



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UniCEUB**  
**PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

**DOUGLAS DE SOUZA BARBOSA**  
**RICARDO BRIAM ARAÚJO NOGUERIA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE NA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO  
(RCD) PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA E CONCRETO NÃO ESTRUTURAL NO DISTRITO  
FEDERAL**

**Brasília**  
**2020**



**DOUGLAS DE SOUZA BARBOSA**  
**RICARDO BRIAM ARAÚJO NOGUERIA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE NA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO  
(RCD) PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA E CONCRETO NÃO ESTRUTURAL NO DISTRITO  
FEDERAL**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentado à Assessoria de Pós Graduação e Pesquisa.

Orientadora: Maria José de Souza Serafim,  
Dsc

**Brasília**

**2020**

### **Agradecimentos**

Somos imensamente gratos a Deus por ter nos proporcionado a vida e por fazer parte crucial em nossas conquistas.

Agradecer por todo carinho e paciência da nossa família, em especiais, nossos pais, por cada palavra de incentivo na realização deste trabalho.

Gratidão por todos os amigos e colegas que contribuíram, diretamente ou indiretamente, para realização desta pesquisa, em especial: Daniel Moraes, Davi Braz, Diandra Mara, Gabriella Vale, Guilherme Neves, Natália Sarmiento, Maria Clara, Murilo e Lívia. Vocês são únicos, lindões!!

Queremos agradecer o nosso trio de orientadoras, Professora Ivonne Góngora, por ter acreditado no nosso projeto e por ter feito parte de cada detalhe na construção e elaboração de metas e resultados; Professora Érika Castro, por ter agregado de maneira significativa no fechamento de todas as possíveis arretas da pesquisa, além de contribuir com todo o seu conhecimento prático e teórico sobre o tema; por fim a Professora Maria José Serafim, por ter dito todo o carinho de nos orientar nessa reta final, enriquecendo nossa pesquisa com seu vasto conhecimento na área.

Agradecer toda a Equipe do UniCEUB, em especial, a técnica Meire, do LABOCIEN, e a assessoria de Pós-graduação e Pesquisa do UniCEUB, em especial, a analista Clara Motta, por toda atenção prestada ao longo desse um ano de pesquisa.

## RESUMO

A busca por alternativas que visam a redução dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado dos resíduos de construção e demolição vem ganhando maior destaque dentro das empresas e instituições acadêmicas ligadas à construção civil. Uma das alternativas estudadas, trata-se do uso do agregado reciclado na produção de argamassa e concreto. Buscando avaliar a utilização de resíduos de construção e demolição como agregado reciclado, a presente pesquisa teve como objetivo analisar o comportamento físico e mecânico do concreto não estrutural e da argamassa produzidos com agregados reciclados. Para argamassa foram desenvolvidos 2 traços: traço de referência (sem substituição) e traço com 100% de substituição do agregado miúdo por agregado reciclado. Para o concreto não estrutural foram desenvolvidos 3 traços: traço de referência (sem substituição); com 100% de substituição do agregado miúdo por material reciclado e com substituição de 100% de agregado miúdo e agregado graúdo por material reciclado. Foram moldados 12 corpos de provas cilíndricos, com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, para todos os traços de concreto e 9 corpos de prova prismáticos, para cada um dos traços de argamassa. A partir da revisão da literatura e dos ensaios laboratoriais, foram realizados os ensaios de: caracterização dos materiais; do concreto: desempenho mecânico (resistências à compressão, à tração por compressão diametral); Desempenho físico (consistência de abatimento do tronco cônico - slump test e absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica); e da argamassa: desempenho mecânico (resistências à compressão e à tração na flexão); desempenho físico (índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado) seguindo todas as normas vigentes. Diante dos resultados alcançados, o concreto confeccionado com substituição total dos agregados naturais por agregados reciclados, apresentou resultados satisfatórios, destacando-se para a resistência a compressão, 27% maior que a obtida pelo concreto referência. Entre as argamassas, a confeccionada com agregado miúdo reciclado, obteve uma resistência a compressão, na idade de 28 dias, 20,3 % maior em comparação a argamassa confeccionada com agregado miúdo natural.

**Palavras chave:** Argamassa. Concreto não estrutural. Agregado reciclado.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classe de Consistência .....	24
Tabela 2: Número de golpes por camada .....	24
Tabela 3: Tempo de Pega .....	29
Tabela 4: Resistência à compressão do CP II F 32 .....	30
Tabela 5: Parâmetros de Resistência à Compressão Mínima (NBR 16697/ 2018).....	30
Tabela 6: Classificação comercial da areia. ....	31
Tabela 7: Classificação comercial da brita.....	31
Tabela 8: Ensaio de composição granulométrica da areia natural .....	32
Tabela 9: Ensaio de composição granulométrica da areia reciclada.....	33
Tabela 10: Ensaio de composição granulométrica da brita 0 .....	34
Tabela 11: Ensaio de composição granulométrica da brita 0 reciclada .....	35
Tabela 12: Ensaio de composição granulométrica da brita 1 .....	36
Tabela 13: Ensaio de composição granulométrica da brita 1 reciclada .....	37
Tabela 14: Resultados de massa específica dos agregados em g/cm <sup>3</sup> . ....	39
Tabela 15: Resultados da massa unitária dos agregados em g/cm <sup>3</sup> .....	40
Tabela 16: Teor de Material Pulverulento .....	40
Tabela 17: Massa específica e massa específica aparente dos agregados reciclados .....	41
Tabela 18: Absorção de água do agregado graúdo. ....	42
Tabela 19: Espalhamento da Argamassa .....	43
Tabela 20: Densidade da Argamassa .....	43
Tabela 21: Resistência à flexão da argamassa de referência .....	44
Tabela 22: Resistência à flexão da argamassa reciclada .....	45
Tabela 23: Resistência à compressão da argamassa de referência.....	45
Tabela 24: Resistência a compressão da argamassa reciclada .....	46
Tabela 25: Dosagem do Concreto.....	48
Tabela 26: Determinação da consistência pelo abatimento do cone. ....	49
Tabela 27: Classe de Consistência .....	50
Tabela 28: Número de camadas para moldagem dos corpos de prova .....	50
Tabela 29: Resistência à Compressão .....	51
Tabela 30: Comparação de resistência à compressão aos 28 dias.....	53

Tabela 31: Resistência à tração por compressão diametral .....	54
Tabela 32: Propriedades físicas do concreto endurecido .....	56

### LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva Granulométrica.....	32
Figura 2: Curva Granulométrica da Areia Natural .....	33
Figura 3: Curva Granulométrica da Areia reciclada .....	34
Figura 4: Curva Granulométrica da brita 0 .....	35
Figura 5: Curva Granulométrica da brita 0 reciclada .....	36
Figura 6: Curva Granulométrica da brita 1.....	37
Figura 7: Curva Granulométrica da brita 1 reciclada .....	38
Figura 8: Curva Granulométrica (Agregado miúdo) .....	38
Figura 9: Curva Granulométrica (Agregado graúdo) .....	39
Figura 10: Resistência à Compressão.....	47
Figura 11: Slump Test.....	48
Figura 12: Abatimento do concreto fresco .....	49
Figura 13: Moldagem dos corpos de prova.....	50
Figura 14: Ganho de Resistência à Compressão.....	52
Figura 15: Resistência à Compressão.....	52
Figura 16: Comparação de resistência à compressão aos 28 dias do traço misto 1 .....	53
Figura 17: Comparação de resistência à compressão aos 28 dias do traço reciclado .....	54
Figura 18: Ganho de Resistência a tração por compressão diametral .....	55
Figura 19: Resistência a tração por compressão diametral em MPA.....	55

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
2.1 Concreto de Cimento Portland .....	11
2.2 Argamassa.....	11
2.3 Cimento Portland .....	11
2.4 Agregados Naturais .....	12
2.4.1 Conceitos e Microestrutura .....	12
2.4.2 Impactos Ambientais da Extração de Agregados Naturais.....	12
2.5 Agregados Reciclados .....	13
2.5.1 Conceito e Microestrutura .....	13
2.6 Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na Construção Civil.....	13
2.6.1 Impactos Ambientais no Descarte do RCD .....	14
3. METODOLOGIA .....	15
3.1 Entrevista .....	15
3.2 Materiais.....	15
3.3 Caracterização dos Materiais.....	16
3.3.1 Cimento Portland .....	16
3.3.2 Determinação da Pasta De Consistência Normal .....	16
3.3.3 Determinação do Tempo de Pega.....	16
3.3.4 Determinação do Índice de Finura.....	17
3.4 Agregados .....	18
3.4.1 Composição Granulométrica .....	18
3.4.2 Determinação de Massa Unitária .....	18
3.4.3 Determinação de Materiais Pulverulentos.....	19

3.4.4 Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água de Agregados Graúdos .....	19
3.5 Propriedades da Argamassa no estado Fresco .....	21
3.5.1 Índice de Consistência .....	21
3.5.2 Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado .....	22
3.6 Propriedades da Argamassa no estado Endurecido .....	23
3.6.1 Resistência à tração na flexão e à compressão .....	23
3.7 Propriedades do Concreto Fresco.....	23
3.7.1 Consistência .....	24
3.8 Propriedades do Concreto Endurecido .....	25
3.8.1 Resistência à compressão.....	25
3.8.2 Resistência a tração por Compressão Diametral .....	25
3.8.3 Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica .....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	28
4.1 Entrevista .....	28
4.2 Cimento Portland .....	28
4.2.1 Determinação do Índice de Finura do Cimento.....	28
4.2.2 Determinação da Pasta de Consistência Normal e Tempo de Pega .....	29
4.2.3 Resistência à Compressão do Cimento Portland .....	29
4.3 Composição e Curva Granulométrica .....	30
4.4 Determinação da Massa Específica e da Massa Unitária .....	39
4.5 Determinação de Material Pulverulentos .....	40
4.6 Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de água de agregados graúdos. .....	41
4.7 Propriedades da Argamassa .....	42
4.7.1 Argamassa Fresca.....	42



4.7.1.1 Índice de Consistência e Traço da Argamassa .....	42
4.7.1.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado.....	43
4.7.2 Argamassa Endurecida .....	44
4.7.2.1 Resistência à tração na flexão.....	44
4.7.2.2 Resistência à compressão da argamassa.....	45
4.8 Propriedades do Concreto.....	47
4.8.1 Traço de Concreto .....	47
4.8.2 Concreto Fresco .....	48
4.8.2.1 Moldagem dos Corpos de Prova .....	49
4.8.3 Concreto Endurecido.....	51
4.8.3.1 Determinação da Resistência à Compressão.....	51
4.8.3.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral .....	54
4.8.3.3 Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica .....	55
5. CONCLUSÃO.....	57
5.1 Sugestões para trabalhos futuros .....	58
REFERÊNCIAS .....	59

## 1. INTRODUÇÃO

Termos como sustentabilidade, ecologicamente correto, mundo verde, reciclagem, gerenciamento de resíduos, consciência ecológica, olhar sustentável e reutilização de resíduos estão em alta nos últimos anos. Esses e outros inúmeros termos demonstram um sinal de alerta para adoção de medidas que visem preservar as fontes finitas de recursos naturais.

O assunto vem sendo bastante abordado e ganha cada vez mais espaço em importantes eventos e conferências pelo mundo. Na Construção Civil, a adesão por construções sustentáveis, vem fomentando a participação do setor em pesquisas que demonstrem meios e mecanismo viáveis, para redução dos impactos ambientais causados pelo setor.

Segundo Malta et al. (2013) a utilização de recursos naturais pela construção civil se dá, principalmente na produção de cimento e no beneficiamento de agregados, pedra britada e areia, visando à produção de argamassas e concreto e, conseqüentemente, as edificações.

Diante disso, a utilização dos resíduos da construção e demolição como agregados na produção de concreto, é um dos métodos estudados pela categoria acadêmica, buscando verificar além das propriedades físicas e mecânicas, o poder comercialização e redução de impactos ambientais dos agregados reciclados.

Em 2015, a ABRECON, estimou a existência de pelo menos 310 usinas de reciclagem de RCD's em todo o país, mais da metade situadas no estado de São Paulo. Segundo a pesquisa, essa realidade se dá pela alta atividade no ramo da construção civil gerada pelo estado, o que conseqüentemente produz a maior quantidade de resíduos em relação a grande parte do país.

Neste sentido, a presente pesquisa teve como objetivo analisar o comportamento físico e mecânico do concreto não estrutural e da argamassa produzidos com agregados reciclados, em comparação aos produzidos com agregados naturais. Analisou-se como a interação entre os agregados naturais e reciclados afetavam propriedades como trabalhabilidade e resistência, no concreto e na argamassa. Além disso, o estudo buscou apresentar o atual cenário quanto ao uso desse tipo de agregado no Distrito Federal, a fim de buscar sugestões que pudessem ampliar o conhecimento dos profissionais da construção civil no que diz respeito à gestão de resíduos de construção e demolição.'

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo apresentadas as fundamentações teóricas e técnicas que deram suporte para realização desta pesquisa

### **2.1 Concreto de Cimento Portland**

O concreto é um dos materiais mais utilizados no mundo pela construção civil, pois a sua mistura baseada em cimento, água, areia e brita, podem resistir a grandes esforços de compressão, quando endurecido

O concreto pode ser classificado pelas suas funções estruturais, onde o concreto estrutural é aquele capaz de suportar esforços de compressão maiores que 20 MPa, e são usados em estruturas responsáveis por manter a edificação de pé. Já o concreto não estrutural, utilizado em partes não estruturais, como rebocos e pisos, pois sua resistência a compressão se limita a valores inferiores a 20 MPa.

### **2.2 Argamassa**

Segundo a norma NBR 13281/2005, a argamassa é definida como uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, podendo conter ou não aditivos e possui propriedades de aderência e endurecimento.

