

**FACULDADE DOCTUM**

**DIEGO VIEIRA CABRAL  
GABRIEL GANIMI POLASTRI**

**ARGAMASSAS NÃO CONVENCIONAIS:  
ANÁLISE COMPARATIVA DE ARGAMASSAS UTILIZANDO RCD PARA  
PRODUÇÃO**

**JUIZ DE FORA  
2020**

**DIEGO VIEIRA CABRAL  
GABRIEL GANIMI POLASTRI**

**ARGAMASSAS NÃO CONVENCIONAIS:  
ANÁLISE COMPARATIVA DE ARGAMASSAS UTILIZANDO RCD PARA  
PRODUÇÃO**

Monografia de Conclusão de Curso,  
apresentada ao curso de Engenharia  
Civil, Faculdade Doctum de Juiz de Fora,  
como requisito parcial à obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Mestre Ana Cristina  
Junqueira Ribeiro

**JUIZ DE FORA  
2020**

**Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca Faculdade Doctum/JF**

Cabral, Diego Vieira; Polastri, Gabriel Ganimi

Argamassas não convencionais / Diego Vieira Cabral,  
Gabriel Ganimi Polastri – Juiz de Fora, MG, 2020.

Nº folhas 59f.

Monografia Curso de Engenharia Civil – Faculdade  
Doctum Juiz de Fora.

1. Argamassa. 2. Agregado Reciclado 3. Resíduos  
Sólidos 4. Sustentabilidade. I. Título. II Faculdade Doctum Juiz de  
Fora

**DIEGO VIEIRA CABRAL  
GABRIEL GANIMI POLASTRI**

**ARGAMASSAS NÃO CONVENCIONAIS:  
ANÁLISE COMPARATIVA DE ARGAMASSAS UTILIZANDO RCD PARA  
PRODUÇÃO**

Monografia de Conclusão de Curso, submetida à Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada pela seguinte banca examinadora.

---

Prof.<sup>a</sup> Mestre Ana Cristina Junqueira Ribeiro

Orientadora e Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

---

Prof. Especialista Antônio de Pádua Pascini

Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

---

Prof. Mestre Henrique Guilherme David Zacarias

Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Examinada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradecemos a Deus pelo dom da vida, a saúde e a sabedoria ofertada a nós para que chegássemos até aqui, sem Ele sabemos que não seria possível. Em segundo lugar, porém não menos importante, agradecemos aos nossos pais Lucineia e Reinaldo e Elza e Antônio Eduardo, que pelo exemplo, educação e independente das dificuldades nos fizeram acreditar que nosso objetivo seria concluído com excelência, aos senhores e senhoras nosso muito obrigado. Aos nossos irmãos Thiago, Raphael e Gustavo que pela amizade e total apoio também contribuíram para nosso êxito. Aos filhos Antônio e Bernardo e a mãe Laura obrigado por serem nosso porto seguro e nossa motivação para buscarmos ser melhores a cada dia. Agradecemos também a nossa professora e orientadora Ana Cristina que nos auxiliou de forma excepcional nessa jornada, pessoa pela qual agradecemos também todos docentes da Faculdade Doctum. Por fim, agradecemos a todos amigos que de alguma forma estiveram presentes nessa árdua missão que é se formar Engenheiro Civil.

## RESUMO

CABRAL, Diego Vieira; POLASTRI, Gabriel Ganimi. **ARGAMASSAS NÃO CONVECIONAIS: Análise comparativa de argamassas utilizando RCD para produção.** 59f. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2020.

Considerado um dos setores que mais impacta o meio ambiente, seja na utilização de recursos não renováveis ou na ampla geração de resíduos sólidos, o ramo da construção civil vem buscando cada vez mais técnicas alternativas, sustentáveis e inovadoras para que esses impactos possam ser minimizados de forma significativa. Embora tais técnicas sejam recentes e pouco aplicadas no dia a dia, quando realizadas de maneira adequada diminuem consideravelmente o impacto ambiental causado por este ramo. Os estudos realizados para a produção de argamassas não convencionais, utilizando o próprio resíduo originado da construção e demolição, se tornam uma grande oportunidade para empresas e construtores, ao passo que reduzem os deslocamentos feitos do canteiro de obras até o descarte e diminuem o consumo de recursos naturais que diariamente são subtraídos do meio ambiente sem nenhum tipo de retorno. O presente trabalho tem por objetivo apresentar o processo da gestão dos resíduos sólidos e impactos por eles gerados, apresentar a viabilidade técnica da argamassa reciclada, especificamente da argamassa de revestimento, e apresentar ensaios que demonstram a substituição parcial e total do agregado natural pelo agregado reciclado (Resíduo de Construção e Demolição e Resíduo de Construção Civil). Para tanto, serão avaliados estudos de autores que aprofundaram neste assunto de maneira a retirar conclusões que propiciem um melhor entendimento sobre as características da argamassa reciclada quando comparada à argamassa convencional, no que tange a suas propriedades e resistências.

**Palavras-Chave:** Argamassa. Agregado Reciclado. Resíduos Sólidos. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

Considered one of the businesses that most impacts environment, using non-renewable resources and generating solid waste, construction industry is increasingly developing alternative, sustainable and innovative techniques in order to minimize these impacts in a significant way. Although these techniques are both new and not widely applied, when implemented correctly they tend to decrease the environmental impact caused by that branch considerably. The studies conducted to produce non-conventional mortar, using waste from construction and demolition, become a great opportunity for companies and constructors, whereas they reduce the displacements from the construction site to the discard area and decrease the consumption of natural resources that are daily subtracted from the environment without any compensation. The purpose of this work is to introduce the process of solid waste management and the impact they cause, present the technical feasibility of recycled mortar, specifically coating mortar, and show trials that demonstrate the partial or complete substitution of natural aggregate for recycled aggregate (Construction and Demolition Waste and Construction Waste). Studies whose authors deepened in this matter will be therefore evaluated in order to take conclusions that provide better understanding about the characteristics of recycled mortar compared to conventional mortar, in terms of their properties and resistances.

**KEYWORDS:** Mortar. Recycled Aggregate. Solid Waste. Sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Resíduos Classe A.....	19
Figura 2 – Resíduo Classe A e B .....	20
Figura 3 – Resíduos Classe D .....	21
Figura 4 – Impactos Ambientais Na Cadeia da Construção Civil.....	22
Figura 5 – Origem dos Resíduos.....	24
Figura 6 – Organograma do Processo de Gerenciamento de Resíduos .....	26
Figura 7 – Bomba de Vácuo.....	34
Figura 8 – Definição Do percentual de substituição por traço.....	41
Figura 9 – Curva Granulométrica Areia Comum – ESTUDO 1 .....	43
Figura 10 – Curva Granulométrica Resíduo – ESTUDO 1 .....	44
Figura 11 – Resultado de resistência compressão – ESTUDO 1 .....	45
Figura 12 – Curvas granulométricas - ESTUDO 2.....	48
Figura 13 – Resultados resistência compressão – ESTUDO 2 .....	49
Figura 14 – Curva granulométrica agregado natural – ESTUDO 3.....	51
Figura 15 – Curva granulométrica agregado reciclado – ESTUDO 3 .....	52
Figura 16 – Resultados resistência compressão – ESTUDO 3 .....	53



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) .....	21
Tabela 2 – Aplicação de Resíduos Reciclados.....	28
Tabela 3 – Classificação das Argamassas Quanto a Função .....	29
Tabela 4 – Classificação das Argamassas Quanto ao Critério.....	30
Tabela 5 – Tolerância do Tempo para Ruptura do Corpo de Prova .....	35
Tabela 6 – Classificação das Argamassas Quanto a Resistência a Compressão .....	36
Tabela 7 – Características dos Tipos de Cimento .....	38
Tabela 8 – Características do Cimento Utilizado – ESTUDO 1 .....	40
Tabela 9 – Características da Cal Utilizada – ESTUDO 1 .....	41
Tabela 10 – Definição dos Traços Adotados – ESTUDO 1 .....	42
Tabela 11 – Distribuição Granulométrica do Agregado Natural – ESTUDO 1 .....	42
Tabela 12 – Distribuição Granulométrica do Agregado Reciclado – ESTUDO 1 .....	44
Tabela 13 – Características Químicas da Cal Hidratada .....	46
Tabela 14 – Composição dos Traços de Cada Argamassa.....	47
Tabela 15 – Distribuição Granulométrica dos Agregados – ESTUDO 2 .....	48
Tabela 16 – Características Granulométrica Agregado Natural - ESTUDO 3.....	51
Tabela 17 – Características Granulométricas Agregado Reciclado – ESTUDO 3 ....	52
Tabela 18 – Resultados de Resistência a Compressão – ESTUDO 3.....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ABRECON	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO
AMN	AGREGADO MIÚDO NATURAL
AMR	AGREGADO MIÚDO RECICLADO
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
CH-I	CAL HIDRATADA
cm	CENTIMETROS
CP-IV-32	CIMENTO PORTLAND POZOLANICO
CREA	CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E ARQUITETURA
dm	DECIMETRO
g	GRAMAS
h	HORAS
IBRACON	INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO
Kg	KILOGRAMA
NBR	NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA
nº	NÚMERO
ml	MILILITRO
mm	MILÍMETRO
MPa	MEGA PASCAL
RCC	RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
RCD	RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

SEBRAE	SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS
PR	PARANÁ
SC	SANTA CATARINA

## LISTA DE SÍMBOLOS

+/-	APROXIMADAMENTE
C	CARBONO
°C	GRAU CELSIO
CaO	ÓXIDO DE CÁLCIO
CO <sub>2</sub>	DIÓXIDO DE CARBONO
%	PORCENTO
≥	MAIOR OU IGUAL
≤	MENOR OU IGUAL
μm	MICROMETRO
<sup>3</sup>	CÚBICO
<sup>2</sup>	QUADRADO
MgO	ÓXIDO DE MAGNÉSIO

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1. Objetivos .....	15
1.1.1. Objetivo geral .....	15
1.1.2. Objetivos específicos .....	15
<b>2. JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>16</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
3.1. Produção de resíduos da construção civil.....	17
3.2. Resíduos .....	17
3.2.1.1. Resíduos Classe A .....	18
3.2.1.2. Resíduos Classe B .....	19
3.2.1.3. Resíduos Classe C .....	20
3.2.1.4. Resíduos Classe D .....	20
3.3. Impactos causados pelos Resíduos de construção e demolição .....	21
3.4. Legislação .....	24
3.5. Gerenciamento de resíduos na construção civil.....	26
3.6. Aplicação de resíduos reciclados.....	27
3.7. Argamassas .....	29
3.7.1. Argamassa de revestimento.....	30
3.7.2. Argamassa de assentamento.....	31
3.7.3. Outros tipos de argamassa .....	31
3.7.4. Argamassa reciclada.....	32
3.7.5. Propriedades das argamassas.....	32
3.7.5.1. Trabalhabilidade .....	33
3.7.5.2. Consistência e plasticidade.....	33
3.7.5.3. Retenção de água.....	34
3.7.5.4. Aderência .....	34
3.7.5.5. Resistência mecânica .....	35
3.7.5.6. Durabilidade.....	36

3.8. Agregados .....	36
3.8.1. Agregado Natural .....	36
3.8.2. Agregado reciclado .....	37
3.8.3. Agregado miúdo .....	37
3.9. Cimento .....	37
3.10. Cal .....	38
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>39</b>
<b>5. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>40</b>
5.1. 1º Estudo .....	40
5.1.1. Materiais utilizados .....	40
5.1.2. Definição dos traços .....	41
5.1.3. Classificação granulométrica .....	42
5.1.4. Resistência a compressão .....	44
5.2. 2º Estudo .....	45
5.2.1. Materiais utilizados .....	46
5.2.2. Definição dos traços .....	47
5.2.3. Análise granulométrica .....	47
5.2.4. Resistência a compressão .....	49
5.3. 3º Estudo .....	49
5.3.1. Materiais utilizados .....	49
5.3.2. Definição dos traços .....	50
5.3.3. Análise granulométrica .....	50
5.3.4. Resistência a compressão .....	52
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>55</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O ramo da construção civil encontra-se no topo quando se refere a consumo de recursos naturais e geração de resíduos sólidos. Embora atualmente o assunto “sustentabilidade” estar em alta, há alguns anos pouco falava-se sobre o tema, fazendo com que este setor que gera grande quantidade de resíduos não realizasse uma boa gestão para descarte, reciclagem ou reaproveitamento.

