise de variância, seguido do teste de Tukey;

A fim de ter os objetivos atingidos, ensaiou-se os corpos de prova cilíndricos de concreto com a utilização de RCD e analisou-se os resultados. As normas de referência para a realização dos estudos experimentais foram:

- **NBR 5738/2015** – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;
- **NBR 5739/2018** – Concreto – Ensaio a compressão de corpos de prova cilíndricos;
- **NBR NM 67/1998** – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

Para que se chegasse a uma comparação entre concretos com diferentes porcentagens de RCD e o concreto convencional, utilizou-se 5 traços, apresentados na (Tabela X) a seguir:

Tabela 4 - Porcentagem de RCD por traço.

Traço	Teor de substituição de agregado graúdo por RCD (%)
T0	0
T1	6,25
T2	12,5
T3	18,75
T4	25

Fonte: O autor (2018).

A seguir, descrevem-se os materiais e equipamentos utilizados para a realização de cada ensaio.

- Equipamentos usados para a Caracterização do RCD.

Foi utilizado o Britador de Mandíbula para laboratório I-4198, da marca Pavitest, com granulometria de alimentação de 1 1/2" e abertura na entrada de 120x190mm, com capacidade de 500kg/h garantindo máxima produção. Dispõe sistema simples e rápido de abertura da mandíbula, proporcionando regulagem eficiente para obtenção de granulometrias diversas. As peneiras são fabricadas pela Solocap com caixilho e latão e malha inoxidável, com abertura variada das malhas, seguindo a norma ABNT NBR NM ISO 3310 – 1 (2010).

O peneirador eletromagnético utilizado foi o I-1016-A fabricado pela empresa Pavitest, com capacidade para 8 peneiras de diâmetro 8x2 ou 17 peneiras de

diâmetro 8x1, possuindo ainda um relógio marcador de tempo e variador de velocidade.

- Equipamentos usados para o ensaio de abatimento do tronco de cone.

A placa de base metálica tem objetivo de apoiar o molde, ela é plana e pode ser encontrada em forma quadrada ou retangular, a utilizada é quadrada com dimensões e 50x50cm, a haste metálica ou haste de compactação serve para compactar o concreto dentro do tronco, os golpes são deferidos utilizando ela, possui uma seção circular e é feita de aço ou de outro material adequado, foi utilizado para realizar o experimento uma haste com 16 mm de diâmetro, o molda para abatimento do tronco, tem forma de cone e é feito com um metal que possua a menor aderência possível ao concreto, com 50 cm de altura, 10 cm de diâmetro superior e 20 cm de diâmetro inferior, além desses materiais foram utilizados uma concha, uma colher de pedreiro e uma trena.

- Equipamentos utilizados para o ensaio da resistência a compressão

Para o ensaio de resistência a compressão foi utilizada o retificador de corpo de prova cilíndrico de concreto da marca Pavitest, modelo I-3064, para que a superfície dos corpos de prova fosse limpa através de um disco adiamantado, retirando assim suas irregularidades. A máquina possui diâmetros de concreto de Ø10x20cm ou Ø15x30cm, de argamassas Ø5x10cm, ou materiais rochosos nos respectivos diâmetros.

A prensa utilizada foi a I-3025-B Prensa Elétrica 100T, digital, seu sistema de leitura possui memória de carga máxima de 4 dígitos e resolução de 10Kgf, foram utilizadas também formas metálicas cilíndricas com dimensões de 10x20cm.

4.1. CARACTERÍSTICAS LOCAIS

O presente trabalho foi conduzido em laboratório no Centro de Tecnologia de Engenharia e Arquitetura, situado na Universidade Tiradentes, no município de Aracaju - SE. O laboratório é bem equipado, possuindo desde as peneiras, para a

realização dos ensaios granulométricos até a prensa hidráulica, através da última foram determinadas as resistências dos corpos de prova cilíndricos.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO RCD

Inicialmente foram coletados os resíduos por vias autorizadas em uma obra de demolição no município de Itabaiana/SE. Após esta obtenção, o material foi encaminhado ao o laboratório, onde foi realizado o seu aprimoramento, juntamente com a verificação da parte a ser utilizada. Assim, realizou-se a separação da parte cerâmica dos demais resíduos, pois somente esta foi aproveitada em forma de substituição parcial no agregado graúdo. O material foi triturado por meio de um britador de mandíbula e, por seguinte, passou por um peneiramento onde foram utilizados os elementos que pertenciam à faixa granulométrica de 9,5 mm a 19 mm. Diferente do Agregado Graúdo Natural, para que não houvesse erros e a efetivação deste trabalho chegasse a seu apogeu mais adiante, o RCD não pode ser lavado para que assim não ocorresse a sua desagregação. Deste modo, o RCD foi usado exatamente como saiu do peneiramento. (Figura 3 e 4).



Figura 3 - Amostra do material coletado.
Fonte: O autor (2018).



Figura 4 - Britador de mandíbula utilizado para triturar o material separado.
Fonte: O autor (2018).

4.3. ENSAIO GRANULOMÉTRICO

Para a constituição do presente trabalho, se faz necessário conhecer os materiais que serão utilizados, desse modo, foram realizados ensaios com o intuito de identificar as características dos agregados graúdos e miúdos naturais e os agregados graúdos reciclados. As Normas que nortearam estes ensaios foram a ABNT NBR NM 248 (2003) e ABNT NBR 7211 (2009), conduzindo os ensaios de granulometria dos materiais, para que fosse possível identificar as composições granulométricas e características de cada agregado.

Os materiais foram coletados, pesados e espalhados em bandejas, para em seguida serem encaminhados para uma estufa a fim de realizar o processo de secagem. Após esse tempo, foram retirados os materiais para resfriamento, para pôr seguinte, ser realizado o ensaio.

As peneiras utilizadas foram previamente limpas e encaixadas de forma que as aberturas das malhas estivessem em ordem decrescente do topo até a base, posteriormente, com o auxílio de um agitador de peneiras, e após a amostra ser colocada no topo das peneiras, o material é submetido a uma agitação mecânica durante um tempo satisfatório, fazendo com que os materiais fossem peneirados e

caracterizados. Através desse ensaio, é possível determinar o módulo de finura e a granulometria dos agregados. (Figura 5).



Figura 5 - Agitador de peneiras.
Fonte: O autor (2018).



Figura 6 – RCD triturado e separado granulometricamente.
Fonte: O autor (2018).

4.4. TRAÇOS UTILIZADOS PARA O CONCRETO COM RCD

O traço de referência utilizado na confecção do concreto foi obtido através da metodologia de Barbosa e Bastos (2008), os autores realizaram um estudo em relação às dosagens utilizadas em pequenas obras e através dos resultados do estudo elaboraram uma tabela com diversos traços de concretos para diferentes tipos de cimentos e resistências esperadas em 28 dias. (Tabela 5).

Tabela 5 – Traços de concreto com cimento CP V – ARI.

