



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO ARAGUAIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

BRUNO FERREIRA ROMERA

**CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM AGREGADO  
MIÚDO RECICLADO DE RESÍDUOS DA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE  
CONCRETO**

Barra do Garças

2019

BRUNO FERREIRA ROMERA

**CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM AGREGADO  
MIÚDO RECICLADO DE RESÍDUOS DA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE  
CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal de Mato Grosso, para obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.º Cristopher Antonio Martins de Moura

Barra do Garças

2019

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO  
TRABALHO DE CURSO DO CURSO DE GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA CIVIL

**ALUNO(A): BRUNO FERREIRA ROMERA**

Aos vinte e cinco dias do mês de março do ano de dois mil e dezenove, às treze horas e trinta minutos, na Sala 103, do Campus Universitário do Araguaia - UFMT na cidade de Barra do Garças, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) Bruno Ferreira Romera A banca foi composta pelos seguintes professores: orientador Prof. Cristopher Antonio Martins de Moura, Prof.<sup>a</sup> M.<sup>a</sup> Susana Dalila Dolejal Berté e Prof.<sup>o</sup> Especialista Igor Aureliano Miranda Silva Campos. O Trabalho de Curso tem como título: **Caracterização de argamassas produzidas com agregado miúdo reciclado de resíduos da fabricação de blocos de concreto.** Após explanação no prazo regulamentar o(a) aluno(a) foi interrogado pelos componentes da banca. Terminada a etapa, os membros, de forma confidencial avaliaram o(a) aluno(a) e conferiram o(a) mesmo(a) o seguinte resultado APROVADO, proclamado pelo presidente da sessão. Dados por encerrados os trabalhos, lavrou-se a presente Ata, que será assinada pela banca e pelo(a) aluno(a).

Barra do Garças, 25 de março de 2019.

Aluno(a): Bruno Ferreira Romera

Banca:

Cristopher Antonio M. de Moura  
Prof. Cristopher Antonio Martins de Moura (orientador)  
Universidade Federal de Mato Grosso

Susana  
Prof.<sup>a</sup> M.<sup>a</sup> Susana Dalila Dolejal Berté (membro)  
Universidade Federal de Mato Grosso

Igor A. M. S. Campos  
Prof. Especialista Igor Aureliano Miranda Silva Campos (membro)  
Universidade Federal de Mato Grosso

### **Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.**

R763c Romera, Bruno Ferreira.  
CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM  
AGREGADO MIÚDO RECICLADO DE RESÍDUOS DA FABRICAÇÃO DE  
BLOCOS DE CONCRETO / Bruno Ferreira Romera. -- 2019  
80 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Prof.º Christopher Antonio Martins de Moura.  
TCC (graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Mato Grosso,  
Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Barra do Garças, 2019.  
Inclui bibliografia.

1. Resíduos de Construção Civil. 2. Agregado Reciclado. 3. Argamassa  
Reciclada. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, em especial ao meu pai, Amarildo, minha mãe, Edileusa, minha irmã, Brenda, minha sobrinha Lívia e ao meu cunhado Everton pelo total apoio em todos os momentos dessa trajetória.

Agradeço aos meus amigos Abner Lopes, Cayttano Zarpellon, Lucas Emanuel, Marlon Pizzatto, Matheus Fernandes, Rafael Gomes, Rodrigo José e Vinícius Aranha que sempre terei como família.

Agradeço ao professor Christopher Antonio Martins de Moura (orientador) pelo importante incentivo e pelos valiosos ensinamentos.

Agradeço à equipe do Laboratório de Solos, Laboratório de Materiais e Laboratório de Estruturas da UFMT-CUA por ceder o espaço e os equipamentos necessários para o desenvolvimento dessa pesquisa.

## RESUMO

A indústria da construção civil, juntamente com o consumo de materiais de construção estão em constante crescimento em âmbito mundial, fazendo com que o setor seja um dos maiores exploradores de recursos naturais não-renováveis. Aliado à essa realidade, no Brasil, por conta dos processos construtivos adotados, a construção civil também é o ramo de atividade que mais gera resíduos sólidos, sendo esses rejeitos chamados Resíduos de Construção Civil (RCC). Nesse contexto, muitas pesquisas vêm sendo realizadas a fim de se desenvolver tecnologias voltadas à reciclagem desse material, tendo em vista que muitos deles são passíveis desse processo. Além disso, o reaproveitamento dos resíduos de construção civil como matéria-prima dentro da própria indústria da construção civil, como agregados por exemplo, traz como benefício não só a não-disposição indevida desses rejeitos, mas também a não-exploração de agregados naturais através de jazidas e leitos de rios, levando em consideração também os impactos ambientais que essa exploração em larga escala causa. Sendo assim, o presente estudo busca contribuir para esse campo de pesquisa trazendo uma caracterização de argamassas recicladas produzidas através da utilização de resíduo de construção civil oriundo dos rejeitos de uma indústria de pré-moldados em concreto como uma alternativa de agregado reciclado. Essa caracterização foi feita através de ensaios normatizados de determinação de resistência à tração na flexão, compressão axial e absorção de água por capilaridade, visando propor uma possível substituição da areia natural comumente empregada como agregado miúdo em determinadas aplicações na construção civil. Para isso, foi realizado um estudo acerca da composição granulométrica do resíduo beneficiado, onde pôde-se observar uma divergência em relação ao agregado miúdo natural. Sendo assim, foi realizado a princípio uma adequação na composição granulométrica desse material com base na composição granulométrica da areia natural obtida no comércio local, onde todas as dosagens seguiram essa referência. O ensaio de resistência à tração na flexão mostrou proximidade entre os resultados na comparação com a argamassa mista comum em duas das três dosagens de argamassa reciclada (1:2:6 e 1:2:9) utilizadas pelo estudo e o ensaio de resistência à compressão axial apresentou resultados equivalentes para todos os traços de argamassa reciclada na mesma comparação. No ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade, três dos quatro traços de argamassa reciclada (1:2:6, 1:2:8 e 1:2:9) utilizados desenvolveram resultados satisfatórios, apresentando apenas pequenas variações na comparação com a argamassa mista comum. Dessa forma, a argamassa reciclada proposta pelo estudo apresentou melhores resultados nas proporções 1:2:6 e 1:2:9 na substituição da argamassa mista comum em aplicações que possuem como requisito propriedades de resistência mecânica e absorção de água, tendo em vista que essas características foram equivalentes na comparação entre as argamassas. Ressalta-se que outras propriedades devem ser levantadas em estudos posteriores para melhor caracterização desse tipo de argamassa reciclada.

**Palavras-chave:** Resíduos de Construção Civil, Agregado Reciclado, Argamassa Reciclada.

## ABSTRACT

The construction industry, together with the consumption of building materials are constantly growing worldwide, making the sector one of the largest explorers of non-renewable natural resources. In addition to this reality, in Brazil, due to the construction processes adopted, civil construction is also the branch of activity that generates the most amount of solid waste, and these wastes are called Civil Construction Waste (CCW). In this context, many researches have been carried out in order to develop technologies aimed at recycling this material, since many of them are susceptible to this process. In addition, the reuse of civil construction waste as a raw material within the civil construction industry, such as aggregates, for example, results not only in the improper non-disposal of these wastes, but also in the non-exploitation of natural aggregates through of natural deposit and riverbeds, considering also the environmental impacts that this large-scale exploitation causes. Thus, the present study seeks to contribute to this field of research by bringing a characterization of recycled mortars produced through the use of civil construction waste obtained from the tailings of a concrete precast industry as an alternative of recycled aggregate. This characterization was done through standardized tests of determination of tensile strength in flexion, axial compression and water absorption by capillarity, aiming to propose a possible replacement of natural sand commonly used as a fine aggregate in certain applications in civil construction. For this, a study was carried out on the granulometric composition of the beneficiated residue, where a divergence could be observed in relation to the natural fine aggregate. Therefore, an adequacy was made in the granulometric composition of this material based on the granulometric composition of the natural sand obtained in the local trade, where all the dosages followed this reference. The flexural tensile strength test showed closeness between the results compared to the common mixed mortar in two of the three dosages of recycled mortar (1:2:6 and 1:2:9) used by the study and the axial compression resistance test presented equivalent of results for all traces of recycled mortar in the same comparison. In the capillary water absorption test, three of the four traces of recycled mortar (1:2:6, 1:2:8 and 1:2:9) used had satisfactory results, with only slight variations in the comparison with the common mortar. Thus, the recycled mortar proposed by the study showed better results in the proportions 1: 2: 6 and 1: 2: 9 in the substitution of common mixed mortar in applications that have as requisite properties like mechanical resistance and water absorption, considering that these characteristics were equivalent in the comparison between the mortars. It should be noted that other properties should be raised in later studies to better characterize this type of recycled mortar.

**Keywords:** Civil Construction Waste, Recycled Aggregate, Recycled Mortar.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exploração mineral no Brasil	20
Figura 2 - Composição gravimétrica do entulho de Salvador – BA	28
Figura 3 - Determinação da resistência à tração por flexão	39
Figura 4 - Resultados de ensaio de tração na flexão, conforme ABNT NBR 13279/2005	41
Figura 5 - Determinação da resistência à compressão simples	41
Figura 6 - Diagrama tensão-deformação para o concreto	42
Figura 7 - Determinação da absorção de água por capilaridade	43
Figura 8 - Resultado de ensaios de absorção de água por capilaridade, segundo a ABNT NBR 9779/2012	44
Figura 9 – Resíduo de blocos de concreto pré-moldados recolhido em indústria local	46
Figura 10 - Resíduo de blocos de concreto beneficiado	47
Figura 11 - Série de peneiras normal conforme a ABNT NBR NM 248/2003	48
Figura 12 - Separação do resíduo retido em cada peneira	48
Figura 13 - Separação da areia natural retida em cada peneira	49
Figura 14 - Argamassadeira automática utilizada para mistura da argamassa	50
Figura 15 - Moldes de corpo de prova prismáticos	51
Figura 16 - Moldes de corpo de prova cilíndricos	52
Figura 17 - Ensaio de resistência à tração na flexão conforme ABNT NBR 13279/2005	53
Figura 18 - Ensaio de resistência à compressão conforme ABNT NBR 13279/2005	54
Figura 19 - Ensaio para determinação da absorção de água por capilaridade	55
Figura 20 - Composição granulométrica da areia natural de referência	57
Figura 21 - Composição granulométrica do agregado reciclado	58
Figura 22 - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:6 de argamassa reciclada	60
Figura 23 - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:6 de argamassa mista comum	60
Figura 24 - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:8 de argamassa reciclada	61
Figura 25 - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:8 de argamassa mista comum	62
Figura 26 - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:9 de argamassa reciclada	63
Figura 27 - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:9 de argamassa mista comum	63
Figura 28 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:6 de argamassa reciclada	65
Figura 29 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:6 de argamassa mista comum	65
Figura 30 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:8 de argamassa reciclada	66
Figura 31 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:8 de argamassa mista comum	67
Figura 32 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:9 de argamassa reciclada	68
Figura 33 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:9 de argamassa mista comum	68
Figura 34 - Resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade (ABNT NBR 9779/2012)	70

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propriedades do concreto influenciadas pelas características do agregado	18
Quadro 2 - Principais utilizações dos agregados	19
Quadro 3 - Classificação dos RCCs de acordo com CONAMA 307/2002 e alterações	25
Quadro 4 - Objetivos da gestão de resíduos segundo a Resolução CONAMA 307/2002	26
Quadro 5 - Classificação das argamassas	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição média do entulho em obras no Brasil	27
Tabela 2 – Comparativo da composição dos resíduos de construção e demolição	29
Tabela 3 – Abertura de malha das peneiras da Série Normal	47
Tabela 4 – Traços de argamassa mista utilizados no estudo	49
Tabela 5 – Determinação da composição granulométrica da areia natural	56
Tabela 6 – Determinação da composição granulométrica do resíduo beneficiado	57
Tabela 7 – Composição granulométrica de referência	59
Tabela 8 – Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão	64
Tabela 9 – Resultados do ensaio de resistência à compressão axial	69
Tabela 10 – Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade	71

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
1. OBJETIVOS.....	14
1.1 OBJETIVO GERAL.....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2. JUSTIFICATIVA.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 AGREGADOS.....	17
3.1.1 CONCEITUAÇÃO.....	17
3.1.2 PROPRIEDADES E UTILIZAÇÃO.....	17
3.1.3 RESERVAS E PRODUÇÃO.....	19
3.1.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO DE AGREGADOS.....	21
3.1.5 AGREGADOS RECICLADOS.....	22
3.2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	24
3.2.1 CONCEITUAÇÃO.....	24
3.2.2 GERAÇÃO E COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	26
3.3 ARGAMASSA.....	30
3.3.1 CONCEITUAÇÃO.....	30
3.3.2 PROPRIEDADES.....	30
3.3.2.1 TRABALHABILIDADE.....	30
3.3.2.2 RETENÇÃO DE ÁGUA.....	31
3.3.2.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	32
3.3.2.4 CAPACIDADE DE ADERÊNCIA.....	32
3.3.2.5 RESISTÊNCIA MECÂNICA.....	33
3.3.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS.....	34
3.3.3.1 ARGAMASSA DE CAL.....	35
3.3.3.2 ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND.....	35
3.3.3.3 ARGAMASSA MISTA.....	35
3.3.3.4 ARGAMASSA RECICLADA.....	35
3.4 INDÚSTRIA DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO.....	37
3.5 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO.....	38
3.5.1 DETERMINAÇÃO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO AXIAL.....	38
3.5.1.1 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	39
3.5.1.2 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL.....	41
3.5.2 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE.....	43
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
4.1 RECOLHIMENTO E BENEFICIAMENTO DOS RESÍDUOS DE BLOCOS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADOS.....	45
4.2 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	47
4.3 PRODUÇÃO DA ARGAMASSA.....	49

4.4 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	51
4.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO .....	52
4.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....	53
4.7 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE.....	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
5.1 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	56
5.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO AOS 28 DIAS.....	59
5.2.1 TRAÇO DE ARGAMASSA - 1:2:6.....	59
5.2.2 TRAÇO DE ARGAMASSA - 1:2:8.....	61
5.2.3 TRAÇO DE ARGAMASSA - 1:2:9 .....	62
5.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL AOS 28 DIAS.....	64
5.3.1 TRAÇO DE ARGAMASSA - 1:2:6.....	64
5.3.2 TRAÇO DE ARGAMASSA – 1:2:8 .....	66
5.3.3 TRAÇO DE ARGAMASSA – 1:2:9 .....	67
5.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE .....	70
5.5 POSSÍVEIS APLICAÇÕES DA ARGAMASSA RECICLADA .....	72
CONCLUSÃO.....	73
REFERÊNCIAS .....	75

## INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das indústrias que mais utiliza recursos naturais e é, também, a maior geradora de resíduos, sendo que a tecnologia construtiva do setor adotada no Brasil favorece o desperdício de materiais (MARIANO, 2008). De acordo com Nagalli (2014), os processos construtivos essencialmente manuais adotados no país estão diretamente relacionados à geração excessiva de resíduos da construção civil.

Segundo dados levantados pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2018), a quantidade de resíduos de construção e demolição (RCD) coletados em 2017 pelos municípios do Brasil constantes no campo amostral da pesquisa, foi de 123.421 toneladas por dia, totalizando cerca de 45 milhões de toneladas no ano. Ainda de acordo com o estudo, estima-se que 63% dos resíduos sólidos coletados foram provenientes da construção civil e, aproximadamente, 4 milhões de toneladas de RCDs foram descartadas indevidamente em 2017, segundo a ABRELPE.

Acerca disso, Fernandez (2012) evidencia que o impacto causado pelos resíduos de construção civil está relacionado ao excessivo volume com que esses materiais são gerados, já que a grande maioria dos RCCs são vistos como resíduos de baixa periculosidade. No entanto, a disposição irregular em larga escala desses materiais pode gerar problemas de ordem ambiental, estética, saúde pública, além de sobrecarregar os sistemas de limpeza pública dos municípios.

Nagalli (2014) demonstra a construção civil como grande geradora de resíduos e explica que essa problemática faz com que a demanda por construções sustentáveis aumente, tornando cada vez mais necessária a busca por materiais e métodos alternativos que prezem pela sustentabilidade.

Nesse contexto, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da resolução 307/2002 e suas alterações, dentre outros critérios e diretrizes, define, em seu artigo terceiro, uma classificação para os resíduos de construção civil. Para o presente estudo, será dado enfoque à Classe A dessa categorização, tendo em vista que essa compreende os RCCs potencialmente reutilizáveis ou recicláveis como agregados. Resíduos derivados de concreto, de argamassa e de componentes cerâmicos em geral são exemplos que se enquadram nessa classe, assim como os resíduos de blocos pré-moldados de concreto, cuja utilização como agregado, mais precisamente como agregado miúdo, será avaliada mais a fundo nessa pesquisa.

Por outro lado, Mariano (2008) observa que, além da geração de resíduos, a exploração de recursos minerais feita pela construção civil em larga escala, também é um agente impactante

que deve ser levado em conta no que diz respeito à preservação ambiental. Sendo esse outro fator que impulsionaria a utilização de materiais alternativos visando a substituição tanto da areia quanto da pedra britada por agregados reciclados.

Dados levantados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2016) mostram que em 2015, foram exploradas 349.087.558 toneladas de areia para construção e 258.124.940 toneladas de brita e cascalho no Brasil. Nesse sentido, Valverde (2001) constata que a disponibilidade desses recursos, em especial aqueles localizados em grandes centros e aglomerados urbanos, vem sendo muito afetada, principalmente pelo planejamento inadequado das jazidas, pela competição pelo uso do solo, problemas ambientais e problemas com zoneamentos limitados. As restrições são crescentes, devido essencialmente aos impactos ambientais desmedidos causados pela indústria de produção mineral.

Nesse contexto, Hood (2006) une as problemáticas apresentadas afirmando que a transformação dos RCCs em matéria-prima utilizável e funcional para a própria indústria da construção civil permite uma maior preservação tanto das áreas de extração de agregados naturais, quanto das áreas de disposição final de resíduos.

Além dos resíduos gerados em canteiro de obra e demolições, destaca-se também os resíduos relacionados à industrialização de elementos utilizados na construção civil, que também representam expressivo percentual de resíduos provenientes do processo industrial. É compreensível que quebras, imperfeições ou quaisquer irregularidades em peças pré-moldadas de concreto tornam esses materiais inutilizáveis para os fins inicialmente planejados pelo fabricante. Portanto, a existência de indústrias no município que estão sujeitas a esse desperdício viabilizou a utilização desse resíduo como objeto de pesquisa.

