

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Engenharia**  
**Curso de Especialização em Construção Civil**  
**Debora Betti Ornelles**

**COMPARATIVO DO DESEMPENHO DE AGREGADOS  
MIÚDOS NATURAIS E BRITADOS UTILIZADOS EM  
ARGAMASSAS**

**Belo Horizonte,  
2018**

**DEBORA BETTI ORNELLES**

**COMPARATIVO DO DESEMPENHO DE AGREGADOS  
MIÚDOS NATURAIS E BRITADOS UTILIZADOS EM  
ARGAMASSAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído do departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

**Orientador:** Sidnea Eliane Campos Ribeiro

**Belo Horizonte,  
2018**

**DEBORA BETTI ORNELLES**

**COMPARATIVO DO DESEMPENHO DE AGREGADOS MIÚDOS E  
BRITADOS UTILIZADOS EM ARGAMASSAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 201\_\_\_\_,  
ao Curso de Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído,  
aprovado pela banca examinadora constituída dos professores:

---

**Prof. Sidnea Eliane Campos Ribeiro**  
UFMG – Escola de Engenharia

---

**Prof. White José dos Santos**  
UFMG – Escola de Engenharia

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os professores da Especialização em Produção e Gestão do ambiente construído por compartilhar os conhecimentos e experiências. Agradeço a minha orientadora Sidnea, pela paciência, apoio e auxílio durante toda a etapa da elaboração do trabalho. Por fim, agradeço todos os colegas que conquistei nesse percurso que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

## RESUMO

*A argamassa mista é um material de uso abundante na construção civil. Um dos seus principais constituintes, o agregado miúdo, normalmente é extraído de jazidas naturais, o que vem devastando grandes áreas e causando problemas irreversíveis. Uma das opções de reduzir esse problema é substituir esse agregado natural por resíduos de rochas graníticas, já que o descarte oriundo da extração deste chega à 240.000T/ano. Este estudo foi composto de fundamentação teórica e de pesquisa bibliográfica exploratória, a fim de avaliar a eficiência das argamassas mistas para revestimento quando utilizado um agregado miúdo residual, conseqüentemente reduzindo os descartes de granito e preservando um bem natural. Foram analisados dois artigos que realizaram ensaios com amostras de argamassas feitas com agregados britados de rochas graníticas, que apresentou resultados satisfatórios em relação à qualidade, granulometria e trabalhabilidade, e superiores às propriedades de resistência a tração e flexão das argamassas quando comparadas ao método de areia natural. Apontou-se como principal fator de influência nos ensaios a quantidade de modulo de finura e a presença de cal. A dialética foi essencial para a verificação dos resultados, porém comparar com um número maior de artigos poderia aperfeiçoar na concretização os resultados. Apesar disso, verificou-se a viabilidade da utilização de granito britado, a fim de evitar a extração ilegal, devastações ambientais dos areais e cumprindo a função de gestão de resíduos para a novos materiais na engenharia.*

**Palavras-chave:** Argamassas. Impactos ambientais. Agregado miúdo britado.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Britagem de rocha .....	14
Figura 2: Jazida de Granito situada no estado do Espírito Santo .....	16
Figura 3: Lençol freático exposto devido a extração de areia.....	17
Figura 4:Classificação das areias quanto à granulometria .....	21
Figura 5 : Resistência de Aderência .....	34

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de Rochas.....	14
Quadro 2: Métodos de lavra de areia e tipos de depósitos minerais .....	16
Quadro 3: Classificação das argamassas.....	18
Quadro 4:Tipos de cimento Portland em função das adições.....	20
Quadro 5: Propriedade das argamassas .....	24
Quadro 6: Artigos analisados.....	25
Quadro 7: Resultado do ensaio granulométrico.....	29
Quadro 8 : Ensaio de Resistência amostragem 1 a 6.....	30
Quadro 9: Ensaio realizado agregados miúdos .....	32
Quadro 10: Amostras do programa experimental 2 .....	32
Quadro 11: Ensaio de Resistência amostragem 1 a 6.....	33

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>CAPITULO 1: OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPITULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>9</b>
2.1 Agregados.....	9
2.1.1 Classificação dos agregados miúdos .....	10
2.1.2 Areia de britagem .....	13
2.1.3 Rochas Graníticas .....	15
2.1.4 Formas de extração e impactos ambientais .....	16
2.2 Argamassa.....	18
2.1.1 Classificação das Argamassas.....	18
2.1.2 Composição das Argamassas .....	19
<b>CAPITULO 3: METODOLOGIA .....</b>	<b>25</b>
3.1 Pesquisa Bibliográfica .....	25
3.2 Dados de produtividade .....	25
<b>CAPITULO 4: PESQUISA EXPLORATÓRIA .....</b>	<b>27</b>
4.1 Programa experimental artigo 1 .....	27
4.2 Programa experimental artigo 2 .....	30
4.3 Comparação entre os dois estudos.....	35
<b>CAPITULO 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>40</b>



## INTRODUÇÃO

O Brasil é conhecido por sua riqueza em matérias-primas e em se tratando do desenvolvimento econômico, conta com a construção civil como um dos seus principais setores. Em contrapartida, a indústria da construção civil é uma das maiores consumidoras dessas riquezas naturais (OLIVEIRA E.; OLIVEIRA V., 2012; MALTA; SILVA; GONÇALVES,2013).

De acordo com Salgado (2008), os insumos naturais são utilizados como componentes em vários materiais da construção civil, pertinente ao seu bom desempenho “in natura”. Neste estudo, será analisado a eficiência da substituição do agregado natural constituinte de argamassas devido este corresponder a um valor significativo em seu volume final, por um proveniente da britagem de rochas graníticas.

Geralmente, os agregados utilizados nas argamassas mistas para revestimento são as areias provenientes de jazidas situadas em várzeas e leitos de rios, preferencialmente de regiões próximas aos centros urbanos. No entanto, já é visível os empecilhos do uso da mesma, como o aumento da distância destas jazidas naturais ao seu destino final devido as exigências ambientais, ou até mesmo a extinção de muitas delas, resultando em uma busca por materiais alternativos cada vez mais almejada na engenharia (GASQUES, 2014; SANTOS A., 2009).

Existem vários estudos para a substituição dos agregados utilizados nos materiais de construção por materiais recicláveis. Porém, muitos deles, em sua análise conclusiva, apresentam inviabilidades técnicas, econômicas e culturais o que desestimula o interesse de produtores e consumidores de argamassas a investir na produção de materiais alternativos (KANNING, 2007).

A falta de uma conclusão que atenda aos requisitos supracitados confinada a realidade de que a areia é um recurso finito e com necessidade de preservação, torna imprescindível a busca continua da substituição por materiais alternativos que suprem o desempenho da matéria-prima, o que justifica este estudo (SANTOS A., 2009).

A alternativa proposta é a substituição do agregado miúdo natural pelo granito britado. A rochas são utilizadas como agregado graúdo no concreto, ou seja, já se tem conhecimento da sua relação com o cimento. Sendo assim, o descarte da mineração tem uma grande possibilidade de aceitação na substituição do agregado miúdo nas

argamassas. Vários fabricantes de equipamentos de britagem já vêm investindo para obter tecnologia suficiente na fabricação de um agregado mais próximo possível à areia natural (SANTOS A., 2009).

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho será baseada em uma fundamentação teórica sobre argamassas e agregados, levantamento bibliográfico em artigos, livros e normas técnicas, apresentado no capítulo 1 e 2. Em seguida, no capítulo 3, será apresentado dados de ensaios realizados em dois procedimentos experimentais que foram utilizados agregados miúdo naturais e obtido por britagem de granito em argamassas. Já no capítulo 4, será realizado as análises e resultados com a devida comparação, seguido do capítulo 5, a conclusão.

## **CAPITULO 1: OBJETIVOS**

O objetivo geral desse estudo é analisar e avaliar a eficiência da substituição parcial ou total de areia natural pelo agregado miúdo britado de granito em argamassas mistas, para tanto será desenvolvido um estudo comparativo entre dois artigos que apresentam resultados de ensaios de argamassas utilizando resíduos de rochas graníticas.

Para alcançar o objetivo geral, alguns objetivos específicos foram definidos para o trabalho, tais como:

- realizar uma revisão teórica com os conceitos técnicos;
- analisar as características e os impactos ambientais na extração dos dois tipos de agregado;
- estudar as propriedades e o desempenho destes materiais;
- verificar a viabilidade técnica da utilização de agregado miúdo britado através de revisão de experimentos, afim de evitar a extração ilegal, devastações ambientais dos areais e cumprindo a função da engenharia vinculando otimização de recursos com reduções de custo e impacto ambiental.

## **CAPITULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo será realizado um apanhado geral sobre agregados miúdos e argamassas para esclarecimento de conceitos, características e propriedades e assim possibilitar a análise e discussão dos ensaios.

### **2.1 Agregados**

Pinto, Ribeiro, Starling (2013), conceituam o agregado como um material granular inerte, ou seja, suas reações químicas são praticamente nulas. A NBR 9935: 2011 (ABNT, p.2), define os agregados como um material “com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassas e concretos”.

