



UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA REGIÃO DOS VINHEDOS

ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CAROLINE FRANCHINI TOMASI

**ANÁLISE TÉCNICA DO USO DE AGREGADO GRAÚDO RECICLADO MISTO EM
CONCRETO CONVENCIONAL**

BENTO GONÇALVES

2021

CAROLINE FRANCHINI TOMASI

**ANÁLISE TÉCNICA DO USO DE AGREGADO GRAÚDO RECICLADO
MISTO EM CONCRETO CONVENCIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil apresentado a Universidade de Caxias do Sul como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador Prof.: Me., Maurício Schafer

BENTO GONÇALVES

2021

RESUMO

TOMASI, C.F. **Análise técnica do uso de agregado graúdo reciclado misto em concreto convencional.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Caxias do Sul, Área de conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias, Bento Gonçalves, 2021.

Entre diversas atividades e setores, a construção civil é um dos que mais gera resíduos e impactos no meio ambiente, com base nisso, este trabalho visa utilizar agregados graúdos reciclados mistos em substituição dos agregados graúdos naturais, a fim de amenizar este impacto ambiental. A pesquisa tem como objetivo geral avaliar a substituição de agregados graúdos natural em um concreto convencional por diferentes teores de agregados reciclados mistos. Os traços foram dosados com base no traço 1: 2,36: 2,64 com teores de substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado misto de concreto e cerâmica em 10%, 20%, 30% e 40%. Previamente foi realizado uma pré-molhagem de 80% nos agregados e adotado uma trabalhabilidade de 120 ± 20 com uma relação a/c 0,45. Realizou-se uma compensação de água para garantir a trabalhabilidade desejada e na substituição de 40% utilizou-se aditivo superplastificante na mistura para atingir este abatimento. Verificou-se avaliar o comportamento dos teores de substituição do agregado graúdo reciclado oriundo de materiais mistos em relação ao agregado graúdo natural do concreto convencional, frente ao estado fresco e endurecido do concreto. Os resultados obtidos através dos ensaios feitos nesta pesquisa, mostram que a substituição do agregado graúdo reciclado misto apresentou influências sobre as propriedades do concreto, visto isso, nos ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade e massa específica. Também podemos verificar que quanto maior a substituição do agregado graúdo reciclado na mistura mais propenso a utilização de aditivo superplastificante para garantir o abatimento desejado. E por fim, os traços com menor teores de substituição obtiveram melhores resultados em resistência. Visando a reutilização deste RDC para impactar menos no meio ambiente o melhor traço em relação há todas as propriedades analisadas no decorrer desta pesquisa é o de 40% de substituição, proporcionando mais uma opção de aproveitamento deste resíduo como matéria prima.

Palavras-chave: RDC; Concreto convencional; Agregado graúdo natural; Agregado graúdo reciclado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resistência à compressão em função da relação a/c.....	26
Figura 2 - Resistência à compressão aos 28 dias.....	28
Figura 3 - Fluxograma do programa da pesquisa.....	31
Figura 4 - Gráfico da curva de distribuição granulométrica do agregado miúdo natural.....	34
Figura 5 - Gráfico da curva de distribuição granulométrica do agregado graúdo natural.....	35
Figura 6 - Britador.....	36
Figura 7 - Agregado graúdo reciclado misto.....	37
Figura 8 - Ensaio da resistência à compressão.....	42
Figura 9 - Ensaio de compressão diametral.....	43
Figura 10 - Ensaio do módulo de elasticidade.....	44
Figura 11 - Gráfico do abatimento por traço.....	47
Figura 12 - Gráfico da massa específica.....	49
Figura 13 - Gráfico da resistência à compressão Mpa.....	50
Figura 14 - Gráfico da resistência à compressão diametral Mpa.....	51
Figura 15 - Gráfico do módulo de elasticidade.....	53
Figura 16 - Gráfico de absorção de água total.....	55
Figura 17 - Gráfico do índice de vazios.....	56
Figura 18 - Gráfico de massa específica.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Métodos de ensaio.....	32
Tabela 2 - Nomenclatura dos traços.....	32
Tabela 3 - Características físicas do agregado miúdo natural.....	33
Tabela 4 - Características físicas do agregado graúdo natural.....	34
Tabela 5 - Características físicas do agregado graúdo reciclado.....	36
Tabela 6 - Características do aditivo.....	37
Tabela 7 - Características químicas.....	38
Tabela 8 - Características físicas.....	38
Tabela 9 - Quantidade de material para cada traço.....	39
Tabela 10 - Compensação de água.....	40
Tabela 11 - Análise de variância (ANOVA) da resistência à compressão.....	51
Tabela 12 - Análise de variância (ANOVA) da resistência à compressão diametral.....	53
Tabela 13 - Análise de variância (ANOVA) do módulo de elasticidade.....	54
Tabela 14 - Análise de variância (ANOVA) da absorção de água total.....	56
Tabela 15 - Análise de variância (ANOVA) do índice de vazios.....	56
Tabela 16 - Análise de variância (ANOVA) de massa específica aos 28 dias.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AGN	Agregado Graúdo Natural
AR	Agregado Reciclado
ARC	Agregado de Resíduo de Concreto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RCC	Resíduo de Construção Civil
RCV	Resíduo de Cerâmica Vermelha
REF	Concreto Referencia
NBR	Norma Brasileira de Regulação
T 10S	Traço com 10% de substituição de agregado reciclado
T 20S	Traço com 20% de substituição de agregado reciclado
T 30S	Traço com 30% de substituição de agregado reciclado
T 40S	Traço com 40% de substituição de agregado reciclado

LISTA DE SIMBOLOS

<i>AP</i>	Água da pré-molhagem
<i>MR</i>	Massa do agregado graúdo reciclado de cada traço
<i>Abs24h</i>	Percentual de água absorvida pelo agregado em 24 horas
<i>Ac</i>	Água de compensação
<i>Asat24</i>	Água do agregado graúdo reciclado saturado por 24 horas
<i>AAGN</i>	Água do agregado graúdo natural saturado
<i>Apré</i>	Água utilizada no pré-molhagem
<i>ρ_{ap}</i>	Massa específica aparente do concreto
<i>m</i>	Massa do concreto
<i>V</i>	Volume do recipiente
<i>f_c</i>	Resistência à compressão
<i>F</i>	Força máxima alcançada
<i>D</i>	Diâmetro médio do corpo de prova
<i>$f_{ct, sp}$</i>	Resistência à tração por compressão diametral
<i>d</i>	Diâmetro do corpo de prova
<i>l</i>	Comprimento do corpo de prova
<i>Abs</i>	Absorção de água por imersão
<i>MSAT</i>	Massa do corpo de prova saturado
<i>MS</i>	Massa do corpo de prova seco
<i>I</i>	Índice de vazios
<i>M1</i>	Massa do corpo de prova saturado, imerso em água

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 OBJETIVO GERAL	11
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD).....	13
2.2 CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS RECICLADOS	16
2.2.1. Composição Granulométrica	19
2.2.2 Forma e Textura.....	20
2.2.3 Porosidade.....	21
2.3 CONCRETO COM UTILIZAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO.....	22
2.3.1. Propriedades no Estado Fresco	23
2.3.2 Propriedades no Estado Endurecido.....	24
2.3.3 Pesquisas que utilizaram agregado graúdo de RCD	26
3 MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	33
3.1.1 Agregado miúdo	33
3.1.2 Agregado graúdo natural.....	34
3.1.3 Agregado graúdo reciclado	35
3.1.4 Aditivo superplastificante	37
3.1.5 Aglomerante.....	37
3.1.6 Água.....	38
3.2 MÉTODOS DE DOSAGEM.....	38
3.2.1 Pré-molhagem.....	39
3.3 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO.....	40
3.3.1 Trabalhabilidade	40
3.3.2 Determinação da massa específica	41
3.4 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO	41
3.4.1 Resistência à compressão	41
3.4.2 Resistencia à compressão diametral.....	42
3.4.3 Módulo de elasticidade	43
3.4.5 Absorção de água por imersão, massa específica e índice de vazios	44
3.5 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS	46

4 RESULTADOS E ANÁLISES	47
4.1 ESTADO FRESCO	47
4.1.1 Trabalhabilidade	47
4.1.2 Massa específica.....	48
4.2 ESTADO ENDURECIDO	49
4.2.1 Resistência à compressão	49
4.2.2 Resistência à compressão diametral.....	51
4.2.3 Módulo de elasticidade.....	53
4.2.4 Absorção de água total, índice de vazios e massa específica.....	55
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1.INTRODUÇÃO

O ambiente da construção civil, principalmente no Brasil, está relacionado ao desperdício de materiais, muitas vezes devido à falta de medidas de reaproveitamento de resíduos, conforme o Blog Vgr resíduos (2020). Estudos demonstram que 40% a 70% da massa dos resíduos urbanos são gerados em canteiros de obras (PINTO, 1999; BLUMENSCHNEIN, 2007).

De acordo com Fernandes (2015), o consumo descontrolado de recursos naturais pela construção civil, em geral, ocasiona impactos em todas as etapas do processo, como: extração, produção, construção, uso e demolição, gerando uma grande quantidade de resíduos. Esse acúmulo exagerado de resíduos gera muitas desvantagens para a população. Desta forma, a falta de locais adequados para descarte destes resíduos, deveria servir de estímulo às empresas locais e prefeituras para promover pesquisas em reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (RCD).

De fato, os impactos ambientais, sociais e econômicos gerados pela quantidade expressiva do entulho e o seu descarte inadequado impõem a necessidade de soluções rápidas e eficazes para a sua gestão adequada. Entretanto, a sociedade juntamente com os setores públicos, privados e setor industrial da construção civil deveriam elaborar e consolidar programas específicos que visem à minimização desses impactos. As políticas ambientais relacionadas ao tema devem voltar-se para o adequado manuseio, redução, reutilização, reciclagem e disposição desses resíduos (CASSA et al, 2001).

Tanto no Brasil como em outros países, a maior parte do mercado de agregados reciclados é voltada para o emprego em concretos e em argamassas. No Brasil, a reciclagem de toda a fração mineral dos resíduos de construção e demolição (RCD) como agregado ocuparia apenas cerca de 20% do mercado de produtos à base de cimento. Já é visto em estudos que o emprego dos agregados de RCD reciclados em concreto é viável (ANGULO, 2005).

Segundo Ferreira e Thomé (2011), o reaproveitamento do RCD, além de trazer vantagens do ponto de vista ambiental, se torna uma alternativa economicamente favorável para o mercado em si, pois a partir deste material pode ser criado um novo concreto, com isso reduzirá a utilização dos recursos naturais.

Entretanto, o resíduo de construção e demolição apresenta um obstáculo em seu uso para fins de agregado em um novo concreto é o custo de britagem, graduação, controle do pó e separação dos constituintes indesejáveis. Ou seja, ao se utilizar um agregado de RCD é importante analisar as particularidades dos resíduos usados na sua produção (Mehta e Monteiro, 2014).

Segundo Xavier (2001) e Angulo (2005), os agregados reciclados (AR) apresentam grande variação em suas propriedades as quais variam de acordo com: composição do resíduo processado, equipamentos usados, teor de impurezas e a composição granulométrica. Os AR apresentam propriedades específicas diferentes das propriedades dos agregados convencionais, que podem ser visualizadas nas condições de aplicação, dosagem e nas características de argamassas e concretos em que forem usados (KHATIB, 2005; KATZ, 2003).

Visto isso, nota-se uma possibilidade de utilização do resíduo reciclados em compósitos cimentícios, pois esse resíduo pode substituir parte os agregados naturais, na produção de concreto, blocos e até em pavimentação. A reutilização e a reciclagem do RCD só têm a contribuir, já que colaboram diretamente com a redução da agressão ambiental além de contribui para redução do impacto ambiental gerado por este tipo de resíduo. Por este motivo essa pesquisa visa analisar diferentes substituições do agregado graúdo natural em um concreto convencional por resíduos de construção e demolição misto, para identificar a potencialidade da incorporação do resíduo neste concreto.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa estão apresentados como o objetivo geral e os objetivos específicos.

1.1.1 OBJETIVO GERAL

A pesquisa tem como objetivo geral avaliar a substituição de agregados graúdos natural em um concreto convencional por diferentes teores agregados reciclados mistos.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Avaliar o comportamento dos teores de substituição do agregado reciclado oriundo de materiais mistos em relação ao agregado graúdo natural do concreto convencional, frente ao estado fresco e endurecido do concreto.
- b) Identificar por meio de uma avaliação global, qual é o melhor teor de utilização do agregado graúdo oriundo de materiais misto, para o traço do concreto convencional estudado.

1.2 DELIMITAÇÃO

Este trabalho se delimitar em produzir um concreto convencional, tendo como propósito a utilização de resíduos de construção e demolição com materiais mistos de cerâmica e concreto, como agregado graúdo. Para realização do trabalho o traço do concreto referência será 1:2,36:2,64, com teor de argamassa de 55%, e a relação água cimento utilizada será de acordo com o abatimento de 120 ± 20 mm, a partir destes dados foram produzidos um concreto de referência e quatro concretos com diferentes teores de substituição parcial do agregado graúdo natural pelo agregado reciclado com materiais mistos (10%, 20%, 30% e 40%), sendo que esses agregados reciclados receberam uma pré-molhagem de 80% de sua absorção de água total, antes da mistura do concreto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo estão descritas as propriedades e características dos resíduos de RCD (Resíduo de Construção e Demolição), bem como as diferenças entre agregado de concreto e o misto, discutindo sobre porosidade, forma do grão e partículas que o compõem. Além disso, foi abordado as propriedades físicas e mecânicas do concreto no estado fresco e endurecido com a utilização de agregados reciclados.

2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Conforme a NBR 15116 (ABNT, 2014) os resíduos de construção e demolição são provenientes de construções, reformas e reparos de obras de construção civil, e geralmente são denominados como entulhos. Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção ABRECON (2012), podemos definir o entulho como um conjunto de fragmentos, restos de materiais de construção, como por exemplo, tijolo, concreto ou argamassa.

O resíduo RCD, é também um dos grandes problemas no impacto do ambiente urbano. O entulho é um vetor de doenças como a dengue, febre amarela e atrativo de insetos e roedores (ABRECON, 2012). Diante deste cenário, e aumento na geração de resíduos, o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA criou a resolução 307 (2002), que estabelece, diretrizes, critérios e procedimentos para o controle e gestão dos resíduos, minimizando os impactos ambientais.

De acordo com o CONAMA (2011), a classificação dos resíduos de construção e demolição (RCD) é feita por 4 subgrupos separados conforme seu tipo de utilização e reciclagem essa classificação é realizada por meio da Resolução nº 341, de 24 de maio de 2011, e está dividida da seguinte forma:

- Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassa e concreto; de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fio etc.) produzidas nos canteiros de obras.
- Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;
- Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação;
- Classe D – são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições,

reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos.

Segundo Carneiro (2001) os resíduos de construção e demolição são imensamente heterogêneos e basicamente compostos por:

- Concretos, argamassas e rochas, que a princípio, possuem alto potencial para reciclagem;
- Materiais cerâmicos, como blocos, tijolos e lajotas, que apresentam também alto potencial reciclável sem necessitar técnicas sofisticadas de beneficiamento;
- Solos, areia e argila, materiais que facilmente podem ser separados dos outros por meio de peneiramento;
- Asfalto, material com alto potencial de reciclagem em obras viárias;
- Metais ferrosos: utilizados pela indústria metalúrgica;
- Madeiras: material parcialmente reciclável com a agravante que se impermeabilizadas ou pintadas devem ser consideradas como material poluente e tratadas como resíduos industriais perigosos, devido ao risco de contaminação;
- Outros materiais: como papel, papelão, plásticos e borracha, passíveis de reciclagem.

