



FACULDADE DE EDUCAÇÃO E MEIO AMBIENTE

MARCIO SENA FERRAZ

**CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO COM
ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) CINZA**

**ARIQUEMES - RO
2020**

MARCIO SENA FERRAZ

**CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO COM
ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) CINZA**

Trabalho de Conclusão de Curso para
obtenção do Grau em Engenharia Civil
apresentado a Faculdade de Educação
e Meio Ambiente - FAEMA.

Orientadora: Prof^a. Ma. Silênia Priscila
da Silva Lemes.

**ARIQUEMES - RO
2020**

FICHA CATALOGRÁFICA
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Júlio Bordignon - FAEMA

F381c

FERRAZ, Marcio Sena.

Caracterização do comportamento mecânico do concreto com adição de resíduos de construção e demolição (RCD) cinza. / por Marcio Sena Ferraz. Ariquemes: FAEMA, 2020.

51 p.

TCC (Graduação) - Bacharelado em Engenharia Civil - Faculdade de Educação e Meio Ambiente - FAEMA.

Orientador (a): Profa. Ma. Silênia Priscila da Silva Lemes.

1. Agregado reciclado . 2. Concreto. 3. RCD. 4. Reciclagem. 5. Resíduos cinza. I Lemes, Silênia Priscila da Silva. II. Título. III. FAEMA.

CDD:620.1

Bibliotecária Responsável
Herta Maria de Açucena do N. Soeiro
CRB 1114/11

MARCIO SENA FERRAZ

**CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO COM
ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) CINZA**

Trabalho de Conclusão de Curso para
obtenção do Grau em Engenharia Civil
apresentado a Faculdade de Educação
e Meio Ambiente - FAEMA.

Banca Examinadora

Prof^a. Ma. Silênia Priscila da Silva Lemes
Faculdade de Educação e Meio Ambiente-FAEMA

Prof^o. Me. Felipe Cordeiro de Lima
Faculdade de Educação e Meio Ambiente-FAEMA

Prof^o. Esp. João Victor da Silva Costa
Faculdade de Educação e Meio Ambiente-FAEMA

**ARIQUEMES - RO
2020**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus que me concedeu a rica oportunidade de estudar, força de vontade e coragem para superar todos os obstáculos que surgiram nesse percurso. À minha família e especialmente a minha esposa Aline Marques da Silva que com toda paciência e dedicação, soube me ajudar com palavras de incentivo todos esses anos em que estive nessa caminhada. Em especial, a chegada da nossa pequena Júlia Marques Ferraz (2020), que trouxe junto ao seu nascimento, força motivacional para que eu continue a me dedicar à essa profissão tão especial que é a engenharia civil, afim de proporcionar um futuro para ela.

Agradeço também aos amigos de curso, que me apoiaram nos momentos difíceis e com leveza e alegria, transformaram os dias cansativos em horas de descontração tornando os anos mais “leves e curtos”.

Agradeço aos professores que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para meu melhor aprendizado, e em especial a minha professora e orientadora Ma. Silênia Priscila da Silva Lemes que com paciência e amor a sua missão de educadora, me auxiliou e me deu suporte até o presente momento.

Agradeço também a essa instituição, nossa segunda casa por 5 anos; por ter nos dado a chance e todas as ferramentas que permitiram chegar hoje ao final desse ciclo de maneira satisfatória.

Marcio Sena Ferraz

“Dar o melhor de si é mais importante que ser o melhor”

Mike Lerner

RESUMO

O uso veloz dos recursos naturais não renováveis na construção civil traz como consequências a produção exacerbada de resíduos que quase sempre são descartados irregularmente, causando grandes problemas ao meio ambiente. Visando diminuir a geração desses resíduos, através da reutilização dos resíduos como agregados, o presente trabalho demonstra a possibilidade de usar os resíduos de construção e demolição (RCD) cinza, classe A (classificação segundo a Resolução Conama nº 307/02), como um grande aliado para a preservação do meio ambiente. A presente pesquisa tem como objetivo analisar o comportamento mecânico dos corpos de provas de concreto com substituição de agregados graúdos em proporções de 25%, 50% e 75%, oriundo da reciclagem, comparando as amostras com corpos de provas de referência sem adição de agregados recicláveis. Para o desenvolvimento da pesquisa, inicialmente foi realizada a caracterização dos materiais, como areia, brita natural e RCD. Para o concreto no estado fresco, foi determinado o índice de consistência. A avaliação das propriedades mecânicas do concreto foi obtida através de dois ensaios: ensaio de resistência à tração por compressão diametral e compressão simples. Além disso, foi realizado ensaio complementar como absorção de água por imersão. Por fim, os principais resultados obtidos demonstraram que os corpos de prova com adição de 75% de RCD no ensaio de compressão simples obtiveram resultados superiores aos corpos de prova de referência; e os corpos de prova com adição de 25% de RCD obtiveram resultados superiores ao material de referência no ensaio de tração por compressão diametral, sendo assim o presente trabalho comprovou que há possibilidade do uso do RCD no concreto.

Palavras-chave: Agregado reciclado. Concreto. RCD. Reciclagem. Resíduos cinza.

ABSTRACT

The rapid use of non-renewable natural resources in civil construction has the consequence of the exacerbated production of waste that is almost always discarded irregularly, causing major problems to the environment. In order to reduce the generation of these residues, through the reuse of residues as aggregates, the present work demonstrates the possibility of using gray construction and demolition residues (RCD), class A (classification according to Conama Resolution No. 307/02), as a great ally for the preservation of the environment. The present research aims to analyze the mechanical behavior of concrete specimens with replacement of coarse aggregates in proportions of 25%, 50% and 75%, from recycling, comparing the samples with reference specimens without adding aggregates recyclable. For the development of the research, the characterization of materials, such as sand, natural gravel and RCD, was initially carried out. For fresh concrete, the consistency index was determined. The evaluation of the mechanical properties of the concrete was obtained through two tests: tensile strength test by diametrical compression and simple compression. In addition, a complementary test was carried out as water absorption by immersion. Finally, the main results obtained demonstrated that the specimens with the addition of 75% RCD in the simple compression test obtained results superior to the reference specimens; and the specimens with the addition of 25% RCD obtained superior results to the reference material in the tensile test by diametrical compression, thus the present work proved that there is a possibility of using RCD in concrete.

Keywords: Recycled aggregate. Concrete. RCD. Recycling. Gray waste.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Demonstrativo de produção de RCD no Brasil	18
Gráfico 2 - Resultado dos ensaios de resistência a compressão simples	38
Gráfico 3 - Resultado dos ensaios de resistência a tração por compressão diametral	41
Gráfico 4 - Resultado dos ensaios de absorção por imersão	43

LISTA DE FIGURAS

Figure 1 - Agregado RCD.....	24
Figura 2 - Betoneira.....	28
Figura 3 - Forma de corpo de prova cilíndrico.....	29
Figura 4 - Tanque de água saturado em cal.....	30
Figura 5 - Equipamento forma tronco-cônica para o Slump Test (a), ensaio de índice de consistência (b).....	31
Figura 6 - Prensa eletro hidráulica digital.....	32
Figure 7 - Prensa eletro hidráulica digital.....	33
Figura 8 - Absorção de água por imersão.....	34
Figura 9 - Classes de consistência.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade total de RCD coletado no Brasil (2013/2014).....	18
Tabela 2 - Quantidade total de RCD coletado no Brasil (2017/2018).....	19
Tabela 3 - Composição granulométrica, massa unitária, massa específica e teor de umidade	22
Tabela 4 - Ensaio físico do cimento	23
Tabela 5 - Composição granulométrica, massa unitária, massa específica e teor de umidade	25
Tabela 6 - Composição granulométrica, massa unitária, massa específica e teor de umidade	26
Tabela 7 – Quantitativo total de materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova	27
Tabela 8 - Quantidade de corpos de prova	29
Tabela 9 - Índice de consistência por SLUMP TEST (mm)	34
Tabela 10 - Resistência a compressão simples (MPa)	36
Tabela 11 - Resistência a tração por compressão diametral.....	39
Tabela 12 - Absorção de água dos concretos	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição
FAEMA	Faculdade de Educação e Meio Ambiente
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
USP	Universidade de São Paulo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AMR	Agregado Miúdo Reciclado
AGR	Agregado Graúdo Reciclado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO PRIMÁRIO.....	14
2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 CIMENTO E CONCRETO	15
3.2 RCD E O MEIO AMBIENTE.....	16
3.3 CONCRETO PRODUZIDO COM AGREGADOS RECICLADOS.....	19
4 MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1 MATERIAIS.....	21
4.1.1 Areia.....	21
4.1.2 Cimento.....	22
4.1.3 RCD Cinza	23
4.1.4 Brita.....	25
4.1.5 Água.....	26
4.2 PROCEDIMENTO DE CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA, SEGUNDO ABNT NBR 5738/2015.....	27
4.2.1 Dosagem do concreto	27
4.2.2 Mistura.....	27
4.2.3 Moldagem.....	28
4.2.4 Tempo de cura por imersão	30
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....	31
4.3.1 Índice de consistência	31
4.4 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....	31
4.4.1 Resistência à compressão simples	31
4.4.2 Resistência a tração por compressão diametral.....	33
4.4.3 Absorção de água por imersão	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....	34
5.1.1 Índice de consistência	34
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....	36
5.2.2 Resistência a tração por compressão diametral.....	39
5.2.3 Absorção de água por imersão	41
6 CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS	46
ANEXOS	50
(A)	50
(B)	51

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é atualmente o setor que mais se expande e evolui no mundo. A indústria da construção civil se torna responsável por grande parte do desenvolvimento econômico e social do Brasil, gerando empregos, proporcionando moradia, infraestrutura adequada e organiza sistematicamente os espaços disponíveis com a maior eficiência possível para a população.

