



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA ARGAMASSA  
INCORPORADA COM RESÍDUO DE MÁRMORE EM PÓ**

**VICENTHE ALVES MARINHO NETO**

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. PHD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça.

Campina Grande-PB, 2017

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA ARGAMASSA  
INCORPORADA COM RESÍDUO DE MÁRMORE EM PÓ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande-PB, 2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

**VICENTHE ALVES MARINHO NETO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Campina Grande como requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Área de habilitação: Estruturas.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. PHD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

# **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Vicenthe Alves Marinho Neto**

## **DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA ARGAMASSA INCORPORADA COM RESÍDUO DE MÁRMORE EM PÓ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em 17/07/2017  
perante a seguinte Comissão Julgadora:

---

Profª. PhD. Ana Maria G. Duarte Mendonça  
Orientador  
Departamento de Engenharia Civil  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Universidade Federal de Campina Grande

---

Prof. Dr. José Bezerra da Silva  
Examinador Interno  
Departamento de Engenharia Civil  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Universidade Federal de Campina Grande

---

Profª. Msc. Loredanna Melyssa Costa de Souza  
Examinador Externo  
Departamento de Engenharia Civil  
Universidade Federal de Campina Grande

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que permitiu que este momento fosse vivido por mim, trazendo alegria aos meus pais e a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço de forma especial ao meu pai Francisco Airton Marinho e à minha mãe Lucia Maria Alexandre Duarte Marinho, por não medirem esforços para que eu pudesse levar meus estudos adiante.

A minha irmã Vithória Alexandre Duarte que me deu força e coragem, me apoiando nos momentos de dificuldades, preocupando-se até com os problemas pessoais pelos quais passei durante esse período.

Agradeço também a minha orientadora Prof<sup>a</sup>. PhD. Ana Maria G. Duarte Mendonça, por todo o suporte e auxílio na construção de meu trabalho e por todo tempo dedicado a aconselhamentos e apontamentos para que chegasse ao fim do mesmo. Não só como orientadora, mas como uma mãe que me guiou por toda essa trajetória.

Agradeço também a Jaqueline, por ter conseguido reservar o laboratório do departamento de engenharia de minas para que pudesse ser feito a britagem do mármore para dá sequencia ao trabalho.

Aos meus amigos, que sempre me apoiaram nos momentos difíceis e me estimularam no curso para que hoje chegasse neste dia tão feliz, vitorioso.

A minha namorada, melhor amiga e companheira de todas as horas, Liege Farias, pelo carinho, compreensão, amor, solidariedade e de ajuda essencial na construção do meu TCC. Assim como toda a sua família. Obrigado por contribuírem com tantos ensinamentos, tanto conhecimento, tantas palavras de força e ajuda.

## DEDICATÓRIA

A minha formação como profissional não poderia ter sido concretizada sem a ajuda de meus amáveis pais Francisco Airton Marinho e Lúcia Alexandre Duarte Marinho, que, no decorrer da minha vida, proporcionaram-me, além de extenso carinho e amor, os conhecimentos da integridade, da perseverança e de procurar sempre em Deus à força maior para o meu desenvolvimento como ser humano, dedico também toda a minha vitória aos meus avós que tinham também o sonho de me ver chegar aqui, principalmente a minha amada vó Lúcia, que hoje se encontra ao lado do pai celestial me guardando. Por essa razão, gostaria de dedicar e reconhecer à vocês, minha imensa gratidão e sempre amor.

## RESUMO

Com o crescimento populacional nos centros urbanos e a vasta diversificação do consumo de bens e serviços, vem ocorrendo uma intensa industrialização em diversos setores produtivos e, com eles, um aumento significativo na geração de resíduos. É necessário buscar soluções interessantes para o reaproveitamento destes resíduos. Uma dessas soluções vem com o seu reuso, na fabricação de novos produtos onde se consegue obter propriedades interessantes. O desenvolvimento de novos materiais através da reutilização de resíduos é uma alternativa viável para agregar valor ao processo produtivo e reduzir o impacto ambiental gerado pela deposição dos resíduos em lixões, aterros sanitários e aterros industriais. Muitos estudos estão sendo desenvolvido para mitigar a deposição de tais resíduos, entre eles o uso de resíduos de mármore na produção de argamassas para assentamento. Assim sendo esse trabalho tem como objetivo determinar as propriedades físicas da argamassa produzida com substituição do agregado miúdo por resíduo de mármore em pó. Foram moldados corpos de prova nas dimensões de 5 cm x 10 cm para as argamassas de referência e para argamassa com substituição do agregado miúdo por resíduo de mármore em pó nos teores de 10% e 20%. Para determinação da absorção por imersão em água nas idades de 7, 14 e 28 dias. Observou-se que a substituição do agregado miúdo por resíduo de mármore em pó proporcionou o aumento da absorção da argamassa para todas as idades analisadas.

**Palavras-chave:** propriedades, material alternativo, construção civil.

## ABSTRACT

With the population growth in urban centers and the vast diversification in goods and services consumption, there has been occurring an intense industrialization in many productive sectors and with these, a significant increase in residue generation. It is necessary to search interesting solutions for the reutilization of these residues. One of these solutions comes with its reuse, in the manufacturing of new products where new interesting properties are achievable. Development of new materials through reutilization of residues is a viable alternative to aggregate value to the productive process and reduce environmental damage caused by the deposition of residues in landfills. Many studies are being developed to mitigate the deposition of such residues, and among them, the utilization of marble residues in the productive process of mortar for laying. Thus, this conclusion of course work has as objective to determine the physical properties of the mortar that is produced with the substitution of the small aggregate for powdered marble residue. Proof bodies with 5 cm x 10 cm dimensions were molded for the reference mortar and for the mortar with the substitution of small aggregate for powdered marble residue in 10% and 20% contents. To determine the absorption by immersion in water at the ages of 7, 14 and 28 days. It was observed that the substitution of the aggregate with powdered marble substance increased the absorption of the mortar for all ages analyzed.

**Key-words:** properties, alternative material, civil construction.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aplicação de argamassa em assentamento de alvenaria em obra.....	17
Figura 2: Tipos de argamassa de revestimento.....	18
Figura 3: Fluxograma das etapas da pesquisa.....	33
Figura 4: Difratoograma de raios-X do resíduo de mármore em pó.....	40
Figura 5: Análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo de mármore em pó.....	41
Figura 6: Absorção de água por imersão para argamassa incorporada com resíduo de mármore em pó.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Caracterização química por fluorescência de raios-X do resíduo de mármore.....	39
Tabela 2 Composição granulométrica do resíduo de mármore em pó.....	41

## Sumário

1.INTRODUÇÃO .....	13
2.OBJETIVOS .....	15
2.1 Objetivo Geral .....	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1 Argamassa.....	16
3.1.1 Argamassas para assentamento de alvenaria.....	17
3.1.2 Argamassa de revestimento .....	17
3.2 Propriedades das argamassas .....	19
3.3 Classificação das argamassas.....	21
3.4 Composição das argamassas.....	21
3.4.1 Cimento Portland .....	21
3.4.2 Água .....	22
3.4.3 Areia .....	22
3.4.4 Cal.....	22
3.4.5 Aditivos químicos.....	23
3.4.6 Adições minerais .....	23
3.5 Propriedades das argamassas no estado fresco .....	24
3.5.1 Reologia .....	24
3.5.2 Retenção de água .....	25
3.5.3 Conteúdo de ar incorporado.....	26
3.6 Propriedades das argamassas no estado endurecido .....	26
3.6.1 Resistência mecânica.....	27
3.6.2 Retração .....	27
3.6.3 Permeabilidade.....	28
3.7 Propriedades das argamassas no estado aplicado .....	29
3.7.1 Aderência .....	29
3.7.2 Elasticidade .....	30

3.8 Mármore.....	30
3.9 Uso do Resíduo de Corte de Mármore (RCM).....	30
4.MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
4.1 Materiais .....	33
4.2 Metodologia .....	33
4.2.1 PRIMEIRA ETAPA: Seleção de materiais .....	34
4.2.2 SEGUNDA ETAPA: Caracterização dos materiais .....	34
Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimétrica (TG) .....	36
Difração de Raios-X - DRX.....	36
Análise química – EDX.....	37
4.3 TERCEIRA ETAPA: Estudo da dosagem dos materiais .....	37
4.4 QUARTA ETAPA: Determinação das propriedades físicas da argamassa.....	37
4.4.1 Absorção de água por imersão.....	37
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	39
5.1 Análise química – EDX .....	39
5.1.1 Caracterização do resíduo de mármore em pó .....	39
5.2 Difratoograma de raios-X (DRX) .....	40
5.3 Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimétrica (TG).....	41
5.4 Composição granulométrica .....	41
5.5 Determinação das propriedades físicas .....	42
5.5.1 Determinação da absorção por imersão em água .....	42
6.CONCLUSÕES .....	44
7.SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	45
REFERÊNCIAS.....	46

## 1. INTRODUÇÃO

Desde nossos ancestrais já é evidenciado o uso de insumos minerais. Segundo Buest Neto (2006), as pedras que inicialmente eram empregadas mantendo as características naturais, na forma de seixos rolados e de lascas encontradas na natureza, posteriormente foram modificadas, passando a ser utilizadas como instrumentos de guerra e produzindo fogo mediante atrito.