Como os agregados não possuem formas e tamanhos definidos, a NBR 7211:2009 destaca que os agregados podem ser classificados em dois grandes grupos: graúdos e miúdos, conforme dimensão dos grãos. Essa dimensão é definida por peneiras de malhas definidas pela ABNT, sendo denominado agregados miúdos aqueles que passam pela peneira ABNT de malha 4,8mm e agregados graúdos aqueles que ficam retidos nesta peneira, ou seja, possuem dimensão maior que a malha de 4,8mm (PINTO; RIBEIRO; STARLING, 2013). Neste estudo, será focalizado nos agregados miúdos, visto que estes que são utilizados nas argamassas mistas para revestimento.

O agregado miúdo é um material de caráter econômico quando adicionado à pasta de cimento e areia. Petrucci (2007) explana que a adição do agregado miúdo à argamassa é essencial para a redução do custo, e reduz as modificações de seu volume. Ele também afirma que ela “facilita a passagem de anidrido carbônico no ar, que produz a recarbonatação de hidróxido de cálcio, com conseqüente solidificação do conjunto” (PETRUCCI, 2007, p. 351).

Segundo Bauer (1997) os agregados miúdos podem ser naturais ou artificiais. Os naturais são aqueles que já se encontram em forma fragmentada na natureza, como exemplo, a areia e o cascalho. Já os artificiais são aqueles que sua britagem é obtida industrialmente.

Apesar de por muitos anos os agregados serem considerados um material vantajoso devido sua função de enchimento e redução de custos nas argamassas, Petrucci (2007) e Guacelli (2010) defendem a hipótese que estes benefícios vão além disso: os agregados influenciam expressamente nas propriedades de trabalhabilidade e aderência deste material. Duarte (2013) complementa com a influência econômica, técnica e social a este material estar empregado nas moradias, saneamento e em toda a infraestrutura urbana necessária para habitação.

A importância dos agregados no setor da construção faz que com esse seja um dos insumos mais consumidos em todo o planeta. A qualidade e características dos agregados, seja natural ou artificial devem ser tratadas com peculiaridade, assim como sua classificação, para não estorvar as propriedades e desempenho do produto final (DUARTE, 2013).

#### 2.1.1 Classificação dos agregados miúdos

Os agregados miúdos podem ser classificados perante vários aspectos e alguns deles estão representados a seguir:

##### 2.1.1.1. *Obtenção*

Os agregados miúdos podem ser classificados conforme a sua forma de aquisição, natural ou artificial. Conforme Ribeiro, Pinto e Starling (2013), a areia natural é aquela extraída de leitos de rios e barrancos ou que foram fragmentadas por ações de intemperismo. Já a areia artificial é aquela em proveniente de processos industriais artificiais, ou seja, que sofreu alterações químicas, físico-químicas ou mineralógicas.

Para o uso na construção civil, as areias podem ser nomeadas de acordo com o beneficiamento que serão sujeitas, seja areia bruta, lavada ou graduada. A areia bruta é aquela que não é beneficiada. Já a areia lavada, é aquela que passa por um peneiramento para retirada de partículas finas, materiais pulverulentos e impurezas orgânicas. A graduada é aquela que submete a uma distribuição de granulometria estabelecida (NOGUEIRA, 2016).

Assim como o conceito de areia natural, a NBR 9935:2011 também caracteriza a areia britada como um material granular pétreo, resultante de ações da natureza, porém, esta é obtida através da britagem mecânica de rochas. Essa areia não pode ser classificada como artificial, pois ela não sofreu alterações mineralógicas, físicas ou químicas da matéria prima original, apenas a redução de sua granulometria.

A areia britada já vem sendo implantada há mais de 30 décadas (GUACELLI, 2010), mas empecilhos como o elevado teor de material pulverulento e a variabilidade de tipos de rochas dificultam a pretensão da substituição por deste em relação à areia natural, que um material que já está praticamente pronto para uso.

#### *2.1.1.2. Massa unitária e Massa específica*

Para efeito de dosagem, é importante ter conhecimento do volume ocupado pelas partículas de agregado miúdo. A massa unitária é a relação entre a massa e o volume ocupado, incluindo os vazios, já a massa específica é a mesma relação, porém excluindo os vazios. Estas relações classificam o agregado em leves, normais ou pesados, sendo que a areia usada em obras convencionais possui um índice  $\text{kg/dm}^3$  entre 1 e 2. (PINTO; RIBEIRO, STARLING, 2013).

#### *2.1.1.3. Dimensão máxima característica*

Segundo a NBR NM 248:2003 a dimensão máxima característica condiz com a distribuição granulométrica do agregado distribuído de acordo com as aberturas milimétricas das malhas de cada peneira de serie normal (ou intermediária), na qual esse agregado manifesta uma porcentagem retida acumulada equivalente ou logo abaixo de 5% em massa.

#### *2.1.1.4. Forma dos grãos*

A forma dos grãos é uma característica de extrema importância em relação a trabalhabilidade da massa e varia de acordo com sua procedência (PINTO; RIBEIRO; STARLING, 2013).

A areia proveniente de leitos de rios é composta geralmente de quartzo (SANTIAGO, 2012) e possui uma grande demanda no mercado da construção civil

por essa já ser uma areia lavada, ou seja, isenta de argila, e classificada naturalmente pelas correntezas. (LUZ; ALMEIDA, 2012). Sua forma arredondada é provocada por fenômenos naturais como o atrito com a água e vento (PINTO; RIBEIRO; STARLING, 2013).

A areia obtida por britagem de rochas graníticas geralmente possui formatos angulares, arestas bem definidas e superfície áspera, o que torna necessário um maior tratamento desta até a utilização final (MARTINS, 2008; GONÇALVES; MALTA; SILVA, 2013).

Cabral (2007) justifica que a superfície áspera da rocha diminui a trabalhabilidade na pasta de cimento, aumentando a quantidade desta pasta, uso de água e conseqüentemente o custo.

#### *2.1.1.5. Módulo de Finura*

O módulo de finura dos agregados miúdos é obtido através do somatório das porcentagens retidas acumuladas em massa, nas peneiras da série normal, normalizadas pela ABNT, dividida por 100. O módulo de finura é essencial para determinar onde cada agregado deve ser utilizado sendo que as mais grossas são melhores para concreto e chapisco e as medias e finas no emboço e reboco, respectivamente (PINTO; RIBEIRO; STARLING, 2013).

#### *2.1.1.6. Qualidade dos agregados*

A qualidade do agregado deve ser avaliada de maneira muito cautelosa, pois a presença de materiais pulverulentos, impurezas orgânicas, o modulo de finura e a caracterização granulométrica trazem problemas no desempenho quando esse este usado como componentes na argamassa. A avaliação da resistência ao desgaste e a presença de substancias nocivas podem ser obtidas através de ensaios laboratoriais e da NBR 7221: 2012 (PINTO; RIBEIRO; STARLING, 2013).

Segundo os mesmos autores, os grãos devem ser resistentes e duráveis, com resistência aos esforços superior que a pasta de cimento para não romperem antes da pasta. Essa resistência é obtida através da análise comparativa entre a resistência

de argamassas elaboradas com agregados já validados e concretos feitos com agregados em estudo.

Os mesmos autores também complementam que as substâncias nocivas podem ser toleradas, porém em teores limitados, os limites sugeridos por esses autores são:

- torrões de argila: 1,5%;
- materiais pulverulentos (São as partículas inferiores a peneira ABNT de malha 0,075) 3 a 5%;
- impurezas orgânicas: Determinada através de ensaio colorimétrico e ensaios da NBR 7221:2012.

O ensaio de reatividade potencial também é importante pois a reação entre os hidróxidos do cimento e alguns materiais silicosos do agregado podem provocar reações de expansão e fissuras (PINTO; RIBEIRO; STARLING, 2013).

#### *2.1.1.7. Teor de umidade*

A taxa de umidade contida nos agregados deve ser analisada com cautela, pois ela interfere na quantidade de água e volume da argamassa e concreto. Um aumento do teor de umidade pode proporcionar o afastamento dos grãos e aumento do volume aparente, podendo alterar a qualidade do produto final (PINTO; RIBEIRO; STARLING, 2013).

#### *2.1.2 Areia de britagem*

A areia de britagem é definida pela NBR 9335:2011 quando essa é obtida pelo processo de fragmentação mecânica de uma rocha, seguindo o estabelecido em normas específicas.

A grande variedade de rochas existentes desfavorece um padrão para a areia britada, visto que cada tipo de rocha possui uma característica diferente e, em o uso de cada varia de acordo com a região onde a pedreira está localizada (COSTA, 2015). Através das informações passadas pelo autor, foi possível destacar os tipos de rochas e sua procedência (Quadro 1).