Em paralelo, o setor da construção civil também faz parte dos principais fatores de degradação ambiental do país, desde a utilização despreocupada das matérias primas com grande produção de resíduos sólidos, ao mau gerenciamento de tais materiais onde o descarte é quase sempre irregular, trazendo como consequência a preocupação com a degradação do meio ambiente, além de gerar elevados percentuais de perdas de materiais durante todo o processo seja ele construção, manutenção, reformas ou demolições.

Para Pinto (2005), a gestão incorreta e a deposição do RCD em áreas irregulares promove diversos impactos ambientais, como por exemplo poluição visual, inundação causada pelo estreitamento das margens dos rios, poluição de cursos d'água e do solo, intensificação de enchentes, incentivo à deposição de outros tipos de resíduos, além da proliferação de vetores nos centros urbanos.

Popularmente chamados de entulhos, os resíduos de construção e demolição (RCD) compõem-se de restos de materiais gerados nessas atividades: tijolos, concreto, argamassa, madeira, aço, telhas, azulejos, cal, gesso etc., que em sua grande maioria, podem ser reciclados (ABRELPE, 2019).

Pensando nos problemas ambientais enfrentados no cenário atual, e visando preservar o meio ambiente a longo prazo, se faz necessário trazer soluções que possam diminuir o uso desenfreado dos recursos naturais. Portanto, uma alternativa proposta é a reciclagem do concreto cinza (materiais da CLASSE A) que podem ser utilizados como substituto parcial ou até mesmo total de agregados graúdos naturais.

A substituição parcial ou total de agregados graúdos naturais por agregados graúdos de resíduos de construção e demolição, pode proporcionar benefícios ao meio ambiente, como a diminuição do uso dos recursos naturais e em paralelo atenuaria a problemática encontrada com o descarte irregular desses resíduos que são levados para os aterros sanitários e em alguns casos, encontram-se em zonas

clandestinas no entorno da cidade. Haja vista que embora estejam em aterros sanitários, esses resíduos praticamente não recebem tratamento adequado e necessário para sua transformação - processo de reciclagem – que os permitiriam serem reutilizados com seu máximo potencial nas disposições legais.

Diante desse contexto, o presente trabalho teve como finalidade avaliar a viabilidade da utilização técnica dos resíduos de construção e demolição da CLASSE A, envolvendo os resíduos cinza formados por concretos, através da caracterização das propriedades físicas dos materiais obtidos por ensaios de composição granulométrica, massa específica, teor de umidade e massa unitária; além de avaliar os comportamentos dos diferentes traços, através do ensaio de índice de consistência em estado fresco e ensaios mecânicos de resistência à tração por compressão diametral e resistência à compressão simples, para o estado endurecido.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRIMÁRIO

Objetivo principal consiste em avaliar a viabilidade da utilização técnica dos resíduos de construção e demolição (RCD) da classe cinza em concretos.

2.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

- Compor e equiparar o comportamento dos diferentes traços do concreto com substituição parcial de agregado graúdo por RDC cinza;
- Analisar a influência de cada teor de porcentagem dos RCD, como substituto do agregado graúdo natural em concreto no estado fresco;
- Avaliar o comportamento mecânico das amostras com diferentes substituições de RCD quanto à resistência à tração por compressão diametral e à compressão simples.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CIMENTO E CONCRETO

O concreto é composto a partir da mistura de materiais como areia, cimento, pedra e água, dosados cuidadosamente, como aditivos que aumenta suas características pré-definidas, além de adições que tem objetivo transformar suas características originais. O cimento por sua vez é um material composto a partir de uma mistura de clínquer, gesso e adições, assim como o concreto, também dosados sistematicamente durante a sua fabricação. Por último, o clínquer é um composto produzido através de processo industrializado, gerado da extração de minério de calcário, argila e minério de ferro. Assim como o cimento teve sua origem e inspiração a partir da pozolana, que são argilas contendo cinzas da lava de vulcão, o concreto também deve ser considerado como rocha sedimentar em sua origem natural (BUNDER, 2016).

Segundo GIAMUSSO (1992), o cimento e a água juntos formam uma pasta que ao endurecer junta os agregados. Esse conjunto de concreto, encontra-se no estado plástico inicialmente, podendo assim ser moldado de diversas textura, formas e finalidades. O concreto continua ganhando resistência logo no inicio do endurecimento. Porém para que haja um concreto de qualidade, é necessario que se aplique varios cuidados. A escolha dos materiais, a durabilidade almejada e o traço que alcance a resistência desejada, homogeneização da mistura, aplicação correta, além da cura indicada para que possa garantir a hidratação do cimento adequado, são alguns dos cuidados que se faz necessario .

O concreto é o material mais utilizado na construção civil, formando o concreto armado junto com o aço. Sua utilização é aderida por projetistas, operários da construção civil, é uma ótima opção para construções dos mais variados tipos (TUTIKIAN, 2011).

As razões da maior utilização do concreto em relação aos outros materiais são: sua excelente resistência à ação da água sem deterioração séria; facilidade na obtenção de diversas formas e volumes devido à sua consistência plástica; baixo custo e disponibilidade dos principais componentes; e menor consumo de energia para sua obtenção (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O comportamento mecânico e a durabilidade do concreto são influenciados pelos tipos de agregados, pela matriz de argamassa cimento e pela zona de transição entre esta matriz e os agregados (ZHANG, 1991).

A inclusão de outros elementos no concreto, como aditivos, adições minerais, fibras, pigmentos e além do uso de práticas de execução distintas, como pressões e a cura em altas temperaturas, possibilita o alcance de concretos de alta qualidade, que poderiam, atendendo teoricamente qualquer pedido de projeto, contribuindo para execução de estruturas esbeltas, duráveis e seguras (TUTIKIAN, 2011).

Com o passar dos anos a resistência do concreto vem aumentando, a grande demanda do mercado é responsável pelo aperfeiçoamento, mas o desenvolvimento de componentes que contribuem para atingir as especificações sem afetar as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, também tem sua parcela nesse avanço (TUTIKIAN, 2011).

3.2 RCD E O MEIO AMBIENTE

Segundo Barreto (2005), grande parte dos impactos que o meio ambiente vem sofrendo, é causado pelo setor da construção civil, seja com o uso das matérias-primas indispensáveis à produção de materiais, ou mesmo no cumprimento dos serviços nos canteiros de obra, além disso a destinação final dos resíduos gerados tornam a paisagem urbana intolerável.

A produção de concreto e a geração de resíduos de construção e demolição também é um dos principais contribuintes da emissão de dióxido de carbono na atmosfera de acordo com ALI AKHTAR (2018).

Na busca de minimizar os impactos ambientais provocados pela construção, surge o paradigma da “construção sustentável”.

Segundo a Resolução CONAMA Nº 307 de 2002, os resíduos da construção civil são classificados em quatro classes:

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de

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

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

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

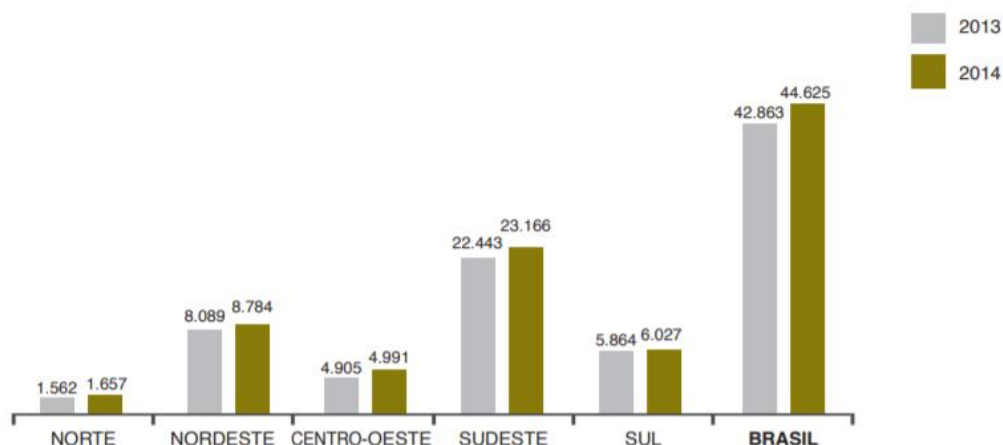
IV - Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Sendo assim, se faz necessário a realização adequada da seleção e separação dos RCD no canteiro de obra e nas usinas de reciclagem, para que assim, seja obtido apenas resíduos que pertence à Classe A, para que os materiais contaminantes não venha afetar a qualidade do produto com uso de RCD, além de evitar os riscos ambientais.

A grande maioria dos RCD são resíduos inativos e de baixa periculosidade. Os colônias ambientais contraídos originam-se basicamente do significativo volume gerado e da sua disposição ilegal em locais inadequados, tais como: calçadas, ruas, encostas, terrenos baldios, rios e nos populares “bota-foras” pontos de deposições irregulares. Esses recintos são favoráveis para surgimento de insetos e roedores, esses causadores de doenças, impactando assim o meio ambiente e a saúde pública, segundo Mahler e Nunes (2004).

Desde 2003, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), tem monitorado a situação do setor dos resíduos gerados no Brasil, quanto a destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU), resíduos de construção e demolição (RCD), resíduos de serviços de saúde (RSS) e reciclagem. Vejamos o gráfico 1 abaixo de 2013/2014, em relevância ao tema abordado por esse estudo, demonstrando toneladas de resíduos de construção e demolição gerados no Brasil, neste período:

Gráfico 1 - Demonstrativo de produção de RCD no Brasil



Fontes: Pesquisa ABRELPE e IBGE 2014.

