



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**  
**UNIDADE ARAXÁ**

**FABIANA CABRINE DA SILVA**

**ESTUDO DE APROVEITAMENTO DE AREIA INDUSTRIAL EM**  
**MATERIAIS CIMENTÍCIOS**

**ARAXÁ/MG**

**2018**

**FABIANA CABRINE DA SILVA**

**ESTUDO DE APROVEITAMENTO DE AREIA INDUSTRIAL EM  
MATERIAIS CIMENTÍCIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Alexander Martin  
Silveira Gimenez

Coorientador: Prof. Francisco de Castro  
Valente Neto

**ARAXÁ/MG**

**2018**

## FOLHA DE APROVAÇÃO

FABIANA CABRINE DA SILVA

### ESTUDO DE APROVEITAMENTO DE AREIA INDUSTRIAL EM MATERIAIS CIMENTÍCIOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Araxá, 04 de Julho de 2018.



---

**Presidente e Orientador: Prof. Dr. Alexander Martin Silveira Gimenez**  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá



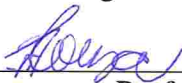
---

**Coorientador: Prof. Francisco de Castro Valente Neto**  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá



---

**Membro Titular: Prof. Dra. Delma Caixeta Pereira**  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá



---

**Membro Titular: Prof. Msc. Tamiris Fonseca de Souza**  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela vida e por iluminar os meus caminhos com a presença de pessoas tão especiais.

Aos meus pais por todo apoio e incentivo.

Aos meus orientadores pela paciência e por todo o aprendizado.

Aos companheiros da Santa Helena Mineração, em especial Mayra, Florence e Daniel, pelo suporte técnico para realização da pesquisa.

Aos meus amigos, em especial a Fernanda, pelas horas empregadas em garantir que os testes pudessem ser realizados e por oferecer todo apoio para que esta etapa pudesse ser concluída.

## RESUMO

O presente trabalho aborda a possibilidade de substituição da areia natural por areia industrial de Ibiá. Como existe um agregado miúdo de rocha granítica disponível em uma pedreira da região de Araxá, MG e são severos os impactos ambientais na extração de areia natural em cursos de rio, método de obtenção mais usual, faz-se necessário buscar alternativas que possam minimizar tais danos. O objetivo principal do trabalho é constatar que argamassas de revestimento e assentamento que utilizam o pó de brita parcialmente (P50) ou totalmente (P100) apresentam resistência a compressão similar ou superior a argamassas com a mesma finalidade, constituídas de apenas areia natural como agregado miúdo. O trabalho aborda também as diferentes características da argamassa e quais os fatores influenciam nas propriedades mecânicas. Sendo assim uma caracterização do agregado como massa unitária, densidade, forma dos grãos, composição dos grãos e distribuição granulométrica foi realizada. A pesquisa apresentou resultados satisfatórios e comprovou o esperado: houve ganho nas composições que continham areia industrial, sendo a composição de 50% um ganho de aproximadamente 1,7% e na substituição total um ganho de quase 12% na resistência a compressão uniaxial. Com os resultados e o estudo ambiental e de mercado do agregado industrial na produção de argamassas de revestimento e assentamento se mostrou, até o momento, viável, podendo até mesmo representar um ganho financeiro devido a distribuição geográfica das mineradoras que oferecem tal produto.

**Palavras-chave:** Argamassa. Pó de Brita. Areia Industrial. Resistência à compressão.

## **ABSTRACT**

The present work deals with the possibility of replacing natural sand with Ibiá industrial sand. As there is a fine aggregate of granitic rock available in a quarry in the region of Araxá, MG and the environmental impacts of the extraction of natural sand in river courses, most usual method, are severe, it is necessary to look for alternatives that can minimize such damages. The main objective of the work is to verify that mortars of coating and settlement using partially (P50) or completely (P100) crushed powder present similar or higher compressive strength than mortars, with the same purpose, consisting of only natural sand as a small aggregate. The work also addresses the different characteristics of the mortar and what factors influence the mechanical properties on each mortar. Thus a characterization of the aggregate as unit mass, density, grain shape, grain composition and grain size distribution was performed. The research was satisfactory and confirmed the expected results: there was gain in the compositions containing industrial sand, the composition of 50% being a gain of approximately 1.7% and in the total substitution a gain of almost 12% in the resistance to simple compression. With the results and the environmental and market study of the industrial aggregate in the production of coating and settlement mortars, it has so far proved viable and may even represent a financial gain due to the geographic distribution of the miners offering such product.

**Keywords:** Mortar. Crushed Powder. Industrial Sand. Compressive strength. Technological Performace

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1	Tipos de Areia .....	5
2.1.1	Areia Natural .....	6
2.1.2	Areia Industrial.....	16
2.2	Reservas e Mercado de Areia .....	20
2.3	Argamassa .....	22
2.3.1	Influência do tipo de cimento.....	23
2.3.2	Influência das características da areia utilizada .....	24
2.3.3	Propriedades da Argamassa .....	25
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>27</b>
3.1	Umidade .....	27
3.2	Análise Granulométrica .....	28
3.3	Análise da composição e forma dos grãos.....	32
3.4	Massa Específica .....	32
3.5	Massa Unitária.....	34
3.6	Moldagem corpos de prova .....	35
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>40</b>
4.1	Umidade .....	40
4.2	Massa Específica .....	40
4.3	Massa Unitária.....	41
4.4	Análise Granulométrica .....	42
4.5	Análise da Composição e Forma dos Grãos .....	45
4.6	Moldagem Corpos de Prova.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.7	Aspectos Ambientais.....	47
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda de agregados para a construção civil, em especial a areia, tem motivado constantemente estudos relacionados à busca de alternativas quanto ao uso de areia natural. Estando diretamente relacionado à diminuição de impactos ambientais originados na extração, assim como a redução de custos de produção, mas só aspecto ambiental não costuma ser o foco das grandes produções.

É um pré-requisito nos tempos atuais conciliar bons resultados, alta produtividade e qualidade com meios de produção sustentáveis. Pensando no aspecto ambiental e também na possibilidade de expandir o mercado das minerações de agregados graúdos para a construção civil os estudos de substituição da areia natural pela industrial se fazem cada vez mais presentes e apresentam cada vez mais resultados positivos a tal substituição.

A areia industrial é um produto presente na cominuição de rochas que dão origem as britas tão fundamentais para pavimentação, construções e afins. Alguns empreendimentos começaram a classificar esse agregado miúdo, o pó de brita, afim de oferecer areia industrial ao mercado. As faixas granulométricas dessas areias variam de acordo com as necessidades e aplicações desse mercado, o que já se destaca como um diferencial do produto que aos poucos está se demonstrando expressivo no mercado de agregados para construção civil.

Além do aspecto ambiental o preço da areia natural também é um fator que pode levar aos consumidores a buscarem alternativas. O valor do agregado miúdo está relacionado principalmente a distância que ele se encontra do seu destino, o frete é um dos fatores que mais tem impacto no valor final do agregado. Assim as minerações que muitas vezes não estão perto de um leito de rio podem suprir o mercado de areais de algumas regiões oferecendo preços mais competitivos.

A caracterização do agregado utilizado influencia diretamente nas propriedades da argamassa e também pode definir qual a sua finalidade. Outro fator que interfere diretamente nas características da argamassa são os componentes usados nas misturas e como acontece o seu manuseio.

As argamassas para assentamento são usadas para unir tijolos ou blocos das alvenarias, já as argamassas para revestimento em paredes se dividem classicamente em três camadas: chapisco, emboço e reboco. Atualmente a utilização do emboço caiu em desuso. O foco deste trabalho será argamassa de assentamento e revestimento.



O objetivo principal do trabalho é constatar que argamassas de revestimento e assentamento que utilizam o pó de brita parcialmente (P50) ou totalmente (P100) apresentam resistência a compressão similar ou superior a argamassas com a mesma finalidade, constituídas de apenas areia natural como agregado miúdo.

Os capítulos seguintes discorrerão sobre os tipos de agregados miúdos, sua obtenção, preparo e diferenças; a definição de argamassas industrializadas e seus usos, frente aos resultados obtidos por massa específica, massa unitária e resistência a compressão de traços pré estabelecidos pela NBR 7215 (ABNT, 1996).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão bibliográfica foi realizada com o intuito de apresentar as características da areia industrial usada na confecção de argamassas, analisando seus aspectos texturais e granulométricos. O estudo abrangeu também questões ambientais e comerciais da substituição da areia natural pelo agregado miúdo oriundo de processos de britagem, bem como as características das argamassas sobre influência dos seus constituintes.

### 2.1 Tipos de Areia

Os agregados, basicamente areia e pedra britada, são as substâncias minerais mais consumidas no mundo. O termo “agregados para construção civil” é empregado no Brasil para identificar um segmento do setor mineral que produz matéria-prima mineral bruta ou beneficiada de uso imediato na indústria da construção civil (IBRAM, 2012).

Segundo Serna e Resende (2013) tais agregados podem ser naturais ou artificiais: naturais se são encontrados de forma particulada na natureza e artificiais se passam por algum processo industrial. Areia de rios e afins, cascalho ou pedregulho são classificados como agregados naturais e pedras britadas, areias artificiais, escórias de alto-forno e argilas expandidas são agregados artificiais.

A norma NBR 7211 (2009) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) fixa as características exigíveis no recebimento e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. Dessa forma, define-se areia ou agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante da britagem de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm.

Para Tanno *et al.* (2003), comercialmente, as areias para construção civil normalmente recebem designações segundo o grau de beneficiamento a que são submetidas:

- Areia bruta (não beneficiada);
- Areia lavada (lavagem sobre peneira para retirada de partículas finas e outros materiais indesejáveis);
- Areia graduada (areia que obedece a uma distribuição granulométrica previamente estabelecida);

As mesmas podem ainda ser classificadas quanto a granulometria, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003):

- Areia grossa (2,0 mm – 4,8 mm);
- Areia média (0,42 mm – 2,0 mm);
- Areia fina (0,05 mm – 0,42 mm).

As frações citadas acima são as mais comuns no mercado, porém existem divergências quanto aos limites das frações relacionadas à utilização (concretos, argamassas e etc.), além disso pode-se encontrar o acréscimo de frações intermediárias como areia média grossa, média fina e areia muito fina.

Quanto a composição Chaves (1999) descreve que as areias são constituídas predominantemente por quartzo, mas também encontra-se feldspato, mica, turmalina além outros minerais. A proporção com que os minerais se apresentam nas areias, lhes confere características específicas, como coloração e a composição mineralógica. Estas características conferem a cada areia um desempenho diferente e assim se determina a quais finalidades as mesmas serão empregadas seja para o concreto, argamassa, blocos ou pavimentação.

### **2.1.1 Areia Natural**

Os depósitos de areia são resultado da concentração de grãos de quartzo pelo seu transporte e deposição por agentes naturais de intemperismo, a partir de rochas preexistentes, gerando acumulações com maior ou menor concentração do minério e outros minerais de média e elevada dureza (NOGUEIRA, 2016).

Segundo Bueno (2010), os principais ambientes geológicos onde a areia natural é extraída a areia para a construção civil são:

- Leitões de rios;
- Planícies costeiras;
- Planícies e terraços aluviais de fundos de vale (pretéritos);
- Coberturas de morros constituídas por formações sedimentares arenosas mais antigas;
- Coberturas de morros com mantos de alteração de rochas quartzosas.

#### **2.1.1.1 Processo de Extração**

Devido as diferentes situações em que se encontram os depósitos de areia natural existem diferentes técnicas de extração e recuperação ambiental para realização de tal atividade minerária. Segundo Almeida e Luz (2012) a lavra pode ser de três formas expostas na Tabela 1:

Tabela 1 – Descrição das formas de lavar para extração de areia

<b>Tipo de lavra</b>	<b>Situações em que se aplica</b>
<b>Dragagem</b>	Feita em leitos de rio ou em cavas inundadas, onde a areia em lavra se encontra abaixo do nível freático
<b>Desmorte hidráulico</b>	Usado em cavas secas e em mantos de alteração de maciços rochosos
<b>Método de lavra por tiras</b>	Usado em depósitos homogêneos e de maior extensão horizontal

Os métodos mais utilizados são por dragagem e desmorte hidráulico que foram descritos a seguir.

A lavra em leito de rio usa draga que extrai a areia por sucção, Figura 1, e a bombeia, na forma de polpa, para fora do leito do rio, Figura 2.