Assim, a proposta sugerida no presente trabalho é produzir e caracterizar argamassas substituindo a areia natural, que corresponde ao agregado miúdo comumente utilizado na construção civil, por um resíduo beneficiado proveniente dos rejeitos de uma indústria de elementos pré-moldados de concreto localizada no município de Barra do Garças – MT, buscando obter uma argamassa com características compatíveis à argamassa comum, dentro dos ensaios a serem realizados. Sendo assim, o emprego de resíduos de elementos pré-moldados de concreto como agregado miúdo na produção de argamassa não visa somente a atenuação dos problemas causados pela disposição indevida dos resíduos de construção civil, mas também propõe uma alternativa para a substituição da areia extraída de rios ou jazidas, reduzindo assim, os impactos causados pela extração em massa desse recurso do meio ambiente, além de contribuir ao estudo da reciclagem de RCCs advindos do concreto e desenvolvimento sustentável na construção civil.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GERAL**

- Caracterizar argamassas produzidas com resíduo beneficiado de blocos de concreto pré-moldados obtidos dos rejeitos de indústria local substituindo a areia natural pelo resíduo em questão, visando contribuir com o estudo da reciclagem de resíduos de concreto.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a resistência mecânica à compressão axial e tração na flexão, segundo a ABNT NBR 13279/2005, de argamassas preparadas com resíduos e de argamassas comuns, realizando posteriormente uma comparação entre os resultados obtidos;
- Avaliar a absorção de água por capilaridade, segundo a ABNT NBR 9779/2012, de argamassas preparadas com resíduos e de argamassas comuns, realizando posteriormente uma comparação entre os resultados obtidos;
- Caracterizar a argamassa produzida com agregado reciclado buscando uma opção eficiente, funcional e sustentável, fomentando a reciclagem do resíduo e reduzindo o volume de descarte desse material, propondo uma alternativa à extração de areia natural;
- Apresentar propostas de utilização no setor da construção civil nos quais o emprego dessa argamassa seja viável, levando em conta as características do material que serão levantadas pelo estudo.

## 2. JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento econômico na origem da sociedade industrial, do ponto de vista de John (2000), tem significado a transformação da natureza, desse modo, a defesa do meio ambiente passa a ser vista como “antidesenvolvimentista”.

Nesse contexto, Radetzki (1992, apud KAMOGAWA, 2003) esclarece que o crescimento econômico é um desafio ao meio ambiente por conta das limitações que o próprio meio possui para suportar imposições exercidas pela vida humana.

De fato, a utilização de recursos naturais é imprescindível para o desenvolvimento econômico, e é justamente essa dependência que gera tamanha preocupação, tendo em vista o cenário de degradação ambiental. Kamogawa (2003) define que a depreciação do meio ambiente ocorre por duas maneiras: a primeira está relacionada a utilização dos recursos naturais em larga escala e a outra é função das externalidades negativas geradas pelos processos produtivos e do consumo, como a emissão de poluentes.

À vista disso, a extração responsável em conjunto com a disposição final adequada de resíduos (poluentes) no ambiente natural são pilares para um crescimento sustentável.

A indústria da construção civil ainda requer uma grande quantidade de matérias-primas não-renováveis, sendo a exploração de jazidas de areia, argila e material pétreo essencial para o seguimento do setor, produzindo passivos ambientais que vão totalmente contra a ideia de sustentabilidade (HOOD, 2006).

O extrativismo desenfreado de areia bem como as leis de proteção ambiental que impõem restrições a essa exploração e a falta de locais para extração desse recurso, evidenciam que a utilização de areia artificial como uma matéria-prima alternativa é completamente relevante para, além de não frear a produção do setor, também ser utilizada em argamassas e derivados da construção civil (HEEMANN, 2014).

Além dessa questão, Nagalli (2014) traz a construção civil como grande geradora de resíduos e explica que essa problemática faz com que a demanda por construções sustentáveis aumente, tornando cada vez mais necessária a adequação dos processos das construtoras e empreendedoras nesse sentido.

Os Resíduos de Construção Civil (RCC) são definidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002) através da Resolução CONAMA 307/2002, sendo aqueles “provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos”. Ainda nesse documento, os resíduos são separados em

categorias, sendo que a Classe A compreende aqueles passíveis de reutilização ou reciclagem como agregados.

Mariano (2008) explica que o reemprego dos RCCs como alternativa à substituição de agregados, graúdos ou miúdos, propõe um grande benefício ambiental, tanto pela não-exploração mineral, quanto pela não-disposição desses resíduos.

Tendo em vista o panorama apresentado, busca-se por meio dessa pesquisa estudar a possibilidade da substituição do agregado miúdo comumente utilizado para produção de argamassas por um agregado reciclado, de modo que o resíduo proveniente de blocos de concreto pré-moldados se enquadre nesse conceito. Tal estudo, representa uma contribuição ao estudo da reciclagem de RCCs de concreto e desenvolvimento sustentável na construção civil.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 AGREGADOS**

##### **3.1.1 CONCEITUAÇÃO**

Segundo Valverde (2001), os agregados empregados na indústria da construção civil são os insumos minerais mais consumidos no mundo. Esses agregados representam um segmento do setor mineral que produz matéria-prima bruta ou beneficiada granular, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades de utilização imediata na indústria da construção civil. Além do mais, esse setor da mineração possui o ciclo de produção e entrega para consumo mais curto dentre todos os bens minerais. Ou seja, opera com a agilidade que, para a construção civil, é essencial (ABDI, 2012).

Os agregados podem ser graúdos ou miúdos, naturais ou artificiais. Conforme La Serna e Rezende (2013), os agregados naturais, como o próprio nome sugere, são aqueles encontrados em sua forma pura na natureza, como areia, cascalho ou pedregulho. Já os agregados artificiais são provenientes de algum tipo de processo industrial, como as pedras britadas, areias artificiais, escórias de alto-forno, entre outros.

A ABNT NBR 7211/2009 regulamenta e especifica as características exigíveis para recepção e produção de agregados miúdos e graúdos, naturais e artificiais utilizados na construção civil. Dessa forma, a referida norma traz, dentre outras definições, os agregados miúdos sendo aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150  $\mu$ m e os agregados graúdos sendo os que passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.

Os agregados, em geral, podem ser obtidos de rochas sedimentares (arenitos e siltitos), metamórficas (quartzitos, calcários e gnaisses) ou ígneas (granitos, basaltos e diabásios), ou seja, é possível obtê-los de materiais rochosos variados, sejam eles consolidados ou granulares, fragmentados naturalmente ou por processos industriais. (LA SERNA E REZENDE, 2013).

##### **3.1.2 PROPRIEDADES E UTILIZAÇÃO**

De acordo com Neville e Brooks (2013), na produção do concreto, por exemplo, os agregados ocupam 75% da mistura, ou seja, sua qualidade e propriedades, possivelmente interferirão na resistência final do concreto devido ao grande volume que esses materiais ocupam na mistura. Além disso, os autores afirmam que os agregados não podem ser

considerados materiais inertes, já que suas propriedades físicas, térmicas e até mesmo químicas influenciam no desempenho do concreto.

Sbrighi Neto (1999) estabelece alguns parâmetros que devem ser levados em conta na seleção dos agregados para produção de argamassa e concreto, tais como: adequada curva granulométrica, estabilidade dos grãos minerais, isenção de impurezas, resistência mecânica compatível, forma e textura superficial, módulo de elasticidade, dureza e absorção de água. No Quadro 1, o autor define as propriedades do concreto influenciadas pelas características do agregado.

<b>PROPRIEDADES DO CONCRETO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DO AGREGADO</b>
Resistência mecânica	Resistência mecânica, textura superficial, limpeza, forma dos grãos, dimensão máxima.
Retração	Módulo de elasticidade, forma dos grãos, textura superficial, limpeza, dimensão máxima.
Massa unitária	Massa específica, forma dos grãos, granulometria, dimensão máxima.
Módulo de elasticidade	Granulometria, módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson.
Resistência à derrapagem	Tendência ao polimento
Economia	Forma dos grãos, granulometria, dimensão máxima, beneficiamento requerido, disponibilidade

**Quadro 1** - Propriedades do concreto influenciadas pelas características do agregado  
Fonte: Adaptado de SBRIGHI NETO, 1999, p. 26 e 27.

Neste contexto, Valverde (2001) observa que além das propriedades abordadas pelo Quadro 1, é necessário levar em conta também as características relacionadas ao processo construtivo. Isto é, os agregados devem possuir propriedades que lhes permitam ser facilmente manuseados durante o transporte e estocagem, a mistura dos agregados com o ligante ou com outros agregados, a colocação na mistura e durante a compactação ou cura da mistura.

É válido ressaltar que, as propriedades requisitadas dos agregados são influenciadas pela forma ou pelo local em que esses serão empregados. Agregados utilizados em concreto asfáltico não precisam necessariamente ter as mesmas propriedades daqueles que são usados no concreto de cimento Portland, por exemplo (VALVERDE, 2001).

Além do mais, sabe-se que os agregados miúdos e graúdos mais comumente utilizados na construção civil são, respectivamente, a areia natural e a pedra britada com suas diferenciações de granulometria. Algumas dessas utilizações são demonstradas no Quadro 2.

<b>Areia natural e areia artificial</b>	Assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, embolso, podendo entrar na composição de concreto e asfalto.
<b>Pedrisco</b>	Confecção de pavimentação asfáltica, lajotas, bloquetes, intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamentos em geral.
<b>Brita 1</b>	Intensivamente na fabricação de concreto, com inúmeras aplicações, como na construção de pontes edificações e grandes lajes
<b>Brita 2</b>	Fabricação de concreto que exija maior resistência, principalmente em formas pesadas.
<b>Brita 3</b>	Também denominada pedra de lastro utilizada nas ferrovias.
<b>Brita 4</b>	Produto destinado a obras de drenagem, como drenos sépticos e fossas.
<b>Rachão, pedra de mão ou pedra marroada</b>	Fabricação de gabiões, muros de contenção e bases.
<b>Brita graduada</b>	Em base, sub-base, pisos, pátios, galpões e estradas

**Quadro 2** - Principais utilizações dos agregados

Fonte: Adaptado de KULAIF (2001) apud LA SERNA E REZENDE (2013).

Em referência às aplicações apresentadas pela Quadro 2, La Serna e Rezende (2013) relacionam a utilização das areias e britas, principalmente ao seu tamanho e granulometria.

### 3.1.3 RESERVAS E PRODUÇÃO

Para a construção civil, as principais características relacionadas a produção de agregados são abordadas por Ferreira e Pereira (2009) e elencadas como sendo:

- 1) Menor preço unitário;
- 2) Grande número de ocorrências;
- 3) Proximidade da jazida com o mercado consumidor;
- 4) Grande volume de produção;
- 5) Pesquisa geológica simples e com baixa incorporação de tecnologia;
- 6) Mercado quase que exclusivamente regional.

Neste contexto, La Serna e Rezende (2013) também explicam que a mineração dos agregados para construção civil gera grandes volumes de produção e apesar do beneficiamento do material ser consideravelmente simples, sua produção deve ser feita indispensavelmente no entorno do local de consumo, devido ao baixo valor unitário do produto. Para a maior parte das regiões, é considerado economicamente inviável, por exemplo, jazidas localizadas fora de um raio de 100 km do local de consumo. Entretanto, Ferreira e Pereira (2009) ressaltam que é possível que essas reservas minerais se encontrem à uma distância maior do que o recomendado

economicamente, devido a restrições provenientes de leis de zoneamento municipal ou de cunho ambiental.

É sabido que a mineração de agregados para construção civil, mais precisamente areia e pedra britada, está difundida em todo o país com grande quantidade de ocorrências. A Figura 1 traz dados levantados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (2016) que quantificam a produção desses agregados no Brasil.



**Figura 1** - Exploração mineral no Brasil  
Fonte: Adaptado de DNPM (2016).

Uma das principais características desse setor da mineração está relacionado ao mercado quase que exclusivamente regional, por conta principalmente do baixo valor unitário do produto, que inviabiliza economicamente o comércio entre grandes distâncias. Sendo assim, o comércio exterior de agregados da construção civil não é relevante, tendo raras ocorrências em regiões de fronteira. Ou seja, o consumo aparente desses materiais coincide com o próprio quantitativo produzido internamente no país (LA SERNA E REZENDE, 2013).

Além disso, segundo dados da Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil - ANEPAC (2014), a produção de pedra britada somada com a produção de areia, geraram 75 mil empregos diretos em 2014, através de 3.100 empresas espalhadas por todos os estados do país.

Desse modo, Valverde (2001) conclui que a disponibilidade desses recursos, em especial aqueles localizados em grandes centros e aglomerados urbanos, vem sendo muito afetada, principalmente pelo planejamento inadequado das jazidas, competição pelo uso do solo, problemas ambientais e problemas com zoneamentos limitados. As restrições são cada dia

maiores, devido principalmente aos impactos ambientais desmedidos causados pela indústria, sendo observado nesse contexto, a necessidade de fontes alternativas de agregados.

### **3.1.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO DE AGREGADOS**

A mineração, de maneira geral, altera demasiadamente não só a área minerada, mas também as áreas vizinhas, onde são feitos os depósitos de rejeitos e materiais estéreis. Além disso, pode haver presença de substâncias químicas nocivas na fase de beneficiamento do minério. Ou seja, é um setor que evidentemente causa um considerável impacto ambiental, seja por degradação da paisagem, ruídos e vibrações excessivas devido à utilização de explosivos, poluição por poeira ou gases, contaminação das águas por lama ou compostos químicos, disposição final inadequada de rejeitos e estéreis, entre outros (SILVA, 2007).

Nesse cenário, Bacci et al. (2006) associam os efeitos ambientais causados pela indústria da mineração às diversas fases de exploração. Quer dizer, na etapa de abertura da cava, por exemplo, o passivo ambiental se dá pela retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local. Além disso, quando se faz necessário a utilização de explosivos para fragmentação de rochas, a problemática se dá pela sobrepressão atmosférica, vibração excessiva do terreno e ultra lançamento de fragmentos, gases, poeiras e ruídos. Já na fase de transporte e beneficiamento do minério, é na geração de poeira e ruído que se encontram as adversidades.

No âmbito da construção civil, Mariano (2008) enfatiza que os agregados naturais utilizados na construção civil são recursos minerais não-renováveis e que sua exploração causa grandes impactos ambientais. A obtenção de areia natural, por exemplo, se dá, de maneira geral, pela exploração de leitos de rios, o que pode ocasionar degradação do curso d'água por conta de assoreamento. Acerca disso, Hood (2006) também salienta que a exploração desenfreada de jazidas de areia, argila e material pétreo, mesmo sendo essencial para o funcionamento da indústria como um todo, acaba gerando grandes impactos ambientais e contribuindo para não-sustentabilidade. O autor ressalta ainda que muitos dos problemas causados pelo setor originam-se em explorações desenvolvidas sem critérios técnicos e sem nenhum tipo de licenciamento ou regularização junto ao DNPM, sendo mais comum o surgimento de passivos ambientais nesse tipo de mineradora.

Desse modo, Mariano (2008) observa que essa exploração em larga escala de recursos minerais fomentada pela indústria da construção civil (vide dados ilustrados pela Figura 1) é um agente impactante que deve ser levado em conta no que diz respeito à preservação

ambiental, sendo esse, um dos fatores que impulsiona a utilização de materiais alternativos visando a substituição tanto da areia quanto da pedra britada por agregados reciclados.

### **3.1.5 AGREGADOS RECICLADOS**

É sabido que os agregados empregados no setor da construção civil são os bens minerais mais consumidos no mundo. Nesse contexto, tendo em vista a problemática destacada em 3.1.4, é necessário que a indústria busque matéria-prima alternativa e sustentável que possa vir a substituir esses insumos não-renováveis.

A reciclagem é um caminho importante para alcançar o desenvolvimento sustentável. Nesse aspecto, a cadeia produtiva da construção civil merece destaques negativos e positivos. Por um lado, ela é responsável por grande parte do impacto ambiental visto pela sociedade, por outro, possui dentro do próprio setor, matéria-prima reciclável de excelente qualidade (JOHN, 2000).

Os agregados reciclados são definidos pela ABNT NBR 15116/2004 como sendo: “material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção ou demolição de obras civis, que apresenta características técnicas para a aplicação em obras de edificação e infraestrutura”. A referida norma define ainda dois tipos de agregado reciclado, o agregado de resíduo de concreto (ARC) e o agregado de resíduo misto (ARM). A diferença entre os agregados está na composição de suas respectivas frações graúdas. Enquanto um (ARC) é composto por, no mínimo, 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas, o outro (ARM) deve possuir em sua fração graúda, menos que 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

Acerca disso, Neville (2016) reitera que até o momento, as principais utilizações dos agregados reciclados são em obras de pavimentação e em concretos sem função estrutural. A utilização de concreto endurecido como agregado para produção de concreto novo, por exemplo, exige algumas precauções, tendo em vista que o ARC será constituído basicamente de argamassa envelhecida. Isso acarretará em um concreto com massa específica menor quando comparado a um concreto produzido com agregados naturais. O autor destaca ainda, que por motivo semelhante, o concreto composto de agregados reciclados (fração graúda e miúda), possuirá maior porosidade e capacidade de absorção, podendo ocorrer comprometimento na trabalhabilidade em seu estado fresco, bem como uma maior retração por secagem e redução do módulo de elasticidade.

Prado (2006) relaciona os problemas na utilização de agregados reciclados provenientes de construção ou demolição com a heterogeneidade desse tipo de material, onde uma coleta

seletiva e separativa diminuiria esse fator, possibilitando assim, seu uso em concretos estruturais.

Ou seja, ainda é necessário estudos sobre o comportamento e desempenho de concretos e argamassas compostos por esse tipo de agregado, bem como estudos sobre o melhor beneficiamento do mesmo. Para Troian (2010) as pesquisas nessa área estão se tornando cada vez mais frequentes, mas ainda é preciso aprofundá-las, tendo em vista que o desempenho do concreto, em relação às suas propriedades mecânicas e de durabilidade, é alterado quando o agregado comum é substituído pelo agregado reciclado.

Nesse caso, no que se refere a utilização de agregados reciclados, Buttler (2003) obteve resultados satisfatórios na fabricação de concreto simples utilizando a fração graúda dos ARCs. Os resultados do estudo mostram que a resistência à compressão e tração não foram afetadas pela utilização da fração graúda reciclada.

Tanaka et al. (2010) utilizaram agregados reciclados provenientes da britagem de resíduos cimentícios e resíduos cerâmicos como agregado miúdo na confecção de argamassas. O estudo mostra conclusões satisfatórias no que se diz respeito a resistência à compressão, já que a argamassa confeccionada com agregados reciclados se provou mais resistente que a comum.

Além disso, Heemann (2014) também obteve resultados positivos na substituição do agregado natural por areia artificial para produção de argamassa. Quanto a resistência à compressão, os resultados apontam uma diferença considerável na comparação com a argamassa comum, de modo que, quanto maior a fração de areia artificial, maior foi a resistência encontrada. Heemann (2014) conclui ainda que, com mais pesquisas voltadas para esta área, a utilização de agregado miúdo artificial em argamassas pode se tornar totalmente viável dentro da construção civil.

Ishikawa (2009) propôs um estudo tecnológico sobre a utilização de areia artificial para confecção de argamassas para revestimento de alvenaria, visando a substituição da areia natural extraída de rios ou de jazidas. O autor utilizou areia artificial proveniente da britagem de rochas para produção de agregados graúdos, sendo esta uma alternativa que minimiza, de certa forma, os impactos ambientais causados pela exploração de areia natural. Ishikawa (2009) conclui que a utilização de argamassa produzida com esse agregado reciclado possui desempenho satisfatório enquadrando-se dentro das regulamentações da ABNT NBR 13281/2005, sendo essa, a norma técnica que especifica os requisitos exigíveis para argamassa utilizada em assentamento e revestimento de paredes e tetos.

Baseado no panorama apresentado, observa-se que a utilização de agregados reciclados associada à aglomerante cimentício se mostrou positiva em sua aplicação, destacando o trabalho de Gonçalves (2001) que apresenta, além de resultados satisfatórios no que se refere ao estudo da reutilização de ARCs, conceitos e comparações importantes sobre esse tipo de aplicação em concreto e argamassa, seja pela fração graúda ou miúda desses agregados. Dessa forma, o presente estudo propõe-se a contribuir para o estudo da reciclagem de resíduos de construção civil, visando nesse caso, a substituição da areia natural em argamassas. A proposta se baseia em obter areia reciclada através do beneficiamento de resíduos da construção civil, que serão discutidos no tópico seguinte.