Para Mello (2019) as argamassas apresentam características plásticas e adesivas, e que depois de um período de tempo tornam-se rígidas e resistentes. De acordo o mesmo autor, as argamassas podem ser empregadas para assentamento de tijolos, blocos e revestimentos, servindo ainda para revestimentos de parede, tetos e em reparos de peças de concreto.

### **2.3 Cimento Portland**

Segundo Neville e Brooks (2013, p. 8)

Cimento Portland é o nome dado ao cimento obtido pela mistura íntima de calcário, argila ou outros materiais silicosos, alumina e materiais que contém óxido de ferro. Essa mistura é queimada à temperatura de clínquerização, sendo o material resultante dessa queima, o clínquer, moído. As definições das normas britânicas, bem como das normas europeias e americanas são baseadas nestes princípios: nenhum material, além de gipsita (sulfato de cálcio), água e agentes de moagem, deve ser adicionado após a queima.

O processo de produção consiste em moer as matérias-primas cruas até a obtenção de um pó bastante fino, misturá-las intimamente em proporções predeterminadas

e queimá-las em um grande forno rotativo em uma temperatura próxima de 1440°C.

Um único forno moderno (utilizando por via seca) pode produzir cerca de 6200 toneladas de clínquer por dia. Para se ter uma ideia, podem ser citados os valores de produção anual, em meados de 2013, dos Estados Unidos e Reino Unido, que juntos produziram 102 milhões de toneladas de cimento Portland.

## **2.4 Agregados Naturais**

Dentre os agregados naturais, os mais utilizados na construção civil são as britas e areias.

### **2.4.1 Conceitos e Microestrutura**

A norma NBR 9935:2011 juntamente com a norma NM 66:1998 definem agregados como:

Material resultante de britagem de rochas, cujo beneficiamento resulta numa distribuição granulométrica constituída por agregados graúdos e miúdos ou por mistura intencional de agregados britados e areia natural ou britada. Possibilitando o ajuste da curva granulométrica em função das características do agregado e do concreto a ser preparado.

O Grupo Estrutural (2019) aponta que um dos aspectos mais característicos dos agregados naturais é que eles não possuem forma exata, podendo apresentar tamanhos e dimensões diferentes.

Segundo Mehta e Monteiro (2014) as condições prévias de exposição e os fatores relacionados ao processo de fabricação dos agregados, podem interferir diretamente nas características do concreto.

### **2.4.2 Impactos Ambientais da Extração de Agregados Naturais**

De modo geral, a exploração de jazida para beneficiamento de agregados gera uma serie de danos ao meio ambiente, alguns deles à caráter permanente.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (s.d) a mineração é tida como umas das mais impactantes ao meio ambiente, gerando degradação visual da paisagem, do solo, do relevo, alterações na qualidade das águas. Para o ministério, esse tipo de atividade é capaz

de afetar à saúde e atividades empreendedoras da população que habita o entorno das áreas de mineração.

## **2.5 Agregados Reciclados**

Dentre os agregados reciclados, os mais utilizados na construção civil são a areia reciclada, pedrisco reciclado, brita I e II recicladas.

### **2.5.1 Conceito e Microestrutura**

Segundo a norma NBR 15116/2004, os agregados reciclados são materiais provenientes de beneficiamento de resíduos de construção ou demolição de obras civis, que apresentam características técnicas para aplicação em obras de edificação e infraestrutura.

De acordo Mehta e Monteiro (2014) a superfície do agregado reciclado é mais áspera ao ser comparada com a superfície do agregado natural, isso se dá pelo fato dos agregados reciclados serem constituídos de partículas do agregado natural e da pasta de cimento. Além disso, os autores apontam uma menor densidade, maior porosidade, maior taxa de absorção de água e superfície rugosa como características dos agregados reciclados.

## **2.6 Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na Construção Civil**

O CONAMA, por meio do Art. 3º da resolução nº 307 de 2002, classifica os resíduos da construção civil em 4 classes, sendo elas:

- Classe A: São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, sendo resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- Classe B: São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros.
- 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.
- Classe D: São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminantes ou prejudiciais à saúde.

A mesma determina que os resíduos a serem utilizados nos processos de reciclagem, para obtenção de agregado reciclado devem ser oriundos da Classe A, que quando submetidos ao processo de moagem, produz-se os agregados mais utilizados na construção civil (areia reciclada, pedrisco reciclada, brita I e II).

Segundo Frasson et al (2016):

A reciclagem de resíduos gerados pela construção civil consiste em um importante aspecto de sustentabilidade, considerando os aspectos econômicos, ambientais e sociais envolvidos, possibilitando agregar valor comercial ao resíduo e reduzindo os impactos resultantes da disposição dele. A transformação dos resíduos em novos materiais de construção permite também a utilização racional dos insumos de construção, permitindo maior eficiência de utilização e redução da necessidade de matérias primas convencionais.

Segundo Malta et al (2013) o mercado da construção civil apresenta-se como uma das melhores alternativas para reaproveitar materiais reciclados, pois o grande volume de novas construções necessita de uma elevada quantidade e diversidade de materiais.

### **2.6.1 Impactos Ambientais no Descarte do RCD**

Para Malta et al. (2013) a geração de resíduos sólidos, notadamente os de construção civil e demolição (RCD), tem sido um dos grandes problemas enfrentados pelo setor da construção civil.

Para Pagoto e Silva (2018) o descarte inadequado de resíduos da construção civil podem provocar problemas de ordem ambiental, estética e de saúde pública.

Para Dias et al. (2015) adotar práticas executivas e gerenciais que visem a sintonia das operações da construção civil com a sustentabilidade, podem proporcionar redução do impacto ambiental, minimizar custos executivos e colaborar na boa imagem das empresas junto ao mercado consumidor.

### **3. METODOLOGIA**

O presente capítulo aborda os procedimentos realizados em laboratório a fim de determinar as propriedades inerentes ao concreto produzido com agregado reciclado, desde a sua composição granulométrica ao seu comportamento em estado fresco e enrijecido.

#### **3.1 Entrevista**

Tendo em vista uma abordagem prática e dinâmica, elaborou-se um questionário contendo 20 questões, de modo a fornecer possíveis dados sobre o cenário atual da produção e uso dos agregados reciclados no Distrito Federal.

O questionário tinha como alvo as construtoras de grande e médio porte com empreendimento situados nas regiões administrativas de Ceilândia, Taguatinga, Águas Claras e Samambaia, devido à presença efetiva da construção civil nessas regiões.

As perguntas foram elaboradas de maneira clara e objetiva, de modo a otimizar o tempo de resposta e evitar ambiguidade, por parte do entrevistado, ao elaborar suas respostas. O entrevistado deveria ser o responsável pela execução da obra ou empreendimento, preferencialmente, um engenheiro civil.

#### **3.2 Materiais**

Para realização dos ensaios laboratoriais foram utilizados as dependências e recursos do Laboratório de Solos e Materiais de Construção Civil do Centro Universitário de Brasília – UniCEUB do campus de Taguatinga.

Os corpos de prova de concreto foram moldados com Cimento Portland Tocantins CP II F, por ser de uso comum pelo setor da construção civil.

Os agregados (areia, brita 0 e brita 1) foram adquiridos em loja de material de construção localizada na região administrativa de Vicente Pires, Distrito Federal. Já os agregados reciclados (areia, brita 0 e brita 1) foram adquiridos na Fornecedora de Areia Bela Vista localizada na região administrativa de Sobradinho, Distrito Federal.

### **3.3 Caracterização dos Materiais**

Nesta parte da pesquisa são apresentados os principais ensaios de caracterização desenvolvidos durante o trabalho.

#### **3.3.1 Cimento Portland**

Foram moldados 3 corpos de prova cilíndricos, cada um deles com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, para cada uma das idades escolhidas para o rompimento, sendo 3, 7 e 28 dias, seguindo as especificações da norma NBR 7215/2019: Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão de corpos de prova cilíndricos.

A dosagem utilizada para confecção dos corpos de prova cilíndricos seguiu as especificações da norma NBR 1214/2015: Areia normal para ensaio de cimento – Especificações, sendo utilizados 468 gramas de areia para um fator água/cimento de 0,48.

Posteriormente, para moldagem dos corpos de prova, os mesmos foram lubrificados com óleo mineral, afim de que a pasta de cimento não ficasse aderida na superfície ou nas bordas dos corpos de prova. A moldagem fez-se em 4 camadas homogêneas, adensadas com 30 golpes cada.

Finalizada a fase de moldagem dos CP's, os mesmos ficaram em repouso durante 24h. Após esse período, foram desmoldados dando início a fase de cura.

Na fase de cura, os corpos de prova ficaram completamente submersos em tanque com água até o momento da verificação da resistência à compressão característica nas de 3, 7 e 28 das.

#### **3.3.2 Determinação da Pasta De Consistência Normal**

Seguindo os parâmetros da norma NBR 16606/2018: Cimento Portland – Determinação de consistência de pasta normal, buscou-se determinar a quantidade de água necessária para que a pasta de cimento obtivesse a penetração de  $6 \pm 1$  mm até a placa base instalada no aparelho de Vicat com a sonda Teymajer, desta forma estabelecendo a relação água/cimento ( A/C).

#### **3.3.3 Determinação do Tempo de Pega**



Fez-se este ensaio seguindo as especificações da norma NBR 16607/2018: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. A pasta de cimento utilizada no ensaio foi resultante do ensaio de pasta de consistência, onde a norma determina que o valor da relação água cimento devem ser mantido.

Após a confecção da pasta de cimento, colocou-se a pasta no molde tronco cônico do aparelho de Vicat, posicionando-se a agulha logo acima, para realização das leituras.

Seguindo as normas, as leituras foram realizadas em intervalos de 30 min, até que se atingiu uma penetração de  $6 \pm 2$  mm, sendo assim estabelecido o tempo de início de pega.

Para determinar o tempo de fim de pega, realizou-se a inversão do molde bem como a troca da agulha, sendo observado o momento que a agulha penetrasse 0,5 mm na pasta, analisou-se a marca realizada pela agulha, devendo ser visível à penetração da parte interna da mesma.

### 3.3.4 Determinação do Índice de Finura

Para determinar o índice de finura do cimento, seguiu-se os parâmetros estabelecidos pela norma NBR 11579/2012: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75  $\mu\text{m}$  (nº 200) e da norma NBR 16697/2018 Cimento Portland – Requisitos.

Inicialmente, 50 g de cimento foram peneirados manualmente durante 5 min, ao fim desse tempo, golpes foram dados na lateral da peneira para desprender o material. Por fim, realizou-se movimentos de vaivém de maior intensidade, o peneiramento por 20 min.

Em seguida, deu-se continuidade ao peneiramento do material, limpando a malha da peneira em intervalos de 3 min. Nos 60 s finais aumentou-se a intensidade do peneiramento com giros de 60º a cada 10 s.

Tendo o valor da massa de cimento retida na peneira, obteve-se o índice de finura do cimento pela Equação 01.

(Eq. 01)

$$I_f = \frac{r \times F_c}{m} \times 100$$

If – Índice de Finura (%)

r – Massa de cimento retido na peneira 75  $\mu\text{m}$  (g)

Fc – Fator de correção da peneira (Fc = 1)

m – Massa inicial do cimento (g)

### **3.4 Agregados**

Foram utilizados na pesquisa agregados de fonte natural e reciclada, classificados como brita 0, brita 1 e areia média.

#### **3.4.1 Composição Granulométrica**

Obteve-se a curva granulométrica dos agregados seguindo os procedimentos abordados na norma NBR 248/2003: Agregados - Determinação de composição granulométrica, passando o material ensaiado pelo conjunto de peneiras da série normal e intermediária.

O material ensaiado foi submetido a secagem em estufa e seu peso seco aferido, então iniciou-se o processo de peneiramento mecânico por 15 min ininterruptos. Posteriormente registou-se a massa do material retido em cada uma das peneiras do conjunto, para elaboração da curva granulométrica.

#### **3.4.2 Determinação de Massa Unitária**

A massa unitária do agregado foi determinada seguindo os procedimentos descritos na NM 45/2006: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.

Inicialmente, pesou-se um recipiente de dimensões conhecidas com e sem água, de maneira que a água não extravasasse a superfície do recipiente, nivelando-o com auxílio de uma placa de vidro.

Por fim, preencheu-se o recipiente com o material para obter sua massa, atentando-se para que a altura de queda do agregado não ultrapasse 15 cm, evitando a compactação do mesmo. O processo descrito passou por 3 repetições. Calculou-se a massa unitária com base na Equação 02.

(Eq. 02)

$$\gamma = \frac{M_{ra} - M_r}{V_r}$$

$\gamma$  – Massa unitária do material (g/cm<sup>3</sup>)

$M_{ra}$  – Massa do recipiente + amostra. (g)

$M_r$  – Massa do recipiente

$V_r$  – Volume do recipiente

### 3.4.3 Determinação de Materiais Pulverulentos

Os parâmetros analisados neste ensaio seguiram as especificações da norma NM 46/2003: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75  $\mu$ m, por lavagem.

Primeiramente realizou-se a lavagem do material e sua passagem pela peneira de nº 200, até que a água de lavagem saísse “limpa”. Em seguida, colocou-se todo o material retido na peneira para secar em estufa. Por fim, teve seu peso aferido e calculou-se a porcentagem de material pulverulento pela Equação 03.

(Eq. 03)

$$\%P = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

%P – Porcentagem de material pulverulento

$M_i$  – Massa inicial

$M_f$  – Massa Final

### 3.4.4 Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água de Agregados Graúdos

Os métodos utilizados no ensaio atenderam o que diz a norma NM 53/2009: Agregado Graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

Inicialmente, colocou-se o material imerso em água por cerca de  $24 \pm 4$  h, para então ser levado à estufa e posteriormente teve sua massa aferida. Com auxílio da balança hidrostática verificou-se a massa do agregado submerso em água, sendo levado para secagem em estufa e tendo seu peso registrado.