Figura 1 – Lavra no leito de rio. Fonte: Almeida & Luz, 2012.



Figura 2 –Silos de recepção da polpa bombeada do leito do rio. Fonte: Almeida & Luz, 2012.

A extração em cava inundada, Figura 3, exige decapeamento com o uso de equipamentos (trator de esteira, carregadeiras frontais, escavadeiras e caminhões) para remover a vegetação e a camada superficial do solo que são descartados. A próxima etapa é a extração do material arenoso que é aproveitado até o nível freático, então as pás carregadeiras usadas na extração da areia, dão lugar às dragas que passam a alargar e aprofundar a cava da etapa anterior. (KOPPE e COSTA, 2012).



Figura 3 – Lavra de areia em cava inundada. Fonte: Mechi e Sanchez, 2010.

O método deste desmonte hidráulico é bastante empregado para depósitos horizontais e sub-horizontais de matérias primas minerais com elevado conteúdo de areia de quartzo que se desagrega com facilidade e em locais onde exista disponibilidade de água. A sequência de eventos do método foi descrita por Pissato (2009):

- Retirada do capeamento estéril, com o auxílio de retroescavadeira;
- Desmonte hidráulico da matéria prima mineral;
- Bombeamento da polpa das bacias de acumulação para a usina de beneficiamento.

O processo começa com o desmonte por meio de jatos hidráulicos, conforme Figura 4, o material desmontado é bombeado por gravidade para uma bacia de acumulação e posteriormente por meio de bombas centrífugas a polpa é levada ao beneficiamento necessário. (PISSATO, 2009).

A vantagem do método é a utilização do material resultante do decapeamento na recuperação da área. Possui também baixo investimento e elevada recuperação na lavra, mas possui baixa seletividade do método de lavra empregado e a alta diluição da polpa nas bacias de acumulação.



Figura 4 – Lavra de areia em cava seca com desmonte hidráulico. Fonte: Almeida & Luz 2012.

### **2.1.1.2 Beneficiamento**

Pode acontecer da areia natural ser comercializada tal qual extraída, no entanto na maioria das vezes é submetida a um simples beneficiamento seja para desagregação ou lavagem. Por meio de grelhas fixas são separadas as frações mais grossas para eliminar cascalhos, por exemplo, ou mesmo os materiais orgânicos como folhas e troncos de árvores. É

comum também retirar a fração mais fina (abaixo de 0,002 mm), por meio de lavagem e sedimentação (FRAZÃO, 2010), utiliza-se também técnicas como classificador espiral, hidrociclone para separar esse material.

A lavagem e desagregação é mais essencial para métodos de lavras de cava a seco e alguns equipamentos são indicados para isso: *log washer*, *scrubber* e os lavadores de rosca (ALMEIDA e LUZ, 2012).

O *log washer*, representado na Figura 5, se trata de um tanque onde giram dois eixos munidos de palhetas que batem a polpa e a agitam intensamente. A areia é alimentada no fundo do tanque e transportada para cima pelo movimento das palhetas, o movimento entre as paletas faz com haja atrição superficial entre as partículas e resulta na desagregação, removendo a argila. A lama gerada transborda como um *overflow*, enquanto que as partículas sólidas percorrem toda a extensão do aparelho, sendo descarregadas como um *underflow*. (ALMEIDA e LUZ, 2012).



Figura 5 – *Long walsher*. Fonte: DERNASEER, 2018.

O *scrubber* é um tambor giratório, conforme Figura 6, dotado internamente de aletas que elevam o material e o deixam cair. Ele é alimentado com uma polpa com cerca de 50% de sólidos. (ALMEIDA e LUZ, 2012). A queda do material sobre a polpa que está no fundo do tambor causa atrição das partículas sólidas e desagregação das coberturas de lama. Uma peneira é utilizada para classificar as partículas grosseiras da lama, jatos de água geralmente são utilizados como água de lavagem no equipamento e nas peneiras de classificação.



Figura 6 – *Scrubber*. Fonte: Almeida & Luz, 2012.

Os lavadores de rosca, que se assemelham fisicamente aos classificadores espirais, possuem uma ou duas roscas que giram dentro de um tanque. A alimentação é em polpa por uma entrada lateral e água é injetada sob pressão pela parte inferior do tanque. O movimento ascendente da água efetua a lavagem dos grãos, a atrição fica por conta do movimento das hélices. Os materiais mais finos são efetivamente removidos e descarregam pelo *overflow*. Os grãos lavados são arrastados pela hélice e descarregam como *underflow* (ALMEIDA e LUZ, 2012).



Figura 7 – Lavador de Rosca. Fonte: Almeida & Luz, 2012.

A classificação pode ser realizada por peneiras vibratórias, porém a sua utilização requer atenção na escolha do equipamento certo. São utilizadas peneiras de alta frequência, o que limita muito a oferta de equipamentos adequados.

Já para a deslamagem pode-se utilizar classificadores espiral e ciclone (CHAVES, 2002). É uma operação necessária para que o agregado possa ser utilizado dentro das condições



adequadas a cada produto, para o concreto, por exemplo, alta quantidade de finos é prejudicial a qualidade do produto final. A classificação e a deslamagem são sempre feitas a úmido. Os dois equipamentos mais utilizados para esta operação são os classificadores espiral e os ciclones.

Os classificadores espiral, representado na Figura 8, são constituídos de um tanque dentro do qual gira uma espiral que agita a polpa mantendo-a em suspensão. As partículas sólidas alimentadas ao classificador encontram esta polpa e, dependendo do seu tamanho, têm peso suficiente para afundar ou não. Se afundam, acumulam-se no fundo do classificador, de onde são arrastadas tanque acima pelo movimento da espiral. Se não conseguem afundar, transbordam do classificador (CHAVES, 2002).



Figura 8 – Classificador espiral. Fonte: MACDARMA, 2018.

Já ciclones, como na Figura 9, transformam a pressão com que a polpa lhes é alimentada em movimento circular pelo fato da abertura de alimentação ser tangencial ao corpo do equipamento. As partículas arrastadas por este movimento circular sofrem a ação da força centrífuga e são arrastadas para a periferia do ciclone. O projeto do equipamento faz com que a zona central seja descarregada pelo *overflow* e a zona externa pelo *underflow*, ocorrendo assim a classificação desejada (ALMEIDA e LUZ, 2012).



Figura 9 – Ciclone. Fonte: Almeida & Luz, 2012.

Existem ainda classificadores de roda de caçamba, classificador horizontal e o *hydrosizer*, representados nas Figuras 10 e 11.

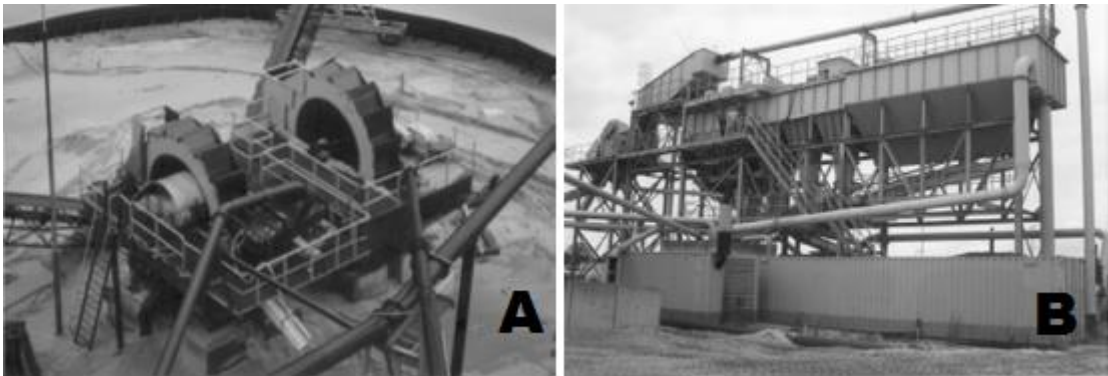


Figura 10 – A: Classificadores de roda de caçamba. B: Classificador Horizontal. Fonte: Almeida & Luz, 2012.



Figura 11 – Hidrociclone. Fonte: Almeida & Luz, 2012.

Segundo Almeida e Luz (2012) o classificador horizontal tem a vantagem de não apenas eliminar a lama como os ciclones ou lavadores de rosca ou mesmo separar frações granulométricas como os demais classificadores, ele permite compor frações granulométricas específicas. Assim é um método viável quando se precisa atender condições específicas do mercado.

O *Hydrosizer* consiste em um tanque vertical, onde a injeção da corrente ascendente de água não tem mais a função de elutriar as lamas, mas sim a de criar um leito fluidizado de areia por meio do controle da densidade: proporção entre sólido e água (ALMEIDA e LUZ, 2012) que executa um corte preciso.

### **2.1.1.3 Problemas Ambientais da Extração da Areia Natural**

Conflitos entre a mineração de areia e os órgãos ambientais reguladores são comuns. A dificuldade de obtenção e manutenção das licenças ambientais é grande, mas atender as sugestões dos órgãos reguladores das atividades minerárias e nunca descumprir as condicionantes da licença ambiental é o melhor caminho para levar a um bom relacionamento da prática com os órgãos legais.

Além dos aspectos legais as mineradoras precisam da aceitação da comunidade que as abrigam. Essa aceitação é resultado das vantagens que a população consegue enxergar e usufruir de tal atividade: geram riquezas e oferecem emprego para a população, promovem atividades esportivas e sociais, são membros ativos da sociedade local e possuem projetos de uso futuro da área minerada que vão melhorar, ainda mais, a qualidade de vida da população (NOGUEIRA, 2016).

Cerca 90% da produção nacional de areia natural é obtida a partir da extração em leito de rios e os 10% restante, de outras fontes (FERREIRA e FONSECA JUNIOR, 2012). A exploração de areia realizada em rios e outros ambientes de sedimentação, causa sérios impactos sobre o meio ambiente, em consequência da retirada da cobertura vegetal nas áreas a serem lavradas, causando assoreamento nos rios e conseqüentemente a degradação do curso d'água. E como todas as atividades, apresentam também impactos positivos na comunidade onde se abriga.

Sendo a extração em leitos de rios a mais comum, os impactos ambientais descritos neste trabalho serão norteados pela extração do bem mineral na situação citada acima. Os impactos serão apresentados para cada fase instalação, operação, desativação. Os impactos foram dispostos no quadro 1 cujos dados foram baseados nos estudos de (NOGUEIRA, 2016).

Quadro 1 – Impactos Ambientais da Extração de Areia em Cursos D'Água

Fase	Impacto Positivo	Impacto Negativo
Instalação	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Geração de empregos diretos, bem como de empregos indiretos decorrentes daqueles postos de trabalho que dependem da areia;</li> <li>2. Dinamização do setor comercial, devido à aquisição de fatores de produção e à geração de empregos, proporcionando aquecimento da economia local.</li> <li>3. Contribuição para o desenvolvimento regional.</li> <li>4. Aumento da receita dos governos estaduais e municipais.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Depreciação da qualidade do ar, devido ao maquinários;</li> <li>2. Incidência de processos erosivos no solo;</li> <li>3. Diminuição da infiltração de água no solo;</li> <li>4. Depreciação da qualidade do solo;</li> <li>5. Aumento da turbidez no curso d'água;</li> <li>6. Desregularização da vazão dos cursos d'água;</li> <li>7. Danos à microbiota do solo;</li> <li>8. Indução a uma instabilidade do solo nos ambientes ribeirinhos;</li> <li>9. Redução espacial do “habitat”, estresse da fauna silvestre e diminuição do seu suporte;</li> <li>10. Achatamento da base genética das espécies vegetais terrestres;</li> <li>11. Impacto visual.</li> </ol>
Operação	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diminuição do assoreamento dos cursos d'água, em virtude da remoção dos sedimentos para a obtenção da areia.</li> <li>2. Aumento da oferta de areia.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Depreciação da qualidade do ar devido aos maquinários</li> <li>2. Aumento da turbidez dos rios;</li> <li>3. Possibilidade de interferência na velocidade e direção do curso d'água;</li> <li>4. Depreciação da qualidade física, química e biológica da água superficial e do curso d'água.</li> <li>5. Tendência ao achatamento da base genética das espécies vegetais aquáticas e alteração da qualidade de vida aquática;</li> <li>6. Diminuição da possibilidade de usos múltiplos da água;</li> <li>7. Poluição sonora;</li> <li>8. Impacto visual;</li> <li>9. Depreciação do patrimônio público, em virtude das trepidações ocorridas com o uso de máquinas pesadas;</li> <li>10. Risco de acidentes para os banhistas, devido à formação de “panelões”, depressões no leito do rio, pela ação das dragas.</li> <li>11. Aumento da possibilidade de ocorrer acidentes nos ambientes onde houve instabilidade do solo;</li> <li>12. Diminuição da topofilia.</li> </ol>
Desativação	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Melhoria da qualidade química da água;</li> <li>2. Favorecimento do processo de reocupação do “habitat” pela microbiota, e fauna terrestre e aquática;</li> <li>3. Melhoria da capacidade de suporte do meio para a fauna silvestre;</li> <li>4. Melhoria nos aspectos paisagísticos do local;</li> <li>5. Possibilidade de dinamização do convívio social.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diminuição da oferta de areia</li> </ol>

Fonte: Adaptação de Nogueira 2016.