A construção civil hoje em dia é vista como uma das atividades mais importante para o desenvolvimento do mercado econômico e social, porém mostra-se como uma influenciadora de impactos ambientais negativos, devido ao alto consumo de recursos naturais, modificação da paisagem natural, ou pela geração de resíduos em si (PINTO, 2005). Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2017) a construção civil foi responsável pela geração de aproximadamente 45 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no Brasil em 2017. A ABRELPE (2017) também afirma que cerca de 60% dos municípios brasileiros ainda destinam os resíduos de forma inadequada ou apenas como lixo, ao invés de reciclar ou utilizá-lo em obra, de forma sustentável.

Conforme o SINDUSCON – MG (2005), estima-se que a geração de resíduos de construção e demolição está variando de cidade para cidade, podendo ser representada por cerca de metade dos resíduos sólidos urbanos do mundo. Marques Neto (2005), afirma que algumas cidades optam pela subcontratação de empresas privadas para a coleta e destinação dos resíduos finais, porém estas empresas tendem a cuidar de fazer a destinação em locais apropriados, a fim de evitar problemas com a fiscalização das administrações municipais sobre os serviços privados de coleta e transporte de entulho.

Perante a crescente importância do desenvolvimento sustentável nas empresas do ramo da construção civil, e a redução do impacto ambiental, muitas empresas buscam soluções que minimizem os danos ao meio ambiente. De fato, essas empresas trabalham

com o intuito de desenvolver novos produtos com a finalidade de aspecto biodegradável ou reciclável para que possam ser aproveitados de outra forma após o seu uso (BIGOLIN, 2013). Neste âmbito, as empresas utilizam de estudos de viabilidade e alternativas do uso e consumo de RCD, com o objetivo de minimizar os impactos e reutilizados de forma de agregados reciclados (BIGOLIN, 2013).

Conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei Nº 12.305), caracteriza-se por destinação final adequada a destinação de resíduos que inclui a reciclagem, a compostagem, a recuperação, o aproveitamento entre outros processos e destinações impostas pelos órgãos competentes, entre elas a disposição final, observando as normas operacionais que regem, a fim de a minimizar os impactos. A destinação é realizada de acordo com as classes dos resíduos apresentada pelo CONAMA, Resolução nº 341, de 24 de maio de 2011, e está dividida da seguinte forma:

- Classe A – Estes resíduos devem ser aproveitados no próprio canteiro de obras, mas isso não por possível, devem ser encaminhados para usinas de reciclagem ou aterros sanitários específicos para a construção civil que permitem a sua reciclagem;
- Classe B- Separar os resíduos em recipientes adequados e identificados, como por exemplos, caçambas, toneis o material pode ser destinado a cooperativas de reciclagem da região ou áreas de transbordo e triagem (ATT). As ATT são estabelecimento privados destinados aos recebimentos dos resíduos e são coletados por empresas privadas;
- Classe C- Devem ser armazenados de forma separada dos demais, e enviadas as ATT, ou aterros sanitários;
- Classe D- Devem ser armazenados de forma separada dos demais, e enviadas as ATT, ou aterros sanitários.

Desta forma, a utilização de RCD como agregado reciclado vem sendo pesquisado para as mais variadas aplicações. A tendência do desenvolvimento sustentável está cada vez mais comum, destinados a obra de construção civil, conforme Matos (2015).

Os diversos autores salientam que a diversidade da composição dos agregados reciclados colabora em uma limitação para seu uso (Kahn *et al*, 2014). Sendo assim, a composição e a qualidade dos agregados reciclados dependem das fontes que são coletas e dos diferentes processos construtivos que elas passam, acarretando uma ampla variabilidade das características.

Os agregados reciclados podem ser aplicados em diversos serviços de engenharia tais como a produção de concreto e argamassa, serviços de drenagem, a fabricação de pré-moldados, entre outras aplicações (Souza, 2011). No entanto, somente a partir de

1928 que os brasileiros começaram a realizar pesquisas com a finalidade de avaliar o efeito do consumo de cimento, quantidade de água, granulometria dos agregados e resistência perante o concreto reciclado. De acordo com os resultados das pesquisas, o agregado reciclado é uma ótima alternativa econômica, sem deixar a desejar no quesito desempenho mecânico (LEVY, 1997; CARVALHO PORTO; SILVA 2008).

Nas pesquisas realizadas por Yannas (1977) e Latterza (1998) os autores comparam as propriedades mecânicas de um concreto convencional, com um concreto reciclado, e abordaram que o concreto reciclado apresenta um comportamento mecânico parecido com o concreto convencional, isso acontece devido os agregados reciclados possuírem maior parte de agregado graúdo do que agregado miúdo.

A parcela miúda inferior a 5mm junto com a parcela do agregado graúdo reciclado, não é recomendada para misturas de concreto devido à dificuldade de controlar a trabalhabilidade da mistura, preparadas com agregado graúdo e miúdos reciclados. Outro fator que seria a elevada absorção de água, com a finalidade de perda de abatimento e com ampla exsudação (POON,2006).

Segundo as recomendações da RILEM (1994), o uso de agregados com a parcela inferior a 4mm não é adequado para uso em concretos, e estipula um limite de 3% para o material passante na peneira de 75µm. E para o uso de concretos com agregados reciclados graúdos recomenda-se uma resistência característica com faixa de 20MPa até 60MPa.

Zordan (1997) salienta que os agregados provenientes da reciclagem de RCD podem ser usados em argamassas de revestimentos internos e externos, por exemplo em chapisco, emboço e reboco e em concretos. No Brasil, no ano de 2004 e 2005, a utilização de agregados reciclados na produção de blocos de alvenaria, concretos, blocos de pavimentação entre outros finalidades, vem aumentando. Contudo, os estudos feitos até o momento nos mostram que há um elevado potencial para o emprego de agregados reciclados em diferentes tipos de concretos com variadas resistências, a reutilização destes agregados ainda é baixa (VIEIRA; DAL MOLIN, 2004).

2.2 CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS RECICLADOS

De acordo com Orioli *et al* (2018), os agregados reciclados (AR) de resíduos de construção e demolição podem ser classificados como: mistos e de concreto. Os

agregados reciclados de concreto (ARC) são obtidos por meio do reaproveitamento de resíduo pertencente à classe A, na sua composição apresenta-se alguns compostos de fração graúda, no mínimo, 90% de massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Já os agregados reciclados mistos (ARM) também são obtidos do resíduo de classe A, porém são compostos na sua fração graúda de cerca de 90%, a menos de materiais cimentícios e rochas.

Os agregados reciclados devem passar por uma caracterização minuciosa antes da sua utilização, alguns métodos podem ser utilizados, como a análise granulométrica, a análise química, a análise mineral, a separação por densidade com a utilização de líquidos densos e a determinação da massa específica aparente e da absorção de água dos agregados (ANGULO, 2005).

De acordo com Figueiredo Filho (2011), as características dos agregados reciclados estão relacionadas à sua composição, qualidade do material e na forma de beneficiamento como, por exemplo, trituração, lavagem, entre outras. As etapas do beneficiamento vão desde a coleta do resíduo, transporte, em sequência passa pelo processo de separação, britagem e peneiramento, até o seu acondicionamento, para sim fazer novamente a sua utilização (MALTA, 2012).

Segundo o Manual da Construção (2016), o processo de beneficiamento se inicia com a etapa de segregação as quais os resíduos são reciclados e reaproveitados como matéria-prima. Após, os RCD já segregados em recipientes específicos para cada tipo de classificação conforme o CONAMA e finalidade de resíduos; e, posteriormente, deve-se encaminhá-los para o armazenamento final e destino.

Conforme Oliveira *et al* (2011), em um estudo realizado na cidade de Fortaleza, identificaram que a argamassa é o principal constituinte do RCD com cerca de a 38% da massa do RCD. Em seguida têm-se os resíduos de concreto e de cerâmica, com 14% e 13%, em média, respectivamente, do total do RCD descartado.

Nos agregados reciclados, a capacidade de absorção de água está relacionada à ocorrência de poros e, conseqüentemente resultando numa menor densidade. Essa redução de densidade do material ocasiona uma redução de resistência e redução de massa específica seca do material compactado (Leite *et al.*, 2011, Barbudo *et al.*, 2012, Cardoso *et al.*, 2016).

O ensaio de abrasão Los Angeles, consiste em determinar a resistência à fragmentação por choque e atrito das partículas dos agregados graúdos, o qual fornece um percentual da qualidade do material atribuído na produção do concreto. O problema da baixa resistência ao atrito e o desgaste por abrasão que os agregados reciclados são submetidos em comparação aos agregados naturais, vem sendo estudado por vários pesquisadores (Leite *et al.*, 2001, Motta *et al.*, 2005).

Conforme Levy (1997) os valores de abrasão Los Angeles para os agregados reciclados são de 20 a 50% superiores aos agregados naturais estudados. Em um estudo realizado por Bazouco (1999), foram encontrados valores semelhantes, porém com uma perda por abrasão de 44,5% para os agregados reciclados. A norma NBR NM 51 (2001) que rege este ensaio, faz limitações de até 50% de perda de abrasão para os agregados utilizados em concreto.

Quanto à granulometria dos agregados reciclados, não se apresenta estudo e registros de padronização, visto que alguns autores utilizam diversas faixas granulométricas. Porém, um método muito utilizado no Reino Unido, chamado método DOE (TEYCHENNE *et al.*, 1975, HANSEN, 1992), recomenda que agregados reciclados tenham tamanho máximo entre 16mm e 20mm. Segundo o método, para estimar agregado graúdos e miúdos é recomendado assumir a granulometria no estado de ótima para agregados reciclados, ou seja, a mesma que para agregados convencionais. Conforme as pesquisas de Motta (2005), a curva granulométrica dos ARC muda após realizada a sua compactação, ou seja, apresenta quebra de frações de agregados, tornando-a mais fina.

A degradação dos agregados reciclados está relacionada com a natureza do material. Leite *et al.*, (2011) afirma que por meio da compactação, os agregados mudam de formato, os agregados de concreto passam a predominar grãos mais cúbicos, enquanto os de cerâmica grãos lamelares.

Segundo Poon (2006) e Grubba (2005), a degradação dos agregados reciclados pode ser uma vantagem em relação aos agregados de concreto, porque há exposição de cimento anidro que, com a hidratação aumenta a resistência ao longo tempo. Porém, a quebra dos grãos lamelares dificulta a resistência devido a forma do agregado.

Morel *et al.* (1993) salienta que os concretos com agregados reciclados são sensíveis à evaporação, ele recomenda realizar uma pré-molhagem dos grãos antes de realizar os traços iniciais.

Em um estudo realizado por Padovan (2013), ele efetua a pré-molhagem dos agregados graúdos reciclados, quando utilizados em concretos com aditivos e sem aditivos, verificando suas propriedades nestes dois métodos. De acordo, com os resultados obtidos ele observa que as taxas de pré-molhagem influenciam pouco na perda de trabalhabilidade do concreto.

Cabral *et al.* (2007), alega em seu estudo que a água de pré-molhagem absorvida pelos agregados reciclados, futuramente se torna disponível na mistura, isso acontece para hidratar as partículas de cimento não hidratadas, além de auxiliar no processo de cura do concreto. Visto isso, a presença de água no agregado proporciona um melhor desenvolvimento de transição entre o agregado reciclado e a pasta de cimento.

2.2.1. Composição Granulométrica

Conforme Malta (2012), os agregados reciclados, miúdo e graúdo, apresentam uma composição granulométrica mais contínua e com maior quantidade de finos. Uma granulometria de certa forma bem distribuída, dentro da faixa de tamanhos imposta pela norma, a qual permite uma interação física entre os grãos, contribuindo para uma compactidade, ou seja, melhor arranjo e maior resistência mecânica entre as partículas (MARTÍN-MORALES *et al.*, 2011).

No estado fresco, os agregados com uma granulometria mais contínua, apresentam na mistura de concreto, uma granulometria trabalhável e econômica (MEHTA; MONTEIRO, 2014). No estado endurecido a granulometria proporciona um concreto mais denso, favorecendo a resistência à compressão, e outras propriedades mecânicas do concreto (OLIVEIRA, 2012).

Deste modo alguns aspectos são importantes como: módulo de finura, teor de finos e dimensão máxima do agregado. Porém, quanto maior o módulo de finura e a dimensão máxima característica – D_{max} , maior será o tamanho das partículas, o que diminuí na superfície específica, a fim de reduzir a necessidade da pasta em lubrificar os grãos, além de diminuir a água para molhar a superfície dos agregados (LEITE, 2001).

Diversos autores salientam que, os agregados reciclados possuem uma ampla quantidade de material pulverulento superior aos agregados naturais (Caraseck, 2018). Sendo assim, Silva (2017), fez comparações do teor de finos de agregados graúdos naturais com os reciclados mistos de concreto e constatou menores teores de material finos. Já para as comparações de agregado misto, os valores foram maiores, caracterizando uma fragilidade quando submetidos a processo de trituração.

De acordo com Pedrozo (2008), a presença de material pulverulento nos ARM, é de 5 (cinco) vezes maior do que nos agregados miúdos naturais, estes valores são superiores aos recomendados pela norma NBR 7219 (1982), a qual descreve os valores máximos dos materiais passantes na peneira de abertura 0,075mm em 3% para concretos submetidos a desgaste superficial e 5% para os demais concretos.

2.2.2 Forma e Textura

Os agregados de RCD apresentam uma enorme quantidade de partículas lamelares e uma textura mais áspera, rugosa (Moreira, 2010). A forma das partículas está diretamente relacionada as suas arestas por apresentarem um formato angular em suas pontas, a textura identificada pelo aspecto visual, a qual é utilizada para descrever as alterações da superfície, como ela se encontra em escala pequena não afeta a forma final (Jiménez, 2016).

Alguns autores, apontam que os grãos de agregados reciclados apresentam esta forma mais lamelares, devido ao processo de beneficiamento utilizado pelo britador de mandíbulas (Reis, 2009) e (Duailibe, 2008).

Conforme Figueredo (2011), a textura rugosa e forma irregular dos grãos de AR provocam um travamento entre os grãos, acarretando possíveis reduções de abatimento, mesmo com o aumento no teor de água. Dessa forma, Leite (2001) e Malta (2012) detectaram em suas pesquisas, que o ensaio de abatimento do tronco de cone não é o mais adequado para medir a trabalhabilidade de concretos com agregados reciclados.

Tenório (2007), afirma que a textura rugosa dos agregados afeta a trabalhabilidade do concreto, entretanto permite uma melhor aderência na pasta melhorando a resistência mecânica do concreto.

Em pesquisas realizadas por Mehta (2014) e Weidmann (2008), os autores afirmam que o volume da pasta serve para envolver a área que os grãos ocupam, isso

compensa nas dificuldades de rolamento entre as partículas. Além disso, a forma dos grãos e sua textura influenciam na dosagem de água, visto isso um agregado que apresenta forma irregular e textura rugosa aumenta a quantidade de água para a mesma trabalhabilidade, quando comparado ao agregado liso e arredondado.

2.2.3 Porosidade

A porosidade dos agregados reciclados é uma das características que mais influenciam o módulo de elasticidade do concreto. Isso é verificado pela porosidade do agregado a qual define sua rigidez (MEHTA, MONTEIRO, 2014).

Tenório (2007), relata que esses agregados reciclados possuem propriedades físicas diferentes dos agregados naturais, por apresentarem uma maior porosidade, devido na sua composição conter resíduos de diferentes materiais. Esta alta porosidade, resulta num aumento da permeabilidade do concreto e na diminuição da resistência.