Resistência de Dosagem Esperada (Mpa) na Idade (dias)				Traço em massa								
				Para 1kg de cimento				Para 1 metro cúbico				
1	3	7	28	Areia (kg)	Pedra (kg)	a/c	Aditivo (%) ⁽¹⁾	Cimento (kg)	Areia (kg)	Pedra (kg)	Água (kg)	Aditivo (kg)
3	9	11	15	4,13	3,87	0,9	1,5	225	929	871	203	3,4
5	12	16	20	3,45	3,35	0,75		265	914	888	199	4
10	18	22	25	2,9	2,95	0,65		306	887	903	199	4,6
13	23	26	30	2,59	2,71	0,59		337	873	913	199	5,1
14	26	30	35	2,31	2,49	0,54		371	857	924	200	5,6
16	28	34	40	2,02	2,28	0,51		408	824	930	208	6,1
18	30	36	45	1,79	2,11	0,48		444	795	937	213	6,7
20	32	40	50	1,57	1,94	0,44		487	765	945	214	7,3

⁽¹⁾ sobre a massa de cimento. *Linha em azul: traço utilizado.

Fonte: Barboza; Bastos (2008, p.5).

A tabela 6 a seguir, representa a composição para cada traço, vale salientar que para esse estudo, utilizou-se 4 porcentagens de substituição de agregado graúdo por RCD e que a representação de cada traço foi encontrada com base no traço de referência.

Tabela 6 – Dosagem utilizada.

Traço	% de RCD	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	RCD (kg)	Água (kg)
T0	0	9,026	23,381	24,452	0	5,33
T1	6,25	9,026	23,381	22,924	1,528	5,33
T2	12,5	9,026	23,381	21,396	3,057	5,33
T3	18,75	9,026	23,381	19,867	4,585	5,33
T4	25	9,026	23,381	18,339	6,113	5,33

Fonte: O autor (2018).

A escolha destas porcentagens deu-se pela existência de um estudo anterior feito por Fernandes (2015), onde foi possível perceber que até 25% o concreto se comportava de forma satisfatória para a resistência a compressão, portanto foram definidos os teores de substituição tendo o concreto referência com adição de 0%, o De 25% como o de maior porcentagem e 3 porcentagens intermediárias.

4.5. PREPARO DO CONCRETO

Definido o traço, após o conhecimento das quantidades de cada material, foram calculados o volume da fôrma de corpo de prova afim de obter o volume necessário para se fazer 12 moldagens, já que para cada traço foram feitos 12 corpos de prova, depois de obtida tais quantidades, os materiais foram separados e pesados com o intuito de facilitar durante a mistura.

Foi utilizada uma betoneira Prime 120L, da marca Menegotti, conforme Figura 6, tornando o processo de mistura mais rápido. Inicialmente foi colocada uma parte da água no equipamento já ligado, e acrescentou-se de forma gradual os agregados, em seguida foi adicionado o cimento, para que obtivesse uma melhor homogeneidade entre os materiais, por último, foi adicionado o restante da água. Depois de os materiais se tornarem homogêneos, a betoneira foi desligada e o concreto estava pronto para os próximos testes.



Figura 7 - Betoneira e preparo do concreto.
Fonte: O autor (2018).

O processo de preparo do concreto aconteceu de forma igual, tanto para o concreto convencional como para o concreto com adição de RCD. A diferença foi na quantidade de Brita 1 utilizada, já que houve uma diminuição gradual, a medida que acrescentava-se o RCD britado.

4.6. ENSAIO DE CONSISTÊNCIA

Para o ensaio de consistência do concreto (Slump Test), o primeiro passo foi umedecer e limpar a parte interna do molde, com o intuito de garantir que o mesmo estivesse livre de sujeiras. Em seguida o molde foi colocado com a menor abertura voltada para cima sobre a placa base, a qual também foi limpa e umedecida, com o uso dos pés o molde foi preso na placa base e posteriormente se fez o seu preenchimento com o concreto pronto.

O preenchimento do molde de ensaio é feito em três camadas de volumes aproximadamente iguais, sendo as mesmas, adensadas com 25 golpes uniformemente distribuídos com o uso de uma haste metálica, sem que a haste atinja a camada inferior. A primeira camada deve ter aproximadamente 7 cm de altura, a segunda 16 cm de altura e a última deve preencher completamente o molde. Ao final do preenchimento é retirado o complemento de enchimento do molde e rasada a superfície.

Para finalizar, o molde é levantado, com uma velocidade constante, uniforme e com duração de 5 a 10 segundos, ao ser retirado é colocado ao lado da amostra, para que se medisse a altura de diferença entre a amostra e a haste que estará apoiada verticalmente no molde. Todas as etapas foram feitas tendo como norte a ABNT NBR NM 67 (1998).

4.7. MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA

Após o preparo do concreto e a verificação da uniformidade do mesmo, realizou-se o slump test para verificação do seu abatimento. A posteriori efetivou-se a moldagem, onde foram utilizados moldes cilíndricos metálicos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura.

Seguindo a ABNT NBR 5738 (2015), por se tratar de um molde cilíndrico, com as dimensões já explicitadas anteriormente e com um adensamento manual. Para se iniciar o processo de moldagem, aplicou-se uma camada de desmoldante nas faces internas dos moldes e verificou-se o fechamento e a vedação dos mesmos. O concreto foi colocado dentro dos moldes em duas camadas de altura aproximadamente iguais, a cada camada se fez o adensamento com 12 golpes uniformemente distribuídos em toda a seção.

A última camada foi colocada em excesso para que as formas fossem preenchidas em toda a sua totalidade, após adensado, rasou-se a superfície com a colher de pedreiro e armazenou-se os corpos de prova em uma superfície plana por 24 horas.

Para o total detalhamento, foram moldados 60 corpos de prova, sendo 12 convencionais, sem acréscimo de RCD. 12 com 6,25% de adição de RCD, 12 com 12,50% de adição, 12 com 18,75% de adição e 12 com 25% de adição. Essa adição foi em prol da substituição ao agregado graúdo. Os corpos de prova foram separados em 3 grupos iguais, cada um possuindo 4 corpos de cada porcentagem, que representa os rompimentos em 7, 14 e 28 dias. (Figura 7).



Figura 8 - Corpos de provas já moldados.
Fonte: O autor (2018).

A moldagem foi realizada no dia 4 de Setembro de 2018 e a desmoldagem foi realizada após 24 horas. Após esse tempo foi feito o desmolde, a identificação e em seguida os corpos de prova foram submersos em um tanque contendo água para que se pudesse fazer a cura, como se pode observar na Figura (8).

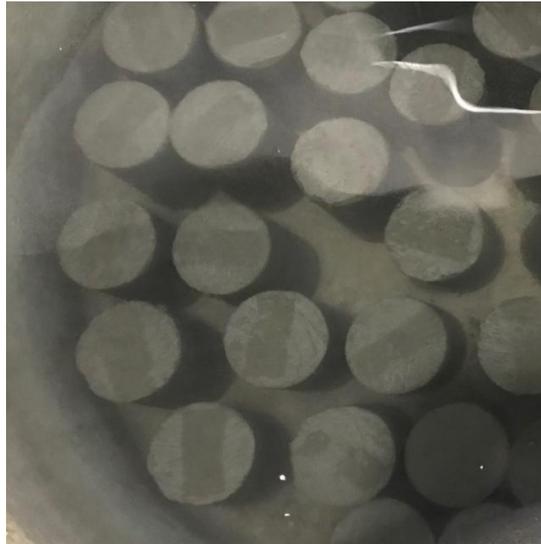


Figura 9 - Corpos de prova armazenados em tanque com água.
Fonte: O autor (2018).

4.8. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Para o ensaio de resistência a compressão, os corpos de prova foram colocados na máquina retificadora, a fim de deixar as bases lisas e planas para que os mesmos pudessem ser apoiados de forma correta na prensa. (Figura 9).