**Quadro 1:** Tipos de Rochas

Tipo	Procedência	Exemplos
Ígnea	Magma, silicatos, gases e elementos voláteis.	Granito Basalto
Sedimentares	Desagregação e sedimentação de rochas da crosta terrestre	Calcário Arenito
Metamórficas	Rochas submetidas a mudança de temperatura e pressão	Quartzitos Gnaissess

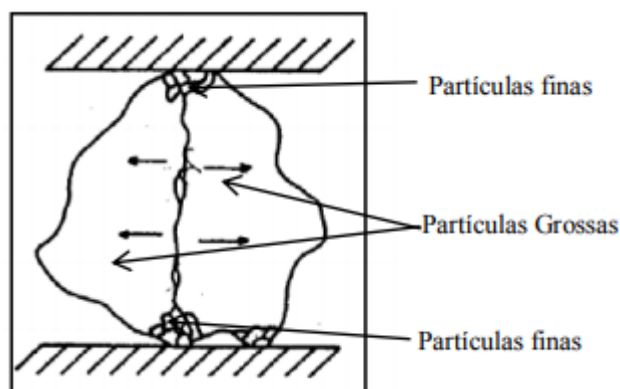
**Fonte:** Costa, 2015 (Adaptado).

No processo de britagem, os equipamentos são de extrema importância para a obtenção de bons resultados, tendo em vista que os tamanhos dos grãos possuem grande influência nas propriedades quando utilizado na mistura de argamassa (COSTA, 2015).

Quando uma rocha é submetida a britagem, ela é fragmentada a partir de forças de compressão e cisalhamento. No processo de quebra por compressão, a rocha pode apresentar partículas grossas, devido à quebra motivada pela tensão e finas, devido à compressão local (Figura 1) (COSTA, 2015 *apud* GUIMARÃES, et al. 2007; ALMEIDA; FIGUEIRA; LUZ, 2015).

Quanto melhor a tecnologia dos equipamentos de britagem, melhor a qualidade dos agregados, assim como a forma e controle de finos (COSTA, 2015 *apud* CEPURITS; JACOBSEN; ORNELLA, 2015).

**Figura 1:** Britagem de rocha



**Fonte:** Costa 2015 *apud* Almeida, Figueira, Luz ,2015, p.25

A forma dos agregados submetidos a britagem depende de cada tipo de rocha: As rochas maciças resultam em formatos mais cúbicos, já rochas sedimentares e

metamórficas apresentam fragmentos mais alongados. Rochas ígneas, como os granitos apresentam formas angulosas (COSTA 2015 *apud* METHA; MONTEIRO, 2015).

Os mesmos autores também explanam que, assim como a forma, a textura do agregado é dependente de cada tipo de rocha. A dureza e porosidade são uns dos fatores que influenciam na superfície do agregado. O granito e basalto britados, por exemplo, apresentam superfície áspera.

Outro método que vem sendo observado para obtenção de areia é a partir da lavagem do pó de pedra para a redução dos finos. Deste modo a areia de britagem apresenta menos material pulverulento (ANEPAC, 2017).

### 2.1.3 Rochas Graníticas

As rochas naturais são aquelas encontradas na natureza em forma de grandes blocos, que quando são extraídas para função construtiva são cortadas, serradas e polidas. Sua composição e características são diretamente relacionadas as propriedades de resistência a esforços mecânicos, dureza e porosidade (DONÁ; VARGAS; ZULIAN, 2002).

O granito é uma rocha ornamental de grande valor na construção civil devido suas características estéticas. No setor, é considerado granito um grande grupo de rochas silicáticas, abrangendo rochas homogêneas, que são os granitos e basaltos e as movimentadas, que são os gnaisses (LIRA; RIBEIRO; SANTOS, 2012 *apud* DUTRA, 2006).

O granito possui cristais milimétricos e uma variedade de cores. Além do destaque da sua textura, o granito é uma rocha resistente, com alta taxa de ruptura de compressão podendo chegar a 200 MPa, baixa porosidade e em grandes casos não reagem com os álcalis do concreto. No Brasil estão as maiores reservas mundiais graníticas (Figura 2), que ultrapassam 1.500.000.000 m<sup>3</sup>. (LIRA; RIBEIRO; SANTOS, 2012 *apud* PARAHYBA, 2009).

**Figura 2:** Jazida de Granito situada no estado do Espírito Santo



**Fonte:** Grupo Andrade.

#### 2.1.4 Formas de extração e impactos ambientais

A lavra de areia depende de onde este material está situado (Quadro 2).

**Quadro 2:** Métodos de lavra de areia e tipos de depósitos minerais

MÉTODO	DEPÓSITOS MINERAIS	SITUAÇÃO
Dragagem	Sedimentos inconsolidados quaternários	Leito de rio
		Cava submersa (Leito desviado de rio)
Desmorte Hidráulico	Planícies fluviais, coberturas e sedimentos inconsolidados quaternários	Cava seca (Leito desviado de rio)
	Rochas sedimentares cenozóicas	Cava seca
	Manto de alteração de rochas pré-cambrianas	

**Fonte:** Anepac.

Quando a extração de areia é feita em depósitos de planícies fluviais, rochas cristalinas adulteradas e formações sedimentares, utiliza-se o método da cava seca. Com a utilização de desmorte hidráulico, ocorre a desagregação da areia através de jatos de água de alta pressão, em formato de cava (ANEPAC, 2017).

Conforme o mesmo autor, no método de cava submersa essa cava estará preenchida com água e a extração é feita por uma draga equipada por bombas centrífugas. A extração em leitos de rios também é feita por draga. A areia é seccionada através das bombas.

Pereira e Verney (2009) apontam os danos irreversíveis causados pela extração de areia dos rios. A erosão das margens altera significativamente o equilíbrio hidrológico, afetando a fauna e flora situados nas várzeas, além da diminuição da pressão das sobre os lençóis freáticos.

De acordo com PNUMA, anualmente 40 milhões de toneladas de areia e cascalho são extraídas do ambiente natural e as devastações já é uma grande preocupação aos especialistas (Figura 3).

**Figura 3:** Lençol freático exposto devido a extração de areia



**Fonte:** Coimbra, 2016

A areia obtida através do resíduo de mineração por sua vez requer uma alta demanda de energia destinada aos equipamentos de fragmentação das rochas. Os britadores, esteiras e peneiras necessitam de queimas de combustíveis, além da emissão de gases na atmosfera (GONÇALVES; MALTA; SILVA, 2013).

As rochas ornamentais, agregado utilizado neste estudo, são extraídas em grandes blocos e os resíduos de lavra de rocha, ou seja, os pequenos pedaços são classificados como descarte. Além disso, quando a rocha é transformada em placas para posteriormente serem comercializadas, a fração de menor granulometria é descartada no processo e depositada em céu aberto, e quando não há mais lugar para essa deposição, esta é lançada em corpos d'água e terrenos baldios, podendo tornar um grave problema ambiental (DANTAS, 2006 *apud* GONÇALVES, 2000).

## 2.2 Argamassa

Segundo a NBR 7200:1998 a argamassa é uma “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento”. Petrucci (2007) comenta que uma pasta é uma mistura de um aglomerante com água. Já a argamassa é a mistura desta pasta com um agregado miúdo. Carasek (2007), descreve a argamassa como um material de pequena granulometria, que em contato com a água, promove uma coesão entre os grãos.

Há registros do uso das argamassas na construção civil desde a pré-história, sendo que as mais antigas eram à base de cal e areia. A medida que as técnicas da construção civil foram se aprimorando, o emprego do cimento Portland e aditivos orgânicos tornaram parte da composição das argamassas mistas. No século XIX surgiram as argamassas industrializadas, em que para a mistura é necessário somente a adição de água (CARASEK, 2007).

### 2.1.1 Classificação das argamassas

De acordo com, Petrucci (2007), o uso de argamassas na construção é recorrente, em destaque para o assentamento de elementos de vedação e revestimentos. Através das definições de Carasek (2007), foi elaborado quadro para visualização da classificação das argamassas (Quadro 3):

**Quadro 3:** Classificação das argamassas

Fundamento	Definição
natureza do aglomerante;	Cal aérea ou cal hidráulica;
tipo de aglomerante;	Cal, cimento, Cal e cimento, gesso, etc.
número de aglomerantes;	Simples ou mista.
consistência da argamassa;	Seca, plástica ou fluida.
plasticidade da argamassa;	Pobre, média ou rica.
densidade de massa da argamassa;	Leve, normal ou pesada.
forma de preparo ou fornecimento.	Feita na obra; Mistura semi-pronta para argamassa Industrializada; dosada em central

**Fonte:** Carasek ,2007, (Adaptado).

Em relação a sua utilização, a NBR13281:2005 as classifica da seguinte forma:

- argamassa para assentamento: Utilizados para união de elementos de vedação (blocos, tijolos) com função de vedação ou estrutural. Também é utilizado para o encunhamento da alvenaria;
- argamassa para revestimento: Utilizados para revestimento de ambientes internos e externos, com função de camada de regularização (emboço e camada única);
- argamassa de uso geral: Recomendada para assentamento de alvenaria de vedação e em revestimentos de tetos e paredes (externos e internos);
- argamassa para reboco: Massa fina aplicada sobre o emboço para posteriormente receber o acabamento final;
- argamassa decorativa: Pode ser em camada fina, ou em monocamadas.