Em pesquisas realizadas por Mari (2006) e Gómez -Soberón (2002), eles afirmam que os concretos produzidos com AR de concreto tendem a aumentar a porosidade na medida que aumenta o teor de substituição do agregado natural, pois o teor da pasta aumenta e com isso resulta no aumento do volume de poros, uma vez que o agregado reciclado é altamente mais poroso que o natural.

Mehta (2014), Yaman *et al* (2002), comprovam que o tipo de poros e sua distribuição afeta a resistência mecânica. Com a utilização de agregados naturais no concreto, e o concreto em seu estado endurecido, é verificado como mais poroso e essa porosidade influencia nas propriedades mecânicas, conforme Neville (1997).

De fato, a absorção de água está diretamente relacionada com a porosidade dos agregados, visto que os agregados retem uma quantidade significativa de água nos poros, em relação à massa seca do material (Daminelli, 2007). Visto isso, os concretos que são produzidos com agregados reciclados, apresentam uma característica de maior absorção de água, pois eles têm uma elevada porosidade e devido a isso, necessitam de mais água (Reis, 2013).

A variação dos valores de absorção de água ocorre em função da composição natural de cada resíduo, em pesquisas os autores afirmam que composições com maiores quantidades de cerâmica apresentam uma elevada porosidade, enquanto aqueles com composições de concreto tendem a ser menos porosos, portanto, mais resistentes (Reis, 2013).

2.3 CONCRETO COM UTILIZAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO

Os agregados reciclados possuem um percentual de 40 a 50% do seu volume de argamassa, podendo causar um péssimo desempenho do concreto produzido com a reutilização do agregado reciclado de forma completa (CABRAL, 2007). No caso de concreto com a utilização de agregados graúdos, os resultados são satisfatórios, o fator água/cimento apresenta valores baixos, resultando num concreto com características mais densas (SCOTT HOOD, 2006).

De um modo geral Malta (2012), afirma que para os teores de substituição dos agregados reciclados graúdos de 20% e 40%, obteve-se uma resistência média ao ensaio de compressão, aos 28 dias de idade, variando numa faixa de cerca de 27 a 45 Mpa.

Por outro lado, os concretos com teores de substituição de 100% de agregados graúdos e miúdos, obtiveram um péssimo desempenho mecânico, em relação aos outros teores de referência (VIEIRA; DAL MOLIN, 2004).

Em pesquisas realizadas por Hansen (1985) e Gonçalves (2001), a densidade do concreto com agregado reciclado é menor em comparação ao concreto confeccionado com agregado graúdo natural. Entretanto, a absorção de água em concretos com agregados reciclados é maior em relação ao concreto com agregado graúdo natural, este aumento resulta numa grande perda de trabalhabilidade, além disso, o módulo de elasticidade do concreto reciclado diminui em relação ao natural.

Mesmo o agregado reciclado apresentando algumas características negativas, ainda o seu uso é adequado para a produção de concreto não estrutural, sendo possível usar esse tipo de agregado em dosagens estruturais sem nenhum risco, desde que seja utilizado até 10% de agregado graúdo reciclado, porém algumas de suas propriedades não influenciam no concreto. (GONÇALVES, 2001).

Segundo Moitinho e Leite (2015), possibilitar o uso do concreto com agregado reciclado, expande uma oferta de um novo produto de qualidade, menor custo e resultando em vantagens econômicas para o mercado. Entretanto, para a produção de concretos reciclados é necessário considerar as propriedades desses agregados para aplicar um sistema coerente de dosagem, tendo em vista o teor de finos, a taxa de absorção de água, a massa específica, a textura e forma dos agregados reciclados as quais influenciam nas

propriedades dos concretos tanto no estado fresco quanto no estado endurecido (FIGUEIRÊDO FILHO, 2011).

O controle das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, é fundamental para a sua produção de forma e assegurar características esperadas ao longo da vida útil do concreto, por exemplo, a sua resistência e durabilidade. No caso do emprego de agregados reciclados de materiais mistos este controle torna-se mais importante em decorrência das características impostas pelo concreto, ou seja, propriedades físicas e mecânicas.

2.3.1. Propriedades no Estado Fresco

Segundo a NBR 13276 (ABNT, 2016) o concreto no estado fresco é caracterizado como o material recém-misturado, porém ele apresenta capacidade de possibilitar a moldagem, pela aplicação de cargas, permanecendo moldado após aplicação do ensaio neste estado. As principais características do concreto nesta fase, são: trabalhabilidade, coesão, segregação e exsudação.

Bauer (1994) afirma em seus estudos, que quando o concreto apresenta características de consistência e diâmetro máximo dos agregados relacionando com os métodos de lançamento, adensamento, pode se afirmar que o concreto é trabalhável. Entretanto, a mistura deve se manter durante todo o processo, com fluidez e coesão mínimas, de acordo com as normas que regem o lançamento do concreto (VIERO, 2010). Sendo assim, a consistência é um dos principais fatores que interfere na trabalhabilidade do concreto, ela está diretamente ligada com a mobilidade da mistura e a coesão dos seus componentes, ou seja, com maior ou menor facilidade de deformação sob ações de ruptura (FONSECA, 2006).

Sengel e Topçu (2004) ressaltam que a trabalhabilidade do concreto com agregados reciclados para uma substituição de até 50%, apresenta uma proporção de água/cimento maior. Os autores afirmam que, para melhorar a trabalhabilidade é necessário realizar uma pré-molhagem dos agregados reciclados antes da mistura, como forma de reduzir esta absorção de água.

Fonseca *et al.* (2011), Padovan (2013) entre outros autores, ao produzir concretos com agregados reciclados, observaram que para alcançar a trabalhabilidade desejada pelo abatimento do tronco de cone, foi necessário realizar a correção da a/c efetiva destes

concretos. Já nos estudos de Seara Paz *et al.* (2014) e Cabral (2007) constataram que, mesmo com a correção de água da relação a/c o abatimento não alcançou os valores desejados, para resolver o problema os autores necessitam adicionar um aditivo superplastificante às misturas de concreto reciclado, e deste modo obtiveram o abatimento estabelecido.

A mesma observação foi realizada por González-Fonteboa *et al.* (2012), que em sua pesquisa além de aumentar a relação a/c e utilizar um aditivo superplastificante nas misturas, o abatimento não foi alcançado, visto a necessidade de modificar a relação a/c da dosagem inicial, a fim de aumentar diretamente o teor de agregado reciclado

De acordo com as recomendações de RILEM (1994) e RAO (2007), para que uma mistura de agregado reciclado consiga o valor do abatimento necessário, o índice de água deverá ser aproximadamente 5% maior do que para o concreto convencional. Correia (2006), em sua pesquisa sugere a pré-molhagem dos agregados reciclados por um tempo de cerca de 30 minutos, a fim de minimizar o efeito da elevada absorção dos grãos dos agregados reciclados, melhorando a trabalhabilidade e por consequência o abatimento.

Outro fator que está relacionado ao estado fresco do concreto, é a massa específica, a qual é a massa da mistura por unidade de volume incluindo os poros, sendo ela influenciada pela substituição dos agregados graúdos reciclados, e esses apresentam uma menor massa específica em relação aos agregados naturais (POON, C.S; CHAN, D, 2006).

Em um estudo realizado por Brito (2005) com agregados graúdos reciclados foi possível verificar a massa específica dos concretos variando de 2349 kg/m³ para a mistura de referência a 2123 kg/m³, caracterizando com um concreto leve, isso com 100% de substituição dos agregados. O autor comenta que a densidade dos concretos feitos com agregado graúdos reciclados em comparação do concreto com agregado graúdo natural é menor, tornando-se um concreto mais leve.

2.3.2 Propriedades no Estado Endurecido

O concreto no estado endurecido desenvolve certas resistências mecânicas, sendo elas: durabilidade, permeabilidade, estabilidade e resistência, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014). De fato, o concreto em seu estado endurecido proporciona um material

mais denso, favorecendo a resistência à compressão, e outras propriedades mecânicas (Oliveira, 2012).

Conforme Neville (1997), ele explica que a resistência à compressão é uma das características mais importantes do concreto em projetos estruturais. Além disso, a resistência à compressão está diretamente ligada a durabilidade dos concretos.

Em pesquisas realizadas por Khatib (2005), o autor observou uma redução na resistência à compressão quando o agregado graúdo natural é substituído por agregado reciclado miúdo. Esta redução alcançou cerca de 30% para teores de substituição de 100% de agregado reciclados. Estudos apontam que teores de 25% de substituição causam redução de até 15% na resistência à compressão com agregados reciclados mistos. De acordo com, a pesquisa de Dal Molin *et al.* (2004) quanto maior a substituição de agregado miúdo reciclado no concreto, melhores os resultados de resistências mecânicas no estado endurecido do concreto, devido isso, as características de textura e granulometria dos grãos influenciam diretamente no desempenho mecânico do concreto.

Leite (2001) também constatou que os corpos de prova com agregados reciclados miúdos apresentaram índices pozolânicos, ele afirma que os índices podem estar associados ao aumento da resistência à compressão nos concretos com grandes porcentagens de substituição em idades avançadas.

Segundo estudos realizados, o concreto com agregado reciclado miúdo, em idades avançadas causa o aparecimento de microfissuras, relacionadas ao comportamento térmico do concreto, através destas microfissuras quando não saturadas o concreto pode absorver água, efeitos não benéficos no concreto, visto isso, concretos com a substituição de agregados reciclados graúdos, não foi encontrado esse efeito de microfissuras (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Zacaria (1996), estudou o desempenho e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados de demolição, com relação a/c de 0,55 sem considerar a perda de água pelo agregado. De acordo com o autor, a resistência relativa é mais baixa nas idades iniciais do concreto, com a utilização de agregado reciclado de tijolo cerâmico. Em idades avançadas, a resistência a compressão apresenta uma diminuição e em 90 dias de curas, cai para uma resistência de 64 MPa para 62MPa, de fato, isso acontece devido ao efeito pozolânico da parcela fina do agregado reciclado cerâmico.

Sendo assim, Mehta e Monteiro (2014) enfatizam que a resistência à compressão dá uma noção da qualidade do concreto para idades atuais e as futuras.

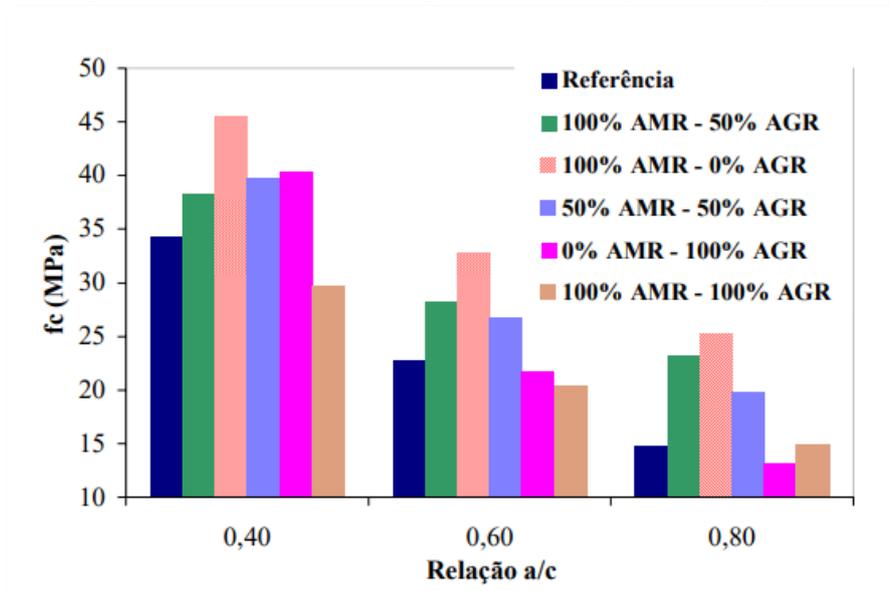
2.3.3 Pesquisas que utilizaram agregado graúdo de RCD

O intuito destas pesquisas é promover a reutilização dos agregados graúdo e misto de reciclagem de RCD, esses resíduos podem ser usados de inúmeras formas visando reduzir os danos ambientais causados pelos RCD é de suma importância buscar novas alternativas e novas composições.

2.3.3.1 Resíduo de Concreto

Ajdukiewicz e Kliszczewicz (2002) analisaram concretos com agregados reciclados graúdos com 100% de substituição, com as relações de a/c de 0,4; 0,60 e 0,80. Os resultados comprovaram que a relação de a/c 0,44 não obteve resultados satisfatórios para os ensaios de resistência a compressão com valores de 70% a menos do que o concreto de referência usados. Já para a relação a/c = 0,55, a resistência foi verificada em torno de 85%, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Resistência à compressão em função da relação a/c



Fonte: Ajdukiewicz e Kliszczewicz (2002).

Hansen (1992) em suas pesquisas avaliou concretos com a substituição de 100% de agregado miúdo reciclado, trabalhando com relação a/c 0,45 e os valores encontrados apresentaram uma diminuição em torno de 20% dos concretos com agregado natural. O autor afirma que o efeito negativo que existe, pode ser resolvido com o aumento da relação água/cimento, apesar dos agregados reciclados apresentarem uma alta taxa de

absorção de água, a resistência à compressão não fica limitada à resistência dos agregados, mas sim, pela resistência da pasta envolvida ao cimento.

Em um dos estudos de dosagem de concreto com agregado reciclado desenvolvido por Malta (2012), ela fez comparativos de dois métodos de dosagem, sendo eles: concreto convencional e concreto com substituição de agregado miúdo natural pelo reciclado, as avaliações foram realizadas pelo método de dosagem IPT/EPUSP, a relação a/c utilizada foi de 0,50 e o abatimento de 70 ± 10 mm. Segundo a autora os resultados encontrados apresentaram valores de abatimento variável, de certa forma fora do intervalo estabelecido, pois para as substituições de 25% e 50%, foi necessária realizar uma compensação da taxa de absorção do agregado miúdo reciclado, para as misturas continuarem coesas, homogêneas e moldáveis.

Reis (2013) realizou estudo com as misturas de concreto reciclado miúdo com teor de 50%, e o autor observou que quando realizado a pré-molhagem dos agregados reciclados, os resultados de abatimento alcançaram os valores estabelecidos. De fato, o grau de saturação dos agregados reciclados influencia diretamente na trabalhabilidade do concreto, visto isso, Reis afirma que quanto maior o grau de saturação do agregado reciclado, melhores os valores de abatimento obtidos.

Já Matias *et al.* (2013) produziram misturas com a substituição de agregado graúdo natural por agregado graúdo de concreto com teores de 25% e 50% de substituição, e conclui que quando não há utilização de aditivo superplastificante nas misturas de concreto com agregado graúdo reciclado, o concreto não atinge o abatimento estabelecido.

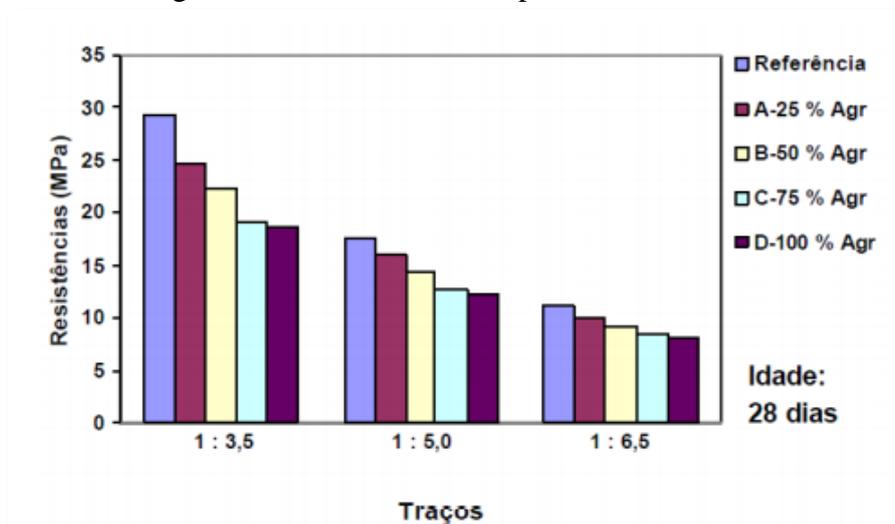
Ferreira *et al.* (2011) produziu concretos com agregados graúdos reciclados de concreto com teor de substituição de 50% e 100%, com relação a/c 0,45 e os corpos de prova atingiram o abatimento preestabelecido (80 ± 30 mm). Já em uma pesquisa realizada pelo Yang *et al.* (2011), os resultados foram vistos de uma outra forma, mesmo realizando a pré-molhagem dos agregados reciclados, e mantando a mesma relação a/c dos ensaios de Ferreira, o concreto ainda apresentou uma redução da trabalhabilidade, estes resultados são de aproximadamente de 30% em relação ao concreto de referência.

