



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

**CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE MÁRMORE EM PÓ E ESTUDO  
DA VIABILIDADE DE INCORPORAÇÃO EM ARGAMASSAS**

**NELLYTHA CAMPOS DE LIMA**

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

Campina Grande-PB, 17/07/2017.

**CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE MÁRMORE EM PÓ E ESTUDO  
DA VIABILIDADE DE INCORPORAÇÃO EM ARGAMASSAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande-PB, 17/07/2017.

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

**NELLYTHA CAMPOS DE LIMA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Campina Grande como requisito para  
obtenção do grau de bacharel  
Engenharia Civil.

Área de habilitação: Estruturas.

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

CAMPINA GRANDE – PB

JULHO/2017

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, Aquele que nunca me deixa só. O Senhor da minha vida, que me cuida, me protege e me guia. Com Ele, sei que tudo posso.

A minha família, minha base. Pessoas que foram escolhidas por Deus para cuidar de mim. Especialmente, quero agradecer a minha mãe e a minha avó Antonia, pelo apoio desde sempre, por cuidarem de mim.

Ao meu namorado pelo amor e paciência de sempre. Mesmo distante faz com que me sinta capaz de realizar meus sonhos.

Aos meus amigos, que fazem com que esse tempo longe de casa seja mais alegre. Neles sempre encontrei o apoio e as palavras de motivação que tantas vezes precisei.

A minha orientadora e professora Ana Maria. Uma pessoa maravilhosa, pronta para ajudar a quem precisar. Obrigada pelos ensinamentos. Tenho a senhora como um exemplo.

Agradeço também aos técnicos de laboratório da UFCG, em especial aos dos blocos BK e LEP, pelo suporte nos ensaios.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a DINHA, mulher que é meu pai e mãe ao mesmo tempo. Obrigada por lutar comigo pelos meus sonhos. Sem você eu não teria chegado até aqui. Obrigada pelo esforço de tentar me fazer feliz e realizada nesses 22 anos de vida.

*"Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades. Lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível."* **(Charles Chaplin)**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas de produção das rochas ornamentais.....	9
Figura 2: Consumo interno aparente de rochas ornamentais no Brasil.....	11
Figura 3: Exportações brasileiras por país de destino.....	13
Figura 4: Principais estados exportadores em 2016.....	14
Figura 5: Importações brasileiras acumuladas.....	15
Figura 6: Saldo acumulado da balança comercial do setor de rochas ornamentais em 2015 e 2016.....	16
Figura 7: Difratoograma de Raio-X de amostra de RCGM.....	24
Figura 8: Tipos de revestimento.....	29
Figura 9: Fluxograma das etapas da pesquisa.....	33
Figura 10: Difratoograma de raios-X do resíduo de mármore em pó.....	38
Figura 11: Análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo de mármore em pó.....	39
Figura 12: Resistência a compressão simples aos 28 dias para corpos de prova incorporados com 10% e 20% de resíduo de mármore.....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais Aglomerações Produtivas do Setor de Rochas no Brasil..	12
Tabela 2: Composição química em porcentagem de massa do mármore.....	17
Tabela 3: Caracterização química de amostras de RCGM.....	23
Tabela 4: Minerais presentes da difração de raio-x.....	24
Tabela 5: Minerais presentes na difração de raio-x Tabela 5: Caracterização química por fluorescência de raios-x do resíduo de mármore em pó.....	37
Tabela 6: Composição granulométrica de resíduo de mármore em pó.....	39
Tabela 7: Resistência a compressão simples para argamassa com resíduo de mármore em pó aos 28 dias.....	40