Com o crescimento populacional nos centros urbanos e a vasta diversificação do consumo de bens e serviços, vem ocorrendo uma intensa industrialização em diversos setores produtivos e, com eles, um aumento significativo na geração de resíduos.

Herrmann (2002), baseado em suas pesquisas, evidencia um consumo humano por indivíduo de insumos minerais na ordem de 2000 a 20000 kg/ano, enquanto o do reino vegetal varia em torno de 400 a 500 kg/ano e, do reino animal entre 300 a 350 kg/ano. No Brasil, a demanda de agregados vem aumentando a cada ano. De acordo com John (2000), o consumo estimado de agregados naturais, somente na produção de concretos e argamassas, era, no ano 2000, de aproximadamente 220 milhões de toneladas. Em 2006, Buest Neto menciona um consumo na ordem de 395 milhões de toneladas/ano.

Com o aumento da geração de resíduos na produção por parte das indústrias, vem se tornando cada vez mais necessário realizar um maior controle em sua produção e destinação, focando em um desenvolvimento sustentável, para suprir as necessidades da geração atual, e visando não comprometer as futuras gerações.

É necessário buscar soluções interessantes para o reaproveitamento destes resíduos. Uma dessas soluções vem com o seu reuso, na fabricação de novos produtos onde se consegue obter propriedades interessantes. Na construção civil, existe uma grande tendência na utilização de materiais reciclados (MARCHI, 2007).

O desenvolvimento de novos materiais através da reutilização de resíduos é uma alternativa viável para agregar valor ao processo produtivo e reduzir o impacto ambiental gerado pela deposição dos resíduos em lixões, aterros sanitários e aterros industriais.

Em relação à incorporação de resíduos na produção de materiais, Gonçalves (2000) evidencia a redução do consumo de energia para a produção do mesmo

produto com resíduos, e pode, dependendo de onde esteja localizado o resíduo e seu mercado consumidor, diminuir distâncias de transporte e contribuir para a redução do custo.

Segundo Chiodi Filho (2003) a produção brasileira de rochas ornamentais, amplamente empregadas em revestimentos na construção civil, é de aproximadamente 6,0 milhões de toneladas/ano, dos quais 57% são de granito e 17% são de mármore. O restante inclui ardósias (8%), quartzitos (5%) e outros (13%). Os estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia detêm mais de 70% do total produzido nacionalmente.

O estado do Espírito Santo produz o equivalente a 47% do total; seguido por Minas Gerais, com cerca de 18%. A Bahia é o terceiro maior produtor e responde por quase 10% da produção nacional (Spínola et al, 2004).

Gonçalves (2000) Menezes et al (2002) e Bigno (2002) também comprovaram a viabilidade da utilização de resíduos de rochas ornamentais na forma de pó em concreto de cimento Portland.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este estudo tem como principal objetivo estudar as propriedades físicas de argamassas incorporadas com resíduo de mármore.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar química, física e mineralogicamente o resíduo de mármore;
- Caracterizar fisicamente argamassas incorporadas com o resíduo de mármore nos teores de 10% e 20%.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Argamassa

As argamassas são produtos formados por um ou mais ligantes misturados com agregado miúdo e água. Entre os ligantes estão, por exemplo, o cimento Portland, a cal e o gesso e entre os agregados miúdos estão a areia natural ou artificial. Além disso, aditivos e adições minerais podem ser utilizados na mistura a fim de melhorar suas propriedades (CARASEK, 2007).

As argamassas são utilizadas na construção civil como assentamento de blocos de alvenaria, revestimento de paredes e tetos, contrapisos para regularização de superfícies, assentamentos e rejuntamentos de revestimentos cerâmicos ou pedras, além de recuperação de estruturas (CARASEK, 2007).

No Brasil são frequentes os processos construtivos de edifícios que empregam paredes de alvenaria revestidas com argamassa, tanto no sistema de vedação interno como externo (MIRANDA, 2000).

As argamassas de revestimento fornecem acabamento às paredes de alvenaria, paredes de concreto e tetos de edificações, de acordo com os requisitos arquitetônicos do projeto. As funções das argamassas estão associadas diretamente as suas finalidades ou aplicações. As argamassas mais utilizadas são para assentamento de alvenarias ou para revestimento de paredes.

Dados medidos por Lichtenstein (1986) mostram que o consumo de argamassas nas obras brasileiras chega a  $0,137 \text{ m}^3 / \text{m}^2$  construído, incluído o desperdício, que é bastante elevado para este tipo de material. Mais recentemente, Souza; Franco (1997) chegou ao valor de  $0,13 \text{ m}^3$  de argamassa por  $\text{m}^2$  de construção, sendo  $0,035 \text{ m}^3$  para revestimento interno,  $0,04 \text{ m}^3$  para contrapiso e  $0,05 \text{ m}^3$  para revestimento externo.

Segundo Sabbatini (1984), os revestimentos de argamassas têm, em geral, as seguintes funções:

- proteger as vedações e a estrutura contra a ação de agentes agressivos e, por consequência, evitar a degradação precoce das mesmas, aumentar a durabilidade e reduzir os custos de manutenção dos edifícios;

- auxiliar as vedações a cumprirem com as suas funções, tais como: isolamento termo-acústico, estanqueidade à água e aos gases e segurança ao fogo;



– estéticas, de acabamento e aquelas relacionadas com a valorização da construção ou determinação do padrão do edifício.

### 3.1.1 Argamassas para assentamento de alvenaria

A argamassa é muito utilizada para a elevação de paredes e muros de tijolos cerâmicos ou blocos de concreto, servindo para uni-los e formar um elemento monolítico, contribuindo para aumentar a resistência aos esforços laterais, além de distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos; serve para selar as juntas, garantindo a estanqueidade da parede à penetração de água das chuvas; absorver as deformações naturais, como as de origem térmica e as de retração por secagem (origem higroscópica) a que a alvenaria estiver sujeita (CARASEK, 2007). A Figura 1 ilustra a aplicação de argamassa em assentamento de alvenaria em obra.

**Figura 1:** Aplicação de argamassa em assentamento de alvenaria em obra.



**Fonte:** Site Sua obra, 2017.

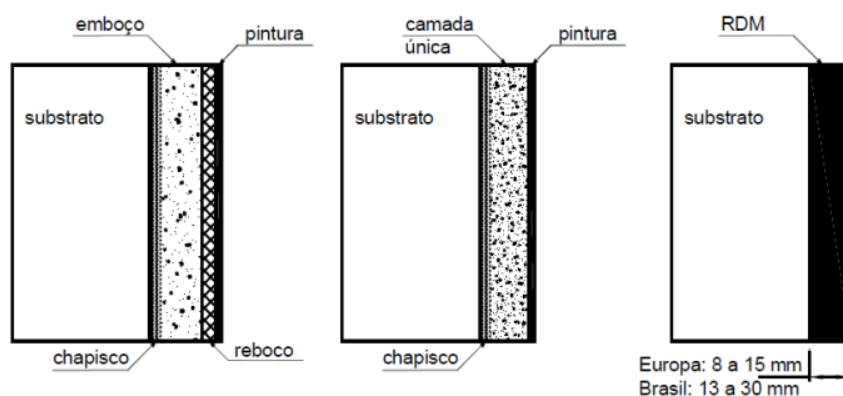
### 3.1.2 Argamassa de revestimento

Argamassa de revestimento é empregada em revestimento de paredes, muros e tetos, e posteriormente poderão ser aplicados diversos acabamentos, como pintura e cerâmicas. A depender do projeto, essa argamassa pode ser constituída de

várias formas, podendo ser: (a) com várias camadas (chapisco, emboço e reboco) sendo o mais antigo, (b) camada única, o mais utilizado atualmente no Brasil e (c) revestimento decorativo monocamada (RDM), também chamado por monocapa, sendo muito empregado na Europa (CARASEK, 2007).

A Figura 2 ilustra esses tipos de argamassa de revestimento.

**Figura 2:** Tipos de revestimento, Revestimento com várias camadas (chapisco, emboço e reboco), Revestimento com camada única, Revestimento decorativo monocamada (RDM), respectivamente.



**Fonte:** Carasek 2007, com adaptações da autora, (2013).

O substrato pode ser composto por tijolos cerâmicos, blocos de concreto, blocos de concreto celular, paredes de concreto e outras bases cimentícias. Sua textura ou rugosidade é importante para a ancoragem da argamassa auxiliando na aderência do chapisco, que serve para preparar a base, unir o substrato à argamassa e melhorar a adesão do revestimento (BAUER, 2005).