#### 2.1.2 Composição das argamassas mistas para revestimento

Santiago (2007) afirma que as argamassas mistas para revestimento devem cumprir o desempenho estabelecido em norma. O tipo, a qualidade e a quantidade das matérias primas são essenciais para sua caracterização. Assim, devem ser livres de impurezas, com correta dosagem dos componentes utilizados e cumprir os requisitos mínimos aos quais são destinados.

##### 2.1.2.1 Aglomerante

O aglomerante é um dos constituintes da argamassa e tem como função o ligamento e aderência dos grãos. O Cimento Portland, Cal e gesso são exemplo de aglomerantes usados na construção civil para obtenção da argamassa (CARASEK, 2007). Segundo Barreto (2014) o cimento Portland é o aglomerante mais utilizado em argamassas. As argamassas contendo apenas cal como aglomerante são pouco utilizadas nos dias atuais.

A fabricação do cimento Portland é ocorre através da união de calcário e argila submetidos a altas temperaturas, formando o clínquer. Este, adicionado gesso é sujeito a um processo de moagem. As adições de substancias dependem de onde o cimento será empregado (BAUER,1997, PINTO; RIBEIRO; STARLING, 2013).

Existem vários tipos de cimento no mercado, que variam de acordo com as adições e sua utilização é escolhida pelas suas propriedades (Quadro 4).

**Quadro 4:** Tipos de cimento Portland em função das adições

Tipos de Cimento Portland	Composição (% de massa)				
	Sigla	Clínquer	Escória	Pozolana	Materiais carbonático
CP comum	CPI	100	0	0	0
CP com adição	CPI-S	95-99		1-5	
CP com escória	CPII-E	56-94	6-34	-	0-10
CP com pozolana	CPII-P	36-94	-	6-54	0-10
CP com fíler	CPII-F	90-94	-	-	6-10
CP de alto-forno	CPIII	25-65	35-70	-	0-5
CP pozolânico	CPIV	50-85	-	15-50	0-5
CP de alta resistência Inicial	CPV ARI	95-100	0	0	0-5

**Fonte:** Pinto; Ribeiro; Starling, 2011, p.37.

As propriedades do cimento Portland variam de acordo com as suas condições, seja ele em pó, em contato somente com água (pasta) e misturado com um agregado (as argamassas) (BAUER,1997).

O gesso é um material adquirido pela britagem e desidratação da gipsita muito utilizado na composição das argamassas devido suas características de resistência ao fogo, resistência à compressão e influência no tempo de pega (PINTO; RIBEIRO; STARLING, 2013).

Segundo os mesmos autores, a cal é um aglomerante proveniente da rocha calcária submetida a moagem e elevadas temperaturas. Ela pode ser do tipo aérea (ou cal viva), onde obtém-se óxido de cálcio e liberação de o gás carbônico, ou hidratada quando se obtém hidróxido de cálcio e é liberado gás carbônico, quando essa é sujeita à altas temperaturas. A cal possui grande influência nas características de trabalhabilidade e durabilidade das argamassas.

#### 2.1.2.2 Agregado

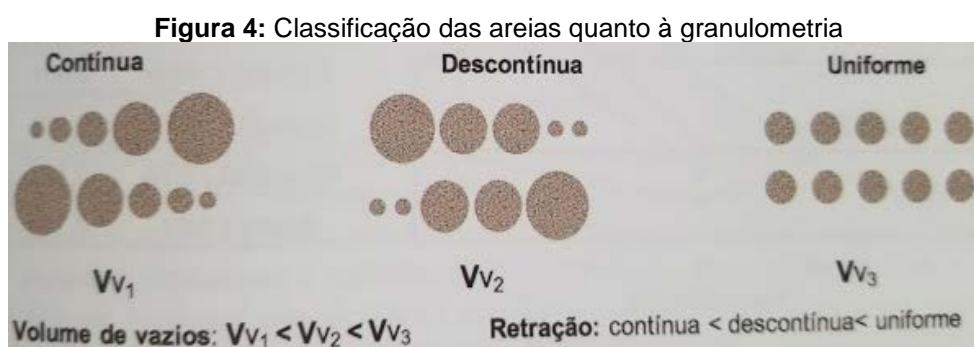
Pinto, Ribeiro, Starling (2013), citam que nas argamassas é utilizado o agregado miúdo, com diâmetro inferior a 4,8mm e superior à 0,075mm.



O agregado é o material predominante na argamassa e seu uso deve ser muito cauteloso, pois a presença de materiais pulverulentos, impurezas orgânicas, o módulo de finura e a caracterização granulométrica trazem problemas no desempenho da argamassa. (CARASEK, 2007).

Quanto mais descontínuo a granulometria, menor é o número de vazios e menor os efeitos de retração plástica, portanto menos fissura ocorreram (Figura 4) (PINTO; RIBEIRO; STARLING, 2013).

Já Carvalho Junior *et al* (2016) *apud* Cincotto, Angulo e Carneiro (2012) defendem a ideia que a descontinuidade da granulometria não gera um melhor empacotamento nem menos número de vazios, e que a continuidade granulométrica é capaz de aprimorar a consistência, coesão e resistência na argamassa mista para revestimento.



Fonte: Casaresk, 2007, p. 403

### 2.1.2.3 Água, aditivos e aglutinantes

Carasek (2007), conceitua a água, os aditivos e aglutinantes, em relação a argamassa, da seguinte forma:

- Água: a água tem uma função de extrema importância na argamassa que é fornecer a consistência adequada, plasticidade e trabalhabilidade. Ela está diretamente ligada com a resistência da massa final.

- Aditivos: os aditivos são produtos químicos até 5% capazes de fornecer a massa características específicas. São exemplos de aditivos os plastificantes, redutores de permeabilidade, retentores de água, entre outros).



- Aglutinantes: os aglutinantes ou ligantes são materiais pulverulentos que tem como função prover trabalhabilidade na massa.

#### *2.1.2.4 Propriedades das Argamassas*

De acordo com Carasek (2007), as propriedades das argamassas variam de acordo com o estado em que se encontra, sua finalidade, a qualidade e quantidade dos seus componentes e a sua interação com os materiais em que estarão em contato.

As propriedades das argamassas são determinadas por ensaios laboratoriais de acordo seguindo requisitos específicos determinados por normas da ABNT.

- Consistência, trabalhabilidade e plasticidade: a consistência, trabalhabilidade e plasticidade da argamassa é determinada pelo ensaio proposto na NBR 13276:2005 define qual a reação da argamassa deformar-se sob ação de cargas. Conhecido como mesa de “*flow*”, a argamassa é disposta em camadas em um molde com formato de cone posicionado no centro de uma mesa, e nela é aplicada golpes com soquete.

Em seguida, o molde é retirado e uma manivela situada na mesa é acionada (está também pode ser mecânica). Após terminar este processo, o espalhamento da argamassa é medido através de um paquímetro.

- Retenção de água: a NBR 13277:2005 estabelece o método de ensaio de retenção de água nas argamassas. Esse ensaio é realizado através de medições e golpes amostra de argamassa disposta em um prato situado em cima de um funil com papel filtro.

- Massa específica e teor de ar incorporado: a massa específica é a relação entre a massa e o volume da argamassa, em que pode ou não ser considerado número de vazios, ou seja, o teor de ar incorporado. Esse método de avaliação é estabelecido na NBR 13278: 2005. Casaresk (2007) afirma que quanto mais leve essa argamassa, mais trabalhável será num maior tempo, resultando em uma melhor produtividade.

- Resistência mecânica: a resistência mecânica de compressão e tração a flexão é definida pelo método proposto na NBR 13279:2005, onde ela especifica o material e aparelhagem necessária para realizar o ensaio. Os corpos de prova devem ser em formato prismático com dimensões 4 cm x 4 cm x 16 cm formados através de uma mesa de adensamento por queda e nivelador de camadas, sujeitos a máquina de ensaios resistência a tração e compressão que aplicam cargas uniformes de 50N/s e 500N/s respectivamente).

- Adesão inicial e aderência: adesão inicial é avaliada no momento em que a argamassa no estado fresco é assentada no substrato. Já a aderência da argamassa pode ser analisada em seu estado endurecido na medida em que ocorre sua penetração nos poros ou na rugosidade da base onde é aplicada (CARASEK, 2007).

- Elasticidade ou capacidade de deformação: a capacidade de deformação nas argamassas é uma propriedade em que avalia o suporte quando aplicado tensões, sem apresentar fissuras deformações ou outros elementos que comprometam seu desempenho. (SANTOS, H. 2008 *apud* MACIEL; BARROS; SABBATINI 1998).

- Retração: o fenômeno de retração da argamassa ocorre devido à perda acelerada de água de amassamento e pelas reações desta com o aglomerante (CARASEK, 2007).