Com isso, calculou-se a massa específica do agregado seco (Equação 04), massa específica saturada superfície seca (Equação 05), massa aparente (Equação 06) e absorção (Equação 07)

(Eq. 04)

$$\mu = \frac{m}{m - m_a}$$

$\mu$  – Massa específica do agregado seco ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$m$  – Massa da amostra seca (g)

$m_a$  – Massa da amostra saturada superfície seca - Submersa (g)

(Eq. 05)

$$\mu_{sss} = \frac{m_s}{m_s - m_a}$$

$\mu_{sss}$  – Massa específica do agregado saturada superfície seca ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$m_s$  – Massa da amostra saturada superfície seca (gramas)

$m_a$  - Massa da amostra saturada superfície seca submersa (g)

(Eq. 06)

$$\mu_{ap} = \frac{m}{m - m_a}$$

$\mu_{ap}$  – Massa específica aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$m$  – Massa da amostra seca (gramas)

$m_a$  – Massa da amostra saturada superfície seca submersa (g)

(Eq. 07)

$$ABS = \left( \frac{m_s - m}{m} \right) \times 100$$

ABS – Absorção de água (%)

ms – Massa da amostra saturada superfície seca (g)

m – Massa da amostra seca (gramas)

### **3.5 Propriedades da Argamassa no estado Fresco**

O estado fresco da argamassa corresponde ao período de mistura entre os aglomerantes, agregado miúdo e água, até iniciar as reações de pega.

#### **3.5.1 Índice de Consistência**

O ensaio de índice de consistência foi realizado por meio do teste de mesa (flow table), como descrito na norma NBR 13276/2016: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência.

Preparou-se a argamassa conforme determina as especificações da norma NBR 16541/2016 : Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para realização de ensaio.

Após a mistura preencheu-se o molde tronco cônico, sobre a mesa para índice de consistência, em 3 camadas uniformes, sendo adensadas com 15, 10 e 5 golpes, respectivamente, distribuídos de maneira uniforme.

Em seguida, com auxílio de uma régua metálica, nivelou-se a argamassa rente a borda superior do molde, retirando todo o material excedente. Finalizado o nivelamento, retirou-se o molde e a mesa para o índice de consistência foi acionada, sendo efetuados 30 golpes em um intervalo de 30 segundos.

Logo após o último da mesa, realizou-se a medida do diâmetro da mistura com auxílio do paquímetro. Nessa fase foram coletadas 3 medidas.

Calculou-se o índice de consistência utilizando a média entre as 3 medias de diâmetro, esse sendo expresso em milímetros e caso necessário arredondada ao número inteiro mais próximo. A norma recomenda que o valor de índice de consistência deve ser de  $260 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ .

Caso o diâmetro verificado não corresponda ao intervalo estabelecido em norma, a quantidade de água deve ser recalculada, podendo ter seu volume variado para mais ou para menos conforme o espalhamento da argamassa.

### 3.5.2 Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado

Para realização dos ensaios buscou-se atender os critérios da norma NBR 13278/2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.

A princípio foi realizada a calibração do recipiente cilíndrico da seguinte maneira:

- Pesou-se o recipiente vazio com a placa de vidro e registrou-se sua massa ( $m_v$ );
- Encheu-se o recipiente com água destilada e registrou-se seu volume ( $V_i$ );
- Nivelou-se a linha d' água do recipiente com placa de vidro e registrou-se a massa do recipiente + água+ placa de vidro ( $m_a$ )

Preencheu-se o recipiente com argamassa seguindo o procedimento descrito por Melo (2019), onde:

- Introduziu-se suavemente, com colher, porções de argamassa no recipiente calibrado, formando 3 camadas de alturas uniformes. Adensou-se cada uma as camadas com 20 golpes ao longo do perímetro da argamassa. Cada golpe corresponde à entrada e à saída da espátula na posição vertical.
- Após a execução e adensamento da última camada, efetuou-se 3 quedas do recipiente com altura aproximada de 3 cm, buscando eliminar espaços vazios entre a argamassa e a parede do recipiente.
- Nivelou-se o recipiente com a água em duas passadas ortogonais entre si, fazendo movimentos de vaivém em toda a superfície, com inclinação de 45º em relação à superfície da argamassa.

- Após a eliminação de qualquer partícula ou água aderida na parede externa do recipiente, registrou-se a massa do molde com a argamassa.

### **3.6 Propriedades da Argamassa no estado Endurecido**

O estado endurecido da argamassa corresponde ao período de enrijecimento, ou seja, a perda de trabalhabilidade da mistura.

#### **3.6.1 Resistência à tração na flexão e à compressão**

O ensaio seguiu as orientações da norma NBR 13279/2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.

Previamente, os moldes prismáticos foram colocados sobre a mesa de adensamento, fixando-os por meio de roscas laterais. Em seguida, uma camada fina de óleo mineral foi aplicada na superfície do molde para evitar a aderência da argamassa.

Após a montagem do equipamento, preparou-se a argamassa conforme determina as especificações da norma NBR 16541/2016: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para realização de ensaio.

Finalizada mistura, preencheu-se com uma porção uniforme de argamassa cada um dos 3 compartimentos do molde de corpo de prova prismático. Em seguida, foram aplicados 30 golpes ao molde por meio da mesa de adensamento. O processo descrito passou por 2 repetições.

Por fim, realizou-se a regularização da superfície dos corpos de prova com auxílio de régua metálica, afim de obter uma superfície plana.

Foram moldados 3 corpos de prova prismáticos, para cada traço de argamassa, sendo desmoldados após 72 horas e mantidos em temperatura controlada ( $23 \pm 2$  °C) até a ruptura nas idades de 03, 07 e 28 dias.

Para obter a resistência à tração na flexão, os CP's foram submetidos a uma carga constante de  $50 \pm 10$  N/s até sua ruptura, já para a resistência à compressão, foram usados as metades dos corpos de prova derivados do rompimento à tração, sendo utilizada uma carga constante de  $500 \pm 50$  N/s até sua ruptura.

### **3.7 Propriedades do Concreto Fresco**

O concreto em seu estado fresco, trata-se de um material recém-misturado com um bom teor de plasticidade, permitindo ser moldado com aplicações de carga, e mantendo-se assim, após finalizada as aplicações de carga.

### 3.7.1 Consistência

Verificou-se a consistência do concreto seguindo as recomendações da norma NM 67:1998 Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

Para confecção do concreto utilizou-se a seguinte dosagem 1:2,15:3,15:0,8 (cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e fator água/cimento). Todos os materiais foram misturados de forma mecânica (betoneira), afim de obter uma mistura homogênea.

Após a mistura, preencheu-se o tronco cilíndrico em 3 camadas uniformes, cada uma delas adensadas com 25 golpes, de maneira que o tronco cônico ficasse completamente preenchido. Em seguida verificou-se o abatimento do concreto.

Os corpos de prova foram moldados seguindo a proporção 1:2, sendo 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, respeitando o processo de adensamento previsto na norma NBR 5738/2015: Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova, conforme Tabelas 01 e 02.

Tabela 1: Classe de Consistência

Abatimento (mm)	Método de Adensamento
$10 \leq A < 50$	Mecânico
$50 \leq A < 100$	Mecânico ou manual
$100 \leq A < 160$	
$160 \leq A < 220$	Manual
$A \geq 220$	

Fonte: ABNT, 2015. (Adaptado pelo autor)

Tabela 2: Número de golpes por camada

Tipo de Corpo de Prova	Dimensão Básica (mm)	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	



Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-
Fonte: ABNT, 2015. (Adaptado pelo autor)				

### 3.8 Propriedades do Concreto Endurecido

O concreto quando enrijecido deve atender as solicitações de resistência mecânica e durabilidade compatíveis com as condições de projeto e ao ambiente no qual a estrutura ficara exposta

#### 3.8.1 Resistência à compressão

Segundo Mehta e Monteiro (2014) a resistência à compressão do concreto está ligada a quantidade de tensões máximas necessárias para causar a ruptura.

O concreto passa a ganhar resistência mecânica à medida que vai se enrijecendo, ou seja, com o fim da pega. Ao atingir as idades de 3, 7 e 28 dias os corpos de prova foram retirados do tanque de cura para realização do ensaio de resistência à compressão.

O ensaio atendeu as orientações da norma NBR 5739: 2018 Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova.

A utilização da prensa hidráulica permitiu verificar a força axial máxima resistida pelo corpo prova, afim de calcular, juntamente com o diâmetro do CP, a tensão de compressão em MPa resistida pelo concreto.

#### 3.8.2 Resistência a tração por Compressão Diametral

Para realização deste ensaio foram executados os parâmetros determinados pela Norma NBR 7222: 2001 Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por

compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Realizou o ensaio para as idades de 3, 7 e 28 dias.

Os corpos de prova foram rompidos na prensa hidráulica, utilizando um dispositivo auxiliar para facilitar o correto posicionamento do corpo de prova no equipamento. Como o equipamento auxiliar já faz parte do conjunto padrão para realização do ensaio, os dados não sofreram alterações.

A utilização da prensa hidráulica permitiu verificar a força de compressão diametral máxima resistida pelo corpo prova, afim de calcular, juntamente com o diâmetro e a altura do CP, a tensão de tração por compressão diametral em MPa (Equação 08), resistida pelo concreto.

(Eq. 08)

$$\sigma_r = \frac{2 \times F}{100 \times \pi \times D \times H}$$

$\sigma_r$  – Resistência a tração (Mpa)

F – Carga de ruptura (N)

D – Diâmetro do corpo de prova (cm)

H – Altura do corpo de prova (cm)

### 3.8.3 Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica

Os valores de índice de vazios, massa específica e absorção dos corpos de prova foram determinados conforme a norma NBR 9778/2009: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica – com idade de 28 dias.

Inicialmente, os corpos de prova foram secos em estufa a temperatura constante de  $105 \pm 5$  °C por 72 h, após verificar sua massa, os mesmos foram imersos em água por 72 h em temperatura ambiente. Completada a fase de saturação, os corpos de prova passaram por uma espécie de “banho maria” por 5 horas.

Posteriormente, esperou-se até que a água atingisse uma temperatura de  $23 \pm 2$ °C, anotou-se a massa saturada (com auxílio de balança hidrostática) e a massa saturada superfície seca dos corpos de prova.

Com os dados acima foram calculados a absorção de água (Equação 09), o índice de vazios (Equação 10), a massa específica da amostra seca (Equação 11), a massa específica da amostra saturada (Equação 12) e a massa específica real (Equação 13).

(Eq. 09)

$$A = \left( \frac{m_{sat} - m}{m} \right) \times 100$$

A – Absorção de água (%)

$m_{sat}$  – Massa saturada superfície seca (g)

m – Massa seca em estufa (g)

(Eq. 10)

$$I_v = \left( \frac{m_{sat} - m}{m_{sat} - m_i} \right) \times 100$$

$I_v$  – Índice de vazios (%)

$m_{sat}$  – Massa saturada superfície seca (g)

$m_i$  – Massa saturada – submersa (g)

m – Massa seca (g)

(Eq. 11)

$$\rho_s = \left( \frac{m}{m_{sat} - m_i} \right)$$

$\rho_s$  – Massa específica da amostra seca (g/cm<sup>3</sup>)

$m_{sat}$  – Massa saturada superfície seca (g)

$m_i$  – Massa saturada – submersa (g)

m – Massa seca (g)

(Eq. 12)

$$\rho_{sat} = \left( \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i} \right)$$

$\rho_{sat}$  – Massa específica da amostra saturada (g/cm<sup>3</sup>)

$m_{sat}$  – Massa saturada superfície seca (g)

$m_i$  – Massa saturada – submersa (g)

(Eq. 13)

$$\rho_r = \left( \frac{m}{m - m_i} \right)$$

$\rho_r$  – Massa específica real (g/cm<sup>3</sup>)

$m_i$  – Massa saturada – submersa (g)

m – Massa seca (g)

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo serão apresentadas os resultados referentes aos ensaios realizados ao longo da pesquisa.

### **4.1 Entrevista**

Infelizmente não foi possível realizar o levantamento sobre o cenário atual do uso e produção de agregados reciclados no Distrito Federal.

Foram enviados convites impressos e via e-mail, para mais de 20 construtoras, salientando o objetivo e convidando-as a contribuir com a pesquisa. Contudo não se obteve resposta por parte das construtoras, o que inviabilizou a aplicação do questionário.

Vale ressaltar que para aplicação do questionário era necessário um consentimento prévio do entrevistado e posteriormente uma aprovação do Comitê de Ética da instituição, para prosseguir com o levantamento. Uma vez sem a resposta das construtoras, não foi possível prosseguir para as demais etapas.

### **4.2 Cimento Portland**

#### **4.2.1 Determinação do Índice de Finura do Cimento**

O Cimento Portland CP II F 32, da marca Tocantins, obteve um índice de finura de 1,72%. O valor atendeu as especificações, uma vez que a norma NBR 16697/2018 estabelece um limite máximo de índice de finura de 12%.

#### 4.2.2 Determinação da Pasta de Consistência Normal e Tempo de Pega

Obteve-se a pasta de consistência normal com 143 g de água, o que equivale a 28,6% da massa de cimento.

Já o tempo de pega do cimento, está ligado ao seu processo de enrijecimento ou endurecimento. A partir do momento que evidenciamos a perda de trabalhabilidade e plasticidade da pasta de cimento, podemos dizer que a mesma deu início a pega.

Segundo a norma NBR 16997:2018 Cimento Portland – Requisitos, o tempo mínimo para o início de pega do cimento Portland CP II F 32, deve ser igual ou superior à 60 min. A Tabela 03 apresenta os tempos de início e fim de pega obtidos pelo ensaio.