O emboço serve para cobrir e regularizar a base, permitindo a união de outra camada de acabamento ou o próprio revestimento cerâmico e o reboco é a última camada que propicia o acabamento final para receber a pintura. O revestimento de camada única é constituído por chapisco e apenas um único tipo de argamassa é aplicado após a regularização da base, e em seguida, pode receber a pintura. Também é conhecido como massa única ou reboco paulista.

Por fim, encontra-se o revestimento decorativo monocamada (RDM), um produto industrializado composto por cimento branco, cal hidratada, agregados, pigmentos inorgânicos, fungicidas e aditivos, que tem a função de regularizar e decorar ao mesmo tempo, sendo aplicado com uma única camada (CARASEK, 2007).

As argamassas de revestimento externo servem para proteger a alvenaria e a estrutura contra os agentes climáticos; melhorar a vedação dos edifícios proporcionando isolamento térmico e acústico, estanqueidade à água, segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais; além de regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos, contribuindo para a estética da edificação (CINCOTTO et al., 1995; CARASEK,2007).

### **3.2 Propriedades das argamassas**

Algumas das propriedades são:

- Consistência:

Segundo CINCOTTO et al. (1995) é a propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a resistir à deformação. Diversos autores classificam as argamassas, segundo a consistência, em *secas* (a pasta preenche os vazios entre os grãos), *plásticas* (a pasta forma uma fina película e atua como lubrificante na superfície dos grãos dos agregados) e *fluidas* (os grãos ficam imersos na pasta). A consistência é diretamente determinada pelo conteúdo de água, sendo influenciada pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, granulometria da areia, natureza e qualidade do aglomerante.

Em geral, nas argamassas de consistência plástica a fluida pode se manifestar a exsudação de água, que é uma propriedade que também interfere na trabalhabilidade, exigindo misturas freqüentes para homogeneização do material e pode interferir na capacidade de adesão da argamassa ao ser lançada contra a base (SELMO, 1989).

-Trabalhabilidade:

Esta propriedade relaciona-se principalmente à consistência. Em termos práticos, a trabalhabilidade significa facilidade de manuseio. Pode-se dizer que uma argamassa é trabalhável, de um modo geral, quando ela distribui-se facilmente ao

ser assentada, não gruda na ferramenta quando está sendo aplicada, não segrega ao ser transportada, não endurece em contato com superfícies absorptivas e permanece plástica por tempo suficiente para que a operação seja completada (SABBATINI, 1984).

Avaliar, quantificar e prescrever valores de trabalhabilidade das argamassas por meio de ensaios é uma tarefa muito difícil, uma vez que ela depende não só das características intrínsecas da argamassa, mas também da habilidade do pedreiro que esta executando o serviço e de várias propriedades do substrato, além da técnica de aplicação (CASCUDO et al., 2005).

-Coesão e Tixotropia:

A coesão, segundo CINCOTTO et al. (1995), refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa no estado fresco e às ligações químicas da pasta aglomerante. Ainda, segundo os autores, a influência da cal sobre a consistência e a trabalhabilidade das argamassas provém das condições de coesão interna que a mesma proporciona, em função da diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão ao agregado.

A tixotropia é a propriedade pela qual um material sofre transformações isotérmicas e reversíveis do estado sólido para o estado gel (SELMO, 1989). O estado gel, no caso das argamassas, diz respeito à massa coesiva de aglomerante na pasta, mais densa após a hidratação (CINCOTTO et al., 1995).

Ainda temos como propriedades das argamassas:

- Plasticidade
- Retenção de Água
- Adesão Inicial
- Aderência no Estado Endurecido
- Elasticidade

### **3.3 Classificação das argamassas**

A NBR 13530 (ABNT, 1995) descreve a classificação das argamassas segundo vários critérios:

- quanto à natureza do aglomerante: argamassa aérea e hidráulica;
- quanto ao número de aglomerantes: argamassa simples e mista;
- quanto ao tipo de aglomerante: argamassa de cal, de cimento e de cimento e cal;
- quanto à função do revestimento: argamassa de chapisco, de emboço e de reboco;
- quanto à forma de preparo ou fornecimento: argamassa dosada em central, preparada em obra, industrializada e mistura semipronta para argamassa;
- quanto a propriedades especiais: argamassa aditivada, de aderência melhorada, colante, redutora de permeabilidade, de proteção radiológica, hidrófuga e termoisolante.

Usualmente nas obras utilizam-se as argamassas de cal, argamassas de cimento e areia e as argamassas de cimento, cal e areia, mais conhecidas como argamassas mistas.

### **3.4 Composição das argamassas**

#### **3.4.1 Cimento Portland**

O cimento Portland tem ação aglomerante desenvolvida pela reação de seus constituintes com a água, com isso é denominado aglomerante hidráulico. A principal contribuição do cimento nas propriedades das argamassas diz respeito a resistência mecânica e durabilidade das mesmas ( COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO, 2017).

A finura do cimento influencia decisivamente na reatividade e na velocidade das reações químicas que ocorrem durante a pega e o endurecimento, pois, quanto mais fina é a partícula do cimento, maior é a área superficial, e, portanto, mais rapidamente ocorre a hidratação (BAUER, 2005).

### **3.4.2 Água**

A água confere continuidade à mistura, permitindo a ocorrência das reações entre os diversos componentes, sobretudo as relacionadas com a química do cimento. A água também é o meio diretamente utilizado pelo pedreiro para regular a consistência da mistura, fazendo a sua adição até a obtenção da trabalhabilidade desejada. Considera-se a água potável como a melhor para elaboração de produtos à base de cimento Portland. Não deve ser utilizada água que contenha matéria orgânica.

O excesso de água pode gerar segregação, exsudação e fissuras devido à retração por secagem. A qualidade da água tem papel importante nas propriedades das argamassas, pois, as impurezas contidas na água podem influenciar negativamente a resistência de concretos e argamassas, assim como causar manchas nas superfícies, e no caso de concretos, pode haver corrosão das armaduras (NEVILLE, 1997).

### **3.4.3 Areia**

No âmbito dos materiais de construção, a areia é o agregado miúdo e quanto a sua origem, a areia pode ser classificada como: areia de rio, encontrada nos depósitos dos leitos de rios; areia de cava, quando é extraída por meio de escavação; areia de escória de alto forno, que é um resíduo da produção de ferro gusa; areia de britagem, oriunda das pedreiras e classificada conforme a porcentagem de materiais pulverulentos e por fim, a areia de praia e dunas que não são utilizadas para o preparo de concretos e argamassas, devido ao fato de serem finas e apresentarem elevados teores de sais deletérios aos materiais cimentícios (ALBUQUERQUE, 1994)

### **3.4.4 Cal**

Cal é a denominação genérica de um aglomerante inorgânico, aéreo, produzido a partir da calcinação de rochas calcárias, constituídas por carbonatos e/ou magnésio e apresenta-se na forma de um pó fino, cuja área superficial

específica é cerca de 10 vezes maior que a dos cimentos (CINCOTTO et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2004).

Numa argamassa onde há apenas a presença de cal, sua função principal é funcionar como aglomerante da mistura. Neste tipo de argamassa, destacam-se as propriedades de trabalhabilidade e a capacidade de absorver deformações. Entretanto, são reduzidas as suas propriedades de resistência mecânica e aderência. Já em argamassas mistas, de cal e cimento, a cal tem a função de reter água para hidratação do cimento, melhorar a trabalhabilidade do produto fresco e aumentar a capacidade do produto endurecido, absorver deformações sem danos ao revestimento.

O cimento necessita de água para reagir e endurecer, enquanto que a cal reage com o CO<sub>2</sub> da atmosfera, realizando a carbonatação e se transforma em carbonatos tão sólidos quanto às rochas calcárias que a originou (GUIMARÃES et al., 2004).

#### **3.4.5 Aditivos químicos**

Os aditivos são substâncias adicionadas intencionalmente aos concretos e argamassas com o intuito de melhorar ou reforçar certas características, como por exemplo: retardar ou acelerar a pega; diminuir a retração, o calor de hidratação; aumentar a compacidade, a durabilidade; melhorar a trabalhabilidade, a impermeabilidade, entre outras (PETRUCCI, 1998). Os aditivos químicos podem ser plastificantes, incorporadores de ar, redutores de água, retardadores de pega, modificadores de reologia, inibidores de corrosão, redutores de retração, redutores de permeabilidade, inibidores de reação álcalis-sílica, pigmentos, agentes de adesão, agentes de formação de gás, agentes de coesão, agentes para bombeamento, agentes espumantes, dentre outros (HARTMANN et al., 2011).

#### **3.4.6 Adições minerais**

De acordo com Malhotra e Mehta (1996) a adição refere-se a qualquer material além de água, agregados e cimento que é utilizado como um ingrediente da matriz e adicionado à massa imediatamente antes ou durante a mistura, ou seja, as

adições são utilizadas com o objetivo de somar ou substituir parcialmente o cimento, enquanto que os aditivos são utilizados para alterar as características do cimento, sem alterar sua proporção na composição do concreto. As adições podem ser classificadas de acordo com sua ação físicoquímica em: materiais pozolânicos, materiais cimentantes ou fillers, podendo ser naturais ou artificiais (FONSECA, 2010).