## **3.2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

### **3.2.1 CONCEITUAÇÃO**

A construção civil é uma das indústrias que mais utiliza recursos naturais e é, também, a maior geradora de resíduos, sendo que a tecnologia construtiva adotada no Brasil favorece o desperdício de materiais. (MARIANO, 2008). Nagalli (2014) também relaciona a geração excessiva de resíduos com os processos construtivos essencialmente manuais adotados no país, geração esta que, além de ocasionar problemas ambientais, também causam problemas de logística e prejuízos financeiros.

Os resíduos da construção civil (RCC) ou resíduos de construção e demolição (RCD), como também são conhecidos, são definidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução CONAMA 307/2002 e suas alterações, sendo aqueles “provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos”. Como exemplos de resíduos gerados na grande maioria das obras temos: resíduos de blocos cerâmicos, concreto, argamassa, metais, plásticos, vidros, fiação elétrica, entre outros.

Por meio da Resolução CONAMA 307/2002, alterada pelas resoluções CONAMA 348/2004, CONAMA 431/2011, CONAMA 448/2012, CONAMA 469/2015, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002), dentre outros critérios e diretrizes, define, em seu artigo terceiro, uma classificação para os resíduos de construção civil. O Quadro 3 traz essa categorização exemplificando cada uma delas.

<b>CLASSE A</b>	Resíduos recicláveis ou reutilizáveis como agregado, são eles: resíduos de construção, demolição, reformas, reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem.
<b>CLASSE B</b>	Resíduos recicláveis para outras destinações, são eles: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
<b>CLASSE C</b>	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem ou recuperação. Na Resolução CONAMA 307/2002 e em suas alterações não se encontram exemplos para essa classe.
<b>CLASSE D</b>	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, são eles: tintas, solventes, óleos, aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de reforma ou demolição de clínicas radiológicas, bem como telhas ou outros materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

**Quadro 3** - Classificação dos RCCs de acordo com CONAMA 307/2002 e alterações  
Fonte: Adaptado de CONAMA (2002).

Além da classificação estabelecida pelo CONAMA, apresentada pelo Quadro 3, existe também a classificação da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição – ABRECON (2011), que traz ainda algumas definições relevantes sobre a temática. De acordo com a ABRECON (2011), entulho, como também são chamados os RCCs, “é o conjunto de fragmentos ou restos de tijolo, concreto, argamassa, aço, madeira, etc., provenientes do desperdício na construção, reforma e/ou demolição de estruturas, como prédios, residências e pontes”. Para a associação, os resíduos podem pertencer a três diferentes grupos:

- Grupo I – materiais compostos de cimento, cal, areia e brita: concretos, argamassas e blocos de concreto;
- Grupo II – materiais cerâmicos: telhas, manilhas, tijolos, azulejos.
- Grupo III – materiais não-recicláveis: solo, gesso, metal, madeira, papel, plástico, matéria orgânica, vidro e isopor, sendo que alguns desses são passíveis de outras destinações para reutilização ou reciclagem que não esteja relacionado com a produção de agregados, como embalagens de papel e papelão, madeira, vidro e metal.

Tendo em vista a crescente preocupação no que diz respeito às questões ambientais e ao desenvolvimento sustentável, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT criou uma comissão para revisar e aperfeiçoar a ABNT NBR 10004/1987, fornecendo assim contribuições

para o gerenciamento de resíduos sólidos. Dessa adequação, surge a ABNT NBR 10004/2004 com o objetivo de classificar os resíduos quanto aos seus riscos potenciais, seja em relação ao meio ambiente (gestão inadequada) ou à saúde pública (mortalidade, incidência ou agravamento de doenças). De acordo com a referida norma, os resíduos podem ser classificados em perigosos e não perigosos, inertes e não inertes. Assim sendo, através dessa categorização, existe a possibilidade de um gerenciamento apropriado dos resíduos de construção civil.

### 3.2.2 GERAÇÃO E COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O gerenciamento aborda as ações desenvolvidas por empreendedores e construtores no sentido de prever, controlar e gerir a manipulação dos resíduos (NAGALLI, 2014). Nesse contexto, surge a Lei nº 12.305/10 que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), regulamentando diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos (exceto rejeitos radioativos), tornando esses procedimentos de responsabilidades dos geradores e do poder público, bem como dos instrumentos econômicos aplicáveis.

O Quadro 4 traz uma enumeração, baseada na Resolução CONAMA 307/2002, dos principais objetivos da gestão de resíduos, segundo Tozzi (2006).

<b>1</b>	Destinação adequada dos grandes volumes
<b>2</b>	Preservação e controle das opções de aterro
<b>3</b>	Disposição facilitada de grandes volumes
<b>4</b>	Melhoria da limpeza e paisagem urbana
<b>5</b>	Preservação ambiental
<b>6</b>	Incentivo às parcerias
<b>7</b>	Incentivo à presença de novos agentes de limpeza
<b>8</b>	Incentivo à redução de resíduos na fonte
<b>9</b>	Redução dos custos municipais

**Quadro 4** - Objetivos da gestão de resíduos segundo a Resolução CONAMA 307/2002  
Fonte: Adaptado de CONAMA (2002) e TOZZI (2006).

Nesse contexto, Novaes e Mourão (2008) trazem a indústria da construção civil como geradora em potencial de resíduos sólidos principalmente devido ao elevado índice de desperdício nos processos construtivos e também pelo não-reaproveitamento desses materiais desperdiçados. Acerca disso, Röhm et al. (2013) destacam as diferentes origens dos RCCs dentro do setor: construções novas, demolições, reformas e ampliações de construções existentes. Para John (2000), apesar de que as perdas de materiais possam ter origem também

nas etapas de planejamento e projeto, é na fase de execução que se encontra a parcela mais visível deste desperdício.

A introdução de técnicas que visem a redução de descarte e o reaproveitamento dos RCCs representam uma possibilidade de reduzir os impactos produzidos pela indústria (TOZZI, 2006).

Conforme dados levantados pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2018), a quantidade de resíduos de construção e demolição coletados em 2017 pelos municípios do Brasil constantes no campo amostral da pesquisa, foi de 123.421 toneladas por dia, somando cerca de 45 milhões de toneladas no ano. Ainda de acordo com o estudo, estima-se que foram recolhidas 196.050 toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos (RSU), cerca de 71,6 milhões de toneladas no ano. Ou seja, aproximadamente 63% desses rejeitos sólidos coletados foram provenientes da construção civil. Além disso, o levantamento registrou um índice de cobertura de coleta de 91,2%, ou seja, segundo a ABRELPE (2018), aproximadamente 4 milhões de toneladas de RCDs foram descartados indevidamente em 2017.

Tendo em vista esse panorama, Fernandez (2012) evidencia que, além da questão ambiental, a disposição irregular desses resíduos também pode gerar problemas de ordem estética e de saúde pública, além de sobrecarregar os sistemas de limpeza pública municipais. Ainda de acordo com o autor, o impacto causado está diretamente relacionado ao excessivo volume de geração desses materiais, já que a grande maioria dos RCCs são vistos como resíduos de baixa periculosidade.

Observa-se que os resíduos de construção civil são gerados em um setor de atividades que envolve muitos processos construtivos, além do mais, esses materiais não são homogêneos, ou seja, em sua composição pode haver concretos, argamassas, blocos cerâmicos, madeira, aço, entre outros (NOVAES E MOURÃO, 2008). A Tabela 1 mostra uma composição média dos rejeitos em obras no Brasil.

**Tabela 1**  
Composição média do entulho em obras no Brasil

COMPONENTES	VALORES (%)
Argamassa	63,0
Concreto e Blocos	29,0
Outros	7,0
Orgânicos	1,0
Total	100,0

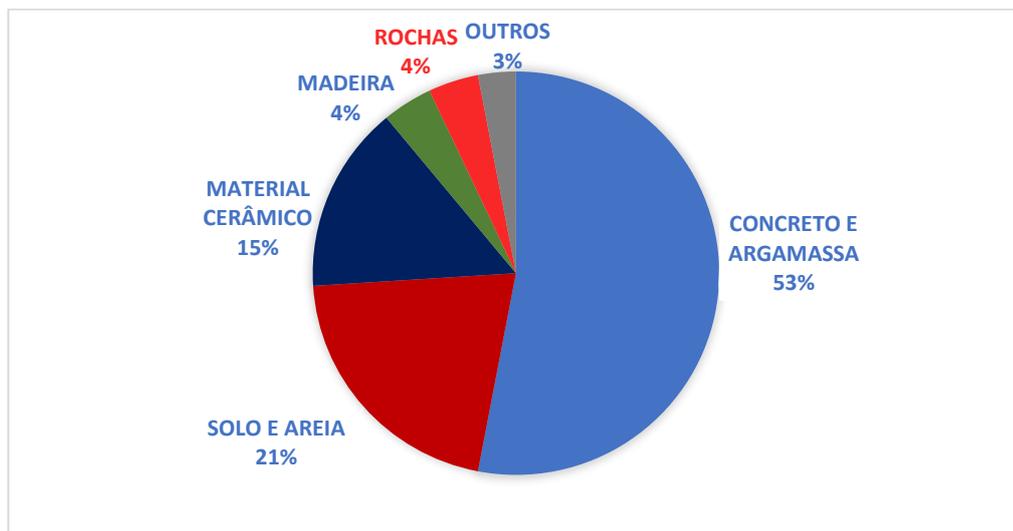
Fonte: Adaptado de Universidade de São Paulo apud NOVAES E MOURÃO (2008, p. 37).

Do total apresentado pela Tabela 1, vale destacar que 92% representam resíduos, classificados pela Resolução CONAMA 307/2002, Classe A, sendo assim, potencialmente reutilizáveis como agregados na própria construção civil. Além disso, a mesma resolução proíbe o encaminhamento desses materiais a aterros sanitários comuns, áreas de “bota fora”, encostas, corpos d’água, lotes vagos ou áreas protegidas por leis, fazendo com que a redução do descarte, bem como a reciclagem e reutilização desses rejeitos ganhe ainda mais importância.

Acerca disso, Vieira (2003) traz números da revista *Téchne* (2001) de onde é possível estimar que, em média, 65% dos entulhos gerados são de origem mineral, 13% madeira, 8% plásticos e 14% corresponde a outros materiais. Entretanto, o autor frisa que os resíduos são formados por uma variedade de componentes e de proporcionalidades.

Nesse contexto, estudo de Oliveira et al. (2011) traz um levantamento da quantidade e da composição dos resíduos de construção e demolição coletados na cidade de Fortaleza, no Ceará. Do volume total de RCD coletado por dia no município (valor estimado em 706 toneladas), a argamassa é a principal constituinte, correspondendo em média a 38% desse total, seguida do concreto e da cerâmica vermelha, com 14% e 13%, em média, respectivamente.

De maneira semelhante, Carneiro et al. (2000) realizou uma caracterização do entulho gerado na cidade de Salvador – BA, visando a produção de agregado reciclado. O resultado desse levantamento é ilustrado pela Figura 2.



**Figura 2** - Composição gravimétrica do entulho de Salvador – BA  
Fonte: Adaptado de CARNEIRO et al. (2000).

Nota-se que, de maneira similar aos dados demonstrados na Tabela 1 e ao estudo feito por Oliveira et al. (2011), a Figura 2 evidencia que mais da metade do volume total de RCD gerado pelo município em questão é composto por concreto e argamassa.

Além disso, Lovato (2007) apresenta um comparativo entre as composições dos RCDs verificadas em algumas bibliografias, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2**  
Comparativo da composição dos resíduos de construção e demolição

COMPONENTE	%			
	PINTO (1987)	ZORDAN (1997)	LEITE (2001)	VIEIRA (2003)
Argamassa	63,67	37,40	28,26	27,82
Concreto	4,73	21,10	15,18	18,65
Cerâmica	29,09	20,80	26,33	48,15
Outros	2,20	20,70	30,23	5,38

Fonte: Adaptado de LOVATO (2007).

Observa-se que as composições mostradas na Tabela 2 podem divergir bastante, principalmente quando comparamos um estudo mais recente com outro mais antigo e também por se tratar de diferentes campos amostrais. Apesar disso, vale ressaltar que quando somados, argamassa e concreto representam quantidade preponderante e até predominante na maioria dos casos.

Ademais, destaca-se também a fração significativa de materiais cerâmicos que compõe os resíduos analisados por esses autores em diferentes regiões, permitindo concluir que frações significativas desses resíduos são passíveis de reciclagem ou reaproveitamento como agregados, podendo, com o beneficiamento adequado, se transformar em materiais de grande utilidade dentro da indústria de construção civil.

Isto posto, Hood (2006) reitera que a transformação dos resíduos em fonte alternativa de matéria-prima dentro do próprio setor tem a finalidade não só de preservar as áreas de extração de agregados, por exemplo, mas também de preservar as áreas de disposição desses rejeitos.

Sendo assim, visando a diminuição dos impactos ambientais causados não só pela volumosa geração e indevida disposição final dos resíduos de construção civil, mas também causados pela excessiva exploração de minerais para a indústria (conforme citado em 3.1.4), tendo em vista ainda que, quando analisadas as composições de RCD levantadas por várias bibliografias, foi constatada a abundância do resíduo proveniente do concreto, o presente trabalho busca contribuir ao estudo referente à utilização de agregados reciclados, utilizando resíduos de concreto para produção de argamassas.

### **3.3 ARGAMASSA**

#### **3.3.1 CONCEITUAÇÃO**

A ABNT NBR 13529/2013 define argamassa como sendo: “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”.

A argamassa é amplamente utilizada na construção civil e está presente no assentamento de alvenaria e de piso, revestimento de alvenaria (chapisco, reboco, emboço) e teto, execução de contrapiso e calçadas, além de ser produto básico na composição do concreto. Consideradas como um elemento de um sistema, pois deve se levar em conta sua interação com o substrato e com o ambiente, as argamassas possuem as seguintes funções: unir solidariamente as unidades de alvenaria e ajuda-las a resistir aos esforços laterais, distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos, absorver as deformações naturais sofridas pelos elementos de alvenaria, revestir e proteger a alvenaria contra agentes agressivos externos garantindo bom acabamento à superfície, garantir a adesão de elementos de revestimentos ao substrato, selar as juntas contra penetração de água, entre outros (SABBATINI, 1984; YOSHIDA E BARROS, 1995; RECENA, 2012).

Para o cumprimento das funções citadas, as argamassas deverão apresentar necessariamente propriedades adequadas, tanto no estado fresco como no endurecido, que garantem sua funcionalidade para cada tipo de aplicação, como: trabalhabilidade adequada para a função que será destinada, capacidade de retenção de água garantindo sua aderência ao substrato, estabilidade física derivada de uma resistência mecânica compatível com as solicitações, etc.

#### **3.3.2 PROPRIEDADES**

Bolorino e Cincotto (1997) destacam as principais propriedades no estado fresco e no estado endurecido que a argamassa deve apresentar para cumprir as funções para as quais foi produzida. As autoras destacam propriedades de trabalhabilidade, resistência mecânica e de aderência, retenção de água e permeabilidade.

##### **3.3.2.1 TRABALHABILIDADE**

De acordo com Recena (2012), a trabalhabilidade da argamassa é uma propriedade subjetiva, pois está relacionada à facilidade de dispor a argamassa em sua posição final, além de estar diretamente ligada à tarefa que está sendo executada. Ou seja, uma mesma argamassa

pode ser considerada trabalhável para uma determinada aplicação, e pode ter essa propriedade comprometida quando destinada à outra função.

De maneira geral, uma argamassa é dita trabalhável quando essa distribui-se facilmente ao ser assentada, não prende na ferramenta durante os processos de aplicação, não segrega ao ser transportada, não endurece quando em contato com elementos ou superfícies com grande capacidade de absorção e permanece plástica tempo suficiente para que toda a operação seja completada (SABBATINI, 1984).

Yoshida e Barros (1995) ressaltam ainda que a trabalhabilidade pode interferir diretamente nas propriedades da argamassa em seu estado endurecido, já que essas podem ser totalmente alteradas devido as relações água/cimento e aglomerante/agregado, podendo ainda variar em função da granulometria do agregado e da natureza e qualidade do aglomerante.

### **3.3.2.2 RETENÇÃO DE ÁGUA**

Essa propriedade está relacionada com a capacidade que a argamassa possui de reter a água presente em sua composição quando em contato com o ambiente ou superfícies com grande capacidade de absorção (RECENA, 2012).

Segundo Rosello (1976) apud Sabbatini (1984), a argamassa tende a conservar a água necessária para molhar a superfície dos grãos do agregado e do aglomerante, e o excesso dessa água é cedida por efeito de absorção da superfície em que a argamassa foi assentada, ou seja, a retenção de água está relacionada com a superfície específica dos constituintes da argamassa. Nesse sentido, Yoshida e Barros (1995) frisam a importância da cal, pois ela possui, além de uma elevada superfície específica, uma grande capacidade de adsorção.

Vale ressaltar que a capacidade da argamassa em reter água é de suma importância na garantia de aderência aos substratos, evitando o deslocamento de porções de argamassa de revestimento e garantindo a união dos elementos de alvenaria (RECENA, 2012).

A ABNT NBR 13277/2005 estabelece o método para a determinação da retenção de água em argamassas para assentamento e revestimento de paredes tetos. Partindo das regulamentações contidas na referida norma, Tanaka et al. (2010) trazem resultados de retenção de água para argamassas produzidas com areia artificial oriunda da britagem de resíduos cimentícios e cerâmicos. Os autores observam que a capacidade de retenção de água da argamassa está diretamente relacionada às partículas finas da mistura. Desse modo, os resultados mostraram que a argamassa produzida com resíduo cimentício, por possuir maior teor de finos quando comparada à produzida com resíduo cerâmico, demonstrou maior capacidade de retenção de água.

### **3.3.2.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA**

Quando o excesso de água no concreto ou na argamassa evapora, surgem vazios dentro do elemento. Os vazios criam capilares diretamente relacionados à porosidade e permeabilidade do concreto/argamassa que influenciam na resistência final desses materiais (PITRODA E UMRIGAR, 2013). De acordo com Silva e Libório (1999), além do volume, a forma e as dimensões dos poros também influenciam nas propriedades mecânicas, bem como na durabilidade de pastas de cimento, argamassas e concretos, já que porosidade também pode estar relacionada à resistência que esses materiais terão quando expostos a uma série de agentes agressivos externos.

Neville (2016) evidencia que a resistência de muitos materiais frágeis, como argamassa e concreto, é principalmente, uma função do volume de vazios contidos nele, seja ar aprisionado, poros capilares, poros de gel e, quando utilizado, ar incorporado. O volume de poros nesses materiais é medido pela absorção de água, que consiste geralmente, na secagem de um corpo de prova até que se atinja massa constante, seguido pela sua imersão em água e pela verificação do aumento de massa como uma porcentagem da massa seca.

Desse modo, a ABNT NBR 9779/2012 prescreve o método para determinação da absorção de água por ascensão capilar de argamassas e concretos endurecidos, de modo que se obtenha um valor de massa de água absorvida por metro quadrado de argamassa/concreto.