Segundo Padovan (2013), em sua pesquisa afirma que os concretos produzidos com 80% de pré-molhagem e 50% de substituição dos agregados reciclados sofrem uma

queda em relação ao abatimento do tronco de cone, e que conseqüentemente aumenta o teor de pré-molhagem, sendo os mesmos inversamente proporcionais. Reis (2013) afirma que o abatimento é influenciado diretamente pela taxa de pré-molhagem, em suas amostras ele utilizou pré-molhagem de 60%, 80% e 100%, o autor verificou que quanto maior a taxa de pré-molhagem melhores os resultados no abatimento, conclui que as misturas com taxa menores de pré-molhagem absorvem mais água no estado fresco do concreto, por conseqüência aumenta a perda de trabalhabilidade.

Santos (2006) encontrou redução de resistência de concretos produzidos com agregado graúdo reciclado, com quatro teores de substituição de 25%, 50%, 75% e 100%, conforme Figura 2. O autor afirma que os concretos produzidos com agregados reciclado mistos, perdem resistência à compressão quando atingem a idade de 28 dias, em relação ao concreto de referência.

Figura 2 – Resistência à compressão aos 28 dias



Fonte: Santos (2006).

Segundo Leite (2001) e Neville (1997), em comparação com a resistência mecânica dos concretos reciclados, eles afirmam que as características desses agregados, como textura e granulometria, influenciam positivamente o aumento da resistência. Isso é constatado pela composição dos agregados reciclados em apresentarem um percentual de finos, a qual resultada num efeito de empacotamento dos grãos de compactação e proporcionando uma redução de vazios na mistura. Por isso, por possuir maior absorção, o agregado reciclado permite uma maior aderência entre a pasta e o agregado, através da absorção da precipitação dos cristais de hidratação nos poros dos agregados.

Nos estudos de Matias *et al.* (2013), eles utilizaram um aditivo superplastificante redutor de água durante a dosagem do concreto, observou que os concretos produzidos com a substituição de até 50% de agregados graúdos reciclados, alcançaram as resistências à compressão semelhante aos concretos de referência.

Cavalheiro (2011); Padovan (2013), enfatizam a viabilidade técnica da utilização de um teor de substituição de no máximo 50% do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado de concreto, pois valores acima deste percentual podem influenciar diretamente na resistência mecânica do concreto. Além disso, os trabalhos que utilizaram agregado reciclado de concreto obtiveram melhores resultados no comportamento mecânico em relação aos convencionais, ainda que esta melhoria seja limitada pela qualidade do material utilizado e pelo teor de substituição.

2.3.3.2 Resíduo de Cerâmica vermelha

Em um estudo concretizado por Sales e Alferes Filho (2014) feito para avaliar o desempenho do concreto, foram produzidas misturas com substituição de 10%, 20% e 40% de resíduo de cerâmica vermelha. Em seus resultados de ensaio de resistência à compressão, houve redução nos 28 dias, sendo 11% para o teor de substituição de 10%, 20% para teor de substituição 20% e 17% para o teor de 40% de substituição de concreto para resíduo de cerâmica vermelha.

Dallacort *et al.* (2002) afirma em seu estudo de resistência à compressão que os valores obtidos foram superiores a 2 MPa em relação ao concreto de referência para a substituição de até 57% de agregados reciclados de cerâmica vermelha, estes resultados comprovam que os resíduos cerâmicos moídos possuem ação pozolânica e efeito fíler, melhorando seu desempenho.

Na pesquisa de Nascimento (2017), ele realizou concretos utilizando 20% e 30% de substituição do cimento por resíduo de cerâmica vermelha, apresentou-se uma perda de resistência de 11,6% e 16,8% respectivamente ao concreto de referência. Essa diminuição foi relacionada ao aumento da relação a/c devido a substituição dos resíduos de concreto por cerâmica vermelha, levando em consideração o efeito fíler.

Toledo Filho *et al.* (2017) concluíram que as resistências à compressão de concretos confeccionados com resíduos cerâmicos em substituição de até 40% dos resíduos de concreto, foram superiores. Entretanto Wanda (2010), ressalta que na maioria

dos casos, a utilização de resíduo de cerâmica vermelha como agregado, melhora as propriedades físicas do concreto em seu estado endurecido.

Gonçalves (2007), analisou a resistência à tração por compressão diametral de concretos com a substituição de 20% do resíduo de concreto pelo resíduo cerâmico miúdo e constatou que esta substituição não altera a resistência por compressão diametral. Acredita-se que isso acontece pela reação polozanica do resíduo cerâmico em relação ao hidróxido de cálcio, visto isso, resultou na conservação da resistência.

Bicca (2000) também afirma que o ensaio da compressão diametral dos traços de referência e os traços com substituição de agregado reciclado cerâmico, de teores de substituição de 20%, 25% apresentam comportamentos e resultados muito semelhantes.

Araujo *et al.* (2015) realizou a substituição do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado de cerâmica vermelha nos teores de 19%, 43%, 75% e 100%. O autor observou uma redução de 4% da massa específica que o concreto sofreu, isso não influenciou na substituição dos teores.

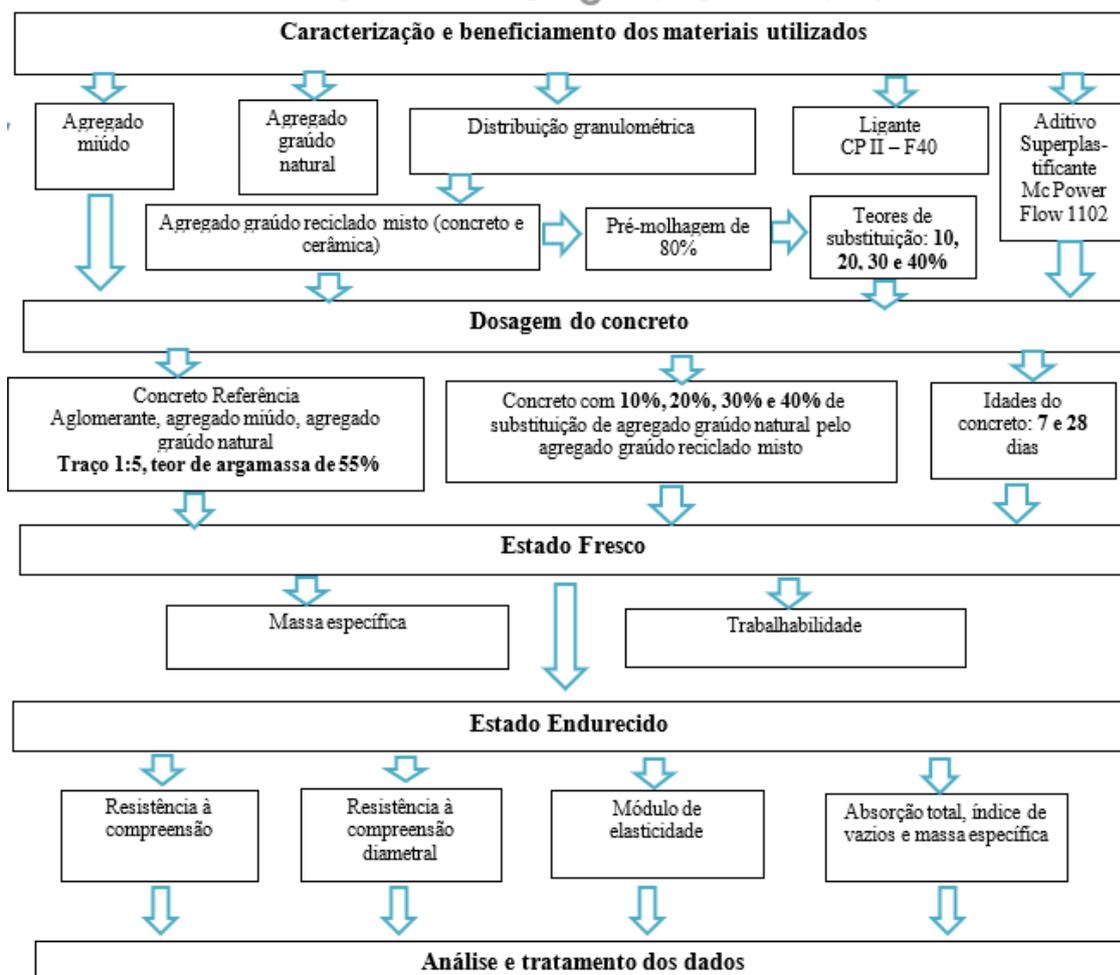
Reis (2013) também utilizou agregado graúdo reciclado de cerâmica vermelha para realização de um concreto convencional, porém utilizou apenas três teores de pré-molhagem, 60% 80% e 100%, em seus resultados de absorção de água por capilaridade demonstra que o melhor fator de pré-molhagem é 80%, devido ter apresentado menores taxas de absorção de água. Ele concluiu que a saturação do agregado reciclado, tendem a aumentar bastante a capacidade de absorção do concreto isso acontece devido existir uma maior conectividade na estrutura dos poros da interface pasta/agregado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a substituição do agregado gráudo natural pelo agregado gráudo reciclado misto foram empregados os percentuais de 10%, 20%, 30% e 40% de teores de substituição. Estes valores foram determinados por meio de pesquisas que afirmam que acima de 50% de substituição o concreto pode perder resistência mecânica. (LEITE, 2001; NEVILLE, 1997; PINHEIRO, 2007; TROIAN, 2010). Em relação, a pré-molhagem dos agregados foi utilizada a de 80% do teor de absorção do agregado reciclado gráudo misto seguindo o trabalho de Padovan (2013).

Na Figura 3 temos o fluxograma do programa experimental da pesquisa, na Tabela 1 podemos ver os métodos que foram utilizados para cada ensaio.

Figura 3 – Fluxograma do programa da pesquisa



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Tabela 1 – Métodos de ensaio

	Ensaio	Normas
ESTADO FRESCO	Abatimento do tronco de cone (slump teste)	NBR NN 67 (ABNT, 1998)
	Determinação da massa específica	NBR 9833 (ABNT, 1998)
ESTADO ENDURECIDO	Resistencia à compressão	NBR 5739 (ABNT,2007)
	Resistencia à compressão diametral	NBR 7222(ABNT,2011)
	Modulo de elasticidade	NBR 8522 (ABNT, 2017)
	Absorção total, índice de vazios e massa específica	NBR 9778 (ABNT,2009)

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Com finalidade de padronizar o nome para cada traço foi criado uma nomenclatura, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Nomenclatura dos traços

Abreviaturas	Nomenclaturas
REF	Concreto de Referência somente com agregados naturais
T 10S	Traço com 80% de pré-molhagem e 10% de substituição
T 20S	Traço com 80% de pré-molhagem e 20% de substituição
T 30S	Traço com 80% de pré-molhagem e 30% de substituição
T 40S	Traço com 80% de pré-molhagem e 40% de substituição

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Todos os corpos de provas que foram ensaiados, possuem os materiais, dosagem, cura e ensaios padronizados, para que haja um controle dos traços de concreto produzidos nesta pesquisa. A temperatura e umidade do ambiente de laboratório foram variáveis não controladas.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais que foram utilizados e suas devidas caracterizações para confecção deste concreto estão descritos abaixo.

3.1.1 Agregado miúdo

Para a realização desta pesquisa foi utilizado o agregado miúdo fornecido por uma empresa localizada na cidade de Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul. Suas propriedades físicas foram determinadas através dos ensaios de massa específica NBR NM 52 (ABNT, 2003) e distribuição granulométrica seguindo os parâmetros da NBR NM 248 (ABNT, 2003).

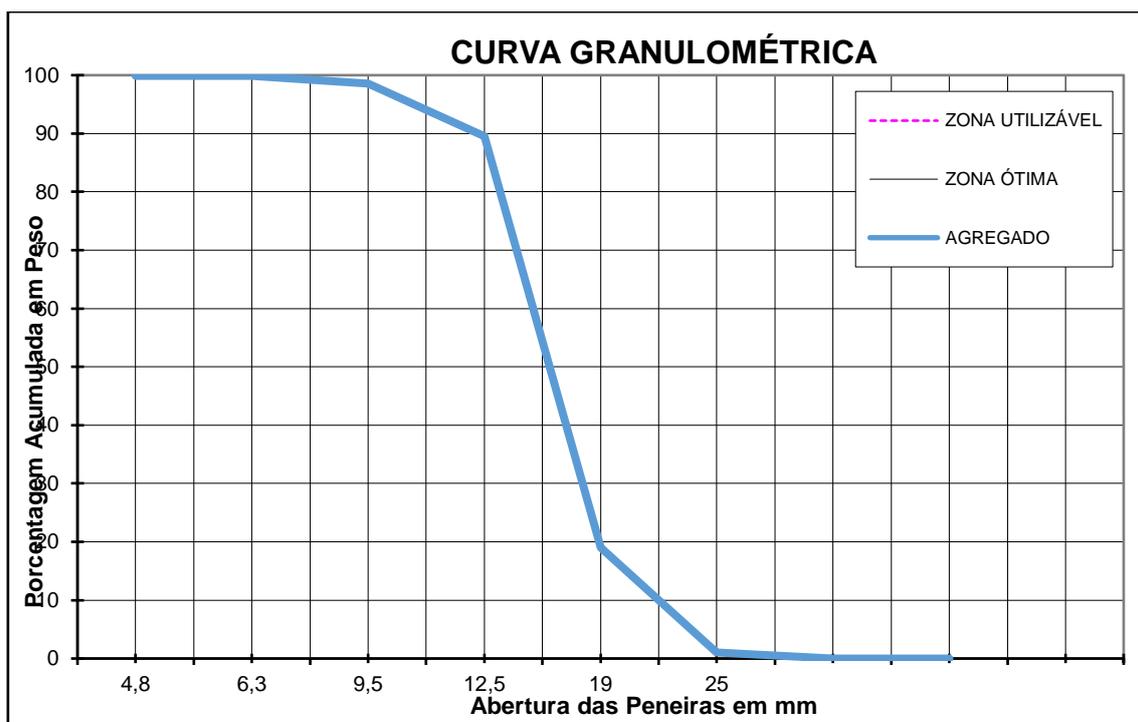
Na Tabela 3 podemos observar as características físicas deste agregado miúdo a qual pode ser classificado como areia natural média, com base nos limites impostos pela NBR 7211 (ABNT, 2005). Na Figura 4 apresenta-se a curva granulométrica do agregado miúdo natural, onde ele se enquadra dentro da zona utilizável.