O gráfico 1 acima, mostra que foram coletados cerca de 45 milhões de toneladas de RCD em 2014 em todos os municípios, aumentando 4,1% em relação a 2013. Porém, os municípios, coletam apenas os resíduos lançados nos logradouros públicos, sendo assim o destino final dado aos RCD exige atenção especial, pois a quantidade total desses resíduos pode ser ainda maior.

Tabela 1 - Quantidade total de RCD coletado no Brasil (2013/2014)

2013	2014		
RCD Coletado (t/dia)/Índice (Kg/hab/dia)	População Total (hab.)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (Kg/hab/dia)
117.435/0,584	202.799.518	122.262	0,603

Fontes: Pesquisa ABRELPE e IBGE 2014.

Segundo Carlos Silva Filho, diretor presidente da ABRELPE, no ano de 2017, as cidades brasileiras chegaram a coletar 123.421 toneladas de resíduos de construção e demolição por dia. Já em 2018, os serviços de limpeza dos municípios coletaram, 122.012 toneladas desse tipo de resíduo por dia, um pequeno recuo ante 2017, conforme apresentado na tabela 2 abaixo:

Tabela 2 - Quantidade total de RCD coletado no Brasil (2017/2018)			
2017		2018	
Total (t/dia)	Per capita (kg/hab/dia)	Total (t/dia)	Total (t/dia)
123.421	0,594	122.012	0,585

Fontes: Pesquisa ABRELPE e IBGE 2018.

O coordenador da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2018), Levi Torres, afirma que os altos custos de extração dos materiais minerais, traz um prejuízo desastroso para a economia, além de lesar o meio ambiente. Portanto, evidencia-se ainda mais a necessidade de elaborar alternativas mais econômicas e ecológicas, partindo do princípio de se reciclar tais resíduos da construção e demolição, com observância que os resíduos naturais são finitos, se tornando necessário pensar em sua reutilização como forma de aproveitamento, gerando benfeitorias sociais e ambientais.

3.3 CONCRETO PRODUZIDO COM AGREGADOS RECICLADOS

Segundo o boletim técnico do departamento de Engenharia de Construção Civil, da escola politécnica da Universidade de São Paulo (USP), os estudos direcionados ao uso de concretos produzidos com agregados reciclados, têm ganhado atenção em pesquisas. Embora tenha necessidade e grande potencial de reaproveitamento dos agregados reciclados, mudanças são necessárias para que tenha gestão de tais resíduos, começando com a demolição seletiva, equipamentos de concentração e britagem e metodologia de dosagem.

O desempenho de concretos utilizando agregados reciclados é alvo de estudos e vem se ampliando em busca de novos conhecimentos.

Os agregados de RCD reciclados, geralmente têm propriedades bastante variáveis e o desempenho oferecido pela adição dos RCD em concretos pode variar de acordo com a origem e tratamento recebido. As contaminações é um exemplo de fator que compromete tanto a qualidade técnica do material final, quanto constitui riscos ambientais, segundo JOHN (2000).

Segundo Tenório (2012), os agregados graúdos reciclados tem como propriedade a porosidade, que influencia nas características do concreto, sendo possível observar que os concretos com agregados reciclados tem potencial para aplicação como concretos estruturais.

Em um estudo realizado por Vieira et. al (2004), utilizou-se de três relações água/cimento: 0,40, 0,60 e 0,80. Foi observada uma elevação mais acentuada da resistência, para $a/c = 0,80$, quando os percentuais variaram de 0 para 100% de substituição. Com relações água/cimento menores também houveram ganhos, de menores proporções, mas o suficiente para se tornarem diferenças significativas em relação ao concreto de referência. Para $a/c = 0,60$ os ganhos foram de 41,3% quando os percentuais também variaram de 0 para 100% de substituição do agregado miúdo reciclado. Para relação $a/c = 0,40$ os resultados permaneceram em mesma ordem de equivalência dos concretos de referência.

Em outro momento Leite (2001), verificou que com relação ao teor de substituição do agregado miúdo e graúdo natural pelo reciclado houve viabilidade da utilização apenas do agregado miúdo reciclado em substituição total ou parcial do agregado miúdo natural, principalmente para baixas relações a/c ; quando usado 100% de agregado miúdo reciclado (AMR) e 0% de agregado graúdo reciclado (AGR) para qualquer relação a/c , o concreto reciclado apresentou as maiores taxas de crescimento de resistência, dos 28 aos 91 dias. O uso de AMR e AGR combinados nas misturas de concreto com altas relações a/c também se mostrou viável, pois fornece concretos com maiores resistências.

Ajdukiewicz e Kliszczewicz (2002) analisaram concretos com agregados reciclados misturando-se apenas o agregado graúdo reciclado e relação a/c de 0,4 e 0,55. Os resultados comprovaram que o efeito do agregado graúdo reciclado foi prejudicial para os concretos de relação $a/c = 0,4$, obtendo valores de resistência à compressão em torno de 70% dos concretos de referência. Para os concretos de relação $a/c = 0,55$, em que o valor da resistência do agregado não é muito solicitado, os concretos com substituição de agregados graúdos ficaram em torno de 85% em relação aos de referência. Segundo os autores, a baixa resistência à compressão dos concretos reciclados deveu-se ao fato da correção na relação a/c , em virtude da grande taxa de absorção dos agregados reciclados.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Visando os objetivos acertados, o método de pesquisa utilizado foi a experimental, onde a sequência de ensaios para realização do presente trabalho se deu como parâmetro as normas estabelecidas na associação brasileira de normas técnicas (ABNT). Os testes foram realizados em laboratório da engenharia civil na instituição Faculdade de Educação e Meio Ambiente (FAEMA), Ariquemes-RO. O presente estudo se desenvolveu em etapas, sendo:

1. Produção dos agregados reciclados e naturais;
2. Caracterização dos agregados;
3. Confeção dos corpos de provas;
4. Avaliação das propriedades físicas do concreto, no estado fresco;
5. Avaliação das propriedades físicas do concreto, no estado endurecido.

4.1 MATERIAIS

Para a realização do presente estudo, foram utilizados materiais tais como: água, areia, brita, cimento e resíduos de construção e demolição (RCD).

4.1.1 Areia

Para a composição dos traços de concreto foi utilizado uma areia média, de origem natural, proveniente do município de Ariquemes. A escolha por este tipo de agregado se deu em função da disponibilidade, já que é amplamente comercializado na região de Ariquemes – RO.

Os ensaios realizados para a caracterização do presente material foram determinados pelas seguintes normas:

- Ensaio granulométrico NBR NM 248/2003: Agregados – Determinação da composição granulométrica;
- Ensaio massa unitária NBR NM 45/2006: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios;
- Ensaio de massa específica NBR NM 52/2003: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente;
- Ensaio de teor de umidade NBR 6457/2016: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

A Tabela 3 detalha a composição do agregado miúdo:

Tabela 3 - Composição granulométrica, massa unitária, massa específica e teor de umidade

Caracterização do Agregado Miúdo		
Abertura de Peneiras (mm)	% Retida	% Retida Acumulada
12,5mm	0,00	0,00
9,5mm	0,00	0,00
6,3mm	0,33	0,33
4,75mm	0,99	1,32
2,36mm	6,00	7,32
1,18mm	13,43	20,75
600µm	22,53	43,28
300µm	32,51	75,79
150µm	20,00	95,80
Fundo	4,38	100,18
DIÂMETRO MÁXIMO	0,6	
MÓDULO DE FINURA	2,45	
MASSA UNITÁRIA (kg/m ³)	1587,063	
MASSA ESPECÍFICA (kg/m ³)	1015,144179	
TEOR DE UMIDADE (%)	0,139	

Fontes: Elaboração própria, 2020.

4.1.2 Cimento

A escolha correta do tipo de cimento é feita conforme a necessidade específica de cada aplicação. Portanto, no presente trabalho foi utilizado o cimento classificado como CP II produzido pela Empresa CIPLAN Cimentos Planalto S/A, indicado para obras da engenharia civil como: concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. O cimento foi armazenado em laboratório da instituição de ensino, sendo que o mesmo não teve contato direto com o piso, para que não viesse a sofrer interferência da umidade. Suas características

físicas, químicas e mecânicas, de acordo com informações fornecidas pelo fabricante, estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Ensaio físicos do cimento

Resistência 1 dia	Resistência 3 dias	Resistência 7 dias	Resistência 28 dias	Blaine	Início de Pega	Fim de Pega
15.0 MPa	23.0 MPa	28.0 MPa	33.0 MPa	5000	195 min	270 min

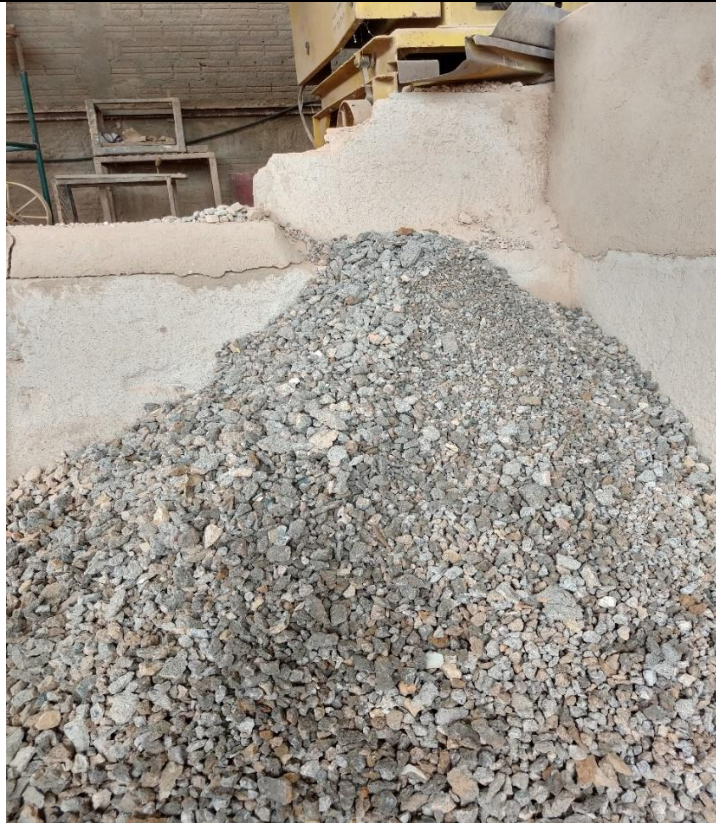
*Valores médios de referência.