Baseado nisso, Tanaka et al. (2010) estudaram os efeitos de absorção de água por capilaridade em argamassas recicladas. Os autores explicam que essa verificação deve ser feita a fim de conferir se há uma absorção excessiva de água da massa, que pode ocasionar proliferação de fungos e bactérias nas argamassas, no caso, além do deslocamento da mesma, deslocamento do revestimento e descascamento da pintura. Dessas análises, observou-se que a argamassa com resíduo cimentício apresentou maior capacidade de absorção de água quando comparada à argamassa confeccionada com resíduo cerâmico, possivelmente resultada de uma retração gerada pela maior quantidade de cimento que pode ter causado microfissuras no interior dos corpos de prova.

### **3.3.2.4 CAPACIDADE DE ADERÊNCIA**

Sabbatini (1984) relaciona a aderência com a capacidade que a ligação argamassa/substrato possui em absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela. Além disso, o autor evidencia que nessa abordagem não deve ser levado em conta apenas as características da argamassa, pois essa propriedade depende também da capacidade de

aderência da base em que essa argamassa será aplicada. Acerca disso, Recena (2012) evidencia que a resistência de aderência deve ser entendida como fruto do comportamento de um sistema, pois como dito, depende tanto das características da argamassa como das características do substrato de aplicação.

Sendo assim, as condições de limpeza da superfície, bem como a isenção de poeira, partículas soltas e gorduras na superfície são fatores essenciais para uma boa aderência inicial (SILVA, 2006).

A ABNT NBR 13528/2010 prescreve o método de ensaio para determinação da resistência de aderência a tração de revestimentos de argamassa. Ishikawa (2009) avalia a resistência de aderência à tração ao substrato de argamassas produzidas com areia artificial. O autor observa que os resultados obtidos nesse ensaio com o agregado reciclado divergiram muito pouco quando comparados aos resultados obtidos com o agregado natural, sendo que, para argamassa reciclada obteve-se valores médios de 0,30 MPa, enquanto que, para argamassa comum os valores médios apresentados foram de 0,31 MPa.

### **3.3.2.5 RESISTÊNCIA MECÂNICA**

Alguns autores tratam essa propriedade da argamassa de forma secundária, priorizando características como a resistência de aderência, trabalhabilidade e retenção de água. Sabbatini (1984) cita autores como Davison (1974), Andrews (1950) e Rosello (1976) que compartilham essa posição.

Todavia, como é destacado por Carvalho e Figueiredo Filho (2016), a argamassa somada ao agregado graúdo dá forma ao concreto simples. Dessa maneira, é possível afirmar que, sendo a resistência à compressão uma característica tida como primária no concreto, não descartando outras de elevada importância, conclui-se que a boa composição da argamassa em relação a resistência mecânica, irá colaborar para compor um concreto de boa qualidade em termos de resistência.

Além disso, Recena (2012) entende que a resistência mecânica das argamassas será sempre uma característica importante, pois essa propriedade pode se tornar um elemento de projeto de grande importância em alguns casos, tais como: emprego de argamassa na recuperação de uma peça estrutural, fixação de equipamentos, execução de pilaretes em alvenaria estrutural e na utilização da argamassa na forma de micro concreto em estruturas. Nesse contexto o autor destaca a resistência à compressão e a resistência à tração na flexão, ambas propriedades são determinadas de acordo com a ABNT NBR 13279/2005.

Tanaka et al. (2010) estudam os efeitos do tipo de areia de RCD nas propriedades de argamassa de cimento e areia, utilizando agregado miúdo reciclado proveniente da britagem de resíduos cimentícios e cerâmicos. Os autores trazem, dentre outras características importantes, resultados satisfatórios de resistência à tração na flexão e, principalmente, de resistência à compressão, onde a argamassa reciclada se provou mais resistente que a comum.

Dessa forma, observa-se que é de suma importância que as argamassas possuam propriedades coerentes com sua destinação, principalmente para o bom cumprimento de suas funções, seja em seu estado fresco ou em seu estado endurecido, pois conforme citado em 3.3.2.1 a 3.3.2.5, a funcionalidade de cada argamassa passa pelo bom desempenho apresentado em relação a cada uma dessas propriedades.

### 3.3.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS

A ABNT NBR 13529/2013 apresenta uma classificação para argamassas seguindo vários parâmetros. O Quadro 5 traz essa categorização:

<b>Quanto à natureza do aglomerante</b>	Argamassa aérea e hidráulica.
<b>Quanto ao número de aglomerantes</b>	Argamassa simples e mista.
<b>Quanto ao tipo de aglomerante</b>	Argamassa de cal, de cimento e de cimento e cal.
<b>Quanto à função do revestimento</b>	Argamassa de chapisco, de reboco e de emboço.
<b>Quanto à forma de preparo ou de fornecimento</b>	Argamassa dosada em central, preparada em obra, industrializada e mistura semipronta para argamassa.
<b>Quanto à propriedades especiais</b>	Argamassa aditivada, de aderência melhorada, colante, redutora de permeabilidade, de proteção radiológica, hidrófuga e termo isolante.

**Quadro 5** - Classificação das argamassas

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 13529/2013 e SILVA (2006).

De acordo com Silva (2006), as argamassas mais comumente utilizadas em obras são as argamassas de cal, argamassas de cimento e as argamassas de cimento e cal, também conhecidas por argamassas mistas. Essas serão abordadas com maior aprofundamento, valendo destaque também para as argamassas recicladas, que são assim chamadas por serem produzidas com agregados reciclados, sendo esse o foco do presente estudo.

### **3.3.3.1 ARGAMASSA DE CAL**

Obtidas da mistura de cal, agregado miúdo e água, apresentam geralmente resistência mecânica baixa e, conseqüentemente, baixo módulo de deformação, o que garante uma grande capacidade de absorver deformações. Além disso, possuem endurecimento lento e grande capacidade de retenção de água (RECENA, 2012). De acordo com Silva (2006), a pasta da cal preenche os vazios entre os grãos do agregado miúdo, melhorando assim, a plasticidade e a retenção de água desse tipo de argamassa.

### **3.3.3.2 ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND**

Composta essencialmente de cimento Portland, agregado miúdo e água, esse tipo de argamassa apresenta uma elevada resistência mecânica, que é adquirida em pouco tempo, entretanto, possui pouca trabalhabilidade e baixa retenção de água (SILVA, 2006).

Além disso, Recena (2012) observa que a argamassa de cimento Portland resiste muito bem à umidade, porém, possui elevada rigidez, característica que provém do elevado módulo de deformação e resistência à compressão, ou seja, é menos deformável e mais suscetível a retração, podendo apresentar fissuração excessiva quando aplicada em revestimentos, por exemplo.

### **3.3.3.3 ARGAMASSA MISTA**

Também chamada de argamassa de cimento e cal, esse tipo de argamassa é obtida, basicamente, pela mistura entre cimento Portland, cal, agregado miúdo e água.

Nesse caso, o emprego do cimento Portland, além de contribuir muito para a resistência mecânica final da argamassa, está relacionado com a aceleração do tempo de pega da mistura, o que permite o acabamento das superfícies em um prazo menor. Além disso, a maior resistência à umidade fornecida pelo cimento Portland garante que essa argamassa possa ser aplicada em algumas situações específicas, como em fundações, por exemplo. Por outro lado, a cal fornece à mistura uma grande capacidade de retenção de água, bem como uma grande plasticidade (RECENA, 2012). É o material mais utilizado para assentamento e revestimento de alvenaria.

### **3.3.3.4 ARGAMASSA RECICLADA**

A matéria-prima utilizada na mistura de argamassa e de concreto tem sido bastante estudada e novas possibilidades vêm sendo buscadas, principalmente por fatores já

apresentados pelo presente estudo, como a excessiva exploração de recursos minerais e a excessiva geração de resíduos, ambas fomentadas, em grande parte, pela indústria da construção civil. Frente a isso, surge a necessidade de se preservar o meio ambiente aliado à ideia de sustentabilidade. Torna-se necessário então a busca por novas técnicas que visem a utilização de matérias-primas alternativas que se mostrem funcionais dentro do setor (HEEMANN, 2014).

Assim, sendo os RCCs compostos, em sua grande maioria, de materiais potencialmente recicláveis e reutilizáveis, conforme mostrado em 3.2.2, a construção civil possui dentro do próprio setor essa matéria-prima alternativa que, conforme muitos estudos apontam, podem ter diversas aplicações e baixo custo econômico.

No âmbito de argamassas recicladas, que são aquelas produzidas com agregados reciclados, destacam-se alguns estudos que mostram a viabilidade do emprego desse tipo de material.

Heemann (2014) fez um estudo sobre a substituição do agregado natural em argamassas por areia artificial, mais precisamente, pó de pedra gerado pela britagem de rochas para obtenção de pedra britada. Esse material é considerado residual e já é observada sua utilização na produção de concreto asfáltico e de bloco de concreto vazado para alvenaria. O objetivo do autor era determinar a resistência a compressão de corpos de prova de argamassa, verificar a permeabilidade da mistura e comparar os custos de argamassas comuns e argamassas recicladas. De todo o estudo e ensaios desenvolvidos, Heemann (2014) constatou que, além do custo não divergir, a argamassa reciclada se mostrou totalmente proveitosa na indústria da construção civil.

Utilizando o mesmo tipo de resíduo, Ishikawa (2009) deu foco à argamassa de revestimento e determinou, além da resistência à compressão, a resistência à tração na flexão e a resistência de aderência à tração. O autor concluiu que a argamassa reciclada produzida se enquadra nos parâmetros da norma técnica brasileira que especifica os requisitos exigíveis para argamassa utilizada em assentamento e revestimento de paredes e tetos, a ABNT NBR 13281/2005 e, portanto, potencialmente utilizável.

Nesse contexto, o presente estudo procura estudar a possibilidade de substituição do agregado miúdo comumente utilizado para produção de argamassas, a areia natural, por uma matéria-prima alternativa, buscando assim, uma argamassa reciclada com características semelhantes à argamassa comum através da utilização de resíduos beneficiados gerados por uma indústria de pré-moldados em concreto.

### 3.4 INDÚSTRIA DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

A ABNT NBR 9062/2017 distingue elementos pré-moldados e elementos pré-fabricados, onde primeiro é definido como sendo um elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva na estrutura, cujo controle de qualidade é menos rigoroso, podendo ser feito pelo próprio engenheiro, construtor ou proprietário sem a necessidade de controle laboratorial ou de instalação do mesmo gênero. Ao contrário do elemento pré-fabricado que é definido como sendo um elemento pré-moldado executado industrialmente por empresas destinadas essencialmente para esse fim sob condições rigorosas de controle de qualidade.

A utilização de concreto pré-moldado em edificações está diretamente relacionada a ideia de construir de maneira econômica, durável, estruturalmente segura e com versatilidade em termos arquitetônicos. Quando comparado aos métodos de construção convencionais, os sistemas pré-fabricados e o concreto, como método construtivo e como material, respectivamente, possuem muitas características positivas (VAN ACKER, 2002).

Van Acker (2002) evidencia que, a produção de concreto realizada numa fábrica possibilita processos de produção mais eficientes e funcionais, emprego de trabalhadores especializados, controle de qualidade, entre outros. Além disso, esse sistema possui um potencial econômico maior, bem como uma maior garantia de um bom desempenho estrutural e durabilidade, por conta do uso otimizado de materiais, obtido por meio de equipamentos modernos e de procedimentos de fabricação cautelosamente elaborados. Em relação à fabricação do concreto, a indústria de pré-moldados emprega equipamentos de grande controle tecnológico que permite, ao contrário do método de fabricação *in loco*, a garantia de um concreto adaptável e com desempenho mecânico específico para cada utilização requerida em projeto.

A industrialização possui características como repetição, linhas de produção mais organizadas, produção em alta escala que proporcionam uma simplificação na execução de tarefas, redução de desperdícios e alto controle de qualidade durante a produção. A pré-fabricação de concreto em indústrias representa um avanço tecnológico muito importante para a construção civil, por conta principalmente do atraso que existe no setor quando avaliados critérios como produtividade, desperdício de materiais e controle de qualidade (SIRTOLI, 2015). Para Serra et al. (2005), a industrialização da construção civil, se tratando de peças de concreto pré-moldadas, promoveu para todo o setor, a nível mundial, uma evolução considerável para os canteiros de obras, tornando-os mais eficientes, organizados e seguros.

Entretanto, como em qualquer processo industrial, é compreensível que possam ocorrer quebras, imperfeições ou irregularidades em peças pré-moldadas de concreto tornando esses materiais inutilizáveis para os fins planejados pelo fabricante, o que acarreta quantidade expressiva de resíduos provenientes do processo industrial e que necessitam de destinação adequada.

Ressaltando que, conforme 3.2.2, a composição dos resíduos de construção que é constituída em sua maioria de materiais cimentícios, destacando também, conforme 3.1.5, resultados positivos no que diz respeito ao emprego de agregados reciclados de concreto na composição da mistura de argamassas e concretos novos, busca-se contribuir ao estudo da viabilidade de reciclagem e reutilização desse tipo de RCC como matéria-prima alternativa dentro do próprio setor da construção civil propondo a utilização dos resíduos de elementos pré-moldados de concreto de uma unidade fabril no município de Barra do Garças-MT, à exemplo do que foi feito por Tanaka et al (2010) e Heemann (2014).

Além disso, o beneficiamento e emprego de resíduos de elementos pré-moldados de concreto como agregado miúdo na produção de argamassa, como proposto, visa não somente a atenuação dos problemas causados pela disposição indevida dos resíduos de construção civil, mas também propõe uma alternativa para a substituição da areia extraída de rios ou jazidas, reduzindo assim, os impactos causados pela extração em massa desse recurso do meio ambiente.

Sobretudo, é necessário que seja realizada a caracterização da argamassa reciclada proposta, a fim de se obter resultados de desempenho e parâmetros comparativos em relação a argamassa comum que comprovem sua funcionalidade para seu possível emprego.

### **3.5 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO**

De acordo com Cardoso et al. (2015), o desempenho de uma argamassa é consequência de seu comportamento no estado fresco, das solicitações durante os processos de moldagem ou aplicação e das características obtidas no estado endurecido após cura e secagem. O autor define as técnicas de caracterização de argamassa, em sua maioria, como derivadas dos métodos utilizados nas análises do concreto.

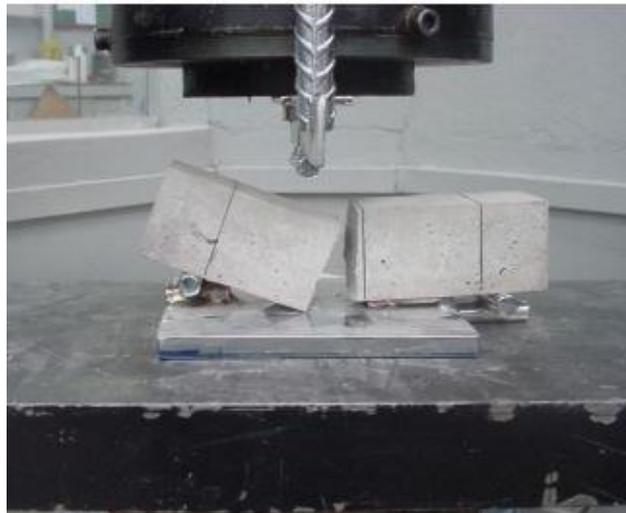
#### **3.5.1 DETERMINAÇÃO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E À COMPRESSÃO AXIAL**

A determinação das resistências à tração na flexão e à compressão de argamassas é regida pela ABNT NBR 13279/2005, que especifica, dentre outros parâmetros, para ambos os ensaios,

a aparelhagem a ser utilizada, a modelagem dos corpos de prova, os procedimentos de ruptura e as formulações necessárias para se obter números finais de ambas as resistências.

### 3.5.1.1 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

A norma prescreve, para a confecção dos corpos de prova, a utilização de moldes prismáticos com seção transversal de 4 cm x 4 cm e comprimento de 16 cm, os quais serão sujeitos ao ensaio de tração na flexão. A Figura 3 demonstra o processo de ruptura para esse ensaio.



**Figura 3** - Determinação da resistência à tração por flexão  
Fonte: ISHIKAWA (2009).

Nota-se que o rolete do dispositivo que exerce o carregamento progressivo está localizado na parte superior e, especificamente, no centro do corpo de prova, garantindo que a ruptura se dê por tração, iniciando nas fibras inferiores do prisma.

Para o cálculo da resistência à tração na flexão, a ABNT NBR 13279/2005 sugere a seguinte equação:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot L}{40^3} \quad (1)$$

Em que:

$R_f$  = resistência à tração na flexão, em megapascals;

$F_f$  = carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;

$L$  = distância entre os suportes, em milímetros.

A Equação 1 provém da fórmula de flexão em regime elástico, da qual podemos obter a tensão de flexão em uma viga. Beer et al. (2011) trazem esta formulação, que de maneira simplificada, é apresentada na Equação 2.

$$\sigma = \frac{M.y}{I_z} \quad (2)$$

Onde:

$\sigma$  = tensão de flexão;

M = momento fletor máximo;

y = posição da linha neutra;

$I_z$  = momento de inércia da seção retangular em relação a linha neutra.

Para a situação de solitação apresentado na Figura 3, considerando o carregamento pontual exatamente no centro do prisma de seção retangular 4 cm x 4 cm, onde a linha neutra se encontra exatamente no meio dessa seção ( $h/2$ ), podemos chegar a:

$$\sigma_r = \frac{3.P.L}{2.b.h^2} \quad (3)$$

Em que:

$\sigma_r$  = resistência à tração na flexão;

P = carga aplicada verticalmente no centro do prisma no instante da ruptura;

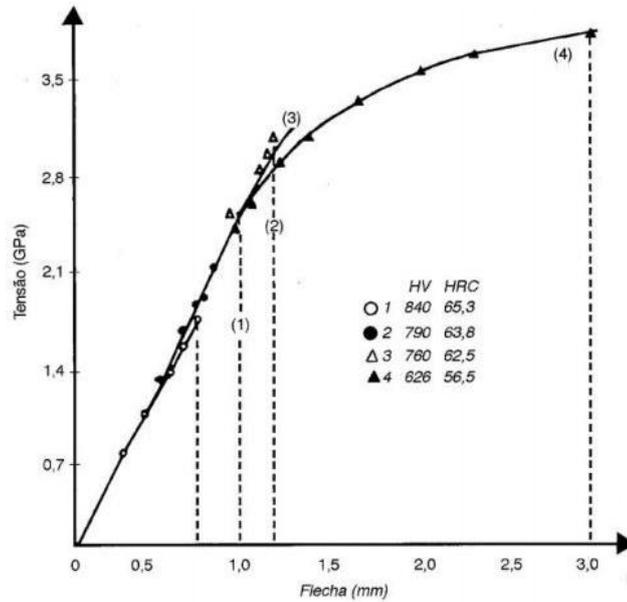
L = distância entre apoios;

b = base da seção transversal;

h = altura da seção transversal.

Observa-se que, quando acrescentadas as dimensões do corpo de prova na Equação 3, torna-se evidente sua equivalência com a Equação 1.

Além da resistência, esse ensaio também propicia dados referentes às deformações causadas pelo carregamento gradativo destacado na Figura 3. Com isso é possível definir graficamente uma curva que relaciona as deformações com suas respectivas tensões geradoras, conforme demonstrado na Figura 4.



**Figura 4** - Resultados de ensaio de tração na flexão, conforme ABNT NBR 13279/2005  
Fonte: BAPTISTA (2012).

Conforme ilustrado pela Figura 4, materiais frágeis, como concreto e argamassa, são caracterizados por romper sem nenhuma mudança prévia eminente na taxa de alongamento, nesse caso o limite de resistência é equivalente à resistência de ruptura (BEER et al., 2011).