Figura 10 - Retificação do corpo de prova.
Fonte: O autor (2108).

Depois de nivelar as bases do corpo de prova, foram feitas as limpezas dos pratos da máquina. Para que todo o processo fosse alvo de melhorias e possuísse a total efetivação, principalmente a parte do rompimento já que a resistência a compressão é a principal propriedade do concreto, foi utilizada uma prensa elétrica.

As amostras foram posicionadas de modo que a resultante das forças passasse pelo seu centro, ou seja, o eixo das amostras coincidindo com o da máquina. A carga é aplicada de forma contínua no corpo de prova até haver uma queda da mesma, assim que ocorre a ruptura dos corpos. Em seguida verificou-se o valor máximo obtido, em toneladas, para o rompimento e calculou-se sua resistência na unidade desejada. Vale destacar que todos os corpos de prova passaram por esses testes. (Figura 10).



Figura 11 - Rompimento dos corpos de prova.
Fonte: O autor (2018).

Os rompimentos ocorreram em 3 diferentes dias, foram eles: 11 de Setembro, 18 de Setembro e 02 de Outubro, todos no ano de 2018, representando, respectivamente, 7, 14 e 28 dias após a moldagem dos mesmos. Os ensaios de rompimento foram feitos de acordo com o que rege a ABNT NBR 5739 (2018).

Por último, foi realizada uma análise de variância, através do teste F, para a verificação dos efeitos significativos dos fatores estudados, percentual de RCD e resistência a esforços mecânicos de compressão, em seguida foi executado o teste de Tukey para comparação entre as médias dos tratamentos estudados, logo após foi elaborado uma análise de regressão para todos os tratamentos, os experimentos citados acima obtiveram resultados expressivos. Foi utilizado para a determinação desses testes o programa Assistat. (SILVA e AZEVEDO, 2016).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ENSAIO GRANULOMÉTRICO

Os ensaios granulométricos foram realizados para todos os agregados utilizados na constituição do concreto, verificando a sua composição e classificando-o, conforme especificação da ABNT NBR NM 248 (2003). (Tabelas de 7 a 9).

Tabela 7 – Análise granulométrica do agregado miúdo.

Peneiração da Amostra Total (Areia)				
Peneiras (mm)	Material Retido			% Que passa da Amostra Total
	Peso (g)	% Amostra Total	% Acumulada	
37,5	0,0	0,00	0,00	100,00
31,5	0,0	0,00	0,00	100,00
25	0,0	0,00	0,00	100,00
19	0,0	0,00	0,00	100,00
12,5	0,0	0,00	0,00	100,00
9,5	0,0	0,00	0,00	100,00
6,3	0	0,00	0,00	100,00
4,75	0	0,00	0,00	100,00
2,36	18,2	1,26	1,26	98,74
1,18	106,6	7,39	8,65	91,35
0,6	552,3	38,27	46,92	53,08
0,3	600,5	41,61	88,54	11,46
0,15	112,7	7,81	96,35	3,65
Fundo	52,7	3,65	100,00	0,00

Fonte: O autor (2018).

Tabela 8 – Análise granulométrica do agregado graúdo.

Peneiração da Amostra Total (Brita 1)				
Peneiras (mm)	Material Retido			% Que passa da Amostra Total
	Peso (g)	% Amostra Total	% Acumulada	
37,5	0,0	0,00	0,00	100,00
31,5	0,0	0,00	0,00	100,00
25	0,0	0,00	0,00	100,00
19	180,4	14,14	14,14	85,86
12,5	980,1	76,85	90,99	9,01
9,5	103,4	8,11	99,10	0,90
6,3	10,1	0,79	99,89	0,11
4,75	0,7	0,05	99,95	0,05
2,36	0,7	0,05	100,00	0,00
1,18	0,0	0,00	100,00	0,00
0,6	0,0	0,00	100,00	0,00
0,3	0,0	0,00	100,00	0,00
0,15	0,0	0,00	100,00	0,00
Fundo	0,0	0,00	100,00	0,00

Fonte: O autor (2018).

Tabela 9 – Análise granulométrica do RCD.

Peneiração da Amostra Total (RCD)				
Peneiras (mm)	Material Retido			% Que passa da Amostra Total
	Peso (g)	% Amostra Total	% Acumulada	
37,5	0,0	0,00	0,00	100,00
31,5	0,0	0,00	0,00	100,00
25	10,8	0,58	0,58	99,42
19	134,8	7,25	7,83	92,17
12,5	778,7	41,86	49,69	50,31
9,5	461,3	24,80	74,49	25,51
6,3	222,2	11,94	86,43	13,57
4,75	69,6	3,74	90,17	9,83
2,36	75,1	4,04	94,21	5,79
1,18	46,2	2,48	96,69	3,31
0,6	24,1	1,30	97,99	2,01
0,3	16,7	0,90	98,89	1,11
0,15	15,5	0,83	99,72	0,28
Fundo	5,2	0,28	100,00	0,00

Fonte: O autor (2018).

Conforme ABNT NBR 7211 (2009), a os agregados miúdos devem atender aos limites determinados pela Tabela 10. Caso esteja fora do limite, deve ser realizado um estudo prévio de dosagem comprovando a sua aplicabilidade. Já os agregados graúdos devem seguir os limites fornecidos pela Tabela 11.

Tabela 10 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
0,6 mm	15	35	55	70
0,3 mm	50	65	85	95
0,15 mm	85	90	95	100

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7211 (2009).

Tabela 11 – Limites da composição granulométrica do agregado graúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 - 5
63 mm	-	-	-	-	5 - 30
50 mm	-	-	-	0 - 5	75 - 100
37,5 mm	-	-	-	5 - 30	90 - 100
31,5 mm	-	-	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25 mm	-	0 - 5	5 - 25	87 - 100	-
19 mm	-	2 - 15	65 - 95	95 - 100	-
12,5 mm	0 - 5	40 - 65	92 - 100	-	-
9,5 mm	2 - 15	80 - 100	95 - 100	-	-
6,3 mm	40 - 65	92 - 100	-	-	-
4,75 mm	80 - 100	95 - 100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 7211 (2009).

Nas Figuras 11, 12 e 13 a seguir serão apresentadas as curvas granulométricas respectivas de cada agregado contendo as suas respectivas limitações conforme estabelecidas pela ABNT NBR 7211 (2009).