### **3.5 Propriedades das argamassas no estado fresco**

As argamassas devem apresentar propriedades adequadas para o seu manuseio e resistência tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. No estado fresco, muitas propriedades das argamassas estão relacionadas à reologia, tais como: trabalhabilidade, consistência, coesão, plasticidade, tixotropia, reopexia, adesão inicial, retenção de água, conteúdo de ar incorporado, entre outras (CINCOTTO et al., 1995, BAUER, 2005; OLIVEIRA et al., 2000).

#### **3.5.1 Reologia**

Reologia é a ciência que estuda o fluxo e a deformação da matéria, avaliando as relações entre a tensão de cisalhamento aplicada, e a deformação em determinado período de tempo (GLATTHOR; SCHWEIZER, 1994). O termo tem origem nas palavras gregas rheos (fluir) e logos (estudo), ou seja, reologia é a ciência que estuda o fluxo e a deformação dos materiais quando submetidos a uma determinada tensão ou solicitação mecânica externa (STEIN, 1986).

Para Cardoso et al. (2005), o comportamento reológico dos materiais é representado por relações entre o fluxo ou deformação com as forças a que são submetidos. De acordo com Banfill (2003) reologia é a ciência que estuda a deformação e o fluxo da matéria, enfatizando a relação entre tensão, força, taxa de deformação e tempo.

No caso da reologia de suspensões, as partículas sólidas no meio de um fluido perturbam as linhas de fluxo aumentando a resistência do sistema ao escoamento, ou seja, elevando a viscosidade (OLIVEIRA et al., 2000). As



características reológicas das suspensões são afetadas por diversos fatores, entre eles: concentração volumétrica de sólidos, características do meio líquido, temperatura, tempo decorrido desde o início da mistura (especialmente no caso de suspensões reativas), características físicas das partículas (distribuição granulométrica, densidade, morfologia, área superficial e rugosidade) e tipo de interação das partículas no meio (estado de dispersão) (OLIVEIRA et al., 2000).

A viscosidade pode ser considerada a principal propriedade reológica de um fluido, indicando a facilidade de escoamento contínuo sob a ação de uma tensão de cisalhamento externa, é um indicativo de coesão entre as moléculas que constituem as lâminas adjacentes do fluido.

Para se entender melhor os conceitos de viscosidade e conseqüentemente o comportamento das argamassas no estado fresco, é imprescindível avaliar o comportamento reológico das suspensões. Essas são misturas do tipo sólido/líquido, formadas por um conjunto de partículas distribuídas de forma relativamente uniforme através de um meio líquido, sem que haja dissolução do material particulado em função do tempo (STEIN 1986 apud OLIVEIRA, 2000).

### **3.5.2 Retenção de água**

Para que as argamassas apresentem bom desempenho após o endurecimento, é necessário que possuam uma capacidade mínima de retenção de água (CARASEK, 1996).

A retenção de água é influenciada pela finura do aglomerante e está diretamente relacionada com a superfície específica. Quanto mais finas são as partículas, maior a área específica dessas e maior a retenção de água (DUJAB, 2000).

Este aumento de retenção de água pode ser conseguido de várias formas, seja aumentando os materiais constituintes com maior área específica, mediante a utilização de saibro ou cal nas argamassas, assim como, utilizando aditivos que impeçam a perda de água, isto é, aditivos retentores de água (ALVES e DO Ó, 2005).

### **3.5.3 Conteúdo de ar incorporado**

O teor de ar incorporado é a quantidade de ar aprisionado na argamassa fresca, influenciando diretamente na densidade de massa das argamassas nos estados fresco e endurecido, pois o ar possui densidade menor que a argamassa e ocupa uma fração da sua massa (NAKAKURA & CINCOTTO, 2004).

O aumento do teor de ar nas argamassas pode reduzir os pontos de contato das argamassas com o substrato e resultar em baixa resistência de aderência, contudo, o teor de ar, isoladamente, não pode ser considerado como um parâmetro indicador da qualidade da argamassa, pois, a depender do tipo de incorporador de ar, irá formar tamanho de bolhas diferentes, influenciando na aderência.

Bolhas pequenas e de estrutura uniforme favorecem a resistência de aderência, enquanto que bolhas grandes e estruturas irregulares são prejudiciais (CARASEK, 1996).

As bolhas de ar grandes são menos estáveis por possuírem maior força de ascensão, dessa forma, tendem a subir para a superfície e podem ser perdidas (ALVES, 2002). Os aditivos incorporadores de ar aumentam presença de bolhas de ar microscópicas nas argamassas, assim, melhoram a coesão, permitindo diminuir a quantidade de agregado miúdo da mistura, sem alterar a tendência de exsudação e segregação.

As bolhas de ar melhoram a trabalhabilidade podendo-se reduzir a quantidade de água da mistura e, além disso, contribuem na retenção de água, reduzindo a retração por secagem e a retração plástica (ALVES, 2002).

### **3.6 Propriedades das argamassas no estado endurecido**

No estado endurecido, as principais propriedades analisadas para as argamassas são: resistência mecânica, porosidade, densidade, retração e absorção de água por capilaridade (CINCOTTO et al., 1995; BAUER, 2005).

### **3.6.1 Resistência mecânica**

A capacidade das argamassas de resistir às tensões de tração, compressão ou cisalhamento, decorrentes de cargas de natureza estática ou dinâmica a que os revestimentos podem estar sujeitos, consiste na resistência mecânica, podendo ser acentuada mediante aos efeitos climáticos e ambientais (CINCOTTO et al., 1995).

A resistência à compressão manifesta-se nas argamassas pelo seu endurecimento, quando ocorrem as reações de hidratação do cimento. Embora a resistência à compressão seja um importante parâmetro para a verificação da uniformidade de produção, a solicitação maior às quais as argamassas de revestimento estão sujeitas são as de tração ou cisalhamento.

Portanto, a resistência à compressão está mais associada ao desempenho das argamassas de assentamento, com relação aos sistemas de vedação e a resistência à tração ou a esforços cisalhantes são mais requeridos nas argamassas de revestimento (NAKAKURA & CINCOTTO, 2004).

### **3.6.2 Retração**

O mecanismo de retração consiste na variação de volume da argamassa devido à remoção de água retida pelas forças superficiais do gel da pasta aglomerante, água absorvida, e da água retida entre as superfícies dos cristais durante o processo de secagem, ou seja, água intersticial (CINCOTTO, 1995).

Para Peña (2004), o processo de retração é decorrente da reação química dos ligantes e da perda do excesso de água da matriz cimentícia, sendo influenciado tanto pela composição da mistura quanto pelas condições de exposição às quais o material está sujeito. Yuan (2003) afirma que a retração é uma das propriedades mais significativas nas fissuras.

De acordo com Peña (2004) existem muitas variáveis influenciando na retração e essas podem ser classificadas em dois grupos: quando se referem à composição da mistura, onde se encontra a relação água/cimento e o volume da pasta e quando se referem às condições de exposição, observa-se o período de cura, a umidade relativa do ambiente, temperatura, relação superfície/volume, grau de restrição e vento.

A fissuração afeta a estanqueidade e a durabilidade de um revestimento, visto que, após a aplicação, a argamassa é impedida de retrair-se livremente devido à aderência ao substrato. Isso leva ao surgimento de tensões de tração no interior da argamassa ou na zona de contato argamassa/substrato, que podem gerar fissuração no revestimento (BASTOS et al., 2005).

Assim, o teor de aglomerantes determina a retração por hidratação e por carbonatação. Observa-se que o aumento do teor de cimento eleva o potencial de retração da argamassa (CINCOTTO et al., 2005).

### **3.6.3 Permeabilidade**

Propriedade que avalia a passagem de água através da argamassa endurecida por meio de infiltração sob pressão, capilaridade ou difusão de vapor de água, a permeabilidade depende das características do substrato, além da granulometria do agregado, natureza e teor do aglomerante. Em geral, quanto maior o teor de cimento, menor a permeabilidade das argamassas (CINCOTTO et al., 1995; SANTOS, 2013).

A porosidade é a medida da proporção do volume total de concreto ou argamassa ocupada pelos poros, expressa em porcentagem. Se a porosidade for grande e os poros interligados, estes contribuem para o deslocamento de fluidos no interior do concreto, aumentando a permeabilidade, porém, se os poros forem descontínuos, ineficazes no deslocamento dos fluidos, a permeabilidade será baixa, mesmo contendo uma porosidade alta. Por isso, a permeabilidade de argamassas e concretos não é uma função simples da porosidade, pois depende das dimensões, distribuição, forma, tortuosidade e continuidade dos poros (NEVILLE, 1997).

A permeabilidade da pasta de cimento é controlada pela porosidade capilar, pois esta decresce com a evolução da hidratação. O volume total do gel (massa coesiva de cimento hidratado oriundo das reações de hidratação) é aproximadamente 2,1 vezes maior do que o volume de cimento não hidratado.