### 2.1.2 Areia Industrial

Pó de brita, areia artificial ou mesmo areia industrial é resultado da cominuição de rochas como quartzitos, calcários, gnaisses, granitos, sienitos, basaltos e diabásios (SERNA e RESENDE, 2013). A rocha passa por mais de um processo de britagem e por classificações, geralmente por peneiras vibratórias até chegar a granulometria que se enquadra na classificação de areia citada anteriormente: entre 0,075 e 4,8 mm.

Antes que haja uma classificação de areias em suas frações (fina, media, grossa) existe a faixa granulométrica que determina a se o material britado está em uma zona ótima, zona utilizável ou fora de parâmetros, especificamente para concretos, em exemplo dessa classificação está disposta na tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros granulométricos para agregados miúdos em concretos

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR ISO 3310-1)	Porcentagem em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

**NOTAS**

- 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
- 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
- 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: ABNT, 2009.

Já para argamassas são utilizadas, geralmente, quatro frações de areia, mas podem-se utilizar as faixas mais adequadas nas proporções desejadas. Para argamassa de revestimento, por exemplo, a sugestão de Bauer (2008) é utilizar apenas as frações mais finas (1 e 2) que estão representadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros granulométricos para areias

Peneiras (mm)	Porcentagens Retidas			
	Faixa 1 (muito fina)	Faixa 2 (fina)	Faixa 3 (média)	Faixa 4 (grossa)
6,3	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8	0 a 5	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4	0 a 5	0 a 15	0 a 25	5 a 40
1,2	0 a 10	0 a 25	10 a 45	30 a 70
0,6	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3	50 a 85	60 a 88	70 a 92	80 a 95
0,15	85 a 100	90 a 100	90 a 100	90 a 100

Fonte: Bauer, 2008.

### 2.1.2.1 Tipos de areia artificial

O tipo de rocha que dá origem a areia artificial influencia na utilização e até mesmo na viabilidade da comercialização da areia. Na região que circunda a origem do material estudado têm-se a possibilidade de se obter, praticamente, 3 tipos de areia artificial: vinda do granito, calcário e do basalto.

Granito é uma rocha ornamental dentro do conjunto de rochas silicáticas, compostas predominantemente por feldspatos e quartzo. Abrangem rochas homogêneas (granitos, sienitos, monzonitos, charnoquitos, diabásios, basaltos, etc.) e as chamadas movimentadas (gnaisse e migmatitos). O Brasil possui uma das maiores reservas mundiais de granitos (superiores a 1.5 bilhão m<sup>3</sup>), sendo a extração realizada diretamente dos maciços rochosos, bem como dos matacões isolados sobre existentes (DUTRA, 2006).

A rocha geralmente fornece agregados de excelente qualidade, pois são resistentes, tem baixa porosidade e absorção de água e não reagem com os álcalis do concreto de cimento Portland. As rochas graníticas possuem uma grande diversidade de tipos e cores. (PARAHYBA, 2009).

Segundo Sampaio e Almeida (2008) a calcita (CaCO<sub>3</sub>) é o principal constituinte mineralógico dos calcários e mármore com elevada pureza. O calcário é encontrado em todos os continentes é extraído de pedreiras ou depósitos com idades variadas, desde o Pré-Cambriano até o Holoceno. As reservas de rochas carbonatadas são grandes e a sua ocorrência com elevada pureza corresponde a menos que 10% das reservas de carbonatos lavradas em todo mundo.

Na classificação mineralógica das rochas calcárias, deve ser considerada a variação nas proporções de calcita, dolomita, bem como dos componentes não-carbonatados. Esse

procedimento é útil na descrição da rocha, especialmente quando combinado com os parâmetros de textura, entretanto não se adapta muito bem quando são abordadas aplicações industriais desse bem mineral (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008).

Os basaltos são rochas vulcânicas abundantes no planeta e formam derrames extensos de lava em muitas regiões. Pertencem à categoria das rochas ígneas, as quais são formadas pelo resfriamento e consequente solidificação do magma, o qual é constituído principalmente por óxidos de silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, sódio e potássio. O basalto é constituído basicamente por minerais de silício, alumínio e ferro, na forma de piroxênios (augita), plagioclásios (labradorita) e magnetita (SCHIAVON; REDONDO; e YOSHIDA, 2008).

O basalto, pela sua composição química e abundância, é uma das rochas mais utilizadas em rochagem. As ocorrências de basalto, no Brasil, são numerosas, como no caso da Formação Serra Geral que vai do Sul até o centro leste do Brasil. A Formação Serra Geral é constituída por um espesso pacote de rochas ígneas que cobre mais de 1,2 milhão de km<sup>2</sup>, correspondente a 75% da extensão da Bacia do Paraná, com espessura de 350 m nas bordas e mais de 1.000 m no centro da bacia (FERNANDES *et al.*, 2010).

#### **2.1.2.2 Pó de brita do granito de Ibiá-MG**

O município de Ibiá está inserido na Província Geológica Tocantins, definida por Junges (1998), como uma grande unidade tectônica entre os Crátoms Amazônico e São Francisco, compreendendo as Faixas Araguaia, Paraguai e Brasília.

A região em questão está situada na Faixa de Dobramentos Brasília, também denominada Cinturão Brasília. Esta compreende duas áreas distintas: a zona externa e a zona interna. Em sua zona externa, é formada por unidades geológicas metassedimentares, compreendidas pelos grupos Paranoá e Canastra e pelas formações Vazante e Ibiá, e por porções do embasamento cratônico, compostas por granitos-gnaiss, associações vulcanossedimentares, pela Formação Ticunzal e pelos grupos Araí e Serra da Mesa. Em sua zona interna, engloba unidades de mica-xistos e rochas associadas (Grupo Araxá) e áreas de embasamento (Complexo Anápolis Itauçu) (JUNGES, 1998).

Segundo Seer (1999), o principal estudo geológico regional feito na região do Triângulo Mineiro foi o realizado por Barbosa *et al.* (1970). Estes autores identificaram, na região de estudo, cinco unidades estratigráficas principais, sendo estas, em ordem cronológica da mais

antiga para a mais recente: o embasamento Complexo Granito-Gnáissico; o Grupo Araxá; o Grupo Canastra; Grupo Ibiá e o Grupo Bambuí.

Segundo o Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais (CPRM, 2003) estão presentes no município de Ibiá as seguintes unidades geológicas:

- Grupo Araxá (Unidade Araxá): clorita xistos e muscovita-biotita xistos;
- Grupo Ibiá (Formação Rio Verde e Litofácies Rio Verde – Quartzito): calcixistos, clorita xistos, sericita xistos e quartzitos;
- Grupo Canastra Indiviso: filitos, mica xistos, sericita xistos, metarenitos e quartzitos;
- Grupo Mata da Corda: tufos lapilíticos e arenito cineríticos;
- Suíte Quebra Anzol: granitos do domínio dos complexos granitoides deformados.

A exploração de rocha granito-gnáissica, atividade principal da pedreira localizada em Ibiá-MG é realizada na grande unidade geológica do Complexo Granito-Gnáissico. Segundo Barbosa *et al.* (1970) *apud* Seer (1999), esta unidade é constituída por gnaisses e granitos de composição granodiorítica, intercalados de anfibolitos. Os granitos e gnaisses são constituídos pelos minerais quartzo, oligoclásio e feldspato potássico, além de hornblenda e biotita. Os anfibolitos são constituídos basicamente por hornblenda.

Especificamente, a lavra é realizada na Suíte Quebra Anzol, unidade identificada pelos levantamentos feitos pela CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais pelo código NPy1qa (Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais). Ainda segundo a CPRM (2003), esta unidade é composta por granitos metaluminosos a peralcalinos, ricos em nióbio e flúor, com idade aproximada de 831 Ma (datação radiométrica U-Pb).

A rocha lavrada possui características homogêneas no interior da cava e também em afloramentos naturais observados no empreendimento. Trata-se de granito cinza, de granulação fina a média, dotado de certo grau de orientação dos minerais que a compõem (quartzo, feldspato e biotita).

Apesar do grau de orientação dos minerais apresentado pela rocha, este não é suficiente para classificá-la como gnaisse. Assim, a denominação utilizada pela empresa que explora o material da região é de granito-gnaisse, sendo considerado para os processos anteriores a titularidade de granito. Trata-se de rocha fraturada, com três direções de fraturas principais no



maciço rochoso, apresentando-se também, preenchidas por veios de quartzo. O aspecto geral da rocha explorada pode ser visto na Figura 12:



Figura 12 – Visão geral do maciço rochoso da Santa Helena Mineração.

## 2.2 Reservas e Mercado de Areia

As areias e rochas de emprego na construção civil são abundantes na natureza, entretanto, fatores exógenos à geologia influenciam a relação entre o quantitativo de reservas existentes e aquelas realmente disponíveis para o uso. Primeiramente há uma restrição de ordem econômica para o aproveitamento das jazidas, referente ao baixo valor unitário dos agregados para construção. O que torna necessário reduzir ao máximo possível a distância entre o lugar de extração e o mercado consumidor, além de garantir um baixo custo do processo produtivo. Segundo Serna e Resende (2013) considera-se que, para a maior parte das regiões, as jazidas localizadas fora de um raio de 100 km do mercado consumidor, não são viáveis economicamente.

Conforme relatado no Plano Nacional De Agregados Para A Construção Civil (2008) as leis municipais oriundas de Planos Diretores definem usos e ocupações do solo urbano e municipal por meio de zoneamentos com maior ou menor restrições à mineração. O diálogo entre o município e o setor produtivo nem sempre é efetivo, mesmo com as políticas setoriais e legislação adequadas ao planejamento da urbanização, em um aspecto cultural não se leva em

consideração a necessidade de conciliar o desenvolvimento urbano com a destinação de áreas para mineração nos arredores das cidades.

A dispersão geográfica é uma das características naturais dos minerais usados no emprego imediato na construção civil. Assim a sua viabilidade abrange fatores como a legislação mais ou menos restritiva, a disponibilidade de reservas e jazidas pelas cidades e por usos do solo impeditivos à mineração, o uso e posse de tecnologia de pesquisa e lavra, o sistema de transportes e a demanda por minerais para agregados são fundamentais.

A produção dos agregados tende a ser bastante descentralizada espacialmente, e com grande quantidade de ocorrências e empreendimentos. Fato que acompanha a dinâmica do principal setor consumidor, o da construção civil, relevante em todas as regiões urbanas. A restrição de comércio a grandes distâncias, devido aos custos de transporte induz à formação de micromercados regionalizados separados por um raio de até 150 km (SERNA e RESENDE, 2013). A restrição imposta pela distância se constitui em uma importante barreira à entrada no mercado.

As reservas minerais de areia e brita, de modo geral, são abundantes no Brasil. Existem regiões, no entanto, onde as reservas estão distantes do centro consumidor tendo-se que transportar o material por distâncias superiores a 100 km. Algumas vezes excelentes reservas não são exploradas por questões ambientais e legais como as citadas anteriormente.

Um dos maiores problemas encontrados nas análises que envolvem os agregados para a construção civil é a falta de uma base estatística confiável, uma vez que existe um elevado grau de ilegalidade devido a empresas clandestinas que operam nesse mercado. Os dados que podem embasar com mais precisão os dados do setor são dispostos no RAL, Relatório Anual de Lavra, que é enviado ao DNPM -Departamento Nacional de Pesquisa Mineral- (FERREIRA e FONSECA JUNIOR, 2012).

Segundo Ferreira & Fonseca Junior (2012) a areia é extraída de leito de rios, várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, pegmatitos e arenitos decompostos. Estima-se que, em 2010 foram produzidos 556 milhões de toneladas de agregados, deste total, 222 milhões de toneladas são representados por pedras britadas e 334 milhões de toneladas por areia.