- Durabilidade: a durabilidade é uma propriedade importante nas argamassas quando ela se encontra no estado endurecido, pois ela se relaciona com o desempenho desta quando disposta a agentes agressivos. As fissuras, qualidade dos agregados, presença de microrganismos são alguns exemplos afetam a durabilidade da argamassa (SANTOS, H. 2008 *apud* MACIEL; BARROS; SABBATINI 1998).

Nos estudos realizados por Ishikawa e Oliveira (2012), para definição das propriedades das argamassas no estado fresco foram realizados ensaios conforme as prescrições da NBR 13726:2015 de determinação de consistência com a utilização da mesa de "flow". Já no estado endurecido, os autores utilizaram ensaios conforme a NBR 13279:2015, para determinar a resistência a tração na flexão e à compressão

simples. Carlos Oliveira (2004) destaca em seu estudo as propriedades nas argamassas segundo o estado em que se encontra no qual possibilitou a elaboração da Quadro 5.

**Quadro 5:** Propriedade das argamassas

<b>Estado fresco</b>	<b>Estado endurecido</b>
Trabalhabilidade	Resistência mecânica
Retenção de água	Elasticidade ou capacidade de deformação
Massa específica e o teor de ar incorporado	Durabilidade
Adesão inicial	Retração
-	Aderência

**Fonte:** Carlos Oliveira, 2004 (Adaptado).

## **CAPITULO 3: METODOLOGIA**

O presente trabalho científico foi elaborado a partir de uma pesquisa bibliográfica e exploratória, será analisado dois artigos que estudaram o resíduo de britagem de granito na argamassa de revestimento.

### **3.1 Pesquisa Bibliográfica**

Neste trabalho para realização da revisão bibliográfica foram utilizadas como fontes de pesquisa, livros, artigos técnicos, monografias, dissertações de mestrado, teses de doutorado, revistas e normas técnicas.

A partir da fundamentação teórica, será possível analisar toda metodologia realizada nos artigos, através de uma dialética embasada em conceitos e normas.

### **3.2 Dados de produtividade**

Para obtenção de resultados e comparativos da pesquisa bibliográfica exploratória, foi analisado os seguintes artigos (Quadro 6):

**Quadro 6:** Artigos analisados

	ARTIGO 1	ARTIGO 2
Titulo	Argamassa com Substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito	Propriedades da argamassa com areia artificial para revestimento de alvenaria
Autores	Ana Carolina Marinho Ribeiro Belarmino Barbosa Lira Robson Arruda dos Santos	Paulo H. Ishikawa Luiz Pereira de Oliveira
Edição	Revista REGET- Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. v. 8.n 8. p. 1818-1828.	APFAC-Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS no 4º Congresso Português de Argamassa e Ctis.
Data de Publicação	Set-dez. 2012	2012
Local de Publicação:	Santos, SP.	Coimbra, Portugal

**Fonte:** Autor.

Ambos artigos analisados apresentaram o estudo e análise de ensaios utilizando granito britado como agregado da argamassa e comparado com o método tradicional de areia de leito de rios.

Nesse trabalho será apresentado um estudo comparativo com as vantagens e desvantagens em relação ao desempenho da argamassa mista para revestimento com agregado miúdo natural e britado, possibilitando observar qual de fato é mais satisfatório.

Os dados extraídos da pesquisa bibliográfica e a interpretação dos artigos foram fundamentais para elaboração dos comparativos.

## **CAPITULO 4**

### **PESQUISA EXPLORATÓRIA**

#### **4.1 Pesquisa exploratória - Artigo 1**

O primeiro artigo a ser analisado foi publicado pela REGET pelos autores Lira, Santos e Ribeiro (2012). Estes justificam o estudo da substituição de agregados miúdos em argamassas como uma solução ecologicamente viável e para resíduos graníticos vindos da construção civil.

O agregado miúdo britado escolhido para a análise da substituição foi oriundo de resíduos de rochas graníticas, visto que estas são responsáveis por gerar 240.000 T/ano de resíduos, que muitas vezes são descartadas em locais inadequados (LIRA; SANTOS; RIBEIRO 2012 *apud* FORMIGONI 2006).

Os autores realizaram o estudo baseado nas normas estabelecidas pela ABNT, assim como as exigências e ensaios para classificação do agregado miúdo.

##### **4.1.1 Metodologia utilizada**

A amostragem de resíduo granítico foi extraída de uma jazida do estado de Pernambuco. Em seguida, foi submetida a ensaios laboratoriais de análise granulométrica, determinação do grau de finura e diâmetro máximo para caracterização do agregado. Além desses ensaios, os autores realizaram análise mineralógica do agregado a ser utilizado.

Para a amostragem de argamassas, os autores utilizaram corpos de prova com diferentes traços e realizaram análises da consistência da argamassa, tempo de cura, ensaios de resistência a compressão e flexão.

##### **4.1.2 Misturas experimentais**

Foram preparados 6 corpos de prova de formato prismático de dimensão 40x40x160mm, com aglomerante Cimento Portland CP11-32 e agregado pó de brita granítica.

O traço utilizado para fabricação da argamassa fora 1:1:6 (Cimento: cal: pó de brita) e fator água/cimento de 2,2 (g/g). Para a trabalhabilidade foi acrescentada água até a consistência da massa atingir  $255\text{mm}\pm 1$  através do ensaio de consistência mesa de “flow” estabelecido na norma NBR 13276: 2005.

Após 28 dias foram realizados os ensaios de flexão e compressão e análise dos corpos de prova.

#### 4.1.3 Análise dos dados experimentais

Para a coleta de dados experimentais, os autores realizaram os seguintes ensaios:

a) Difração de raio X: O difratograma de raio X consiste em um ensaio que identifica o mineral através de sua estrutura cristalina. O equipamento é capaz de registrar um determinado trajeto em que os raios X são propagados por elétrons do cristal registrando comprimento de onda. Quando há uma difração na propagação retilíneo, indica há um obstáculo no trajeto. O resultado desde ensaio é apresentado através de um gráfico.

O ensaio de difração de raio X foi realizado no agregado utilizado na amostra e apresentou que o material coletado do resíduo não continha minerais contaminantes que pudessem prejudicar a o uso do agregado na argamassa.

#### b) Ensaio granulométrico

Através das peneiras ABNT definidas pela NM248:2003 o resíduo foi submetido ao ensaio granulométrico, em que a cada peneira com diferentes diâmetros registrou-se a quantidade de agregados retidos em gramas; porcentagem retidos em relação ao total; porcentagem retidos somada à anterior (acumulada); e a porcentagem que ultrapassava as peneiras (Quadro 7).

**Quadro 7:** Resultado do ensaio granulométrico

Abertura da peneira (mm)	Gramas	% Retida	%Ac. Retida	% Ac. Passante
9,5	0	0	0	0
6,3	0	0	0	0
4,76	0	0	0	100
2,36	0,3	0,06	0,06	99,94
1,18	5,7	1,14	1,20	98,80
0,6	144,4	28,88	30,08	69,92
0,3	126,9	25,38	55,46	44,54
0,15	110,8	22,16	77,62	22,38
<0,15	111,9	22,38	100	0

**Fonte:** LIRA; SANTOS; RIBEIRO, 2012, p. 1825.

A partir do somatório das porcentagens retidas divididas por 100 foi possível classificar afim de obter o módulo de finura 2,6 mm.

Como a primeira peneira a reter os agregados utilizados foi a com diâmetro 2,36 mm, este foi adotado com diâmetro máximo e, comparada o Quadro 1, caracterizando como areia média, esta comumente usada nas argamassas.

### c) Ensaio de resistência a compressão e flexão

Foram realizados ensaios de compressão seguindo as diretrizes da NBR 13279:2005. Os corpos de provas prismáticos foram submetidos a uma carga uniforme de 500N/s até a ruptura. Também foi realizado ensaio de flexão seguindo as orientações da mesma norma do ensaio de Compressão (NBR 13279:2005), porém no ensaio de flexão os corpos de provas foram sujeitos a uma carga de à tração de 50N/s. Foram realizados 6 ensaios de compressão com traço 1:1:6 aos 7 e 28 dias e flexão média aos 28 dias e os resultados foram registrados no Quadros 8.



**Quadro 8** : Ensaios de Resistência amostragem 1 a 6

Traço 1 :1 :6	Compressão (7 dias) MPa	Compressão (28 dias) MPa	Flexão média (28 dias) MPa
Amostra 1	2,40	3,55	2,02
Amostra 2	2,46	2,84	2,02
Amostra 3	2,71	4,25	1,65
Amostra 4	2,50	3,98	1,65
Amostra 5	2,71	4,09	1,57
Amostra 6	2,71	4,20	1,57

**Fonte:** LIRA; SANTOS; RIBEIRO, 2012, p. 1826 (Adaptado)

## 4.2 Pesquisa exploratória- Artigo 2

O segundo artigo analisado durante a pesquisa exploratória foi realizado por Ishiwaka e Oliveira (2012) no qual os autores justificam o estudo ressaltando o alto custo de transporte do agregado natural e apontam que esse transporte equivale a 60% do valor final da areia. Apesar da necessidade da substituição desse agregado e o pouco valor comercial, os rejeitos de rochas ainda apresenta dificuldade de inserção no mercado.

