

**FAEX- FACULDADE DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS DE EXTREMA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MARCELA ALEXANDRINA VIEIRA**

**A INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS RECICLADOS NA ARGAMASSA**

**EXTREMA**

**2018**

**MARCELA ALEXANDRINA VIEIRA**

**A INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS RECICLADOS NA ARGAMASSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas de Extrema, como requisito do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> M.<sup>a</sup> Roberta Moraes Martins

**EXTREMA**

**2018**

**MARCELA ALEXANDRINA VIEIRA**

**A INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS RECICLADOS NA ARGAMASSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas de Extrema, como requisito do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> M.<sup>a</sup> Roberta Moraes Martins

Aprovado em 14 de dezembro de 2018.



**ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**  
**FAEX – FACULDADE DE EXTREMA**

Em sessão às 14h do dia 14 de Dezembro de 2018 o (a) aluno (a) Marcela Alexandrina Vieira apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado “A influência dos agregados reciclados na argamassa” como requisito para conclusão do Curso de Engenharia Civil, perante uma Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

Marcela Alexandrina Vieira (Aluno (a))

Prof.ª Ma. Roberta Moraes Martins (orientador (a))

  
Prof. Afonso Henrique Vilela  
Prof. Marcelo Henrique Hermógenes

Aprovado



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me permitir a concretização desse sonho, por me dar forças e saúde para trilhar essa jornada, pois não foi fácil mais quando Deus está frente tudo se torna possível. Aos meus pais Marcos e Jaqueline, por sempre estar ao meu lado nas minhas decisões, fazendo tudo para a realização desse sonho mesmo nos momentos mais difíceis, sou eternamente grata. Ao meu namorado Lucas, por toda a paciência e incentivo para que eu pudesse concluir mais essa etapa. Sempre torcendo por mim e nos momentos mais difíceis esteve ali para me proporcionar aquele abraço para ter força para seguir em frente e sempre sendo dizendo vamos minha Engenheira. A minha família, que sempre estiveram rezaram e torceram para que eu pudesse concluir esse sonho. A minha amiga Aline, que esteve presente em toda caminhada, sempre me apoiando, e ajudando uma a outra para que pudéssemos chegar ao nosso objetivo, agradeço a Deus pela sua vida e admiro sua força. Ao técnico do laboratório João Paulo de Gois, por todo suporte, ensinamento e comemorações para a realização dos ensaios, foram grandes aprendizados um com o outro. Agradeço a Faex pelo conhecimento adquirido para a minha formação, ao seu corpo docente sempre trazendo grandes ensinamentos, aos colaboradores da limpeza que me trataram muito bem e sempre deixando nosso ambiente mais confortável. Aos meus professores pelos ensinamentos, ao Prof. Esp. Afonso Henrique Vilela por apoiar e reconhecer todo o esforço para a conclusão desse trabalho. Agradeço a minha orientadora Prof.<sup>a</sup> M.<sup>a</sup> Roberta Moraes Martins por aceitar e realizar essa etapa comigo, por todo o conhecimento que pude adquirir com ela, pelas comemorações do nosso trabalho, sempre dizendo vamos arrasar, pelas correções para que pudéssemos atingir o objetivo com eficaz, também agradeço a Deus pela sua vida e por ter vindo para a Faex e fazer toda a diferença no nosso curso.

“As dificuldades são o aço estrutural que entra na construção do caráter.”

- Carlos Drummond de Andrade

## RESUMO

Este trabalho buscou demonstrar a influência dos agregados reciclados na argamassa e sua resistência. Sendo os agregados materiais rochosos granular, sem forma e volumes definidos, inertes a dimensões e propriedades adequadas utilizados na construção civil. Há uma necessidade da utilização de agregados reciclados na construção civil, onde é de responsabilidade do engenheiro civil a destinação correta dos resíduos sólidos, sendo a construção civil um setor que mais gera resíduos sólidos entre os setores industriais. No Brasil existem algumas usinas de processamento de RCD, porém a quantidade reciclada é insignificante quanto ao volume produzido. Através das amostras de agregado reciclado trazidos da Usina RRCC de Bragança Paulista – São Paulo, foi feita uma análise granulométrica para saber seu módulo de finura e também a análise granulométrica do agregado natural. O ensaio de resistência à compressão foi avaliado aos 7 dias de idade do corpo-de-prova, com proporções de 10, 30, 60 e 100% na substituição do agregado natural pelo agregado reciclado, obtendo resultados estabelecidos acima dos parâmetros analisados, com proporções de 30% de agregado reciclado na argamassa sua resistência à compressão manteve-se em relação ao agregado natural, com a proporção de 60% de agregado reciclado comprovou a reutilização do mesmo e um ganho no impacto ambiental gerado pelo setor da construção civil.

**Palavras-Chaves:** Agregados; Agregados reciclados; Resíduos Sólidos; Argamassa; Resistência à Compressão.

## ABSTRACT

This work aimed to demonstrate the influence of the recycled aggregates on the mortar and its resistance. The aggregates being rocky materials granular, without shape and defined volumes, inert to dimensions and suitable properties used in construction. There is a need for the use of recycled aggregates in civil construction, where the civil engineer is responsible for the correct disposal of solid waste, and civil construction is a sector that generates more solid waste among the industrial sectors. In Brazil there are some RCD processing plants, but the recycled quantity is negligible in terms of volume produced. Through the samples of recycled aggregate brought from the RRCC Plant of Bragança Paulista - São Paulo, a granulometric analysis was done to know its modulus of fineness and also the granulometric analysis of the natural aggregate. The compressive strength test was evaluated at 7 days of age, with proportions of 10, 30, 60 and 100% in the replacement of the natural aggregate by the recycled aggregate, obtaining results established above the parameters analyzed, with proportions of 30% of recycled aggregate in the mortar its resistance to compression remained in relation to the natural aggregate, with the proportion of 60% of recycled aggregate proved the reuse of the same and a gain in the environmental impact generated by the civil construction sector.

**Keywords:** Aggregates; Recycled aggregates; Solid Waste; Mortar; Resistance to Compression.

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

AGN – Agregado Natural

AGR – Agregado Reciclado

RCD – Resíduos de construção e demolição

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

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

Tf – Tonelada força

Mpa – Mega Pascal

COV1 – Compostos orgânicos voláteis

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cimento Nacional CP V ARI MAX (Cimento Portland de alta resistência inicial) .....	20
Figura 2 - Agregado natural (laboratório da Faex).....	21
Figura 3 - Moedor de mandíbula (Usina de Reciclagem RRCC - Bragança Paulista - São Paulo) .....	22
Figura 4 - Agregado Reciclado de RCD e asfalto (Usina RRCC) .....	22
Figura 5 - Agitador Mecânico de Peneiras.....	23
Figura 6 - Análise Granulométrica Agregado Natural .....	24
Figura 7 - Análise Granulométrica Agregado Reciclado de RCD e auto pista	25
Figura 8 - Misturado Mecânico .....	26
Figura 9 - Molde Cilíndrico para Corpo-de-Prova .....	27
Figura 10 - Cura dos Corpos-de-prova .....	27
Figura 11 - Câmara úmida.....	28
Figura 12 - Prensa Hidráulica Manual 100T Fonte: Própria autora.....	29
Figura 13 - Corpos-de-prova de AGN 100% Fonte: Própria autora .....	29
Figura 14 - Corpos-de-prova de AGR 10% Fonte: Própria autora .....	30
Figura 15 - Corpos-de-prova de AGR 30% Fonte: Própria autora .....	30
Figura 16 - Corpos-de-prova de AGR 60% Fonte: Própria autora .....	30
Figura 17 - Corpos-de-prova de AGR 100% Fonte: Própria autora .....	31
Figura 18 - Gráfico da Curva Granulométrica de Agregado Natural .....	32
Figura 19 - Gráfico da Curva Granulométrica de Agregado Reciclado.....	33