Os autores dizem ainda que cerca de 2.500 empresas registradas se dedicam à extração de areia, na grande maioria, pequenas empresas familiares; – gerando cerca de 47.000 empregos diretos; – destas, 60% produzem menos de 120.000 toneladas/ano; – 35% produzem entre 120.000 e 300.000 toneladas/ano; – e 5% delas produzem mais do que 300.000 toneladas/ano.

O mercado de agregados para construção civil e por consequência a areia é bastante promissor e sua produção e consumo tendem a aumentar ao longo dos anos, como pode ser observado na Figura 13. O setor enfrentou bem uma das crises financeiras, mas apresentará queda nos próximos anos.

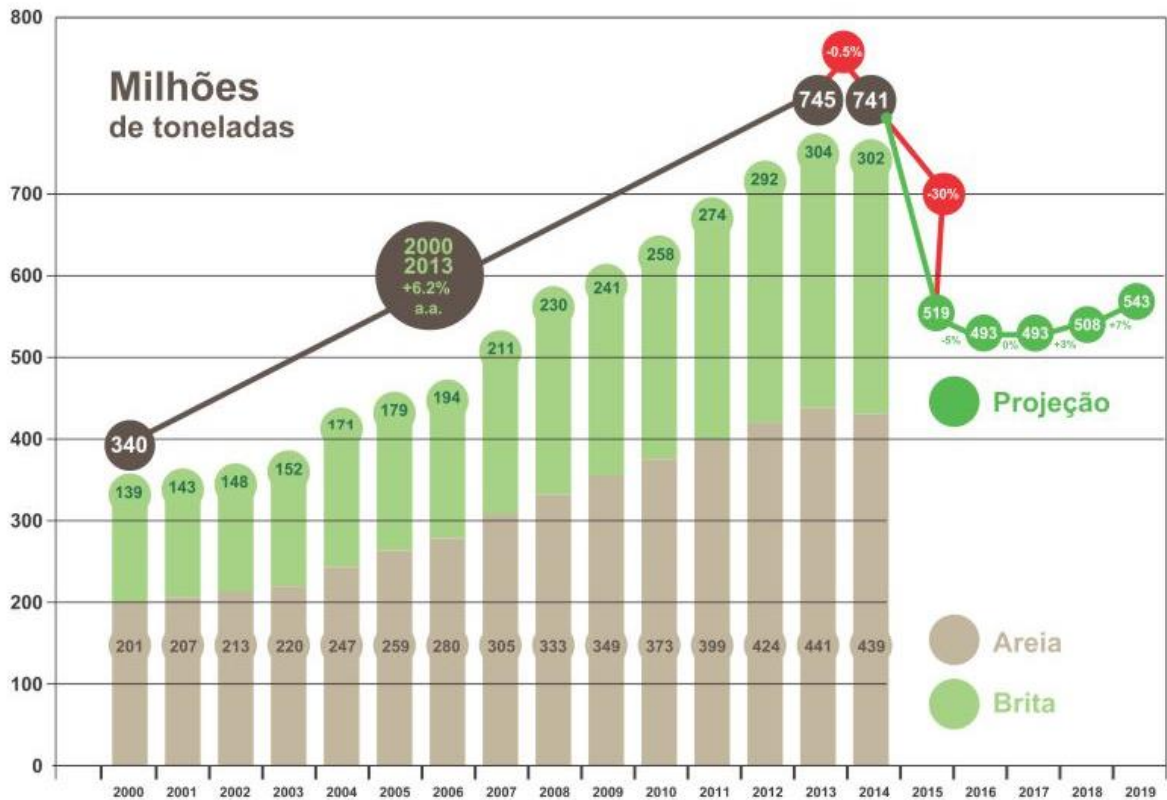


Figura 13 – Perspectivas do setor de agregados até 2019. Fonte: Anepac, 2016.

Os dados acima se referem apenas a areia natural, ao se inferir a potencialidade de inserção de areia artificial ao mercado busca-se manter o mercado de agregados em uma curva crescente, além de conciliar a minimização dos impactos ambientais com a qualidade dos produtos finais. Os impactos das pedreiras para fabricação das britas já está presente no dia a dia, encontrar utilização para que as areias artificiais possam substituir, mesmo que em parte, a areia natural, nesse ponto de vista, pode ser uma alternativa para diminuir os impactos da extração de agregados para construção civil.

### 2.3 Argamassa

A norma NBR 13281 (ABNT, 2005) define argamassa como uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos, com

propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria. Neste trabalho será estudada a argamassa cuja composição inclui o cimento Portland, água e areia.

Segundo a NBR 13281 as argamassas podem ser classificadas quanto a sua aplicação, podem ser para vedação, estrutural, encunhamento, revestimento interno e externo, de parede ou de teto, para reboco ou mesmo decorativas (ABNT, 2005). A definição de argamassa de revestimento segundo a NBR 13530 (ABNT, 1995) define revestimento de argamassa como sistemas constituídos de uma ou mais camadas de argamassa, sendo que cada uma delas ter uma função característica.

### **2.3.1 Influência do tipo de cimento**

As argamassas de revestimento apresentam uma grande variedade de problemas atribuídos a diversos fatores, estes podem aparecer no seu manuseio incorreto ou nos constituintes inadequados da composição. Ao se alterar os materiais constituintes das argamassas, as suas propriedades, e conseqüentemente, o seu desempenho, irá variar substancialmente, tendo em vista todos os fatores envolvidos. (BOLORINO; CINCOTTO; REGATTIERI, 1996)

O cimento, como um dos aglomerantes das argamassas de revestimento, é responsável pela ligação entre as partículas soltas e por isso está diretamente ligado às suas propriedades mecânicas. Dentre as propriedades mais importantes das argamassas pode-se destacar a trabalhabilidade no estado fresco, as resistências de aderência, à compressão axial e à tração na flexão, e a permeabilidade à água.

Segundo Isaia (2005) as sugestões de quanto aos tipos de cimento a serem utilizados são:

- Cimento Portland Composto CP II-F (com adição de material carbonático – filler – NBR 11578:91). Além de servir para aplicações gerais, o Cimento Portland Composto CP II-F pode ser usado no preparo de argamassas de assentamento e revestimento.
- Cimento Portland de Alto Forno CP III (Com escória – NBR 5735:91). O Cimento Portland de Alto Forno CP III apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, além de baixo calor de hidratação e alta resistência à expansão devido à reação álcali-agregado, além de ser resistente a sulfatos. Pode ter aplicação geral em argamassas de assentamento e revestimento dentre outras.

- Cimento Portland Pozolânico CP IV (Com pozolana – NBR 5736:91). Para obras correntes, sob a forma de argamassa e de concretos, especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e a ambientes agressivos.

### **2.3.2 Influência das características da areia utilizada**

Mesmo o agregado não participando das reações químicas que ocorrem na mistura da argamassa, sua textura, granulometria, quantidade de finos, formam influências nas propriedades da argamassa.

As diferenças de textura alteram as interações entre os grãos e assim exige uma dosagem específica para garantir que os atritos entre os mesmos não gerem problemas (SILVA, 2006).

A granulometria influencia diretamente na quantidade de água retida, na trabalhabilidade e no consumo de aglomerantes. Em areias mais finas os raios dos poros capilares diminuem, assim a capacidade de sucção do substrato, areia mais fina exige mais água, cerca de 26% (CARNEIRO e CINCOTTO, 1999; CARASEK, 1996).

Areias resultantes do processo de britagem apresentam diferenças na morfologia e na composição, as partículas tendem a ser mais angulosas, podendo se apresentar angular lamelar. Essas características influenciam diretamente na quantidade de água envolvida e o acabamento pode se apresentar mais áspero. Geralmente a areia industrial apresenta também maior teor pulverulento que pode aumentar o potencial de fissuração. (NIEBEL e CAMPITELI, 2009).

Sendo assim diferentes tipos de rocha apresentam características diferentes quando se utiliza suas areias para argamassas. Tristão (2005) notou um aumento na quantidade e pasta e assim no consumo de aglomerantes para rocha granítica, tal fato deve estar associado a forma e textura dos grãos. Nos estudos de D'Agostino *et al.* (2004) a areia de origem granítica apresentou uma redução de 12% na quantidade de cimento compara a rocha basáltica e a areia de rio.

Para a resistência à compressão geralmente as areias resultantes apresentam índices maiores que areia de rio (D'Agostino *et al.*, 2004). Já de aderência encontram-se estudos contraditórios: há reduções dos valores obtidos como apresentam Pandolfo e Masuero (2005) e Silva (2006) apresentou aumento dos índices.

### 2.3.3 Propriedades da Argamassa

Existem propriedades específicas que as argamassas devem apresentar, propriedades específicas no estado fresco e outras no estado endurecido. No estado fresco são analisadas coesão, adesão inicial, consistência, retenção de água, retração plástica, plasticidade, trabalhabilidade, aspectos reológicos e ar incorporado. Já no estado endurecido as propriedades são resistência a abrasão, a fissuração, retração, porosidade, permeabilidade e aderência. (NBR 13281, ABNT, 2005). Mesmo as propriedades não sendo analisadas neste estudo seu conhecimento se faz pertinente para análises futuras.

#### 2.3.3.1 Propriedades da Argamassa Fresca

As principais características das argamassas estão relacionadas a argamassa endurecida, mas enquanto fresca a mesma tem influência da dosagem, manuseio dos componentes e aplicação da mistura. Assim se faz necessário ter normas, instruções, e que as mesmas sejam cumpridas para melhor aproveitamento do material e obtenção de melhores parâmetros de qualidade.

Segundo Cincotto *et al.* (1995) a coesão refere-se as interações entre as partículas e a mesma influência diretamente na trabalhabilidade. Tal característica vem da coesão interna que proporciona a diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão.

Adesão inicial se refere ao comportamento posterior do conjunto substrato/revestimento quanto ao seu desempenho decorrente da aderência. É a propriedade do material de se manter unida a base aplicada, enquanto fresca, após o lançamento (Cincotto *et al.* 1995).

Cincotto *et al.* (1995) discorre ainda sobre a plasticidade e a consistência das argamassas que de fato caracterizam a trabalhabilidade. A plasticidade é a propriedade que mostra quanto a argamassa tende a conserva-se deformada após a redução das tensões de deformação. Já a consistência é a propriedade da argamassa a resistir a deformação no estado fresco. Existem diversos testes para estudar tal propriedade e a utilização de cada um depende das características mais importantes, uns exigem maior sensibilidade para diferenciar a tensão de escoamento da viscosidade, *flow table*, outras que não fornecem dados da reologia como o *vane test* (Silva, 2006).

A reologia é um dos estudos mais pertinentes pois a interação entre os grãos, no espalhamento, trabalhabilidade e até mesmo na energia necessária para aplicação da argamassa.

Bauer et al. (2005) diz que a metodologia do funil de Bücher fornece informações úteis para a verificação da retenção de água que é um parâmetro muito importante tanto para as propriedades mecânicas como para a viabilidade econômica. Ela está ligada a fissuração no estado endurecido, este fato é favorecido com o aumento de finos no composto.

### **2.3.3.2 Propriedades da Argamassa Endurecida**

Sabbatini (2000) afirma que as solicitações que as argamassas estão sujeitas são:

- Movimentação volumétrica da base, por umedecimento e secagem, provocados pela temperatura e umidade;
- Deformação da base, devido à formação lenta do concreto da estrutura e recalque da fundação;
- Movimentação do revestimento por variação de temperatura (ocorre dilatação e contração);
- Retração do revestimento devido a diminuição do volume (perde de água para base por evaporação).

O autor afirma ainda que as argamassas devem resistir aos esforços externos e internos e devem retornar as condições originais quando cessam os esforços que causaram as deformações sem se romper ou que as fissuras presentes não comprometam o desempenho do revestimento. Para que a argamassa possa absorver as deformações a mesma deve ter um baixo módulo de deformação, além deste ser compatível com a finalidade da argamassa.

A retração é outro fator importante na argamassa no estado endurecido, ocorre em função da retração térmica, por carbonatação, por hidratação do cimento, autógena, simultânea ou durante a vida útil da argamassa. A retração acontece depois do início da pega do cimento quando ocorre a perda de água que é o fator que determina a sua magnitude (BASTOS, 2001)

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo estão descritos os materiais e equipamentos utilizados e as metodologias desenvolvidas ao longo da pesquisa.