Após o ano de 2002, o interesse por gerir melhor os RCD (Resíduos de construção e demolição) despertou estudos de técnicas para seu reaproveitamento tendo em vista a criação da Resolução do CONAMA nº 307 (Conselho Nacional do Meio Ambiente) a qual atribui ao construtor a destinação final dos resíduos por ele gerado de maneira responsável e adequada.

Uma das técnicas é o reaproveitamento deste resíduo gerado para produção de areia reciclada, podendo assim ser usada no processo de fabricação de uma argamassa não convencional. Esta argamassa pode ser utilizada para amplas áreas da construção civil como por exemplo: revestimento, assentamento e até mesmo para concreto que não necessite de função estrutural.

Neste Trabalho de Conclusão de Curso, estudou-se a comparação de argamassas utilizando agregado natural e agregado reciclado sendo substituídos parcial e totalmente, para que se obtivesse o conhecimento de suas propriedades e desempenho dentro de um canteiro de obras, com a finalidade de apresentar a possibilidade de substituição.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo geral**

O objetivo do presente estudo é mostrar a importância da gestão dos resíduos gerados pelo setor da construção civil especificamente para produção de argamassas, uma vez que, o bom gerenciamento deste volume residual pode acarretar uma economia no custo final de uma obra, além do surgimento de novas técnicas e reaproveitamento dos resíduos para a produção de argamassa de revestimento, esta produzida com resíduos de construção britados, visando a ampliação do uso deste tipo de produto.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Apresentar o processo da gestão dos resíduos e impactos gerados pelo descarte de resíduos de construção e demolição;
- Viabilidade técnica da argamassa de assentamento utilizando resíduos de construção ou demolição;
- Apresentar comparativos de traços utilizando agregados reciclados em argamassas de revestimento.



## 2. JUSTIFICATIVA

Um dos grandes problemas da construção civil, é a geração de resíduos, tanto no processo de construção quanto no de demolição. O fato de a geração de resíduos ser grande, implica no impacto ambiental para a região. Graças ao grande número de entulho gerado, os aterros não suportam a demanda e aumenta a cada dia o número de aterros clandestinos, e isto além do dano ambiental pode agravar os custos de administração pública.

Tomando como base a grande quantidade de resíduos produzidos e gerados pela construção civil e as vastas opções de utilização da argamassa e do concreto, uma opção é a inovação de processo de produção deste componente. Os resíduos antes descartados, muitas das vezes de maneira errada, podem ser utilizados na função de agregado para argamassa. A resolução nº 307/2002 do CONAMA, que regulamenta e estabelece diretrizes para a gestão dos resíduos sólidos e a classificação de cada tipo de resíduo, apontando assim quais tipos são reutilizáveis ou recicláveis.

O desconhecimento dos benefícios que a argamassa reciclada pode proporcionar a construtores e empresários faz com que tal prática seja pouco utilizada no cotidiano da construção civil. Portanto o estudo deste tema torna-se necessário para divulgação dos resultados favoráveis obtidos. O presente estudo que tem como objetivo apresentar o tema argamassas não convencionais, foi escolhido por tratar-se de um assunto que aplicado de maneira adequada pode trazer inúmeros benefícios ao meio ambiente, redução dos custos de uma obra e a diminuição dos problemas da administração pública quanto a descartes clandestinos de entulhos.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. Produção de resíduos da construção civil**

É estimado que a indústria da construção civil é responsável por consumir aproximadamente 50% de recursos naturais consumido pela sociedade (ÂNGULO, ZORDAN e JOHN, 2001). A construção civil é sem dúvidas um dos pilares da economia mundial, no Brasil o cenário não é diferente. (TEIXEIRA; CARVALHO, 2005).

A indústria da construção civil se destaca pela sua produção, mas consigo carrega um grande impacto, que é o de ser o principal responsável pela produção de resíduos sólidos no país, sendo líder neste quesito, um dado que corrobora este fato é o aumento de 6% na coleta de resíduos sólidos de 2010 para 2011, representando assim um aumento de 7195 toneladas/dia. (SANTOS; ISELLE; DIAS SILVA, 2019).

O resíduo gerado pela construção civil é inerte, ou seja, depois de gerado ele permanece por um longo tempo no meio ambiente, e com a baixa fiscalização facilitam o descarte em lugares inapropriados, o que contribui para um maior impacto ambiental. (SANTOS, ISELLE, DIAS SILVA, 2019).

#### **3.2. Resíduos**

A resolução nº 307/2002 do Conselho nacional do Meio Ambiente – CONAMA estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos Resíduos da Construção Civil e Demolição – RCD definido por:

“Resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultante da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeira e compensado, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”. (Brasil,2002, inciso I do art. 2º).

Resíduos da construção civil (RCC) são materiais que foram utilizados em algum tipo de obra de engenharia, e que posteriormente são tratados como materiais de descarte, por não terem mais finalidade ou aplicação a qual foi

designada. Os resíduos são geralmente produzidos pelo próprio método de construção utilizados ou por demolições de obras (RCD) já executadas que sofrerão modificações ou serão totalmente demolidas (JOHN, 2000).

A geração de resíduos se caracteriza pela perda de materiais que sobram das obras através de desperdícios durante o processo construtivo ou destrutivo em caso de demolições, e pelo seu transporte, materiais perdidos no recebimento ou armazenamento (LIMA, 2009).

### 3.2.1. Classificação

Os resíduos gerados pela construção civil, seja em processos construtivos ou pelo efeito de demolições, podem ser classificados em diferentes tipos de classes de acordo com material gerador e sua capacidade de reaproveitamento. Podendo ser de classe A, classe B, classe C ou classe D, sendo abordados uma a uma a seguir.

#### 3.2.1.1. Resíduos Classe A

São aqueles reutilizados na própria obra ou reciclados, sendo assim, encaminhados para unidades de reciclagem ou aterros destinados a materiais de construção civil para serem utilizados futuramente. Como exemplos de resíduos desta classe pode-se citar aqueles trituráveis ou britados que têm como característica ser utilizados como agregados, podendo ser de concreto, cerâmico ou misto, tais como os descritos abaixo e mostrado na figura 1:

- Argamassa;
- Concreto;
- Telhas ou materiais cerâmicos;
- Blocos ou tijolos de alvenaria;
- Solos de terraplanagem

**Figura 1:** Resíduos Classe A



**Fonte:** SEBRAE-SP, 2012

### 3.2.1.2. Resíduos Classe B

Os resíduos pertencentes à referida classe, assim como na classe anterior, podem ser reciclados, porém para outros fins. São materiais com preço de custo mais elevado, sendo assim de maior interesse sua reciclagem. Alguns materiais pertencentes à esta classe podem levar centenas de anos para se decompor, causando um impacto ainda maior ao meio ambiente, a figura 2 mostra os tipos de resíduos classe B.

- Papel e papelão;
- Plásticos;
- Metais;
- Vidros;
- Madeiras;
- Gesso.

**Figura 2:** Resíduo classe A ao fundo e classe B,



**Fonte:** SEBRAE-SP, 2012

#### 3.2.1.3. Resíduos Classe C

Esta classe, assim como a classe seguinte, deve ser tratada de maneira especial. Os resíduos provenientes da construção que compõe a classe C, não podem ser reaproveitados ou reciclados, pois ainda não há tecnologia para tal, crescendo de importância a consciência para que se evite o desperdício destes tipos de materiais. Pertencem à esta classe, resíduo não enquadrados nas classes A, B e D.

#### 3.2.1.4. Resíduos Classe D

São os resíduos que requerem, assim como a classe anterior, locais especiais destinados ao descarte como aterros preparados para estes tipos de materiais. Explorados pela NBR 10.004 da ABNT, podem causar prejuízos irreparáveis ao meio ambiente e à saúde humana e animal, a figura 3 mostra resíduos tipo D. Materiais das classes A, B e C quando contaminados também passam a pertencer a esta classe (NBR 10004, 2004).

- Tintas;
- Solventes;
- Vernizes; e
- Materiais e telhas de amianto

**Figura 3:** Resíduo classe D

**Fonte:** SEBRAE-SP, 2012

**Tabela 1 - Classificação dos Resíduos**

<b>CLASSES</b>	<b>DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS</b>
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: solo proveniente de terraplanagem, argamassa, componentes cerâmicos e concreto (blocos, peças pré-moldada e moldada <i>in loco</i> )
B	Resíduos recicláveis para outra destinação, tais como: plástico, papel, papelão, metais, vidros madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Resolução CONAMA n° 469/2015).
C	Resíduos sem tecnologia desenvolvida que permitam sua reciclagem ou recuperação; (Resolução CONAMA n°431/11).
D	Resíduos perigosos como: tintas, solventes, óleos e outros provenientes de clínicas radiológicas, telhas ou materiais que contenham amianto (Resolução CONAMA n° 348/04).

**Fonte:** (ABRECON, 2017)

### 3.3. Impactos causados pelos Resíduos de construção e demolição

Segundo a Resolução 001/1986 CONAMA caracteriza impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, promovida por qualquer atividade operada pelo ser humano através de qualquer matéria ou energia e que possam afetar de alguma maneira a saúde, bem estar, economia ou até mesmo questões estéticas do meio ambiente (CONAMA, 1986).

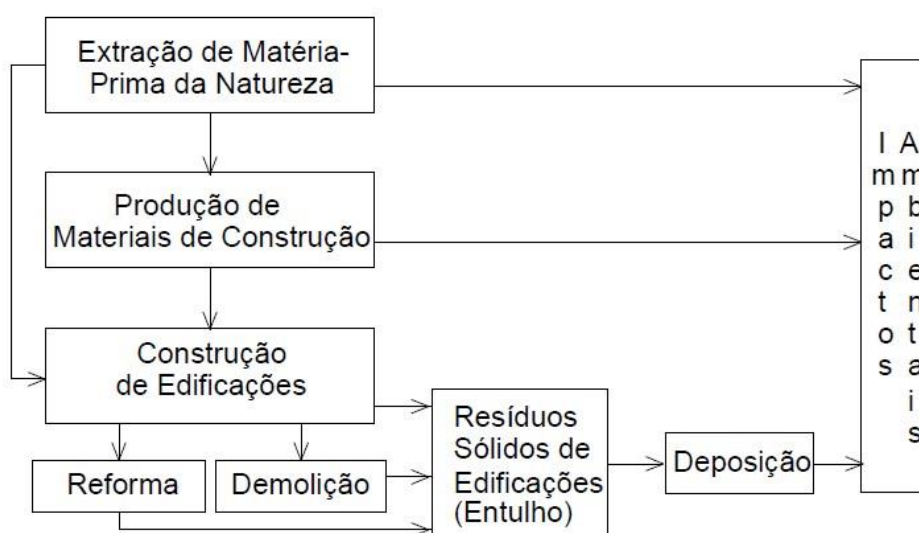
Como o setor da construção civil veio ao longo do tempo apresentando um grande crescimento, se tornando assim um dos pilares da Economia brasileira. Tal crescimento carrega consigo uma série de impactos, um deles é a grande produção de resíduos de demolição (RCD), tal impacto levou uma série de estudos para uma melhor destinação para este tipo de resíduo (MATOS, 2015).

A urbanização acelerada e o rápido adensamento das cidades de médio e grande porte têm provocado inúmeros problemas para a destinação do grande volume de resíduos gerados em atividades de construção, pois os resíduos gerado pelo setor da construção civil pode variar de 41 a 70% dos resíduos sólidos, podendo chegar aproximadamente a quase 0,8 tonelada por habitante/ano (PINTO, 1999).

“A construção civil é uma indústria que produz grandes impactos ambientais, desde a extração das matérias-primas necessárias à produção de materiais, passando pela execução dos serviços nos canteiros de obra até a destinação final dada aos resíduos gerados, ocasionando grandes alterações na paisagem urbana, acompanhadas de áreas degradadas”. (BARRETO, 2005 p.7)

A figura 4 representa o fluxograma geral do impacto causado pela produção de resíduos.