De acordo com os autores, o granito, agregado escolhido para pesquisa, tem como resíduo um percentual de areia equivalente a 10% a 40%, dependendo do tipo de britagem. Para realizar o estudo, os autores analisaram as características físicas dos materiais e das propriedades das argamassas de revestimento em diferentes traços. A partir dos ensaios experimentais, os autores avaliaram o desempenho em relação a resistência, trabalhabilidade e aderência dos dois tipos de argamassa.

### 4.2.1 Metodologia utilizada

Ishiwaka e Oliveira optaram por realizar diferentes traços de argamassas com areia britagem de origem graníticas proveniente da cidade de São Paulo. Além disso, os autores também se preocuparam em realizar corpos de prova com areia natural para argamassas de referência.

Os autores analisaram as características físicas dos materiais as propriedades físicas e mecânicas das argamassas, além de trabalhabilidade e resistência à aderência.

#### 4.2.2 Materiais Utilizados

Para a realização dos ensaios, foram utilizados como aglomerante cimento Portland CP-II-E-32 e Cal hidratada. Como agregado da argamassa de referência, optou-se por uma areia natural médio quartzosa, proveniente da região do Vale do Paraíba – SP, para uma e areia artificial de granito de uma pedreira situada em São Paulo. A areia natural foi adotada com sua granulometria original e a areia de britagem submetida a peneiramento, utilizada com diâmetro máximo 2,36 mm.

Para a trabalhabilidade, a adição de água foi determinada em função da consistência a ser atingida um valor de  $270 \pm 20$  mm obtido pelo ensaio na mesa “*flow*” estabelecido pela NBR 13276: 2005 para que essa argamassa fosse adequada para aplicação em revestimentos de alvenaria.

#### 4.2.3 Misturas experimentais

Para este ensaio os autores prepararam corpos de prova de argamassa de formato prismático com os traços de 1:2:8 e 1:1:6 utilizando areia artificial.

Para cada traço foram preparados 9 corpos de prova submetidos a ensaios nas idades de 3,7 e 28 dias, sendo 3 corpos de prova de cada traço para cada idade. Serão apresentados os ensaios de 7 e 28 dias, para análise comparativa do artigo anterior.

#### 4.2.4 Análise dos dados experimentais

##### a) Ensaio de caracterização

Os autores não detalharam como cada ensaio foi realizado. Ao invés disso, realizaram uma análise comparativa (Quadro 9) entre os dois tipos de agregados,

destacando as principais características dos agregados que poderiam influenciar na propriedade da argamassa.

**Quadro 9:** Ensaio realizados agregados miúdos

Ensaio realizado	Areia natural	Areia artificial passante na peneira ABNT de 2,36mm
Granulometria (modulo de finura)	2,50	2,08
Dimensão máxima (mm)	4,75	2,36
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,61	2,70
Massa unitária no estado solto (kg/dm <sup>3</sup> )	1,37	1,55
Absorção de água	2,3	4,7
Teor de matéria orgânica (ppm)	<300	Isento
Teor de argila e materiais friáveis(%)	0,08	Isento
Teor de materiais finos	2,1	13,3

**Fonte:** ISHIWAKA; OLIVEIRA, 2012, p. 4.

#### b) Análise das propriedades da argamassa

Os autores apresentaram os resultados de seis amostras, sendo as 2 primeiras utilizando areia artificial e última com areia natural (Quadro 10).

**Quadro 10:** Amostras do programa experimental 2

Argamassas	Traço	Água/Algomerante (g)	Água/cimento (g)	Flow	Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )
Amostra 1	1:2:8	0,94	2,00	274	145
Amostra 2	1:1:6	0,99	1,54	285	196
Amostra 3	1:2:8	1,13	2,39	258	143

**Fonte:** ISHIWAKA; OLIVEIRA, 2012, p. 7 (adaptado)

Ao comparar as argamassas 1 e 3 que foram feitas com o mesmo traço, porém com diferentes agregados, a argamassa que utilizou areia natural requisitou uma relação água/aglomerante 20% a mais do que a que utilizou agregado artificial. Uma

retenção de água adequada é essencial para que as reações químicas dos aglomerantes ocorram de maneira adequada

Em relação a consistência obtido pelo ensaio “flow”, a argamassa 1 obteve um valor próximo ao valor superior de espalhamento (274 mm) e a amostra 3 próxima ao valor inferior (258 mm). Os autores explicam que este comportamento é relacionado com o empacotamento dos grãos, em que a adesão entre o aglomerante e a areia é prejudicada devido existência de grãos inferiores a 0,150mm na areia de britagem e estes recobrirem os grãos finos e médios, reduzindo a coesão e a área de molhagem

### c) Ensaio de resistência a compressão e flexão

Os ensaios resistência foram realizados conforme NBR 13279:2005, assim como realizado no artigo anterior. Em estado endurecido após 7 e 28, as amostras foram submetidas à ensaios de resistência a tração na flexão e compressão (Quadro 11).

**Quadro 11:** *Ensaio de Resistência amostragem 1 a 6*

Argamassas	Compressão (7 dias) MPa	Compressão (28 dias) MPa	Flexão média (28 dias) MPa
Amostra 1	1,9	2,1	0,6
Amostra 2	3,6	4,1	1,0
Amostra 3	1,5	1,6	0,5

**Fonte:** ISHIWAKA; OLIVEIRA, 2012, p. 8 e 9 (adaptado).

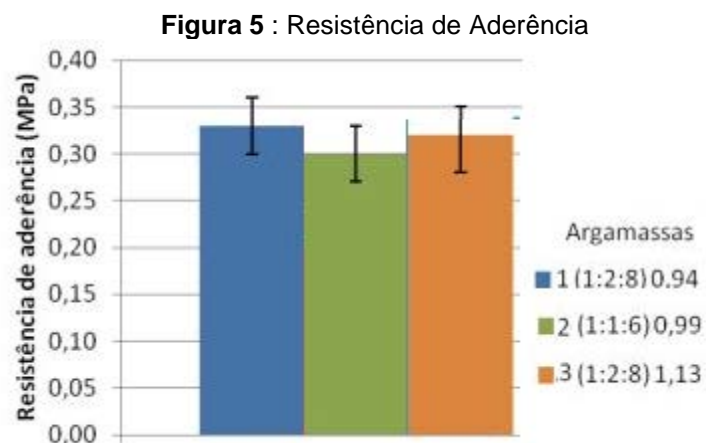
Os resultados do ensaio de compressão indicaram que a areia artificial atingiu uma resistência a compressão maior do que a amostra de areia natural. Os autores justificam este resultado, afirmando que essa diferença está relacionada com o fator desta argamassa exigir um fator água/aglomerante menor. A resistência à compressão mais elevada foi observada na amostra 02, devido ao fato desta argamassa apresentar uma redução de cal e agregado, aumentando a quantidade de cimento.

No ensaio de tração à flexão, ao comparar as argamassas 1 e 3 verifica-se que não ocorreu diferença significativa entre elas, ou seja, o agregado não interferiu na resistência a flexão.

#### d) Experimento da aplicação da argamassa

Além dos ensaios de resistência supracitados, foi realizado um ensaio de avaliação da aderência da argamassa com o substrato e o aspecto visual de acabamento da superfície, conforme a NBR 15258:2015 e NBR 13281:2015.

Foram aplicadas as argamassas em áreas de 360cm<sup>2</sup> (60x60cm) com espessura de 1,5 cm sobre uma superfície chapiscada com cimento traço 1:3. Foi utilizado um equipamento de tração e pastilhas metálicas cilíndricas com diâmetro 50mm coladas com argamassa. Após 28 dias, foi realizado o ensaio que especifica os requisitos das argamassas de revestimentos exigidos e os resultados das aderência foram registrados (Figura 5).



Fonte: ISHIWAKA; OLIVEIRA, 2012, p. 10 (Adaptada)

De acordo com o gráfico, os autores concluíram somente a argamassa 2 não apresentou um resultado médio de 30MPa, devido elevada quantidade de aglomerante, seu volume de cal é o dobro do cimento e este possuir a menor relação água/aglomerante, influenciando na aderência desta com o substrato.

Em relação a superfície, os autores classificaram a superfície da argamassa com areia artificial mais rugosa, como era previsível devido aos grãos mais irregulares e angulosos, porém visto como uma vantagem pois este apresenta uma superfície de maior aderência.

### 4.3 Comparação entre os dois estudos

Após a análise detalhada dos dois artigos, foi possível perceber que ambos possuíam o mesmo objetivo em realizar os estudos: comprovar a eficiência da substituição do agregado miúdo em argamassas por britagem de granito.

No artigo 1, Lira, Santos e Ribeiro (2012) justificaram o estudo como uma solução ecologicamente viável para os resíduos de granito oriundo da construção civil. Já Ishikawa e Oliveira (2012) relacionou seu estudo como uma alternativa para reduzir o custo final da argamassa, visto que 60% do valor final da areia é devido ao seu transporte.