Os materiais utilizados para moldagem dos corpos de prova de argamassa foram:

- Areia natural, de origem quartzosa, denominada como areia Rio das Velhas;
- Pó de brita, de origem granítica, da região de Ibiá-MG;
- Cimento Portland Pozolânico para uso geral: CP IV 32 RS./

Iniciou-se com a caracterização do agregado miúdo, pó de brita, proveniente da britagem efetuando a aferição de sua massa específica, massa unitária e umidade.

Foi realizada a determinação da distribuição granulométrica tanto para a areia natural quanto para a areia industrial. Os testes de caracterização foram realizados no Laboratório de Tratamento de Minérios do CEFET-MG/ Unidade Araxá com a exceção do teste de massa unitária e resistência a compressão que foi realizado no Laboratório de Edificações da mesma instituição.

#### 3.1 Umidade

A umidade influencia diretamente na quantidade de água que será utilizada na argamassa, como este fator pode ser alterar a cada entrega de material, portanto é necessário um controle contínuo do fator. (NEVILLE E BROOKS, 2013).

Para este trabalho foi pesada a amostra de pó de brita, antes da secagem, após o material foi levado à estufa onde foi mantido por 24 horas a 100° C, como pode ser observado na figura 14, e em seguida o material passou por nova pesagem. A Equação 1 foi utilizada para determinar a umidade em base seca.

$$U = \frac{M_t - M_s}{M_s} \times 100 \quad (1)$$

U= umidade

M<sub>t</sub> = Massa total

M<sub>s</sub> = Massa seca





Figura 14 – Secagem do material.

### 3.2 Análise Granulométrica

Para realizar a análise granulométrica do pó de brita foram retiradas amostras de aproximadamente 1 kg de cada uma das 3 bandejas (que continham todo o material inicial) por meio do quarteador Jones representado na figura 15 que haviam passado pela secagem no ensaio de umidade.

A nova amostra passou por outro processo de quarteamento, no mesmo equipamento, para se obter no final duas amostras de cerca de 500 gramas, Figura 16, para realizar o ensaio de granulometria, em duplicata, a seco, utilizando o agitador suspenso (Figura 17).



Figura 15 – Quarteador Jones.



Figura 16 – Amostras de pó de brita para o ensaio de granulometria a seco.



Figura 17 – Agitador de peneiras suspenso usado nos peneiramentos.

Para a areia natural o material passou pelo mesmo processo de secagem, foi homogeneizado e quartado pelo método da pilha cônica. A determinação da granulometria também foi realizada em duplicata.

A sequência de peneiras utilizada para ambos os peneiramentos está disposta na Tabela 4:

Tabela 4 – Peneiras usadas no ensaio de granulometria a seco

<b>Peneira mesh</b>	<b>Abertura em mm</b>
3 ½	4,750
6	3,350
8	2,380
10	2,000
16	1,180
20	0,840
30	0,600
40	0,420
50	0,297
70	0,212
100	0,150

Para se ter frações diferentes de areia industrial que pudessem ser classificadas em grossa, média grossa, média fina e fina foram separadas seis frações do material, cerca de 35 kg de pó de brita seco foram peneirados a mão, e quatro dessas foram utilizadas para compor a argamassa cuja resistência a compressão será analisada. Na Tabela 5 a seguir estão dispostos os cortes utilizados para separar as frações (representadas na Figura 18) e as classificações de areia que lhes foram atribuídas.

Tabela 5: Frações selecionadas do Pó de Brita

<b>Fração</b>	<b>Classificação</b>
$2,36 < x$	-
$1,18 < x < 2,36$	Areia grossa
$0,600 < x < 1,18$	Areia média grossa
$0,300 < x < 0,600$	Areia média fina
$0,150 < x < 0,300$	Areia fina
$0,150 > x$	-

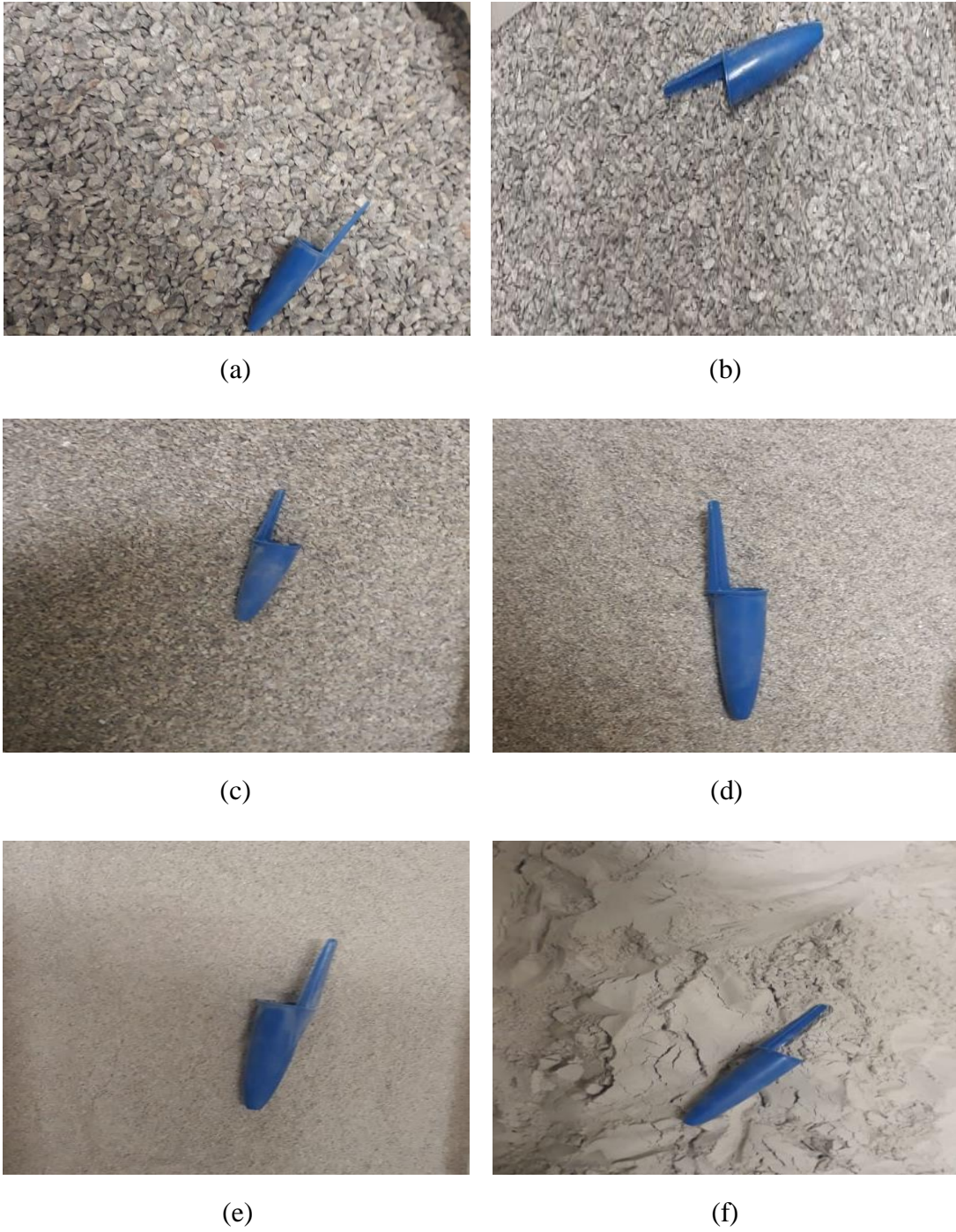


Figura 18 – Frações granulométricas separadas manualmente. a:  $2,36 < x$  ; b:  $1,18 < x < 2,36$ ; c:  $0,600 < x < 1,18$ ; d:  $0,300 < x < 0,600$ ; e:  $0,150 < x < 0,300$ ; f:  $0,150 > x$ .

### 3.3 Análise da composição e forma dos grãos

Para analisar a forma e os principais componentes das frações de areia industrial foi utilizada uma lupa binocular Laborana do Laboratório de Mineralogia do CEFET-MG/Unidade Araxá , representado na Figura 19, a seguir:



Figura 19 – Lupa binocular Laborana usada para determinar a forma dos grãos.

Foi utilizado um aumento de 7x, realizadas no Laboratório de Mineralogia do CEFET-MG/Unidade Araxá Campus IV das frações de areia industrial utilizadas nas confecções das argamassas P50 e P100.

### 3.4 Massa Específica

Massa específica é a relação entre massa e volume onde se exclui-se os vazios permeáveis e impermeáveis Petrucci (1998). Neste trabalho o método utilizado para determinação da massa específica foi a picnometria, realizada em triplicata. Para realização do teste foi utilizado a fração mais fina do material ( $<150 \mu\text{m}$ ) para se minimizar os vazios entre os grãos. Usando 3 picnômetros, repetindo os passos a seguir para todos, obteve-se os dados necessários para a aferição da massa específica. Inicialmente pesou-se as vidrarias vazias, o



picnômetro e o agregado, o conjunto picnômetro com a agregado e água, e o picnômetro apenas com água. A sequência dos eventos está representada na Figura 20 a seguir.

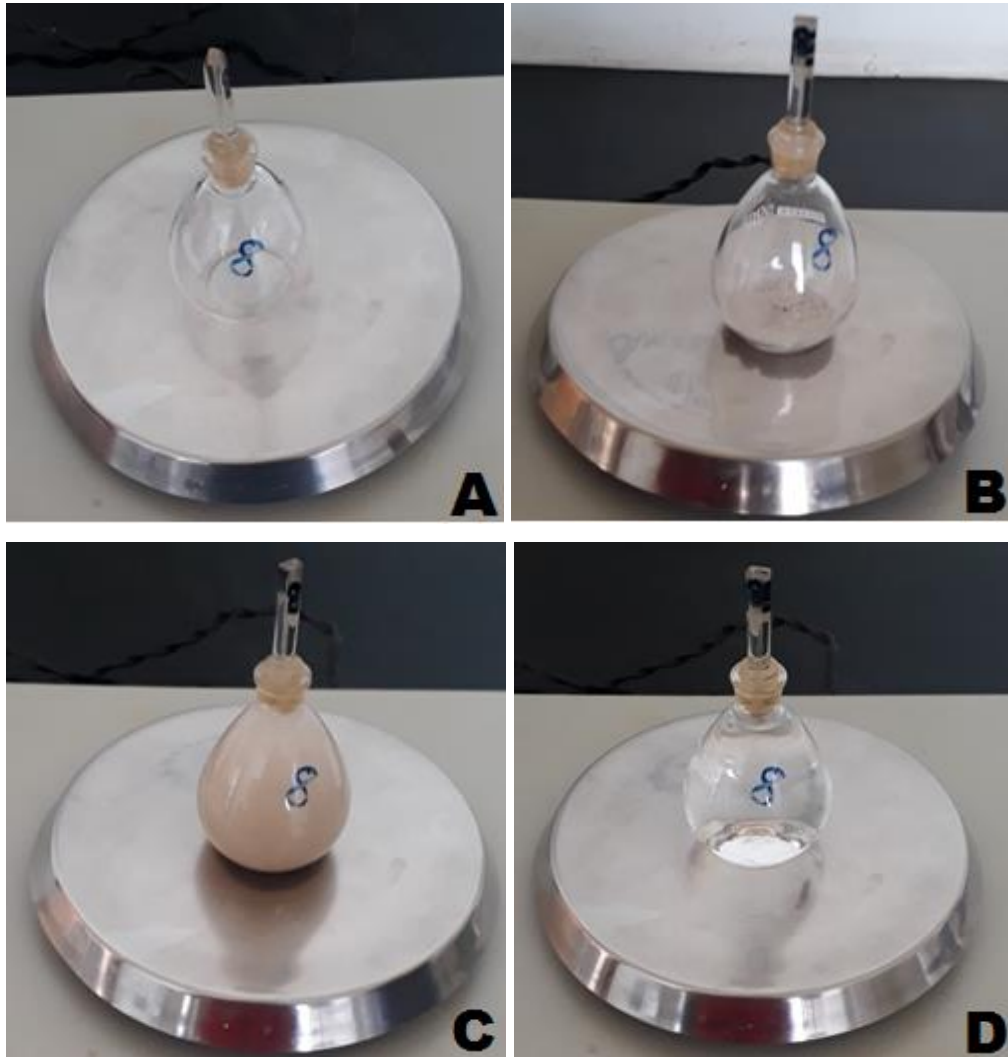


Figura 20 – Massa unitária por picnometria. A: Picnômetro vazio. B: Picnômetro + agregado. C: Picnômetro + agregado + água. D: Picnômetro + água.