Fonte: CIPLAN Cimentos Planalto S/A.

4.1.3 RCD Cinza

O RCD utilizado como matéria prima para os agregados graúdos reciclados, foi do tipo cinza, adquirido através do concreto reciclado. Os mesmos foram obtidos por meio de ponto de coleta em Porto Velho – RO. Através de uma análise visual, foram selecionados e separados manualmente de acordo com seu tipo, conforme a NBR NM 27/2001, sendo realizado a moagem após a seleção por meio mecânico através do britador de mandíbulas, como mostra a figura 1, para que assim, fosse possível diminuir seu volume e em seguida serem utilizados nos testes de granulometria como agregados graúdos da construção, de acordo com a NBR 7211/2009: Agregados para concreto - Especificação.

Figure 1 - Agregado RCD



Fonte: Própria autor,2020.

O armazenamento do RCD se deu no laboratório de engenharia civil na instituição Faculdade de Educação e Meio Ambiente (FAEMA), Ariquemes-RO.

Os ensaios realizados para a caracterização do presente material foram determinados pelas seguintes normas:

- Ensaio granulométrico NBR NM 248/2003: Agregados – Determinação da composição granulométrica;
- Ensaio massa unitária NBR NM 45/2006: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios;
- Ensaio de massa específica NBR NM 53/2009: Agregado Graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água;
- Ensaio de teor de umidade NBR 9939/2011: Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio.

A Tabela 5 detalha a composição granulométrica, massa unitária, massa específica e teor de umidade do agregado graúdo RCD:

Tabela 5 - Composição granulométrica, massa unitária, massa específica e teor de umidade

Caracterização do Agregado Graúdo RCD

Abertura de Peneiras (mm)	% Retida	% Retida Acumulada
37,5mm	0	0,0
31,5mm	0	0,0
25mm	0	0,0
19mm	0,352082739	0,4
12,5mm	60,10460364	60,5
9,5mm	24,0616895	84,5
6,3mm	7,138227019	91,7
4,75mm	1,941073694	93,6
Fundo	6,402323416	100,0
DIÂMETRO MÁXIMO	4,75	
MÓDULO DE FINURA	3,31	
MASSA UNITARIA (kg/m ³)	1094,096386	
MASSA ESPECÍFICA (kg/m ³)	1286	
TEOR DE UMIDADE (%)	2,302	

Fonte: Elaboração própria,2020.

4.1.4 Brita

Para a composição dos traços de concreto foi utilizado Brita 01, de origem natural, proveniente do município de Ariquemes. A escolha por este tipo de agregado se deu em função da disponibilidade, já que é amplamente comercializado na região de Ariquemes – RO.

A Tabela 6 detalha a composição granulométrica, massa unitária, massa específica e teor de umidade do agregado graúdo natural:

Tabela 6 - Composição granulométrica, massa unitária, massa específica e teor de umidade

Caracterização do Agregado Graúdo Natural		
Abertura de Peneiras (mm)	% Retida	% Retida Acumulada
37,5mm	0	0
31,5mm	0	0
25mm	0	0
19mm	24,24822966	24,24822966
12,5mm	54,93547747	79,18370713
9,5mm	15,57895717	94,7626643
6,3mm	4,500593988	99,26325828
4,75mm	0,200022332	99,46328062
Fundo	0,536719385	100
DIÂMETRO MÁXIMO	6,3	
MÓDULO DE FINURA	3,97	
MASSA UNITARIA (kg/m ³)	1439,759036	
MASSA ESPECÍFICA (kg/m ³)	2600	
TEOR DE UMIDADE (%)	0,251	

Fonte: Elaboração própria, 2020.

4.1.5 Água

A água utilizada no estudo foi abastecida por meio de poço artesiano, localizado na instituição Faculdade de Educação e Meio Ambiente (FAEMA), do município de Ariquemes-Rondônia.

4.2 PROCEDIMENTO DE CONFECCÃO DOS CORPOS DE PROVA, SEGUNDO ABNT NBR 5738/2015

4.2.1 Dosagem do concreto

Dosagem é um conjunto de procedimentos necessários à obtenção do traço do concreto para atendimento dos requisitos especificados pelo projeto estrutural e pelas condições da obra.

Os teores de adição de RCD, foram determinados a partir da análise dos resultados de Frotté (2017), onde o autor analisou em sua pesquisa a resistência mecânica de concreto com substituição parcial de agregados miúdos por RCD. Este autor observou que, a adição de 50% de RCD apresentou melhor resistência mecânica em todas as idades analisadas em relação às porcentagens menores. Dessa forma, decidiu-se confeccionar concreto com adições inferiores e superiores a 50% de RCD. Sendo assim, para a pesquisa foi realizado três traço de concreto contendo 25%, 50% e 75% de proporção do RCD e um traço de referência (sem substituição de agregado graúdo por RCD). Fixou-se a dosagem 1:3:3 (cimento, areia e brita), que é adotada usualmente na região de Ariquemes-RO e a relação água/cimento foi fixado em 0,65. A partir do traço referencial foram definidos os outros traços de concreto com a mesma relação água cimento. A Tabela 7 detalha o quantitativo de materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova:

Tabela 7 – Quantitativo total de materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova

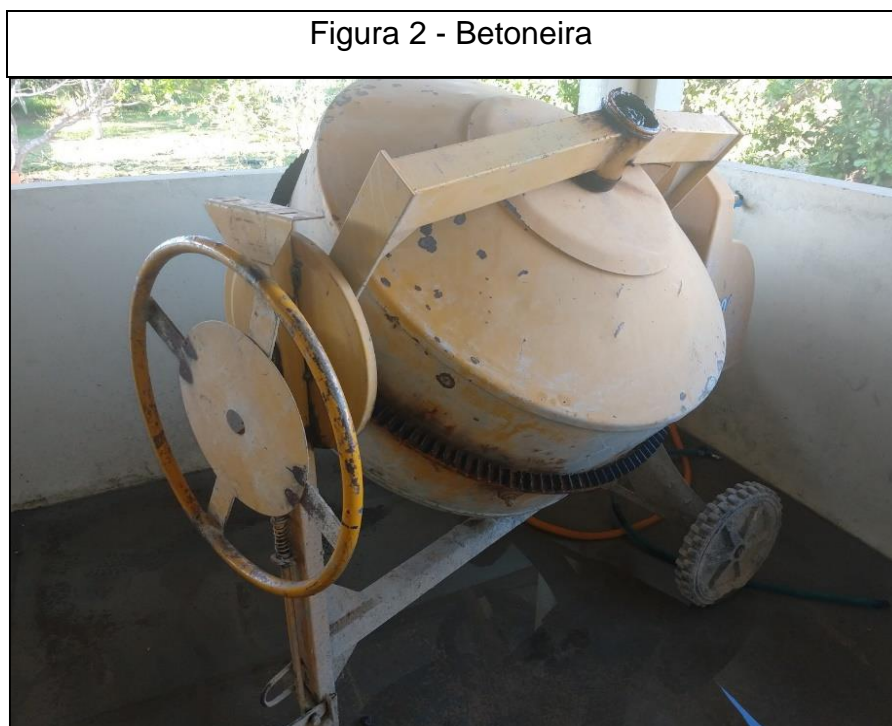
	CIMENTO	AREIA	BRITA NATURAL	BRITA RCD	ÁGUA
Tração na Flexão	19,940	59,82	37,387	22,432	12,96
Compressão	19,940	59,82	37,387	22,432	12,96
Absorção por imersão	19,940	59,82	37,387	22,432	12,96
TOTAL (Kg)	59,820	179,46	112,162	67,297	38,88
TOTAL (g)	59819,59	179458,77	112161,73	67297,04	38882,7

Fonte: Elaboração própria, 2020.

4.2.2 Mistura

Para a mistura do concreto, seguiu as recomendações da NBR 12655:2015, na qual foi utilizado um misturador do tipo betoneira (Figura 2). Quanto a sequência

empregada para a combinação dos materiais para a fabricação dos concretos de referência, foi utilizada a metade da medida de água, brita e cimento na betoneira; mistura denominada liga betoneira, e posteriormente adicionou-se a areia e o restante de água, formando uma massa homogênea.



Fonte: Próprio autor, 2020.

Foi necessário elaborar 4 (quatro) tipologia de traços, sendo 3 (três) com substituição parcial de agregado graúdo por RCD e 1 (um) de referência.