O gel vai preenchendo os espaços ocupados pela água com o passar do tempo, assim, os poros capilares tendem a ser bloqueados e segmentados por este. Se houver uma relação água/cimento adequada e um período de cura úmida ideal,

resultará na ausência de capilares contínuos, melhorando a estanqueidade das argamassas e concretos (NEVILLE,1997).

### **3.7 Propriedades das argamassas no estado aplicado**

Quando as argamassas são utilizadas como revestimento, estas se relacionam com as propriedades no estado endurecido, tais como: porosidade, resistência de aderência, resistência à tração e módulo de elasticidade que, juntos, constituem parâmetros para promover maior durabilidade nas edificações.

#### **3.7.1 Aderência**

Cincotto et al. (1995) afirmam que a aderência tem papel fundamental no desempenho das argamassas de revestimento e na absorção de tensões que surgem na interface do revestimento com os componentes da base, sendo influenciada pelas condições do substrato (porosidade, absorção de água, resistência mecânica, textura superficial) e pelas condições de execução de assentamento.

A aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno mecânico, devido à penetração desta nos poros ou entre as rugosidades do substrato. Parte da água de amassamento contendo os componentes aglomerantes penetra pelos poros e pelas cavidades do substrato. No interior dos poros ocorre a hidratação do cimento e da cal fazendo com que haja a ancoragem da argamassa à base através do intertravamento da etringita (CARASEK, 2007).

A etringita ( $C_6AS_3H_{32}$ ) é um dos produtos de hidratação do cimento em formato de cristais prismáticos aciculares (METHA & MONTEIRO,1994).

Muitos fatores exercem influência na aderência de argamassas sobre bases porosas, como: rugosidade, porosidade e sucção da água pelo substrato; forma de execução, cura, limpeza e preparo da base; reologia, adesão inicial e retenção de água das argamassas; além das condições climáticas, como ventos, temperatura e umidade relativa (CARASEK, 2007).

### **3.7.2 Elasticidade**

Um material é considerado perfeitamente elástico se surgem e desaparecem deformações imediatamente após a aplicação ou retirada de tensões (NEVILLE, 1997), ou seja, a elasticidade é a capacidade das argamassas em se deformarem sem que ocorra a ruptura, retornando às suas dimensões originais quando cessarem as solicitações que lhes são impostas. As deformações no concreto, que frequentemente levam à fissuração, ocorrem como um resultado da resposta do material à carga externa e ao meio ambiente (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

O módulo de elasticidade da argamassa está relacionado com a sua capacidade de absorver deformações, eventuais movimentações e acomodações da alvenaria. Quanto maior for esta capacidade, menor é o módulo de deformação e menor é a quantidade de cimento empregada na argamassa. Os revestimentos têm melhor desempenho quando conseguem absorver deformações próprias e da base sem se romper (NAKAKURA & CINCOTTO, 2004).

### **3.8 Mármore**

Costa et al. (2002) conceitua rocha ornamental e de revestimento como tipos litológicos extraídos em blocos ou chapas, que podem ser cortados em formas diversas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento e lustro.

Para Mattos (2002), uma rocha para ser considerada ornamental deve apresentar como requisitos básicos beleza estética, ou seja, homogeneidade textural e estrutural, e possuir características tecnológicas dentro de padrões aceitáveis pelas normas técnicas.

### **3.9 Uso do Resíduo de Corte de Mármore (RCM)**

Diversos estudos foram realizados com a utilização do RCM, como na produção de vidros borossilicatos (MARÇAL, 2011), em cosméticos (OLIVEIRA et al., 2007) e em adubação de solos tropicais (MACHADO et al., 2006).

Bilgin et al. (2012) adicionaram resíduo de pó de mármore na produção de tijolos industriais em proporções em massa de 0 - 80%. Os autores observaram que as misturas contendo 10% de pó de mármore e 90% de pó de tijolo não alteraram as propriedades mecânicas do produto final, comparadas ao tijolo de referência, porém com adições superiores a 10% houve um aumento da absorção de água e a diminuição das propriedades mecânicas dos tijolos.

Comercialmente, as rochas ornamentais são definidas essencialmente à luz de duas principais categorias, que são os “granitos” e os “mármore”, distinguidos com base na sua composição mineralógica. Os granitos abrangeriam as rochas silicatadas, ou seja, formadas por minerais estruturalmente constituídos por tetraedros de  $\text{SiO}_4$ , ao passo que os mármore incluiriam as rochas composicionalmente carbonáticas (GOMES, 2016).

Segundo Vidal (2002), estas duas categorias de rochas respondem largamente pelas variedades de rochas ornamentais e de revestimento comercializadas, representando cerca de 80% da produção mundial. No Brasil, dados da ABIROCHAS/CETEM (2002) indicam que os “granitos” correspondem a 57% da produção nacional de rochas ornamentais, enquanto apenas 19% são relativos aos “mármore”.

Os mármore, no sentido comercial, incluem rochas composicionalmente carbonáticas, sedimentares e metamórficas. Podem ser maciços a bandeados, cripto a microcristalinos, até granoblásticos médios a grossos nos tipos metamórficos, com minerais predominantemente de dureza Mohs entre 3 e 4, e tons de cores variando do creme-esbranquiçado ao bege-amarelado, entre outros. A mineralogia predominante consiste de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , em geral com o predomínio da primeira (GALLART & HENRIQUE, 2005).

Acessoriamente, pode incluir quartzo, pirita, siderita, feldspatos, entre outros, além de impurezas, tais como argilas, os quais definem seu padrão cromático, visto que a calcita e a dolomita são brancas. Petrograficamente, tal categoria inclui os calcários e dolomitos sedimentares e seus equivalentes metamórficos, os mármore propriamente ditos, e os travertinos (GALLART & HENRIQUE, 2005).

Este último constitui uma variedade calcária, texturalmente, bastante heterogênea, marcada por feições brechóides, cavidades alveolares, estruturas concêntricas e fibrosas, freqüentemente com impurezas argilosas e silicosas. Os

mármore, pela sua própria natureza, são rochas macias, pouco abrasivas, e de baixa resistência aos agentes intempéricos.

Aceitam com relativa facilidade os processos de desdobraimento. As variedades recristalizadas têm a vantagem de um menor índice de porosidade e de absorção de água. Comercialmente, são conhecidas diversas variedades, com destaque para o Bege Bahia (travertino), o Imperial Pink (mármore calcítico), a Pedra Cariri (calcário laminado), o Candelária White (mármore dolomítico) e o Carrara (calcário) (GALLART & HENRIQUE, 2005).



## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Materiais

Os materiais usados na pesquisa foram:

Cimento: O cimento utilizado na pesquisa foi o Portland CP II Z – 32, fornecido pela fábrica de cimento Zebu, no município de Santa Rita-PB

Agregado miúdo: O agregado miúdo utilizado na pesquisa foi do tipo natural proveniente de jazida do leito do Rio Paraíba

Água: destinada ao consumo humano fornecido pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA);

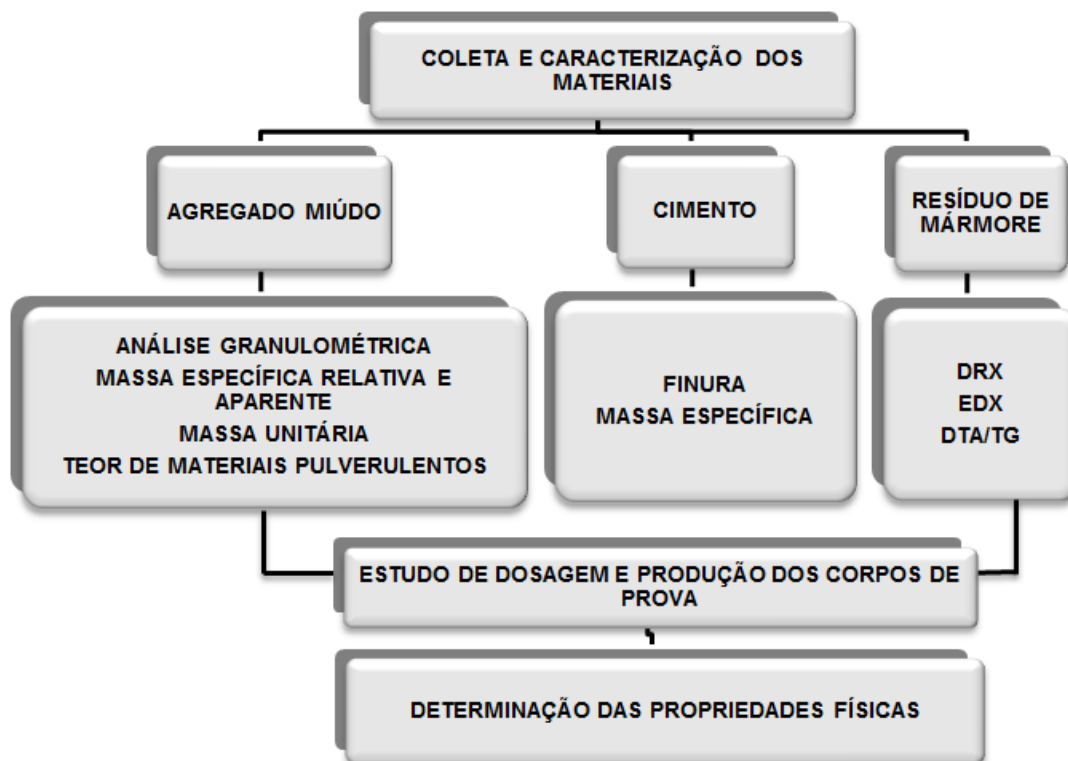
Cal: A cal hidratada utilizada foi da marca bom-cal.