**Figura 4:** Impactos Ambientais da Cadeia da Construção Civil



Fonte: Dos autores

Segundo John, o setor da construção civil é o maior responsável pelo consumo de recursos naturais, podendo variar de 20 a 50% de todo recurso do planeta, esse consumo é variável de acordo com uma série de fatores citados abaixo:

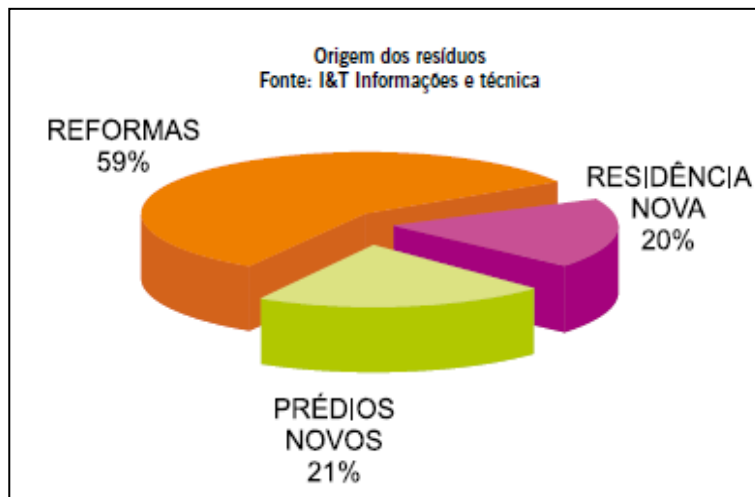
- taxa de resíduos gerados;
- vida útil ou taxa de reposição das estruturas construídas
- necessidade de manutenção / reforma (que visam corrigir falhas construtivas);
- perdas incorporadas nos edifícios;
- tecnologia empregada.

Em relação ao consumo de agregados, a taxa de consumo dos agregados naturais no Brasil varia entre 1 a 8 toneladas/ano por habitante, para produção somente de concreto e argamassa é de aproximadamente 220 milhões de toneladas.

Os resíduos gerados, provenientes das perdas ocorridas durante o processo de construção ou de demolições, são responsáveis por aumentar ainda mais o impacto ambiental provocado por este setor. A excessiva geração de resíduos e seu descarte irregular, em grande parte das cidades brasileiras, causam a poluição do ambiente urbano. Como exemplo, pode-se citar a obstrução e contaminação dos leitos de rios e canais, o comprometimento do tráfego em vias públicas e a degradação da paisagem das cidades, além da poluição do ar com gás carbônico liberado pelos veículos necessários para realizar o transporte dos resíduos (SEBRAE-SP, 2012).

Um dos grandes problemas em relação a geração dos resíduos sólidos, pode-se citar fatores no projeto/planejamento que não identificam possíveis volumes de resíduos e a gestão deles na fase da obra, transporte ou descarte deste volume, na figura abaixo é identificado a origem dos resíduos gerados pela construção civil, a figura 5 mostra a distribuição da origem dos resíduos gerados de acordo com o tipo de obra (LIMA, 2009).



**Figura 5 - Origem dos resíduos**

Fonte: (Lima, 2009)

Uma forma da minimização dos impactos ambientais causados pelos resíduos de construção ou demolição, são formas inovadoras de reaproveitamento ou reciclagem dos resíduos sólidos produzidas de maneira geral pelo setor da construção civil. Existe uma grande dificuldade de encontrar o equilíbrio entre uma atividade produtiva e lucrativa com a sustentabilidade necessária para manutenção do ecossistema, em grandes capitais brasileiras como a cidade de São Paulo produzem cerca de 17 (dezessete) mil toneladas de resíduos sólidos resultantes da construção diariamente (JOHN, 2000).

### 3.4. Legislação

Antes de 2002 não havia uma norma ou resolução específica para o gerenciamento ou destinação dos resíduos provenientes da construção civil.

A partir de 2002, com a Resolução CONAMA nº 307/2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

Segundo a resolução 307/2002 do CONAMA, houve a necessidade de diretrizes para redução dos impactos ambientais gerados por resíduos oriundos da construção civil, considerando que a má destinação deles contribui diretamente para degradação da qualidade ambiental (CONAMA, 2002).

A resolução diz que os próprios geradores dos resíduos devem destinar adequadamente os mesmos, mostrando assim também que há viabilidade

técnico-econômica com a reciclagem dos resíduos oriundos da construção civil, uma vez que, a construção civil pode e deve gerar benefícios de ordem social, econômica e ambiental.

(CONAMA, 2002), classifica em dois tipos os que estão ligados diretamente a gestão de resíduos: os geradores, que são pessoas físicas ou jurídicas que são responsáveis por atividades que possam gerar o resíduo, e os transportadores, que também são pessoas físicas ou jurídicas que ficam responsáveis pelo transporte e destinação entre as fontes geradoras de resíduos e o local apropriado para descarte.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em 2002, também regulamenta ao transporte de resíduos terrestre com a NBR 1322.

O transportador deve seguir todos os requisitos de transporte de resíduos afim de evitar danos ao meio ambiente e a saúde pública, além de alguns outros fatores (NBR 1322, 2002).

Áreas de reciclagem de Resíduos de Construção Civil: são áreas destinadas a receber e transformar os resíduos da construção civil classe A, já triados para a produção de agregados reciclados. Os equipamentos e a instalação devem dotados de sistemas de controle de vibrações, ruídos e poluentes atmosféricos (NBR 15114, 2004).

NBR 15.116/2004 Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

Resíduos Sólidos – Classificação – ABNT NBR 10004/2004 (substitui 10004/1987)

“Tem por objetivo classificar os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente”. (NBR 10004, 2004 p.1)

“A classificação dos resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características. A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser criteriosa e estabelecida de

acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem”. (NBR 10004, 2004 p.2)

### Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei 12305/2010:

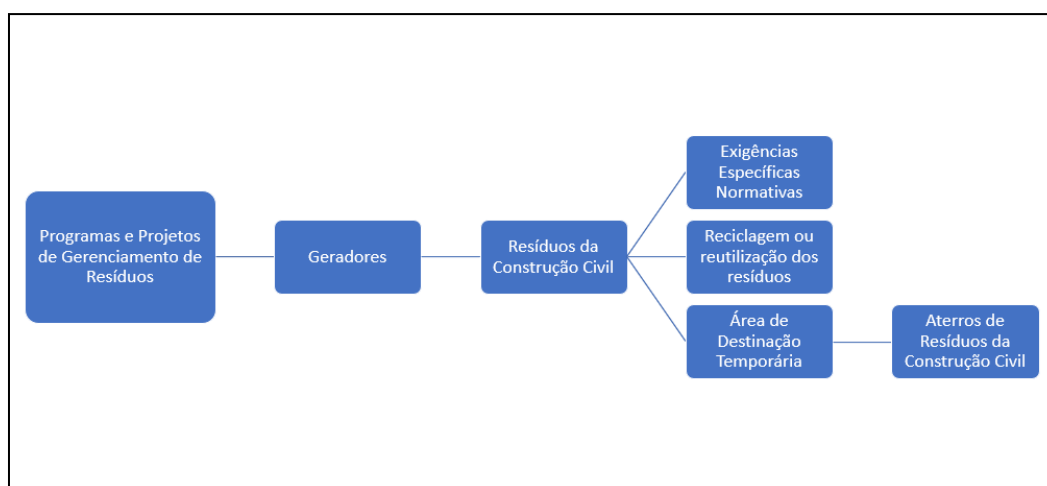
“Prevê a preservação e a redução da geração de resíduos, tendo como propósito a prática de hábito de consumo sustentável, em um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização. Seu principal objetivo é a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.” (Brasil, 2010, inciso I do art. 42º).

### 3.5. Gerenciamento de resíduos na construção civil

A resolução 307/2002 do CONAMA, determinou um plano integrado de gerenciamento de RCC, onde os municípios devem buscar soluções e destinações adequadas para os resíduos produzidos e provenientes da indústria da construção civil.

Cabe aos grandes geradores de resíduos a criação de projetos de gerenciamento no prazo máximo de 24 meses, onde este projeto deve apresentar a triagem, acondicionamento, transporte e destinação, e o município caracteriza quem são os pequenos geradores de acordo com seus critérios de classificação. (CONAMA, 2002). A figura 6 mostra o processo de gerenciamento de resíduos.

**Figura 6 – Organograma do processo de gerenciamento de resíduos**



**Fonte –** Adaptado de Carneiro (2005)

Conforme o artigo 9 da resolução 307 do CONAMA, o gerenciamento dos resíduos deve abranger as seguintes etapas:

- **Caracterização:** nesta etapa do processo deve identificar, caracterizar e quantificar o tipo de resíduo
- **Triagem:** a realização da triagem pode ser realizada pelo próprio gerador na origem, ou posteriormente nas áreas licenciadas para destinação deste tipo de material, deve sempre se respeitar o tipo de resíduo (CONAMA, 2002).
- **Acondicionamento:** Nesta fase do processo o gerador deve confinar os resíduos de uma forma que garanta que o material futuramente terá condições de reutilização ou reciclagem.
- **Transporte:** Esta etapa é de responsabilidade do transportador atender todos os requisitos impostos pela NBR 13221 (NBR 13221, 2002).
- **Destinação:** A destinação depende de uma boa caracterização e triagem destinando ao local correto de acordo com o tipo de resíduo.

O gerenciamento de resíduo permite uma valorização do resíduo, uma vez que, a reutilização, reciclagem ou beneficiamento pode implicar um avanço no setor da construção civil, onde o mesmo gerador pode estar fornecendo material para outros setores, além de uma viabilidade técnica e econômica tem o impacto da responsabilidade social do próprio gerador (SINDUSCON, 2004).

As empresas que desejam possuir algumas certificações como a ISO 14001, devem ter implementado um sistema de gestão ambiental, para se manterem com tal certificação.

### **3.6. Aplicação de resíduos reciclados**

O RCD merece uma atenção diferenciada, pois o seu beneficiamento ou reciclagem pode ter um campo de aplicação muito extenso, podendo ser utilizado para construção de bloco cerâmicos, pavimentações de ruas, conta piso, agregado reciclado para produção de argamassas. (SANTOS, ISELLE, DIAS SILVA, 2019).

Os agregados geralmente são aproveitados para argamassas, tanto de revestimento quanto para argamassa de assentamento, produção de areia reciclada talvez seja a opção mais viável para o reaproveitamento, devido ao fato de a argamassa não possuir função estrutural (ÂNGULO, ZORDAN e JOHN, 2001).

Se planejado, a implementação de uma usina de reciclagem de RCD, pode gerar benefícios sociais e financeiros para a cidade em que for implementada, a tabela 2 apresenta o leque de reaproveitamento dos resíduos e seus respectivos campos de aplicação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO, 2019).

**Tabela 2** - Aplicação de resíduos reciclados

<b>PRODUTO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>USO RECOMENDADO</b>
<i>AREIA RECICLADA</i>	<i>Material com dimensão máxima característica inferior a 4,8mm isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.</i>	<i>Argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contrapisos, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação</i>
<i>PEDRISCO RECICLADO</i>	<i>Material com dimensão máxima característica de 6,3mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.</i>	<i>Fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, entre outros</i>
<i>BRITA RECICLADA</i>	<i>Material com dimensão máxima característica inferior a 39mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.</i>	<i>Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagem</i>
<i>BICA CORRIDA</i>	<i>Material proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil, livre de impurezas, com dimensão máxima características de 63mm</i>	<i>Obras de base e sub-base de pavimentos, reforço e subleitos de pavimentos além de regularização de vias, aterro e acerto topográfico de terrenos</i>
<i>RACHÃO</i>	<i>Material com dimensão máxima característica inferior a 150mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto</i>	<i>Obras de pavimentação, drenagens e terraplanagem</i>

Fonte: (ABRECON, 2019)

O reaproveitamento de resíduos para aplicação em diversos tipos de argamassa pode ser uma solução viável técnica e economicamente, uma vez que a argamassa apresenta um extenso campo de aplicação dentro do campo da construção civil (CANEDO, 2011).

### 3.7. Argamassas

Segundo a (NBR 13281, 2005) argamassa é a mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante inorgânico e água, podendo, ou não conter aditivos que tenham propriedades de aderência e endurecimento, sua produção pode ser feita no canteiro de obra ou do tipo industrializada.