4.2.3 Moldagem

O molde adotado para os testes, foi de forma cilíndrico com diâmetro de 10cm e altura de 20cm, conforme Figura 3, de acordo com a norma ABNT NBR 5738/2015: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Para cada tipologia foram moldados 36 (trinta e seis) corpos de prova, confeccionado ao total 144 (cento e quarenta e quatro) corpos de prova. A desforma dos corpos de prova foram realizadas após 24 horas da moldagem.

Figura 3 - Forma de corpo de prova cilíndrico



Fonte: Próprio autor, 2020.

A Tabela 8 demonstra a quantificação de corpos de prova que foram confeccionados para os ensaios e suas respectivas idades de ensaios.

Tabela 8 - Quantidade de corpos de prova

ENSAIOS	IDADES ENSAIADAS			
	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
Resistência à Compressão Simples				
Concreto de referência	3	3	3	3
Concreto com RCD 25%	3	3	3	3
Concreto com RCD 50%	3	3	3	3
Concreto com RCD 75%	3	3	3	3
TOTAL	48			
Resistência à Tração por Compressão Diametral				
Concreto de referência	3	3	3	3
Concreto com RCD 25%	3	3	3	3
Concreto com RCD 50%	3	3	3	3

Concreto com RCD 75%	3	3	3	3
TOTAL	48			
Absorção de água	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
Concreto de referência	3	3	3	3
Concreto com RCD 25%	3	3	3	3
Concreto com RCD 50%	3	3	3	3
Concreto com RCD 75%	3	3	3	3
TOTAL	48			
TOTAL GERAL DE CORPO DE PROVA	144			

Fonte: Elaboração própria,2020.

4.2.4 Tempo de cura por imersão

Os corpos de prova foram submetidos a imersão em tanque de água saturado em cal conforme a figura 4, permanecendo submersos até a realização dos testes que se deram em 7, 14, 21 e 28 dias, seguindo os procedimentos da NBR 5738/2015: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

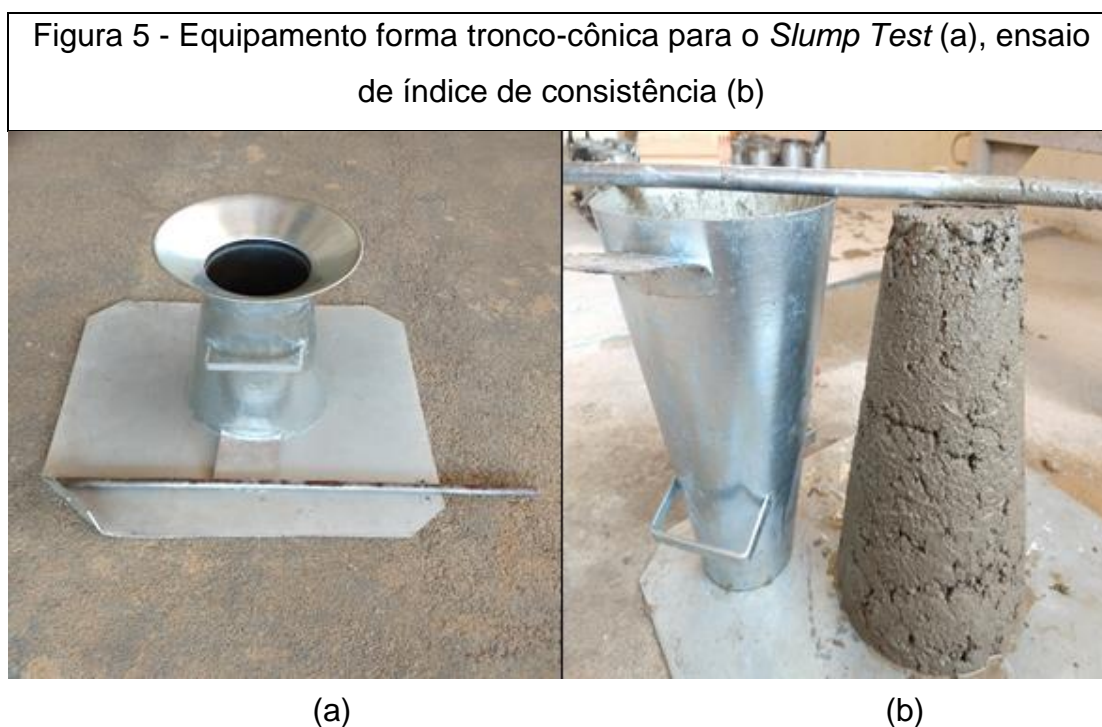


Fonte: Próprio autor, 2020.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

4.3.1 Índice de consistência

A relação entre água e cimento é fundamental para a resistência do concreto. No presente estudo, consistência foi determinada pelo método de abatimento do tronco de cone, conhecido como *SLUMP TEST*, utilizando a forma tronco-cônica Figura 5 (a) e tendo como parâmetro a NBR NM 67/1998: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, para avaliar à influência da incorporação do RCD no concreto em estado fresco. Portanto, a relação água cimento foi fixada em 0,65 para não influenciar nos resultados. A realização deste ensaio como mostra a Figura 5 (b) foi no Laboratório de Engenharia Civil na instituição Faculdade de Educação e Meio Ambiente (FAEMA) – ARIQUEMES / RO.



Fonte: Próprio autor, 2020.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

4.4.1 Resistência à compressão simples

O ensaio de compressão nos corpos de prova cilíndricos, foi realizado para a obtenção da tensão de ruptura, onde a mesma foi determinada empregando os procedimentos estabelecidos pela NBR 5739/2018: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

O ensaio foi realizado no laboratório da FAEMA, utilizando a máquina Prensa Eletro hidráulica Digital – Modelo A, Ref. 1.501.220 – 220V – 60Hz da SOLOTEST como mostra a Figura 6. Em anexo 1 e 2 consta o certificado de calibragem de tal equipamento. Foram ensaiados 3 (três) corpos de prova cilíndricos para cada idade determinada de 7, 14, 21 e 28 dias.

Abaixo na Figura 06, ilustra-se o aparato utilizado neste ensaio de resistência a compressão simples:



Fonte: Próprio autor, 2020.

4.4.2 Resistência a tração por compressão diametral

O procedimento para determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos foi determinado segundo a ABNT NBR 7222/2011: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, como mostra a Figura 07.

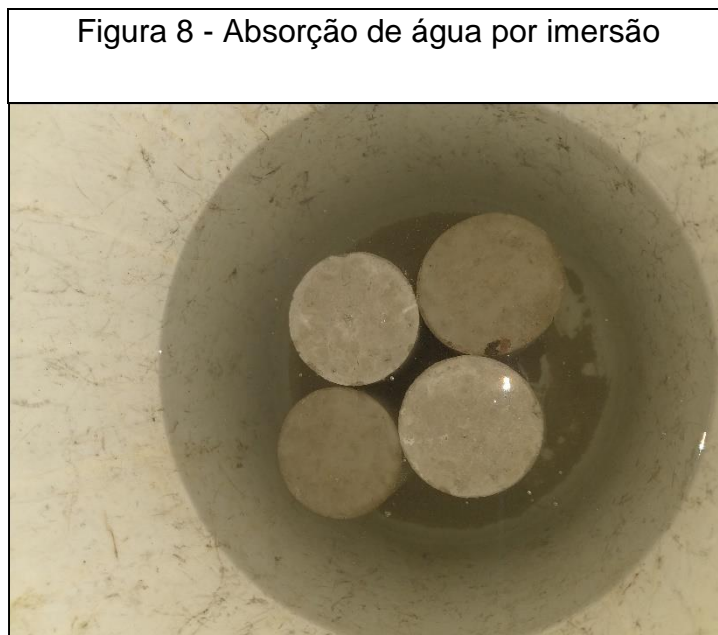


Fonte: Próprio autor, 2020.

4.4.3 Absorção de água por imersão

Os resultados médios da absorção de água por imersão do concreto no estado endurecido (figura 8), se deu de acordo com a ABNT NBR 9778/2009: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de

vazios e massa específica. Sendo que para a realização do ensaio, foram utilizados 3 corpos de prova para cada traço com as idades de 7, 14, 21 e 28 dias.



Fonte: Próprio autor, 2020.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios de índice de consistência, resistência a compressão simples e resistência a tração por compressão diametral.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

5.1.1 Índice de consistência

A Tabela 9 demonstra o índice de consistência do concreto no estado fresco:

Tabela 9 - Índice de consistência por SLUMP TEST (mm)	
Traços (Concreto)	Consistência Final

TRAÇO 0% = 100% BRITA NATURAL (TRAÇO REFERÊNCIA)	160
TRAÇO 25% RCD = 75% BRITA NATURAL + 25% RCD	25
TRAÇO 50% RCD = 50% BRITA NATURAL + 50% RCD	20
TRAÇO 75% RCD = 25% BRITA NATURAL + 75% RCD	10

Fonte: Elaboração própria,2020.

Figura 9 - Classes de consistência		
Classe	Abatimento mm	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	≥ 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras
<p>NOTA 1 De comum acordo entre as partes, podem ser criadas classes especiais de consistência, explicitando a respectiva faixa de variação do abatimento.</p> <p>NOTA 2 Os exemplos desta Tabela são ilustrativos e não abrangem todos os tipos de aplicações.</p>		

Fonte: NBR 8653:2015

A trabalhabilidade do concreto é de suma importância. Não é útil o concreto obter uma resistência elevada, se sua trabalhabilidade não for adequada.