### 3.5.1.2 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Para a execução do ensaio de determinação da resistência de compressão, no que diz respeito ao preparo dos corpos de prova, a imposição prescrita pela ABNT NBR 13279/2005 consiste na utilização das metades das amostras já rompidas no ensaio de tração na flexão, de modo que essas sejam posicionadas no dispositivo de carga conforme a Figura 5.



**Figura 5** - Determinação da resistência à compressão simples  
Fonte: ISHIKAWA (2009).

Nota-se que para esse ensaio, os roletes foram substituídos por pratos de aço que comprimem toda a face da seção transversal do corpo de prova. Desse modo, é possível calcular a resistência à compressão da amostra pela formulação sugerida pela norma (Equação 4).

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (4)$$

Em que:

$R_c$  = resistência à compressão, em megapascals;

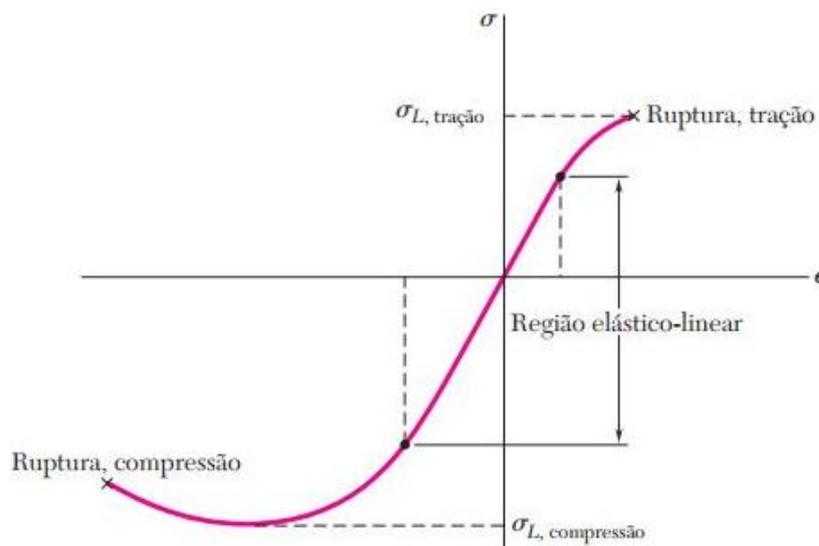
$F_c$  = é a carga máxima aplicada, em newtons.

Neste contexto, Beer et al. (2011) explicam que o valor de tensão ( $\sigma$ ) na seção transversal ( $A$ ) de um elemento submetido à um esforço axial ( $P$ ) é obtido através da Equação 5.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Sendo assim, observa-se que na Equação 4, o divisor 1600 corresponde à área da seção transversal do corpo de prova expressa em milímetros quadrados (40 mm x 40 mm), constatando de fato, a equivalência entre as equações.

De maneira semelhante ao ensaio de tração na flexão, destacado em 3.5.1.1, do ensaio de compressão simples também é possível se obter um diagrama tensão-deformação (Figura 6) que apresenta um comportamento distinto em relação ao destacado na Figura 5.



**Figura 6** - Diagrama tensão-deformação para o concreto  
Fonte: BEER et al. (2011).

A Figura 6, extraída de Beer et al. (2011), mostra um diagrama tensão-deformação do concreto. Por ser um material frágil, característica semelhante à argamassa, o concreto possui

propriedades diferentes para tração e compressão. Observa-se que, se tratando de tração, o gráfico mostra a ocorrência de um regime elástico-linear, onde temos deformações proporcionais aos valores de tensão. Após esse ponto de escoamento, a deformação cresce muito mais rápido do que a tensão até ocorrer a ruptura. No lado do diagrama que ilustra o comportamento do material à compressão, nota-se que o regime elástico-linear é consideravelmente maior e que a ruptura não ocorre quando a tensão alcança seu valor máximo, ao invés disso, enquanto a tensão diminui, o material continua a se deformar até ocorrer a ruptura (BEER et al., 2011).

### 3.5.2 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Regido pela ABNT NBR 9779/2012, o ensaio para determinação de absorção de água por capilaridade possui o objetivo de determinar a absorção de água de argamassas e concretos endurecidos através da ascensão capilar. A Figura 7 traz uma reprodução do ensaio feito por Mesquita et al. (2012).



**Figura 7** - Determinação da absorção de água por capilaridade  
Fonte: MESQUITA; COELHO E MONTENEGRO (2012, p. 10).

Nota-se que os corpos de prova são posicionados sobre suportes de modo que fiquem imersos parcialmente em água. O nível d'água deve permanecer constante a  $(5\pm 1)$  mm acima da face inferior do corpo de prova, evitando que outras superfícies sejam molhadas.

A norma específica, dentre outros parâmetros, a aparelhagem a ser utilizada, os procedimentos a serem adotados no ensaio e a formulação necessária para se obter números finais de absorção de água em  $\text{g/cm}^2$ , demonstrada pela Equação 6.

$$C = \frac{A-B}{S} \quad (6)$$

Em que:

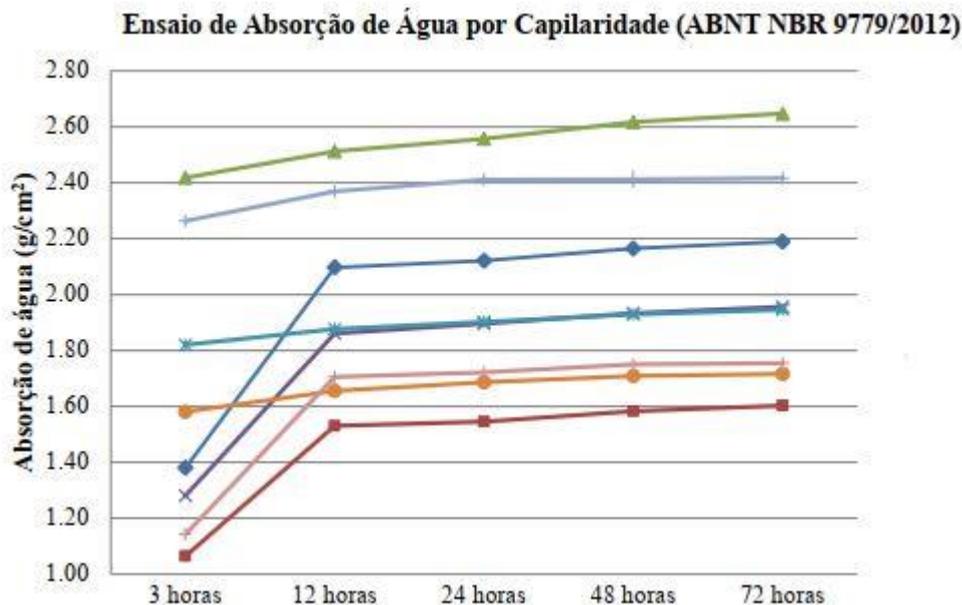
C = absorção de água por capilaridade, em  $\text{g}/\text{cm}^2$ ;

A = massa do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado, em g;

B = massa do corpo de prova seco, assim que este atingir a temperatura de  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , em g;

S = área da seção transversal, em  $\text{cm}^2$ .

Após a obtenção do parâmetro C, que consiste no valor de absorção de água por capilaridade em  $\text{g}/\text{cm}^2$ , pode-se plotar um gráfico absorção de água por capilaridade *versus* tempo de aferição ilustrando os resultados obtidos. A Figura 8 ilustra alguns resultados típicos de absorção de água por capilaridade.



**Figura 8** - Resultado de ensaios de absorção de água por capilaridade, segundo a ABNT NBR 9779/2012

Fonte: MOURA (2018).

Os resultados são apresentados através de um gráfico absorção de água, em massa de água absorvida por área de concreto *versus* tempo no qual a massa foi determinada. Conforme Tanaka et al. (2010), absorção de água excessiva em argamassas pode gerar proliferação de fungos e bactérias danosos aos usuários, bem como deslocamento da argamassa, deslocamento do revestimento e deslocamento da pintura.

#### 4. MATERIAIS E METÓDOS

De acordo com Prodanov e Freitas (2013), já que o presente estudo tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à resolução de problemas específicos, em se tratando de sua natureza, trata-se de uma pesquisa aplicada. Quanto aos objetivos, classifica-se como uma pesquisa explicativa, quanto aos procedimentos técnicos, como uma pesquisa experimental, e quanto a forma de abordagem, como pesquisa quantitativa.

A pesquisa relaciona-se ao emprego de resíduos da produção de blocos de concreto como agregado miúdo reciclado para produção de argamassa, visando a substituição da areia natural. O rejeito foi obtido já triturado em uma fábrica de pré-moldados em concreto no município de Barra do Garças-MT. Além disso, a cal hidratada, o cimento Portland CII-F 40 e a areia natural de referência foram adquiridos no comércio local. Os ensaios realizados, bem como o desenvolvimento do trabalho se deram, em sua maioria, no Laboratório de Materiais, Laboratório de Solos e Laboratório de Estruturas da UFMT-CUA.

##### 4.1 RECOLHIMENTO E BENEFICIAMENTO DOS RESÍDUOS DE BLOCOS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADOS

Os resíduos de blocos de concreto pré-moldados, conforme supracitado, foram obtidos em uma fábrica de pré-moldados em concreto instalada no setor industrial do município de Barra do Garças-MT. A Figura 9.a e 9.b apresentam o depósito de resíduos de peças pré-moldadas.



(a)



(b)

**Figura 9** – Resíduo de blocos de concreto pré-moldados recolhido em indústria local  
Fonte: Arquivo do autor (2018).

Nas Figura 9.a e 9.b é apresentada a grande quantidade de resíduo encontrado em apenas uma das fábricas locais. Observando o estado de deterioração dos blocos de concreto, constata-se que esses foram descartados, principalmente, devido a fraturas que possivelmente ocorreram durante processo de fabricação, paletização, carregamento ou descarregamento. Além disso, por se tratar de peças pré-fabricadas, devem necessariamente possuir controle rigoroso acerca das dimensões geométricas desses elementos, ou seja, quando apresentadas falhas ou imperfeições, esses também são descartados.

O resíduo, conforme mostrado pela Figura 9.a e 9.b, foi recolhido já triturado pela própria indústria, necessitando para o seu beneficiamento apenas a separação granulométrica das frações graúdas e finas. Para isso, todo o material obtido foi passado pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm a fim de se obter apenas a fração miúda desse material. A Figura 10 mostra o resíduo já beneficiado pronto para utilização.



**Figura 10** - Resíduo de blocos de concreto beneficiado  
 Fonte: Arquivo do autor (2018).

Posterior a essa primeira separação, o resíduo foi submetido ao ensaio de determinação da composição granulométrica, conforme método constante na ABNT NBR NM 248/2003.

#### 4.2 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

A ABNT NBR NM 248/2003 prescreve o método para determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos. O ensaio consiste basicamente no peneiramento mecânico ou manual dos materiais através de peneiras normatizadas, de modo que se obtenha, dentre outros parâmetros, o percentual retido em cada uma delas. A Tabela 3 traz as aberturas de malha das peneiras da série normal contidas na ABNT NBR NM 248/2003 necessárias para a realização do ensaio de determinação da composição granulométrica de agregados miúdos (Figura 11).

**Tabela 3**  
 Abertura de malha das peneiras da Série Normal

<b>SÉRIE NORMAL</b>
4,75 mm
2,36 mm
1,18 mm
600 $\mu\text{m}$
300 $\mu\text{m}$
150 $\mu\text{m}$

Fonte: Adaptado de ABNT NBR NM 248/2003.



**Figura 11** - Série de peneiras normal conforme a ABNT NBR NM 248/2003  
Fonte: Arquivo do autor (2018).

O resíduo beneficiado, bem como a areia natural de referência, obtida no comércio local, foram submetidos ao referido ensaio e tiveram suas composições granulométricas determinadas. Acerca disso, após análise dos resultados, observou-se uma natural divergência quando comparadas as composições desses materiais. Desse modo, para que essa diferença não viesse a ser uma variável em relação aos resultados dos testes subsequentes, antes de serem realizadas as dosagens da argamassa, foi realizada uma adequação na composição granulométrica do agregado reciclado, tomando como referência a composição granulométrica do agregado comum (areia natural).

Buscando essa equivalência, as frações de areia natural e de resíduo retidas em cada peneira foram separadas em recipientes distintos, conforme a Figura 12 e Figura 13.



**Figura 12** - Separação do resíduo retido em cada peneira  
Fonte: Arquivo do autor (2018).



**Figura 13** - Separação da areia natural retida em cada peneira

Fonte: Arquivo do autor (2018).

Essas frações permaneceram reservadas, conforme apresentado na Figura 12 e Figura 13, sendo agrupadas apenas no momento da dosagem da argamassa, seguindo restritamente uma composição de referência, eliminando assim, a possível variável que teríamos em relação à divergência na granulometria dos materiais.

### 4.3 PRODUÇÃO DA ARGAMASSA

A produção de argamassa foi feita com base em dosagens usuais e dosagens levantadas através da pesquisa bibliográfica em estudos análogos. Ishikawa (2009) em sua proposta de substituição de areia natural por areia artificial utiliza os traços 1:2:6 e 1:2:8 (cimento Portland : cal hidratada : agregado miúdo) e Thomaz (2000) recomenda o traço 1:2:9 por ser muito usual na construção civil. Sendo assim, os traços utilizados para confecção da argamassa são mostrados pela Tabela 4.

**Tabela 4**  
Traços de argamassa mista utilizados no estudo

	TRAÇO	CIMENTO	CAL	AGREGADO MIÚDO	ÁGUA/CIMENTO
1	Volume (m <sup>3</sup> )	1	2	6	2,5
	Massa (kg)	0,15	0,168	1,116	2,5
2	Volume (m <sup>3</sup> )	1	2	8	2,5
	Massa (kg)	0,15	0,168	1,488	2,5
3	Volume (m <sup>3</sup> )	1	2	9	2,5
	Massa (kg)	0,15	0,168	1,675	2,5

Fonte: Construção do autor (2019).

Para cada traço detalhado na Tabela 4 foram produzidos corpos de prova tanto para argamassa comum quanto para argamassa reciclada a fim de se obter parâmetros de comparação

de resultados. Observa-se que a relação água/cimento, também utilizada com base em Ishikawa (2009) não foi alterada, para que, assim como a composição granulométrica, não viesse a ser um parâmetro variável. Lembrando que o estudo a ser realizado é, em essência, comparativo, ou seja, os valores de resistência obtidos da argamassa preparada com agregado natural em uma determinada dosagem serão comparados diretamente com os valores obtidos da argamassa preparada com agregado reciclado com a mesma dosagem.

Os três traços representados pela Tabela 4 foram utilizados para os ensaios de determinação de resistência à tração na flexão e compressão axial. Já para o ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade, além dessas três dosagens, foi utilizado também um traço sugerido pela ABNT NBR 7215/1996 para argamassa simples de cimento Portland na proporção 1:3 (cimento Portland : agregado miúdo) em massa, e com relação água/cimento de 0,48. A referida norma, apesar de não ser a regulamentadora para a determinação da absorção de água por capilaridade, específica para esse ensaio, além do traço em questão, a modelagem dos corpos de prova.

A mistura da argamassa foi realizada por uma argamassadeira automática mostrada pela Figura 14.



**Figura 14** - Argamassadeira automática utilizada para mistura da argamassa  
Fonte: Arquivo do autor (2018).

Conforme recomendado pela ABNT NBR 7200/1998, as argamassas foram misturadas mecanicamente até a obtenção de uma massa perfeitamente homogeneizada num tempo não inferior a 3 minutos e não superior a 5 minutos.

#### 4.4 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram preparados com base nas regulamentações expressas nas normas técnicas de cada ensaio. Ou seja, com base nas prescrições da ABNT NBR 13279/2005 foram modelados os corpos de prova para o ensaio de determinação da resistência à tração na flexão e à compressão axial e de acordo com as prescrições da ABNT NBR 9779/2012 foram modelados os corpos de prova para o ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade.

Sendo assim, para o ensaio de determinação das resistências mecânicas foram moldados três corpos de prova prismáticos com 4 cm x 4 cm de seção transversal e 16 cm de comprimento (Figura 15) para cada dosagem especificada na Tabela 4.



**Figura 15** - Moldes de corpo de prova prismáticos  
Fonte: Arquivo do autor (2018).

Os moldes de madeira possuem comprimento de 22 cm, sendo que os 6 cm excedentes foram preenchidos por poliestireno (3 cm de cada lado), conforme apresentado pela Figura 15, a fim de facilitar a posterior desforma. Com o mesmo objetivo, a superfície dos moldes foi untada em óleo vegetal e posteriormente revestida com filme plástico de PVC.

Imediatamente após o preparo da argamassa os moldes foram preenchidos com a mistura e devidamente adensados. Seguindo as prescrições da ABNT NBR 13279/2005, os corpos de prova permaneceram nos moldes por 48 horas, e após esse período foram desmoldados e reservados por 28 dias até a ruptura.

De outro modo, para o ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade, a ABNT NBR 9779/2012 prescreve que, para argamassas, os corpos de prova devem ser produzidos seguindo as recomendações da ABNT NBR 7215/1996. Sendo assim, foram

moldados 3 corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura (Figura 16) para cada dosagem especificada em 4.3.



**Figura 16** - Moldes de corpo de prova cilíndricos  
Fonte: Arquivo do autor (2019).

A argamassa foi distribuída, nesse caso, em moldes de PVC, conforme a Figura 16, com base isolada por filme plástico de PVC e fita adesiva. Os corpos de prova foram desmoldados após um período de 48 horas e em seguida a esse processo, segue-se normalmente os procedimentos prescritos pela ABNT NBR 9779/2012 para a execução do ensaio após 28 dias.

#### **4.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO**

Os corpos de prova curados após os 28 dias foram ensaiados à tração na flexão no Laboratório de Estruturas da UFMT-CUA com a utilização de um equipamento de testes eletrônico universal modelo WDW-50E da fabricante *Time Group Inc.* com uma taxa de aplicação de força com velocidade constante de 1mm/min e módulo de carga de 15kN.

O dispositivo de carga é composto por dois suportes de aço em forma de roletes, distantes 12 cm entre si nesse caso, e um terceiro rolete semelhante localizado de maneira centralizada entre os roletes de suporte conforme destacado pela Figura 17.

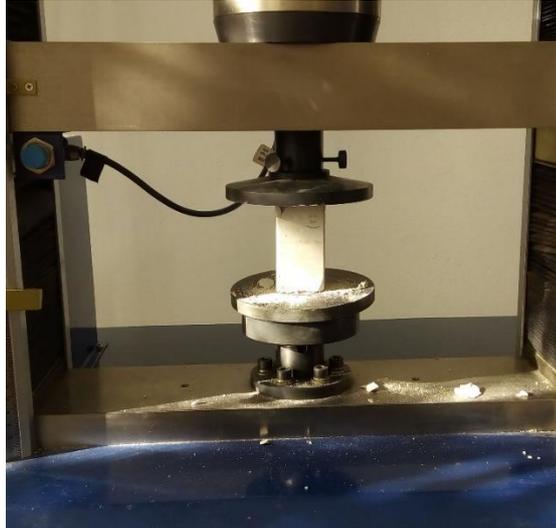


**Figura 17** - Ensaio de resistência à tração na flexão conforme ABNT NBR 13279/2005  
Fonte: Arquivo do autor (2019).

O aparelho fornece uma relação de força e deslocamento até a ruptura do corpo de prova que permite o cálculo da resistência à tração na flexão através da Equação 1, destacada em 3.5.1.1 e também contida na ABNT NBR 13279/2005. São calculadas então, as resistências individuais para cada corpo de prova, a resistência média para cada dosagem feita (três corpos de prova para cada) e o desvio absoluto máximo a fim de que não se obtenha um valor superior a 0,3 MPa, conforme prescrito na norma regulamentadora.