Os tipos de argamassa segundo a (NBR 13281, 2005) são as argamassas de assentamento, argamassas de revestimento, argamassas de uso geral, argamassa para reboco, argamassa decorativa de camada fina e argamassa decorativa em monocamada.

Existem diversas especificações argamassas uma das classificações é quanto a função da argamassa, conforme mostra a tabela 3. Existem outros vários fatores para a caracterização da argamassa, estas informações podem ser vistas na tabela 4, classificação quanto ao critério.

**Tabela 3** – Caracterização das argamassas quanto a função

<b>FUNÇÃO</b>	<b>TIPOS</b>
<b>Para construção de alvenarias</b>	Argamassa de assentamento (elevação de alvenaria)
	Argamassa de fixação (ou enchutamento) alv. de vedação
<b>Para revestimento de paredes e tetos</b>	Argamassa de chapisco
	Argamassa de emboço
	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
<b>Para revestimento de pisos</b>	Argamassa para revestimento decorativo monocamada
	Argamassa de contrapiso
<b>Para revestimento cerâmico (paredes e pisos)</b>	Argamassa de alta resistência para piso
	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas - colante
<b>Para recuperação de estruturas</b>	Argamassa de rejuntamento
	Argamassa de reparo

Fonte: (IBRACON, 2017)

Tabela 4 – Caracterização das argamassas quanto ao critério

<b>CITÉRIO CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>TIPOS</b>
<b>Quanto à plasticidade da argamassa</b>	• Argamassa pobre ou magra
	• Argamassa média ou cheia
	• Argamassa rica ou gorda
<b>Quanto à densidade de massa da argamassa</b>	• Argamassa leve
	• Argamassa normal
	• Argamassa pesada
<b>Quanto à forma de preparo ou fornecimento</b>	• Argamassa preparada em obra
	• Mistura semipronta para argamassa
	• Argamassa industrializada
	• Argamassa dosada em central
<b>Quanto a natureza do aglomerante</b>	• Argamassa aérea
	• Argamassa hidráulica
<b>Quanto ao tipo do aglomerante</b>	• Argamassa de cal
	• Argamassa de cimento
	• Argamassa de cimento e cal
	• Argamassa de gesso
	• Argamassa de cal e gesso
<b>Quanto ao número de aglomerantes</b>	• Argamassa simples
	• Argamassa mista
<b>Quanto à consistência da argamassa</b>	• Argamassa seca
	• Argamassa plástica
	• Argamassa fluida

Fonte: (IBRACON, 2017)

### 3.7.1. Argamassa de revestimento

Argamassa de revestimento é uma mistura de aglomerante, agregado miúdo e água, esta parte da argamassa tem como objetivo cobrir, proteger e nivelar uma superfície e dar acabamento decorativo, geralmente são aplicadas três camadas para esta etapa do processo, conforme a tabela 2, a argamassa de revestimento é subdividida em cinco tipos de argamassas (NBR 13529, 1995).

Chapisco: esta é a primeira parte, sua função é cobrir a estrutura de alvenaria, é constituída de mistura de cimento, areia e aditivos, podendo ser feita na proporção de 1: 3 a 1: 5, sua função além de cobrir a alvenaria é dar

uniformidade a superfície quanto absorção e melhorar a aderência ao revestimento (NBR 13529, 1995).

Emboço: é a considerada a etapa intermediária do revestimento, tem como objetivo nivelar após o chapisco, também tem função de impermeabilização (NBR 13529, 1995).

Reboco: esta parte é a parte onde se tem um acabamento mais fino, utilizada para o cobrimento do emboço, proporcionando a camada para receber o acabamento (NBR 13529, 1995).

### 3.7.2. Argamassa de assentamento

Argamassa de assentamento é uma mistura de cimento, agregado miúdo (areias naturais ou de britagem) e água, podendo ser constituídas por polímeros, é uma argamassa utilizada para unir os blocos cerâmicos ou estruturais. (NBR 13281, 2005).

### 3.7.3. Outros tipos de argamassa

A argamassa é um tipo de cola bem forte que serve para unir diferentes materiais na construção civil. É usada para fazer a ligação entre peças cerâmicas de revestimento ou mesmo entre os blocos da alvenaria. Além disso, também serve para impermeabilizar algumas superfícies quando usados os aditivos impermeabilizantes certos na composição, e, até mesmo, para nivelar as mesmas. Ou seja, o campo de aplicação da argamassa é muito amplo conforme citado anteriormente (IBRACON, 2017).

A argamassa possui quatro tipos de classificação em que são mais utilizadas no campo da construção que são elas:

- Argamassa de assentamento: utilizada para unir tijolos na construção de uma parede por exemplo.
- Argamassa para pisos: é utilizada para a colagem de pisos ou azulejos na obra, muito utilizada para colocação destes elementos em áreas molhadas por exemplo.
- Argamassa impermeabilizante: o objetivo é proteger paredes e tetos de umidade.



#### 3.7.4. Argamassa reciclada

A indústria da construção civil apresenta uma grande alternativa para reutilização do RCD como agregado, além de acarretar uma redução do consumo de energia e de recursos naturais, uma nova medida é a reciclagem de RCD para agregados de argamassas, porém se faz necessário a comprovação da viabilidade do RCD reciclado em argamassas (MALTA; SILVA; GONÇALVES, 2012).

A quantidade de água utilizada em uma mistura com a relação de cimento impacta em algumas características mecânicas das misturas, pois o agregado reciclado possui um alto teor de porosidade, fazendo assim que parte da água seja absorvida, com isso o teor de umidade e absorção de água pelos agregados reciclados podem influenciar diretamente nas propriedades do material cimentício (trabalhabilidade, resistências, durabilidade, etc. (MALTA; SILVA; GONÇALVES, 2012).

As argamassas recicladas devem ser utilizadas com cuidado, uma vez que cada tipo de resíduo da construção civil apresenta um tipo de comportamento, devido aos diversos tipos de materiais do que é composto. Os resíduos possuem índices consideráveis de grãos finos (caso dos materiais cerâmicos), ocorre o aumento do fator água/cimento, podendo resultar num falso aumento da resistência mecânica. (FERNANDES, 2017).

Os agregados reciclados finos necessitam serem avaliados antes da utilização em argamassas, nos termos por exemplo de distribuição granulométrica absorção de água, abrasão, entre outros, já que os agregados reciclados finos, substitui na maioria das vezes o agregado natural fino, no caso a areia. (PEROZO, 2008).

#### 3.7.5. Propriedades das argamassas

As propriedades da argamassa variam de acordo com o seu estado físico (estado fresco e estado endurecido) e para o seu fim de aplicação por exemplo: revestimento ou assentamento.

### 3.7.5.1. Trabalhabilidade

Trabalhabilidade da argamassa é referente a facilidade com que se trabalha com a argamassa desde a mistura a aplicação nas superfícies, mantendo-se homogênea em todo este processo.

A NBR 13276 pede que o seguinte requisito seja cumprido para uma boa trabalhabilidade da argamassa, que é uma consistência padrão de 255 +/- 10mm.

A trabalhabilidade das argamassas é uma propriedade importante na aplicação da argamassa e resulta da conjunção de diversas outras propriedades, como consistência, plasticidade, retenção e exsudação de água, coesão interna, adesão, massa específica e retenção de consistência (FERNANDES,2017).

### 3.7.5.2. Consistência e plasticidade

A plasticidade e a consistência podem ser consideradas como as principais propriedades capazes de expressar essa trabalhabilidade. De acordo com embora estas propriedades sejam definidas, os métodos de ensaios empregados para a sua determinação, não medem e sim avaliam a trabalhabilidade, sendo seus resultados considerados apenas como valores indicativos. As argamassas que contém cal preenchem mais facilmente e, de maneira mais completa, toda a superfície do substrato, propiciando maior extensão de aderência. (RAGO; CINCOTTO, 1997)

Consistência, segundo Mello (2012), é definida como a resultante das forças internas, que é dada por: coesão, ângulo de atrito e viscosidade. Portanto o teor de água, forma, textura, e granulometria dos agregados influenciam na consistência. Para avaliar a consistência das argamassas utiliza-se a norma da ABNT NBR 13276/02 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.

Já plasticidade, é dada pela capacidade que a argamassa tende a deformar, após a redução das tensões que foi submetida, sendo esta influenciada pela consistência e trabalhabilidade (MELLO, 2012).

### 3.7.5.3. Retenção de água

A retenção de água de uma argamassa é uma propriedade que se relaciona com a capacidade da argamassa manter sua trabalhabilidade no caso de perda de água de amassamento, pode ser por absorção de água da base ou por evaporação. Esta característica interfere tanto no comportamento da argamassa fresca quanto no estado da argamassa endurecida (PEREIRA, 2012).

Segundo a (NBR 13276, 2005), a retenção de água de uma argamassa deve ser avaliada com base na medida de massa de água retida pela argamassa após sucção realizada por meio de bomba de vácuo submetida a baixa pressão em um funil de filtragem.

**Figura 7:** Bomba de Vácuo



**Fonte:** (Canedo, 2011)

### 3.7.5.4. Aderência

Aderência de uma argamassa é como sua resistência as tensões normais/tangenciais na interface com a base, o processo de aderência ocorre por ancoragem mecânica nas concavidades, ancoragem dos aglomerantes nos poros da base ou por ressaltos das superfícies em que serão aplicadas.

Para determinar os índices de aderência das argamassas de revestimento existem as seguintes normas: ABNT NBR 15258/05 (Argamassa

para revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência potencial de aderência à tração) e ANBT NBR 13528/10 (Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração).

#### 3.7.5.5. Resistência mecânica

Segundo a NBR 13279/2005 (Argamassas para revestimento e assentamento de paredes e tetos a resistência mecânica de argamassas de revestimento é medida pela resistência a tração e a compressão.

A resistência mecânica da argamassa é uma propriedade considerada secundária, sendo mais importante o quesito da trabalhabilidade, porém as argamassas devem suportar os esforços em que as paredes são submetidas. (MELLO, 2012).

Também de acordo com a NBR 13279/2005 as rupturas dos corpos de prova devem ser realizadas com a argamassa na idade de 28 dias, a norma também estabelece a tolerância de tempo no momento da ruptura conforma mostra a tabela 5.

**Tabela 5** – Tolerância do tempo para ruptura do corpo de prova

Idade de ruptura	Tolerância
24 h	1 h
3 dias	2 h
7 dias	4 h
14 dias	6 h
28 dias	8 h
91 dias	24 h

**Fonte:** (ABNT - NBR 13279, 2005)

Segundo a NBR 13281/2005 as argamassas de revestimento devem atender alguns requisitos, um deles é a resistência a compressão axial, e nesta norma há um campo de variação aceitável de acordo com a resistência, conforme mostra a tabela 6.

**Tabela 6 – Classificação das argamassas quanto a resistência a compressão**

Classe	Resistência à compressão MPa	Método de ensaio
P1	≤ 2,0	ABNT NBR 13279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	> 8,0	

**Fonte:** (ABNT - NBR 13279, 2005)

#### 3.7.5.6. Durabilidade

O conceito de durabilidade é a capacidade de um certo produto de manter as condições ideais de serviço para o qual foi projetado para um período, a durabilidade pode ser avaliada pelo tempo de vida ou pela sua resistência.

A durabilidade das argamassas é compreendida como a capacidade em manter a estabilidade química e física, quando ela encontra-se submetida a determinado ambiente e esforço, já preestabelecidos em projetos, não deixando de cumprir as suas funções. (RECENA, 2012).

### 3.8. Agregados

Agregados podem ser definidos como materiais granulares sem forma ou volume definido, suas dimensões são definidas para obras de engenharia civil, são classificados em agregados em grãos e miúdos (ABNT NBR 9935, 2011).

Para a produção de argamassa o agregado utilizado é o agregado do tipo miúdo.

#### 3.8.1. Agregado Natural

A NBR 9935/2011, classifica agregado natural como: “material pétreo granular que pode ser utilizado tal e qual encontrado na natureza, podendo ser submetido à lavagem, classificação ou britagem”. (NBR 9935, 2011 p.1)

Para a produção de argamassas o agregado natural mais utilizado é a areia e segundo a NBR 9935/2011, a areia é o agregado produzido através de

ações naturais, pode ser de fonte artificial quando proveniente da industrialização e reciclada quando se aplica processos de reciclagem.