Tabela 3: Tempo de Pega

Tempo (min)	Penetração (mm)
0	0,00
30	0,00
60	0,00
90	3,00
95 – Início de pega	6,50
132 – Fim de pega	< 0,50

Fonte: Próprio autor

#### 4.2.3 Resistência à Compressão do Cimento Portland

Os valores de resistência à compressão dos corpos de prova de Cimento Portland foram obtidos pela média aritmética do rompimento de 3 cp's para as idades de 3, 7 e 28 dias. Os valores, em Mpa, são apresentados na Tabela 04.

Idade	Corpo de prova	Carga de ruptura (ton-f)	Carga de ruptura média (ton-f)	Carga de ruptura média (MPa)
-------	----------------	--------------------------	--------------------------------	------------------------------

<b>3</b>	CP 1	3,2	3,38	19,80
	CP 2	5,07		
	CP 3	3,88		
<b>7</b>	CP 1	6,67	5,79	29,50
	CP 2	6,65		
	CP 3	4,04		
<b>28</b>	CP 1	5,04	6,46	32,90
	CP 2	6,91		
	CP 3	7,44		

Tabela 4: Resistência à compressão do CP II F 32

Fonte: próprio autor

Os valores de resistência à compressão alcançados pelos corpos de prova, atenderam os valores pré-estabelecidos pela norma NBR 16697/2018, para todas as idades ensaiadas, como mostra a Tabela 05.

Cimento	Resistência à compressão (MPa)		
	3 Dias	7 dias	28 dias
<b>CP II F 32</b>	≥ 10	≥ 20	≥ 32

Tabela 5: Parâmetros de Resistência à Compressão Mínima (NBR 16697/ 2018)

Fonte: próprio autor.

### 4.3 Composição e Curva Granulométrica

A granulometria trata-se da ciência responsável por analisar a forma do grão do agregado, sendo uma das propriedades essenciais para o estudo de dosagem do concreto.

O ensaio de granulometria consiste no peneiramento do agregado em um conjunto de peneiras com distintas aberturas de malhas, onde são determinadas as porcentagens de material retido e passante em cada peneira.

Segundo a Norma 7211/2009, a dimensão máxima característica do agregado é definida como a abertura nominal, em milímetros, da peneira no qual o agregado apresente uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. Já o

módulo de finura é calculado pela soma das porcentagens retida acumuladas em massa do agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

Para a classificação comercial dos agregados foram utilizadas as Tabelas 06 e 07, onde a areia foi classificada com base no seu módulo de finura e a brita por sua dimensão característica.

Tabela 6: Classificação comercial da areia.

<b>Tipo</b>	<b>Módulo de finura</b>
<b>Areia Fina</b>	MF > 2,4
<b>Areia Média</b>	$2,4 \leq MF \leq 3,3$
<b>Areia Grossa</b>	MF > 3,3

Fonte: Cimento Itambé. Adaptado pelo autor.

Tabela 7: Classificação comercial da brita.

<b>Tipo</b>	<b>Dimensão</b>
<b>Brita 0</b>	4,8 a 12 mm
<b>Brita 1</b>	9,5 a 25 mm
<b>Brita 2</b>	19 a 32 mm
<b>Brita 3</b>	25 a 50 mm
<b>Brita 4</b>	38 a 75 mm

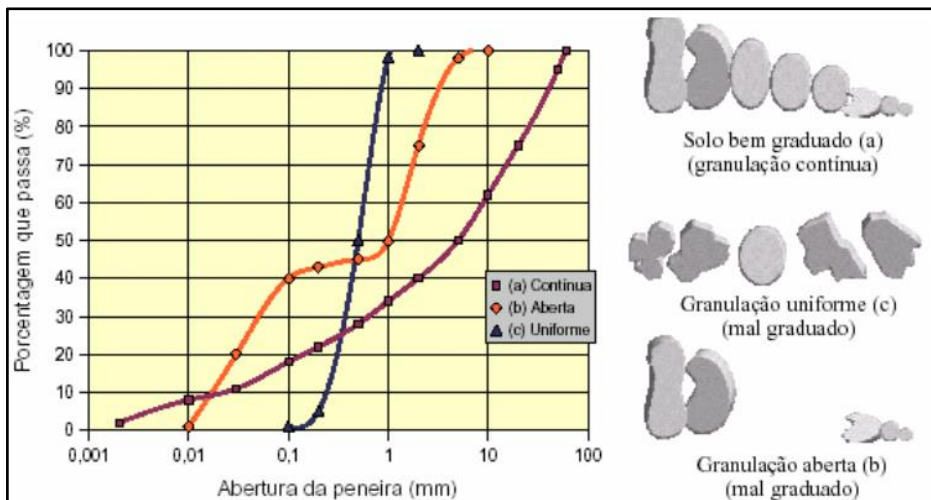
Fonte: Cimento Itambé. Adaptado pelo autor.

Quanto ao comportamento da curva de distribuição granulométrica, os agregados podem ser classificados em :

- Contínua, quando apresentam um formato em “S” suave e alongado na horizontal.
- Descontínua ou aberta, quando apresenta um patamar horizontal.
- Uniforme, quando apresenta um formato em “S” alongado na vertical

A Figura 01 ilustra o comportamento da curva de distribuição granulométrica dos agregados.

Figura 1: Curva Granulométrica



Fonte: <https://docplayer.com.br/18120863-Granulometria-marcio-varela.html>

O efeito da composição granulométrica está intimamente ligado ao número de vazios entre as partículas, que em altos índices, podem gerar aumento no custo e consumo da pasta de cimento, além de aumento de retração e queda de resistência do concreto.

- Areia Natural e Areia Reciclada

A granulometria da areia média natural e sua curva granulométrica são apresentadas na Tabela 08 e Figura 02, respectivamente:

Tabela 8: Ensaio de composição granulométrica da areia natural

Ensaio de Composição Granulométrica - NM 248:2003					
Identificação do Material: Areia Natural			Massa da Amostra (g):		500
Peneira	Abertura (mm)	Massa retida (g)	% retida simples	% retida corrigida	% retida acumulada
1/4"	6,3	0,00	0,00	0,00	0,00
4	4,8	0,84	0,17	0,17	0,17
8	2,4	3,75	0,75	0,75	0,92
16	1,2	9,75	1,95	1,95	2,87
30	0,6	254,68	50,94	50,94	53,80
50	0,3	212,65	42,53	42,53	96,33
100	0,15	16,82	3,36	3,36	99,70
Fundo		0,99	0,20	0,20	99,90
Total		499,48	99,90	99,90	

Série Normal

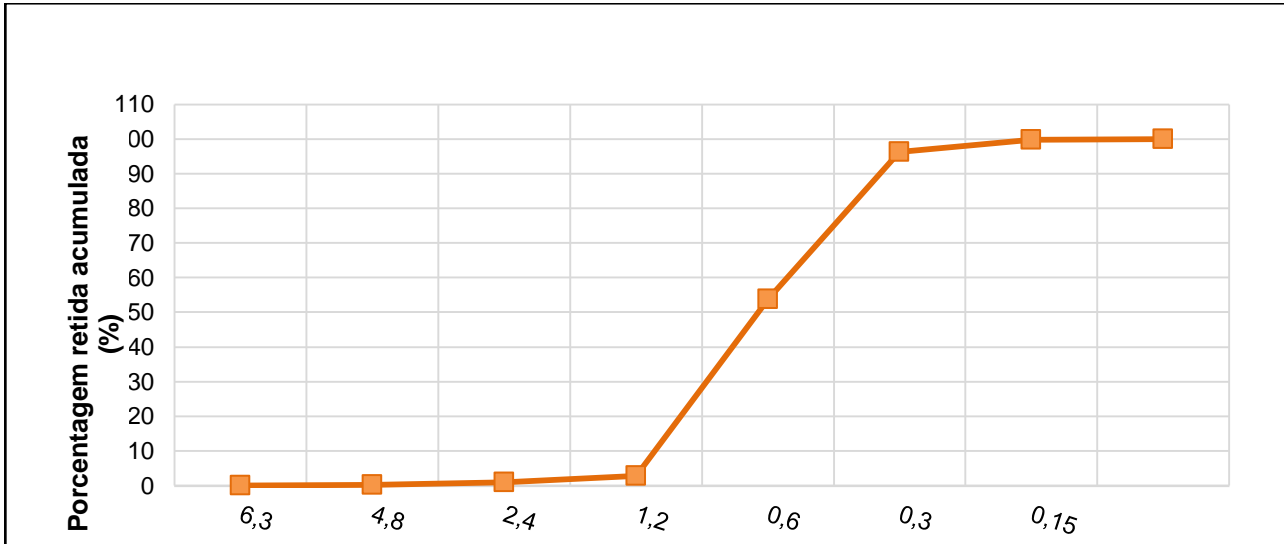


Série Intermediária

Módulo de Finura (%)	2,54
Dimensão Máxima Característica (mm)	4,8 mm

Fonte: Próprio autor

Figura 2: Curva Granulométrica da Areia Natural



Fonte: Próprio autor

A granulometria da areia média reciclada e sua curva granulométrica são apresentadas na Tabela 09 e Figura 03, respectivamente:

Tabela 9: Ensaio de composição granulométrica da areia reciclada

Ensaio de Composição Granulométrica - NM 248:2003					
Identificação do Material: Areia Reciclada			Massa da Amostra (g):		500
Peneira	Abertura (mm)	Massa retida (g)	% retida simples	% retida corrigida	% retida acumulada
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	0,00
1/4"	6,3	0,99	0,20	0,20	0,20
4	4,8	0,88	0,18	0,18	0,37
8	2,4	126,56	25,31	25,31	25,69
16	1,2	18,15	3,63	3,63	29,32
30	0,6	218,37	43,67	43,67	72,99
50	0,3	116,83	23,37	23,37	96,36
100	0,15	18,16	3,63	3,63	99,99

<b>Fundo</b>	1,88	0,38	0,38	100,36
<b>Total</b>	501,82	100,36	100,36	

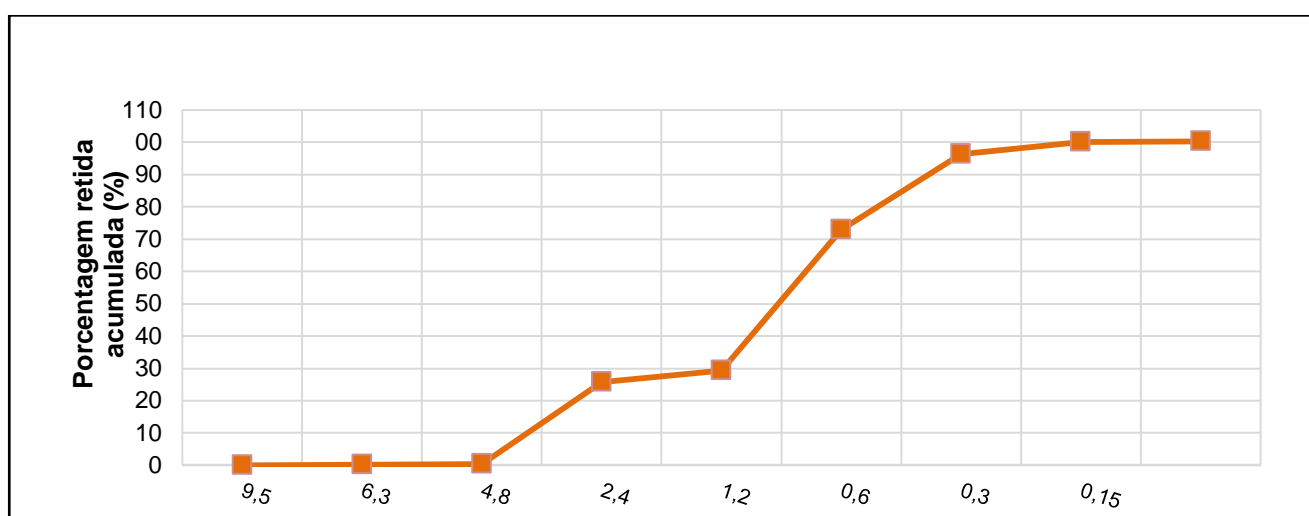
Série Normal

Série Intermediária

Módulo de Finura (%)	3,25
Dimensão Máxima Característica (mm)	6,3 mm

Fonte: Próprio autor

Figura 3: Curva Granulométrica da Areia reciclada



Fonte: próprio autor

- Brita Natural e Brita Reciclada

A granulometria da brita 0 natural e sua curva granulométrica são apresentadas na Tabela 10 e Figura 04, respectivamente:

Tabela 10: Ensaio de composição granulométrica da brita 0

Ensaio de Composição Granulométrica - NM 248:2003					
Identificação do Material: Brita 0 natural			Massa da Amostra (g):		1500
Peneira	Abertura (mm)	Massa retida (g)	% retida simples	% retida corrigida	% retida acumulada
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,5	30,25	2,02	2,02	2,02
3/8"	9,5	849,08	56,61	56,61	58,62
1/4"	6,3	506,97	33,80	33,80	92,42
4	4,8	59,49	3,97	3,97	96,39