Resíduo de mármore: fornecido pela empresa Fuji S/A Mármore e Granitos, gerado durante o beneficiamento do mármore.

### 4.2 Metodologia

A Figura 3 ilustra o Fluxograma das etapas da pesquisa.

**Figura 3:** Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Autoria própria, (2017).

#### **4.2.1 PRIMEIRA ETAPA: Seleção de materiais**

Nesta etapa foram selecionados os materiais a serem utilizados para o desenvolvimento deste projeto. A dosagem dos materiais foi realizada de acordo com a metodologia estabelecida pela ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.

#### **4.2.2 SEGUNDA ETAPA: Caracterização dos materiais**

##### **4.2.2.1 Caracterização física dos agregados e do cimento**

A seguir estão descritos os ensaios de caracterização do agregado miúdo e do cimento utilizado na pesquisa.

##### **4.2.2.2 Análise granulométrica**

O ensaio de granulométrica determina a distribuição percentual dos diferentes tamanhos dos grãos do agregado. É representada pela curva de distribuição granulométrica que mostra o percentual de material passando na peneira em questão versus logaritmo do diâmetro da abertura da peneira.

O ensaio de composição granulométrica para o agregado miúdo foi realizado segundo o método de ensaio da ABNT NBR 7217 (ABNT, 1987).

Neste método é combinada a reação proporcional entre a difração a laser e a concentração e o tamanho de partículas. Para realização deste ensaio a amostra do resíduo de mármore foi beneficiada em peneira ABNT nº 80(0,18mm), e dispersa em 250 ml de água destilada em agitador Hamilton Beach modelo N-5000 na velocidade de 17.000rpm, por 20 minutos; em seguida, a dispersão foi colocada em um equipamento CILAS modelo 1064, em modo úmido, até atingir a concentração ideal, que é de 150 unidades de difração/área de incidência

#### **4.2.2.3 Determinação da massa específica**

A massa específica do agregado é a relação da massa e o seu volume, não considerando os vazios permeáveis da água. Este valor tem importância no cálculo do consumo dos materiais a serem determinados no traço de concreto.

A determinação da massa específica da areia foi realizada por meio do frasco de Chapman, segundo a norma ABNT NBR 9776 (ABNT, 1987) e para o cimento, o ensaio foi realizado seguindo a norma DNER – ME 085/1994.

#### **4.2.2.4 Determinação da massa unitária**

A massa unitária do agregado no estado solto corresponde ao quociente da massa do agregado lançado no recipiente e o volume desse recipiente. Este ensaio tem como objetivo principal verificar a massa unitária do agregado miúdo, incluindo os vazios, e umidade que existem entre os grãos, e determinar sua utilização no traço da argamassa. Com essa determinação podem ser feitas transformações dos traços de massa pra volume durante o procedimento de dosagem.

O ensaio foi realizado com o agregado miúdo segundo o método de ensaio ABNT NBR 7251 (ABNT, 1982).

#### **4.2.2.5 Determinação do teor de materiais pulverulentos**

Os materiais pulverulentos são partículas minerais que passam na peneira de malha de nº 200 com abertura de 75µm, inclusive os materiais solúveis em água, presente nos agregados.

Este ensaio, que tem como objetivo a determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados destinados ao preparo de concreto, será realizado para o agregado miúdo de acordo com a norma ABNT NBR 7219 (ABNT, 1987).

#### **4.2.2.6 Ensaio de finura**

É a determinação da porcentagem, em massa, de cimento Portland cujas dimensões de grãos são superiores a 75 µm através do método de peneiramento manual de acordo com a norma ABNT NBR 11579 (ABNT, 2012).

É importante se conhecer o valor da finura dos cimentos, pois quando esse valor é elevado, indica que ocorreu hidratação do cimento e conseqüentemente, perda de suas características. Quanto mais fino for o cimento melhor será a sua reação de hidratação e a resistência mecânica da argamassa.

#### **4.2.2.7 Caracterização física, química e mineralógica do resíduo de mármore.**

##### **Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimétrica (TG)**

As análises térmicas diferenciais (DTA) e termogravimétricas (TG) de resíduo de mármore foram realizadas em equipamento BP Engenharia, Modelo RB 3000, operando a 12,5°C/min. A temperatura máxima utilizada nas análises térmicas foi de 300°C e o padrão utilizado nos ensaios de DTA foi o óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) calcinado.

##### **Difração de Raios-X - DRX**

Esta técnica possibilita determinar a estrutura de sólidos cristalinos, conhecer o arranjo dos átomos em retículos cristalinos ou em um único cristal de uma determinada substância, baseado nos padrões de interferência de radiação X difratada por estes retículos, permitindo determinar os principais elementos que compõem o material (solo).

Este ensaio foi realizado em equipamento Shimadzu XDR-6000, utilizando radiação CuK $\alpha$ , tensão de 40kV, corrente de 30mA, varredura de 2° < 2 $\theta$  < 30° e  $\lambda$ 1,54<sup>a</sup>.

## **Análise química – EDX**

Este ensaio fornece dados fundamentais de grande utilidade industrial e científica, e consiste em submeter à amostra a uma fluorescência de raios X, onde serão identificados os componentes físico-químicos do material. O material foi beneficiado em peneira ABNT N° 200 (abertura de 0,074mm) e o ensaio realizar-se-á em equipamento EDX 720 da Shimadzu

### **4.3 TERCEIRA ETAPA: Estudo da dosagem dos materiais**

Escolha da composição granulométrica e determinação da volumetria para obtenção do teor ótimo de resíduo de mármore para confecção corpos de prova. A dosagem dos materiais foi realizada de acordo com a metodologia estabelecida pela ABCP – Associação brasileira de Cimento Portland, e, conforme as seguintes etapas: Na primeira etapa foi determinado o traço. Na segunda etapa determinou-se os teores de substituição e idades de controle que seriam utilizados na pesquisa.

Assim, obteve-se o traço 1:2:9:2,18 para confecção dos corpos de prova das argamassas de referência e de argamassa com substituição do agregado miúdo por mármore em pó. Foram definidos os teores de 10% e 20% de mármore, para substituição do agregado miúdo, sendo utilizadas as idades de cura de 7, 14 e 28 dias para determinação da absorção de água por imersão.

### **4.4 QUARTA ETAPA: Determinação das propriedades físicas da argamassa.**

#### **4.4.1 Absorção de água por imersão**

Regida pela norma brasileira NBR 9778, onde tem como objetivo prescrever o modo pelo qual deve ser executado o ensaio para determinação da absorção de água, através de imersão, do índice de vazios e massa específica de argamassa e concreto endurecidos.

Para determinar a absorção de água por imersão foi seguida a NBR 9778/1987. As argamassas também são moldadas de acordo com a NBR 7215/1996. A execução do ensaio começa com a determinação da massa da amostra ao ar. Posteriormente a amostra é levada a estufa a uma temperatura de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , obtendo a massa após permanência de 24h, 48h e 72h. Completada a secagem em estufa e determinada a massa, procede-se à imersão da amostra em água à temperatura de  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , durante 72h. A amostra é mantida com 1/3 de seu volume imerso nas primeiras 4h e 2/3 nas 4h subsequentes, sendo completamente imersa nas 64h restantes. São determinadas as massas, decorridas 24h, 48h e 72h de imersão.

Usando as massas determinadas longo do procedimento, obtém-se a absorção de água por imersão, pela média das duas amostras, para cada período de imersão, por meio da seguinte expressão:

$$A_i = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100$$

Onde:

$A_i$  = absorção de água por imersão, em %;

$M_{sat}$  = massa do corpo-de-prova saturado;

$M_s$  = massa do corpo-de-prova seco em estufa.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Análise química – EDX

#### 5.1.1 Caracterização do resíduo de mármore em pó

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para a caracterização química por fluorescência de raios-X do resíduo de mármore.

**Tabela 1:** Caracterização química por fluorescência de raios-X do resíduo de mármore.

Composição	PF	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Outros
Resíduo de Mármore	34,13%	51,02	10,03	2,06	1,22	0,52	1,02

**PF:** Perda ao fogo.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, verifica-se que o resíduo de pó de mármore apresenta em sua composição majoritária CaO (51%), MgO (10%) e SiO<sub>2</sub> (2%). Verifica-se que este resíduo apresenta composição característica de um material calcário dolomítico, exibindo teor de 10,03% de MgO, quanto pela relação MgO/CaO em torno de 0,19. Calcários dolomíticos apresentam teores de MgO entre 4,3% e 10,5% e relação MgO/CaO entre 0,08 e 0,25 (SANTOS, 1989).