#### **4.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

Posteriormente ao ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado o ensaio de resistência à compressão. Os procedimentos também foram realizados no Laboratório de Estruturas da UFMT-CUA através da utilização do mesmo equipamento de testes eletrônico universal modelo WDW-50 da fabricante *Times Group Inc.* Conforme prescrito na ABNT NBR 13279/2005, para o ensaio de resistência à compressão são utilizadas as metades dos corpos de prova previamente ensaiados à tração na flexão (Figura 18).



**Figura 18** - Ensaio de resistência à compressão conforme ABNT NBR 13279/2005  
Fonte: Arquivo do autor (2019).

Para melhor conformidade no equipamento e, conseqüentemente, melhores condições de ensaio, as faces dos corpos de prova foram lixadas com lixa nº 100. Note que para esse ensaio, os roletes foram substituídos por pratos de aço que exerceram, nesse caso, uma taxa de aplicação de força com velocidade constante de 1mm/min e módulo de carga de 30kN até a ruptura do corpo de prova de argamassa.

O aparelho traz, de maneira semelhante ao ensaio de resistência à tração na flexão, uma relação de força *versus* deslocamento até a ruptura do prisma, possibilitando assim o cálculo da resistência à compressão axial, conforme a Equação 4 apresentada em 3.5.1.2 e também expressa na ABNT NBR 13279/2005. É possível, a partir desses resultados, o cálculo das resistências individuais para cada corpo de prova, a resistência média para cada traço de argamassa e o desvio absoluto máximo, de modo que esse último não deve ultrapassar valores superiores a 0,5MPa.

#### **4.7 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE**

Seguindo a ABNT NBR 9779/2012, após os 28 dias de cura, os corpos de prova precisam ser secos em estufa à temperatura de  $105\pm 5^{\circ}\text{C}$  até que se obtenha a constância de massa dos mesmos. Para isso, considera-se que a massa é constante quando a diferença de massa do mesmo corpo de prova não exceder 0,5% do menor valor obtido após pesagens consecutivas entre períodos de 24 horas de permanência na estufa.

Em seguida à essa primeira etapa, os corpos de prova são imersos parcialmente em água, de modo que essa permaneça num nível constante de  $5\pm 1$  mm acima da face inferior dos cilindros de argamassa, evitando assim que outras superfícies se molhem (Figura 19).



**Figura 19** - Ensaio para determinação da absorção de água por capilaridade  
Fonte: Arquivo do autor (2019)

Ainda de acordo com a ABNT NBR 9779/2012, os corpos de prova tiveram suas respectivas massas aferidas nos períodos de 3h, 6h, 24h, 48h e 72h contadas a partir do primeiro contato desses com a água. Com a obtenção desses parâmetros é possível obter os valores para absorção de água por capilaridade de cada corpo de prova através da Equação 6 prescrita em 3.5.2 e também contida na norma regulamentadora do ensaio.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

A primeira abordagem do estudo em relação ao resíduo beneficiado de elementos pré-moldados de concreto foi referente à sua composição granulométrica quando comparada à da areia natural. A Tabela 5 mostra os resultados obtidos do ensaio para determinação da composição granulométrica da areia natural utilizada para produção da argamassa de referência, conforme as prescrições da ABNT NBR NM 248/2003.

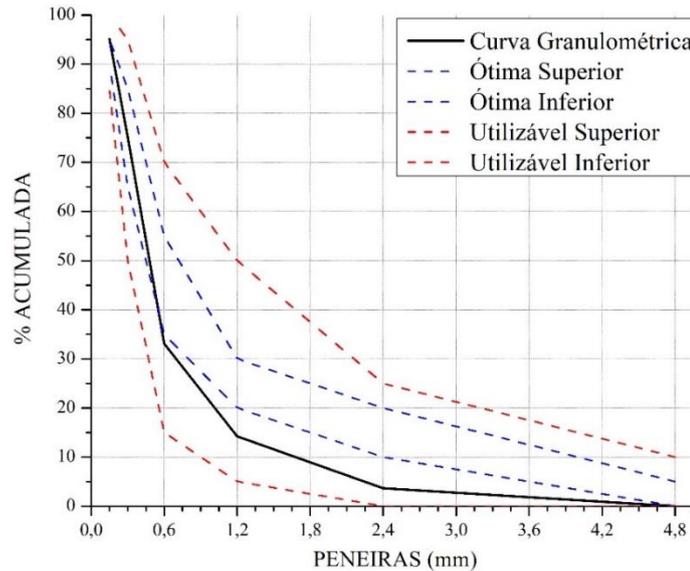
**Tabela 5**  
Determinação da composição granulométrica da areia natural

PENEIRA – Série ABNT (mm)	AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		MÉDIAS	
	Massa Retida (g)	% Retida	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida	% Retida Acumulada
4,8	0	0	0	0	0	0
2,4	35,3	3,53	37,2	3,73	3,63	3,63
1,2	104,8	10,49	106,7	10,70	10,59	14,22
0,6	189,9	19,00	186,9	18,74	18,87	33,09
0,3	418,8	41,90	419,2	42,03	41,97	75,06
0,15	208,1	20,82	192,3	19,28	20,05	95,11
Fundo	42,6	4,26	55	5,51	4,89	100,00
Total	999,5	100,00	997,3	100	100,00	321,11
Massa total (g)	1000		1000		1000	
<b>MF - MÓDULO DE FINURA</b>						3,21
<b>DMC - DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm)</b>						2,4

Fonte: Construção do autor (2019).

Além da distribuição granulométrica, a referida norma também determina o cálculo e a definição de parâmetros como o módulo de finura (MF) e a dimensão máxima característica (DMC) do agregado, que são fatores úteis como informação para métodos de dosagem, por exemplo, e até para o projeto estrutural. De acordo com a ABNT NBR 7211/2009, o MF apresentado pela areia natural, utilizada no estudo como referência, se enquadra dentro dos limites superiores utilizáveis, sendo assim, essa pode ser classificada como areia média.

Em relação aos resultados apresentados pela Tabela 5, pode-se avaliá-los pela ABNT NBR 7211/2009 que especifica limites de distribuição granulométrica de agregados miúdos. A Figura 20 traz a curva granulométrica da areia natural em comparação aos limites constantes na referida norma.



**Figura 20** - Composição granulométrica da areia natural de referência  
Fonte: Construção do autor (2019).

Observa-se na Figura 20 que a curva granulométrica referente a areia natural se manteve dentro dos limites ótimos até cerca de 0,60 mm, tendendo aos limites utilizáveis inferiores, caracterizando um agregado com fração fina predominante.

Em relação ao resíduo beneficiado utilizado no estudo como alternativa ao agregado miúdo natural, a Tabela 6 mostra os resultados obtidos do ensaio para determinação de sua composição granulométrica, conforme as prescrições da ABNT NBR NM 248/2003. Reitera-se que esse agregado foi obtido através do beneficiamento de resíduos de elementos pré-moldados de concreto.

**Tabela 6**

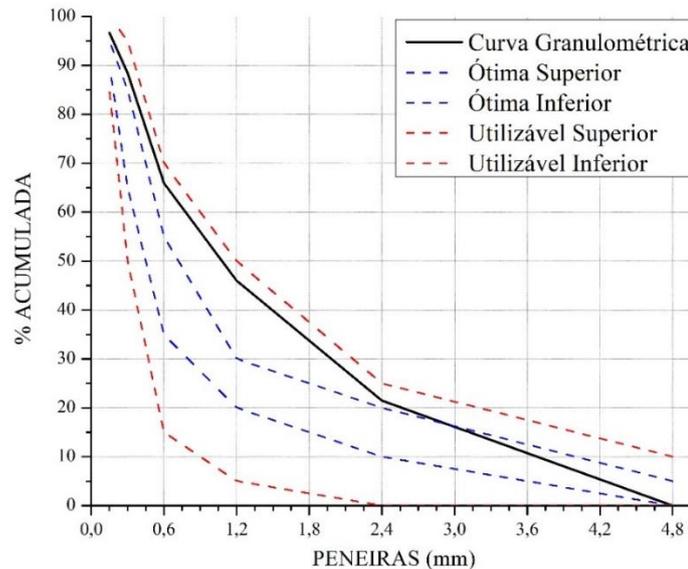
Determinação da composição granulométrica do resíduo beneficiado

PENEIRA – Série ABNT (mm)	AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		MÉDIAS	
	Massa Retida (g)	% Retida	Massa Retida (g)	% Retida	% Retida	% Retida Acumulada
4,8	0	0	0	0	0	0
2,4	64,5	21,46	64,6	21,50	21,48	21,48
1,2	72,8	24,23	74,6	24,83	24,53	46,01
0,6	58,7	19,53	61,1	20,34	19,94	65,95
0,3	68,2	22,70	66,7	22,20	22,45	88,40
0,15	25,8	8,59	24	7,99	8,29	96,68
Fundo	10,5	3,49	9,4	3,13	3,31	100,00
TOTAL	300,5	100,00	300,4	100,00	100,00	418,51
Massa Inicial (g)	301		300,8		300,9	
<b>MF - MÓDULO DE FINURA</b>						4,18
<b>DMC - DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm)</b>						4,8

Fonte: Construção do autor (2019).

Dos resultados apresentados pela Tabela 6 é possível afirmar que o resíduo beneficiado proposto consiste em um material composto por grãos de maiores dimensões quando comparado à areia natural, tendo em vista principalmente seu módulo de finura superior.

A Figura 21 traz a curva granulométrica do agregado miúdo reciclado em comparação aos limites de distribuição granulométrica constantes na ABNT NBR 7211/2009.



**Figura 21** - Composição granulométrica do agregado reciclado  
Fonte: Construção do autor (2019).

Em comparação à curva ilustrada pela Figura 20 (areia natural), observa-se na Figura 21 que o agregado miúdo reciclado possui sua composição tendendo mais ao limite utilizável superior. Como citado, essa discrepância se dá pela superioridade do módulo de finura do resíduo beneficiado, que o caracteriza como areia muito grossa.

Segundo Sbrighi Neto (1999), a granulometria dos agregados interfere diretamente em propriedades como resistência mecânica, retração, massa unitária, módulo de elasticidade, entre outras (Quadro 1). Sendo assim, para que essa divergência em relação à granulometria de ambos os materiais utilizados no presente estudo não viesse a ser uma variável nos ensaios de caracterização subsequentes, foi realizada uma adequação no momento da dosagem da argamassa compondo uma granulometria de referência baseada na composição granulométrica da areia natural obtida no comércio local, conforme indicado na Tabela 7.

**Tabela 7**  
Composição granulométrica de referência

<b>PENEIRA</b>	<b>% RETIDA</b>
4,8	0%
2,4	4%
1,2	11%
0,6	18,5%
0,3	42%
0,15	17%
Fundo	7,5%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

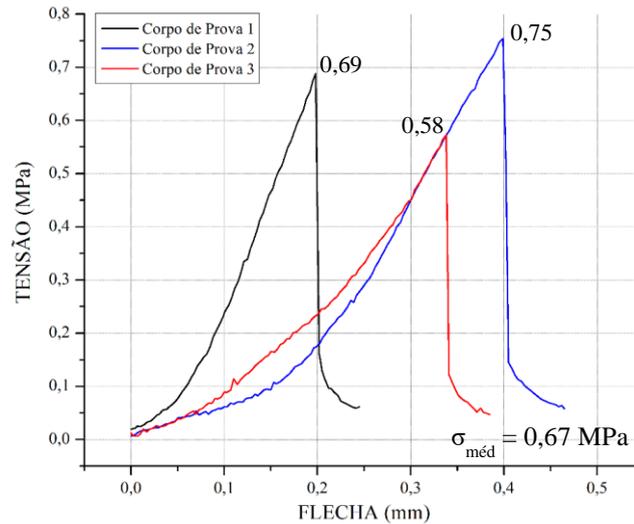
Fonte: Construção do autor (2019).

Dessa forma, a granulometria baseada na composição granulométrica do agregado natural foi utilizada na dosagem da argamassa, tanto para o agregado natural quanto para o agregado reciclado, seguindo restritamente a distribuição granulométrica apresentada pela Tabela 7, visando a constância desse parâmetro para os ensaios de caracterização posteriores.

## **5.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO AOS 28 DIAS**

### **5.2.1 TRAÇO DE ARGAMASSA - 1:2:6**

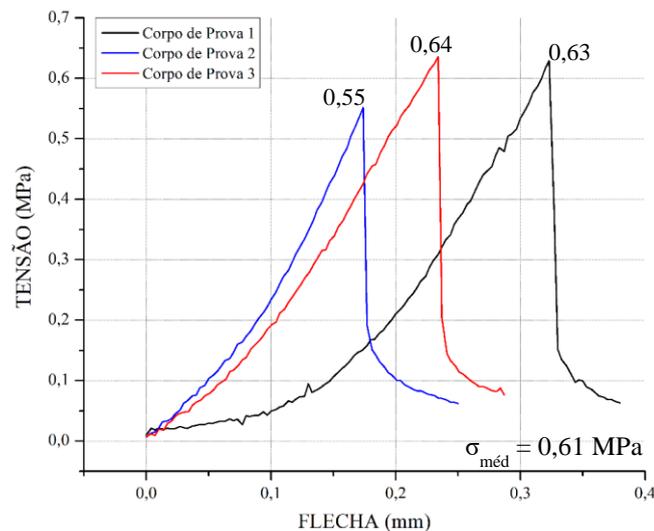
A Figura 22 apresenta graficamente o resultado do ensaio de resistência à tração na flexão correspondente ao traço 1:2:6 de argamassa reciclada, onde o eixo das abcissas informa a flecha (mm) correspondente à tensão de tração na flexão (MPa), calculada através da Equação 1, de cada corpo de prova (CP).



**Figura 22** - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:6 de argamassa reciclada  
Fonte: Construção do autor (2019).

A Figura 22 mostra uma natural diferença entre os resultados de resistência individual de cada corpo de prova. Temos para o CP 1, CP 2 e CP 3, respectivamente, os valores máximos de resistência de 0,69 MPa, 0,75 MPa e 0,58 MPa. Nesse sentido, a ABNT NBR 13279/2005 permite o cálculo da resistência média para os três corpos de prova ensaiados, ou seja, o valor de resistência à tração na flexão média para o traço 1:2:6 de argamassa reciclada é de 0,67 MPa, com desvio absoluto máximo de 0,1 MPa.

De forma semelhante, para efeitos de comparação, foi realizado o mesmo procedimento para argamassa produzida com areia natural seguindo a mesma dosagem. A Figura 23 apresenta graficamente o resultado do ensaio de resistência à tração na flexão.



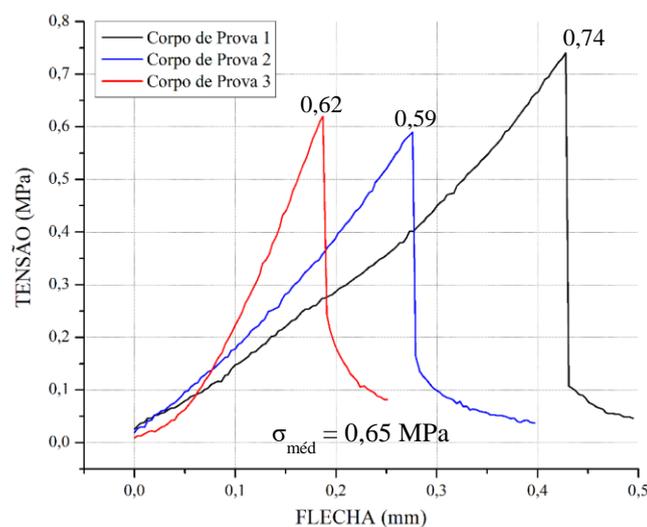
**Figura 23** - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:6 de argamassa mista comum  
Fonte: Construção do autor (2019).

Observa-se que para o CP 1, temos uma resistência máxima individual de 0,63 MPa enquanto que para o CP 2 e CP 3, temos 0,55 MPa e 0,64 MPa, respectivamente. Portanto, a resistência média à tração na flexão da amostra de argamassa mista comum é de 0,61 MPa, com desvio absoluto máximo de 0,1 MPa.

Conclui-se que, para um traço de 1:2:6, a argamassa reciclada apresentou desempenho superior nos ensaios de resistência à tração na flexão quando comparada à argamassa mista comum da mesma forma como foi observado por Ishikawa (2009) no estudo de argamassas recicladas. Enquanto que, para a primeira, obteve-se resistência média de 0,67 MPa, para a segunda, o valor foi de 0,61 MPa, sendo que ambas possuem desvio absoluto máximo de 0,1 MPa. Reitera-se ainda que todos os corpos de prova ensaiados, quer constituídos de agregado natural, quer constituídos de agregado reciclado, seguiram a mesma composição granulométrica constante na Tabela 7.

### 5.2.2 TRAÇO DE ARGAMASSA - 1:2:8

A Figura 24 apresenta graficamente o resultado do ensaio de resistência à tração na flexão correspondente ao traço 1:2:8 de argamassa reciclada, onde o eixo das abcissas informa a flecha (mm) correspondente à tensão de tração na flexão (MPa), calculada através da Equação 1, de cada corpo de prova (CP).

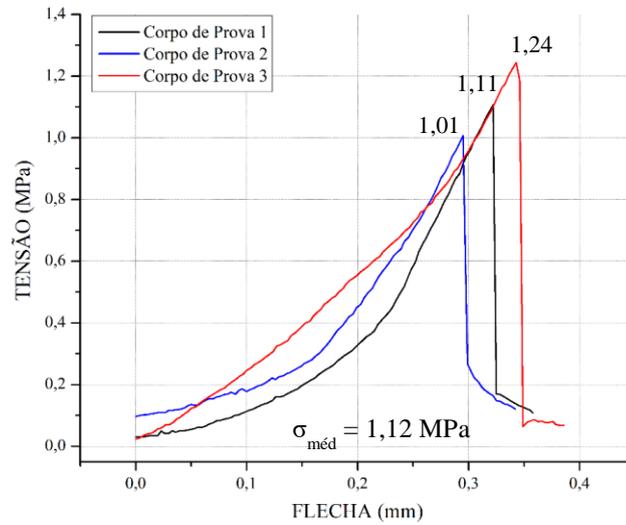


**Figura 24** - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:8 de argamassa reciclada  
Fonte: Construção do autor (2019).

Os valores máximos de resistência à tração na flexão para o CP 1, CP 2 e CP 3 correspondem à 0,74 MPa, 0,59 MPa e 0,62 MPa, respectivamente. Desse modo, a resistência

média para o traço 1:2:8 de argamassa reciclada é de 0,65 MPa, com desvio máximo absoluto de 0,1 MPa.

De maneira similar, foram moldados três corpos de prova com o mesmo traço de argamassa, utilizando para esse caso, a areia natural obtida no comércio local como agregado miúdo. A Figura 25 apresenta graficamente o resultado do ensaio de resistência à tração na flexão correspondente ao traço 1:2:8 de argamassa mista comum.