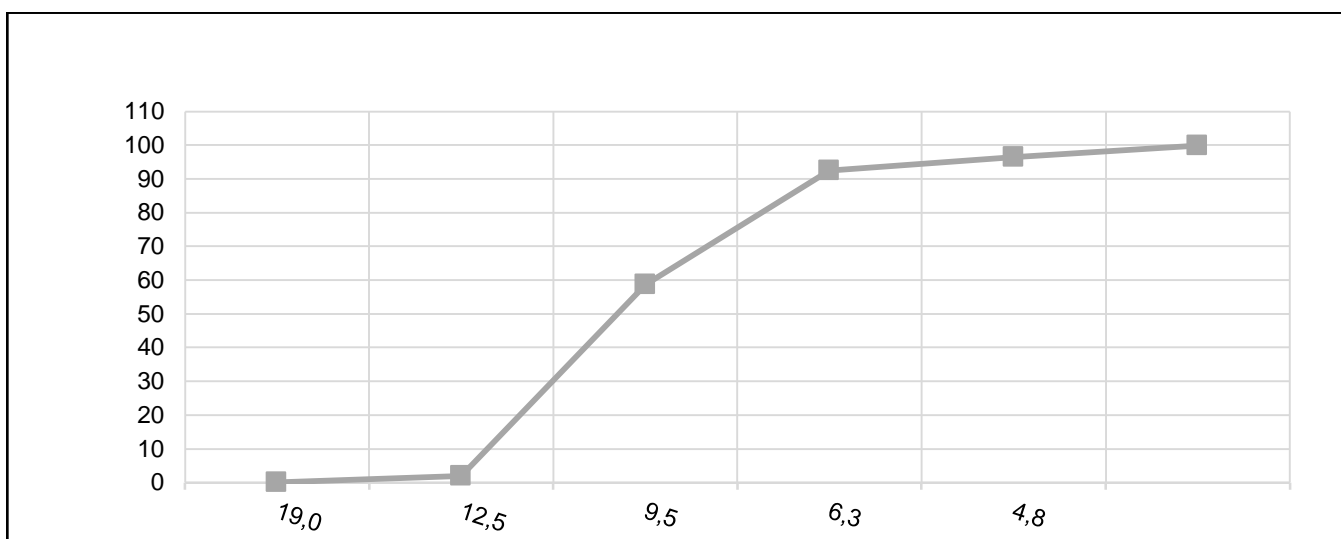
<b>Fundo</b>	52,77	3,52	3,52	99,90
<b>Total</b>	1498,56	99,90	99,90	

Série Normal

Série Intermediária

Dimensão Máxima Característica (mm) | 12,5 mm  
 Fonte: Próprio autor

Figura 4: Curva Granulométrica da brita 0



Fonte: Próprio autor

A granulometria da brita 0 reciclada sua curva granulométrica são apresentadas na Tabela 11 e Figura 05, respectivamente:

Tabela 11: Ensaio de composição granulométrica da brita 0 reciclada

Ensaio de Composição Granulométrica - NM 248:2003					
Identificação do Material: Brita 0 Reciclada			Massa da Amostra (g):		1500
Peneira	Abertura (mm)	Massa retida (g)	% retida simples	% retida corrigida	% retida acumulada
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	0,00	0,00
3/8"	9,5	68,77	4,58	4,58	4,58
1/4"	6,3	1251,54	83,44	83,44	88,02
4	4,8	112,89	7,53	7,53	95,55
<b>Fundo</b>		66,57	4,44	4,44	99,98
<b>Total</b>		1499,77	99,98	99,98	

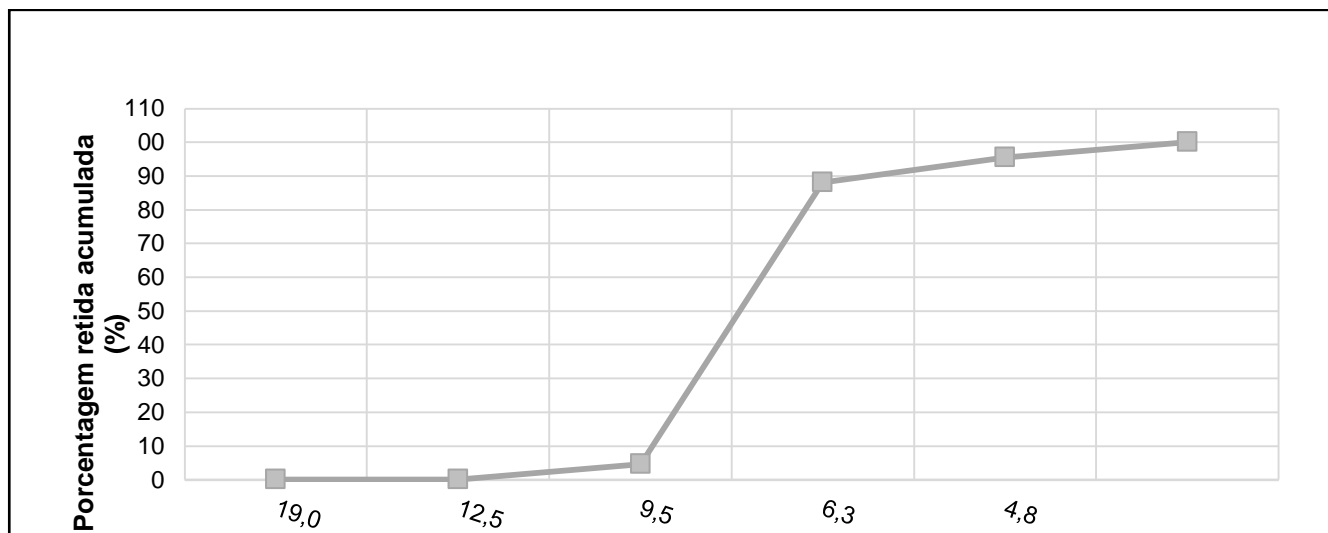
Série Normal

Série Intermediária

Dimensão Máxima Característica (mm) | 9,5 mm

Fonte: Próprio autor

Figura 5: Curva Granulométrica da brita 0 reciclada



Fonte: Próprio autor

A granulometria da brita 1 natural e sua curva granulométrica são apresentadas na Tabela 12 e Figura 06, respectivamente:

Tabela 12: Ensaio de composição granulométrica da brita 1

Ensaio de Composição Granulométrica - NM 248:2003					
Identificação do Material: Brita 1 Natural			Massa da Amostra (g):		5550
Peneira	Abertura	Massa retida	% retida	% retida	% retida
	(mm)	(g)	simples	corrigida	acumulada
1"	25,0	44,43	0,00	0,00	0,00
3/4"	19,0	1079,79	19,46	19,46	19,46
1/2"	12,5	4212,81	75,91	75,91	95,36
3/8"	9,5	173,54	3,13	3,13	98,49
1/4"	6,3	38,83	0,70	0,70	99,19
4	4,8	1,62	0,03	0,03	99,22
Fundo		0	0,00	0,00	99,22

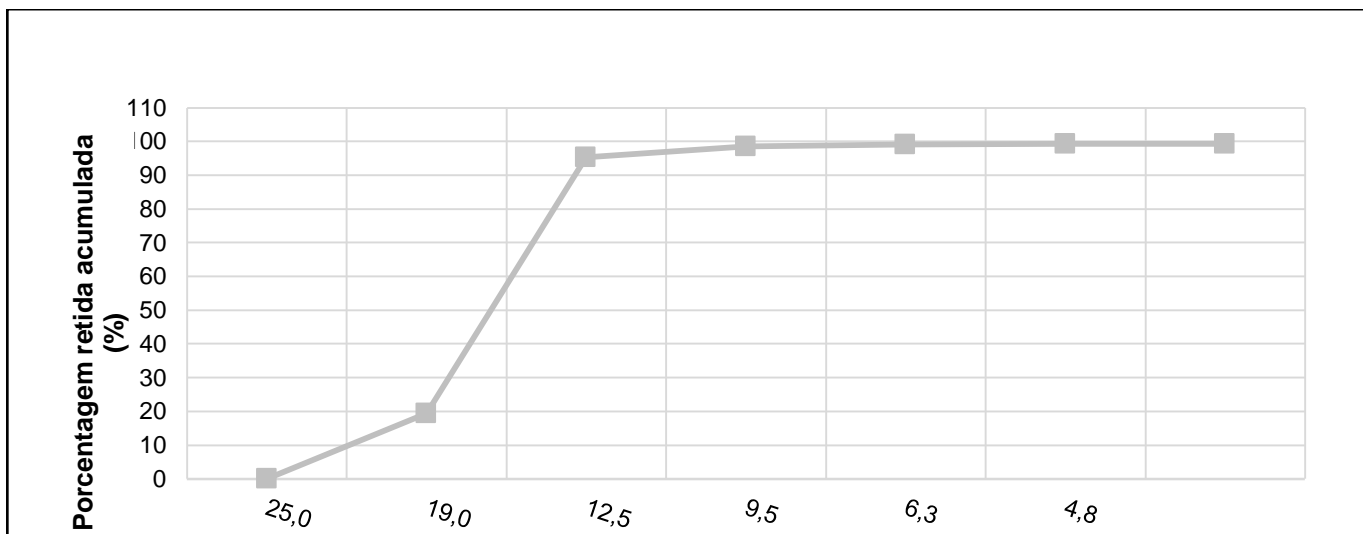
<b>Total</b>	5551,02	99,22	99,22
--------------	---------	-------	-------

Série Normal

Série Intermediária

Dimensão Máxima Característica (mm) | 19 mm  
 Fonte: Próprio autor

Figura 6: Curva Granulométrica da brita 1



Fonte: Próprio autor

A granulometria da brita 1 reciclada e sua curva granulométrica são apresentadas na Tabela 13 e Figura 07, respectivamente:

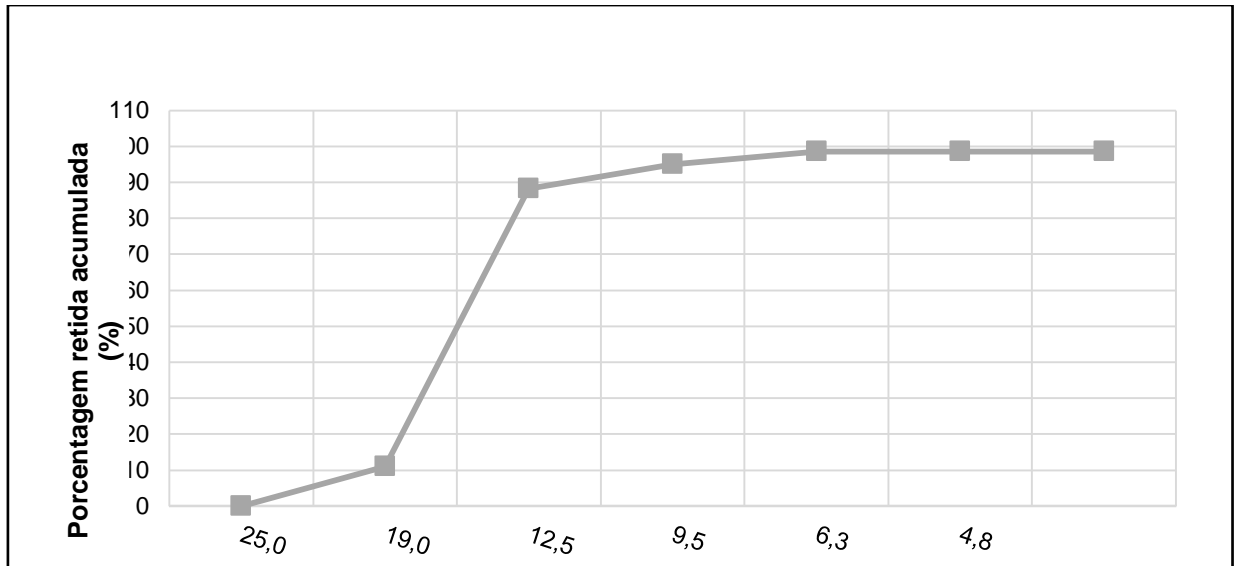
Tabela 13: Ensaio de composição granulométrica da brita 1 reciclada

Ensaio de Composição Granulométrica - NM 248:2003					
Identificação do Material: Brita 1 Reciclada			Massa da Amostra (g):		5550
Peneira	Abertura (mm)	Massa retida (g)	% retida simples	% retida corrigida	% retida acumulada
1"	25,0	79,28	0,00	0,00	0,00
3/4"	19,0	607,05	10,94	10,94	10,94
1/2"	12,5	4291,89	77,33	77,33	88,27
3/8"	9,5	376,96	6,79	6,79	95,06
1/4"	6,3	190,36	3,43	3,43	98,49
4	4,8	1,93	0,03	0,03	98,53
Fundo		1,72	0,03	0,03	98,56
<b>Total</b>		5549,19	98,56	98,56	

Série Normal  
Série Intermediária

Dimensão Máxima Característica (mm) | 19 mm

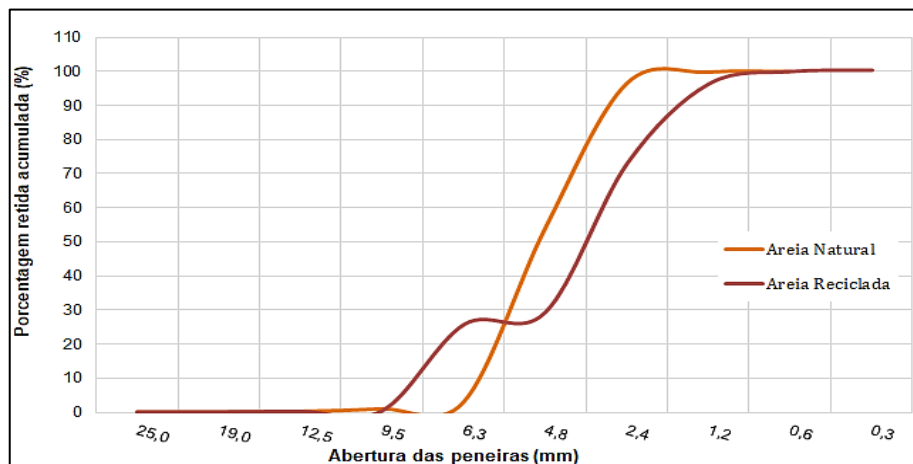
Figura 7: Curva Granulométrica da brita 1 reciclada



Fonte: Próprio autor

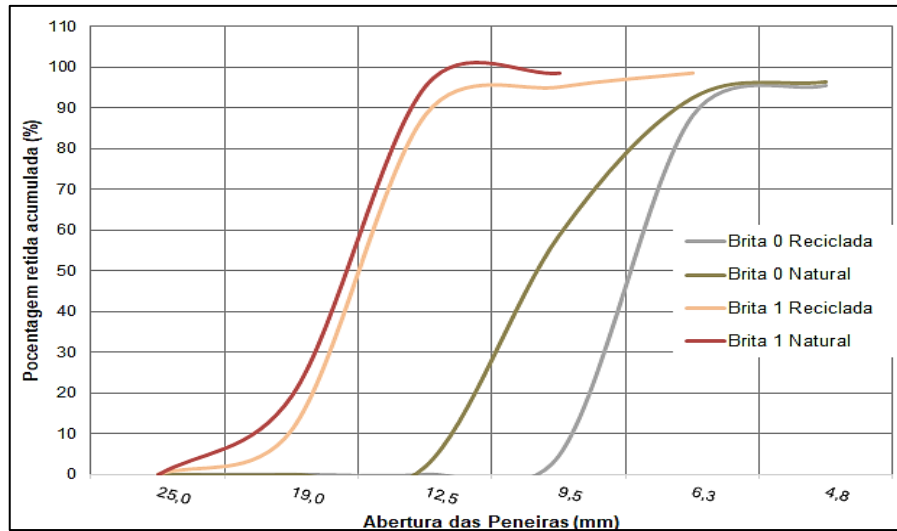
As Figuras 08 e 09 apresentam o formato das curvas granulométricas dos agregados naturais e reciclados, onde as curvas em formato de “s” classifica o agregado como bem graduado e de melhor qualidade.