### 3.8.2. Agregado reciclado

Segundo a NBR 9935/2011, pode-se definir agregado reciclado como:

“Material granular obtido de processos de reciclagem de rejeitos ou subprodutos da produção industrial, mineração ou construção ou demolição da construção civil, incluindo agregados recuperados de concreto fresco por lavagem, para uso como agregado”. (NBR 9935,2011 p.1)

### 3.8.3. Agregado miúdo

A ABNT NBR 9935/2011 classifica agregado miúdo como:

“Agregado miúdo: agregado cujo grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, atendidos os requisitos da ABNT NBR 7211”. (NBR 9935, 2011, p.4)

Para utilização de resíduos na argamassa é necessário a realização de testes para comprovação de sua eficácia, o resíduo de construção deverá ser britado pois estes resíduos são utilizados no lugar do agregado miúdo, que é areia, é importante que este tipo de argamassa apresente resultados satisfatórios quando comparado a argamassas convencionais.(FERNANDES, 2017)

## 3.9. Cimento

O cimento é um dos produtos mais utilizados no mundo e principalmente no setor construção civil. Está presente, quase sempre, em todo tipo de construção, seja na edificação mais simples até a mais complexa. Segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018) o cimento Portland é:

“Ligante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante, durante a fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais nos teores estabelecidos nesta Norma”. (NBR 16697, 2018 p.2)

Se caracteriza por ser um pó fino, com propriedades aglutinantes, que pode ser utilizado para diversos fins como por exemplo na composição de

argamassa. A tabela 7 subdivide os tipos de cimento de acordo com suas propriedades específicas.

**Tabela 7 - Características dos tipos de cimentos**

Sigla <sup>a</sup>	Classe	Finura	Tempo de início de pega min	Expansibilidade a quente mm	Resistência à compressão MPa				Índice de branco
		Resíduo peneira 75 µm %			1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	
CP I CP I-S CP II-E CP II-F CP II-Z	25	≤ 12,0	≥ 60	≤ 5	--	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	-
	32	≤ 12,0	≥ 60	≤ 5	--	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	
	40	≤ 10,0	≥ 60	≤ 5	--	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CP III CP IV	25	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	--	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	--
	32	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	--	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	--
	40	≤ 8,0	≥ 60	≤ 5	--	≥ 12,0	≥ 23,0	≥ 40,0	--
CP V	AR1	≤ 6,0	≥ 60	≤ 5	≥ 14,0	≥ 24,0	≥ 34,0	--	--
CPB Estrutural	25	≤ 12 <sup>b</sup>	≥ 60	≤ 5		≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 78
	32	≤ 12 <sup>b</sup>	≥ 60	≤ 5		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	
	40	≤ 12 <sup>b</sup>	≥ 60	≤ 5		≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CPB Não estrutural	--	≤ 12,0 <sup>b</sup>	≥ 60	≤ 5	--	≥ 5,0	≥ 7,0	≥ 10,0	≥ 82

<sup>a</sup> Requisitos aplicáveis também aos cimentos resistentes aos sulfatos e de baixo calor de hidratação, identificados por sua sigla seguida do sufixo RS ou BC, respectivamente.  
<sup>b</sup> Resíduo na peneira 45 µm

Fonte: (ABNT - NBR 16697, 2018)

### 3.10. Cal

A cal é uma matéria originária da calcinação das rochas calcárias, é possível obter a cal de diversas formas, mas para a produção de argamassas é mais comum a utilização da cal Hidratada, com origem industrializada (FERNANDES,2017).

Os benefícios da cal implicam numa maior trabalhabilidade da argamassa, auxilia no aumento de sua plasticidade, além da diminuição da retração causada pela areia e cimento, reduzindo possíveis trincas na argamassa de revestimento no seu estado endurecido (FERNANDES,2017).

#### **4. METODOLOGIA**

Será realizada uma referência bibliográfica descritiva a fim de demonstrar todos os parâmetros do processo de fabricação de argamassa não convencional, nessa argamassa será substituído o agregado natural por um agregado reciclado, a fim de obter o real comportamento técnico desta argamassa não convencional quando comparado a argamassa padrão.

A Pesquisa se baseia na coleta de dados na literatura direcionado para análise do qualitativa dos resíduos gerados, redução do impacto ambiental, além dos diferentes tipos de resíduos e suas respectivas classes pertencentes.

Serão realizadas comparações de uma variedade de testes de argamassas, para comprovação ou não da eficiência de uma argamassa reciclada, a base de comparação serão os parâmetros de uma argamassa convencional, para viabilidade da argamassa reciclada, a mesma deve se equiparar-se ou chegar próximo aos valores obtidos de uma argamassa convencional.

O agregado reciclado substituirá o agregado natural (areia), em percentual variando gradativamente partindo sempre de uma argamassa de referência com 0% de AMR, na análise existe percentuais variando de 0% a 100%, variando de autor para autor, com essa substituição visa-se encontrar um resultado satisfatório sobre a viabilidade técnica do emprego de agregado reciclado na produção de argamassas.

Compilando os resultados encontrados pelos autores, será feito uma análise de resultados quanto aos fatores de granulometria e resistência a compressão do agregado reciclado, sempre comparado a valores de argamassa convencional e agregado natural.



## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo é destinado a uma compilação de estudos realizados por diversos autores em monografias e dissertações onde se realizaram experimento na produção de argamassas utilizando resíduos de construção e demolição (RCD) na sua produção.

A análise dos resultados será da viabilidade técnica apenas da argamassa, analisando aspectos físicos e de sua resistência a compressão para uma possível conclusão da viabilidade da argamassa não convencional.

### 5.1. 1º Estudo

Estudo sobre: UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSA: Desempenho de argamassa produzida com resíduos da construção civil da cidade de Juiz de Fora – MG – Bharbara Amaro Fernandes, Engenharia Civil da FACULDADE DOCTUM – 2017.

#### 5.1.1. Materiais utilizados

##### ➤ Cimento

Para a realização do estudo e produção da argamassa foram utilizados pela autora os seguintes materiais:

Cimento: o cimento utilizado é do tipo CP-IV-32 (cimento Portland Pozolânico), o cimento deve seguir as especificações exigidas pela NBR-16697/2018, o cimento possui as seguintes características física conforme a tabela 8.

**Tabela 8** - Características do cimento utilizado - ESTUDO 1

<b>CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES</b>		<b>LIMITE (CP-IV-32)</b>
Finura (resíduo na peneira 75µm)		8,00%
Tempo de início de pega		1 hora
Tempo de fim de pega (facultativo)		12 horas
Expansibilidade a quente		5 mm
Expansibilidade a frio (facultativo)		5 mm
Resistência à compressão	3 dias de idade	10 Mpa
	7 dias de idade	20 Mpa
	28 dias de idade	32 Mpa
	91 dias de idade (facultativo)	40 Mpa

**Fonte:** - (adaptado de Fernandes, 2017)

➤ Cal

Para material ligante da argamassa foi utilizado cal hidratada CH-I (cal hidratada), as características da cal devem obedecer a alguns parâmetros presentes na ABNT NBR 7175/2003, deve-se respeitar algumas características físicas conforme mostra a tabela 9.

**Tabela 9** - Características da Cal utilizada – ESTUDO 1

<b>COMPOSTOS</b>		<b>LIMITES CH-I</b>
Finura (% retida acumulada)	Peneira 0,600 mm	≤ 0,5%
	Peneira 0,075 mm	≤ 10%
Retenção de água		≤ 75%
Incorporação de areia		≥ 3,0
Estabilidade		Ausência de cavidade ou protuberâncias
Plasticidade		≥ 110

**Fonte:** (Adaptado de Fernandes, 2017)

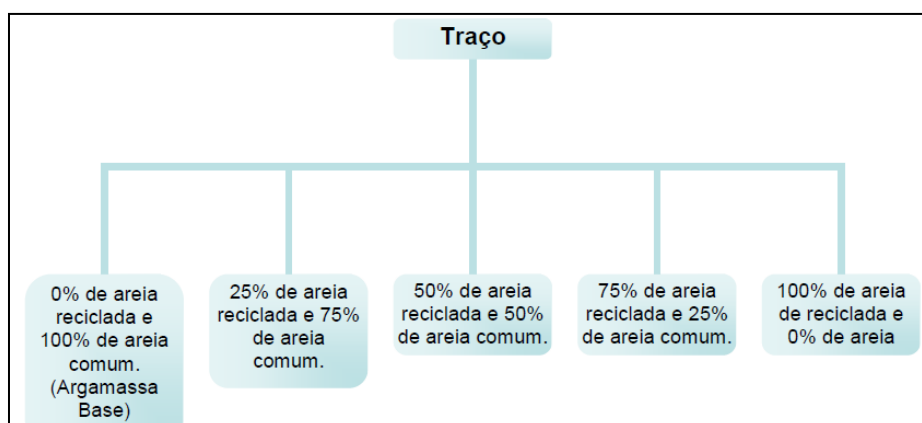
➤ Agregados miúdos

Para os agregados miúdo, este estudo foi baseado com AMN (agregado miúdo natural) que foi utilizado uma areia natural, e para o AMR (agregado miúdo reciclado) o material utilizado foi restos de argamassa provenientes de obras de demolição, e este resíduo foi britado para uma granulometria menor para substituição do AMN.

### 5.1.2. Definição dos traços

Para definição dos traços, primeiramente foi definido os percentuais de substituição do agregado reciclado, os percentuais podem ser vistos na figura 8.

**Figura 8** – Definição do percentual de substituição por traço



**Fonte:** (Fernandes, 2017)

Para o traço da argamassa, após definido o percentual de substituição, gfoi definido os traços, para obter uma trabalhabilidade melhor, à medida que o percentual de substituição aumenta a quantidade de água também aumenta proporcionalmente, conforme mostra a tabela 10.

**Tabela 10 – Definição dos traços adotados – ESTUDO 1**

Quantidade de resíduos	Traço utilizado (gramas)	Materiais
0%	400; 300; 1000; 486,21	Cimento; cal; areia; água
25%	400; 300; 750; 250; 494	Cimento; cal; areia; reciclado; água
50%	400; 300; 750; 250; 526	
75%	400; 300; 750; 250; 543	
100%	400; 300; 750; 250; 550	

Fonte: (Adaptado de Fernandes, 2017)

### 5.1.3. Classificação granulométrica

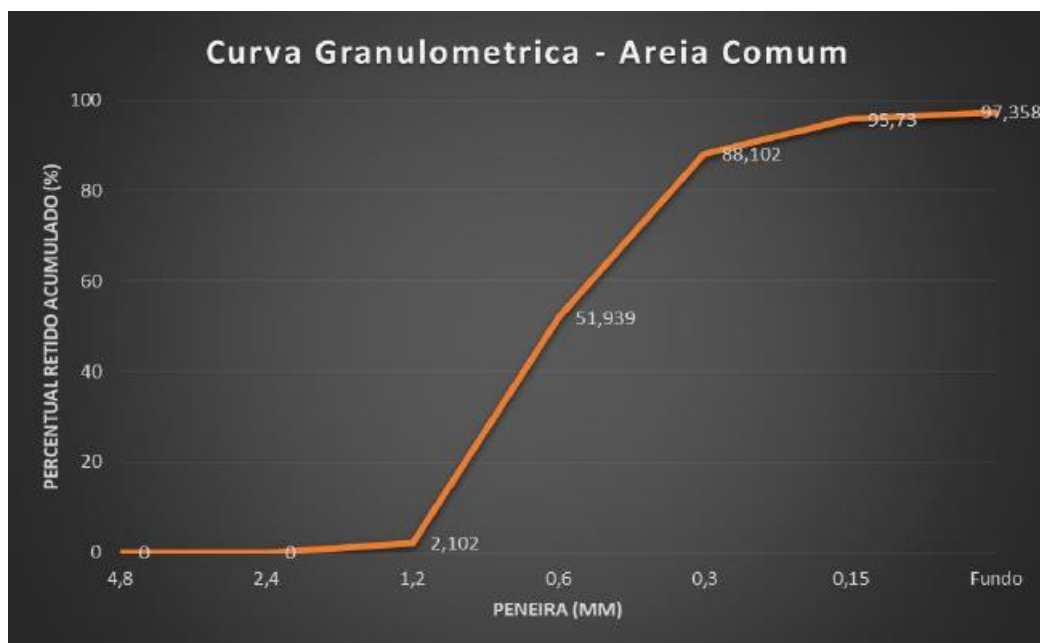
Para classificação granulométrica tanto do agregado natural quanto o agregado reciclado foi realizado foram utilizados um conjunto de peneiras com aberturas (4,8mm, 2,4mm, 1,2mm, 0,6mm, 0,3mm e 0,15mm), além de balança e vibrador mecânico, para realização do peneiramento dos agregados.