Observando a tabela 9, nota-se um índice de consistência baixa dos concretos com adição de RCD, em relação ao concreto de referência. De acordo com os estudos apresentados por Almeida (2002), observa-se que esta propriedade em específico, depende de vários parâmetros como: o tipo de agregado utilizado, sua granulometria e o tipo de método de adensamento utilizado. Sendo assim, levando em consideração a figura 9, fica estabelecido que o concreto com adição de RCD em toda sua dosagem seja 25%, 50% ou 75% tem recomendações de uso para guias e sarjetas, já o concreto de referência alcançou um abatimento para uso em elementos estruturais.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

5.2.1 Resistência à compressão simples

Conforme é mostrado na tabela 10 abaixo, todos os resultados médios de resistência à compressão simples estão exibidos de acordo com a idade e traço, onde contém amostra de referência e amostras com adição de RCD, buscando assim alcançar o entendimento da influência da adição de RCD no ensaio em questão.

A Tabela 10 demonstra os resultados encontrados no ensaio de resistência a compressão simples do concreto no estado endurecido:

Tabela 10 - Resistência a compressão simples (MPa)					
Idade	Parâmetros	Concreto de referência	Concreto com 25% RCD	Concreto com 50% RCD	Concreto com 75% RCD
7 dias	Resistência Média (Mpa)	8,14	10,77	9,52	9,98
	Desvio Padrão (Mpa)	0,25	0,53	0,44	0,01
	Coeficiente de Variação (%)	0,03	0,05	0,05	0,00

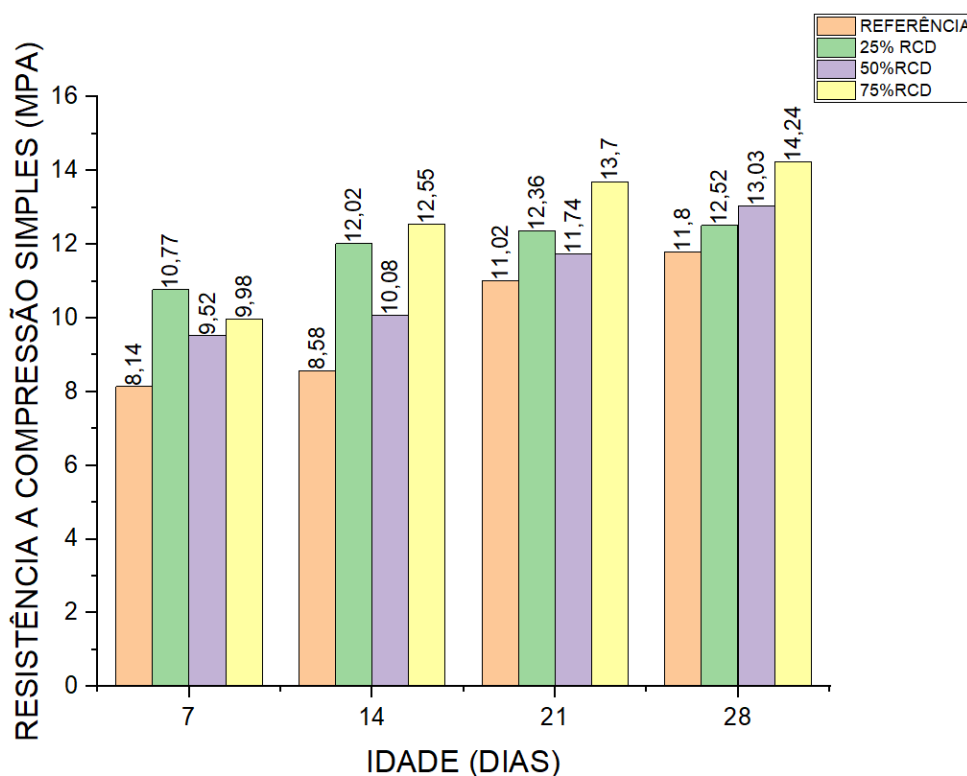
	Ganho/Redução (%)	0	32,26	16,97	22,55
14 dias	Resistência Média (Mpa)	8,58	12,02	10,08	12,55
	Desvio Padrão (Mpa)	0,37	1,39	0,44	0,29
	Coeficiente de Variação (%)	0,04	0,12	0,04	0,02
	Ganho/Redução (%)	0	40,01	17,41	46,22
21 dias	Resistência Média (Mpa)	11,02	12,36	11,74	13,70
	Desvio Padrão (Mpa)	0,82	0,21	0,28	0,21
	Coeficiente de Variação (%)	0,07	0,02	0,02	0,02
	Ganho/Redução (%)	0	12,16	6,50	24,28
28 dias	Resistência Média (Mpa)	11,80	12,52	13,03	14,24
	Desvio Padrão (Mpa)	0,72	0,51	0,05	0,66
	Coeficiente de Variação (%)	0,06	0,04	0,00	0,05
	Ganho/Redução (%)	0	6,18	10,48	20,75

Fonte: Elaboração própria,2020.

É possível observar que em todos os corpos de prova, foi atingido uma resistência superior ao de referência; contudo o traço com 75% de adição do RCD obteve um resultado satisfatório chegando aos 28 dias com 14,24MPa, superando os resultados com diferentes porcentagens de adição na mesma idade. As possíveis causas do alcance superior da resistência em cima do concreto de referência, pode estar ligado no fato de não ter sido possível efetuar a triagem dos agregados RCD, podendo haver concreto RCD com propriedade do cimento de alta resistência e a trabalhabilidade pode estar influenciando na resistência, visto que a relação água/cimento influencia em sua resistência.

O Gráfico 2 demonstra as médias dos resultados dos ensaios de resistências à compressão simples do concreto para melhor visualização.

Gráfico 2 - Resultado dos ensaios de resistência a compressão simples



Fonte: Elaboração própria, 2020.

5.2.2 Resistência a tração por compressão diametral

Assim como na resistência a compressão simples, a tabela 11 demonstra todos os resultados médios de resistência à compressão simples, exibidos de acordo com a idade e traço, onde contém amostra de referência e amostras com adição de RCD, buscando assim obter o entendimento da influência da adição de RCD no ensaio em questão.

A Tabela 11 demonstra a tensão obtida no ensaio de tração por compressão diametral.

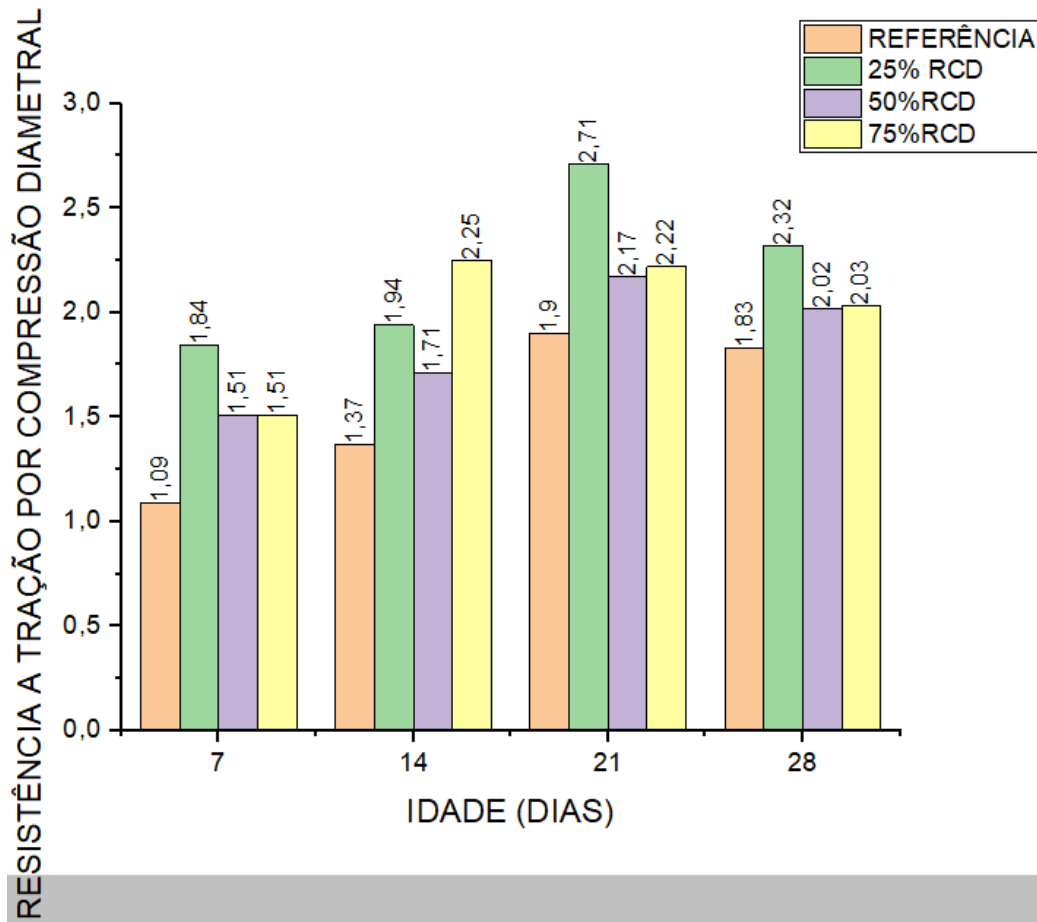
Tabela 11 - Resistência a tração por compressão diametral					
Idade	Parâmetros	Concreto de referência	Concreto com 25% RCD	Concreto com 50% RCD	Concreto com 75% RCD
7 dias	Resistência Média (Mpa)	1,09	1,84	1,51	1,51
	Desvio Padrão (Mpa)	0,03	0,09	0,10	0,08
	Coeficiente de Variação (%)	0,03	0,05	0,06	0,05
	Ganho/Redução (%)	0	67,84	38,06	37,58
14 dias	Resistência Média (Mpa)	1,37	1,94	1,71	2,25
	Desvio Padrão (Mpa)	0,05	0,06	0,06	0,07
	Coeficiente de Variação (%)	0,03	0,03	0,04	0,03

	Ganho/Redução (%)	0	40,83	24,77	63,48
21 dias	Resistência Média (Mpa)	1,90	2,71	2,17	2,22
	Desvio Padrão (Mpa)	0,06	0,05	0,05	0,06
	Coeficiente de Variação (%)	0,03	0,02	0,02	0,03
	Ganho/Redução (%)	0	42,82	14,36	16,94
28 dias	Resistência Média (Mpa)	1,83	2,32	2,02	2,03
	Desvio Padrão (Mpa)	0,11	0,16	0,08	0,06
	Coeficiente de Variação (%)	0,06	0,07	0,04	0,03
	Ganho/Redução (%)	0	26,50	10,16	10,84

Fonte: Elaboração própria,2020.