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resistência à Compressão de AGN 100%.....	34
Gráfico 2 - Resistência à Compressão de AGN 90% + AGR 10%.....	35
Gráfico 3 - Resistência à Compressão de AGN 70% + AGR 30%.....	36
Gráfico 4 - Resistência à Compressão de AGN 40% + AGR 60%.....	37
Gráfico 5 - Resistência à Compressão de AGR 100% .....	38
Gráfico 6 - Média do Pico Máximo de Resistência à Compressão .....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dosagem dos agregados.....	25
Tabela 2 – Resultados do Ensaio de Granulometria de agregado natural .....	32
Tabela 3 - Resultados do Ensaio de Granulometria de agregado reciclado ...	33
Tabela 4 - Resistência à Compressão de AGN 100% .....	34
Tabela 5 - Resistência à Compressão de AGN 90% + AGR 10% .....	35
Tabela 6 - Resistência à Compressão de AGN 70% + AGR 30% .....	36
Tabela 7 - Resistência à Compressão de AGN 60% + AGR 40% .....	37
Tabela 8 - Resistência á Compressão de AGR 100% .....	38

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	13
1.2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA.....	14
<b>1.2.1. Objetivo Geral.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.3. Justificativa.....</b>	<b>14</b>
<b>2. REFERÊNCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	15
2.2. RECICLAGEM DOS RESÍDUOS SÓLIDOS .....	16
2.3. AGREGADOS RECICLADOS .....	17
2.4 OS IMPACTOS DO RCD NO MEIO AMBIENTE .....	18
2.5 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA .....	19
2.6 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	19
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>20</b>
3.1 MATERIAIS .....	20
<b>3.1.1 Cimento Portland .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.2 Água .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.3 Agregado Natural .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.4 Agregado Reciclado.....</b>	<b>22</b>
3.2 METODOS .....	23
<b>3.2.1 Propriedade Física do Agregado .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.2 Propriedade no Estado Fresco .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.3 Propriedade Mecânica .....</b>	<b>28</b>
<b>4. ANÁLISE.....</b>	<b>32</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>42</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os agregados reciclados podem ser utilizados em diversos serviços da engenharia, dentre os quais destacam-se a produção de concreto, argamassa e a fabricação de pré-moldados. Ainda segundo o autor, um dos fatores positivos advindos da utilização dos agregados reciclados, encontra-se no preço destes materiais, os quais são, geralmente, inferiores aos agregados naturais, podendo chegar a ter um preço 30 % inferior a de outros materiais. (MOTTA (2005))

A argamassa com agregados reciclados é produzido com resíduos britados, podendo ser bastante variados, contendo fragmentos de concreto, argamassa, cerâmica entre outros, onde substitui os agregados convencionais que se origina-se de rochas britadas, seixos de areias lavadas de rio que tem pouca porosidade. Os agregados reciclados são mais porosos com isso são controlados pela porosidade da pasta de cimento e pela porosidade do agregado, já o agregado convencional é controlado pela porosidade da pasta de cimento, onde a diferença essencial entre o concreto com agregado convencional e concreto com agregados reciclados é a porosidade. (ÂNGULO, S.C. cap.47)

Os agregados reciclados são mais porosos que o agregado convencional mais controlando seus teores de substituição ou a porosidade dos agregados RCD, seu uso torna-se possível até mesmo no concreto estrutural com resistências características superiores à de 25 Mpa. Na engenharia existem muitas aplicações que não requer o concreto estrutural conforme a (NBR 15166:2004 – Agregados de resíduos sólidos da construção civil).

## 1.2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

### 1.2.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral identificar a influência dos agregados reciclados na resistência das argamassas.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a influência dos agregados reciclados na argamassa.
- Mostrar a importância da seleção dos agregados RCD.
- Analisar as concentrações 10%, 30%, 60% e 100% dos agregados reciclados nas argamassas.

### 1.2.3. Justificativa

Através deste estudo justifica-se, pois, vem se tornando cada vez mais necessária a substituição dos agregados naturais por agregados reciclados, sabendo que o engenheiro civil tem a responsabilidade sobre a destinação dos resíduos da construção civil, sendo resíduos de demolição, ampliação e construção. Conforme a Lei 12.305 de 02/08/2010 (Institui a política nacional de resíduos sólidos), cabe ao engenheiro civil destinar corretamente os resíduos, o mesmo é penalizado por a destinação incorreta, com o cumprimento da lei pelo engenheiro civil pode-se ter resíduos de RCD destinados corretamente e com isso um agregado reciclado com mais qualidade para a reutilização na construção civil.

Aliado a isto, a reciclagem de agregados traz consigo, inúmeros benefícios, dentre os quais pode-se destacar, a redução de gastos com energia; a redução da exploração de fontes naturais não renováveis e, a redução de áreas destinadas a construção de aterros.

## 2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

### 2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Existem dois estados para os resíduos sólidos, o estado sólido e o semi-sólido que resultam de atividades domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, industriais. (ABNT NBR 10004, 2004 – Resíduos sólidos - Classificação).

A classificação do resíduo sólido é em função do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes, com características e comparações destes constituintes com resíduo e substâncias cuja o impacto ambiental e a saúde é conhecido. Sua classificação é dividida em duas partes, resíduo classe I – perigosos e resíduo classe II – não perigosos, subdivididos em resíduo classe II A – inertes e resíduo classe II B – não inertes. Os resíduos da construção civil são enquadrados no resíduo classe II B, sendo não perigoso e não inerte. (ABNT NBR 10004, 2004 – Resíduos sólidos - Classificação).

Os resíduos da construção civil são resíduos provenientes de construções, reparos, demolições, reformas e obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como bloco cerâmicos, tijolos, concreto em geral, madeiras, tintas, solos, rochas, metais, resinas, colas, argamassa, gesso, telhas, forros, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, fiação elétrica, tubulações e etc., os mesmos chamados de entulhos de obras, metralha ou caliça, de acordo com a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente Nº 307 (CONAMA, 2002).

De acordo com a resolução Nº 307 do CONAMA, os resíduos são classificados em quatro classes A, B, C e D, com base no seu potencial de reciclagem e reuso. Os resíduos classe A – são aqueles reutilizáveis ou recicláveis como agregados, resíduos classe B – os recicláveis para outras utilizações, resíduos classe C – os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permite a reciclagem e a recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso, resíduo classe D – os perigosos e oriundos do processo de construção.