A equação 2 foi utilizada para se obter o valor de densidade em  $\text{g/cm}^3$ :

$$d = \frac{P_2 - P_1}{(P_4 - P_1) - (P_3 - P_2)} \quad (2)$$

Onde:

d = densidade

P<sub>1</sub> = peso do picnômetro

P<sub>2</sub> = peso do picnômetro + agregado

P<sub>3</sub> = peso do picnômetro + agregado + água

P<sub>4</sub> = peso do picnômetro + água

### 3.5 Massa Unitária

É a relação da massa total de certo volume de agregados considerando os vazios existentes entre os grãos do agregado. É por meio dela que podem-se converter as composições das argamassas e concretos dados em massa para volume e vice-versa (Neville e Brooks, 2013).

Para determinação da massa unitária, inicialmente, foi pesado cerca de 30 kg de pó de brita, seco, e o mesmo foi despejado em uma caixa metálica de peso e volumes predeterminados. O material foi despejado com auxílio de uma pá, a 10 cm de altura, de forma homogênea até que preenchesse todo o volume da caixa, após o preenchimento, com uma régua, o material excedente foi retirado e a massa do conjunto caixa e agregado foi então aferida. O procedimento foi realizado em duplicata e está representado nas Figuras 21 e 22.

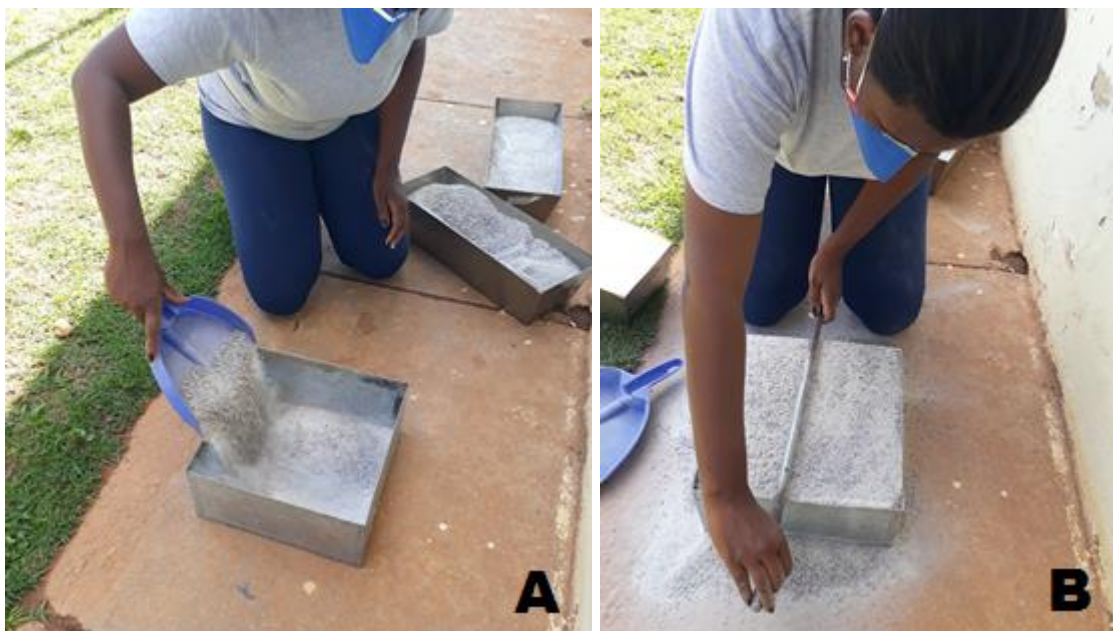


Figura 21 – A: Agregado sendo despejado na caixa metálica. B: Retirada do material excedente da caixa metálica.



Figura 22 – Pesagem do conjunto caixa + agregado.

A massa unitária,  $M_u$ , é calculada pela razão entre a diferença das massas entre o conjunto caixa e agregado,  $M_t$ , e a caixa vazia,  $M_c$ , sobre o volume da caixa,  $V$ , como pode ser observado na equação 3 a seguir:

$$M_u = \frac{M_t - M_c}{V} \quad (3)$$

### 3.6 Moldagem corpos de prova

Foram moldados 17 corpos de prova, ao todo, de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro seguindo o procedimento descrito NBR 7215 (ABNT, 1996) sendo 3 diferentes composições das areias. As composições usadas foram: 100% de areia natural (P0); 50% areia natural e 50% areia industrial (P50), 100% areia industrial (P100).

Para a composição P50 foi utilizada uma massa de 234g de cada fração de areia industrial citadas na Tabela 6 para a composição P100 foram utilizadas 468g de cada areia. Sendo assim os traços obtidos foram: 1:3:0 na combinação P0, 1:0:3, na P100 e 1:1,5:1,5 na P50. Em todas as bateladas as areias utilizadas foram previamente homogeneizadas. A relação água/cimento foi de 0,48.



Tabela 6 – Composição das Argamassas

<b>Nomenclatura</b>	<b>Massa de Areia Artificial (g)</b>	<b>Massa de Areia Natural (g)</b>	<b>Massa de Cimento Portland (g)</b>	<b>Massa água (g)</b>
<b>PO</b>	0	1872	624	300
<b>P50</b>	936	936	624	300
<b>P100</b>	1872	0	624	300

A mistura da argamassa ocorreu conforme o procedimento de norma, NBR 7215, sendo moldados os corpos em quatro camadas com 30 golpes em cada (Figura 23). Para as três composições foram moldados 5 corpos por um mesmo operador. Para cada batelada que continha areia industrial foi moldado 1 corpo de prova pelo técnico responsável do Laboratório de Edificações para parâmetros de comparação.



Figura 23 – Moldagem dos corpos de prova.

Os corpos foram devidamente identificados, passaram pela cura nas formas por período de 24 horas cobertos por placa de vidro para evitar evaporação (Figura 24). Após o período da primeira cura, os corpos passaram para cura úmida em solução saturada com cal por 28 dias (Figura 25), foram então capeados na mistura de enxofre quente (Figura 26). Em seguida iniciou-se o ensaio de compressão uniaxial em prensa hidráulica de acionamento elétrico da marca Emic, Figura 27. O equipamento fornece a força máxima suportada até o rompimento e posteriormente pela Equação 4 obtêm-se a tensão de compressão suportada.

$$\sigma = \frac{F_c}{A} \quad (4)$$

$\sigma$  = Resistência a compressão (KPa)

$F_c$  = Força aplicada (KN)

$A$  = área (mm<sup>2</sup>)



Figura 24 – 1ª cura.



Figura 25 – Cura úmida.



Figura 26 – Capeamento dos corpos de prova.



Figura 27 – Teste de compressão em prensa Emic hidráulica de acionamento elétrico.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados do comportamento das argamassas aos ensaios de compressão uniaxial para os dois tipos de agregados diferentes: natural e industrial. Apresenta também os resultados dos testes preliminares da caracterização do agregado industrial dispostos na seguinte ordem: umidade, massa específica, massa unitária e granulometria, teste realizado também para o agregado natural.

### 4.1 Umidade

O pó de brita foi disposto em três recipientes diferentes para secagem na Tabela 7 encontra-se as pesagens dos recipientes com material úmido e material seco. A umidade final foi dada pela Equação 1.

Tabela 7 – Dados Umidade

<b>Umidade</b>				
	<b>Bandeja 1</b>	<b>Bandeja 2</b>	<b>Bandeja 3</b>	<b>Total</b>
<b>Massa úmida</b>	11980	12585	12520	37085
<b>Massa seca</b>	11862	12392	12215	36469
<b>Umidade</b>	<b>1,69 %</b>			

O processo de secagem da amostra fez-se necessário como um método de preparação para os demais testes. O valor encontrado da umidade é um parâmetro que influencia na hora da composição do traço na relação água/cimento e por consequência pode influenciar na resistência do material, sendo assim é um dado a ser considerado quanto a utilização do agregado que se dá, geralmente, sem nenhum tratamento preliminar.

### 4.2 Massa Específica

A massa específica do pó de brita determinada por picnometria apresentou os resultados na Tabela 8:

Tabela 8 – Ensaio de massa específica

<b>Massa Específica Pó de Brita</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Picnômetro</b>	29,74	29,88	30,78
<b>Picnômetro + amostra</b>	32,23	32,13	32,57
<b>Picnômetro + amostra + água</b>	81,75	81,98	82,77
<b>Picnômetro + água</b>	80,22	80,58	81,65
<b>Massa Específica</b>	2,61	2,65	2,67
<b>Massa Específica Média</b>	<b>2,64 g/cm<sup>3</sup></b>		

Com a equação 2 encontrou-se os valores da densidade nos três picnômetros e por média aritmética encontrou-se a massa específica final no valor de 2,64 g/cm<sup>3</sup>.

O valor encontrado é semelhante ao da areia natural, composta essencialmente por quartzo, cujo valor é de 2,65 g/cm<sup>3</sup>. O resultado é o esperado, tendo em vista a composição esperada para o pó de brita é ter em sua maioria o quartzo.

### 4.3 Massa Unitária

A massa unitária foi calculada com a Equação 2 e os resultados dos dois testes e massa unitária final, médias aritmética dos dois resultados, estão representados a seguir na Tabela 9:

Tabela 9 – Massa Unitária

<b>Massa Unitária</b>		
	<b>1º Teste</b>	<b>2º Teste</b>
<b>Peso da caixa metálica (g)</b>	1.120	1.120
<b>Peso conjunto (g)</b>	25.480	24.860
<b>Volume da caixa (cm<sup>3</sup>)</b>	17.789,25	17.789,25
<b>Massa Unitária (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,37	1,33
<b>Massa Unitária Média</b>	<b>1,35 (g/cm<sup>3</sup>)</b>	

Assim como a massa específica, a massa unitária apresentou um valor próximo ao da areia natural que é 1,4 conforme informações de mercado. O dado é importante na determinação de índice de vazios e também nas questões de transporte. O fato das informações serem coerentes entre os dois tipos de agregado tem fator positivo, já que em questões de frete, por

exemplo, o uso de qualquer das duas opções apresentariam comportamentos semelhantes quando se observa as duas características apontadas até o momento.

#### 4.4 Análise Granulométrica

As duas areias tiveram a granulometria a seco determinada em duplicata e os dados obtidos foram analisados para assegurar que os mesmos podem ser definidos como agregado miúdo, além de determinar em qual das classificações de areia cada material pode ser inserido.

Para a areia natural os seguintes dados foram obtidos quanto a granulometria estão dispostos na tabela 10:

Tabela 10 – Distribuição Granulométrica Areia Rio das Velhas

Abertura (mm)	Amostra 1				Amostra 2			
	Retido (g)	R.S. (%)	R.A. (%)	P.A. (%)	Retido (g)	R.S. (%)	R.A. (%)	P.A. (%)
<b>4,76</b>	1,74	0,32	0,32	99,68	3,38	0,63	0,63	99,37
<b>3,35</b>	3,37	0,63	0,95	99,05	2,67	0,50	1,13	98,87
<b>2,38</b>	4,65	0,87	1,82	98,18	4,08	0,76	1,88	98,12
<b>2</b>	2,36	0,44	2,26	97,74	2,53	0,47	2,35	97,65
<b>1,18</b>	40,77	7,61	9,88	90,12	38,4	7,14	9,50	90,50
<b>0,84</b>	76,99	14,38	24,26	75,74	73,97	13,76	23,26	76,74
<b>0,6</b>	82,85	15,47	39,73	60,27	83,73	15,58	38,83	61,17
<b>0,42</b>	83,4	15,58	55,31	44,69	87,2	16,22	55,05	44,95
<b>0,297</b>	118,58	22,15	77,46	22,54	123,6	22,99	78,04	21,96
<b>0,212</b>	55,07	10,29	87,74	12,26	55,24	10,28	88,32	11,68
<b>0,15</b>	41,25	7,70	95,45	4,55	38,74	7,21	95,53	4,47
<b>Fundo</b>	24,37	4,55	100,00	0,00	24,05	4,47	100,00	0,00
<b>Total</b>	535,4				537,59			
<b>Inicial</b>	536,6				538,47			
<b>Perda</b>	0,22				0,16			

A Figura 29 e 30 apresentam os dados do ensaio de granulometria condensados na sequência regular de peneiras usadas para definir agregado miúdo a sequência para agregados miúdos vai abranger as aberturas de 4,76; 2,38; 1,18; 0,60; 0,300 e 0,15 mm. No gráfico os limites em azul são a zona utilizável, em vermelho são os limites ótimos e em verde a distribuição do material analisado.