Figura 8: Curva Granulométrica (Agregado miúdo)



Fonte: Próprio autor

Figura 9: Curva Granulométrica (Agregado graúdo)



Fonte: Próprio autor

Dentre os agregados, os naturais apresentaram uma melhor distribuição granulometria por serem menos porosos e bem graduados garantem maior resistência mecânica, em comparação aos agregados reciclados, que possuem pontos de descontinuidade granulométrica, maior quantidade de poros e conseqüentemente uma menor resistência mecânica.

#### 4.4 Determinação da Massa Específica e da Massa Unitária

Segundo Barbosa (2020), a massa específica dos agregados é uma das propriedades que mais influenciam na resistência do concreto.

Lima (1999, apud Barros e Fucale, 2016) reforçam que as massas unitárias e específicas dos agregados reciclados são menores quando comparadas a do agregado natural, pois são provenientes de materiais porosos.

A Tabela 14 apresenta os valores de densidade dos agregados utilizados para confecção do concreto, correlacionando os valores entre os agregados graúdos e miúdos.

Tabela 14: Resultados de massa específica dos agregados em g/cm<sup>3</sup>.

Areia	Agregado Natural		Areia	Agregado Reciclado	
	Brita 0	Brita 1		Brita 0	Brita 1

2,66                      2,50                      2,70                      2,61                      2,50                      2,52

Fonte: próprio autor

Entre os agregados miúdos, a areia reciclada obteve um valor de massa específica menor que a obtida pela areia natural, o que leva a concluir uma maior presença de espaço vazios entre as partículas do agregado. Já entre os agregados graúdos, apenas a brita 01 reciclada obteve um valor de massa específica menor do que a brita 01 natural.

Quanto a massa unitária, os agregados reciclados apresentaram valores referentes menores do que os obtidos pelos agregados naturais, como mostra a Tabela 15.

Tabela 15: Resultados da massa unitária dos agregados em g/cm<sup>3</sup>

Agregado Natural			Agregado Reciclado		
Areia Média	Brita 0	Brita 1	Areia Média	Brita 0	Brita 1
1,53	1,51	1,56	1,39	1,42	1,51

Fonte: Próprio autor

#### 4.5 Determinação de Material Pulverulentos

Por serem provenientes de material cimentício já é de se esperar que os agregados reciclados apresentem altos teores de material pulverulento.

Segundo Barbosa (2020) uma alta quantidade de material pulverulento pode afetar a relação água/cimento, uma vez que ao absorver mais água do que o esperado acaba interferindo diretamente na resistência do concreto.

Os agregados reciclados usados na pesquisa atenderam as especificações estabelecidas pela norma NBR 15116/2004, que determinam parâmetros toleráveis para utilização dos agregados reciclados na construção civil, sem função estrutural, como mostra a Tabela 16.

Tabela 16: Teor de Material Pulverulento



Agregado	Teor de material pulverulento (%)	Teor máximo de material pulverulento NBR 15116:2004	
Areia Reciclada	11,67		15%
Brita 0 Reciclada	1,80		
Brita 1 reciclada	1,44		10%

Fonte: Próprio autor

#### 4.6 Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de água de agregados graúdos.

Como já mencionado, é de se esperar que a massa específica do agregado reciclado seja menor quando comparado com o agregado natural, sendo uma característica bem marcante no comparativo entre as massas unitárias.

Já entre as massas específicas e massas específicas aparentes, somente a brita 1 reciclada apresentou um valor menor, quando comparado à brita 1 natural, como mostra a Tabela 17.

Tabela 17: Massa específica e massa específica aparente dos agregados reciclados

	Agregado Natural		Agregado Reciclado	
	Brita 0	Brita 1	Brita 0	Brita 1
<b>Massa Específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,50	2,70	2,50	2,52
<b>Massa Específica Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,55	2,72	2,73	2,68

Fonte: Próprio autor

Segundo Ângulo (2005, apud Araújo et al., 2016) agregados reciclados com densidades entre 2,2 a 2,3 g/cm<sup>3</sup> podem resultar em concretos com resistência mecânica semelhante ao concreto confeccionado com agregado natural.

Quanto à absorção de água, os agregados graúdos atenderam as especificações vigentes na norma NBR 15116:2004, como mostra a Tabela 18.

Tabela 18: Absorção de água do agregado graúdo.

Agregado	Absorção de água (%)	Valor máx de absorção de absorção de água ( NBR 15116/2004)
Brita 0 natural	0,66	≤ 7 %
Brita 1 natural	0,35	
Brita 0 reciclada	3,30	
Brita 1 reciclada	2,32	

Fonte: Próprio autor.

#### 4.7 Propriedades da Argamassa

A argamassa é a junção da areia, água e cimento sendo muito importante principalmente para revestimentos de alvenaria e, portanto, se faz necessário a análise de suas características quando confeccionadas com agregados reciclados tanto em estado fresco quanto endurecido.

##### 4.7.1 Argamassa Fresca

###### 4.7.1.1 Índice de Consistência e Traço da Argamassa

Primeiramente foi necessário escolher o traço que seria utilizado na argamassa, então optou-se por utilizar uma relação de 1:3 (cimento e areia) e a quantidade de água em cada caso seria decidida conforme regula a consistência na norma NBR 13276/2016.

Foram necessárias duas tentativas para obter um espalhamento de  $260 \pm 5$ mm, tanto na argamassa de referência quanto na reciclada, porém ao contrário do que se pensava ao início da pesquisa a argamassa de referência utilizou uma quantidade maior de água que a argamassa reciclada para obter a consistência exigida pela norma.

Os resultados dos ensaios estão descritos na Tabela 19, sendo que, nos dois casos já foi possível obter a consistência correta na 2ª tentativa.

Tabela 19: Espalhamento da Argamassa

Tentativa	Traço referência	Espalhamento	Traço reciclado	Espalhamento
1ª tentativa	01:03:0,8	198,76 mm	01:03:0,9	299,14 mm
		193,43 mm		298,14 mm
		188,15 mm		298,57 mm
2ª tentativa	01:03:0,9	255,42 mm	01:03:0,8	254,72 mm
		256,33 mm		256,73 mm
		254,95 mm		255,12 mm

Fonte: Próprio autor.

Então para o uso em todos os demais ensaios de argamassa tanto fresca quanto endurecida, foram utilizados os seguintes traços, todos medidos em massa.

Argamassa referência → 01:03:0,9 (cimento, areia, relação A/C)

Argamassa reciclada → 01:03:0,8 (cimento, areia, relação A/C)

#### 4.7.1.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

Para a análise da densidade da argamassa foi utilizada a norma NBR 13278/2005. Os dados obtidos estão descritos na Tabela 20.

Tabela 20: Densidade da Argamassa

	Diâmetro (mm)	Diâmetro médio (mm)	Altura (mm)	Altura média (mm)	Volume (mm <sup>3</sup> )	Peso médio(g)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
reciclado	89,57	89,82	75,17	75,33	477278	991,81	2078,04
	90,36		75,28				
	89,52		75,54				
referência	90,04	90,26	75,11	75,25	481454	953,15	1979,73
	90,37		75,50				
	90,36		75,14				

Fonte: Próprio autor.

Os resultados mostraram que a densidade da argamassa reciclada foi maior que a de referência, isso ocorre devido à argamassa de referência ter um traço com uma quantidade

de água maior que a argamassa reciclada como foi mostrado nos ensaios de consistência da norma NBR 13276/2016.

#### 4.7.2 Argamassa Endurecida

##### 4.7.2.1 Resistência à tração na flexão

A resistência à tração na flexão foi obtida conforme orienta a NBR 13279/2005, utilizando a Equação 14, mostrada abaixo.

$$R_t = \frac{1,5 \times F_t \times L}{40^3} \quad (\text{Eq. 14})$$

R<sub>t</sub> = resistência a tração na flexão (MPa)

F<sub>t</sub> = é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N)

L = é a distância entre os suportes (mm)

A Tabela 21 e 22 apresenta os resultados de resistência à tração na flexão obtidos pelos corpos de prova para as idades de 3, 7 e 28 dias.

Tabela 21: Resistência à flexão da argamassa de referência

Idade		Resistência (t.f)	Base (mm)	H médio (mm)	Distância entre apoios	Resistência à tração na flexão	Resistência média
3 dias	1	-----	-----	-----	-----	-----	
	2	0,36	39,92	34,47	102,95 mm	8,51 MPa	7,45 MPa
	3	0,27	40	39,83	102,95 mm	6,38 MPa	
7 dias	1	0,34	40,02	34,24	102,95 mm	8,04 MPa	
	2	0,28	39,95	40,07	102,95 mm	6,62 MPa	
	3	0,23	40	39,61	102,95 mm	5,44 MPa	
28 dias	1	0,49	40	39,14	102,95 mm	11,59 MPa	9,30 MPa
	2	0,35	40	37,90	102,95 mm	8,28 MPa	
	3	0,34	40	40,29	102,95 mm	8,04 MPa	

Fonte: Próprio autor

Tabela 22: Resistência à flexão da argamassa reciclada

		Resistência (t.f)	Base	H médio (mm)	Distância entre apoios (mm)	Resistência à tração na flexão	Resistência média
<b>3 dias</b>	1	0,37	40	41,20	102,95	8,75 MPa	8,91 MPa
	2	0,4	40	41,48	102,95	9,46 MPa	
	3	0,36	40	39,32	102,95	8,51 MPa	
<b>7 dias</b>	1	0,37	40	39,79	102,95	8,75 MPa	9,46 MPa
	2	0,41	40	41,37	102,95	9,69 MPa	
	3	0,42	40	39,34	102,95	9,93 MPa	
<b>28 dias</b>	1	0,38	40	40,32	102,95	8,99 MPa	10,17 MPa
	2	0,45	40	40,47	102,95	10,64 MPa	
	3	0,46	40	41,94	102,95	10,88 MPa	

Fonte: Próprio autor

Como pode ser observado os corpos de prova moldados utilizando agregado reciclado obtiveram melhores resultados que os moldados com agregados convencionais.

#### 4.7.2.2 Resistência à compressão da argamassa

Os ensaios de resistência a compressão foram feitos conforme orienta a NBR 13279/2005, e assim foram obtidos os resultados mostrados nas Tabelas 23 e 24.

Tabela 23: Resistência à compressão da argamassa de referência

Idade	Corpo de prova	Resistência (t.f)	Área (mm)	Resistência (MPa)	Média (MPa)
<b>3 dias</b>	1	-----	-----	-----	8,9
	2	1,55	1600	9,46	
	3	1,36	1600	8,33	
<b>7 dias</b>	1	2,31	1600	14,15	13,80
	2	2,25	1600	13,78	
	3	2,20	1600	13,48	
<b>28 dias</b>	1	2,51	1600	15,37	15,76
	2	2,52	1600	15,44	
	3	2,69	1600	16,48	

Fonte: Próprio autor.

Houve um erro ao romper o primeiro corpo de prova da argamassa de referência e por isso esse corpo de prova não foi contabilizado ao final da média.

Tabela 24: Resistência a compressão da argamassa reciclada

	Corpo de prova	Resistência (t.f)	Área	Resistência (MPa)	Média (MPa)
<b>3 dias</b>	1	2,31	1600	14,15	13,80
	2	2,25	1600	13,78	
	3	2,20	1600	13,48	
<b>7 dias</b>	1	2,79	1600	17,09	15,83
	2	2,54	1600	15,53	
	3	2,43	1600	14,88	
<b>28 dias*</b>	-----	-----	-----	-----	18,97
<b>210 dias</b>	1	3,97	1600	24,32	23,58
	2	3,92	1600	23,98	
	3	3,67	1600	22,45	

Fonte: Próprio autor

No caso da resistência a compressão da argamassa com agregado reciclado foi utilizado uma regressão linear para obter os resultados, pois os laboratórios do UniCEUB ficaram fechados durante a pandemia e ao reabrir o laboratório os corpos de prova foram rompidos, porém estes já estavam com 210 dias, então foram utilizados os resultados de 3, 7 e 210 dias para obter uma equação logarítmica, Equação 15, para estimar o resultado de 28 dias.