Os agregados recicláveis ou resíduos classe A são definidos pela ABNT:NBR 15114:2004 (Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes

para projeto, implantação e operação), como sendo materiais provenientes do beneficiamento de resíduos de construção civil.

## 2.2. RECICLAGEM DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

O setor da construção civil é o maior gerador de resíduos sólidos do mundo, o desenvolvimento sustentável tem se apoiado nos objetivos na amortização do impacto ambiental gerada pelo setor e reduzindo os custos através da reciclagem de resíduos gerados. (ÂNGULO, (2001))

O Brasil produziu por volta de 68,5 milhões de toneladas de resíduos da construção civil RCD no ano de 2004. Correspondendo 90% da fração mineral como o concreto, argamassa, tijolos, telhas cerâmica, rochas naturais, solos dentre outras. Esses resíduos deportados incorretamente podem trazer problemas ambientais, principalmente na área urbana, tais como entupimento de bueiros, assoreamento de rios, esgotamento de área de aterro etc. No Brasil existem algumas usinas de processamento de RCD, com o volume produzido a quantidade reciclada da construção civil é ainda insignificante. Em países europeus como Holanda, Alemanha e Dinamarca a reciclagem dos resíduos está entre 50 a 90%. (ÂNGULO, (2005)).

O RCD foi reciclado pela primeira vez na Alemanha por causa da necessidade de se reconstruir as cidades completamente destruídas pela 2ª Guerra Mundial (LEVY, (2001)). É por isso que a Europa foi o continente precursor em reciclagem e possui a maior experiência no assunto.

Por isso que muitas empresas de demolição passaram a investir em desmontagem das edificações, procurando retirar contaminantes perigosos (fibrocimento contendo fibras de amianto, madeira tratada com pesticidas, etc.) e triar o resíduo proveniente de estruturas de concreto, procurando obter o agregado reciclado.

Além disso, essas empresas passaram a adquirir usinas móveis de reciclagem, com o intuito de economizar com o transporte e aumentar a lucratividade do negócio. Na Alemanha, existem, atualmente, cerca de 3.000 unidades móveis e 1.600 usinas fixas de reciclagem. No Brasil, existem apenas 28 usinas atualmente. O tipo de aplicação do agregado reciclado em ambos os países não é diferente. Grande parte do RCD reciclado é empregada como material para nivelamento de terrenos ou bases

de pavimentos, não sendo propriamente utilizado no concreto, onde requer critérios de controle de qualidade mais restritivos, muito embora seja um grande mercado para a reciclagem. No entanto, diversos países já possuem normas para controle do uso de agregados de RCD no concreto (HENDRIKS, 2000; DIN 4226-100:2002; ABNT NBR 15116:2004; VAZQUEZ, 2008). O Japão é o único país que possui normas para produção de agregados de RCD reciclados de alta qualidade. Este fato demonstra que existem diferentes níveis de maturidade dos mercados de modo a propiciar melhores condições para o uso dos agregados de RCD na argamassa.

### 2.3. AGREGADOS RECICLADOS

Utilizar agregado reciclado de RCD é, atualmente, uma necessidade para o setor da construção civil; maior consumidor de matérias-primas entre os setores industriais. O concreto é o material industrial mais consumido pelo homem e seus constituintes, o cimento e os agregados, são matérias-primas não renováveis, embora extremamente abundantes no planeta. Ao substituir agregado de rochas britadas por agregado reciclado pode-se evitar que 95 milhões de toneladas de RCD sejam dispostas em aterros e evita-se o consumo de recursos naturais não renováveis. (ÂNGULO, (2005))

A cada ano, as obras de construção e de renovação urbana imputam, em média, 500 kg de resíduo por habitante (MC, (2005)); um problema grave quando considerada a nossa população atual de 190 milhões de habitantes. Praticamente todo o RCD é possível de ser reciclado; mas requer, preferencialmente, a separação de materiais indesejáveis ao processo de reciclagem como madeira, plástico, aço e outros, já no canteiro de obra ou durante o processo de demolição. Mais importante ainda é a separação dos contaminantes; ou seja, materiais considerados perigosos ao meio ambiente (sulfato de cálcio, por exemplo) ou ao homem propriamente dito (cimento amianto, madeira tratada com pesticidas, tintas com COV1 ou metais pesados, lâmpadas contendo metais pesados, dentre outros. (ÂNGULO, (2005))

Os agregados reciclados são mais porosos que os agregados de rochas britadas e areias naturais. Assim, a resistência e durabilidade deste outro tipo de argamassa são controladas, não apenas pela porosidade da pasta de cimento, mas também pela porosidade do agregado, que facilmente ultrapassa os 10%. Assim, a

diferença essencial entre uma argamassa com agregado natural e uma argamassa com agregado reciclado é a porosidade.

O agregado reciclado é aquele obtido pela reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD) ou de algum outro resíduo que tenha condições de ser utilizado na argamassa. Atualmente, a principal fonte de resíduos para a produção destes agregados é a própria construção civil.

Os agregados de RCD são constituídos por fragmentos de concretos, argamassas, cerâmicas e outros materiais secundários, obtidos pela britagem e outras operações de descontaminação. Assim, a composição desse agregado é bastante variável, podendo ser constituído quase exclusivamente por concreto, ou misturado com cerâmica vermelha. Na composição, sempre há teores secundários de madeira, aço, vidro (entre 1-2 %).

## 2.4 OS IMPACTOS DO RCD NO MEIO AMBIENTE

Atualmente, vem aumentando significativamente, a preocupação quanto as disposições do RCD e os impactos que este pode vir a causar ao meio ambiente.

Neste sentido, Galivan e Bernold (1994), destacam que, a incorreta disposição dos RCDs, pode causar, surgimento de aterros clandestinos, bem como, causar problemas de assoreamento dos córregos e entupimento de bueiros e galerias. Além disso, cabe ressaltar que, a disposição incorreta dos RCDs, acabam contribuindo também, com o surgimento, nas zonas urbanas, de roedores, escorpiões e insetos que acabam transmitindo endemias, afetando assim, a saúde pública (PINTO, (1999)).

Ao dispor os RCDs em áreas públicas ou córregos, gera, conseqüentemente, custos sociais, visto que, torna-se necessário investir em ações de desassoreamento dos rios e córregos e, em limpeza das ruas e terrenos. Segundo o autor, a incorreta disposição dos RCDs impacta também a qualidade de vida dos moradores.

Desta forma, torna-se necessário que o Governo, determine ações que tenham por objetivo, garantir a qualidade de vida das próximas gerações. Segundo Zwan (1997), a fim de garantir o desenvolvimento sustentável, o governo deve investir em algumas ações, dentre as quais destacam-se:

- Controlar a emissão ambiental de resíduos, produtos e materiais, por meio do fechamento do ciclo da cadeia de produção;
- Desenvolver fontes de energia mais duráveis;
- Aumentar a durabilidade;
- Melhorar a qualidade dos produtos, resíduos e materiais naturais.