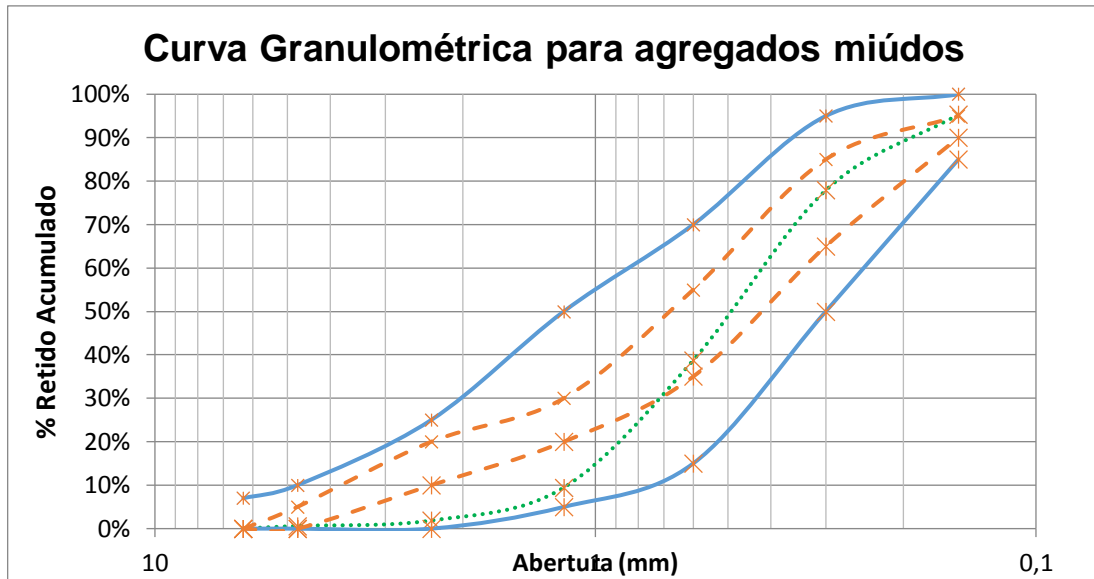


Figura 28 – Gráfico Análise granulométrica da amostra 1 areia Rio das Velhas.

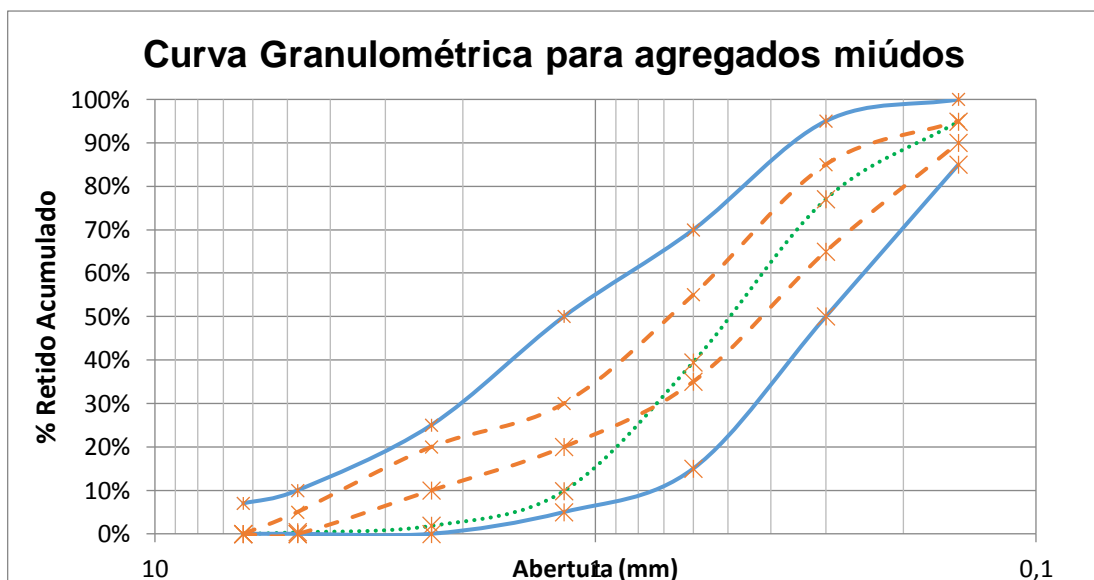


Figura 29 – Gráfico Análise granulométrica da amostra 2 areia Rio das Velhas.

Pelas Figuras 29 e 30 a areia Rio das Velhas se encaixa na descrição de agregado miúdo. O material, apresenta uma pequena quantidade de material mais grosseiro, concentra sua massa nas peneiras intermediárias e os valores de material nas porções próximas a 0,15 mm são poucos expressivos. Apesar de não apresentar um comportamento homogêneo, não se concentra na zona ótima, sua distribuição granulométrica não influencia de modo expressivo na composição de argamassas, já que o mesmo não apresenta diretamente a classificação de qual areia o agregado se encaixa e portanto qual o seu papel na composição da mesma.



Para o pó de brita os dados resultantes do ensaio de granulometria estão descritos na tabela 11:

Tabela 11 – Distribuição Granulométrica Pó de Brita Ibiá-MG

Abertura (mm)	Amostra 1				Amostra 2			
	Retido (g)	R.S. (%)	R.A. (%)	P.A. (%)	Retido (g)	R.S. (%)	R.A. (%)	P.A. (%)
4,76	0,35	0,07	0,07	99,93	0,23	0,04	0,04	99,96
3,35	25,92	5,14	5,20	94,80	23,52	4,53	4,58	95,42
2,38	68,99	13,67	18,87	81,13	70,26	13,54	18,12	81,88
2	35,68	7,06	25,93	74,07	34,95	6,73	24,85	75,15
1,18	91,25	18,08	44,01	55,99	90,83	17,50	42,35	57,65
0,84	56,94	11,28	55,29	44,71	61,46	11,84	54,19	45,81
0,6	42,76	8,47	63,76	36,24	45,15	8,70	62,90	37,10
0,42	38,23	7,57	71,34	28,66	39,29	7,57	70,47	29,53
0,297	20,07	3,98	75,31	24,69	20,89	4,03	74,49	25,51
0,212	28,62	5,67	80,98	19,02	29,97	5,78	80,27	19,73
0,15	32,67	6,47	87,46	12,54	35,57	6,85	87,12	12,88
Fundo	63,25	12,53	99,99	0,01	66,84	12,88	100,00	0,00
Total	504,73				518,96			
Inicial	505,63				517,36			
Perda	0,18				-0,31			

De maneira análoga as análises da areia do Rio das Velhas obteve-se as comparações entre a distribuição granulométrica do pó de brita de Ibiá e a classificação de agregado miúdo. As Figuras 31 e 32 apresentam tais comparações.

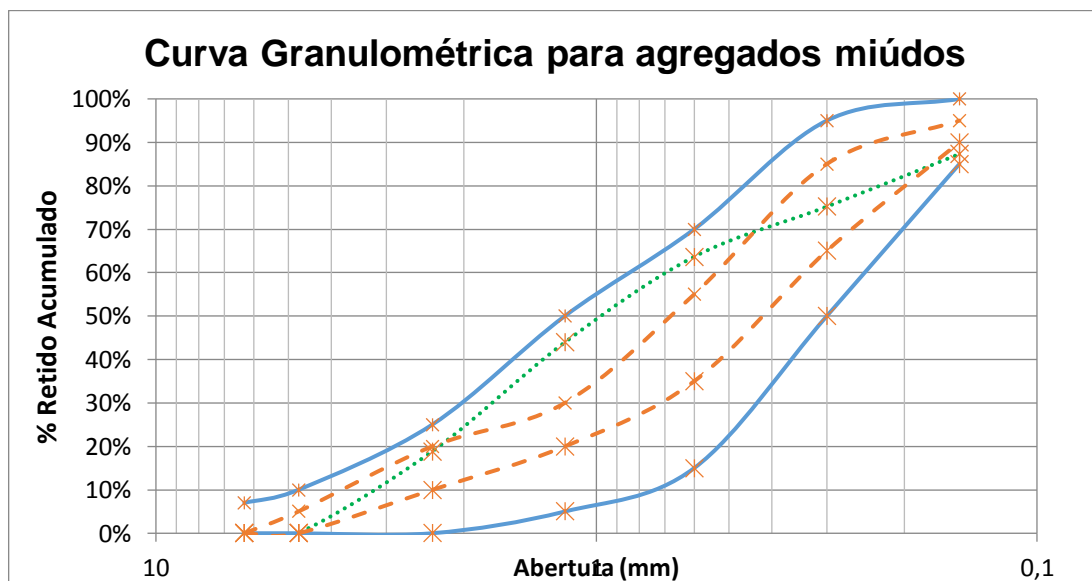


Figura 31 – Gráfico Análise granulométrica da amostra 1 pó de brita.



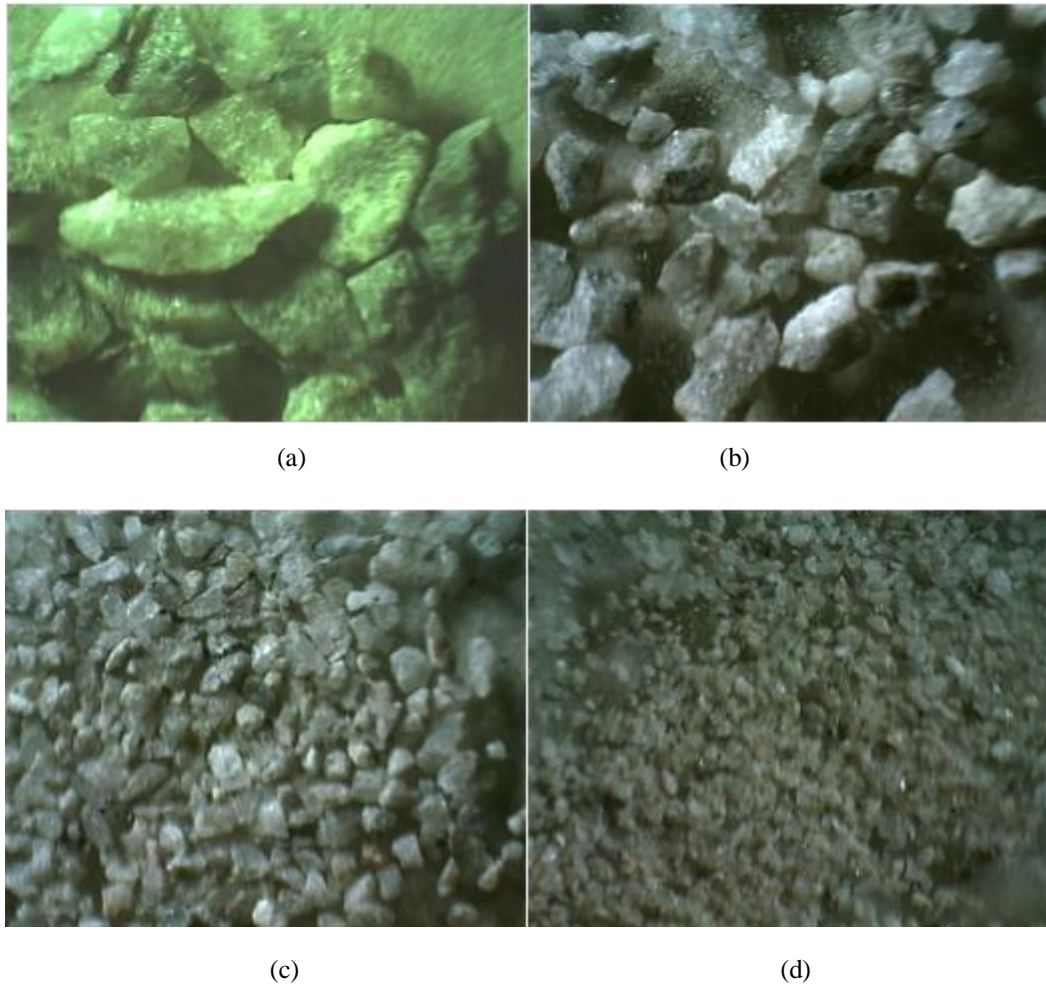


Figura 33 – Frações granulométricas analisadas na lupa binocular. a:  $1,18 < x < 2,36$ ; b:  $0,600 < x < 1,18$ ; c:  $0,300 < x < 0,600$ ; d:  $0,150 < x < 0,300$ .