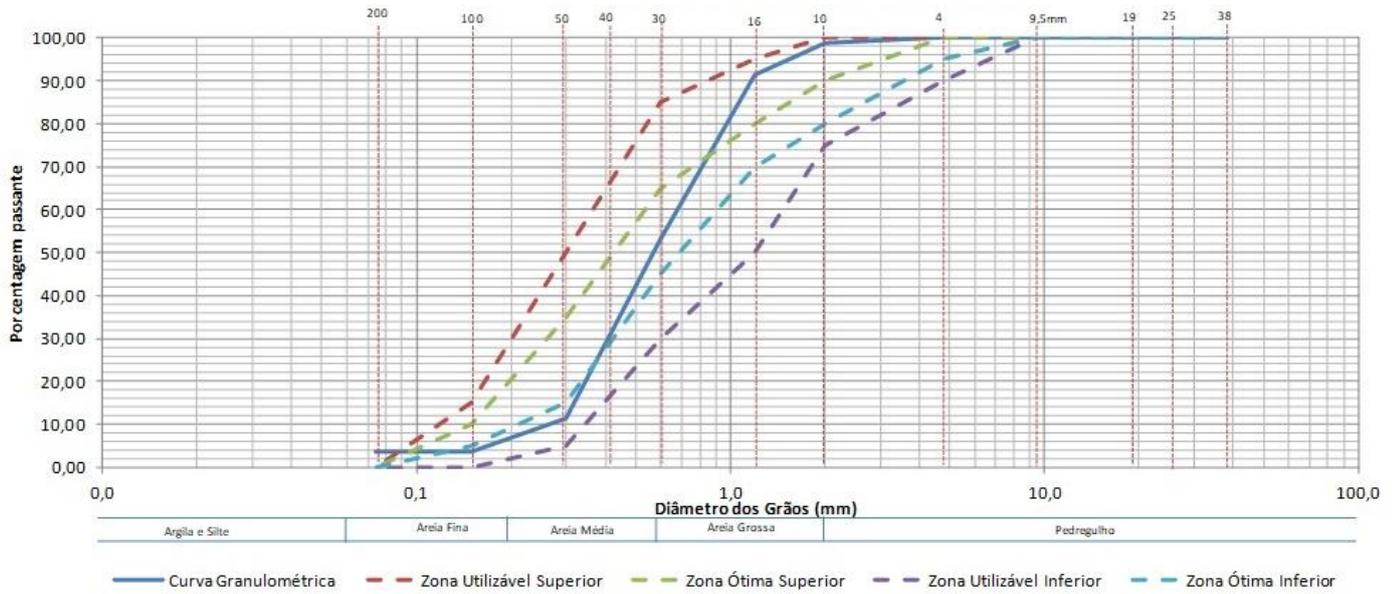


Figura 12 - Curva granulométrica do agregado miúdo.
 Fonte: O autor (2018).

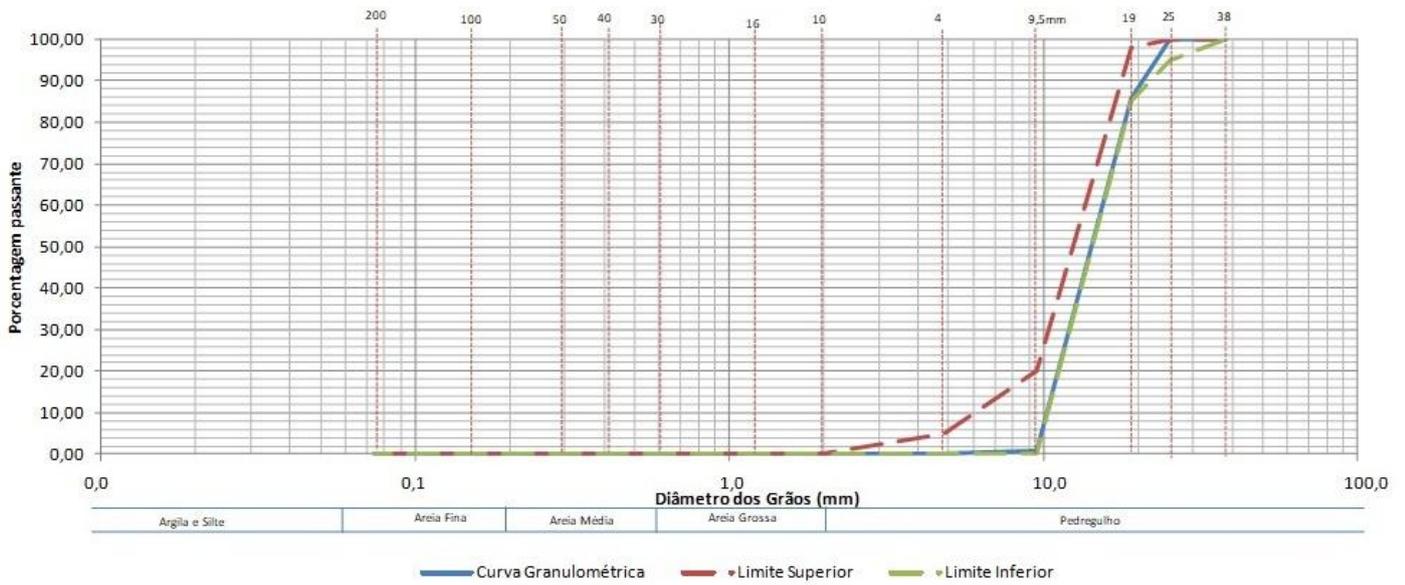


Figura 13 - Curva granulométrica do agregado graúdo.
 Fonte: O autor (2018).

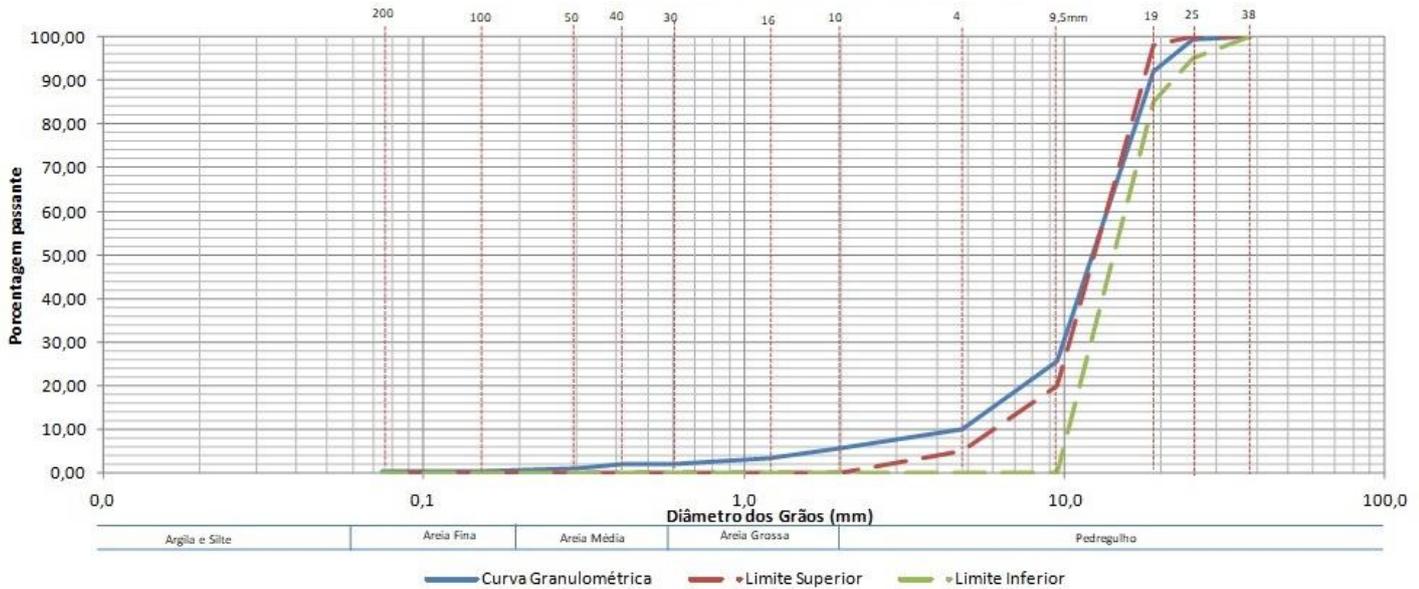


Figura 14 - Curva granulométrica do RCD.
Fonte: O autor (2018).