O Governo, a fim de prevenir a geração de resíduos, deve investir na criação de certificações ambientais, permitindo assim que, seja possível mensurar o impacto ambiental e, desta forma, tomar decisões que causem o mínimo risco ambiental e garantam a sustentabilidade. (YATES e HAMPTON (1997))

## 2.5 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

O ensaio de granulometria é feito de acordo com a NBR NM 248/2003 (Agregados – Determinação da composição granulométrica), que vem a ser a distribuição dos grãos em diversas dimensões, onde obtém-se a curva granulométrica a fins de verificar a dimensão máxima característica e o módulo de finura do agregado, onde se houver grande mudança no tamanho dos grãos de areia é necessário fazer o ajuste do fator água/cimento.

## 2.6 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

De acordo com a NBR 7215/1996 (Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão), o ensaio de resistência a compressão determina a resistência que o corpo-de-prova atinge ao ser rompida pela prensa hidráulica manual 100 Tf, e assim provando a resistência da argamassa com diferentes proporções de agregado reciclado, a partir dos resultados obtidos pode-se fazer uma análise em sua utilização.

### 3. METODOLOGIA

Realizou um estudo, a fim de se elucidar os procedimentos e processos necessários para a utilização dos agregados reciclados para a confecção de argamassa, bem como identificar os benefícios proporcionados por sua utilização.

#### 3.1 MATERIAIS

Para a realização do ensaio foram utilizados os seguintes materiais: cimento CP V-ARI MAX (Cimento Portland de alta resistência inicial); água destilada; agregado natural e o agregado reciclado de RCD e asfalto.

##### 3.1.1 Cimento Portland

Foi utilizado o cimento CP V-ARI MAX (Cimento Portland de alta resistência inicial), da marca Nacional onde atendem os parâmetros estabelecidos pela ISSO 9001/2015.



Figura 1 - Cimento Nacional CP V ARI MAX (Cimento Portland de alta resistência inicial)

Fonte: Própria autora

### 3.1.2 Água

Para a realização da mistura da argamassa utilizou-se água destilada sendo a mesma proveniente, do sistema de abastecimento de água da cidade e, posteriormente sofrendo o processo de remoção dos íons.

Utilizou-se água saturada com cal, para cura dos corpos-de-prova, para não haver a formação de micro-organismos, sabendo-se que ficará por 5 dias a água parada no processo de cura.

### 3.1.3 Agregado Natural

Para a realização deste estudo, utilizou-se areia média lavada. A escolha se deu, devido à grande utilização da areia média na argamassa pela construção civil, o que permite a realização de uma análise comparativa entre os resultados obtidos.



Figura 2 - Agregado natural (laboratório da Faex)

Fonte: Própria autora

### 3.1.4 Agregado Reciclado

O agregado reciclado utilizado foi adquirido de uma usina de reciclagem a RRCC de Bragança Paulista – São Paulo, onde contem agregado de RCD e asfalto.

O processo realizado na usina em um primeiro momento, é a triagem dos materiais orgânicos e recicláveis, visto que, para a confecção da argamassa, se faz necessária a utilização do resíduos construção.

Após isto, o material é submetido ao processo de moagem, o qual se da por meio da utilização de um Moedor de Mandíbula, sendo triturado e obtendo o agregado reciclado.



Figura 3 - Moedor de mandíbula (Usina de Reciclagem RRCC - Bragança Paulista - São Paulo)

Fonte: Própria autora



Figura 4 - Agregado Reciclado de RCD e asfalto (Usina RRCC)

Fonte: Própria autora

## 3.2 METODOS

Os métodos e procedimentos utilizados buscam tratar da determinação das características física e mecânica da argamassa.

### 3.2.1 Propriedade Física do Agregado

#### 3.2.1.1 Análise Granulométrica

Para que ocorra a separação granulométrica dos agregados, foi necessária a utilização de um agitador mecânico de peneiras, por meio do qual é empregada a técnica do peneiramento mecânico a seco, conforme disposto na NBR NM 248/2003 (Agregados – Determinação da composição granulométrica), onde deste método é possível determinar a dimensão dos agregados.



Figura 5 - Agitador Mecânico de Peneiras

Própria autora

Para o respectivo ensaio, foram utilizadas peneiras conforme a Tabela 1 da NBR NM 248/2003 (Agregados – Determinação da composição granulométrica), com abertura de 0,15mm à 2,36mm, não foi necessário a de maiores diâmetro, por ser um

agregado médio. Verificou-se as peneiras conforme as exigências da NM-ISSO 3310-1/2010 (Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação), estando estas acopladas ao agitador mecânico.

Cabe ressaltar que, tal análise foi realizada com duas amostras de 0,3 Kg, sendo elas com agregado natural e agregado reciclado de RCD e asfalto da Usina RRCC de Bragança Paulista – São Paulo, a mesma levada a uma estufa, com temperatura de 60° C.

Colocou-se 0,3 kg de agregado no agitador mecânico, provendo agitação mecânica por 5 minutos cronometrado, foi o tempo necessário para permitir a separação e classificação prévia dos diferentes tamanhos de grão da amostra, segundo NBR NM 248/2003 (Agregados – Determinação da composição granulométrica), após isso anotou-se as frações dos agregados miúdos retido nas peneiras.



Figura 6 - Análise Granulométrica Agregado Natural

Fonte: Própria autora



Figura 7 - Análise Granulométrica Agregado Reciclado de RCD e auto pista

Fonte: Própria autora

### 3.2.1.3 Dosagem dos materiais

Durante a realização do ensaio, foram moldados 4 corpos-de-prova de cada tipo de amostra, que possuíam o mesmo traço com diferentes dosagens de agregados natural e reciclados, sendo classificadas em agregado natural 100%, agregado reciclado de RCD e asfalto 10%, 30%, 60% e 100%.

Na tabela 1, estão dispostos os valores referentes aos traços e a proporção de agregados para confecção da argamassa conforme NBR 7215/1996 (Cimento Portland - Determinação da resistência a compressão).

Tabela 1 - Dosagem dos agregados

Classificação Agregados	Traço Argamassa	Água Destilada (ml)	Agregado Natural (Kg)	Agregado Reciclado (Kg)	Cimento (Kg)
AGN 100%	1:3	300,20	1872,07	0	624,03
AGR 10%	1:3	300,06	1684,70	187,20	624,05
AGR 30%	1:3	300,06	1310,42	561,60	624,07
AGR 60%	1:3	300,08	748,82	1123,21	624,10
AGR 100%	1:3	300,13	0	1872,10	624,03

Fonte: Própria autora

### 3.2.2 Propriedade no Estado Fresco

#### 3.2.2.1 Moldagem, Mistura Mecânica e Cura

Conforme a NBR 7215/1996 (Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão), foi utilizado um misturador mecânico com capacidade de 5L para executar a mistura e verificado os moldes e soquete.