Após realização do peneiramento do agregado natural foi obtido os seguintes dados: a tabela 11 mostra a distribuição do agregado e a quantidade de material retido em cada peneira, já a figura 9, mostra a curva granulométrica do agregado natural

**Tabela 11 - Distribuição granulométrica agregado natural - ESTUDO 1**

PENEIRAS	PENEIRA CURVA	ABERTURAS (MM)	MASSA RETIDA (G)	% RETIDA	% ACUMULADA
4	1	4,8	0	0	0
8	2	2,4	0	0	0
16	3	1,2	21,02	2,102	2,102
30	4	0,6	498,37	49,837	51,939
50	5	0,3	361,63	36,163	88,102
100	6	0,15	76,25	7,625	95,73
Fundo	7	-	16,28	1,628	97,355
TOTAL	-	-	973,55	97,355	-
<75µm (lavou)	-	-	25,14	-	-
MATERIAL PERDIDO	-	-	1,31	0,131	-
Modulo de Finura	2,38 (Zona Ótima)				
DMC (MM)	1,2				

Fonte: (Adaptado de Fernandes, 2017)

**Figura 9** - Curva Granulométrica – Areia Comum – ESTUDO 1

Fonte: (Fernandes, 2017)

Pela curva granulométrica da areia comum (AMN), percebe-se que se trata de uma areia média pois o percentual de areia concentrada nas peneiras de maiores dimensões de peneiras.

Para o agregado reciclado pode se tratar de uma areia fina, sendo que o agregado é britado por isso um percentual maior de finos, uma vez que, a quantidade de material entre as peneiras de 0,3mm e 0,15mm é de aproximadamente 50%.

A tabela 12 mostra as características as características do agregado reciclado e a figura 10 mostra a curva granulométrica do mesmo, apresenta uma melhor distribuição dos grãos nas peneiras.

Tabela 12 – Distribuição granulométrica agregado reciclado – ESTUDO 1

Peneiras	Peneira Curva	Aberturas (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Acumulada
4	1	4,8	33,63	3,363	3,363
8	2	2,4	48,01	4,801	8,164
16	3	1,2	124,41	12,441	20,605
30	4	0,6	200,2	20,02	40,625
50	5	0,3	238,13	23,813	64,438
100	6	0,15	139,58	13,958	78,396
Fundo	7	-	132,82	13,282	91,651
Total	-	-	916,78	91,678	-
<75 $\mu$ m (lavou)	-	-	82,2	-	-
Material Perdido	-	-	1,02	0,102	-
Modulo de Finura	2,16 (Zona Utilizável Inferior)				
DMC (mm)	4,8				

Fonte: (Adaptado de Fernandes, 2017)

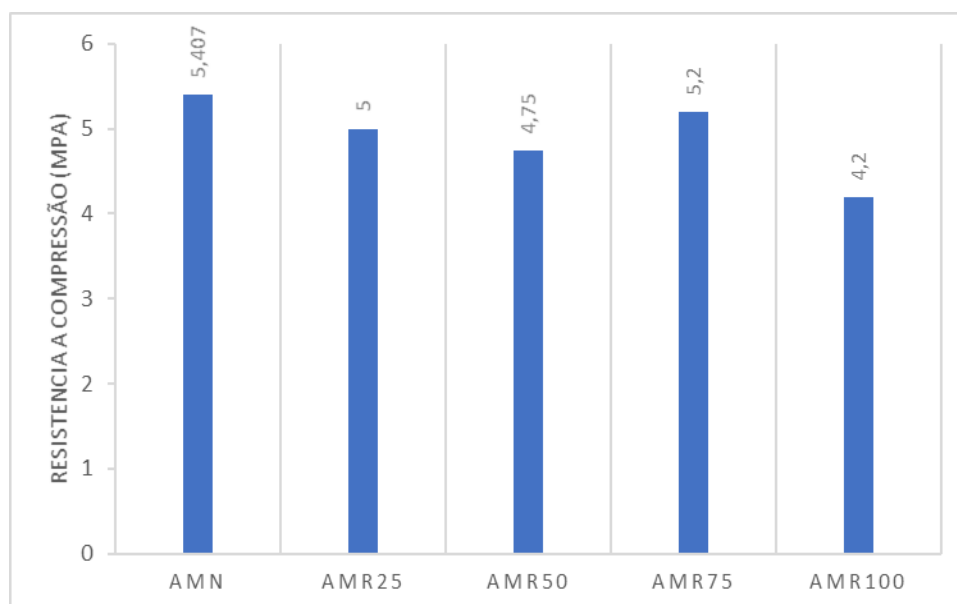
Figura 10 - Curva Granulométrica Resíduo – ESTUDO 1



Fonte: (FERNANDES, 2017)

#### 5.1.4. Resistência à compressão

Para comparação da resistência da compressão, foram realizados ensaios nos corpos de provas de todos os traços de argamassa, sempre com base na argamassa padrão sem o uso de agregado reciclado, os corpos de provas foram testados na idade de 28 dias e apresentam resultados conforme mostra a figura 11.

**Figura 11** – Resultados de resistência a compressão – ESTUDO 1

Fonte: (Adaptado de Fernandes, 2017)

Para a argamassa com agregado natural nota-se que sua resistência máxima chega a 5,407 MPa, e nas argamassas com 25% e 50%, percebe-se que houve uma queda 7,5% na resistência para a argamassa com 25% de agregado reciclado e 13% para a argamassa com 50% de agregado reciclado, já a argamassa de 75% de agregado reciclado apresentou um aumento quando comparado as duas anteriores e uma queda de 4% apenas quando comparada a argamassa de referência, para a argamassa só com agregado reciclado houve a maior discrepância no resultado mostrando uma queda de aproximadamente 25% da resistência, quando comparada a argamassa de referência.

## 5.2. 2º Estudo

Estudo sobre: VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA A PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO – Gilles Paulo Lunkes Knob, – Chapecó-SC, 2019.

### 5.2.1. Materiais utilizados

#### ➤ Cimento

Para o cimento, foi utilizado um cimento Portland CP-II E-32 (Votorantim), após feitos os procedimentos de ensaio encontraram-se uma massa específica de 2,96 g/cm<sup>3</sup> para o cimento.

#### ➤ Cal

Para a cal, diferente do estudo 1, a cal escolhida foi do tipo CH-II, o que difere no grau de pureza da cal, a tabela 13 mostra as diferenças dos tipos de cal de acordo com NBR 7175 /2003.

**Tabela 13 - Características Químicas da Cal Hidratada**

COMPOSTOS		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Anidrido carbônico	Na fábrica	≤ 5%	≤ 5%	≤ 13%
	No depósito	≤ 7%	≤ 7%	≤ 15%
Óxido de cálcio e magnésio não hidratado (CaO+MgO)		≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Óxidos totais na base não voláteis (CaO + MgO)		≥ 90%	≥ 88%	≥ 88%

Fonte: (ABNT – NBR 7175, 2003)

#### ➤ Agregados miúdos

Para os agregados miúdo, este estudo foi baseado com AMN (agregado miúdo natural) que foi utilizado uma areia natural, extraída de jazidas na cidade de Chapecó – SC, a areia ainda foi preparada para uma secagem melhor ficando exposta 24 horas a uma temperatura de 110°C, esta secagem foi feita visando não alterar o fator água/cimento da argamassa. e para o AMR, foi escolhido resíduos de concreto e tijolos cerâmicos de uma obra no município de Guatambú – SC, vale salientar que foi realizado uma separação dos resíduos tirando materiais não interessantes para produção de argamassa como materiais metálicos, gesso e madeiras.

### 5.2.2. Definição dos traços

As argamassas estudadas foram preparadas seguindo a norma NBR 13276/2005. O traço foi definido para este estudo foi de 1:1:6 (cimento, cal, agregado). A quantidade de água adicionada variou conforme o grau de substituição assim como no primeiro estudo, foram definidos quatro tipos de argamassa, uma de referência e três com substituição de agregados, o traço A foi realizada 5% de substituição, a argamassa B a porcentagem substituída foi de 25% e a argamassa C foi substituída 50% de agregado natural por agregado reciclado, com isso a tabela 14 mostra a composição dos traços de cada argamassa.

**Tabela 14 – Composição dos traços de cada argamassa – ESTUDO 2**

<b>TRAÇO</b>	<b>ARGAMASSA</b>	<b>CIMENTO (g)</b>	<b>CAL (g)</b>	<b>AREIA (g)</b>	<b>RESÍDUO (g)</b>	<b>ÁGUA (ml)</b>
<i>REF</i>	REF	500g	500g	3000g	-	800ml
<i>TRAÇO A</i>	SUBSTITUIÇÃO 5%	500g	500g	2850g	150g	800ml
<i>TRAÇO B</i>	SUBSTITUIÇÃO 25%	500g	500g	2250g	750g	830ml
<i>TRAÇO C</i>	SUBSTITUIÇÃO 50%	500g	500g	1500g	1500g	860ml

**Fonte:** (Adaptado de KNOB, 2019)

### 5.2.3. Análise granulométrica

Foi realizado o procedimento de análise granulométrica, inicialmente realizou-se um primeiro peneiramento para remoção das maiores partículas dos agregados, posteriormente foi realizado o ensaio de granulometria onde a tabela 15 mostra as características dos dois tipos de agregado, observou-se que o agregado reciclado contém maior divisão granulométrica enquanto o agregado natural apresenta uma granulométrica mais uniforme, o agregado natural apresenta maior concentração na peneira de 0,15 mm e para o agregado reciclado a maior parte do resíduo se encontra na peneira 0,30 mm, como mostra a curva granulométrica na figura 12.

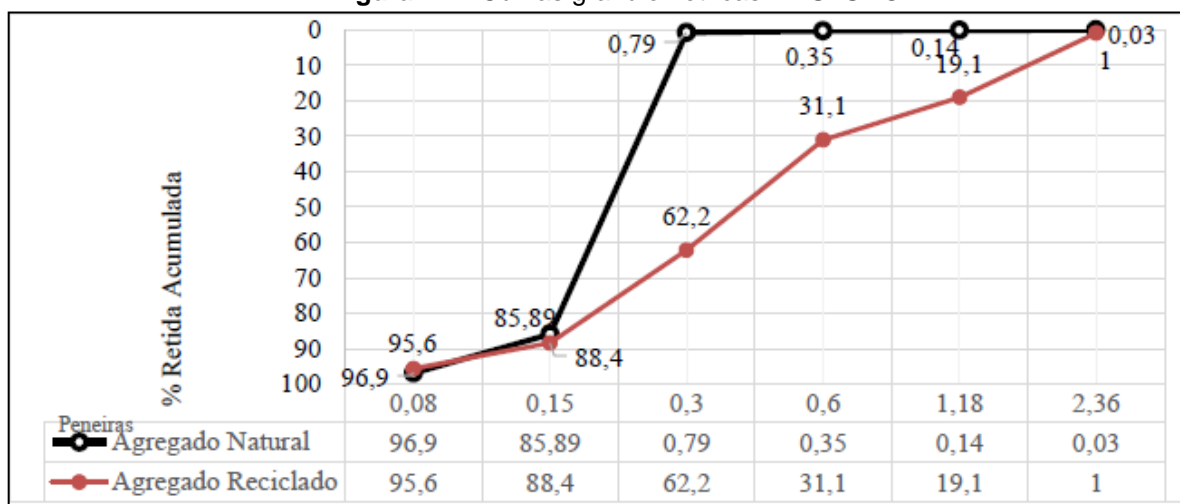


Tabela 15 – Distribuição granulométrica dos agregados – ESTUDO 2

PENEIRAS	AREIA NATURAL			RESÍDUO RECICLADO		
	RETIDA (G)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA	RETIDO (G)	% RETIDO	% RETIDO ACUMULADO
2,36	0,33 g	0,33 %	0,03 %	10,00 g	1,00 %	1,00 %
1,18	1,09 g	0,11 %	0,14 %	180,00 g	18,10 %	19,10 %
0,6	2,18 g	0,21 %	0,35 %	120,00 g	12,00 %	31,10 %
0,3	4,40 g	0,44 %	0,79 %	310,00 g	31,10 %	62,20 %
0,15	850,60 g	85,10 %	85,89 %	260,00 g	26,10 %	88,40 %
0,08	109,90 g	11,01 %	96,90 %	72,00 g	7,20 %	95,60 %
FUNDO	31,20 g	3,10 %	-	44,00 g	4,40 %	-
TOTAL	999,73 g	100,00 %	100,00 %	996,00 g	99,90 %	100,00 %
Dimensão máxima característica Módulo de finura (MF)			Agregado Natural	0,15	Agregado reciclado	1,18
				1,84		2,97
Zona Granulométrica		Ótima	Zona inferior		Zona superior	