Conforme ilustrado na Figura 11, percebe-se que o agregado miúdo trata-se de uma areia com variado teor de médio e grosso, encontrando-se dentro do limite da zona utilizável estabelecido pela ABNT NBR 7211 (2009), determinando que não é necessário um estudo para verificar a sua aplicabilidade.

Através da análise da Figura 12, percebe-se que o agregado graúdo trata-se de uma brita 1, com diâmetro compreendido entre as peneiras de 2,36 mm e 19 mm, obedecendo aos limites superior e inferior designado pela ABNT NBR 7211 (2009).

Pode-se observar pela Figura 13 que o resíduo de construção e demolição possui uma granulometria contínua, contendo partes graúdas e miúdas, porém a graúda representando aproximadamente 90% de sua composição. Sua curva granulométrica atendeu parcialmente aos limites determinados pela ABNT NBR 7211 (2009).

5.2. ENSAIO DE CONSISTÊNCIA (SLUMP TEST)

A Tabela 12 apresentada a seguir apresenta os valores do abatimento do tronco de cone pelo slump test, verificando o comportamento da consistência do concreto para diferentes porcentagens de substituição do RCD pelo agregado graúdo e a sua influência.

Tabela 12– Abatimento pelo Slump Test

SLUMP TEST		
Traço	Porcentagem (%)	Abatimento (cm)
T0	0	14
T1	6,25	12
T2	12,5	12
T3	18,75	11,5
T4	25	11

Fonte: O autor (2018).

Através dos resultados acima, pode-se observar que existe uma queda da trabalhabilidade a medida que a substituição do agregado aumenta, esse fator, segundo alguns autores se dá devido a porosidade maior dos blocos cerâmicos quando comparados as Britas, sendo mais poroso, absorve mais água, diminuindo a água livre para a mistura.

5.3. ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

O ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova foi o último ensaio a ser realizado, porém de suma importância para a verificação da eficácia do projeto apresentado. A prensa hidráulica fornece o resultado de ruptura em toneladas, de modo que foi realizado um cálculo para a verificação do valor em MPa. Os ensaios de ruptura ocorreram com 7, 14, e 28 dias de cura, e os respectivos resultados serão expressos nas tabelas 13 a 15.

Tabela 13 – Valores de resistência com 7 dias de cura.

Traço	% RCD	Carga (ton.)	Carga (MPa)	Média (MPa)
T0	0	20,38	25,46	26,58
T0	0	22,13	27,64	
T0	0	21,81	27,24	
T0	0	20,81	25,99	
T1	6,25	26,48	33,07	30,11
T1	6,25	25,61	31,99	
T1	6,25	25,11	31,36	
T1	6,25	19,21	23,99	
T2	12,5	24,86	31,05	30,89
T2	12,5	24,58	30,70	
T2	12,5	24,52	30,63	
T2	12,5	24,97	31,19	
T3	18,75	23,69	29,59	30,61
T3	18,75	25,51	31,86	
T3	18,75	24,13	30,14	
T3	18,75	24,69	30,84	
T4	25	25,45	31,79	29,91
T4	25	22,61	28,24	
T4	25	23,68	29,58	
T4	25	24,05	30,04	

Fonte: O autor (2018).

Tabela 14 – Valores de resistência com 14 dias de cura.

Traço	% RCD	Carga (ton.)	Carga (MPa)	Média (MPa)
T0	0	25,61	31,99	28,50
T0	0	22,09	27,59	
T0	0	24,15	30,16	
T0	0	19,41	24,24	
T1	6,25	26,05	32,54	33,41
T1	6,25	28,99	36,21	
T1	6,25	26,76	33,42	
T1	6,25	25,18	31,45	
T2	12,5	25,37	31,69	32,01
T2	12,5	24,18	30,20	
T2	12,5	27,15	33,91	
T2	12,5	25,80	32,23	
T3	18,75	25,08	31,33	32,23
T3	18,75	26,64	33,27	
T3	18,75	28,12	35,12	
T3	18,75	23,36	29,18	
T4	25	26,43	33,01	33,08
T4	25	26,76	33,42	
T4	25	25,93	32,39	
T4	25	26,83	33,51	

Fonte: O autor (2018).

Tabela 15 – Valores de resistência com 28 dias de cura.

Traço	% RCD	Carga (ton.)	Carga (MPa)	Média (MPa)
T0	0	26,46	33,05	32,59
T0	0	27,97	34,94	
T0	0	27,92	34,87	
T0	0	22,03	27,52	
T1	6,25	26,62	33,25	35,57
T1	6,25	30,45	38,03	
T1	6,25	28,88	36,07	
T1	6,25	27,95	34,91	
T2	12,5	24,11	30,11	35,07
T2	12,5	30,21	37,73	
T2	12,5	28,67	35,81	
T2	12,5	29,31	36,61	
T3	18,75	27,35	34,16	33,97
T3	18,75	27,74	34,65	
T3	18,75	27,48	34,32	
T3	18,75	26,22	32,75	
T4	25	26,84	33,52	34,37
T4	25	24,31	30,36	
T4	25	29,21	36,48	
T4	25	29,70	37,10	

Fonte: O autor (2018).

Observa-se que ao passar do tempo, a resistência à compressão dos corpos de prova com mesmo traço aumentou mesmo que de forma não significativa, comprovando que o tempo influencia diretamente no aumento da resistência do concreto, desde que tenha o devido procedimento de cura.

O aumento de resistência à compressão dos concretos com RCD quando comparados ao concreto de referência se dão devido à porosidade do agregado reciclado novamente, alguns autores defendem que por ser mais poroso, o agregado reciclado absorve mais água, diminuindo o fator água cimento, assim, o que acaba prejudicando a trabalhabilidade, termina ajudando quanto à resistência a compressão. Sendo a resistência a compressão a característica mais importante pro concreto, passa a ser viável a substituição parcial de agregado graúdo natural, por agregado obtido a partir da britagem de resíduos de construção e demolição.

5.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Uma análise de variância foi realizada entre os valores médios de ruptura obtidos pelo ensaio de resistência a compressão para verificação do comportamento do concreto com diferentes valores de RCD. (Tabela 16).

Tabela 16 – Análise de variância.

Fontes de variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	25,81038	6,4526	0,7308 ns
Resíduo	15	132,43947	8,8293	
Total	19	158,24986	-	
CV (%)	8,705			
Média geral	34,31			

Legenda: ns – não significativo ($p \geq 0,05$), GL – Grau de liberdade, SQ – Soma de quadrados totais, QM – Quadrados médios, CV – Coeficiente de variação.

Fonte: O autor (2018).

Observa-se pela Tabela 16, que a variância não apresentou um valor significativo ($p \geq 0,05$) segundo o teste F.

As comparações de média de resultados serão apresentadas na Tabela 17 a seguir.

Tabela 17 – Resultado do teste de Tukey.

Tratamento	% RCD	Resistência média a compressão (MPa)
		28 dias
T0	0	32,595 a
T1	6,25	35,565 a
T2	12,5	35,065 a
T3	18,75	33,970 a
T4	25	34,365 a

Legenda: Médias seguidas por letras iguais não apresentam diferenças estatísticas ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: O autor (2018).

Pela Tabela 17 observa-se que as médias de resultado para cada tratamento não diferem estatisticamente após 28 dias de cura, independente o percentual de RCD acrescentado.

A variação de esforços mecânicos dos 5 tratamentos estudados são representados pela análise de regressão. (Figuras 14 a 18).