Figura 8 - Misturado Mecânico

Fonte: Própria autora

Após a operação de mistura utilizou-se um molde, o qual foi disposto sobre uma mesa, em que foi adicionada quatro camadas com a mesma altura, onde, por meio do uso de um soquete normal, foram desferidos 30 golpes de maneira uniforme e homogeneamente distribuídos entre as quatro camadas. O material que ultrapassou o limite da borda superior, foi arrasado com o auxílio de uma régua no sentido vai e vem.

Após feito a moldagem de 30 corpos-de-prova de diferentes tipos de proporção de agregado reciclado e agregado natural, permaneceram na mesa por 24h ainda no molde, no dia seguinte foram retirados dos moldes e identificados, colocou-se em um balde de água saturada com cal por cinco dias, e retirou-se 24h antes de seu

rompimento e deixando-o na câmara úmida, totalizando 7 dias de idade que será feito o ensaio de resistência à compressão.



Figura 9 - Molde Cilíndrico para Corpo-de-Prova

Fonte: Própria autora



Figura 10 - Cura dos Corpos-de-prova

Fonte: Própria autora



Figura 11 - Câmara úmida

Fonte: Própria autora

### 3.2.3 Propriedade Mecânica

#### 3.2.3.1 Resistência à Compressão

De acordo com a NBR 7215/1996 (Cimento Portland - Determinação da resistência a compressão), para a realização da análise de resistência à compressão, foram utilizados seis corpos-de-prova de diferentes proporções, que possuíam dimensão de 50 x 100 mm. Para o rompimento dos corpos-de-prova foi utilizado uma prensa hidráulica manual com capacidade de 100 Tf , foi feito a regularização dos corpos-de-prova, após rompimento dos mesmos foi anotado o pico máximo da resistência atingida em toneladas força, este resultado foi transformado para Mpa.



Figura 12 - Prensa Hidráulica Manual 100T

Fonte: Própria autora



Figura 13 - Corpos-de-prova de AGN 100%

Fonte: Própria autora



Figura 14 - Corpos-de-prova de AGR 10%

Fonte: Própria autora



Figura 15 - Corpos-de-prova de AGR 30%

Fonte: Própria autora



Figura 16 - Corpos-de-prova de AGR 60%

Fonte: Própria autora



Figura 17 - Corpos-de-prova de AGR 100%

Fonte: Própria autora

#### 4. ANÁLISE

Com resultado obtido da análise granulométrica do agregado natural, pode-se observar o módulo de finura do agregado, pois quando ocorre mudanças significativas do tamanho dos grãos de areia têm uma importante demanda de água, que precisa-se ajustar o teor água/cimento.

Tabela 2 – Resultados do Ensaio de Granulometria de agregado natural

Peneira n°	Diâmetro (mm)	Peso da amostra (g)	Percentual retido (%)	Percentual passante (%)
#8	2,36	0	0	0
#16	1,18	14,71	4,9	95,1
#30	0,60	67,35	22,5	72,6
#50	0,30	141,23	47,2	25,4
#100	0,15	72,02	24	1,4
Fundo	0	4,07	1,4	0
	<b>Total</b>	299,38	100	

Fonte: Própria autora

Curva Granulométrica

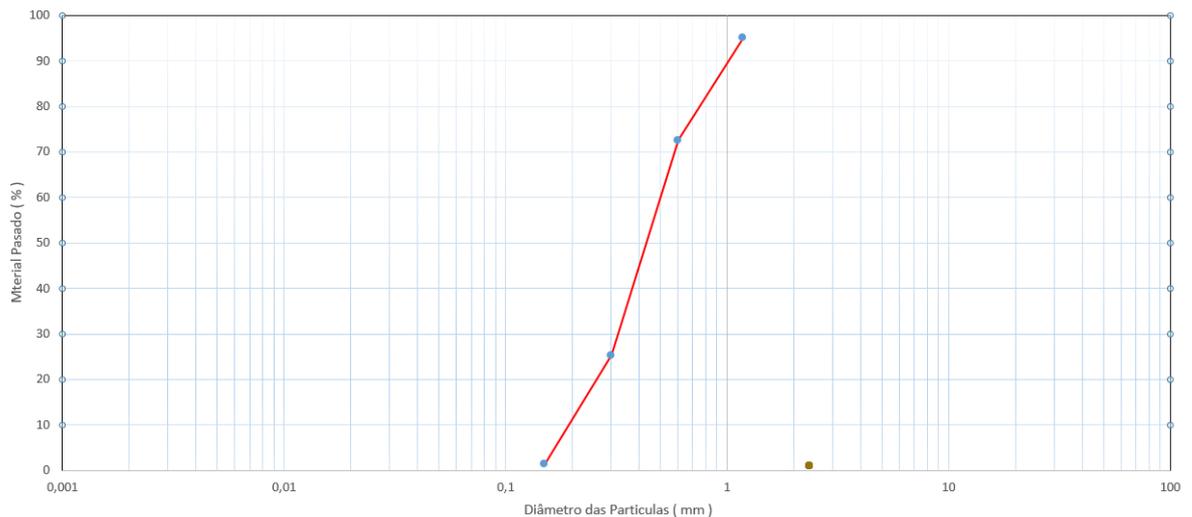


Figura 18 - Gráfico da Curva Granulométrica de Agregado Natural

Fonte: Própria autora

Para o agregado reciclado de RCD e asfalto foi realizado uma análise granulométrica conforme (tabela 3), seu módulo de finura obteve melhor resultado que o agregado natural, onde suas partículas estavam mais homogeneizadas assim podendo obter uma melhor curva granulométrica (figura 16), e ajudando na sua resistência à compressão.

Tabela 3 - Resultados do Ensaio de Granulometria de agregado reciclado

Peneira nº	Diâmetro (mm)	Peso da amostra (g)	Percentual retido (%)	Percentual passante (%)
#8	2,36	59,3	19,9	80,1
#16	1,18	92,1	30,8	49,3
#30	0,60	80,8	27	22,3
#50	0,30	48,9	16,4	5,9
#100	0,15	16,8	5,6	0,3
Fundo	0	0,8	0,3	0
	<b>Total</b>	298,7	100	