#### 4.6 Compressão Uniaxial

Os resultados obtidos no ensaio de compressão estão apresentados na tabela 12 a seguir. Para encontrar a compressão suportada foi aplicada a equação 4.

Tabela 12 – Ensaio de Compressão Uniaxial

COMPRESSÃO UNIAXIAL								
P0			P50			P100		
Operador	Força (KN)	Tensão (MPa)	Operador	Força (KN)	Tensão (MPa)	Operador	Força (KN)	Tensão (MPa)
1 (FAB)	47,5	24,2	2 (FAB)	45,3	23,1	2 (FAB)	50,8	25,9
2 (FAB)	46,1	23,5	3 (FAB)	48,6	24,7	3 (FAB)	47,5	24,2
3 (FAB)	45,5	23,2	4 (FAB)	45,4	23,1	4 (FAB)	54,1	27,5
4 (FAB)	46,8	23,8	5 (FAB)	49,1	25,0	5 (FAB)	54,9	28,0
5 (FAB)	43,8	22,3	6 (FAB)	45,2	23,0	6 (FAB)	54,5	27,8
<b>Resultado final</b>	<b>45,94</b>	<b>23,4</b>		<b>46,72</b>	<b>23,8</b>		<b>52,36</b>	<b>26,7</b>

Os resultados mostram que a substituição parcial ou mesmo total da areia natural pela industrial foi satisfatória quanto se analisa a compressão uniaxial em argamassas de revestimento e assentamento. Na substituição de 50%, P50, houve um aumento pouco expressivo, mas ainda assim houve um aumento de cerca de 1,7%, que no entanto não comprometeu o desempenho da argamassa. Sendo assim a areia resultante da classificação do pó de brita pode ser usada nessa composição sem prejuízos a estrutura quanto a compressão e pode ser uma alternativa caso o valor do agregado seja inferior ao da areia natural, por exemplo.

Na composição onde a areia natural foi totalmente substituída, P100, houve um aumento de quase 12% na resistência a compressão, apresentando um ótimo resultado. Nesse caso a utilização da areia industrial é recomendada não apenas por questões financeiras, mas por oferecer ganho de resistência significativa, superior ao obtido com a areia natural.

#### 4.7 Aspectos Ambientais

Analisando os impactos gerados pela extração de areia em cursos d'água apresentados por Nogueira (2016) a utilização de areia oriunda de britagem diminuiria significativamente os impactos ambientais.

Impactos positivos e negativos que circundam praticamente todas as atividades da mineração, como aumento do número de empregos ou mesmo a poluição do ar por equipamentos que sejam necessários a cada tipo de operação estarão presentes nas pedreiras com ou sem a produção de areia industrial. A questão é que as minerações que geralmente produzem o pó de brita não costumam o ter como produto principal, mas dificilmente conseguirão extinguir tal produto do seu processo produtivo, sendo assim, procuram constantes

aplicações para inserir cada vez mais esse agregado miúdo no mercado. E existe um potencial de produção que pode suprir até mesmo os momentos de crise na produção de areia natural.

Tendo em vista que extrair areia de cursos de rio está cada vez mais complicado e arriscado para o meio ambiente, uma substituição gradual da areia natural se faz necessária. Com o uso das areias artificiais, além da preservação dos cursos d'água e das biodiversidades que o abrangem, se estaria utilizando um produto que já está em produção, que possivelmente já teve seus impactos ambientais mensurados e devidamente registrados e que de uma forma ou de outra, sendo usado ou não já modificou o ambiente no qual é produzido sendo ele de forma positiva ou não.

## 5 CONCLUSÕES

A areia industrial demonstrou vantagens em relação a areia natural quanto aos pontos analisados nesse trabalho principalmente no que abrange questões ambientais, resistência a compressão e também as especificações de mercado.

No caso da produção de uma areia, sob encomenda, concreteiras por exemplo, exigem uma distribuição granulométrica definida e, neste caso, nenhuma areia natural atende essas especificações. Assim, torna-se necessário usar um processo onde se obtenham diferentes frações granulométricas para depois recombiná-las, de forma a obter a distribuição requerida pelas concreteiras ou mesmo para outros mercados com a especificação necessária e a areia industrial pode oferecer.

A partir da avaliação dos resultados de resistência à compressão, pode-se notar que as argamassas confeccionadas com pó de pedra obtiveram melhores resultados se comparadas com as demais: na mistura P50 houve um ganho de 1,7% e na substituição total, P100, um ganho de quase 12%. Isso mostra que a substituição do agregado miúdo natural pelo artificial (pó de pedra) é viável do ponto de vista dessa característica mecânica. Quanto a massa específica e unitária os dados obtidos são semelhantes ao da natural não oferecendo nenhum prejuízo, nesse quesito, a substituição pela areia artificial.

No aspecto ambiental, a utilização das areias artificiais ajuda a minimizar os impactos a medida que for substituindo o uso da areia natural, já que a produção de britas continuará sendo vital para a construção civil e por consequência o pó de brita continuará sendo produzido. Além disso as formas de extração de areia natural nos leitos dos rios precisam de atenção devido aos impactos ambientais que, em muitas vezes, é maior que o processo geral necessário para a produção da areia industrial.

Os resultados apresentados são relevantes para atentar a possível substituição da areia natural pelo agregado miúdo resultante da britagem, porém para melhor aceitação no mercado outros testes podem ser realizados como o estudo das propriedades da argamassa fresca e até mesmo testes de tração que já envolve a argamassa em estado seco.

## 6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. L. M. & LUZ, A. B. **Manual de agregados para a construção civil**. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012.

ANEPAC. **Perspectivas do Setor de Agregados**. Disponível em: <www.anepac.org.br>. Acesso em: 29 Mai 2018.

ARNOLD, A. C. M. **Análise da Influência dos Grãos nas Propriedades de Argamassa**. Dissertação de Mestrado. UNISINOS, São Leopoldo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland: Resistência a Compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - terminologia**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13530: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - classificação**. Rio de Janeiro, 1995.

BARBOSA, O.; BRAUM, O.P.G.; DYER, R.C.; CUNHA, C.A.B.R. **Geologia da região do Tri- ângulo Mineiro**. Rio de Janeiro. DNPM/DFPM, 1970.

BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. Teste de Doutorado em Engenharia/Construção Civil, Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2001.

BAUER, E. et al. **Estudo da consistência de argamassas pelo método de penetração estática de cone**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI. Florianópolis, 2005.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. revisada. Revisão técnica: João Fernando Dias. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BOLORINO, H. CINCOTTO, M.A., REGATTIERI, C.E.X. **Influência do tipo de cimento nas argamassas**. In.: Anais do 4º Congresso Brasileiro de Cimento. São Paulo, 1996.

BUENO, R. I. S. **Aproveitamento da areia gerada em obra de desassoreamento – Caso Rio Paraíba/SP.** Dissertação de Mestrado em engenharia, EPUSP, 2010.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos: Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo de ligação.** Tese de Doutorado em Engenharia/Construção Civil, Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1996.

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades das argamassas compostas a partir de curvas granulométricas.** Tese de Doutorado em Engenharia/Construção Civil, Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1999.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995.

CHAVES, A. P. **Teoria e prática do Tratamento de Minérios.** Vol. 1. São Paulo, Signus, 2002.

CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios.** Vol. 3. São Paulo: Signus, 1999.

CPRM. **Mapa geológico do estado de Minas Gerais.** Serviço Geológico Do Brasil. 2003.

D'AGOSTINHO, L. Z.; SOARES, L.; D'AGOSTINHO, L. F. **Preparo de argamassas utilizando a fração fina da britagem re rochas.** In: SEMANA IBERO-AMERICANA DE ENGENHARIA DE MINAS, 1, 2004, São Paulo, 2004.

DERNASEER. *Lonh Wash Gallery.* 2018. Disponível em: <[www.dernaseer.com](http://www.dernaseer.com)>. Acesso em: 20 Mai 2018.

DUTRA, R. **Rochas ornamentais – feldspato e quartzo.** Encontro de engenharia e tecnologia dos Campos Gerais. Ponta Grossa/PR, 2006.

FERREIRA, G. E. & FONSECA JUNIOR, C. A. F. **Mercado De Agregados No Brasil.** Capítulo 2. In: ALMEIDA, S. L. M. & LUZ, A. B. Manual de agregados para a construção civil. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012.

FERNANDES, F. R. C; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. **Agrominerais para o Brasil. Centro De Tecnologia Mineral Rio De Janeiro,** 2010. Disponível em: Acesso 28 Mai 2018.

FRAZÃO, E. B. **Panorama de Produção de Aproveitamento de Agregados para construção.** CETEC. 2010.

GUACELLI, Paulo A. G. **Substituição da Areia Natural por Areia de Britagem de Rochas Basálticas para Argamassas de Revestimento.** 2010. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento). Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2010.



IBRAM. **Informações e Análises da Economia Mineral do Brasileira: Agregados**. 7ª Edição. 2012.

ISAIA, G. C. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: Iapis, 2005.

JUNGES, S. L. **Características Geoquímicas e Isotópicas dos Metassedimentos da Sequência Vulcano - sedimentar de Mara Rosa – GO**. Dissertação de Mestrado. UnB, Brasília, 1998.

KOPPE, J. C.; COSTA, J. F. C. L. Operações de Lavra de Pedreiras, Capítulo 7. In: ALMEIDA, S. L. M. & LUZ, A. B. **Manual de agregados para a construção civil**. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012.

MACDARMA. **Classificador Espiral**. 2018. Disponível em: <[www.macdarma.com.br](http://www.macdarma.com.br)>. Acesso em: 20 Mai 2018.

MECHI, A. & SANCHES, D. L. **Impactos Ambientais na Mineração do Estado de São Paulo, Estudos Avançados**. Vol. 24, nº 68. São Paulo, 2010.

NEVILLE, A. M.; BROOKS J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. Ed. Porto Alegre. Bookman, 2013.

NIEBEL, P. R.; CAMPITELI, V. C. **Avaliação no desempenho no estado fresco de argamassas com agregados miúdos britado utilizando curvas granulométricas parabólicas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8, 2009. Curitiba: SBTA, 2009.

NOGUEIRA, G. R. F. **A Extração De Areia Em Cursos D'água E Seus Impactos: Proposição De Uma Matriz De Interação**. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.

PARAHYBA, R. E. R. **Mineração no semiárido brasileiro**. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília-DF, 2009.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13. Ed. São Paulo. Globo, 1998.

PISSATO, E. **Gestão da mineração de areia no município de Guarulhos: aproveitamento de resíduos finos em cerâmica vermelha**. Tese de Doutorado pela ESUSP. São Paulo, 2009.

PLANO NACIONAL DE AGREGADOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL – Portaria 222 de 20/06/2008 – **Ministério de Minas e Energia; Estatuto da Cidade, Planos Diretores Participativos – Ministério das Cidades**. 2008.

SERNA, H. A. de La & RESENDE, M. M. **Agregados para a Construção Civil**. Agregados Minerais. 2013. Disponível em: <[www.dnpm.gov.br](http://www.dnpm.gov.br)>. Acesso em: 09 Mai 2018.

SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. São Paulo: O nome da Rosa, 2000.

SAMPAIO, J. A. & ALMEIDA, S. L. M de. **Rochas e Minerais Industriais**. Capítulo 16: Calcário e Dolomito. CETEM, 2008. Disponível em: <www.cetem.gov.br>. Acesso em: 20 Mai 2018.

SANTA HELENA MINERAÇÃO. **Visão geral do maciço rochoso**. 2018.

SCHIAVON, M. A.; REDONDO, S. U. A. & YOSHIDA, I. V. P. **Caracterização térmica e morfológica de fibras contínuas de basalto**. *Cerâmica*. 2007.

SEER, H.J. **Evolução tectônica dos Grupos Araxá, Ibiá e Canastra na Sinfoma de Araxá, Minas Gerais**. Tese de Doutorado. IGC, Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. Tese de Mestrado em Engenharia/Construção Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

TANNO, L. C. et al. **Recursos Minerais: Conceitos e Panorama de Produção e Consumo**. In: TANNO, L. C.; SINTONI, A. (Coord.). *Mineração e município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2003.

TRISTÃO, F. A. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.