(Eq.15)

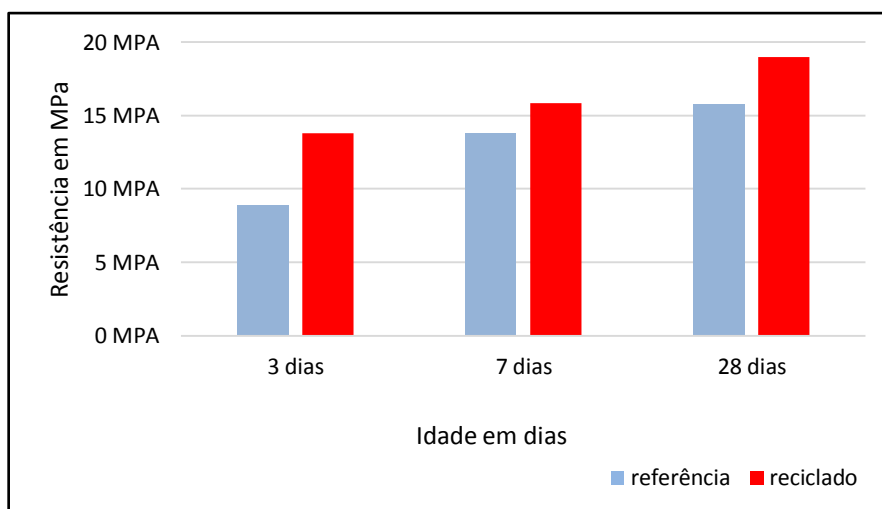
$$FCK_x = 2,2951 \ln(x) + 11,319$$

$$FCK_{28} = 2,2951 \ln(28) + 11,319$$

$$FCK_{28} = 18,97 \text{ MPa}$$

A Figura 10 ilustra a resistência à compressão da argamassa para os dois tipos de traços desenvolvidos.

Figura 10: Resistência à Compressão



Fonte: Próprio autor.

Como pode ser observado as resistências a compressão da argamassa reciclada são superiores ao de referência, mostrando que em termos de resistência não há empecilhos para a utilização de agregados reciclados em argamassas, pois estas obtêm uma resistência maior com uma trabalhabilidade igual à argamassa com agregado convencional.

## 4.8 Propriedades do Concreto

### 4.8.1 Traço de Concreto

Após revisão literária , decidiu-se que o traço utilizado para confecção de concreto com agregado reciclado seria de 1:2,15:3,15:0,6 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: relação água/cimento). Sendo a porção de material graúdo subdivida em 70% de brita 1 e 30% de brita 0 em todos os traços.

Contudo, o concreto de referência confeccionado com agregado natural, não apresentou boa trabalhabilidade, o que resultou no aumento do fator água/cimento para 0,8. Por não ter função estrutural optou-se por aumentar o fator água/cimento, pois já era esperado o aumento da trabalhabilidade.

Apesar dos teores de material pulverulento e índices de absorção de água dos agregados reciclados serem maiores em relação aos agregados naturais, optou-se em padronizar as porções de dosagem para todos os traços, como mostra a Tabela 25.

Tabela 25: Dosagem do Concreto

Produção de Concreto		
		Traço em Massa
Traço Referencial	100% dos agregados são de fonte natural	1: 2,15: 3,15: 0,8
Traço Misto	100% do agregado miúdo é reciclado	1: 2,15: 3,15: 0,8
Traço Reciclado	100% dos agregados são reciclados	1: 2,15: 3,15: 0,8

Fonte: próprio autor .

#### 4.8.2 Concreto Fresco

Para verificar a trabalhabilidade e o abatimento do concreto seguiu-se os parâmetros da norma NBR NM 67:1998 Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, também conhecido como slump test, conforme Figura 11.

Figura 11: Slump Test



Fonte: Próprio autor

Para realização do ensaio preencheu-se o tronco cilíndrico em 3 camadas uniformes, sendo adensadas com 25 golpes cada. Posteriormente, retirou-se o cone para verificar o abatimento do concreto, como mostra a Figura 12. Os valores do abatimento do concreto são apresentados na Tabela 26.



Figura 12: Abatimento do concreto fresco



Fonte: Próprio autor

Tabela 26: Determinação da consistência pelo abatimento do cone.

<b>Produção de Concreto</b>		
		<b>Abatimento (slump)</b>
Traço Referencial	100% dos agregados são de fonte natural	85 mm
Traço Misto 1	100% do agregado miúdo é reciclado	200 mm
Traço Reciclado	100% dos agregados são reciclados	120 mm

Fonte: Próprio autor

#### 4.8.2.1 Moldagem dos Corpos de Prova

Foram moldados corpos de prova cilíndricos de 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura, como mostra a Figura 13.

Figura 13: Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Próprio autor

Os processos de adensamento e cura do concreto seguiram as recomendações padronizadas pelas Tabelas 27 e 28, extraídas do corpo da norma NBR 5738:2015 Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.

Tabela 27: Classe de Consistência

Abatimento (mm)	Método de adensamento
$10 \leq A < 50$	Mecânico
$50 \leq A < 100$	Mecânico ou manual
$100 \leq A < 160$	
$160 \leq A < 220$	Manual
$A \geq 220$	

Fonte: ABNT, 2015. (Adaptado pelo autor)

Tabela 28: Número de camadas para moldagem dos corpos de prova

Tipo de Corpo de Prova	Dimensão Básica (mm)	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25

200	2	4	50
250	3	5	75
300	3	6	100
450	5	-	-

Fonte: ABNT, 2015. (Adaptado pelo autor)

A etapa de adensamento é uma das mais importantes no ciclo de vida do concreto, pois permite a retirada do excesso de ar da mistura, que quando aprisionado afeta diretamente a resistência mecânica do concreto.

#### 4.8.3 Concreto Endurecido

Quando endurecido, o concreto apresenta uma evolução no seu desempenho mecânico ao longo dos dias, que é determinado pelo ganho de resistência à compressão

##### 4.8.3.1 Determinação da Resistência à Compressão

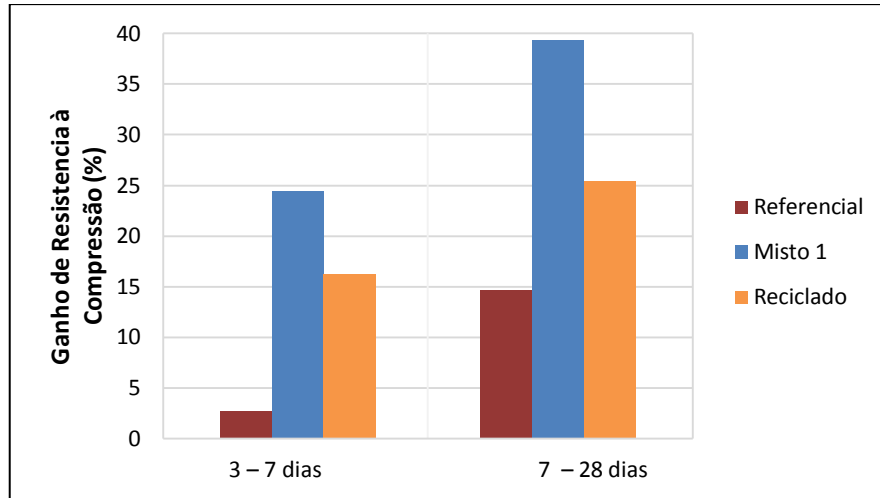
Os rompimentos dos corpos de prova de concreto foram realizados para as idades de 3, 7 e 28 dias, afim de analisar o desempenho no ganho de resistência à compressão, conforme Tabela 29 e Figura 14.

Tabela 29: Resistência à Compressão

Traço	Compressão (MPa)			Ganho de resistência (%)	
	3 dias	7 dias	28 dias	3 – 7 dias	7 – 28 dias
	<b>Referencial</b>	11,56	11,88	13,93	2,69
<b>Misto 1</b>	5,78	7,65	12,60	24,44	39,29
<b>Reciclado</b>	11,01	13,15	17,64	16,27	25,45

Fonte: Próprio autor

Figura 14: Ganho de Resistência à Compressão

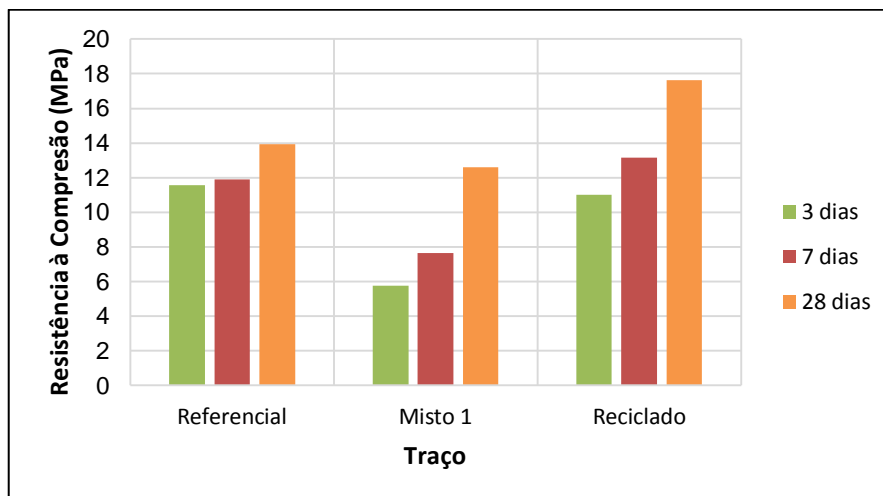


Fonte: Próprio autor.

Quanto ao ganho de resistência, o traço misto apresentou os melhores resultados nos dois intervalos, contudo obteve as menores resistências em todas as idades analisadas. Devido a areia reciclada possuir um alto índice de porosidade e baixa densidade quando comparada com a areia natural, pode ter contribuído para os ganhos inferiores de resistência do traço misto.

O traço reciclado obteve as maiores resistências nas idades de 7 e 28 dias, mesmo não tendo um ganho de resistência expressivo, conforme a Figura 15.

Figura 15: Resistência à Compressão



Fonte: Próprio autor

A fim de analisar a dosagem das misturas, comparou-se o desempenho final à compressão de cada traço, com traços dos estudos realizados por Assis (2015) e Pagoto e Silva (2018) que utilizaram os mesmos padrões de substituição.

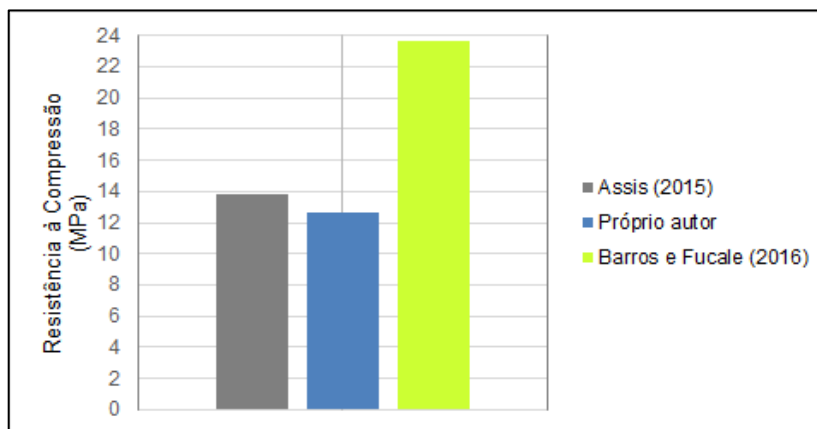
Estes comparativos podem ser observados na Tabela 30 e Figuras 16 e 17.

Tabela 30: Comparação de resistência à compressão aos 28 dias

<b>Misto 1 – Substituição total da areia natural por areia reciclada</b>		
<b>Dosagem</b>	1:2:3:0,6	1:2,15:3,15:0,8
<b>Resistência à compressão -28 dias</b>	13,86 MPa	12,6 MPa
<b>Autor</b>	Assis (2015)	Próprio autor
<b>Dosagem</b>	1:1,4:2,4:0,6	1:2,15:3,15:0,8
<b>Resistência à compressão -28 dias</b>	23,6 MPa	12,6 MPa
<b>Autor</b>	Barros e Fucale (2016)	Próprio autor
<b>Reciclado - Substituição total dos agregados</b>		
<b>Dosagem</b>	1:1,62:2,62:0,72	1:2,15:3,15:0,8
<b>Resistência à compressão -28 dias</b>	15 MPa	17,64 MPa
<b>Autor</b>	Pagoto e Silva (2018)	Próprio autor

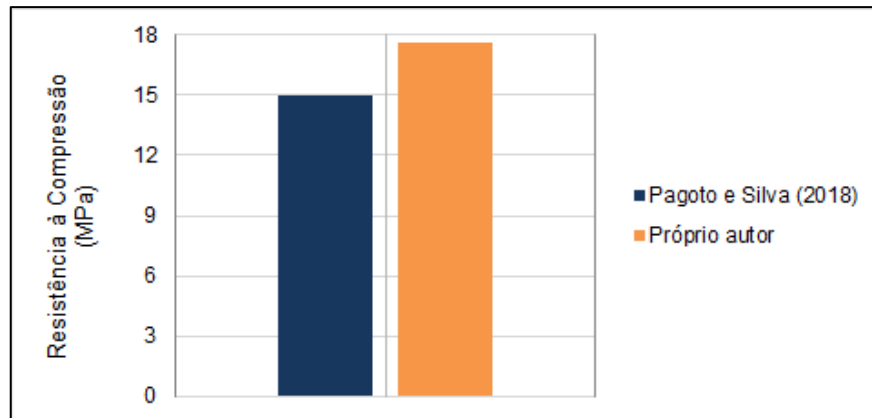
Fonte: Próprio autor

Figura 16: Comparação de resistência à compressão aos 28 dias do traço misto 1



Fonte: Próprio autor

Figura 17: Comparação de resistência à compressão aos 28 dias do traço reciclado



Fonte: Próprio autor

No comparativo, o traço misto 1 apresentou a menor resistência à compressão aos 28 dias entre os dados analisados, porém o resultado foi satisfatório, uma vez que o fator água cimento e as dosagens da mistura utilizados por Assis (2015) foram menores.