Tabela 3 – Características físicas do agregado miúdo natural

Abertura da peneira (mm)	% Retida simples	% Retida acumulada
4,80	0	0
2,4	9	9
1,2	14	23
0,6	17	39
0,3	35	75
0,15	22	97
FUNDO	3	100
Módulo de finura	2,42	
Dimensão máxima característica (mm)	4,8	
Massa específica (Kg/m ³)	2,63	

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Figura 4 – Gráfico da curva de distribuição granulométrica agregado miúdo natural



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

3.1.2 Agregado graúdo natural

Para a realização desta pesquisa foi utilizado o agregado graúdo natural fornecido por uma empresa localizada na cidade de Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul. Foram realizados ensaios para classificar sua granulometria segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003), e ensaios de absorção e massa específica deste agregado, conforme a NBR NM 53 (ABNT, 2009).

Foram realizados os ensaios descritos acima, onde o agregado graúdo natural foi classificado como brita 0, conforme a norma NBR 7211 (ABNT, 2005), na Tabela 4 estão apresentadas suas características físicas e na Figura 5 a curva granulométrica do agregado graúdo natural.

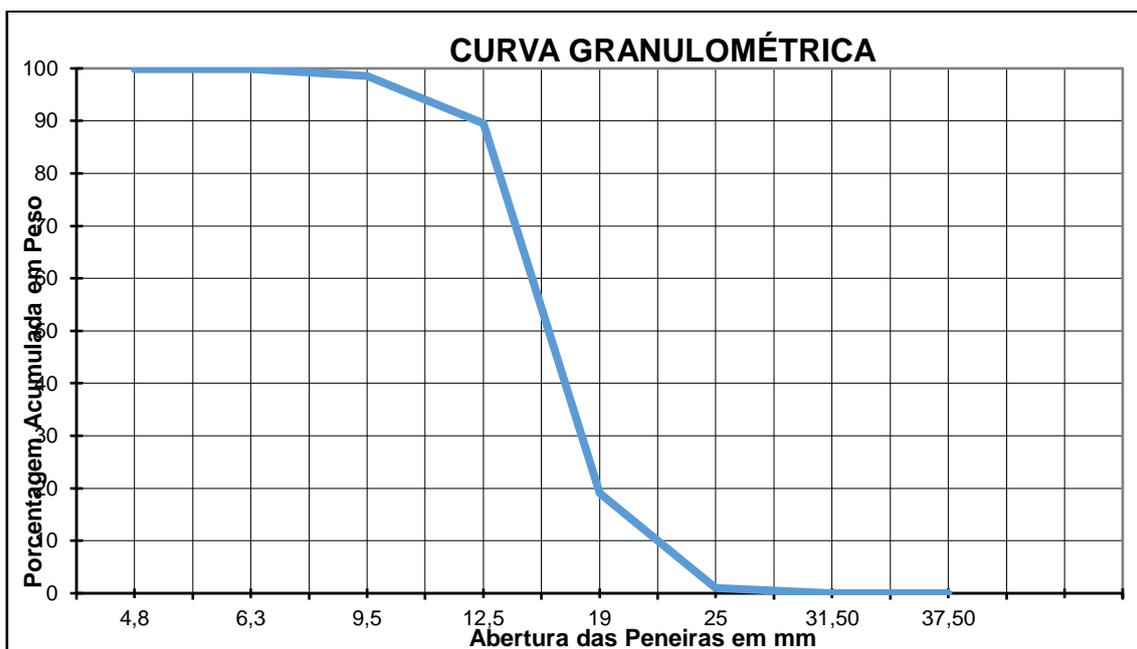
Tabela 4 – Características físicas do agregado graúdo natural

Abertura da peneira (mm)	% Retida simples	% Retida acumulada
25	1,00	1,00
19	18,05	19,05
12,5	70,49	89,54
9,5	9,04	98,57
6,3	1,31	99,88

4,75	0,00	99,88
FUNDO	0,12	100,00
Módulo de finura	7	
Dimensão máxima característica (mm)	25	
Massa específica (Kg/m ³)	2,72	
Absorção (%)	2,17	

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Figura 5 - Gráfico da curva de distribuição granulométrica do agregado graúdo natural



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

3.1.3 Agregado graúdo reciclado

Após a obtenção do resíduo reciclado misto de concreto e cerâmica, oriundos através da britagem, realizada pela empresa Scariot localizada em Caxias do Sul, onde o resíduo, foi britado em um moinho de mandíbulas, conforme Figura 6. Essa máquina é composta por um alimentador vibratório, seguido por uma esteira que leva o material até o britador, após passar pelo britador o material é passado por peneiras e separado conforme um padrão granulométrico.

Figura 6 – Britador



Fonte: Scariot (2020).

Para este agregado gráudo reciclado foi realizado o ensaio de massa específica e absorção de água conforme a NBR NM 53 (ABNT, 2009), onde verificou-se que a massa específica do agregado gráudo misto reciclado é de 5,73 Kg/m³, na Tabela 5 é possível identificar os resultados dos ensaios descritos e a distribuição granulométrica utilizada, foi realizada através da curva granulométrica do agregado gráudo natural. E na Figura 7, podemos analisar a forma mais irregular do agregado gráudo misto de concreto e cerâmica.

Tabela 5 - Características físicas do agregado gráudo reciclado

Abertura da peneira (mm)	% Retida acumulada
25	1
19	18
12,5	71
9,5	9
6,3	1
TOTAL	100
Módulo de finura	0,10
Massa específica (Kg/m ³)	5,73
Dimensão máxima característica (mm)	25
Absorção (%)	10,60

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Figura 7 – Agregado graúdo reciclado misto



Fonte: Registrada pelo autor (2021).

3.1.4 Aditivo superplastificante

O aditivo utilizado nas dosagens dos traços de substituição foi um superplastificante da marca MC Power Flow 1102 - Mc Bauchemier, sendo fornecido pela indústria de pré-fabricados, as características do aditivo foram fornecidas pelo fabricante, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Características do aditivo

Função	Aditivo superplastificante sintético de polímeros poli carboxilatos para concreto
Base química	Lignosulfonatos e aditivos especiais
Aspecto	Líquido
Cor	Amarelo claro
Densidade (g/cm ³)	1,07
Dosagem recomendada	0,2 a 5 % sobre o peso do cimento
Teor de cloretos	< 0,1 %
Teor de álcalis	< 1%

Fonte: Mc Bauchimier (2020).

3.1.5 Ligante

O ligante utilizado para este estudo foi o cimento Portland do tipo CP-II-F40, todas as características físicas e químicas do aglomerante foram obtidas pelo fabricante do cimento, conforme Tabela 7 e 8.

Tabela 7– Características químicas

Data	Al2O3	SiO2	Fe2O3	CaO	MgO	So3	Perda fogo	CaO livre	Resis. insol.	Eq. Alcal.
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Média	4,24	18,48	2,63	61,02	4,33	2,76	4,99	0,78	1,10	0,66
Sd	0,07	0,13	0,03	0,31	0,28	0,13	0,09	0,12	0,11	0,02
Mín	4,15	18,26	2,58	60,58	3,87	2,59	4,78	0,61	0,96	0,63
Max	4,38	18,70	2,69	61,48	4,67	2,97	5,13	1,01	1,33	0,68

Fonte: Itambé (2020).

Tabela 8 – Características físicas

EXP. QUE NTE	Tempo de pega		Cons. Norm al	Blaine	#200	#325	Resistência à compreensão			
	Início	Fim					1 dia	3 dias	7 dias	8 dias
mm	H:min	H:mi n	%	Cm²/g	%	%	MPa	MPa	MPa	MPa
0,22	03:16	03:55	29,30	4,215	0,07	1,10	21,80	37,40	43,50	51,00
0,08	00:10	00:09	0,40	65,02	0,05	0,57	1,00	1,70	1,70	2,30
0,09	02:58	03:35	28,50	4,111	0,02	0,53	20,40	34,70	41,10	48,00
0,5	03:31	04:07	29,80	4,309	0,20	2,02	23,50	39,30	46,00	54,00

Fonte: Itambé (2020).

3.1.6 Água

A água que foi utilizada para mistura dos materiais é potável, proveniente da rede de abastecimento municipal de Bento Gonçalves/ RS.

3.2 MÉTODOS DE DOSAGEM

A dosagem do concreto utilizou o traço intermediário (1:5) de acordo com o método de dosagem IPT/EPUSP (HELENE; TERZIAN, 1992), utilizando como parâmetro de controle a trabalhabilidade de 120 ± 20 mm, e empregando o teor ideal de argamassa de 55%. Assim o traço de referência foi definido em 1:2,36:2,64 em massa, com 10%, 20%, 30% e 40% de teor de substituição de agregado graúdo natural pelo agregado reciclado misto.

Na Tabela 9 podemos verificar a quantidade de material para cada traço. A proposta é de manter o teor de a/c da mistura, para isso poderemos necessitar do emprego de um aditivo superplastificante a fim de manter a trabalhabilidade da mistura. O emprego do aditivo foi usado apenas no traço de 40% de substituição de agregado graúdo reciclado.

Tabela 9 – Quantidade de material para cada traço

Amostras	Cimento (Kg)	Agregado miúdo (Kg)	Agregado graúdo (Kg)	Agregado reciclado (Kg)	Água (Kg)	Aditivo (%)
REF	11	25,96	29,04	0,00	6,94	0,00
T 10S	11	25,96	26,13	2,90	6,94	0,00
T 20S	11	25,96	23,22	5,80	6,94	0,00
T 30S	11	25,96	20,32	8,71	6,94	0,00
T 40S	11	25,96	17,42	11,61	6,94	2,316
SOMA	55	129,80	116,16	29,04	34,70	2,316

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

3.2.1 Pré-molhagem

Para realizar os cálculos, foi determinado a quantidade de água total a qual foi utilizada para fazer a pré-molhagem de cada amostra com os valores do ensaio de absorção de água do agregado graúdo reciclado. A partir destes valores foram determinadas a quantidade de água de cada pré-molhagem, conforme a Equação 1.

$$Ap = MR * \frac{Abs\ 24h}{100} \quad (1)$$

Onde:

- Ap = água de pré-molhagem (Kg);
- MR = massa do agregado graúdo reciclado (Kg);
- $Abs,24h$ = percentual de água absorvida pelo agregado em 24 horas (%).

Além da pré-molhagem dos agregados foi realizada uma compensação da água, pois segundo pesquisas realizadas por Padovan (2013), é importante analisar as taxas de absorção dos agregados reciclados, a fim de minimizar os impactos de absorção de água na mistura, perante o concreto no estado fresco. Para estimular esta compensação de água, utiliza-se a Equação 2, e os resultados encontram-se na Tabela 10.

$$Ac = A_{sat\ 24} - A_{AGN} - A_{pré} \quad (2)$$

Onde:

- Ac = água de compensação (Kg);
- $A_{sat\ 24}$ = absorção de água da quantidade de agregado graúdo reciclado utilizado em 24 horas (Kg);
- A_{AGN} = absorção de água da quantidade do agregado graúdo natural saturado a ser substituído (Kg);

- $A_{pré}$ = água utilizada na pré-molhagem (Kg).

Para realizar a pré-molhagem dos agregados, com auxílio de uma balança de precisão foi pesada a quantidade de agregado graúdo reciclado seco para cada traço, e da mesma forma foi pesada a quantidade de água para cada traço. Após, foi inserido o agregado reciclado em um recipiente e aos poucos borrifada água sobre eles, tendo o cuidado para que todo agregado receba água, este processo foi realizado em um recipiente vedado para que não sofra perda de água para o ambiente externo. O recipiente foi vedado, durante este período a cada 24 horas, o recipiente sofreu agitação de forma cuidadosa.

Tabela 10 – Compensação de água

Amostras	Água de pré-molhagem (Kg)	Água de compensação (Kg)	Relação inicial A/C	Relação final A/C
REF	0,00	0,00	0,6297	0,6297
T 10S	0,25	0,00	0,6297	0,6297
T 20S	0,47	0,00	0,6297	0,6297
T 30S	0,74	0,00	0,6297	0,6297
T 40S	0,99	0,00	0,6297	0,6297

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

3.3 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

Os métodos que foram empregados para o estudo das propriedades mecânicas dos concretos confeccionados no estado fresco estão os apresentados na sequência, sendo todos os ensaios realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil, da Universidade de Caxias do Sul - CARVI, nesta etapa se propicia a moldagem dos corpos de prova, conforme a norma que a rege.

3.3.1 Trabalhabilidade

Para esta pesquisa com fim de controlar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco foi definido um abatimento de 120 ± 20 mm. O ensaio do abatimento do tronco de cone, seguiu a NBR NM 67 (ABNT, 1998), sendo realizado amostra para cada traço realizado nesta pesquisa.

As amostras foram realizadas sem o uso de aditivo superplastificante para verificar a influência do agregado graúdo reciclado misto. No último traço de

substituição, ou seja, o T40S foi empregado o uso do aditivo superplastificante para igualar a trabalhabilidade adotada.

3.3.2 Determinação da massa específica

Foi realizado três ensaios de determinação da massa específica para cada traço empregado, seguindo as instruções da normativa NBR 9833 (ABNT, 2009).

Para determinar a massa específica, deve se calcular a massa do concreto, subtraindo a massa do recipiente vazio onde se realizou o adensamento do concreto, após isso com auxílio da Equação 3, calcular a massa específica.

$$P = \frac{m}{V} * 1000 \quad (3)$$

Onde:

- P = massa específica (Kg/m³);
- m = massa do concreto (Kg);
- V = volume do recipiente (m³).

3.4 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

Os métodos empregados para o estudo das propriedades mecânicas dos concretos confeccionados estão apresentados na sequência, sendo todos os ensaios realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil, da Universidade de Caxias do Sul - CARVI, os ensaios realizados no estado endurecido do concreto, foram realizados aos 7 e 28 dias de cura.

3.4.1 Resistência à compressão

Os ensaios a resistência à compressão foram realizados, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007), os corpos de prova foram mantidos em cura até serem realizados os ensaios aos 7 dias e aos 28 dias. Para cada idade foram ensaiados dois corpos de prova de cada traço de concreto produzido.

Com a superfície do corpo de prova limpa e seca, posiciona-se o mesmo na presa a fim de realizar a ruptura., conforme a Figura 8. A prensa é iniciada com uma velocidade de carregamento de (0,45 ± 0,15) MPa/s, sendo essa velocidade mantida constante até a ruptura do corpo de prova. Os resultados do ensaio são calculados pela Equação 4.

$$F_c = \frac{F}{A} \quad (4)$$

Onde:

- F_c = resistência a compressão (MPa);
- F = força (N);
- A = área da base (mm^2).

Figura 8 – Ensaio da resistência à compressão



Fonte: Registrada pelo autor (2021).

3.4.2 Resistência à compressão diametral

Os ensaios de resistência à tração por compressão diametral foram executados de acordo com a NBR 7222 (ABNT, 2011). O ensaio foi realizado em 2 corpos de prova de dimensões 100x200 mm, retirados da cura em câmara úmida na idade de 7 e 28 dias. Para cada idade foram ensaiados dois corpos de prova de cada traço de concreto produzido.

Após o ajuste do corpo de prova, a compressão foi aplicada lembrando que o corpo de prova não pode mover-se do seu posicionamento, a velocidade aplicada é de $(0,05 \pm 0,02)$ MPa/s, sendo aplicada até a ruptura do corpo de prova, conforme a Figura 9. Para realizar os cálculos de resistência à tração por compressão diametral deve ser utilizada a Equação 5.

$$F_{ct, sp} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d \cdot l} \quad (5)$$

Onde:

- $F_{ct, sp}$ = resistência à tração por compressão diametral (MPa);

- d = diâmetro do corpo de prova (mm);
- l = comprimento do corpo de prova (mm).

Figura 9 – Ensaio de compressão diametral



Fonte: Registrada pelo autor (2021).