O gráfico 3 demonstra os resultados das médias dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral do concreto para melhor visualização.

Gráfico 3 - Resultado dos ensaios de resistência a tração por compressão diametral



Fonte: Elaboração própria, 2020.

é possível observar que a resistência das amostras com adição de RCD nas idades estudadas, igualmente como os resultados da compressão simples, foram superiores a amostra de referência. Tais resultados, assim como no ensaio de compressão simples, pode estar relacionado com a trabalhabilidade do concreto e a não triagem da origem dos resíduos RCD; porém todas as dosagens dos corpos de prova com a idade de 28 dias, alcançaram resistência menores em relação aos corpos de prova com a idade de 21 dias. Uma hipótese justificativa seria a má execução desses corpos de prova, como adensamento incorreto.

Nos corpos de prova de idade de 28 dias, com adição de 25% de RCD, obteve-se um resultado superior dentre as dosagens estudadas nos ensaios de resistência.

5.2.3 Absorção de água por imersão

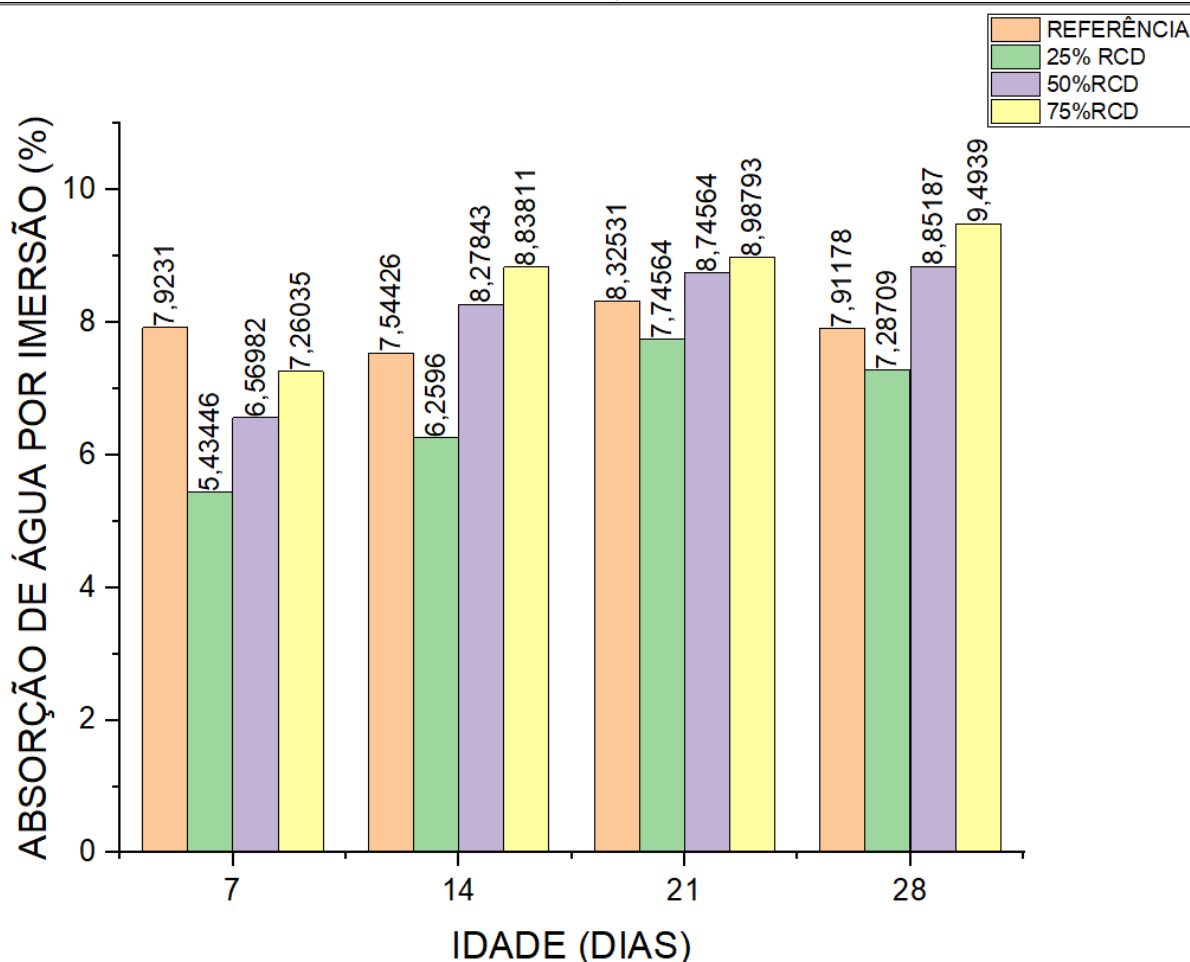
Analisando a tabela 12, observa-se um aumento na propriedade de absorção por imersão do concreto com adição de RCD em relação ao concreto de referência, chegando a apresentar um acréscimo de 19,97% aos 28 dias. O traço de 25% de adição de RCD, unicamente conseguiu uma taxa menor na absorção. Esse resultado pode ser explicado como sendo um erro de execução desses corpos de prova. Sendo assim, pode-se notar pela maioria dos corpos de prova, que quanto mais resíduos de RCD adicionados, maior será a absorção; fato esse que pode ser explicado em decorrência da diferença de granulometria e porosidade do RCD em relação à brita natural, aumento da graduação dos grãos e preenchimento dos números de vazios e a porcentagem de material cerâmico incorporado no agregado, haja visto que o material cerâmico contém grande poder de absorção de água.

Tabela 12 - Absorção de água dos concretos					
IDADE	Concreto	Referência	25% de RCD	50 % de RCD	75% de RCD
7 dias	Média da Absorção de água (%)	7,92	5,43	6,57	7,26
14 dias	Média da Absorção de água (%)	7,54	6,26	8,28	8,84
21 dias	Média da Absorção de água (%)	8,33	7,75	8,75	8,99
28 dias	Média da Absorção de água (%)	7,91	7,29	8,85	9,49

Fonte: Elaboração própria, 2020.

O gráfico 4 apresenta um estudo comparativo entre a absorção por imersão do traço de referência com os resultados obtidos contendo RCD nas idades 7, 14, 21 e 28 dias para melhor visualização.

Gráfico 4 - Resultado dos ensaios de absorção por imersão



Fonte: Elaboração própria, 2020.

6 CONCLUSÕES

A análise dos dados experimentais coletados no desenvolvimento deste trabalho permitiu-se elaborar considerações que foram apresentadas ao longo do trabalho e que estão mencionadas abaixo.

No concreto no estado fresco foi realizado o ensaio de índice de consistência. No mesmo, evidenciou-se que o concreto obteve o índice de consistência baixo. Este fato endossa os resultados de absorção de água realizado no agregado RCD que antecedeu o ensaio de absorção dos corpos de prova, onde o mesmo teve um aumento 99,02% em relação ao agregado de referência, pois tais agregados tem um

maior poder de absorção de umidade. O índice de consistência pode ter sofrido interferência relacionado a granulometria.

A relação água/cimento permaneceram constante em todos corpos de provas, pois para manter a trabalhabilidade do concreto seria necessário aumentar o consumo de água.

No tocante aos ensaios de caracterização dos concretos no seu estado endurecido, a partir da caracterização mecânica dos concretos com e sem adição de RCD, pode-se observar que houve um aumento de resistência à compressão simples do concreto com adição de RCD do que em relação ao referência.

O traço com adição de 75% de RCD com a idade de 28 dias apresentou um desempenho satisfatório, com um acréscimo de resistência de 20,68% em relação ao de referência.

Quanto à resistência à tração por compressão diametral, foi possível observar que de maneira geral, a resistência dos concretos com adição de RCD, foram superiores a de referência, porém, a tração com adição de 25% de RCD com idade de 28 dias, apresentou um acréscimo de 26,77% em relação ao resultado de referência. Os resultados obtidos, tanto para à resistência a compressão simples quanto a tração por compressão diametral, indicam melhor desempenho para os concretos com adição de RCD; tal fato pode ser indicativo que a incorporação de RCD é viável.

Em relação ao índice de durabilidade dos compósitos por meio do ensaio de absorção de água por imersão, notou-se um aumento nos resultados com todas as dosagens estudadas; com exceção da dosagem com adição de 25% de RCD. Tais conclusões confirmam o resultado encontrado no ensaio de caracterização do material RCD, onde o mesmo obteve um aumento considerável na capacidade de absorção de água.