Lira, Santos e Ribeiro apresentaram o ensaio de caracterização da estrutura cristalina do agregado, o que determinou a ausência de minerais contaminantes. Já no artigo 2, Ishikawa e Oliveira (2012) não explicitaram se o ensaio foi realizado, porém apresentaram o teor de matéria orgânica e teor de argila no Quadro 9. Os dados da qualidade um estudo preliminar da estrutura química do agregado, pois mesmo se ele atingir a resistência e características físicas estabelecidas, posteriormente a argamassa pode causar patologias e danos graves.

Em relação a granulometria, em ambos artigos os agregados passaram por ensaios granulométricos pelas peneiras de acordo com a NM 248: 2003. No artigo 1, o módulo de finura foi 2,64mm e no segundo artigo, 2,50mm para agregado natural e 2,08mm o artificial. Já os diâmetros máximos apresentados para ambos artigos com areia britada de granito foi 2,36mm. No caso da amostra com areia natural o  $d_{máx}$  foi 4,75mm.

Quanto mais descontínuo a granulometria, menor o número de vazios, e conseqüentemente menos retração e menos fissuras na argamassa. Além disso, o módulo de finura é relevante para indicar onde cada argamassa pode ser utilizada visto que estas amostras de argamassas aplica-se em emboço e reboco.

No segundo artigo, os autores apresentaram o fator água/cimento para obtenção da argamassa, o que possibilitou analisar o motivo da diferença nos resultados da resistência a compressão das amostras. Comparando o traço 1:2:8 utilizado no artigo 2 entre o experimento utilizado areia natural e britada, nota-se que este último apresentou um valor 20% a menos do que a amostra de areia britada.

Quanto menor o fator água/cimento, maior a resistência a compressão, porém menor resistência à aderência.

No ensaio de consistência, os dois artigos realizaram o ensaio “flow” de acordo com a NBR 13276: 2005 e adotaram a consistência próxima entre 250 e 270mm, esta normalmente utilizada nas argamassas. Comparando novamente os dois tipos de amostras do artigo 2 com traço 1:2:8, nota-se que a trabalhabilidade da areia natural foi bem menor do que da areia britada, mesmo este último apresentando um fator água/cimento maior.

Os principais fatores de influência para os resultados citados acima foi a presença de cal e sua característica de retenção de água e material pulverulento favorecendo o fator do empacotamento dos grãos, ou seja, nos lugares vazios foi ocupado por estes materiais pulverulentos, que lubrificaram esses vazios. Porém isso pode ser um problema pois a adesão entre o aglomerante e a areia é prejudicado, reduzindo a coesão e a área de molhagem, podendo resultar em argamassas pulverulentas secas e fissuras.

Para os ensaios de resistência, nos artigos 1 e 2 foram realizados ensaios de acordo com a NBR 13279:2005. No artigo 1, o resultado médio da compressão aos 28 dias das amostras do traço 1:1:6 foi 2,58 MPa. Já no artigo 2, a resistência média foi de 4,1 MPa no traço 1:1:6 e 4,1 MPa no traço 1:2:8 quando utilizadas agregado miúdo artificial e a amostra que utilizou- se areia natural atingiu uma resistência de 1,6 MPa (traço 1:2:8).

Observando artigo 1 e artigo 2, considerando o mesmo traço 1:1:6 pode ser observado uma grande diferença devido ao teor material pulverulento ser granito que é uma rocha muito resistente, fez desse mais resistente. Assim como no artigo 2 o traço 1:2:8, que o fez bem mais resistente que o da areia natural. O que fez ele ser bem menor do que o do traço 1:1:6 foi a presença de cal, que diminui a resistência da argamassa.

No resultado de tração na flexão aos 28 dias, as amostras do artigo 1 com traço 1:1:6 apresentaram uma média de 1,74 MPa. Já as amostras do artigo 2 nenhuma amostra apresentou resultado superior a 1,0. Porém, ainda assim atingiram um resultado superior do que a argamassa com areia natural. Quando se compara as argamassas com mesmo traço, é possível concluir que o uso de menor módulo de

finura nos agregados miúdos artificiais e uma maior quantidade de cal amostras foram fatores que refletiram no desempenho da resistência a tração na flexão.

Somente o artigo 2 realizou ensaios de aderência e apresentaram resultados satisfatórios devido ao granito ser um material anguloso e poroso. Os autores apenas se atentaram que a presença de cal pode prejudicar a aderência da argamassa.

Após a comparação entre os dois artigos, foi possível avaliar que dentre dos ensaios realizados as argamassas com agregados miúdos britados de origem granítica são tão eficientes quando comparados com a areia natural.

Entretanto é ressaltado que a escolha do agregado a ser substituído deve sempre seguir todos os requisitos e normas, então seria interessante se todos os ensaios estabelecidos para o uso conforme a norma NBR 13281:2005 fossem realizados, como a análise retenção de água, densidade e coeficiente de capilaridade são citados pela norma NBR 13281:2005

Além do mais, seria interessante se os autores realizassem amostragem com traços similares o mesmo traço em areia natural, como feito pelos autores do artigo 2, este, porém somente com um traço dos que foram analisados.

Em relação aos impactos ambientais, apesar de o granito britado necessitar de uma grande geração de energia para ser produzido, este já é um resíduo existente, ou seja, já existe uma grande quantidade e os fornecedores de granito não vão deixar de gera-lo. A alternativa de utilizar este resíduo nas argamassas é capaz de reservar os areais naturais existentes.



## **CAPITULO 5**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A indústria da construção é uma das maiores consumidoras de recursos naturais de nosso planeta e nós engenheiros também devemos ser responsáveis pela redução desse índice, implantando novos métodos e reutilização dos descartes que nós mesmos provocamos.

O objetivo geral deste estudo foi comprovado que há sucesso na substituição da areia natural pelo agregado miúdo britado de rochas graníticas quando esta é submetida a ensaios de qualidade e caracterização.

Isso foi possível após a concretização da revisão teórica com os conceitos técnicos, a análise das características de cada agregado e nos impactos da extração.

Os desempenhos das argamassas mistas para revestimento foram estudados, tais resistência a compressão e flexão, atingindo valores similares ou superiores às argamassas com areia natural. Os dois artigos apresentaram um estudo formidável, mas seria interessante explorar demais ensaios, como densidade, retenção de água, capilaridade, além de padronizar os ensaios para comparação, visto que o artigo 2 utilizou grãos finos no agregado britado e comparou com agregado natural somente com um tipo de traço. O artigo 1 não realizou ensaio com agregado natural, além de não ter citado dados como fator a/c e massa específica.

A dialética foi essencial para avaliar que as informações são verídicas e os resultados similares, porém seria interessante comparar com um número maior de artigos para concretizar os resultados, com diferentes traços e diferentes proveniências dos agregados, visto que o granito pode variar suas propriedades dependendo da jazida.

Apesar disso, verificou-se a viabilidade da utilização de granito britado, afim de evitar a extração ilegal, devastações ambientais dos areais e cumprindo a função da engenharia vinculando otimização de recursos com reduções de custo e impacto ambiental.

O maior obstáculo é convencer os clientes e os leigos que a possibilidade da substituição do agregado não interfere na qualidade e durabilidade. Uma alternativa é

divulgar cada vez mais o quanto essa mudança é necessária e apresentar resultados evidentes da eficiência desse emprego.

Os estudos devem ser constantes, afim de avaliar e verificar a substituição de matérias primas por resíduos, garantindo qualidade, redução de custo e um ambiente sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Salvador Luiz M, da Luz, Benvindo. **Manual de agregados para a construção civil**. 2 Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. 2012. 432 p.

ANEPAC. <http://www.anepac.org.br/agregados/areia-e-brita>. Acesso em 06. out. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2003 **Projeto de estruturas de concreto armado – Procedimento** — Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - procedimento** Rio de Janeiro, 2003.

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

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

\_\_\_\_\_. NBR 7221: **Agregado — Índice de desempenho de agregado miúdo contendo impurezas orgânicas — Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. NBR 9935: **Agregados - Terminologia**. Rio de Janeiro, 2011.

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

\_\_\_\_\_. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2005

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

\_\_\_\_\_. NBR 13279 Rio de Janeiro, 2005

\_\_\_\_\_. NBR 13281 Rio de Janeiro, 2005

\_\_\_\_\_. NBR 15258 Rio de Janeiro, 2003

\_\_\_\_\_. NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2015

ANEPAC. **Construindo o presente, criando o futuro**. Disponível em <<http://www.anepac.org.br/agregados/areia-e-brita>>. Acesso em 17 set. 2017.

ANDRADE GROUP. **Jazidas**. Disponível em <<http://www.andradesa.com.br/pt/jazidas/21/santa-cec-lia#.Wpsbw2rwbIV>>. Acesso 17 set. 2017.

BARRETO, Matheus Faria e Oliveira. **Caracterização micro-nanoestrutural e química de argamassas de cimento Portland**. 220p. (Tese de doutorado ) Pos Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-9QQGXB>>. Acesso em 17 set. 2017.