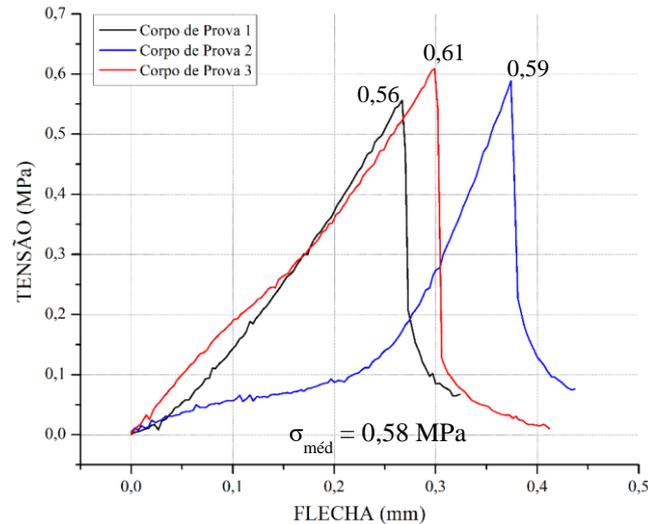
**Figura 25** - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:8 de argamassa mista comum  
Fonte: Construção do autor (2019).

Para CP 1, CP 2 e CP 3, temos os valores máximos de resistência de 1,11 MPa, 1,01 MPa e 1,24 MPa, respectivamente. Portanto, o valor de resistência à tração na flexão média para o traço 1:2:8 de argamassa mista comum é de 1,12 MPa, com desvio absoluto máximo de 0,1 MPa.

Para o traço 1:2:8, na comparação com a argamassa mista comum, constatou-se considerável inferioridade no desempenho da argamassa reciclada, ao contrário do que pôde-se observar na utilização do traço 1:2:6.

### 5.2.3 TRAÇO DE ARGAMASSA - 1:2:9

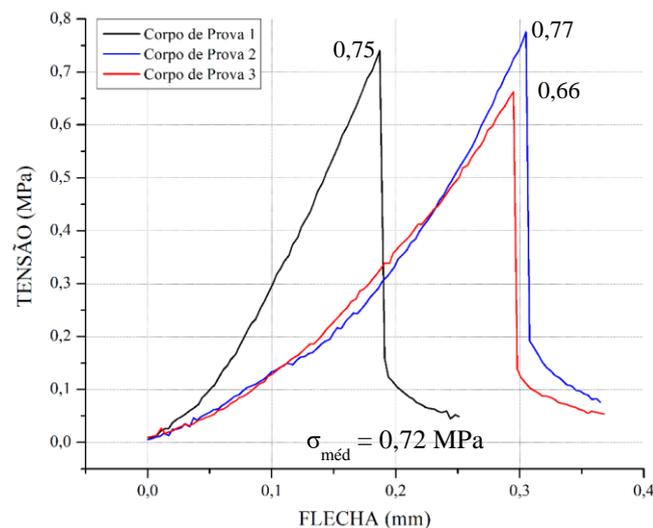
A Figura 26 apresenta graficamente o resultado do ensaio de resistência à tração na flexão correspondente à proporção 1:2:9 de argamassa reciclada.



**Figura 26** - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:9 de argamassa reciclada  
Fonte: Construção do autor (2019).

Os corpos de prova, chamados CP 1, CP 2 e CP 3 apresentaram valores máximos de resistência à tração na flexão correspondentes à 0,56 MPa, 0,59 MPa e 0,61 MPa, respectivamente. Desse modo, a resistência média para o traço 1:2:9 de argamassa reciclada é de 0,58 MPa, com desvio máximo absoluto de 0,1 MPa.

Para efeitos de comparação de desempenho, o mesmo procedimento foi realizado utilizando o agregado natural na composição da argamassa. A Figura 27 apresenta graficamente o resultado do ensaio de resistência à tração na flexão da argamassa mista comum.



**Figura 27** - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:9 de argamassa mista comum  
Fonte: Construção do autor (2019).

A Figura 27 apresenta resultados de resistência máxima individual para cada corpo de prova ensaiado que correspondem à 0,75 MPa, 0,77 MPa e 0,66 MPa para o CP 1, CP 2 e CP

3, respectivamente. Nesse caso, a resistência à tração na flexão média, calculada conforme a ABNT NBR 13279/2005, é de 0,72 MPa, com desvio máximo absoluto de 0,1 MPa.

Em resumo, a Tabela 8 apresenta os resultados de resistência média à tração na flexão obtidos para cada traço de argamassa, reciclada e de referência.

**Tabela 8**  
Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão

TRAÇO	AGREGADO RECICLADO	AGREGADO NATURAL
	Resistência média (MPa)	Resistência média (MPa)
1:2:6	0,67	0,61
1:2:8	0,65	1,12
1:2:9	0,58	0,72

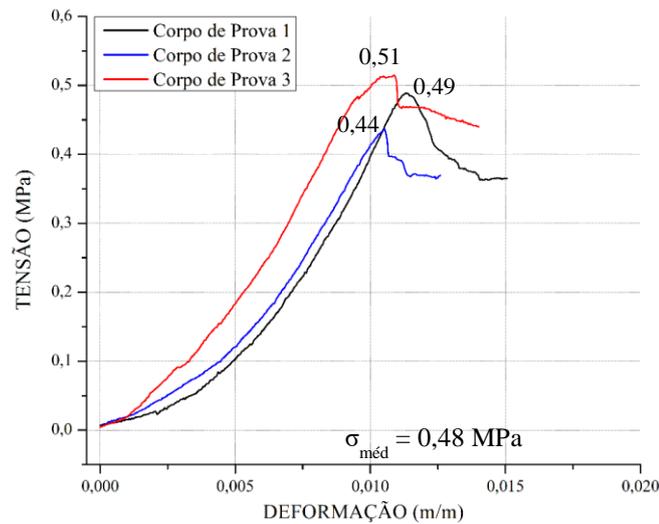
Fonte: Construção do autor (2019).

Assim como ficou constatado na utilização do traço 1:2:8, como o único parâmetro teoricamente variável em todas as composições foi o próprio agregado miúdo, observa-se que, conforme a quantidade de agregado aumenta na mistura, o desempenho da argamassa reciclada cai consideravelmente quando comparado ao desempenho da argamassa mista comum. No traço 1:2:6, que é a dosagem proposta com menos agregado miúdo, em relação ao ensaio em questão, a argamassa reciclada mostrou-se funcionalmente superior à argamassa mista comum, já nos traços subsequentes com maior quantidade de agregado (1:2:8 e 1:2:9), o que pôde-se notar foi um desempenho superior da argamassa composta de areia natural.

### 5.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL AOS 28 DIAS

#### 5.3.1 TRAÇO DE ARGAMASSA - 1:2:6

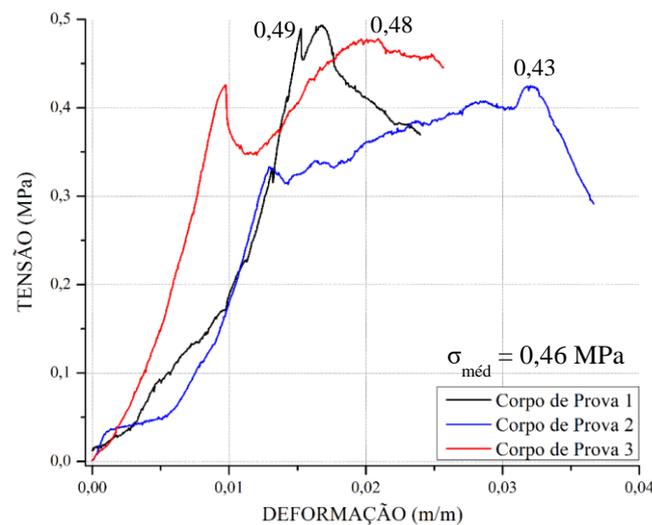
Para o ensaio de determinação da resistência à compressão axial foram utilizadas as metades dos corpos de prova de argamassa reciclada rompidos à tração na flexão, conforme as regulamentações da ABNT NBR 13279/2005. A Figura 28 apresenta graficamente o resultado do ensaio de resistência à compressão axial correspondente à proporção 1:2:6 de argamassa reciclada, onde o eixo das abcissas informa a deformação específica (m/m) correspondente à tensão de compressão axial (MPa), calculada através da Equação 4, de cada corpo de prova (CP).



**Figura 28** - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:6 de argamassa reciclada  
Fonte: Construção do autor (2019).

Desse modo, temos para a CP 1, CP 2 e CP 3, respectivamente, os valores máximos de resistência de 0,49 MPa, 0,44 MPa e 0,51 MPa. Nesse caso, o valor de resistência à compressão axial média para o traço 1:2:6 de argamassa reciclada é de 0,48 MPa, com desvio absoluto máximo de 0,1 MPa.

De forma análoga, todo o processo foi repetido utilizando dessa vez, agregado natural na composição da argamassa e os resultados são apresentados na Figura 29.



**Figura 29** - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:6 de argamassa mista comum  
Fonte: Construção do autor (2019).

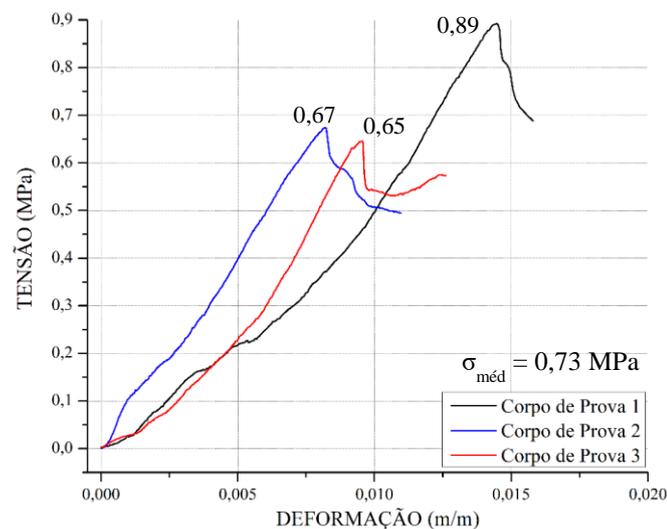
Para a argamassa mista comum com traço 1:2:6, obteve-se os seguintes valores máximos de resistência à compressão para o CP 1, CP 2 e CP 3, respectivamente: 0,49 MPa, 0,43 MPa e

0,48 MPa. Dessa forma, a resistência à compressão axial média para a amostra é de 0,46 MPa, com desvio absoluto máximo de 0,1 MPa.

Observa-se que para esse traço especificamente, com resistência à compressão média de 0,48 MPa, considerando o desvio absoluto máximo de 0,1 MPa, a argamassa reciclada apresentou resultados ligeiramente superiores em comparação à argamassa mista comum.

### 5.3.2 TRAÇO DE ARGAMASSA – 1:2:8

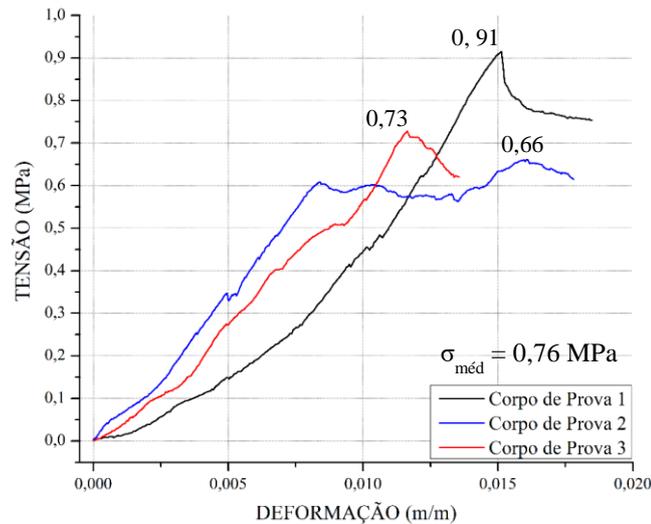
A Figura 30 apresenta graficamente o resultado do ensaio de resistência à compressão axial correspondente ao traço 1:2:8 de argamassa reciclada.



**Figura 30** - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:8 de argamassa reciclada  
Fonte: Construção do autor (2019).

A Figura 30 apresenta a curva tensão-deformação para cada corpo de prova de argamassa reciclada rompido por compressão axial após 28 dias, denominados CP 1, CP 2 e CP 3. Os valores máximos de resistência à compressão individual para cada um deles corresponde à 0,89 MPa, 0,67 MPa e 0,65 MPa, respectivamente. Desse modo, a resistência média à compressão axial para o traço 1:2:8 de argamassa reciclada é de 0,73 MPa, com desvio máximo absoluto de 0,2.

Para efeitos de comparação, também foram ensaiadas as metades dos corpos de prova rompidas à tração na flexão de argamassa mista comum compostas do traço 1:2:8 e o resultado é ilustrado pela Figura 31.



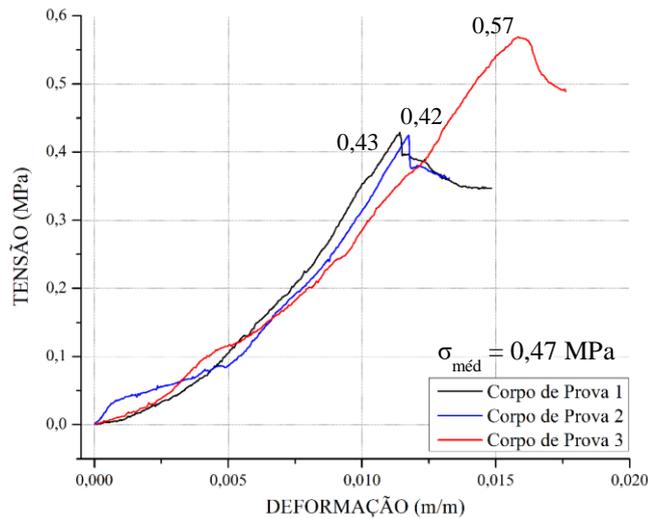
**Figura 31** - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:8 de argamassa mista comum  
Fonte: Construção do autor (2019).

Temos para o CP 1, CP 2 e CP 3, respectivamente, os valores máximos de resistência individual de 0,91 MPa, 0,66 MPa e 0,73 MPa. Nesse caso, o valor de resistência à compressão axial média para o traço 1:2:8 de argamassa mista comum é de 0,76 MPa, com desvio absoluto máximo de 0,2.

Nota-se que a argamassa mista comum apresentou melhor desempenho em comparação à argamassa reciclada, ao contrário do que se constatou no traço 1:2:6. Ressalta-se que os corpos de prova utilizados para o ensaio de resistência à compressão axial são os mesmo utilizados para o ensaio de resistência à tração na flexão, ou seja, a variável nesse caso também se resume à quantidade de agregado miúdo na mistura de argamassa.

### 5.3.3 TRAÇO DE ARGAMASSA – 1:2:9

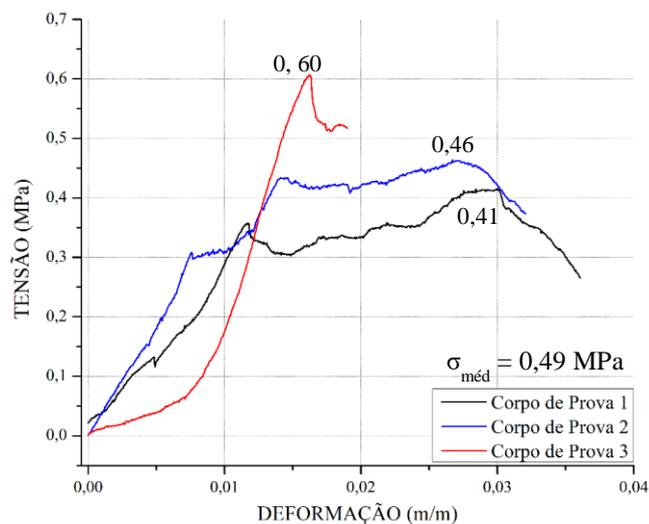
A Figura 32 apresenta graficamente o resultado do ensaio de resistência à compressão axial correspondente à proporção 1:2:9 de argamassa reciclada, onde o eixo das abcissas informa a deformação específica (m/m) correspondente à tensão de compressão axial (MPa), calculada através da Equação 4, de cada corpo de prova (CP).



**Figura 32** - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:9 de argamassa reciclada  
Fonte: Construção do autor (2019).

Para cada corpo de prova de argamassa reciclada rompido por compressão axial após 28 dias, denominados CP 1, CP 2 e CP 3, temos valores máximos de resistência à compressão individual de 0,43 MPa, 0,42 MPa e 0,57 MPa, respectivamente. Desse modo, a resistência média para o traço 1:2:9 de argamassa reciclada é de 0,47 MPa, com desvio máximo absoluto de 0,1.

De maneira similar, os corpos de prova confeccionados com argamassa mista comum também foram ensaiados à compressão axial e os resultados são apresentados pela Figura 33.



**Figura 33** - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova correspondentes ao traço 1:2:9 de argamassa mista comum  
Fonte: Construção do autor (2019).

A Figura 33 mostra uma natural diferença entre os resultados de resistência individual de cada corpo de prova. Temos para o CP 1, CP 2 e CP 3, respectivamente, os valores máximos

de resistência de 0,41 MPa, 0,46 MPa e 0,60 MPa. Sendo assim, o valor de resistência à compressão axial média para o traço 1:2:9 de argamassa mista comum é de 0,49 MPa, com desvio absoluto máximo de 0,1 MPa.

Em resumo, a Tabela 9 apresenta os resultados de resistência média à compressão axial obtidos para cada traço de argamassa, reciclada e de referência.

**Tabela 9**  
Resultados do ensaio de resistência à compressão axial

TRAÇO	AGREGADO RECICLADO	AGREGADO NATURAL
	Resistência média (MPa)	Resistência média (MPa)
1:2:6	0,48	0,46
1:2:8	0,73	0,76
1:2:9	0,47	0,49

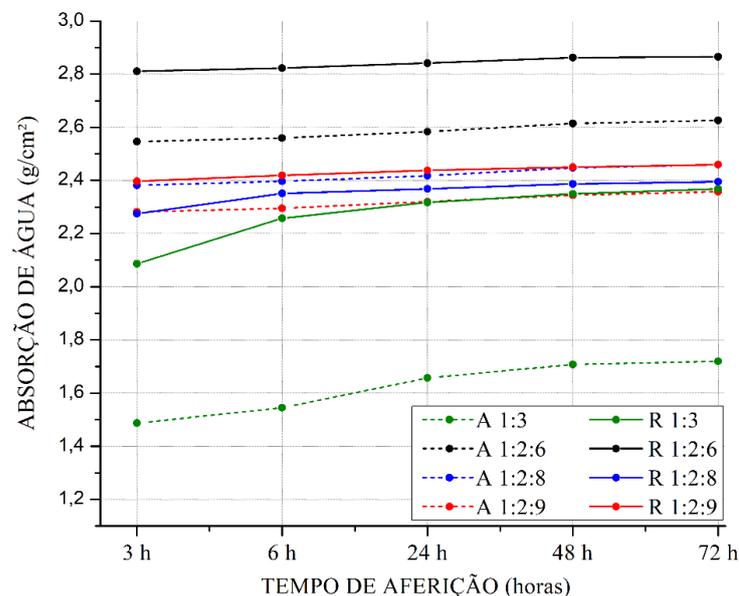
Fonte: Construção do autor (2019).