Já o concreto confeccionado com o traço reciclado apresentou os melhores resultados de resistência à compressão, o que pode conferir qualidade ao concreto produzido com substituição total dos agregados naturais por agregados reciclados.

Apesar do elevado fator água cimento, o desempenho de resistência à compressão de ambos os concretos confeccionados com agregados reciclados, firmaram a eficiência na escolha dos traços.

#### 4.8.3.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral avalia se o concreto irá obter um desempenho satisfatório ao se submeterem a esses tipos de esforços. A Tabela 31 apresenta os resultados do concreto para as idades de 3, 7 e 28 dias.

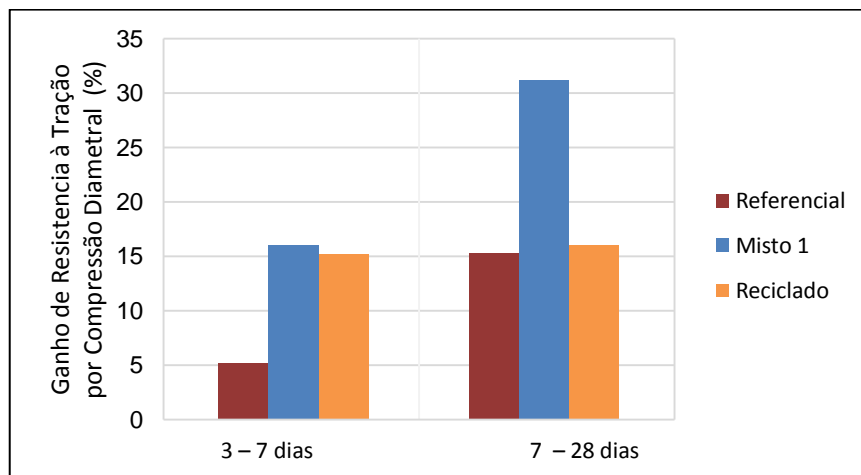
Tabela 31: Resistência à tração por compressão diametral

Traço	Tração (MPa)			Ganho de resistência (%)	
	3 dias	7 dias	28 dias	3 – 7 dias	7 – 28 dias
	<b>Referencial</b>	1,47	1,55	1,83	5,16
<b>Misto 1</b>	0,89	1,06	1,54	16,04	31,17
<b>Reciclado</b>	1,51	1,78	2,12	15,17	16,03

Fonte: Próprio autor

Em relação ao ganho de resistência à tração por compressão diametral, o traço misto 1 apresentou os melhores resultados, para os intervalos de 3-7 dias e 7-28 dias, como mostra a Figura 18.

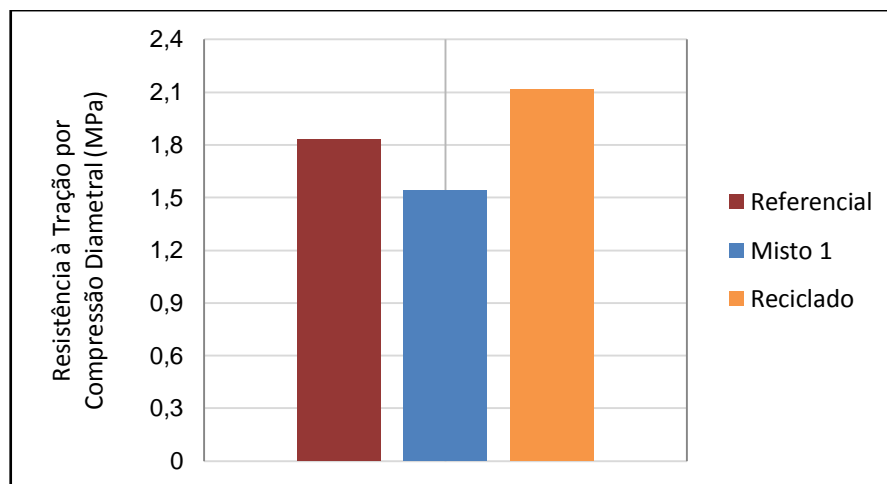
Figura 18: Ganho de Resistência a tração por compressão diametral



Fonte: Próprio autor

Apesar do elevado ganho de resistência, o traço misto 1 obteve a menor resistência à tração por compressão diametral, conforme Figura 19

Figura 199: Resistência a tração por compressão diametral em MPA



Fonte: Próprio autor

#### 4.8.3.3 Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica

Os resultados obtidos na pesquisa são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32: Propriedades físicas do concreto endurecido

Traço	Absorção de água por imersão (A)	Índice de vazios (Iv)	Massa específica da amostra seca ( $\rho_s$ )	Massa específica da amostra saturada ( $\rho_{sat}$ )	Massa específica real ( $\rho_r$ )
<b>Referencial</b>	7,95%	16,96%	2,14 g/cm <sup>3</sup>	2,31 g/cm <sup>3</sup>	2,57 g/cm <sup>3</sup>
<b>Misto 1</b>	9,62%	20,19%	2,10 g/cm <sup>3</sup>	2,30 g/cm <sup>3</sup>	2,63 g/cm <sup>3</sup>
<b>Reciclado</b>	9,45%	19,62%	2,08 g/cm <sup>3</sup>	2,28 g/cm <sup>3</sup>	2,58 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: Próprio autor

Quanto a Absorção de água por imersão (A), ambos os concretos produzidos com agregados naturais obtiveram uma absorção maior, quando comparado ao concreto produzido com agregados naturais, devido ao seu maior índice de porosidade.

Quanto ao Índice de vazios (Iv) vale ressaltar sua íntima ligação com a absorção de água, logo, quanto maior for a presença de vazios no concreto, maior será a penetração de água. Sendo assim, os concretos confeccionados com agregados reciclados apresentaram um índice de vazios maior que o concreto confeccionado com agregados naturais.

Com relação a Massa específica da amostra seca ( $\rho_s$ ) e a massa específica da amostra saturada ( $\rho_{sat}$ ), o concreto confeccionado com agregados naturais apresentou maiores resultados quando comparado aos concretos confeccionados com agregados reciclados. Esse fenômeno ocorreu devido a influência direta do índice de vazios no peso específico da amostra, uma vez que quanto maior o índice de vazios, menor será os valores de massa específica da amostra seca e saturada do concreto.

Já os valores de Massa específica real ( $\rho_r$ ) não apresentaram uma variação correlacionado, como visto nas outras propriedades, pois não foram consideradas as massas iniciais e secas do material, excluindo os poros permeáveis do concreto na realização dos cálculos.



## 5. CONCLUSÃO

A realização desta pesquisa teve como intuito averiguar o desempenho físico e mecânico no uso total de agregados miúdos e graúdos na confecção de concreto não estrutural e argamassas. A pesquisa buscava também mapear o uso e a comercialização dos agregados reciclados dentro do Distrito Federal.

Apesar de inúmeras empresas do ramo da construção civil contribuírem com o avanço de pesquisa sobre tema aqui abordado, se faz necessário uma maior participação das empresas de pequeno e médio porte, para o desenvolvimento acadêmico.

Uma colaboração mais efetiva dessas empresas à classe acadêmica, garante uma abordagem mais rápida e eficaz, que proporcionam um maior alcance na aplicação de medidas voltadas a utilização de RCD's no setor da construção civil.

Analisando as características dos materiais, o cimento Portland CP II F 32 apresentou resultados satisfatórios com os valores exigidos pela norma NBR 16697/2018, atingindo 32 MPa de resistência à compressão aos 28 dias.

Todos os agregados reciclados atenderam as especificações vigentes na norma NBR 15116/2004, que traz as exigências quanto ao uso de agregados reciclados na construção civil.

Apesar do concreto produzido com o traço misto 1 ter tido uma queda, no ganho de resistência à compressão, de quase 10% em comparado ao concreto referencial, o traço reciclado obteve um ganho de resistência à compressão bem expressivo, cerca de 27% quando comparado ao concreto referencial.

Todos os traços alcançaram resultados satisfatórios, com resistências à compressão na idade de 28 dias maiores que 10 MPa e menores que 20 MPa, caracterizando-os como concreto não estrutural.

Apesar do concreto em estudo apresentar características não estruturais, os parâmetros alcançados foram satisfatórios e dão crédito ao uso do material no ramo da construção civil. Podendo ser uma alternativa eficaz na redução dos descartes de resíduos de obra e demanda das jazidas de agregados naturais ao meio ambiente.

Já nas argamassas, o traço com areia reciclada obteve uma resistência maior, tanto nos ensaios de compressão quanto de tração na flexão, o que mostra que é possível obter um ganho de resistência, mantendo a mesma trabalhabilidade da argamassa convencional.

A pesquisa reitera a importância de estudos acadêmicos que apresentem meios e mecanismos eficazes no uso de resíduos de construção e demolição nas fases de produção da construção civil.

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Recomenda-se os seguintes temas para estudos futuros.

- Análise mais elaborada na dosagem dos agregados reciclados.
- Verificar a possibilidade na redução do fator água/cimento para o ganho de resistência.
- Verificar a porcentagens de substituição dos agregados naturais e sua ligação no ganho de resistência e trabalhabilidade.
- Verificar o comportamento da argamassa e concreto não estrutural produzido com porcentagens menores de substituição.
- Analisar quais teores de agregados miúdos exigem acréscimo no fator água/cimento na mistura.
- Estudar a possibilidade do uso de agregados reciclados para confecção de concreto estrutural bem como sua resistência à carbonatação e a ação de sulfatos.
- Estudar a reação álcali-agregado em agregados reciclados.
- Analisar a viabilidade do uso de agregado graúdo reciclado em pavimentos flexíveis.

## REFERÊNCIAS

ABRECON, Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. **Relatório pesquisa setorial 2014/2015**. Disponível em: <  
[https://abrecon.org.br/pesquisa\\_setorial/](https://abrecon.org.br/pesquisa_setorial/)> Acesso em: 03 de maio de 2019.

ASSIS, A. S. **Utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) como agregados na produção de concretos**. 2015. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS . NBR 7211: **Agregado para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11579: **Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. Rio de Janeiro, ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 1214: **Areia normal para ensaio de cimento – Especificações**. Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16541: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios**. Rio de Janeiro, ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16606: **Cimento Portland — Determinação da pasta de consistência normal**. Rio de Janeiro, ABNT, 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16607: **Cimento Portland — Determinação dos tempos de pega**. Rio de Janeiro, ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: **Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: - **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, ABNT, 2015 (versão corrigida 2016).

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. ABNT, 2005 (versão corrigida 2:2009).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9935: **Agregados – Terminologia**. Rio de Janeiro, ABNT, 2011.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46: - **Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem**. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NM 66: **Agregados – Constituintes mineralógicos dos agregados naturais**. Rio de Janeiro, ABNT, 1998.

ARAÚJO, et al. **Influência de agregados reciclados de resíduos de construção nas propriedades mecânicas do concreto**. 2016. Revista Eletrônica de Engenharia Civil. V 11. Nº 1. pag 16 – 34, 2016.

BARBOSA, D. S. **Desempenho físico e mecânico do uso total de agregados miúdos e graúdos na confecção de concreto não estrutural**. 2020. 71 f. Trabalho de conclusão de curso (tese) curso engenharia civil. Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, DF, 2020. [Orientador: Profª. Erika Regina Castro, Msc.].

BARROS, E. X. R.; Fucale, S. **O uso de resíduos da construção civil como agregados na produção de concreto**. 2016. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, Volume 2, Número 1, pag. 257, 2016.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO Nº 307, DE 5 DE JULHO DE 2002: **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Brasília, DF, jul 2002.

DIAS, et al . **Gerenciamento dos Resíduos de Demolição Gerados nas Obras de um Edifício Localizado na Zona Leste da Cidade de São Paulo/SP**. 2015. Revista Desenvolvimento em Questão. Editora Unijuí. Ano 13. Nº 30 ,pag 265 – 305, 2015.

FRASSON, et al. **Estudo comparativo entre custos de utilização de agregado natural e reciclado na execução de rodovias**. 2016. V SINGEP – Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade.

GRUPO ESTRUTURAL. **Agregados – Dicionário de construção #5: o que é agregado para concreto**. Disponível em: <<http://www.grupoestrutural.com.br/dicionario-de-construcao-5-o-que-e-agregado-para-concreto/>> Acessado em: 17 de Fevereiro de 2020.

MALTA, et al. **Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição**. 2013. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA), Volume 1, Número 2, p. 176-188, 2013.

MELO, A. A. M. **Desempenho físico, mecânico e acústico de argamassas com substituição parcial da areia natural por pó de pet**. 2019. 100 f. Trabalho de conclusão de curso (tese) curso engenharia civil. Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, DF, 2019. [Orientador: Prof. Erika Regina Castro, Msc.].

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais**. 2ª Ed. 751 p. IBRACON. São Paulo, 2014.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Manual de Impactos Ambientais: Orientações Básicas sobre Aspectos Ambientais de Atividades Produtivas**. 297 pgs. (S.d). Disponível em: [https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/\\_arquivos/manual\\_bnb.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/manual_bnb.pdf). Acessado em 04 de julho de 2020.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2º Ed. 448 p. Bookam, Porto Alegre, 2013.

PAGATO, L. M. ; SILVA, S. C. C. **Avaliação do comportamento mecânico de concreto não estrutural produzido com resíduos de construção civil**. 2018. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades. V 06. Nº 42, pag 25 – 35. ANAP,2018.