A importância deste ensaio em relação as propriedades do concreto é para obter o conhecimento da resistência à tração de compressão diametral a fim de permitir e estimar a carga para a qual ocorre a fissuração e, desse modo, estimar a durabilidade do concreto a longo prazo.

3.4.3 Módulo de elasticidade

Para a realização do ensaio de módulo de elasticidade foi utilizado os parâmetros da NBR 8522 (ANBT, 2017) onde foram moldados 3 corpos de prova para cada traço, testados aos 28 dias após sua moldagem, para a realização deste ensaio os corpos de provas foram preparados como no ensaio de resistência à compressão.

O ensaio consiste em posicionar o corpo de prova a ser ensaiando no centro da máquina, ele recebe uma tensão de até 30% da resistência característica do concreto (0,5 MPa) e permanecer aplicando a carga durante 60 segundos, conforme a Figura 10. Após, reduzir o carregamento com a mesma velocidade que foi aplicado anteriormente, realizar mais dois ciclos de carga com períodos iguais, carregar novamente o corpo de prova e medir a deformação obtida após 30 segundos do ciclo e por fim, aumentar proporcionalmente o carregamento até que o corpo de prova se rompa. Os valores

coletados no ensaio foram realizados em um equipamento específico de precisão no laboratório da UCS – CARVI.

Figura 10 – Ensaio do módulo de elasticidade



Fonte: Registrada pelo autor (2021).

A importância deste ensaio perante as propriedades do concreto é que ele correlaciona as deformações do concreto com as tensões de ruptura, visando assim as ações dos carregamentos e forças da natureza as quais podem apresentar deformações que, por sua vez, podem ter como consequências patológicas no futuro da edificação.

3.4.5 Absorção de água por imersão, massa específica e índice de vazios

Usando as massas determinadas de acordo a NBR 9778 (ABNT, 2019), o ensaio foi realizado após os 28 dias de cura, foram colocadas as amostras em estufa com a temperatura de aproximadamente 105 ± 5 °C e mantidas por 72 horas, este ensaio utilizou-se 3 corpos de prova de cada traço, depois desse processo foi determinada a massa das amostras secas.

Depois de resfriados foi realizado o processo de secagem e pesagem das amostras, as mesmas foram saturadas novamente por 72 horas em um tanque de água, em seguida dessa saturação se dá início ao um novo processo de saturação onde as amostras foram fervidas por 5 horas. Após realizada a fervura as amostras permanecem dentro do recipiente da fervura esfriando até chegar na temperatura ambiente.

Por fim foi realizada a pesagem das amostras saturadas, com auxílio de uma balança hidrostática de precisão, conforme a NBR 9778 (ABNT, 2019). Para fins de cálculo foi realizado a média dos 3 corpos de prova ensaiados por traço, conforme as Equações 6,7, e 8.

$$Abs = \frac{Msat - Mseca}{Mseca} * 100 \quad (6)$$

Onde:

- Abs = absorção de água por imersão (%);
- Msat = massa do corpo de prova saturado (Kg);
- Mseca = massa do corpo de prova seco (Kg).

$$I = \frac{Msat - Mseca}{Msat - M1} * 100 \quad (7)$$

Onde:

- I = índice de vazios;
- Msat = massa do corpo de prova saturado (Kg);
- Mseca = massa do corpo de prova seco (Kg);
- M1 = massa do corpo de prova saturado, imerso em água (Kg).

$$Ms = \frac{Mseca}{Msat - M1} \quad (8)$$

Onde:

- Msat = massa do corpo de prova saturado (Kg);
- Mseca = massa do corpo de prova seco (Kg);
- M1 = massa do corpo de prova saturado, imerso em água (Kg);
- Ms = massa do corpo de prova seco (Kg).

3.5 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS

A análise e tratamento dados obtidos nos ensaios de resistência à compressão, resistência à compressão diametral, módulo de elasticidade e absorção total, foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA) para verificação dos resultados obtidos sobre as propriedades analisadas. O nível de significância adotado será de 95%, utilizando como auxílio o editor de planilhas Excel.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo estão apresentados os resultados dos ensaios realizados no estado fresco e no estado endurecido, e a comparações entre eles, esta análise foi realizada através de tabelas e gráficos para facilitar o entendimento e visualização dos resultados obtidos.

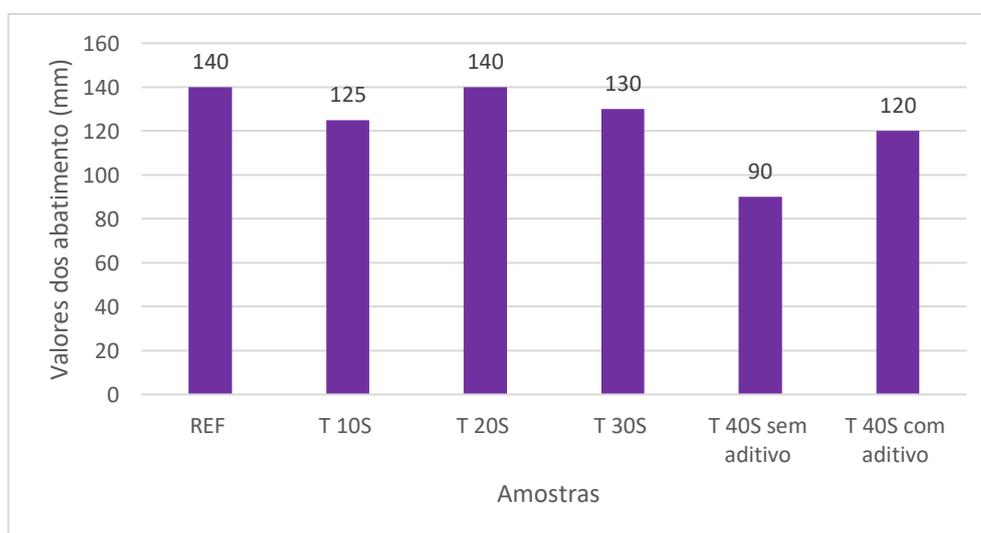
4.1 ESTADO FRESCO

Nesta etapa foram analisados os resultados dos ensaios no estado fresco, as quais foram executados os ensaios de abatimento de tronco de cone e determinação de massa específica.

4.1.1 Trabalhabilidade

Como podemos ver na Figura 11, foi necessário utilizar aditivo superplastificante na mistura apenas no traço com 40 % de substituição de agregado graúdo reciclado a fim de atingir o abatimento fixado para não adicionar mais água na mistura. Nos demais traços não foi utilizado aditivo superplastificante, pois não houve necessidade. Verifica-se também, que o traço T-20S obteve o mesmo abatimento do traço do concreto de REF, os demais traços T-10S e T-30S os valores variaram de 10 a 15 mm, mesmo assim todos os traços se mantiveram dentro do abatimento estabelecido.

Figura 11 - Gráfico do abatimento por traço



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Conforme estudos realizados por Fonseca (2006), ele afirma que a geometria do agregado graúdo reciclado e sua textura mais áspera do que o natural contribui para a perda do abatimento do tronco de cone, isso acontece devido o empacotamento e travamento das partículas de graúdo nas misturas de concreto com agregado reciclado. Este efeito, foi identificado no traço de 40 % de substituição do agregado graúdo reciclado, visto a necessidade de utilização de aditivo superplastificante na mistura, por ser a maior substituição de agregado reciclado utilizado nesta pesquisa, os demais traços em estudos como a substituição é de fato menor, não houve necessidade de adição do aditivo.

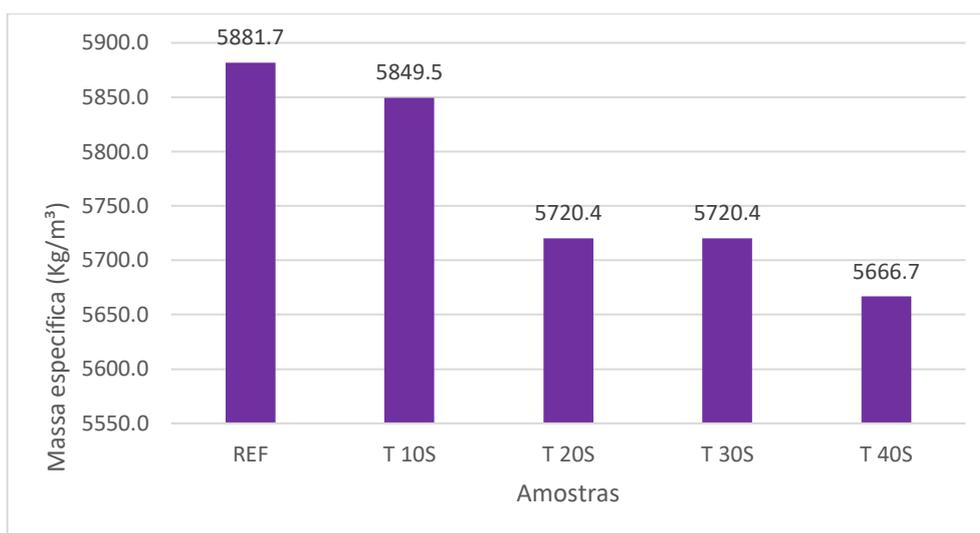
Segundo Padovan (2013), os agregados reciclados mistos apresentam uma composição diversificada, ou seja, composto de argamassa, concreto, cerâmica e rocha. Devido a isso, a heterogeneidade dos agregados apresenta propriedades influenciáveis em cada processo de produção do concreto, seja ela no estado fresco ou no estado endurecido. Analisando os resultados obtidos, não se pode verificar grandes diferenças de homogeneidade nos menores teores de substituição de agregado graúdos reciclados.

Reis (2013) afirma que, o abatimento é influenciado diretamente pela taxa de pré-molhagem, em suas amostras ele utilizou pré-molhagem de 60 %, 80 % e 100 %, quanto maior a pré-molhagem maior os valores de abatimento. Sendo assim, o autor verificou que mistura com uma taxa menor que 60 % de pré-molhagem absorvem mais água em seu estado fresco, resultando numa perda de trabalhabilidade, visto isto nesta pesquisa foi utilizado o teor de 80 % de pré-molhagem, a fim de garantir uma melhor trabalhabilidade para o concreto.

4.1.2 Massa específica

Como podemos observar pela Figura 12, o concreto de REF foi o traço que apresentou a maior massa específica, os traços T-10S e T-20S apresentam valores próximos com uma diferença de 129,10 Kg/m³, cerca de 2,19 % quando comparado com o traço de REF. Já os traços T-20S e T-30S apresentaram os mesmos valores de massa específica e o traço de T-40S apresentou o menor valor, cerca de 4 % em relação ao traço de REF. Verifica-se que quanto maior o teor de substituição de agregado graúdo misto reciclado, menor foi o valor obtido de massa específica.

Figura 12 – Gráfico da massa específica



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Conforme estudos realizados por Fonseca (2006), a massa específica dos concretos com a utilização dos agregados reciclados graúdos é menor em comparação com concretos realizados com agregados naturais, isso acontece pois o agregado graúdo reciclado apresenta uma menor massa específica, visto o agregado reciclado graúdo ter características mais porosas do que o agregado natural, sendo assim absorve mais água do que o concreto convencional natural, resultando numa diferença de massa específica.

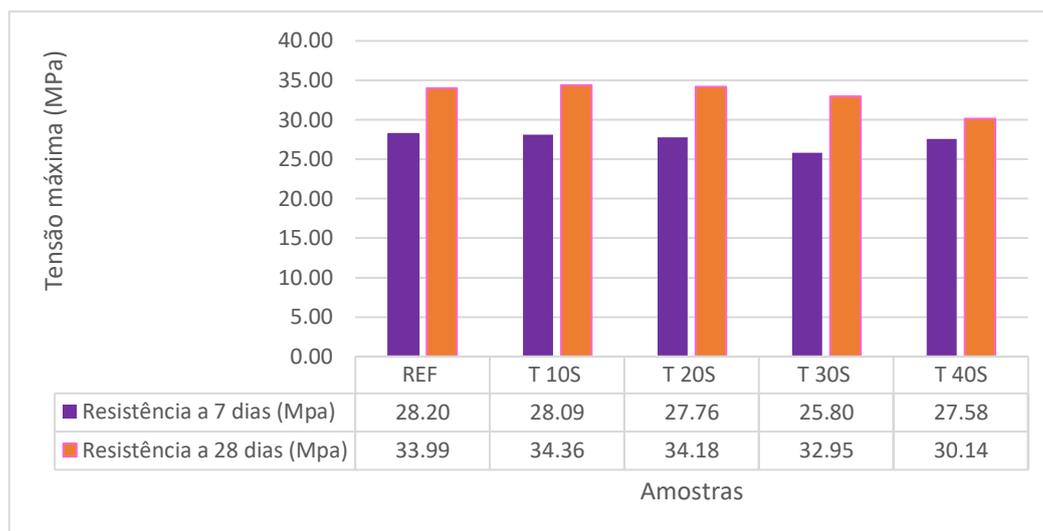
4.2 ESTADO ENDURECIDO

Nesta etapa foram analisados os resultados obtidos no concreto em seu estado endurecido em 7 e 28 dias, foram realizados os seguintes ensaios: resistência à compressão, resistência à compressão diametral, módulo de elasticidade, absorção de água total, índice de vazios e absorção por capilaridade.

4.2.1 Resistência à compressão

Analisando os dados apresenta um aumento da resistência pelo ensaio de resistência à compressão aos 28 dias em todos os traços. Comparando o ensaio aos 7 dias, o traço de REF obteve a maior resistência cerca de 28,20 MPa, e o traço que obteve um menor valor foi o T-30S com 25,80 MPa, resultando em uma diferença de 8,51 % em relação ao traço de REF. Cabe salientar que de acordo com os resultados aos 7 dias, o traço REF, T-10S, T-20S e T-40S, apresentam resultados similares.

Figura 13 - Gráfico da resistência à compressão MPa



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Comparando os resultados de resistência aos 28 dias, o traço com maior resistência foi o de T-10S, com valor de 34,36 MPa e o menor valor de resistência foi observado no traço de T-40S, com cerca de 30,14 MPa, uma diferença entre os dois de 12,28%.

Verificando a comparação aos 28 dias do traço de maior resistência com os demais, obteve uma perda de resistência de 0,52 % em relação ao traço de T-20S, em relação ao traço de REF uma perda de 1,07 %, já para o traço T-30S a perda de resistência foi bem significativa com cerca de 4,10 % de diferença.

De acordo com Mehta e Monteiro (2018), o concreto em suas primeiras idades, para o ensaio de resistência a compressão deve ser considerado a interação da pasta de cimento com os agregados reciclados. Esta ligação é mais pronunciada em agregado com superfícies rugoso, como no caso dos agregados graúdos reciclados. Visto isso, a tenência é crescente para a resistência aos 28 dias, este fato também foi observado por outros autores como Leite (2001) e Rangel (2015).

Além disso, os fatores de densidade, método de mistura, tipo e origem do agregado reciclado graúdo podem ter contribuído para este aumento na resistência, minimizando a possível influência do teor de substituição destes agregados.

Na Tabela 11, apresenta a análise de variância entre os valores de resistência à compressão aos 7 e 28 dias dos traços empregados nesta pesquisa.