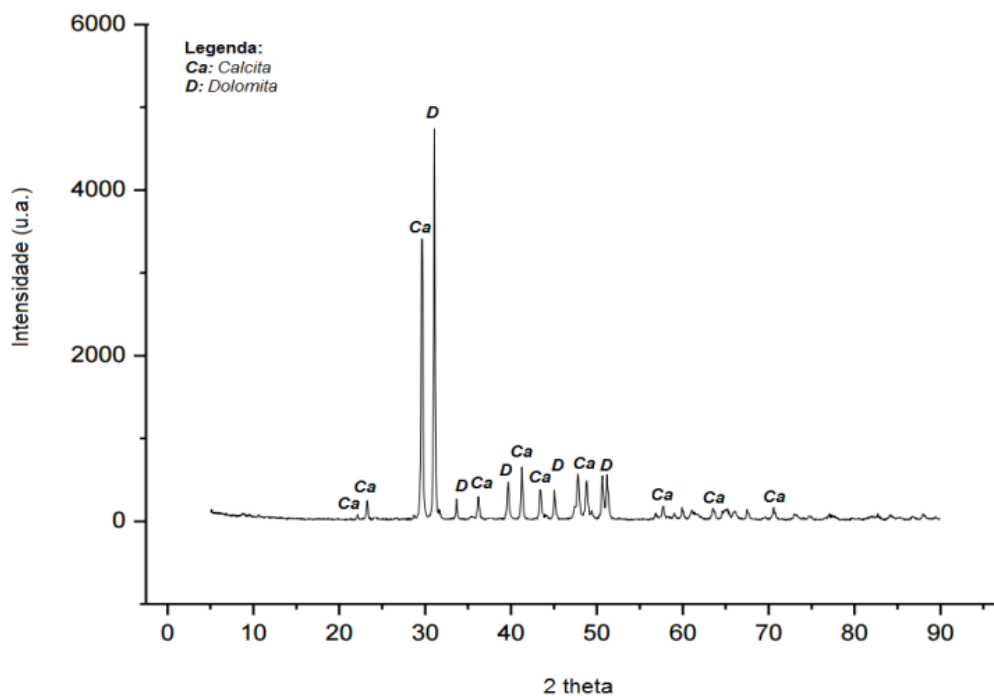
O resíduo apresenta também menores quantidades de dióxido de silício e óxido sulfúrico. Apresentando, ainda uma alta perda de massa na calcinação de resíduo de mármore de 34% correspondente à liberação de CO<sub>2</sub> dos carbonatos durante o aquecimento.

Rodrigues et al., 2011, realizou a caracterização de resíduo de mármore visando sua utilização na produção de materiais vítreos e obteve como principais componentes os óxidos de CaO (58%), MgO (31%).

## 5.2 Difratoograma de raios-X (DRX)

A Figura 4 apresenta o Difratoograma de raios-X do resíduo de mármore em pó.

**Figura 4:** Difratoograma de raios-X do resíduo de mármore em pó.



Fonte: Nunes, (2016).

De acordo com os resultados obtidos para o Difratoograma de raios-X do resíduo de mármore em pó, verificam-se as seguintes fases mineralógicas: Calcita e Dolomita, principais constituintes das rochas carbonáticas.

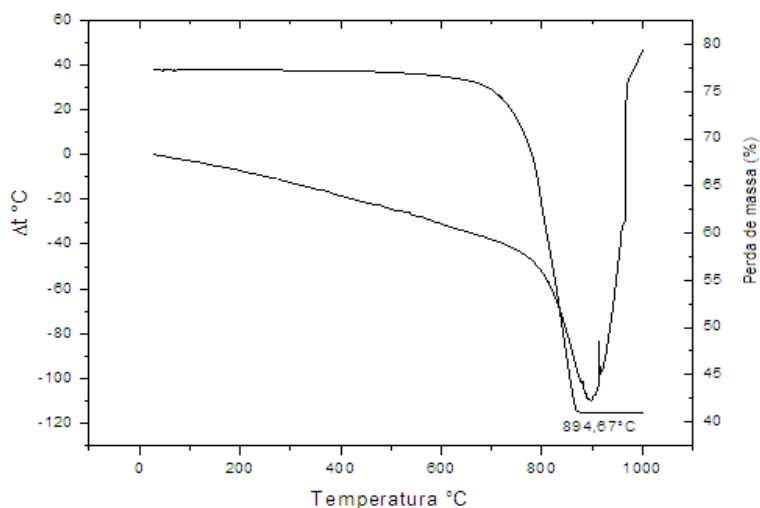
Os resultados obtidos corroboram com dados alcançados por Almeida et al., 2015, ao caracterizar um resíduo de mármore em pó visando aplicação em materiais cerâmicos.



### 5.3 Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimétrica (TG)

A Figura 5 apresenta as curvas de análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo de mármore em pó.

**Figura 5:** Análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo de mármore em pó.



**Fonte:** Nunes, (2016).

De acordo com a Figura 5, referente ao comportamento térmico do resíduo de mármore em pó, verifica-se a ocorrência de um pico endotérmico a 894,67°C, referente a decomposição do Carbonato de Cálcio. De acordo com a curva termogravimétrica, observa-se que houve uma perda de 48,1%, equivalente a 36,31mg.

### 5.4 Composição granulométrica

A Tabela 2 apresenta a composição granulométrica do resíduo de mármore em pó.

**Tabela 2:** Composição granulométrica do resíduo de mármore em pó.

Amostra	Componentes %		
	Argila	Silte	Areia fina
Resíduo de mármore	4,6	95	0,4

**Fonte:** Nunes, (2017).

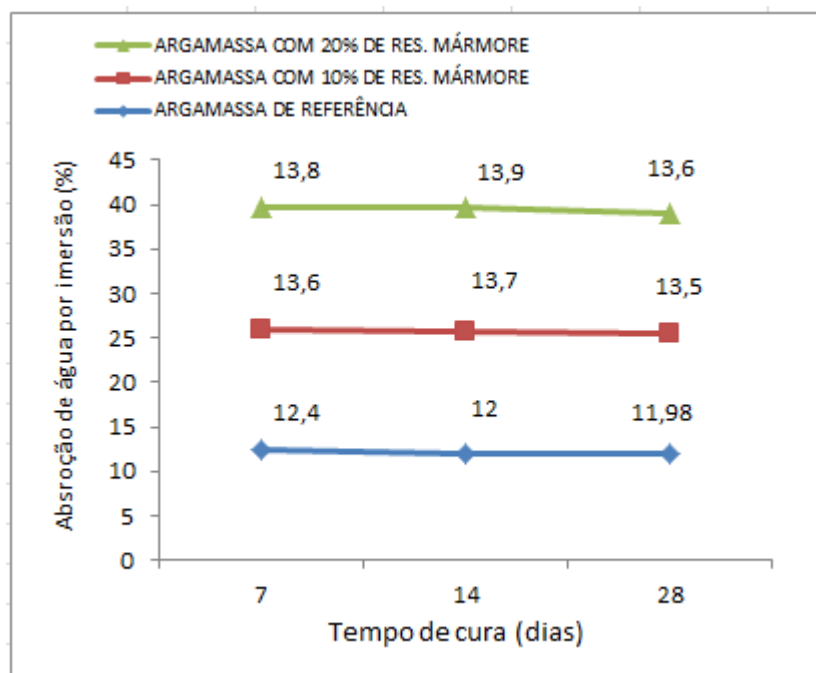
De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, verifica-se que o resíduo de mármore apresenta uma quantidade de fração argila de ordem de 4,6%, teor de silte de 95% e teor de areia fina é cerca de 0,4%.

## 5.5 Determinação das propriedades físicas

### 5.5.1 Determinação da absorção por imersão em água

A Figura 6 ilustra a absorção de água por imersão para argamassa incorporada com resíduo de mármore em pó.

**Figura 6:** Absorção de água por imersão para argamassa incorporada com resíduo de mármore em pó.



**Fonte:** Autoria própria, (2017).

De acordo com os resultados obtidos na Figura 6, verifica-se que a incorporação do resíduo de mármore em pó proporcionou o aumento da absorção da argamassa quando comparada a argamassa de referência, obtendo para o teor de substituição de 10% de agregado miúdo por resíduo de mármore um aumento de absorção de 12,68% aos 28 dias. Para o teor de absorção de 20% de substituição, verifica-se um aumento de absorção de 13,52%.

A absorção ocorrida não é de fácil interpretação, provavelmente a adição do resíduo colaborou de alguma forma para interligação dos poros, aumentando a penetração da água. Como no caso da capilaridade, a absorção por imersão ocorre em quase a totalidade no primeiro dia de imersão.

## 6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos absorção de água, conclui-se que: Deve-se ter cautela no emprego de resíduo de corte de rocha em argamassa. A adição deste resíduo densificou o produto final, diminuindo o tamanho dos poros.