Com base nos dados experimentais e as considerações descritas no presente trabalho, conclui-se que a pesquisa conseguiu alcançar seu objetivo de realizar análises do RCD adicionado ao concreto. Notou-se que as possíveis utilizações do RCD nos concretos não estruturais, fornecem um aumento de resistência aos mesmos corroborando para diminuir o uso de matéria prima e a geração irregular de

resíduos sólidos. Logo, promoverá uma redução nos impactos ambientais causado pelo descarte inadequado.

Através do tratamento dos resíduos procedentes das obras de reformas e demolições da construção civil, é possível converter a reutilização dos RCD em uma excelente alternativa para reciclagem, contudo vale salientar a necessidade de realizações de mais estudos, para que seja possível compreender as características e propriedades deste material sistematicamente, deixando assim espaço para futuros trabalhos.

REFERÊNCIAS

AKHTAR, Ali; SARMAH, Ajit K. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 262-281, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**: NBR 5738. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio**: NBR 9939 Rio de Janeiro 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**: NBR NM 45. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**: NBR NM 52. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**: NBR NM 53. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**: NBR 6457. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**: NBR 12655. Rio de Janeiro, 2015.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**: NBR 7222. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica**: NBR 9778. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**: NBR NM 27. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Agregados para concreto - Especificação**: NBR 7211. Rio de Janeiro, 2009.

AJDUKIEWICZ, A. et al. **The Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC**. *Cemente & Concrete Composites*. v. 24, p. 269-279, (2002).

BUNDER J. **O Concreto: sua origem, sua história**. 2016. Universidade de São Paulo Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

BARRETO, I. M. C. B. do N. **Gestão de resíduos na construção civil**. Sergipe: Sinduscon, 2005.

FROTTÉ, Camila et al. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD. Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 22, n. 2, 2017.

GIAMUSSO, S. (1992): **Manual do concreto**. Pini, São Paulo, p. 162.

JOHN, Vanderley M.; AGOPYAN, Vahan. **Reciclagem de resíduos da construção. Seminário–Reciclagem de resíduos sólidos domiciliares**. São Paulo, 2000.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese de doutorado. Porto Alegre, 2001.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1.ed. São Paulo: PINI, 1994. 581p.

PANORAMA ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**. 2013/2014.

Disponível

em:

<https://observatoriopnrs.files.wordpress.com/2015/07/panoramaabrelpe.pdf>

PANORAMA ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**. 2018/2019.

Disponível

em:

file:///C:/Users/marci/Downloads/PanoramaAbrelpe_-

2018_2019%20(1).pdf

PINTO, T. P. et al. **Guia profissional para uma gestão correta dos resíduos da construção**. São Paulo/SP, 2005.

CONAMA, Resolução nº 307, de 05 de Julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-**CONAMA**; “Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais”; publicada no Diário Oficial da União em 17/07/2002; Brasília, DF.

TENÓRIO, Jonathas Juda Lima et al. Concreto produzido com agregado reciclado. **RIEM-IBRACON Structures and Materials Journal**, v. 5, n. 5, 2012.

TORRES, Levi. **Há males que vem para o bem**, Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (Abrecon), 2018.


TUTIKIAN, B.; ISAIA, G. C.; HELENE, P. **Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho**. Concreto: Ciência e Tecnologia. 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2011.

ZHANG, M. H.; GJØRV, O. E. **Microstructure of the Interfacial Zone Between Lightweight Aggregate and Cement Paste**. Cement and Concrete Research (20), p. 610-618, 1990.

VIEIRA, L. G et al. **Resistência e Durabilidade de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados Provenientes de Resíduos de Construção e Demolição**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Núcleo Orientado para Inovação da Edificação (NORIE). Nº19, 2004.

ANEXOS

(A)



SOLOTEST[®]
APARELHOS PARA MECÂNICA
DO SOLO LTDA

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO SOLOTEST

Certificado de Calibração Nº: 54816-20

Pág.: 1/2

1. Dados do Cliente:

Contratante:	UNIDAS SOC.DE EDUCACAO E CULTURA LTDA		
Endereço:	AV. MACHADINHO, 4349 - AREA DE EXP.URBANA-ARIQUEMES - RO		
Solicitante:	O Mesmo		
Autorização da Calibração:	Sra. SILVANA		

2. Item do Cliente:

Equipamento:	MÁQUINA DE ENSAIO DE COMPRESSÃO ELÉTRICA DIGITAL	Ficha de Entrada:	44696
Série:	24333	Identificação:	N/C
Fabricante:	Solotest	Escala Calibrada:	0 a 100000Kgf
		Valor Divisão:	10,0 kgf

2.1 Transdutor:

Fabricante:	Gefran	Série:	1940A3EB	Capacidade:	400 BAR
-------------	--------	--------	----------	-------------	---------

3. Calibração:

Norma Referência:	NBR NM ISO 7500-1:2016		
Temperatura Ambiente:	24,0°C	máx.	35°C
	Executado por: Armando Fonseca		

4. Padrões:

Equipamento	Identificação	Laboratório	Certificado	Data Calibr.	Validade
Celula de Carga	0116	IPT	165 435-101	maio-18	maio-20

5. Informações Adicionais:

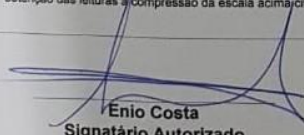
Lim. (HI):	77,5	Eng. (HI)	100,00
------------	------	-----------	--------

Data da Calibração:	10/03/2020
Data da Emissão:	10/03/2020


Local de Calibração: Laboratório de Calibração Solotest

6. Procedimento

O equipamento acima citado foi calibrado conforme o procedimento PCF001 revisão 09, onde foram utilizados uma ou mais células de carga para obtenção das leituras a compressão da escala acima citada, os pontos de medição pré-determinados, executando-se três séries de medição.



Enio Costa
Signatário Autorizado



Luiz Barella
Diretor Industrial

Equipamento para: Solo - Cimento - Concreto - Betume - Agregados - Metalografia - Areia de Fundação - Refratários
 Rua: Conselheiro Carrão, 275 - Bela Vista - Cep: 01328-000 - São Paulo - SP - Brasil - PABX: 55 (11) 3289-0211 - Fax: 55 (11) 3289-4516
 www.solotest.com - laboratorio@solotest.com

Fonte: FAEMA, 2020.

(B)

SOLOTEST
APARELHOS PARA MECÂNICA
DO SOLO LTDA

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO SOLOTEST

Certificado de Calibração Nº: 54816-20

Pág.: 2/2

7. Resultado

COMPRESSÃO
Valores em kN

Força lida no item	Séries de Leituras no padrão			Erros Relativos			Incerteza da Medição				
	1ª	2ª	3ª	Média	Erro Relativo da Indicação %	Resolução relativa do Indicador	Erro Relativo de Repetibilidade %	U95 (kN)	K	Classe	
kgf	kN	Leitura	Leitura	Leitura							
20000	196,1	195,98	195,38	195,27	195,54	0,30	0,05	0,36	0,74	2,65	classe0,5
40000	392,3	391,62	391,13	391,21	391,32	0,24	0,03	0,12	0,53	2,21	classe0,5
60000	588,4	587,68	586,89	586,81	587,13	0,22	0,02	0,15	0,96	2,23	classe0,5
80000	784,5	784,35	783,67	783,00	783,67	0,11	0,01	0,17	1,31	2,65	classe0,5
100000	980,7	979,44	979,05	978,89	979,12	0,16	0,01	0,06	0,77	2,05	classe0,5
Erro Relativo do valor de Zero %		0,00	0,00	0,00							

B. Notas

- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência k , indicado na tabela, calculada para uma distribuição normal com probabilidade de abrangência de 95,45%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- Os resultados deste certificado são válidos exclusivamente para o instrumento/ equipamento calibrado descrito, nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer outros, mesmo que similares.
- A sua reprodução parcial dependerá de prévia autorização formal da Solotest.

Equipamento para: Solo - Cimento - Concreto - Betume - Agregados - Metalografia - Anéis de Fundição - Refratários
Rua: Conselheiro Câmara, 279 - Bela Vista - Cep: 01328-000 - São Paulo - SP - Brasil - PAIS: 55 (11) 3289-0211 - Fax: 55 (11) 3289-4516
www.solotest.com - laboratorio@solotest.com

Fonte: FAEMA, 2020.



RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO DE PLÁGIO

DISCENTES: Márcio Sena Ferraz

CURSO: Engenharia Civil

DATA DE ANÁLISE: 19.11.2020

RESULTADO DA ANÁLISE

Estatísticas

Suspeitas na Internet: **16,84%**

Percentual do texto com expressões localizadas na internet ⚠️

Suspeitas confirmadas: **12,53%**

Confirmada existência dos trechos suspeitos nos endereços encontrados ⚠️

Texto analisado: **82,03%**

Percentual do texto efetivamente analisado (frases curtas, caracteres especiais, texto quebrado não são analisados).

Sucesso da análise: **100%**

Percentual das pesquisas com sucesso, indica a qualidade da análise, quanto maior, melhor.

Analisado por Plagius - Detector de Plágio 2.4.11
quinta-feira, 19 de novembro de 2020 12:11

PARECER FINAL

Declaro para devidos fins, que o trabalho do discente **MÁRCIO SENA FERRAZ**, n. de matrícula **23543**, do curso de Engenharia Civil, foi **APROVADO** na verificação de plágio, com porcentagem conferida em 16,84%. Informamos que, devido às falsas acusações de plágio, o trabalho foi analisado pela professora orientadora Silênia Priscilla Lemes, que o considerou apto para aprovação.

(assinado eletronicamente)
HERTA MARIA DE AÇUCENA DO N. SOEIRO
Bibliotecária CRB 1114/11
Biblioteca Júlio Bordignon
Faculdade de Educação e Meio Ambiente