Desse modo, para o traço 1:2:9, assim como constatado no traço 1:2:8, o desempenho da argamassa mista comum foi ligeiramente superior na comparação com a argamassa reciclada, 0,2 MPa e 0,3 MPa, respectivamente. Observa-se que o aumento da quantidade de agregado na mistura é um fator relevante na variação de desempenho da argamassa reciclada, entretanto, tratando-se de resistência à compressão, nota-se que essa diferença é menor quando comparada à discrepância apresentada em relação à resistência à tração na flexão das argamassas ensaiadas. Destaca-se, portanto, a proximidade dos valores de resistência à compressão obtidos, de modo que, em todos os traços, a argamassa que apresentou pior desempenho obteve resistência equivalente a cerca de 96% da argamassa com desempenho superior, demonstrando resultados satisfatórios com relação à compressão axial, destacando-se o traço 1:2:8 que apresentou resultado superior às demais argamassas recicladas e compatível com o resultado obtido para argamassas comuns.

Além disso, conforme Neville e Brooks (2013), é demonstrado que para relações elevadas de agregado/cimento, mantendo a relação água/cimento, misturas pobres resultam em maiores resistências, como foi observado na variação que ocorreu da dosagem 1:2:6 para 1:2:8. Todavia, destaca-se a necessidade de mais dosagens experimentais para se obter relações de melhor desempenho das argamassas, pois se observou nova redução de resistência entre os traços 1:2:8 e 1:2:9. Destaca-se ainda que apesar da elevação da relação agregado/cimento entre as relações 1:2:6 e 1:2:9 foi mantida praticamente inalterada a resistência à compressão.

## 5.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Para o ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade, além dos traços utilizados anteriormente, também foi utilizado o traço de argamassa de cimento Portland 1:3 (cimento Portland : agregado miúdo) com relação água/cimento de 0,48 conforme prescrito na ABNT NBR 7215/1996. A referida norma, apesar de não ser a regulamentadora do ensaio em questão, especifica nesse caso, além do tal traço, a moldagem dos corpos de prova a serem utilizados. A Figura 34 apresenta a análise dos resultados obtidos do ensaio de absorção de água por capilaridade seguindo as prescrições da ABNT NBR 9779/2012, conforme descrito em 4.7.



**Figura 34** - Resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade (ABNT NBR 9779/2012)  
Fonte: Construção do autor (2019).

Observa-se que para o traço 1:3 especificado pela ABNT 7215/1996, a argamassa produzida com o resíduo beneficiado (R 1:3) apresentou valores de absorção de água superiores quando comparada à amostra de argamassa produzida com areia natural (A 1:3) nas mesmas condições de ensaio, o que pode ser explicado pela baixa relação água/cimento solicitada pela norma (0,48) que dificultou sobremaneira o adensamento do corpo de prova, agravada pela elevada porosidade existente no agregado reciclado de concreto (ARC), que segundo Neville (2016), diminui a trabalhabilidade do concreto fresco, podendo-se concluir que também afetou a trabalhabilidade da argamassa fresca influenciando no adensamento e cura, gerando maior porosidade e absorção. O mesmo comportamento é constatado quando comparados os traços 1:2:6 e 1:2:9, com exceção para o traço 1:2:8, onde a argamassa mista comum apresentou valores ligeiramente superiores. Esse comportamento era esperado, visto que de acordo com

Neville (2016), em razão do ARC ser composto principalmente de argamassa envelhecida, esse possui maior absorção.

Em resumo, a Tabela 10 apresenta os resultados de absorção de água por capilaridade obtidos para cada traço de argamassa, reciclada e de referência.

**Tabela 10**  
Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade

TRAÇO	AGREGADO RECICLADO					AGREGADO NATURAL				
	Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )					Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )				
	3 h	6h	24h	48h	72h	3h	6h	24h	48h	72h
1:2:6	2,81	2,82	2,84	2,86	2,87	2,54	2,56	2,58	2,61	2,62
1:2:8	2,27	2,35	2,37	2,39	2,40	2,38	2,39	2,41	2,44	2,46
1:2:9	2,39	2,42	2,44	2,45	2,46	2,28	2,29	2,32	2,34	2,35
1:3	2,10	2,25	2,31	2,35	2,37	1,48	1,54	1,65	1,70	1,72

Fonte: Construção do autor (2019).

Em relação aos traços de argamassa reciclada, observa-se que o traço 1:2:8 foi o único que apresentou melhores resultados, com uma absorção de água ligeiramente menor, quando comparado à argamassa mista comum. Os demais traços, com exceção da proporção 1:3, obtiveram resultados de absorção ligeiramente superiores, o que demonstra compatibilidade entre o comportamento das argamassas.

Destaca-se o traço 1:2:6, que apresentou resistência à tração na flexão e compressão axial superiores na comparação com a argamassa mista comum, da mesma forma como foi observado por Ishikawa (2009), sendo que os valores de absorção de água por capilaridade foram apenas 9%-10% superiores nessa mesma comparação, tendo em vista que, segundo Tanaka et al (2010), absorção excessiva pode gerar proliferação de fungos e bactérias danosos aos usuários, além de ocasionar deslocamentos na argamassa e num possível revestimento, gerando descascamento da pintura.

Nesse contexto, o traço 1:2:9 de argamassa reciclada apresentou resultados de absorção superiores em aproximadamente 5%-6% na comparação com a argamassa mista comum de mesma proporção. Constatou-se ainda, para essa dosagem de argamassa reciclada, valores de resistência à tração na flexão e compressão axial equivalentes a respectivos 81% e 96% dos valores apresentados pela argamassa mista comum. Ou seja, na proporção 1:2:9, a argamassa reciclada também obteve resultados positivos, mesmo que não superiores aos apresentados pela argamassa mista comum.

Já o traço de argamassa reciclada 1:2:8 foi o único a apresentar melhores resultados de absorção de água por capilaridade na comparação com a argamassa mista comum de mesma proporção, além de apresentar valores de resistência à compressão axial e equivalentes à 96% da resistência da argamassa comum e superiores na comparação com os outros traços de argamassa reciclada.

Dessa forma, observa-se que todos os traços desenvolveram resultados positivos em algum dos ensaios de caracterização realizados, o que destaca a necessidade da continuidade das análises no sentido de explorar essas dosagens em mais critérios e avaliar novas dosagens experimentais.

## **5.5 POSSÍVEIS APLICAÇÕES DA ARGAMASSA RECICLADA**

A partir dos ensaios realizados, ficou constatado que duas das três dosagens (1:2:6 e 1:2:9) de argamassa reciclada realizadas no presente estudo obtiveram resultados satisfatórios na comparação com a argamassa mista comum, sendo que a terceira (1:2:8) só obteve desempenho inferior em um dos testes (tração na flexão). Entretanto, ressalta-se que o estudo acerca da argamassa proposta precisa necessariamente ser mais profundo para que essa se enquadre dentro dos requisitos de desempenho constantes nas normas regulamentadoras. Além disso, existe a necessidade do conhecimento de outras propriedades, como trabalhabilidade, resistência de aderência, retenção de água, entre outras, englobando um maior campo amostral, de modo que se obtenha uma melhor e mais completa caracterização desse material.

Todavia, pode-se concluir que, por possuir propriedades de resistência à tração na flexão, compressão axial e capacidade de absorção de água pelo menos equivalentes às propriedades desenvolvidas pela argamassa mista comum, conforme levantado pelo estudo, a argamassa reciclada com traços 1:2:6 e 1:2:9 pode ser utilizada como uma possível alternativa à argamassa mista comumente empregada na construção em seus diversos locais de aplicação.

Acerca disso, Carasek (2017) relaciona as principais propriedades das argamassas com as suas respectivas funções. Para a caracterização realizada pelo presente estudo, pode-se optar, por exemplo, por aplicações em assentamento de alvenaria, emboço e camada única, contrapiso, tendo em vista que, segundo a autora, essas funções estão relacionadas, dentre outras propriedades, à resistência mecânica e absorção de água. Lembrando que, ainda é necessária uma melhor caracterização desse material em relação a outras propriedades importantes da argamassa.

## CONCLUSÃO

Diante do estudo apresentado, constatou-se que há a possibilidade de se produzir argamassas recicladas utilizando em sua composição, agregado miúdo proveniente do beneficiamento de resíduos de elementos de concreto pré-moldados em substituição à areia natural comumente utilizada na fabricação de argamassas na construção civil.

Foi possível constatar positivamente que, em relação aos ensaios de tração na flexão, dois dos três traços (1:2:6 e 1:2:9) de argamassa reciclada utilizados no estudo desenvolveram valores próximos ou superiores à resistência de tração na flexão apresentados pela argamassa mista comum de mesmo traço e nas mesmas condições de ensaio. O traço 1:2:6 obteve resultados superiores nessa comparação, enquanto que o traço 1:2:9 apresentou 81% da resistência obtida pela argamassa mista comum.

Além disso, em relação aos ensaios de compressão axial, todos os três traços de argamassa reciclada utilizados no estudo desenvolveram valores próximos ou superiores aos resultados apresentados pela argamassa mista comum. Nesse caso, novamente o traço 1:2:6 obteve resultados superiores na comparação, enquanto que ambos os traços 1:2:8 e 1:2:9 apresentaram resistência equivalente a 96% da resistência obtida pela argamassa produzida com agregado miúdo natural.

Por outro lado, no ensaio de absorção de água por capilaridade observou-se que todos os traços de argamassa reciclada, com exceção do traço 1:2:8, apresentaram valores ligeiramente superiores de absorção na comparação com a argamassa mista comum.

Desse modo, sugere-se para trabalhos futuros, o desenvolvimento de um estudo relacionado à obtenção de uma curva de dosagem que permita um bom desempenho em relação à resistência mecânica associado a baixa absorção de água compatível com a aplicação na construção civil. Além disso, com destaque para o traço 1:2:6, que obteve inicialmente os melhores resultados, podem ser feitos mais ensaios de caracterização a fim de se determinar outras propriedades importantes da argamassa reciclada proposta pelo estudo. Conforme apontado em 3.3.2, a trabalhabilidade no estado fresco, a resistência de aderência e a capacidade de retenção de água são atributos muito importantes no que diz respeito às propriedades de argamassas.

Sendo assim, ainda em fase de estudo e desenvolvimento de suas propriedades, a argamassa produzida através da utilização de resíduos de peças de concreto pré-moldados prescreve a possibilidade do desenvolvimento de uma argamassa reciclada com características

semelhantes à argamassa comumente empregada na construção civil, utilizando como uma de suas matérias-primas, um RCC que visa a substituição de um agregado natural não-renovável.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Convite nº 06/2012 – Processo nº 3751/2012**: Agregados minerais para obras de construção civil e infraestrutura nas principais regiões metropolitanas do Brasil: diagnóstico e cenários da cadeia produtiva, com seus desafios e oportunidades. Brasília, 2012. 57 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998. 13 p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. Rio de Janeiro, 2004. 12 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005. 3 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005. 9 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 7 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010. 11 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012. 3 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia. Rio de Janeiro, 2013. 13 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017. 86 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. ABRELPE, 2018. 74 p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO (ANEPAC). **O Mercado de Agregados no Brasil**. ANEPAC, 2014. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON). **O que é entulho?**. ABRECON, 2011. Disponível em: <<https://abrecon.org.br/entulho/o-que-e-entulho/>>. Acesso em: 16 jan. 2019.

BACCI, D.L.C.; LANDIM, P.M.B.; ESTON, S.M. **Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana**. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rem/v59n1/a007.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

BEER, F.P. et al. **Mecânica dos Materiais**. Tradução Técnica de José Benaque Rubert e Walter Libardi. 5. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2011. 799 p.

BOLORINO, H.; CINCOTTO, M.A. **A influência do tipo de cimento nas argamassas**. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador, BA, 1997. p 15-25.

BRASIL. DECRETO Nº 12.305, DE 02 DE AGOSTO DE 2010. **Política Nacional dos Resíduos Sólidos**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 20 out. 2018.

BUTTLER, A.M. **Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – Influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados**. 2003. 199 p. Dissertação (Mestrado) – Programa De Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2003.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G.C (Org.). **Materiais de construção civil**. 3º ed. São Paulo: IBRACON, 2017. Volume 2, Cap. 26.

CARDOSO, F.A.; PILEGGI, R.G.; JOHN, V.M. **Técnicas de caracterização reológica de argamassas**. Boletim Técnico – Consórcio Setorial para Inovação Tecnológica em Revestimento de Argamassa, 2015. Disponível em: <<http://consitra.org.br/boletim-tecnico-manual-consitra-tecnicas-de-caracterizacao-reologica-de-argamassas/>>. Acesso em: 25 jan. 2019.

CARNEIRO, A.P. et al. **Caracterização do entulho de Salvador visando a produção de agregado reciclado**. Departamento de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal da Bahia, 2000. Disponível em: <[http://sinop.unemat.br/site\\_antigo/prof/foto\\_p\\_downloads/fot\\_124953\\_pdf\\_3.pdf](http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_124953_pdf_3.pdf)>. Acesso em: 30 jan. 2019.

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO FILHO, J.R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais e concreto armado: segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2016. 415 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **RESOLUÇÃO Nº 307, de 5 de julho de 2002**. Alterada pela Resolução Nº 469/2015, Resolução Nº 448/2012,

**Resolução N° 431/2011 e Resolução N° 348/2004.** Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em 10 out. 2018.

\_\_\_\_\_. **RESOLUÇÃO N° 348, de 16 de agosto de 2004.** Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449>>. Acesso em: 10 out. 2018.

\_\_\_\_\_. **RESOLUÇÃO N° 431, de 24 de maio de 2011.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>>. Acesso em: 10 out. 2018.

\_\_\_\_\_. **RESOLUÇÃO N° 448, de 18 de janeiro de 2012.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=672>>. Acesso em: 10 out. 2018.

\_\_\_\_\_. **RESOLUÇÃO N° 469, de 29 de julho de 2015.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=714>>. Acesso em: 10 out. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DPNM). **Sumário Mineral 2016.** DNPM, 2018. 131 p.

FERREIRA, G.E; PEREIRA, L.S. **Mercados de agregados no Brasil.** Centro de Tecnologia Mineral, 2009. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1022/1/Cap%201%20Distiller.pdf>>. Acesso em 17 jan. 2019.

FERNANDEZ, J.A.B. **Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil.** 2012. 42 p. Relatório de Pesquisa – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, DF, 2012.

GONÇALVES, R.D.C. **Agregados reciclados de resíduos de concreto – Um novo material para dosagens estruturais.** 2001. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa De Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2001.

HEEMANN, F.W. **Substituição de agregado natural em argamassa por areia artificial.** 2014. 79 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, RS, 2014.

HOOD, R.S.S. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação.** 2006. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa De Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2006.

ISHIKAWA, P.H. **Argamassa para revestimento de alvenaria com areia artificial.** Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2009. Boletim técnico nº 26; pg 22-27. Disponível em: <<http://bt.fatecsp.br/system/articles/860/original/artigo66.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2018.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** 2000. 113 p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2000.

KAMOGAWA, L.F.O. **Crescimento econômico, uso dos recursos naturais e degradação ambiental: uma aplicação do modelo EKC no Brasil**. 2003. 121 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2003.

LA SERNA, H.A.; REZENDE, M.M. **Agregados para a construção civil**. Departamento Nacional de Produção Mineral, 2009. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>>. Acesso em: 15 out. 2018.

LOVATO, P.S. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto**. 2007. 182 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.

MARIANO, L.S. **Gerenciamento de resíduos da construção civil com reaproveitamento estrutural: estudo de caso de uma obra com 4.000m<sup>2</sup>**. 2008. 144 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concrete: microstructure, properties and materials**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2006. 659 p.

MESQUITA, E.F.T.; COELHO, F.C.A.; MONTENEGRO, I.N.S. **Comportamento do concreto autoadensável com pó de carnaúba submetido à condições naturais e aceleradas: análise da absorção de água por imersão, por capilaridade e permeabilidade à água sob pressão**. In. I Simpósio Latino Americano sobre Concreto Autoadensável, Maceió, AL, 2012. 18 p.

MOURA, C.A.M. **Síntese e caracterização de aglomerante hidráulico produzido com resíduo de telha cerâmica vermelha proveniente de fontes distintas**. 2018. 96 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Mato Grosso, Barra do Garças, MT, 2018.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 176 p.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888 p.

\_\_\_\_\_; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.

NOVAES, M.V.; MOURÃO, C.A.M.A. **Manual de Gestão Ambiental de Resíduos Sólidos na Construção Civil**. 1. ed. Fortaleza: Coopercon – Cooperativa da Construção Civil do Estado do Ceará, 2008. 100 p.

OLIVEIRA, M.E.D. et al. Diagnóstico da geração e da composição dos RCD de Fortaleza/CE. **Revista Engenharia Sanitária**, v 16, n° 3; 2011. p 219-224.

PITRODA, J. R.; UMRIGAR, F.S. Evaluation of Modulus of Elasticity of Concrete with Partial Replacement of Cement by Thermal Industry Waste (Fly Ash). **International Journal of Engineering Science and Innovative Technology**, vol. 2, nº 7, 2013.

PRADO, D.M. **Propriedades físicas e mecânicas de blocos estruturais produzidos com agregados reciclados de concreto**. 2006. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa De Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2006.

PRODANOV, C.C.; FREITAS, E.C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2 ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RECENA, F.A.P. **Conhecendo argamassa**. 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012. 189 p.

RÖHM, D.G.; MARQUES NETO, J.C.; RÖHM, S.A. **Gestão dos Resíduos da Construção Civil (RCC) em Canteiros de Obras de Empresas Construtoras da Cidade de São Carlos-SP, Brasil**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2013. Disponível em: <<http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n45/Pag.21-36.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2019.

SABBATINI, F.H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. 1984. 320 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1984.

SBRIGHI NETO, C. A Importância dos Conceitos Tecnológicos na Seleção dos Agregados para Argamassas e Concretos. **Revista Areia & Brita**. EMC Editores, 1999. nº 12; pg 26 e 27.

SERRA, S.M.B.; FERREIRA, M.A.; PIGOZZO, B.N. **Evolução dos Pré-fabricados de Concreto**. In. I Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-moldado, São Carlos, SP, 2005. 10 p.

SILVA, I.J.; LIBÓRIO, J.B.L. **A estrutura porosa de pasta, argamassa e concreto de cimento Portland e sua influência na durabilidade do concreto**. In. Anais do 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Florianópolis, SC, 1999. p 299-310.

SILVA, N.G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 2006. 181 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

SILVA, J.P.S. **Impactos ambientais causados por mineração**. Revista Espaço da Sophia. Mensal - Ano I; nº 08, 2007. Disponível em: <<http://www.registro.unesp.br/sites/museu/basededados/arquivos/00000429.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

SIRTOLI, A.S.C. **Industrialização da construção civil, sistemas pré-fabricados de concreto e suas aplicações**. 2015. 77 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

TANAKA, G.M. et al. **Efeitos do tipo de areia de resíduo de construção e demolição (RCD) nas propriedades de argamassa de cimento e areia**. In. Encontro Nacional de Tecnologia do

Ambiente Construído, 2010. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2010/arquivos/468.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2018.

TOZZI, R.F. **Estudo da influência do gerenciamento na geração dos resíduos da construção civil (RCC) – Estudo de caso de duas obras em Curitiba/PR.** 2006. 117 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

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

VALVERDE, F.M. **Agregados para construção civil.** Departamento Nacional de Produção Mineral – Balanço mineral brasileiro, 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/agregados-para-construcao-civil.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

VAN ACKER, A. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto.** Tradução de Marcelo de Araújo Ferreira. São Paulo, ABCIC, 2003.

VIEIRA, G.L. **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons de cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição.** 2003. 151 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2003.

YOSHIDA, A. T.; BARROS, M. M. S. B. **Caracterização de argamassas no estado fresco peculiaridades na análise de argamassas industrializadas.** In. I Simpósio Brasileiro De Tecnologia das Argamassas, Goiânia, GO, 1995. p 53-62.