Tabela 11 - Análise de variância (ANOVA) da resistência à compressão

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Entre os traços aos 7 dias	4	7,6096	1,9024	5,8597	5,1921	0,0396	S
Entre os traços aos 28 dias	4	24,749	6,1873	3,6300	5,1921	0,0949	NS

Onde: GCL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada

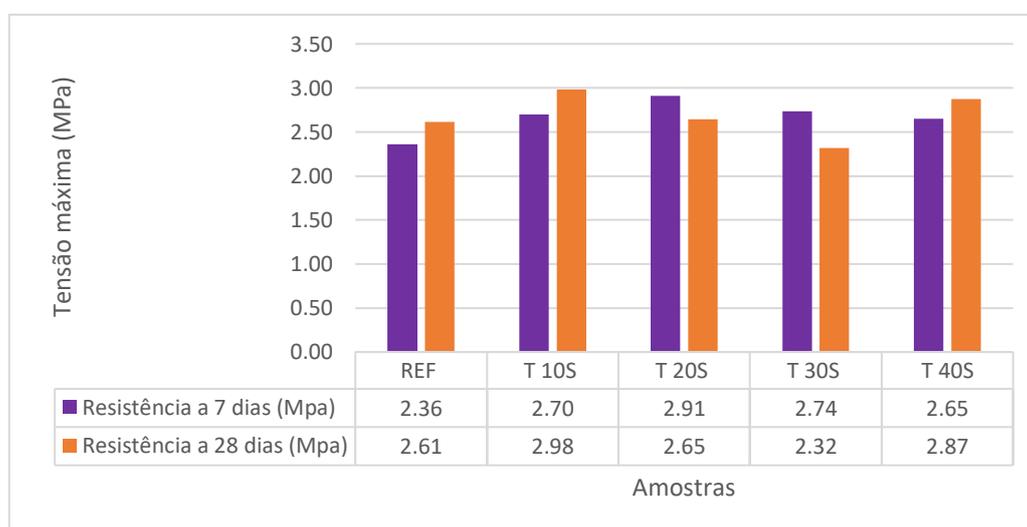
Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

O resultado de análise de variância apresentou, para um nível de confiança de 95 %, efeito significativo (valor de 'p' inferior a 0,05), ou seja, há diferença entre os traços aos 7 dias, já aos 28 dias o efeito não foi significativo (valor de 'p' superior a 0,05), para esta propriedade diferente do que as pesquisas apontam, descrevendo que há diferenças entre o teor de substituição de agregado reciclado misto.

4.2.2 Resistência à compressão diametral

Comparando os resultados do ensaio em 7 e 28 dias, os traços de REF, T-10S e T-40S, apresentaram resultados crescentes aumentando os valores de resistência. Já para os traços de T-20S e T-30S, os resultados sofreram uma queda na resistência aos 28 dias cerca de 8,93 % e 15,32 %. Analisando os traços por compressão diametral, por ordem de crescimento aos 7 dias temos mais resistência no traço de T-20S, T-30S, T-10S, T-40S e por último o traço de REF. Os resultados médios das amostras realizadas estão apresentados na Figura 14.

Figura 14 - Gráfico da resistência à compressão diametral MPa



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Comparando os resultados com o traço de T-20S que obteve maior resistência com os demais traços, o traço que representou o menor ganho de resistência foi o traço de REF com uma perda de 18,90 %, já para o traço que obteve menor perda de resistência nesta comparação foi o traço T-30S com cerca de 5,84 %, os demais obtiveram uma perda de 7,21 % e 8,93 %.

Analisando a evolução da resistência aos 28 dias, notamos que o traço T-30S apresentou menor resistência à compressão diametral, por outro lado o traço que obteve a maior resistência foi o T-10S.

Comparando os resultados com o traço de maior resistência o T-10S, o traço T-40S obteve uma queda de cerca de 3,69 % um valor muito próximo do comparado, já os traços de T-20S e REF obtiveram uma perda de resistência de cerca de 1,50 %.

Segundo Werle (2010), a autora afirma em sua pesquisa que os resultados obtidos pelo ensaio de resistência à compressão diametral não apresentaram o mesmo comportamento do que o ensaio de resistência à compressão. Ela afirma que no ensaio de compressão diametral os resultados são próximos ou similares ao traço de REF, visto isso, mostra que o agregado reciclado ou a pré-molhagem não interferem na resistência a compressão diametral.

Também se verificou que os traços T-20S e T-30S diminuíram sua resistência aos 28 dias, com percentuais de 8,93 % e 14,23 % em relação a resistência de 7 dias. Isso pode ter acontecido devido a qualidade do agregado reciclado graúdo variar em relação aos demais traços desta pesquisa.

A Tabela 12, apresenta a análise de variância entre os valores de resistência à compressão diametral aos 7 e 28 dias dos traços empregados nesta pesquisa.

Tabela 12 - Análise de variância (ANOVA) da resistência à compressão diametral

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Entre os traços aos 7 dias	4	0,3165	0,0791	4,2915	5,1921	0,0709	NS
Entre os traços aos 28 dias	4	0,5298	0,1324	2,2594	5,1921	0,1975	NS

Onde: GCL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada

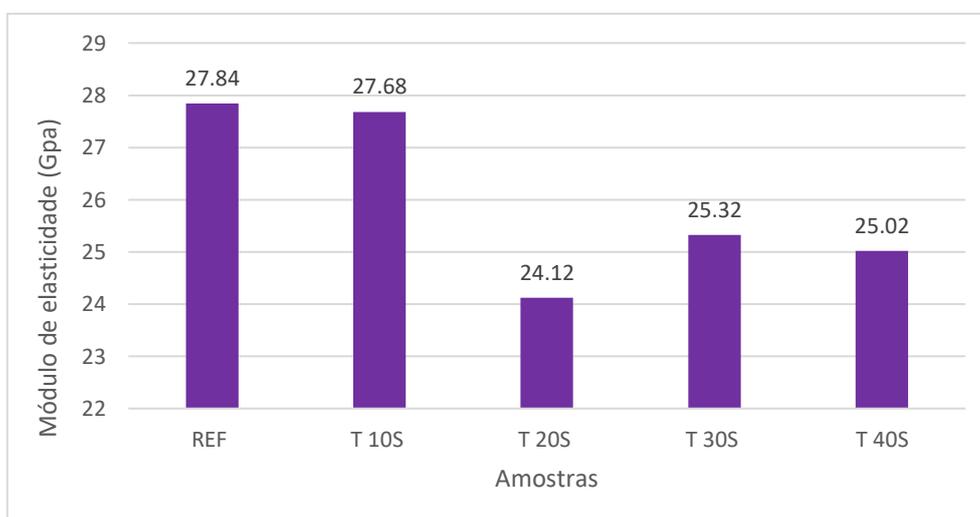
Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

O resultado de análise de variância apresentou, para um nível de confiança de 95 %, efeito significativo (valor de 'p' superior a 0,05), ou seja, não possui diferenças entre os traços empregados nesta pesquisa aos 7 e 28 dias, com isso a substituição do agregado natural pelo agregado reciclado não apresentou diferenças significativas para esta propriedade.

4.2.3 Módulo de elasticidade

De acordo com os resultados, apresentados na Figura 15, nota-se que o traço de REF obteve o maior módulo de elasticidade e o traço T-10S apresentou a menor diferença entre os dois com cerca de 0,57 %, o pior caso entre os traços estudados foi o T-20S com uma diferença de 13,36 % do traço de REF. Para os traços T-30S e T-40S a diferença em relação ao traço de REF foi de 8,94 % e 10,12 %.

Figura 15 - Gráfico do módulo de elasticidade



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Nota-se que o traço de T-10S apresentou a melhor resistência à compressão e seu módulo obteve um valor semelhante ao REF, isso resulta em uma pequena deformação no material. Visto que o T-20S obteve melhor resultado a resistência à compressão diametral, porém seu módulo tende a ser mais deformável que os demais.

Estolano et al. (2018) em sua pesquisa, utilizaram diferentes teores de substituição de agregado graúdo reciclado e apresentam que os valores do módulo de deformação estática decrescem linearmente à medida que os teores de substituição aumentaram, no seu estudo não foi utilizada pré-molhagem.

Ravindrarajah (1998), analisou o mesmo fato, ele verificou que os concretos com agregado reciclados apresentam um menor módulo de elasticidade em relação aos concretos realizados com agregado naturais e está diferença é mais elevada para as resistências.

Nos estudos realizados por Kakizaki *et al* (1998), os autores obtiveram resultados que o módulo de elasticidade variou de 25 a 40% com concretos produzidos com agregados reciclados em comparação com os concretos convencionais. Nesta pesquisa essa variação foi de 15 %.

Segundo Mehta e Monteiro (1994) citam em sua pesquisa, que um dos fatores que mais influência no módulo de elasticidade é a porosidade do agregado. Portanto, neste estudo como o agregado utilizado é o agregado graúdo reciclado misto a sua porosidade é muito variável, afetando a diminuição do módulo de elasticidade.

Na Tabela 13 apresenta a análise de variância entre os valores de módulo de elasticidade aos 28 dias dos traços empregados nesta pesquisa.

Tabela 13 - Análise de variância (ANOVA) do módulo de elasticidade

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Entre os traços	4	33,676	8,4191	4,0170	3,4780	0,0339	S
Erro	4	20,958	2,0958				

Onde: GCL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada

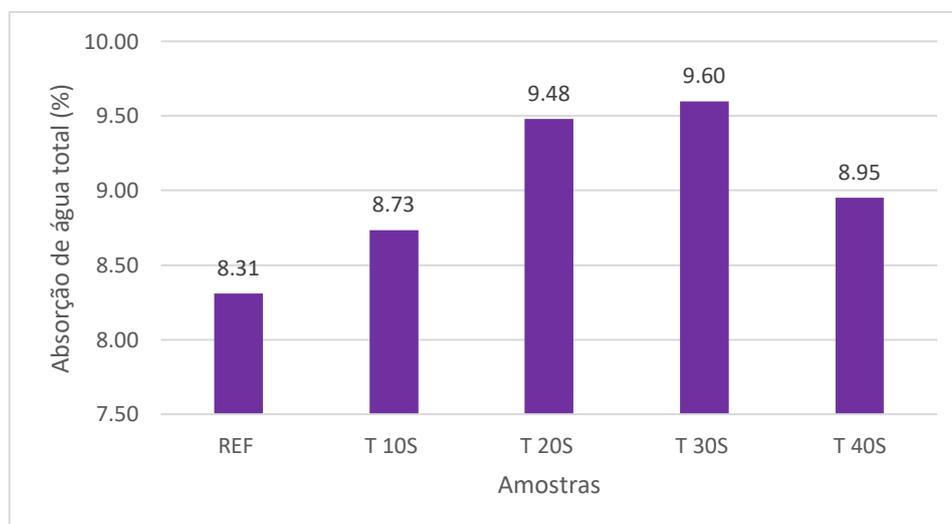
Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

O resultado de análise de variância apresentou, para um nível de confiança de 95 %, efeito significativo (valor de 'p' inferior a 0,05), ou seja, possui diferenças entre os traços empregados nesta pesquisa aos 28 dias, com isso a substituição do agregado natural pelo agregado reciclado não apresentou diferenças significativas para esta propriedade.

4.2.4 Absorção de água total, índice de vazios e massa específica

Analisando a Figura 16, nota-se que o traço de REF obteve a menor absorção de água, e o traço T-30S obteve a maior absorção de água. Já os traços T-10S e T-40S, obtiveram uma absorção quando comparada com o traço de REF a diferença foi de 0,42 % e 0,64 %, ou seja, superior ao traço de REF.

Figura 16 – Gráfico de absorção de água total



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Os traços T-20S e T-30S os resultados de absorção de água foram muito próximos, cerca de 0,12 % de diferença. De forma global, é possível identificar uma maior tendencia de absorção de água para com o aumento do teor de substituição dos agregados graúdos, ou seja, maior será a taxa de absorção de água.

Reis (2013) em sua pesquisa, os concretos que foram produzidos com agregados reciclados têm como característica uma maior absorção de água, pois os agregados reciclados têm elevada porosidade e por isso tem uma maior absorção. Segundo o autor, estas características de aumento na absorção de água, se tornam características do concreto na medida que é substituído o agregado graúdo natural pelo agregado reciclado.

Segundo Ulsen (2011), a elevação da taxa de absorção de água dos agregados reciclados é atribuída pela porosidade que o ele apresenta, a qual interfere nas propriedades mecânicas e físicas do concreto.

A Tabela 14 apresenta a análise de variância entre os valores de absorção de água total aos 28 dias dos traços empregados nesta pesquisa.

Tabela 14 -Análise de variância (ANOVA) da absorção de água total

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Entre os traços	4	5,7225	1,4306	1,9594	3,4780	0,1770	NS
Erro	10	7,3012	0,7301				

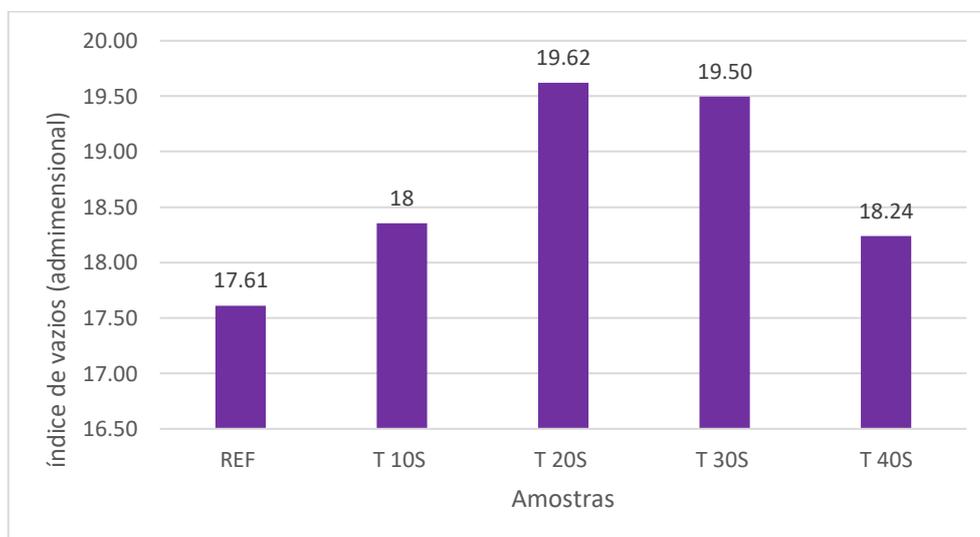
Onde: GCL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

O resultado de análise de variância apresentou, para um nível de confiança de 95 %, efeito significativo (valor de 'p' superior a 0,05), ou seja, não possui diferenças entre os traços empregados nesta pesquisa aos 28 dias, para sua propriedade.

Segundo os dados apresentados na Figura 17, os traços T-20S e T-30S obtiveram os maiores valores de índice de vazios, em relação do traço de REF o valor foi de 2 %. O menor índice de vazios, podemos ver no traço de REF e os traços de T-10S e T-40S com valores próximos ao mesmo.

Figura 17 – Gráfico do índice de vazios



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Em uma pesquisa realizada por Fonseca (2006), o autor conclui que o índice de vazios dos concretos produzidos com agregado reciclado obteve maiores valores em comparação com o concreto de referência, isso ocorre devido ao agregado reciclado ser mais leve e apresentar maior porosidade.

Levy (2001), também observou que o índice de vazios para concretos com agregado reciclado aumenta em relação aos concretos de referência, isso acontece devido a forma do agregado e por ele ser mais poroso do que o agregado natural.

Segundo Toledo (2001), o índice de vazios aumenta conforme o aumento de substituição dos agregados reciclados graúdos em relação ao concreto REF, este aumento está relacionado ao formato do agregado e ao índice de material pulverulento na mistura. Isso não foi possível ser verificado no traço T-40S, a qual apresentou uma diminuição de 6,46% em relação ao traço T-30S a qual deveria apresentar um maior valor em relação a todos os traços desta pesquisa.

A Tabela 15 apresenta a análise de variância entre os valores de índice de vazios total aos 28 dias.