CABRAL, Keillon Oliveira. **Influência da areia artificial oriunda da britagem de rocha granito-gnaiss nas propriedades do concreto fresco convencional nos estados fresco e endurecido**. (Dissertação de mestrado) Pós Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Goiania, Goias, 2007. Disponível em:

<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tde/669/1/dissertacao%20keilon%20engcivil.pdf>. Acesso em 05 out. 2017

CARVALHO JUNIOR, Antonio Neves de; COSTA, Caio Martin; HADDAD, Lucimar Dias; LOPES, Pedro Henrique Pires; SANTOS, White José dos. **Análise da influência da granulometria do agregado miúdo nas propriedades mecânicas e de durabilidade das argamassas de revestimento**. Revista Engenharia & Ciência. v. 25 (1):07. 07 jan-jun 2016. Uberlandia. Disponível em : <file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Documents/pos\_graduacao/SEMESTRE\_2/TCC/AUXILIAR/lucimar%20haddas.pdf>. Acesso 03 mar. 2018.

COSTA, Heloína Nogueira da. **Caracterização de areias de britagem de pedreiras da região metropolitana de Fortaleza e avaliação da sua aplicação no concreto**. 135f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Fortaleza, Fortaleza, 2015. Disponível em: <<http://www.pec.ufc.br/images/Dissertacoesdefendidas/Heloína--Areia-de-britagem--dissertao--corrigida--Final.pdf>>. Acesso em 22 out. 2017.

BAUER, L. A. Falcao. **Materiais de Construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Ltda., V. 1. 1997. 951p.

CARASEK, Helena. Argamassas. In: \_\_\_\_\_. **Materiais de Construção civil e princípios de ciências e engenharia de Materiais**. São Paulo: G.C Isaia, 2007. P.863-904.

DANTAS, David de Azevedo. **Utilização de resíduos de serragem de rochas ornamentais para produção de blocos para alvenaria de vedação**. 51 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Feira de Santana, Bahia, 2006.

DONÁ, Elton, VARGAS, Carlos, ZULIAN, Carlan. **Revestimentos**. Ponta Grossa: UEPG, 2002. 29 p. Anotações sobre aula de revestimentos Construção Civil. Notas de aula. Disponível em <[www.uepg.br/denge/aulas/revestimentos/Revestimentos.doc](http://www.uepg.br/denge/aulas/revestimentos/Revestimentos.doc)>. Acesso em 22 set. 2015.

DUARTE, João Batista. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por pó de pedra em concreto de cimento Portland** (Dissertação de mestrado) Pós-Graduação em Ciências de Engenharia dos Materiais - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013. Disponível em: [http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/12819/1/JoaoBD\\_DISSERT.pdf](http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/12819/1/JoaoBD_DISSERT.pdf). Acesso em 30 out. 2017

GONÇALVES, Jardel Pereira; MALTA, Juliana Oliveira; SILVA, Vanessa Pereira. **Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA). v.3, n.2, p. 176-188, 2013. Disponível em <<https://portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7214>>. Acesso em 22 out. 2017

GASQUES, Ana Carla Fernandes *et al.* **Impactos ambientais dos materiais da construção civil**: breve revisão teórica. Revista tecnológica Maringá. Maringá, v. 23, p. 13-24. 2014 Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/article/view/23375>. Acesso em 20 ago. 2017.

GUACELLI, Paulo Anélio Garcia. **Substituição da areia natural por areia de formagem de rochas basálticas para argamassas de revestimento**. (Dissertação de mestrado) Pós Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Londrina. Londrina, 2010. Disponível em: <http://www.uel.br/pos/enges/portal/pages/arquivos/dissertacao/59.pdf>. Acesso em 05 out. 2017

ISHIKAWA, Paulo H, OLIVEIRA, Luiz Pereira de. **Propriedades da Argamassa com Areia Artificial para Revestimento de Alvenaria**. Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção.2012. Disponível em [http://www.apfac.pt/congresso2012/comunicacoes/Paper%2045\\_2012.pdf](http://www.apfac.pt/congresso2012/comunicacoes/Paper%2045_2012.pdf) Acesso em 05 out. 2017.

KANNING, Rodrigo César. **Estudo da viabilidade técnica e econômica do calcário britado na substituição parcial do agregado miúdo para produção de argamassas de cimento**. 3<sup>o</sup> Congresso Português de Argamassas de Construção , Portugal, mar.2010. Disponível em: <[http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2003\\_2010.pdf](http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2003_2010.pdf)> Acesso em 05 out. 2017.

LAKATOS, Eva M. et MARCONI, Marina. “**Metodologia Científica**”. 7<sup>a</sup>. Ed. São Paulo: Atlas, 2015.

LIRA, Belarmino Barbosa; RIBEIRO, Ana Carolina Marinho; SANTOS, Robson Arruda dos. **Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito**. Revista REGET- Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. v. 8.n 8. p. 1818-1828. Santos, 2012. Disponível em <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/7238/pdf>>. Acesso em 23 ago. 2017.

LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M. **Manual de Agregados para a Construção Civil** .2<sup>a</sup> edição. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Rio de Janeiro, 2012.

MALTA, Juliana Oliveira; SILVA, Vanessa Silveira; GONÇALVES, Jardel Pereira. **Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 176-188, nov. 2013. Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7214/6417>>. Acesso em: 23 Ago. 2017.

MARTINS, Paulo Benjamin Moraes. **Influência da granulometria do agregado miúdo na trabalhabilidade do concreto**. Dissertação de graduação em Engenharia Civil - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.Disponível em:

[http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/PAULO%20BENJAMIM%20MORAIS%20MARTIN S.pdf](http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/PAULO%20BENJAMIM%20MORAIS%20MARTIN%20S.pdf). Acesso em 31 out. 2017

MILHORANCE, Flávia. **Base da construção civil, areia é um dos recursos mais valiosos e explorados do mundo**. O Globo. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/sociedade/sustentabilidade/base-da-construcao-civil-areia-um-dos-recursos-mais-valiosos-explorados-do-mundo-14960573#ixzz58j5coVjX>>. Acesso em 03 out. 2017.

NOGUEIRA, Geovane Rangel Ferreira. **A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: proposição de uma matriz de interação**. Dissertação de graduação) em Engenharia Civil - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016. Disponível em: [http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC\\_Vers%C3%A3oFinal.pdf](http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC_Vers%C3%A3oFinal.pdf) . Acesso em 05 out. 2017

OLIVEIRA, Carlos Augusto de Souza. **Comportamento físico e avaliação microestrutural de argamassas produzidas a partir da mistura exaurida gerada na indústria de magnésio metálico**. (Dissertação de mestrado) Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004. Disponível em: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8DPFZH/carlos\\_augusto\\_de\\_souza\\_oliveira.pdf;jsessionid=2E2C1499DB7023427F87769B9DD6FEA4?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8DPFZH/carlos_augusto_de_souza_oliveira.pdf;jsessionid=2E2C1499DB7023427F87769B9DD6FEA4?sequence=1)> . Acesso em 17 set. 2017.

OLIVEIRA, Edson Aparecida de Araujo Querido; OLIVEIRA, Valeria Faria. **O papel da indústria da construção civil na organização do espaço e do desenvolvimento regional**. 4º Congresso Internacional de Cooperação Universidade-Indústria, São Paulo, dez. 2012. Disponível em: < <http://www.unitau.br/unindu/artigos/pdf570.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2017.

PETRUCCI, Eladio Geraldo Requião. **Materiais de Construção**. 12 ed. São Paulo: Globo, 2007. ( 2º Reimpressão-ver como colocar).

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de construção civil**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2013.112 p.

SANTIAGO, Cybèle Celestino. **Argamassas tradicionais de cal**. Salvador: EDUFBA, 2007. 202 p. Disponível em: <[http://www.creasp.org.br/biblioteca/wp-content/uploads/2012/07/argamassas\\_tradicionais\\_de\\_cal.pdf](http://www.creasp.org.br/biblioteca/wp-content/uploads/2012/07/argamassas_tradicionais_de_cal.pdf).>. Acesso em: 22 Ago. 2017

SALGADO, Júlio. **Técnicas e Práticas Construtivas Para Edificação**. São Paulo. Ed. Erica .2008. 320 p.

SANTOS, Altair. **Areia natural ou artificial?** 2009. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/areia-natural-ou-artificial/>. Acesso em 20 ago. 2017.

SANTOS, Heraldo Barbosa. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento**. Monografia (Especialização em Construção Civil). Universidade

Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016l Disponível em: <<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg1/Monografia%20Heraldo%20Barbosa.pdf>>. Acesso em 22 ago. 2017.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do Trabalho Científico**. 23ª ed. Cortez 2007. São Paulo, SP. 304 p.

VERNEY, José Carlos Krause de; PEREIRA, Macedo Pereira. **Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland**. **Revista Escola de Minas. Belo Horizonte**, REM: v.62 n.3 p.399-408, jul. set. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rem/v62n3/v62n3a21.pdf>>. Acesso em 22 Ago. 2017.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar**. 11. ed. São Paulo. Ed. Pini Sinduscon. 2011. 807p.