O aumento da absorção por imersão é um fato preocupante, estando possivelmente ligado ao aumento do teor de material inerte, faltando adesão interna suficiente para o fechamento dos poros.

A partir da produção da argamassa incorporada com o resíduo de mármore, obteve-se resultados compatíveis com a argamassa tradicional ou ainda melhores. Desta forma, vemos que é viável utilizar o resíduo de mármore como um insumo para construção civil, agregando valor e reduzindo o impacto ambiental gerado pela disposição no meio ambiente.

## 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar a absorção de água de argamassas incorporadas com teores de resíduos de mármore mais elevados do que os utilizados neste estudo.
- Avaliar propriedades mecânicas de argamassas incorporadas com resíduo de mármore em pó.
- Analisar a possibilidade de utilização do resíduo de mármore em pó em concreto.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. **NBR 11579:** Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 11579:** Determinação do índice de finura por meio peneira 75 µm (no.200). Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 7219:** Determinação do teor de materiais puerulentos. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 7251:** Determinação da Massa Unitária. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 9776:** Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 13530:** Revestimentos de paredes e tetos de argamassa inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 7217:** Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

ALBUQUERQUE, A. S. Agregados. In: BAUER, L. A. F. (Coord.). **Materiais de Construção I**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 1994. cap.4.

ALVES, N.J.D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. 2002, 198p. Dissertação (Engenharia Civil) Universidade de Brasília, UnB., 2002.

ALVES, N.J.D.; DO Ó, S.W. Aditivos incorporadores de ar e retentores de água. In: **Revestimento de argamassa: características e peculiaridades**. Brasília: LEM-UnB, Sinduscon, 2005.

BANFILL, P.; F.; G. The rheology of fresh cement and concrete – a review. **11th International Cement Chemistry Congress**, Durban, South Africa, 2003

BASTOS, P.K.X.; COUTO, M.L. **Influência de condições de produção de argamassa em obra na classificação segundo a NBR 13281**. VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas – VII SBTA, 2007.

BAUER, E.; SOUSA, J. G.G. Materiais constituintes e suas funções. In: **Revestimento de argamassa: características e peculiaridades**. Brasília: LEM-UnB, Sinduscon, 2005.

BIGNO, I. C. **Aproveitamento do resíduo de corte de rochas ornamentais como fíler mineral em compósitos de matriz polimérica e cimentícia**. 2002. 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Fluminense, Niterói. 2002.

BILGIN, N., YEPREM, H.A.; ARSLAN, S.; BILGIN, A.; GÜNAY, E.; MARŞOĞLU, M. Use of waste marble powder in brick industry. **Construction and Building Materials**, v. 29, p. 449–457, 2012.

BUEST NETO, G. T. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland**. 2006. 169f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas a base de cimento Portland a substratos porosos – Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. São Paulo, 1996. 285p. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-USP, 1996.

CARASEK, H. Argamassas. In: **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Ed. G. C. Isaia. - São Paulo: IBRACON, 2007. 2v. cap.26, p.863-903.

CASCUDO, O; CARASEK, H. **Controle de produção de argamassas industrializadas em obra empregando o método de penetração do cone**, 2007.

CHIODI FILHO, C. **A expressão brasileira no setor de rochas ornamentais**. Pedras do Brasil –Revista da Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais do Brasil. N. 18 – Ano II, p.38-39, Setembro de 2003.

CINCOTTO, M.A., SILVA, M. A. C., CARASEK, H. **ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO: Características, propriedades e métodos de ensaio**. Boletim 68. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas –IPT, 1995.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Revestimento de argamassa**. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemasconstrutivos/4/materiais/qualidade/71/materiais.html>>. Acesso em: 17 de junho. 2017.

FONSECA, G.C. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica**. 2010.106p Dissertação, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2010.

GALLART, Ricardo de Menezes; HENRIQUE, João Larizzatti. **Rochas ornamentais e de revestimento: conceitos, tipos e caracterização tecnológica**. Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, em associação com o Centro de Tecnologia Mineral – CETEM – do Ministério de Ciência e Tecnologia e Centro Tecnológico de Mármore e Granito – CETEMAG (ES), 2005.

GLATTHOR, A.; SCHWEIZER, D.; **Rheological Lab Testing of Building Formulations**. ConChem Conference, Düsseldorf, 1994.

GOMES, T. V. B. **Análise de utilização de produção mais limpa na extração de rochas ornamentais em pedreiras do Rio Grande do Norte**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016 29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil.



GONÇALVES, J. P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos**. 2000. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

GUIMARÃES, J.E.P., GOMES, R.D., SEABRA, M.A. **Guia das argamassas nas construções, construindo para sempre com cal hidratada**. 8ª ed. Associação Brasileira dos produtores de cal, 2004.

HERRMANN, H. **Política de aproveitamento de areia no estado de São Paulo: dos conflitos existentes às compatibilizações possíveis**. Rio de Janeiro. CETEM/CNPQ, 186p. 2002.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na Construção Civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo: EPUSP, 2000. 113p (Tese de Livre Docência).

LICHTENSTEIN, N.B. **Patologia das construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações**. São Paulo, 1985. 191p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MACHADO R.B.; RIBEIRO, R.C.C.; ANDRADE F.V. **Utilização de rejeitos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e da adubação de solos tropicais**. XVI Jornada de Iniciação Científica – CETEM. p. 120-126. Rio de Janeiro, 2006.

MALHOTRA, V. M.; MEHTA, P. K.. **Pozzolanic and Cementitious Materials. Advances in concrete technology**. v.1, Gordon and Breach Publishers, 1996.

MARÇAL, Rubens L.S.B. **Fabricação de vidros especiais a partir de resíduos da indústria de rochas ornamentais**. 2011, 79p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) Instituto Militar de Engenharia, IME - RJ, Rio de Janeiro, 2011.

MARCHI, V. L.; VIEIRA, A. R.; MODRO, R. L. N. **Estudo de propriedades mecânicas de concreto convencional com substituição de parte dos agregados por resíduos de poliuretano.** Dissertação de mestrado em Engenharia de Processos da Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE, 2007.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI, 1994. 249 p.

MIRANDA, L.F.R.; SELMO, S.M.S. **Avaliação de argamassas com entulhos reciclados, por procedimentos racionais de dosagem.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., Vitória, 1999. Anais. Vitória, ANTAC, 1999. p.295-307.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento.** São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2004 (Boletim Técnico, n. 359).

NEVILLE, Adam M., **Propriedades do concreto.** 2° ed. São Paulo: Pini, 1997.828p.

OLIVEIRA, I.R.; STUDART, A. R.; PILEGGI, R. G.; PANDOLFELLI, V. C. **Dispersão e empacotamento de partículas. Princípios e aplicações em processamento cerâmico.** São Paulo: Fazenda Arte, 2000. 224p.

PEÑA, M. R. G. **Estudo da Fissuração Associada à Retração em Argamassas para Reparo em Estruturas de Concreto.** 2004, 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

PETRUCCI, Eladio G.R. **Concreto de Cimento Portland.** 13° ed. São Paulo:Globo, 1998.

SABBATINI; F. H.; SELMO, S.M.S. **Diretrizes para a produção e controle de dosagem das argamassas de assentamento e revestimento**. São Paulo, EPUSP/PCC, 1989. (Convênio EPUSP/ENCOL, Projeto EP/EN-01, Documento 1.CeE).

SANTOS, G. R. S.; APOLINÁRIO, E. C. A.; RIBEIRO, D. ; V. Influência da adição do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) na reologia das argamassas. **Periódico eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista – ANAP**, v.9, nº1, 2013.

SELMO, S.M.S. **Prevenção de patologias em revestimentos externos de argamassa dos edifícios: a importância dos serviços de manutenção**. IN: SIMPÓSIO SOBRE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES: PREVENÇÃO E RECUPERAÇÃO, Porto Alegre, 1989. Anais. Porto Alegre, UFRGS, 1989. p.195-212.

SOUZA, U. E. L. de; FRANCO, L.S. **Subsídios para a opção entre: elevador ou grua, andaime fachadeiro ou balancim, argamassa industrializada ou produzida em obra**. São Paulo, EPUSP, 1997. (Boletim Técnico 176).

SPÍNOLA, V. GUERREIRO, L. F., BAZAN, R. **A Indústria<sup>1</sup> de Rochas Ornamentais**. Desenbahia – Agência de Fomento do Estado da Bahia, Estudo de Mercado 02/04, Salvador, set. 2004.

SUA-OBRA. **Confira qual traço usar na argamassa para assentamento de blocos**. Disponível em:< <https://suaobra.com.br/dicas/levantamento-obra/confira-qual-traco-usar-na-argamassa-para-assentamento-de-blocos>>. Acessado em: 12/06/2017.

YUAN, Y; LI, G; CAI, Y. Modeling for prediction of restrained shrinkage effect in concrete repair. **Cement and Concrete Research**, v.33, p. 347-342, 2003.