Tabela 15 - Análise de variância (ANOVA) do índice de vazios

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Entre os traços	4	17,907	4,4768	1,7504	3,4780	0,2153	NS
Erro	10	25,576	2,5576				

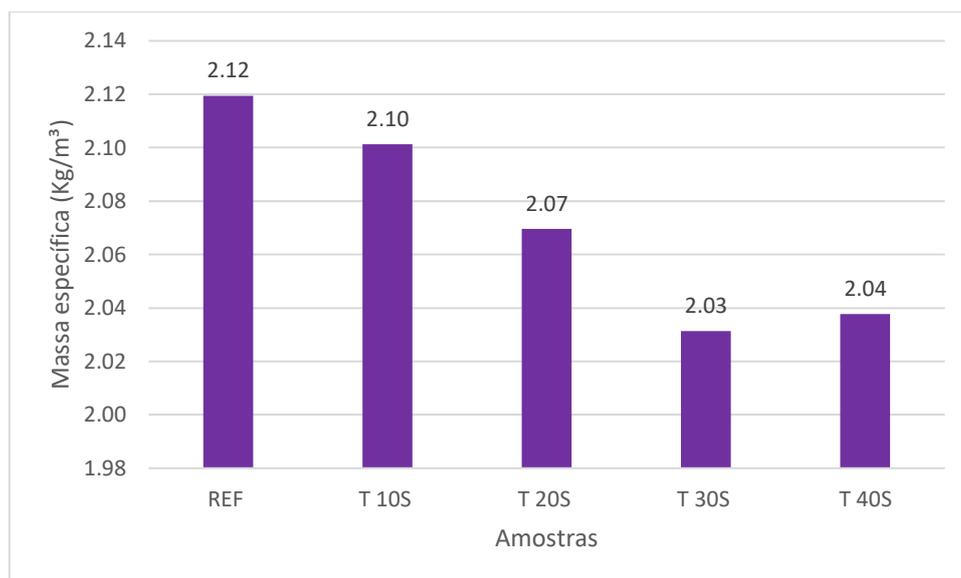
Onde: GCL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

O resultado de análise de variância apresentou, para um nível de confiança de 95 %, efeito significativo (valor de 'p' superior a 0,05), ou seja, não possui diferenças entre os traços empregados nesta pesquisa aos 28 dias, para sua propriedade.

Analisando a figura 18, nota-se que o traço de REF obteve a maior massa específica, lembrando o que os valores da figura estão em kg/m^3 , observa-se também que o T-30S obteve o menor valor, tendo uma diferença de $0,09 \text{ kg/m}^3$. Os demais traços se mantiveram entre $2,10$ a $2,04 \text{ kg/m}^3$.

Figura 18 – Gráfico de massa específica



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Segundo a NBR 8953 (ABNT, 2015) o concreto é classificado de acordo com sua massa específica, ou seja, ele pode ser classificado como concreto normal, concreto leve e concreto pesado ou denso. Dentro desta classificação, apresenta-se uma faixa de valores de massa específica seca em Kg/m³ para sua determinação final. Visto isso, o concreto em estudo nesta pesquisa foi classificado como concreto normal, permanecendo dentro do faixa de 2 a 2,80 Kg/m³.

Cabral (2007), em sua pesquisa afirma que os agregados reciclados apresentam massa específica e massa unitária menores que os agregados naturais. Essa redução de massa ocorre devido as características dos agregados reciclados, visto que são mais densos que os agregados naturais.

Em uma tese publicada e escrita por Gonçalves (2001), onde o autor utilizou agregados reciclados, observou que os traços com agregado graúdo reciclado têm uma menor massa específica em relação ao traço referência, ele conclui que estes resultados já eram esperados, devido ao aumento da substituição do material ser acompanhado pela diminuição da densidade do concreto. Esta diminuição se deve a densidade do agregado graúdo reciclado ser menor que o agregado graúdo natural.

A Tabela 16 apresenta a análise de variância entre os valores de massa específica aos 28 dias dos traços empregados nesta pesquisa.

Tabela 16 - Análise de variância (ANOVA) de massa específica aos 28 dias

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F crítico	Valor de P	Efeito significativo
Entre os traços	4	17399,40	4349,80	12,053	3,4780	0,0007	S
Erro	10	3608,70	360,87				

Onde: GCL = grau de liberdade; SQ = soma quadrada; MQ = média quadrada

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

O resultado de análise de variância apresentou, para um nível de confiança de 95 %, efeito significativo (valor de 'p' inferior a 0,05), demonstrando que há diferenças entre os traços empregados nesta pesquisa aos 28 dias, para esta propriedade, um dado esperado tendo em vista as diferenças de densidades entre o agregado gráudo natural e o agregado gráudo reciclado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste estudo foi possível analisar e avaliar a utilização de agregados graúdos naturais em um concreto convencional, frente aos teores de 10 %, 20 %, 30 % e 40% de substituição de agregado graúdo reciclado misto. De uma forma mais detalhada, se conclui que:

- Com relação ao comportamento do concreto no estado fresco:

Analisando a trabalhabilidade notamos que quanto maior teor de substituição do agregado graúdo pelo agregado reciclado, apresenta-se uma perda trabalhabilidade e com isso foi necessário o uso de um aditivo superplastificante na mistura para garantir o abatimento.

Verificando a massa específica dos traços percebeu que quanto maior o teor de substituição, menor será a massa específica, resultando que o concreto de fato ficará mais “leve”, isso acontece devido ao agregado graúdo reciclado ter características mais porosas em relação ao agregado natural.

- Com relação ao comportamento do concreto no estado endurecido:

Considerando os ensaios de resistência à compressão, observa-se que aos 7 dias há diferença entre os traços em função do teor de substituição, já aos 28 dias não se pode dizer que possuem diferenças significativas entre os concretos.

Verificando os resultados dos ensaios da resistência à compressão diametral, observa-se que nos traços de T-20S e T-30S obtiveram uma perda de resistência aos 28 dias, não significativas. Porém, os demais traços aumentaram a sua resistência e o comportamento do agregado graúdo reciclado não apresentou influência.

Considerando os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade nota-se que quanto maior o teor de substituição do agregado graúdo reciclado misto, menor será o módulo de elasticidade, cerca de 10,12% de perda em relação ao concreto REF.

Para o ensaio de absorção de água total, índice de vazios e massa específica verifica-se que a absorção de água total é maior nos traços intermediários, ou seja, T-20S e T-30S nos demais os valores foram próximos ao concreto de REF. Também se observa

que nos menores teores de substituição o índice de vazios na mistura é maior, por ter o uma menor quantidade de agregado graúdo reciclado misto. E por fim, quanto maior o teor de substituição de agregado graúdo reciclado misto, menor é o valor de massa específica, o mesmo foi observado no estado fresco.

Por meio desta pesquisa, foi possível analisar o comportamento dos agregados reciclados oriundos de materiais mistos em substituição dos agregados naturais na produção de concreto convencional. Através, de todos os ensaios realizados e com seus devidos resultados, o melhor teor de substituição foi o T-40S a qual apresentou resultados satisfatórios no decorrer desta pesquisa e que podem ser aproveitados para a produção de um novo concreto, além de reduzir o impacto ambiental.

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

No decorrer desta pesquisa identificou-se alguns assuntos que poderiam ser melhores aprofundados, com o intuito de entender o comportamento do agregado graúdo reciclado. Deste modo, seguem algumas sugestões que podem ser aplicadas em projetos de pesquisa de trabalhos futuros:

- a) Avaliar a influência do ensaio de capilaridade dos agregados reciclados;
- b) Analisar a resistência à compressão acima dos 28 dias para verificar se a resistência continua aumentando.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRECON. Brasileiro produz por ano meia tonelada de resíduos de construção civil. In: Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição. São Paulo, 3 nov. 2011. Disponível em: <https://abrecon.org.br/brasileiroproduz-por-ano-meia-tonelada-de-residuos-de-construcao-civil/>.

ARAUJO, R.C.L.; RODRIGUES, L.H.V.; FREITAS, E.G.A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro, 2000. Apostila.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 51**: Agregado graúdo - Ensaio de abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: concreto - determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: concreto e argamassa - determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9833**: concreto fresco – determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto -Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT,2018.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994. v. 2, 543 p.

BICCA, Ismael da Silva. **Estudo da viabilidade do rejeito cerâmico, como agregado graúdo, na produção de concreto com características estruturais.** 2000. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente (MMA)**. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 307, de 17/07/2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

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

CABRAL, A.E. B; SCHALCH; V.; DAL MOLIN, D.C.C; RIBEIRO, J.L.D. **Modelagem da resistência à compressão de concretos produzidos com agregado reciclado de RDC.** Revista Mineira.v.4p.75-84,2007.

CASSA, J.C. et al. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção** –Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA, 2001.

CAVALHEIRO, A. P. **Avaliação da Viabilidade da Substituição de Agregado Graúdo Natural por Agregado Reciclado de Concreto na Fabricação de Componentes Estruturais Pré-Moldados de Concreto.** Dissertação (Mestrado) em desenvolvimento – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2011.

DALLACORT, R. et al. **Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.6, n.3, p.511-518, 2002, 14 p. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>

FERNANDES, Bruna Mirandola. **A utilização de resíduos de construção civil e demolição-RDC-Como agregado para o concreto.** Dissertação - UNIFOR – Minas Gerais, 2015.

FERREIRA, L.; BRITO, J.; BARRA, M. **Influence of the pre saturation of recycled coarse concrete aggregates on concrete properties.** Magazine of Concrete Research, v. 63, n. 8, p.617-627, 2011.

FIGUEIRÊDO FILHO, J.G.L. **Avaliação da trabalhabilidade de concreto contendo agregado reciclado de argamassa.** 2011. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) -Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011

GONÇALVES, R. D. C. **Agregados reciclados de resíduos de Concreto - um novo material para Dosagens estruturais.** 2001. Dissertação - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

GALVÍN, A. P.; AGRELA, F.; AYUSO, J.; BELTRÁN, M. G.; BARBUDO, A. Leaching assessment of concrete made of recycled coarse aggregate: physical and environmental characterisation of aggregates and hardened concrete. **Waste Management**, v. 34, p. 1693- 1704, 2014.

HANSEN, T. C. **Recycling of Demolished Concrete and Masonry.** RILEM Report 6. \ Ed Chapman & Hall, London, 1992. 316p.

JIMÉNEZ, A.M.G. **Comportamento mecânico de um agregado reciclado a partir de resíduos de construção e demolição submetido a carregamentos cíclicos.** Tese de Doutorado (203p). Universidade de Brasília, 2016.

KASHINO, N.; TAKAHASHI, Y. **Strength and elastic modulus of recycled aggregate.** in:INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY. 2º Reuse of demolition waste v 2-Nihon Daigaku Kaikan Tokyo Japan 1988 Proceedings. Y. Kassai - London, Chapman & Hall Nov.-1988. P. 557- 564

- KHATIB, J. M. **Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate.** **Cement and Concrete Research**; volume 35, páginas 763 – 769, 2005.
- LEDESMA, E.F.; JIMÉNEZ, J.R.; FERNÁNDEZ, J.M.; GALVÍN, A.P.; AGRELA, F.; BARBUDO, A. **Properties of masonry mortars manufactured with fine recycled concrete aggregates.** *Construction and Building Materials*, v. 71, p. 289-298, 2014.
- LEITE, M. B. (2001) **Avaliação das Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição.** Porto Alegre. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 270 p.
- LEVY, S.M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.** 2001. 184 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) -Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- MATIAS, D.; BRITO, J.; ROSA, A. PEDRO, D. **Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – Influence of the use of superplasticizers.** *Construction and Building Materials*, v. 44, p. 101-109, 2013.
- MATOS, L.L. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** Tese - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 2.ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 782 p.
- MOREL, A. et al. **Practical Guideline for the Use of Recycled Aggregates in Concrete in France and Spain.** Proceedings of the Third International RILEM Symposium. Odense, Denmark, 1993. pp. 71-82.
- MOREIRA, Kelvya; CABRAL, Antonio. **Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil.** Fortaleza.2011. Disponível

em:<<http://www.ibere.org.br/anexos/325/2664/manual-de-gestao-de-residuos-solidos---ce-pdf>.

MOTTA, R.S. (2005) **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. 134p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

NEVILLE, Adam Mathew. **Propriedades do Concreto**. Tradução: Salvador E. Giamusso, 2 ed. rev. Atual, São Paulo: Ed. PINI, 1997.

PADOVAN, R. G. **Influência da pré-molhagem nas propriedades de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto**. 2013. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013

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

POON, C.S.; Chan, D. (2006) **Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base**. Construction and Building Materials, v.20, p. 578–585.

PEDROZO, R. (2008) **Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino em propriedades de argamassas e concretos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 161 p.

RAVINDRARAJAH, R.S.; LOO, Y. H.; TAM, T.C. **Recycled aggregate as fine and coarse aggregates in concrete**. Magazine of Concrete Research. v. 39 n.141 December 1987 p. 214- 220.

REIS, C. N. S. **Influência da utilização de agregado miúdo de rcd na aderência aço concreto reciclado**. Feira de Santana, 2009. 151f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil e Ambiental) -Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.

REIS, N.; BRITO, J.; CORREIA, J. R.; ARRUDA, M. R. **Punching behaviour of concrete slabs incorporating coarse recycled concrete aggregates.** *Engineering Structures*, v. 100, p. 238-248, 2015.

RILEM Recommendation: **Specifications for concrete with recycled aggregates.** *Materials and Structures*, v. 27, p. 557-559, 1994.

SALES, A. T. C.; ALFERES FILHO, R. dos S. **Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto.** *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 113-125, jan./mar. 2014

SANTOS, D. R. **Propriedades do concreto produzido com agregado graúdo reciclado de resíduos da etapa de produção das alvenarias.** 2006. 131f. Dissertação (Mestrado em 130 Engenharia do Meio Ambiente) - Programa de Pós- Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

SOUSA, W.F. (2011) **Estudo sobre a aplicação de agregado reciclado de concreto em construção de pavimentos.** 122p. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

TENÓRIO, J.J.L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

TOLEDO FILHO, R. D. et al. **Potential of crushed waste calcined-clay brick as a partial replacement of Portland cement.** *American Concrete Institute*, 2001 -ACI SP-202, p. 147-160.

TOPÇU, B.I.; SENDEL S. **Properties of concretes produced with waste concrete aggregate.** *Cement and Concrete Research*, v.34, p. 1307-1312, 2004

TROIAN, Aline. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente a penetração de íons cloreto.** 2010. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale dos Rios dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

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

VIEIRO, E. H. **Aplicação de areia de britagem de rochas basálticas na fabricação de concreto de cimento portland.** 2010. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Materiais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do sul, 2010.

WEIDMANN, D. F. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland.** 2008. 273f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

YAMAN, O. et al, **Ação e porosidade no concreto.** Parte 1. Experimental evidencia. V 35, n.246, p.102-109,2002.

ZACARIA, M.; CABRERA, J.G.; **Performance and durability of concrete made with demolition waste and artificial fly ash – clay aggregates.** Waste Management; volume 16, pages 151-158, 1996.

ZAHARIEVA, R.; BUYLE-BODIN, F.; SKOCZYLAS, F.; WIRQUIN, E. **Assessment of the surface permeation of recycled aggregate concrete.** *Cement and Concrete Composites.* v. 25, p. 223- 232, 2003.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto.** Dissertação (Mestrado) – Departamento de Saneamento e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.1997.

ZHU, L.; DAI, J.; BAI, G.; ZHANG, F. **Study on thermal properties of recycled aggregate concrete and recycled concrete blocks.** *Construction and Building Materials*, v. 94, p. 620- 628, 2015

WADA, Patrícia Hanna. **Estudo da incorporação de cerâmica vermelha na composição de concreto para uso em estacas moldadas in loco.** 2010. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2010.