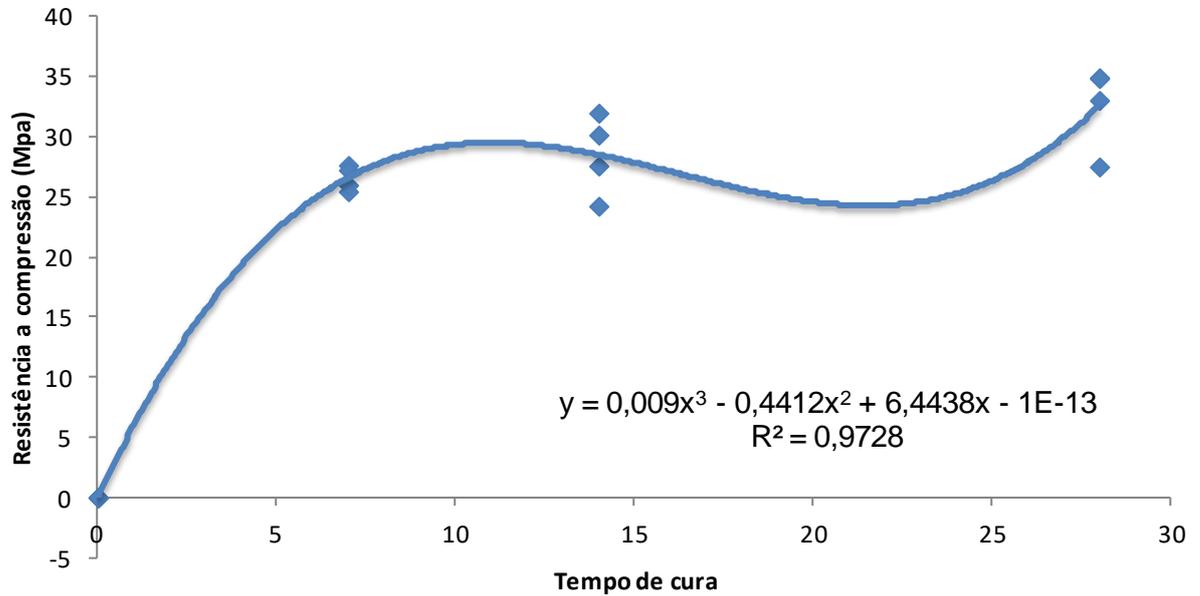


Figura 15 - Análise de regressão do concreto de tratamento T0.
Fonte: O autor (2018).

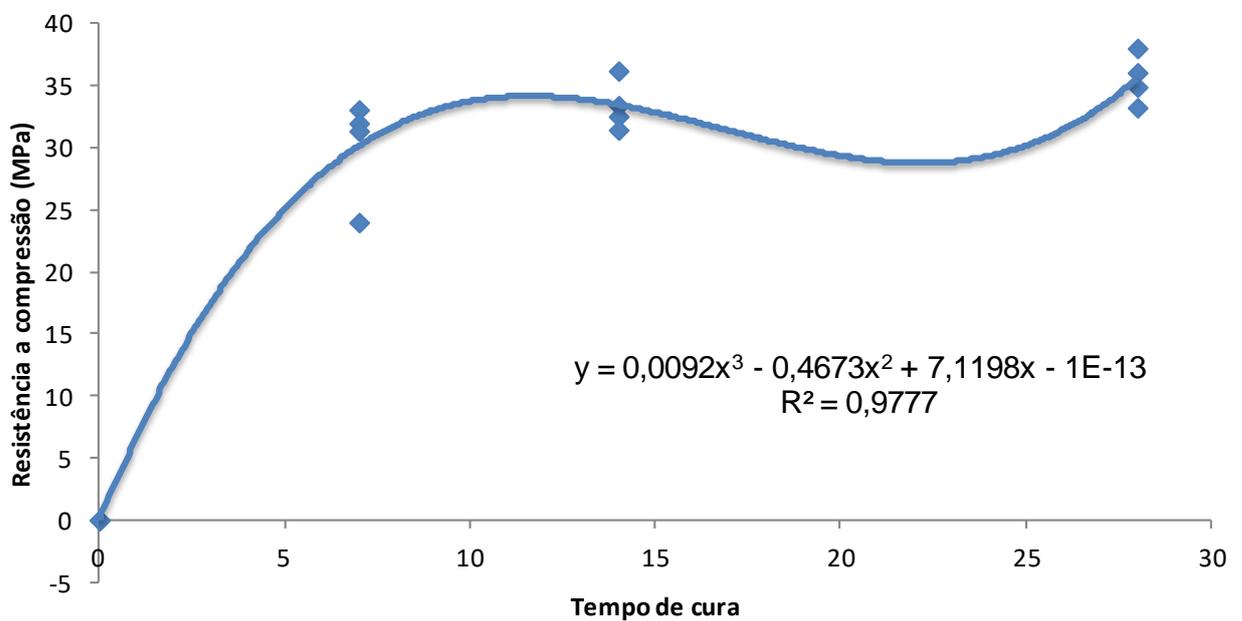


Figura 16 - Análise de regressão do concreto de tratamento T1.
Fonte: O autor (2018).

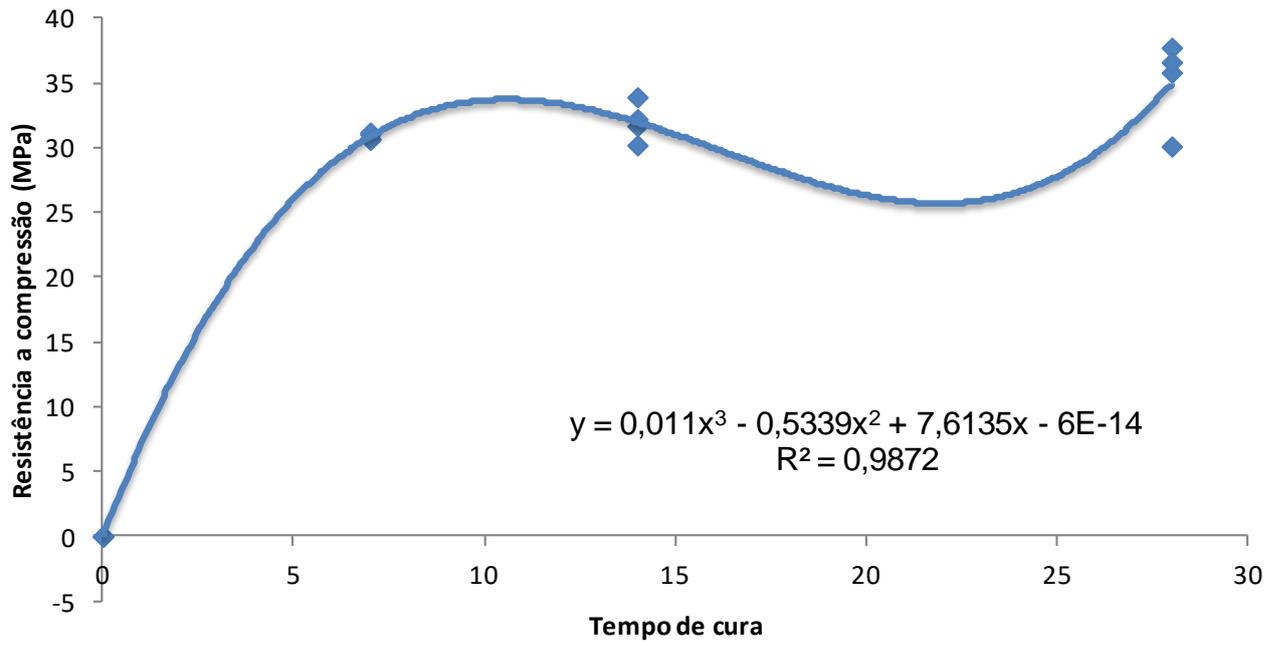


Figura 17 - Análise de regressão do concreto de tratamento T2.
Fonte: O autor (2018).