Fonte: Própria autora

Curva Granulométrica

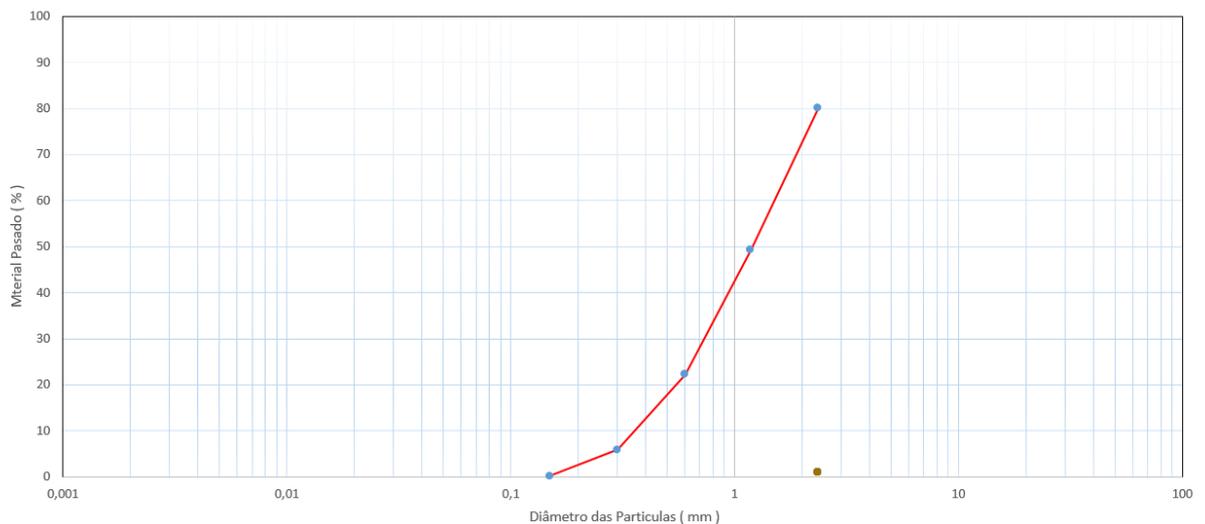


Figura 19 - Gráfico da Curva Granulométrica de Agregado Reciclado

Fonte: Própria autora

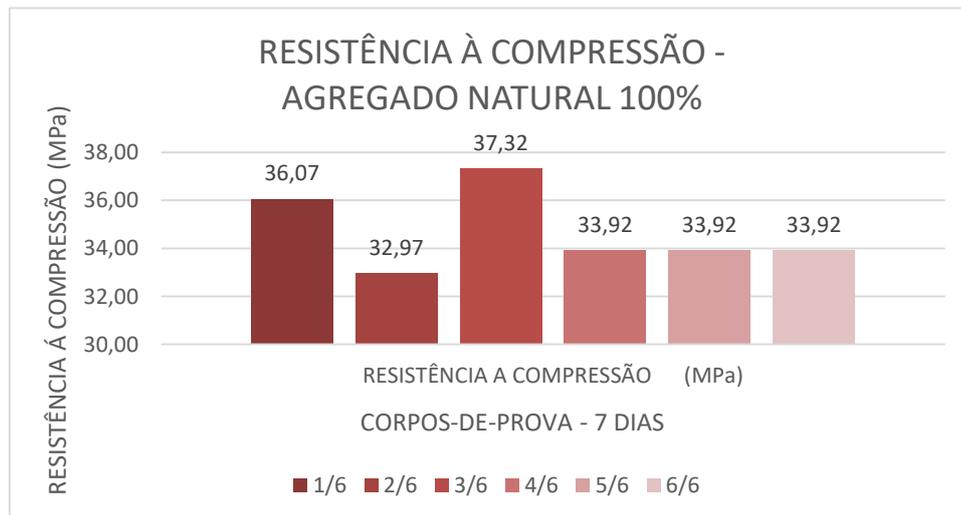
Foi realizado ensaio com diferentes proporções de agregado reciclado e agregado natural para analisar sua resistência. Na tabela 4, usou apenas agregado natural, que obteve em seus 7 dias de idade uma média do pico máximo de resistência de 34,67 Mpa medido pela prensa hidráulica manual, no (gráfico 1) pode-se ver com clareza a resistência obtida dos corpos-de-prova analisados, onde pode ser aplicada para argamassa de revestimento.

Tabela 4 - Resistência à Compressão de AGN 100%

1ª AMOSTRA			
AGREGADO NATURAL 100%			
CORPOS DE PROVA	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	CARGA APLICADA (TON)	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)
1/6	1964	7,22	36,07
2/6	1964	6,60	32,97
3/6	1964	7,47	37,32
4/6	1964	6,79	33,92
5/6	1964	6,79	33,92
6/6	1964	6,79	33,92

Fonte: Própria autora

Gráfico 1 – Resistência à Compressão de AGN 100%



Fonte: Própria autora

O ensaio realizado com proporção de 10% de agregado reciclado e 90% de agregado natural com 7 dias de idade atingiu uma média do pico máximo de

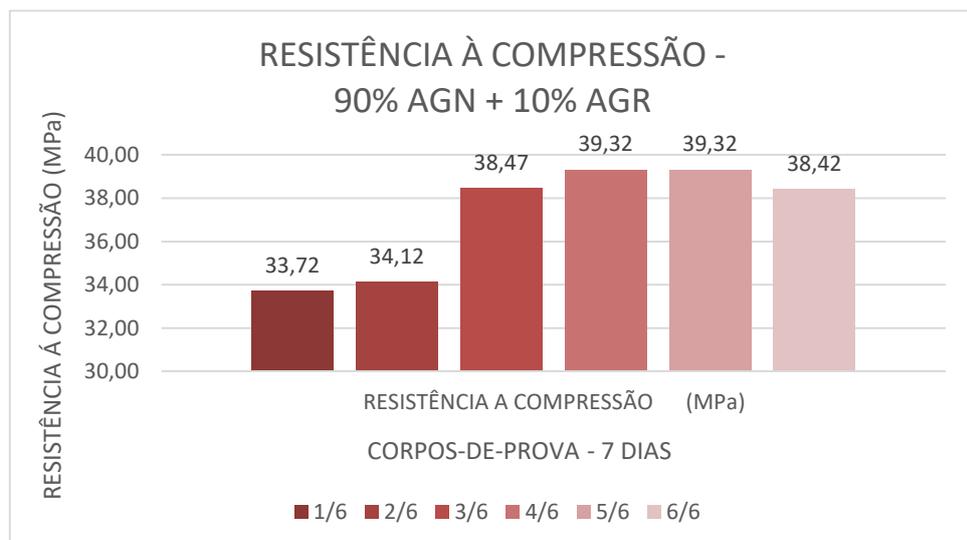
resistência 37,22 Mpa conforme (gráfico 6) em relação à resistência do agregado natural, no (gráfico 2) consegue-se uma melhor visualização dos resultados à resistência dos corpos-de-prova analisados, obtendo resultado melhor que o esperado, pois aumentou sua resistência e pode-se concluir a utilização na substituição em proporção da argamassa convencional conforme a NBR 5733 EB – 2/ 1991 (Cimento Portland de alta resistência inicial).