Fonte: (Adaptado de Knob, 2019)

Figura 12 – Curvas granulométricas – ESTUDO 2



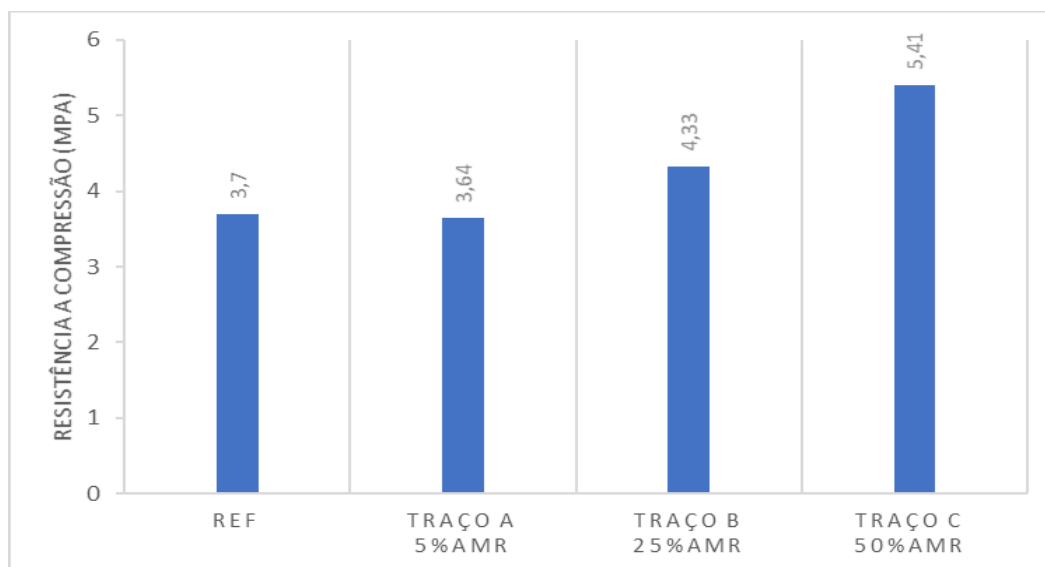
Fonte: (Knob, 2019)

O ensaio granulométrico foi realizado conforme a NBR 7211/2009, para classificação e caracterização do agregado, o agregado natural apresentou um módulo de finura de 1,84, ficando na zona utilizável inferior, enquanto o agregado reciclado apresentou módulo de finura 2,97, enquadrando-se na zona utilizável superior. A massa específica encontrada a partir do ensaio foi de 2,57 g/cm<sup>3</sup> para o agregado natural e 2,08 g/cm<sup>3</sup> para o agregado reciclado.

#### 5.2.4. Resistência à compressão

O ensaio de compressão foi feito conforme a NBR 13281/2005, figura 13 mostra os resultados obtidos para os quatro tipos de traços analisados.

**Figura 13** – Resultados resistência a compressão – ESTUDO 2



Fonte: (Adaptado de Knob, 2019)

Pelo gráfico de compressão com idade de 28 dias, observou que a argamassa com 5% de substituição apresentou o menor resultado ficando com menor resistência que a argamassa de referência, enquanto as argamassas com substituição de 25% e 50% apresentaram resultado superior aproximadamente em 17% e 46%, respectivamente.

### 5.3. 3º Estudo

Estudo sobre: APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSA –Francisco Sales Neves de Souza Lima – UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA-PB – 2005.

#### 5.3.1. Materiais utilizados

##### ➤ Cimento

O cimento utilizado foi um cimento Portland CP-II - Z-32, que possui adição de 6 a 14%, além de filler de calcário de 0 a 10% de acordo com a NBR 11578/1991, a massa específica encontrada foi de 3,10 kg/dm<sup>3</sup>.

➤ Cal

Foi utilizada uma cal hidratada CH-I, sua massa específica foi de 2,27 kg/dm<sup>3</sup> e o percentual retido na peneira de 0,075 mm foi de 0,91%.

➤ Agregados miúdos

Como agregado natural foi utilizado uma areia quartzosa, esta areia apresenta uma coloração branca neve.

Para agregado reciclado os resíduos foram coletados de uma obra realizada na cidade de João Pessoa – PB, foi decidido trabalhar apenas com resíduos de construção, após a coleta do resíduo foi separado os materiais indesejados, como plástico, papelão, gesso, madeira, vidro, entre outros, sobrando apenas resíduos de alvenaria com reboco, posteriormente foi separado para evitar contato com umidade. Após isso os resíduos foram triturados em um britador de mandíbulas para obter a granulometria desejada.

### 5.3.2. Definição dos traços

Definido todo material a ser utilizado, foi definido os graus de substituição para realização dos traços, foram adotados valores de 10%, 25%, 50%, 75% e 100%, o valor do traço definido foi o de 1:2:8 (cimento, cal, agregado). A variação da quantidade se fez presente, semelhante aos outros dois estudos à medida que o grau de substituição de agregado aumenta.

### 5.3.3. Análise granulométrica

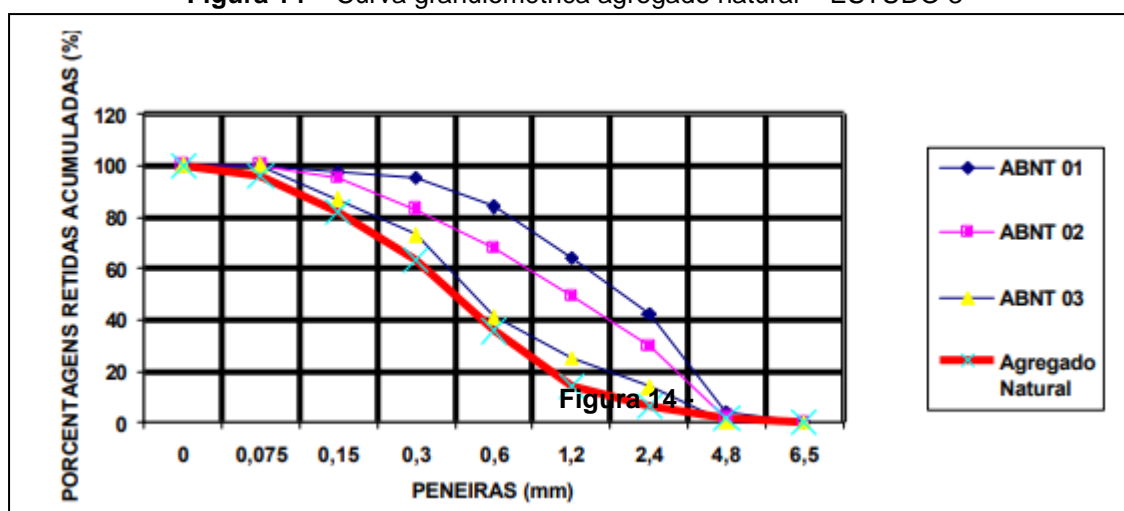
Para o agregado natural, as características granulométricas do agregado natural são mostradas na tabela 16, enquanto na figura 14 identificado a curva granulométrica do agregado natural, a areia apresentou massa específica de 2,63 kg/dm<sup>3</sup>.

**Tabela 16** – Características granulométricas agregado natural – ESTUDO 3

<b>PENEIRAS (mm)</b>	<b>PORCENTAGEM RETIDA</b>	<b>PORCENTAGEM RETIDA ACUMULADA</b>
4,80 mm	1,69 %	1,69 %
2,40 mm	4,48 %	6,17 %
1,20 mm	7,78 %	13,95 %
0,60 mm	21,57 %	35,52 %
0,30 mm	27,58 %	63,10 %
0,15 mm	18,72 %	81,82 %
0,08 mm	13,78 %	95,60 %
Resíduo	4,38 %	99,98 %

Dimensão máx = 4,8mm / Módulo de finura 2,02

Fonte: (Adaptado de Lima, 2005)

**Figura 14** – Curva granulométrica agregado natural – ESTUDO 3

Fonte: (Lima, 2005)

A curva granulométrica apresenta valores definidos pela NBR 7217/1987, para caracterização da zona utilizável do agregado, na curva do agregado natural mostra que a zona utilizável do agregado natural está na zona inferior.

Já o agregado reciclado apresentou as seguintes características granulométricas, conforme mostra a tabela 17, a massa específica encontrada para o agregado reciclado foi de 2,50 kg/dm<sup>3</sup>, os materiais britados foram somente resíduos de argamassas e tijolos furados.

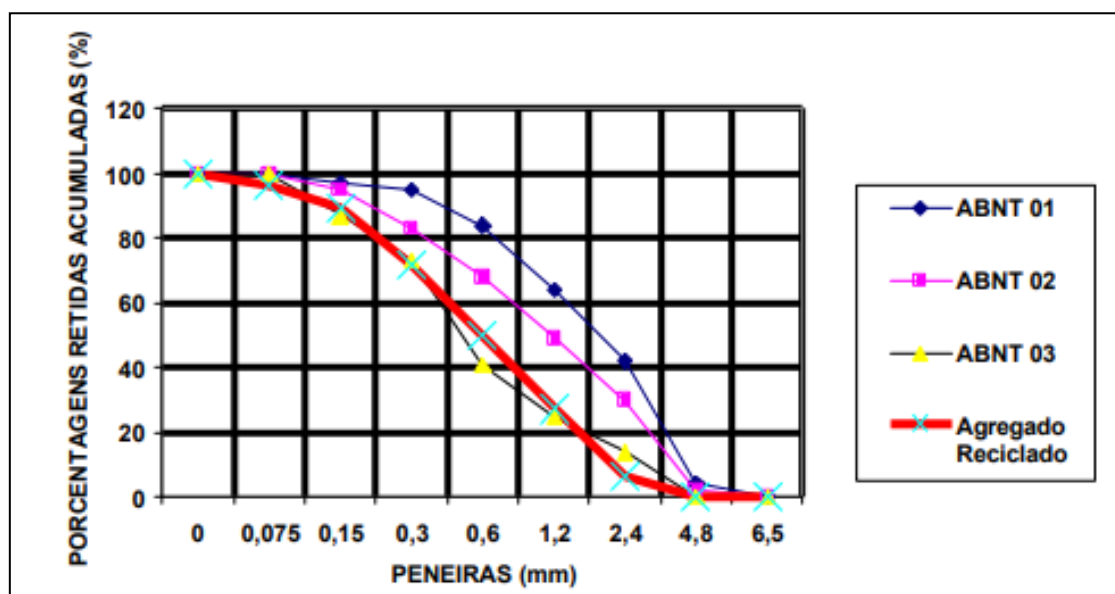
A figura 15 mostra a curva granulométrica do agregado reciclado ficou próximo da zona de utilização ótima recomendada pela NBR 7217/1987.