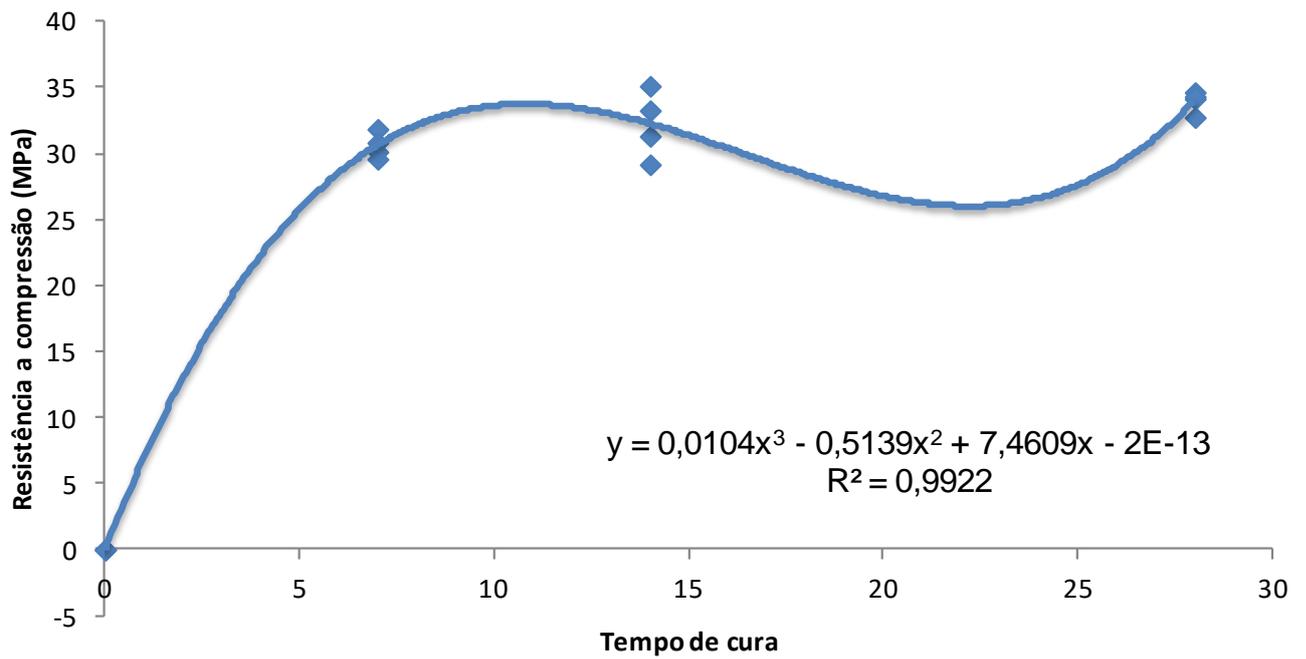


Figura 18 - Análise de regressão do concreto de tratamento T3.
Fonte: O autor (2018).

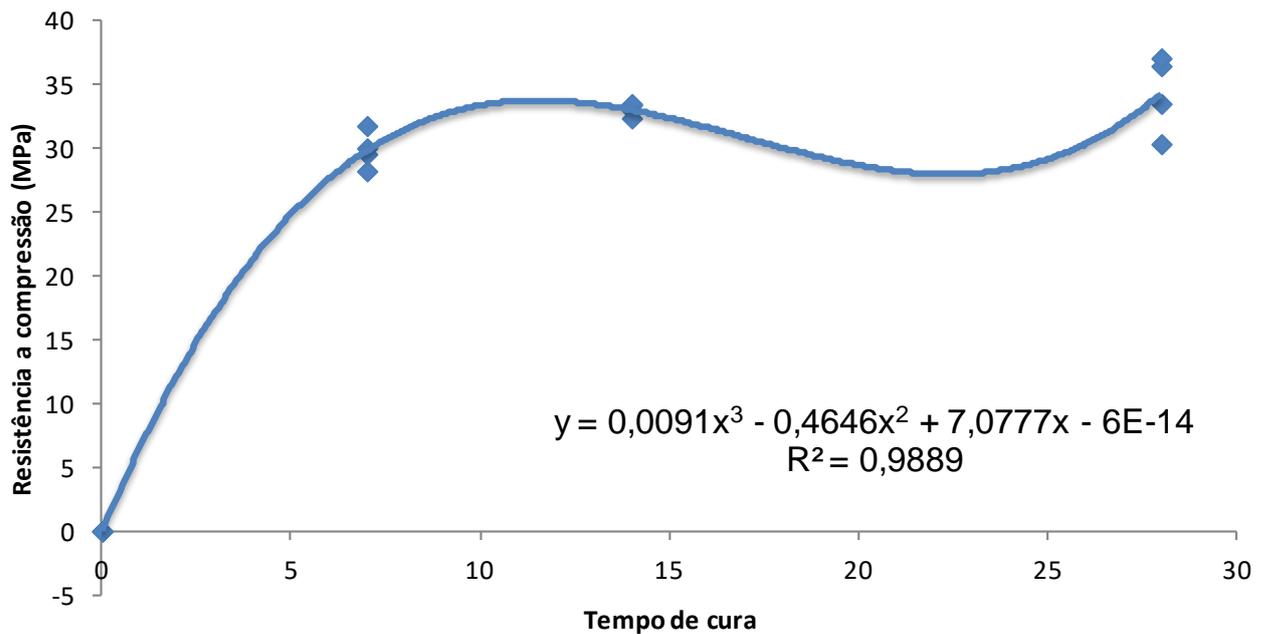


Figura 19 - Análise de regressão do concreto de tratamento T4.
Fonte: O autor (2018).

Constatou-se que ocorreu uma tendência de comportamento de efeito cúbico, ou seja, uma variação significativa de comportamento ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$). O estudo de regressão estimou que a variabilidade dos esforços mecânicos em relação ao tempo de cura com precisão aproximada de 97% para o tratamento T0, 98% para o tratamento T1 e 99% para os tratamentos T2, T3 e T4.

6. CONCLUSÃO

Para que os objetivos fossem atingidos, foi realizado um estudo teórico, de caráter exploratório, se dando a partir de uma traço de referência, para uma resistência a esforços mecânicos de compressão de 30 MPa.

Foram realizadas comparações de trabalhabilidade e resistência à compressão para diferentes valores de substituição parcial de agregados graúdos por RCD, além de Análise de Variância, através do teste F, para verificação de efeitos significativos, teste de Tukey para comparar as médias dos tratamentos estudados e Análise de Regressão.

Com os experimentos ensaiados conforme as normas regulamentadoras, percebeu-se que o incremento, substituição parcial de agregado graúdo por RCD, não causa efeitos significativos estatísticos de resistência a compressão em relação ao concreto referência, Charius et al., citados por Schulz e Hendricks (1992), consideraram a atividade pozolânica das partículas como fator que pudesse explicar tal aumento, vale complementar que além dessa atividade, o tijolo, mesmo se for de boa qualidade e menos poroso que os normais, tem maior porosidade que a Brita, assim, o agregado reciclado absorve mais água diminuindo o fator água/cimento e conseqüentemente aumentando a resistência.