Tabela 5 - Resistência à Compressão de AGN 90% + AGR 10%

2ª AMOSTRA			
AGREGADO NATURAL 90% + AGREGADO RECICLADO 10%			
CORPOS DE PROVA	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	CARGA APLICADA (TON)	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)
1/6	1964	6,75	33,72
2/6	1964	6,83	34,12
3/6	1964	7,70	38,47
4/6	1964	7,87	39,32
5/6	1964	7,87	39,32
6/6	1964	7,69	38,42

Fonte: Própria autora

Gráfico 2 - Resistência à Compressão de AGN 90% + AGR 10%



Fonte: Própria autora

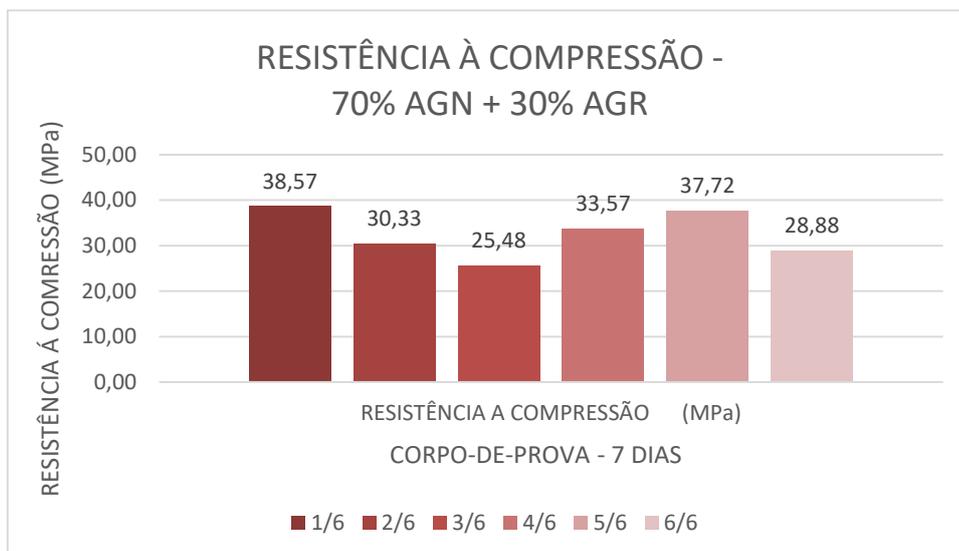
O ensaio realizado com 70% de agregado natural e 30% de agregado reciclado com 7 dias de idade obteve uma média do pico máximo de 32,43 Mpa conforme (gráfico 6), analisando que começou a diminuir sua resistência conforme NBR 5733 EB – 2/ 1991 (Cimento Portland de alta resistência inicial), mesmo tendo suas variações conforme mostra (gráfico 3), mostrando que pode-se reutilizar os agregados reciclados na construção civil.

Tabela 6 - Resistência à Compressão de AGN 70% + AGR 30%

3ª AMOSTRA			
AGREGADO NATURAL 70% + AGREGADO RECICLADO 30%			
CORPOS DE PROVA	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	CARGA APLICADA (TON)	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)
1/6	1964	7,72	38,57
2/6	1964	6,07	30,33
3/6	1964	5,10	25,48
4/6	1964	6,72	33,57
5/6	1964	7,55	37,72
6/6	1964	5,78	28,88

Fonte: Própria autora

Gráfico 3 - Resistência à Compressão de AGN 70% + AGR 30%



Fonte: Própria autora

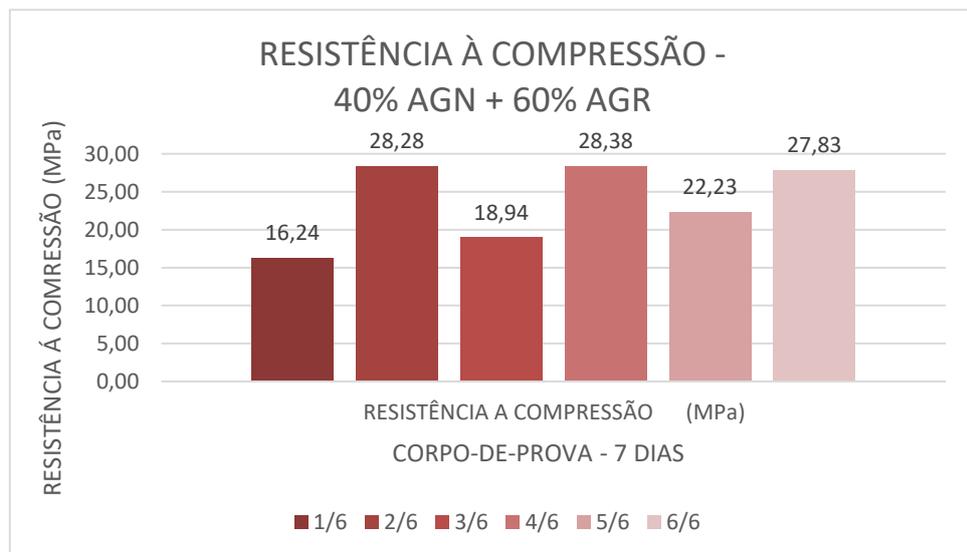
O ensaio realizado com 40% de agregado natural e 60% de agregado reciclado com 7 dias de idade atingiu uma média do pico máximo de 23,63 Mpa conforme (gráfico 6), mesmo tendo suas variações (gráfico 4) ainda pode-se utilizar na construção civil, sua proporção é excelente pois usa-se menos agregado natural e reutiliza mais agregados reciclados, tendo uma melhoria para o meio ambiente e reaproveitando os materiais de RCD.

Tabela 7 - Resistência à Compressão de AGN 60% + AGR 40%

4ª AMOSTRA			
AGREGADO NATURAL 40% + AGREGADO RECICLADO 60%			
CORPOS DE PROVA	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	CARGA APLICADA (TON)	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)
1/6	1964	3,25	16,24
2/6	1964	5,66	28,28
3/6	1964	3,79	18,94
4/6	1964	5,68	28,38
5/6	1964	4,45	22,23
6/6	1964	5,57	27,83

Fonte: Própria autora

Gráfico 4 - Resistência à Compressão de AGN 40% + AGR 60%



Fonte: Própria autora

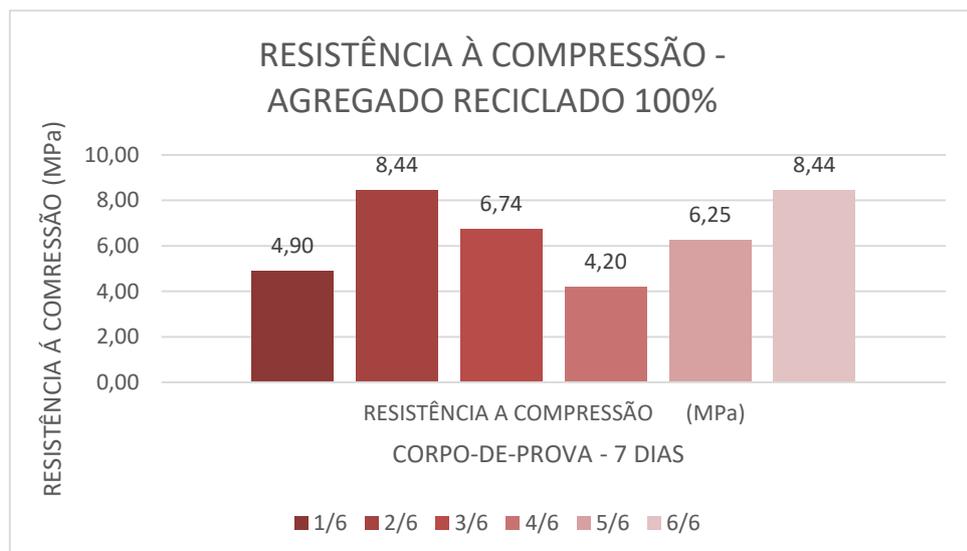
Também foi realizado o ensaio com apenas agregado reciclado com 7 dias de idade uma média do pico máximo foi de 6,5 Mpa conforme (gráfico 6) e suas variações com mais clareza no (gráfico 5), analisou que sem a adição do agregado natural não é possível usar a argamassa para o revestimento e sua resistência diminui, mostra que pode ser usada para a regularização de piso, e com isso ainda ajudando muito da reutilização dos resíduos sólidos da construção civil.