Tabela 17 – Características granulométricas agregado reciclado– ESTUDO 3

<b>PENEIRAS (mm)</b>	<b>PORCENTAGEM RETIDA</b>	<b>PORCENTAGEM RETIDA ACUMULADA</b>
4,80 mm	0,00 %	0,00 %
2,40 mm	6,77 %	6,77 %
1,20 mm	20,53 %	27,30 %
0,60 mm	22,80 %	50,10 %
0,30 mm	21,82 %	71,92 %
0,15 mm	17,37 %	89,29 %
0,08 mm	7,03 %	96,32 %
Resíduo	3,69 %	100,00 %
Dimensão máx = 4,8mm / Módulo de finura 2,45		

Fonte: (Adaptado de Lima, 2005)

Figura 15 – Curva granulométrica agregado reciclado – ESTUDO 3



Fonte: (Lima, 2005)

#### 5.3.4. Resistência à compressão

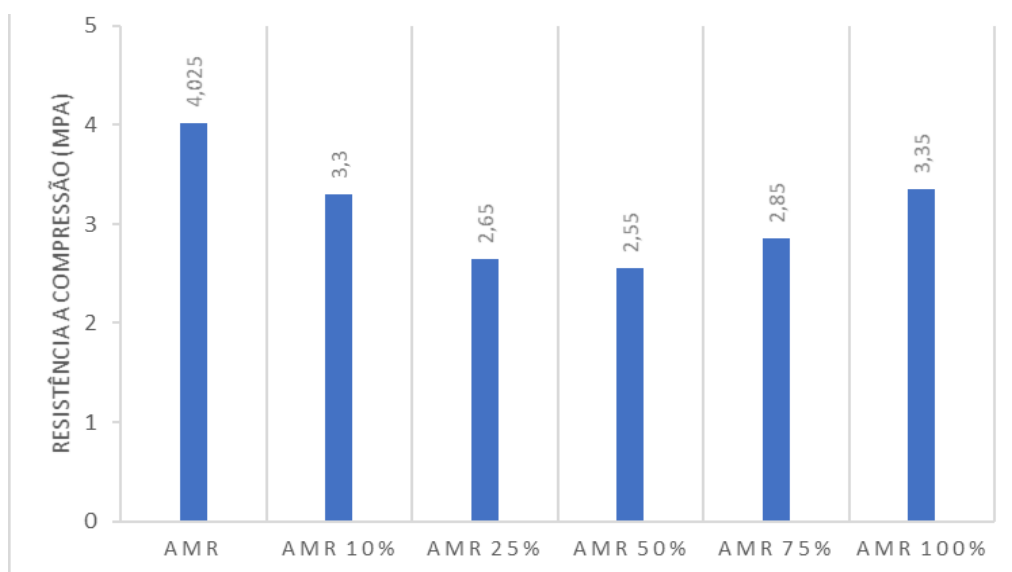
Os ensaios de resistência a compressão foram realizados de acordo com a NBR 13279/2005, e foi feita uma série de quatro ensaios para cada tipo de argamassa, os resultados do ensaio na idade de 28 dias são mostrados na tabela 18.

**Tabela 18** – Resultados de resistência a compressão – ESTUDO 3

TIPO	1ª SERIE	2ª SERIE	3ª SERIE	4ª SERIE
AMR	4,10 MPa	3,90 MPa	4,00 MPa	4,10 MPa
AMR 10%	3,60 MPa	3,40 MPa	3,40 MPa	2,80 MPa
AMR 25%	2,30 MPa	3,30 MPa	3,00 MPa	2,00 MPa
AMR 50%	1,90 MPa	3,10 MPa	3,00 MPa	2,20 MPa
AMR 75%	2,70 MPa	3,20 MPa	3,20 MPa	2,30 MPa
AMR 100%	3,30 MPa	3,40 MPa	3,50 MPa	3,20 MPa

Fonte: (Adaptado de Lima, 2005)

Após o ensaio nos quatro corpos de provas a média de resistência de cada pode ser vista na figura 16.

**Figura 16** – Resultados de resistência a compressão – ESTUDO 3

Fonte: (Adaptado de Lima, 2005)

Analisando os estudos, foi identificado que se fez necessário o aumento do fator de água/cimento para todos os três estudos em questão, devido a características mais porosas do agregado reciclado.

Devido a essa alta porosidade do agregado reciclado, o agregado natural apresentou maior massa específica que o agregado reciclado. Fator que variou foi a classificação da zona de utilização do agregado na curva granulométrica, no primeiro estudo o agregado natural ficou na zona de utilização ótima, enquanto o agregado reciclado ficou na zona de utilização inferior. O segundo estudo o agregado natural ficou situado na zona de utilização inferior apresentando módulo de finura de 1,84, já o agregado

reciclado apresentou módulo de finura 2,97 ficando assim na zona de utilização superior. Por fim o terceiro estudo a relação se manteve conforme o segundo estudo, onde o agregado reciclado ficou próxima a zona de utilização ótima, enquanto o agregado natural ficou na zona de utilização inferior.

Essas zonas de utilização não implicam no descarte do agregado, apenas faz com que a relação de água/cimento aumente ou diminua para uma melhor trabalhabilidade da argamassa no estado fresco.

Para a comparação das resistências a compressão, é importante frisar que alguns fatores podem implicar no resultado, resíduos de origens cimentícias tendem a dar mais resistência quando comparado a resíduos cerâmicos, a qualidade do agregado natural também tem impacto sobre os resultados.

Inicialmente os três estudos apontam que substituições de agregado reciclado abaixo de 25% não são eficientes, pois a quantidade de substituição é baixa e a perda de resistência é maior nesses níveis. A substituição de 100% de agregado natural também não se torna a medida mais eficiente pois a perda de resistência fica na faixa de 20 a 30% comparando os estudos realizados dos autores.

Os fatores de substituição que ficaram mais adequados para substituição são valores entre 25% a 75% de substituição, considerando que o segundo estudo por exemplo apresentou maiores resistências que a argamassa de referência, já no primeiro estudo a argamassa com 75%, a resistência a compressão chegou bem próximo da resistência da argamassa de referência, com exceção apenas do terceiro estudo onde as resistências a compressão apresentaram-se inferiores a argamassa de referência.

O mais importante é que os resultados obtidos não inviabilizam tecnicamente o emprego da argamassa reciclada, uma vez que os valores de resistência obtidos estão todos dentro da NBR 13281, ficando entre a classificação P2 e P4, cujo valores variam entre 1,5 a 6,5 MPa conforme a tabela 6.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando de maneira geral, e com base nos materiais e características estudadas e constantes no presente trabalho, conclui-se que, é totalmente viável o uso de agregados reciclados para produção de argamassa não convencional de revestimento. Um ponto importante que deve ser levado em consideração é o crescimento do fator água/cimento quando se trabalha com agregados reciclados tendo em vista estes absorverem quantidade maior de água durante o processo de mistura, outro ponto observado é o prejuízo, por vezes, à resistência mecânica e a trabalhabilidade quando há a substituição total do agregado natural. Sendo assim, as argamassas que utilizaram até 50% de substituição dos agregados apresentaram características e trabalhabilidade melhores e mais adequadas quando comparadas a argamassa utilizando 100% de agregado natural, tendo em vista comparação deste trabalho foi apenas em fatores físicos dos agregados e resistência a compressão das argamassas.

Os resultados obtidos e analisados mostraram-se satisfatórios, porém para que os RCD possam ser utilizados de maneira segura e dessa forma contribuir fortemente para a diminuição dos impactos ambientais verifica-se a necessidade da continuidade dos estudos para melhor detalhamento.

Concluindo este Trabalho de conclusão de Curso, consegue-se afirmar que com adequado processo e devido incentivo oferecido às empresas e construtores para que seja feita a correta reutilização dos resíduos sólidos os mesmos podem ser usados para preparação de argamassa de revestimento beneficiando dessa forma, o meio ambiente e as gerações futuras.

Para análise de durabilidade são necessários a realização de outros estudos aprofundando nesta parte específica da sua vida útil, uma vez que, a comparação deste trabalho foi apenas em fatores granulométricos dos agregados e da resistência a compressão das argamassas.



## 7. REFERÊNCIAS

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, E.; JOHN, V.. desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil, São Paulo/SP, 2001. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro/RJ. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15114: Resíduos Sólidos da Construção Civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro/RJ. 2004.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro/RJ. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro/RJ. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15258: Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração**. Rio de Janeiro/RJ. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935: Agregados - Terminologia**. Rio de Janeiro/RJ. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia**. Rio de Janeiro/RJ. 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro/RJ. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-3: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração parte 3: Aderência superficial**. Rio de Janeiro/RJ. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13221: Transporte terrestre de resíduos**. Rio de Janeiro/RJ. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175: Cal hidratada para argamassas - Requisitos**. Rio de Janeiro/RJ. 2003.

BARRETO, I. M. C. B. D. N. *Gestão de resíduos na construção civil*, Aracaju/SE, 2005. 28p.

BRASIL. 1986. **Resolução CONAMA nº 307**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Diário Oficial da República Federativa do Brasil de 17 de fevereiro de 1986.

BRASIL. 2002. **Resolução CONAMA nº 307**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil de 17 de julho de 2002.

BRASIL. 2010. **Lei nº 12.305**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil de 12 de agosto de 2010.

CANEDO, C.; BRANDÃO, B.; PEIXOTO FILHO, L. *Reaproveitamento de resíduo de construção na produção de argamassa de revestimento*, Goiânia/GO, 2011. 83p.

FERNANDES, B. A. *UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSA - desempenho de argamassa produzida com resíduos da construção civil da cidade de Juiz de Fora*. **Monografia FACULDADE DOCTUM**, Juiz de Fora/MG, 2017. 67p.

IBRACON. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. **INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO**, São Paulo/SP, 2017. 21p.

JOHN, M. Reciclagem de resíduos da construção civil - contribuição a metodologia de pesquisa e desenvolvimento. **Tese (livre docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo**, São Paulo/SP, 2000. 120p.

KNOB, G. P. L. VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA A PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO, Chapecó/SC, 2019. 20 p.

LEVY, S. M. Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos. **Dissetação (Mestrado)**, São Paulo/SP, 1997a, 1997. 147.

LIMA, , R. S. Guia para elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos na Construção Civi. **CREA-PR**, Curitiba/PR, p. 60p., 2009.

LIMA, S. N. D. S. APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS. **Dissertação de Mestrado - UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**, João Pessoa/PB, 2005. 110p.

MALTA, J. O.; SILVA, V. S.; GONÇALVES, J. P. Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, Salvador/BA, v. 1, n. 2, p. p. 176-188, 2013.

MATOS, J. M. E.; BRASILEIRO, L. L. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil, São Paulo/SP, 2015. 12p.

MELO, F. C. A. C. D. Análise de Argamassa com Substituição Parcial do Cimento Portland por Cinza Residual de Lenha de Algaroba. **Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE**, Natal/RN, 2012. 104p.

PEDROZO, R. F. E. Influência Da Substituição Do Agregado Miúdo Natural Por Agregado Reciclado Fino Em Propriedades De Argamassas E Concretos.

**Dissertação de Mestrado UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**, Florianópolis/SC, 2008. 178p.

PEREIRA, R. S. Análise da Retenção de Água em Argamassas com Resíduo de fundição. **Projeto de Iniciação Científica - CENTRO UNIVERSITÁRIO - CATÓLICA DE SANTA CATARINA** , Jaraguá do Sul/SC, 2012. 10p.

PINTO, T. D. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. **Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo**, São Paulo/SP, 1999. 189p.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. Influência do tipo de cal hidratada na reologia de pastas. **Boletim Técnico da escola Politécnica da USP - Departamento de Engenharia Civil**, São Paulo/sp, 1999. 29p.

RECENA, F. A. P. Conhecendo Argamassa, Porto Alegre/RS, 2012. 124p.

SANTOS, A. S.; ISELLE, A.; DIAS SILVA, H. RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: Conceito, Históricos e Gerenciamento. **Revista eletrônica Organizações e Sociedade**, Iturama/MG, v. v.8, n. 10, p. 5-21p., jul/dez 2019.

SEBRAE-SP. **GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**. São Paulo/SP, 32p. 2012.

SINDUSCON/PR. **PLANO DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS DE CURITIBA**. Curitiba/PR, 186p. 2004.

SOUZA, I. N. C. Impactos Causados Pelos Resíduos Procedentes Da Construção Civil E Demolição: Uma Análise Conceitual Dos Procedimentos Para Minimizá-los., Porto Nacional/TO, 06 jul. 2017. 13p.

TEIXIERA, P.; CARVALHO, F. M. A. A construção como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba/PR, p. 109, jul/dez 2005.