Com relação à trabalhabilidade, pode-se observar que os resultados também não foram significativos, tendo em vista que o traço foi projetado para ter um abatimento de 12 cm, com variação de 2 cm, e nenhum deles ficou fora do desejado. Schulz e Hendricks (1992), citados acima no Tópico 3.2.4.2 – TRABALHABILIDADE EM CONCRETO, explicam que concreto de alvenaria britada pode ser produzido obtendo qualquer resistência, desde que os tijolos ou blocos provenientes apresentem uma maior densidade, ou seja, sejam menos porosos.

Conclui-se então que, o uso do concreto com substituição parcial de agregado graúdo por alvenaria cerâmica britada, atinge os requisitos para fins estruturais, pois sendo a resistência a compressão a característica mais importante para o concreto, e não ocorrendo uma perda significativa na trabalhabilidade, pode-se afirmar que a utilização é viável.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo, 2002, 28p. (BT – 106).

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

_____. NBR NM 137: **Argamassa e concreto - Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland**. Rio de Janeiro, 1997.

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

_____. NBR NM ISO 3310 - 1: **Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação. Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1, IDT)**. Rio de Janeiro, 2010.

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

_____. NBR 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

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

_____. NBR 8953: **Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 10004: **Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

BARBOZA, M. R.; BASTOS, P. S. **Traços de concreto para obras de pequeno porte**. UNESP, Faculdade de Engenharia de Bauru, Departamento de Engenharia Civil. Bauru, 2008.

BAUER, Falcão. **Materiais de construção**. v. 1. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editoras S.A. 2005.

BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos**. Florianópolis, 1999. 100 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº. 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 julho de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 02 de Novembro de 2018.

BRASIL, Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 - **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E.. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Cerâmica, São Paulo , v. 61, n. 358, p. 178-189, jun. 2015 .

COMPANHIA DE CONCESSÕES RODOVIÁRIAS. **Como a construção civil movimenta a economia e gera empregos**. Projeto Em movimento. São Paulo, 15 de Janeiro de 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/especial-publicitario/em->

movimento/noticia/como-a-construcao-civil-movimenta-a-economia-e-gera-empregos.shtml>. Acesso em: 30 de Outubro de 2018.

DEVENNY, A.; KHALAF, F. M. **The use of crushed brick as coarse aggregate in concrete**. *Masonry International*, v. 12, n. 3, p. 81-84, 1999.

FERNANDES, Bruna Cristina Mirandola. **A utilização de resíduos da construção civil e demolição – RCD – como agregado para o concreto**. 68 f. Unifor – MG, Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2015.

GUERRA, R. S. T. **Trabalhabilidade**. Maio de 2013. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/05/trabalhabilidade.html>>. Acesso em 12 de Novembro de 2018.

HANSEN, T. C. **Recycled of demolished concrete and masonry**. London: Chapman & Hall, 1992. 316 p. Part One: Recycled aggregates and recycled aggregate concrete, p. 1-160. (RILEM TC Report 6).

HANSEN, T. C.; NARUD, H. **Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate**. *Concrete international. Design and construction*, v. 5, n. 7, p. 79-83, 1983.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos**: relatório de pesquisa. Brasília: Ipea, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso: 3 de Novembro de 2018.

KAEFER, L. F. **A evolução do concreto armado**. PEF 5707 – Concepção, Projeto e Realização das estruturas: aspectos históricos. 43 f. São Paulo, 1998.

KIKUCHI, M.; YASUNAGA, A.; EHARA, K. The total evaluation of recycled aggregate and recycled concrete. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM, 3., 1993, Odense, Denmark. **Proceedings ...** Great Britain: E & FN Spon, 1993. p. 367-378.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos.** São Paulo, 1997. 147 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.

MACHADO JR., E. F.; LATTERZA, L.M.; MENDES, C. L. **Influência do agregado graúdo, proveniente da reciclagem de resíduos de construção e demolição (etulho), na perda de abatimento do concreto fresco e nas propriedades mecânicas do concreto endurecido.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 40., 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** [CD-ROM]. São Paulo: IBRACON, 1998. Arquivo:, 14 p.

MANSUR, M. A.; WEE, T. H.; CHERAN, L. S. **Crushed bricks as coarse aggregate for concrete.** ACI Materials Journal, v. 96, n. 04, p. 478-484, 1999.

MASSAZZA, F. **Pozzolana and pozzolanic cements.** In: HEWLWTT, P. C. (ed). *Lea's Chemistry of Cement and Concrete.* London: Arnold, 1998, p. 471-631.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto. Estrutura, propriedades e materiais.** 1. ed. São Paulo: Pini, 1994. 573 p. ISBN 85-7266-040-2.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** São Paulo, Ed. Pini, 1997.

ORTIZ, J. L. R. **La múltiple identidad Del hormigon.** Informes de La Construcción, v. 49, n. 454, p. 77-83., 1998.

PASSERI JR., L. **Absorção sonora x isolamento acústico: entenda as diferenças.** 2010. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/absorcao-sonora-x-isolamento-acustico-entenda-as-diferencas_15424_10_0>. Acesso: 10 de Novembro de 2018.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem.** Concreto e Construções, Mar. de 2009. Disponível em:

<http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/revista_concreto_53.pdf>. Acesso: 03 de Novembro de 2018.

PETRY, S. B. **Estudo da permeabilidade à água na camada de cobrimento de protótipos de concretos com altos teores de cinza volante**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Santa Maria, Santa Maria – Rio Grande do Sul.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P.; CATOIA, T.; CATOIA, B. **Estrutura de concreto**. 2010. USP – EESC – Departamento de Engenharia de estruturas. São Paulo.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas**. São Carlos, 1986. 140 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Arquitetura e Planejamento da Universidade de São Carlos – Universidade de São Paulo.

_____. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: A experiência do SindusCon-SP**. São Paulo: Obra Limpa; Sinduscon-SP; I&T, 2005. 48 p.

QUEBAUD, M. R.; BUYLE-BODIN, F. **A reciclagem de materiais de demolição: utilização dos agregados reciclados no concreto**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 5., 1999, São Paulo. **Anais...** [CD-ROM]. São Paulo: ABCP, 1999. Arquivo: 3-01, 14 p.

RIBEIRO JR., E. **Propriedades dos materiais constituintes do concreto**. Revista especialize on-line IPOG, Goiânia, v.1, n.10, p. 15, Dezembro de 2015.

RASHWAN, M. S.; ABOURIZK, S. **The properties of recycled aggregates concrete**. Concrete International, v. 19, n. 7, p. 56-60, 1997.

SANTOS, A. N. **Diagnóstico da situação dos resíduos de construção e demolição (RCD) no Município de Petrolina (PE)**. 2008, 58 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco.

SCHULZ, R. R.; HENDRICKS, Ch. F. Recycling of masonry rubble. In: HANSEN, T. C. **Recycling of demolished concrete and masonry**. London: Chapman & Hall, 1992. Part Two, p. 161-255. (RILEM TC Report 6).

SHANGHAI MANUAL. **A Guide for Sustainable Urban Development in the 21st Century**, Shanghai, China (2010).

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. **The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data**. Afr. J. Agric. Res, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. Campinas, 1997, 140 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Campinas.