Tabela 8 - Resistência à Compressão de AGR 100%

5ª AMOSTRA			
AGREGADO RECICLADO 100%			
CORPOS DE PROVA	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	CARGA APLICADA (TON)	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)
1/6	1964	0,98	4,90
2/6	1964	1,69	8,44
3/6	1964	1,35	6,74
4/6	1964	0,84	4,20
5/6	1964	1,25	6,25
6/6	1964	1,69	8,44

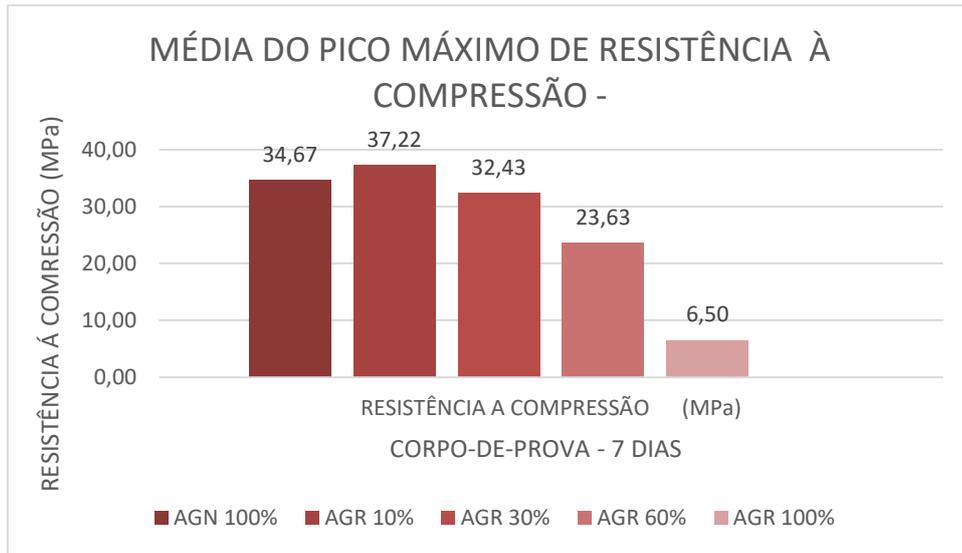
Fonte: Própria autora

Gráfico 5 - Resistência à Compressão de AGR 100%



Fonte: Própria autora

Gráfico 6 - Média do Pico Máximo de Resistência à Compressão



Fonte: Própria autora

## 5. CONCLUSÃO

Conclui que foi de extrema importância e muito rico para o meu conhecimento acadêmico fazer esse trabalho que o tema se trata da influência do agregado reciclado na argamassa, nos tempos de hoje com o crescimento global acarretou o maior consumo dos agregados, sabendo que o setor da construção civil é o maior gerador de resíduos sólidos do mundo, com isso devido ao impacto ambiental foi vigorada a Lei 12.305/2010 que define que a destinação correta dos resíduos sólidos é de responsabilidade do engenheiro civil responsável pela obra. Existem usinas que fazem a disposição final e reutilização dos materiais, em trabalho à campo pude ver todos os processos dos resíduos sólidos, dès da chegada até o material finalizado e separado com sua disposição correta.

Em uma conversa com a proprietária da usina RRCC de Bragança Paulista-São Paulo, o gerenciamento dos resíduos sólidos feito na obra é muito importante pois consegue-se obter um material com melhor aproveitamento e mais qualidade, mas infelizmente não é esse o cenário que vemos hoje na construção civil, muitas vezes pela falta de informação do engenheiro civil e a fiscalização do mesmo.

O meu tema traz consigo as informações sobre a obrigação e responsabilidade do engenheiro civil com a destinação dos resíduos sólidos, e também comprovei com minhas pesquisas e ensaios de laboratório que é possível a reutilização de agregados reciclados de RCD e asfalto em proporções da substituição do agregado natural na argamassa.

Com a substituição total do agregado natural pelo agregado reciclado, obteve-se uma argamassa que pode ser utilizada para a regularização de contra piso por ter atingido a resistência em média de 6,5 Mpa e não tendo a mesma trabalhabilidade da argamassa convencional. Feito também com a substituição das proporções de 10%, 30% e 60% de agregado reciclado, na melhor proporção com 10% na substituição de agregado natural teve em média a resistência de 37,22 Mpa, sendo um resultado melhor que o esperado e estabelecidos por norma, com a proporção de 30% de agregado reciclado na argamassa a resistência em média atingida foi de 32,43 Mpa, onde começa a diminuir sua resistência à compressão, podendo ser utilizados as

proporções nos intervalos de 10% a 30% de agregado reciclado na argamassa pois sua resistência está acima dos parâmetros estabelecidos por norma.

Com o gerenciamento e a destinação correta dos resíduos sólidos pode-se reutilizar o resíduos sólidos de RCD para a execução na construção civil e minimizar os impactos ambientais causados por eles. Assim utilizando menos agregados naturais e preservando as fontes não renováveis, e obtendo uma argamassa com uma resistência que pode-se analisada para fins estruturais.

Deixando como sugestões futuras a Caracterização por Difractometria de Raio X (para verificar os tipos de elementos químicos) e Microscopia de Varredura (forma e relevo do agregado) é necessário para a caracterização do agregado reciclado.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Cimento Portland- Determinação da resistência a compressão. NBR 7215, Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. ABNT NBR 13281, Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Agregados - Determinação da composição granulométrica. NBR NM 248, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. NBR 15114, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. ABNT NBR 15116, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. NBR 5739, Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Resíduos sólidos – Classificação. ABNT NBR 10004, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação. NM-ISSO 3310-1, Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Cimento Portland de alta resistência inicial. NBR 5733 EB – 2, Rio de Janeiro, 1991.

ÂNGULO, S.C., 2000, Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção civil e demolição reciclados, Tese, Escola Politécnica/ USP, São Paulo, SP, Brasil.

ANGULO, S. C., 2005, Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de suas Características no Comportamento Mecânico dos Concretos. Tese de D. Sc., Escola Politécnica/ USP, São Paulo, SP, Brasil.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA N° 307, de 05/07/2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

CONGRESSO NACIONAL, Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei N° 9.605,1998; e dá outras providências. Lei N° 12.305, 2010.

LUZ, A.B., ALMEIDA, S.L.M. Manual de agregados para a construção civil, 2ª edição, Rio de Janeiro, 2012.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestruturas, propriedades e materiais. 2006.

NEVILLE, A.M., Propriedades do concreto, 5ª edição. 2000.