## Resumo

As rochas ornamentais e de revestimentos são definidas pela ABNT, respectivamente, como uma substância rochosa natural que submetida a diferentes graus de modelamento ou beneficiamento, pode ser utilizada com uma função estética qualquer e um material rochoso passível de desdobramentos e beneficiamentos diversos com emprego em acabamentos de superfícies de paredes e pisos em construções civis. Além de proporcionar beleza e durabilidade às edificações, inserem-se em um importante setor da economia em diversos países, sendo o Brasil um dos principais exportadores mundiais, tendo o estado do Espírito Santo como o maior produtor. O ramo da construção civil voltado para os materiais alternativos é muito abrangente, diversos estudos são realizados com diferentes materiais. Em parte, esses estudos se dão ao fato de que várias indústrias produzem resíduos que podem causar danos ao meio ambiente, dentre elas, a indústria de beneficiamento de rochas ornamentais é responsável por diversos impactos ambientais, desde a prospecção mineral até a fase de polimento das placas e ladrilhos. Esses impactos incluem poeira, ruído e vibrações, lama e fragmentos de rocha. Na serragem das chapas se perde cerca de 25% a 30% de mármore que se transforma em pó, gerando um resíduo em forma de lama. Assim, buscou-se neste estudo, verificar a viabilidade da utilização do resíduo na argamassa. Foram realizados ensaios de caracterização física, química e mineralógica do resíduo e caracterização física e mecânica a partir da produção de corpos de prova nas dimensões de 5 cm x 10 cm. Observou-se que a argamassa com substituição de 20% do agregado miúdo apresentou melhores resultados de resistência a compressão quando comparado a argamassa de referência. Para a composição química verificou-se que é semelhante a matérias-primas convencionais utilizadas na produção da argamassa e como fases mineralógicas a calcita e a dolomita, principais constituintes das rochas carbonáticas. Assim, é viável a utilização do resíduo na argamassa de assentamento.

**Palavras chave:** Rochas ornamentais, propriedades, construção civil.

## ABSTRACT

The ornamental and cladding rocks are defined by ABNT, respectively, as a natural rocky substance that under different degrees of modeling or processing, can be used with any aesthetic function and a rocky material that can be unfolded and suited to different finishes Of wall and floor surfaces in civil constructions. Besides providing beauty and durability to buildings, they are part of an important sector of the economy in several countries, Brazil being one of the main exporters in the world, with Espírito Santo state as the largest producer. The branch of civil construction focused on alternative materials is very comprehensive, several studies are carried out with different materials. In part, these studies are due to the fact that several industries produce waste that can cause damages to the environment, among them, the ornamental stone processing industry is responsible for several environmental impacts, from mineral exploration to the polishing phase of Slabs and tiles. These impacts include dust, noise and vibrations, mud and rock fragments. In the sawing of the plates one loses about 25% to 30% of marble that turns into powder, generating a residue in the form of mud. Thus, the aim of this study was to verify the feasibility of using the residue in the mortar. Physical, chemical and mineralogical characterization of the residue and physical and mechanical characterization were carried out from the production of specimens measuring 5 cm x 10 cm. It was observed that mortar with substitution of 20% of the small aggregate presented better results of resistance to compression when compared to the reference mortar. For the chemical composition it was verified that it is similar to conventional raw materials used in the production of the mortar, and as mineralogical phases calcite and dolomite, the main constituents of the carbonaceous rocks. Thus, it is feasible to use the residue in the mortar.

**Keywords:** ornamental rocks, properties, construction

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo Geral.....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
3. JUSTIFICATIVA.....	4
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
4.1 Origem das Rochas Ornamentais.....	5
4.2 A produção de Rochas Ornamentais.....	6
4.3 A Industria Mundial.....	9
4.4 A Industria Brasileira.....	10
4.5 Exportações de Rochas Ornamentais.....	13
4.6 Importação de Rochas Ornamentais.....	15
4.7 Produção de Mármore.....	16
4.8 Resíduos de Mármore.....	18
4.9 Caracterização do resíduo do corte de granito e mármore.....	23
4.10 Uso do resíduo do mármore na construção civil.....	25
4.11 Argamassa.....	27
4.12 Propriedades do cimento e agregados utilizados em argamassa.....	30
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
5.1 Materiais.....	33
5.2 Metodologia.....	33
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
6.1 Caracterização Química, Física e Mineralógica.....	37
6.2 Caracterização Mecânica.....	40
7 CONCLUSÃO.....	42
8 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	43
REFERENCIAS.....	44

## 1. INTRODUÇÃO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define rocha ornamental como uma substância rochosa natural que, submetida a diferentes graus de modelamento ou beneficiamento, pode ser utilizada como uma função estética qualquer.

Rocha de revestimento, por sua vez, é qualificada pelo órgão como material rochoso passível de desdobramentos e beneficiamentos diversos com emprego em acabamentos de superfícies de paredes e pisos em construções civis.

As rochas ornamentais e de revestimento, além de proporcionar beleza e durabilidade às edificações, inserem-se em um importante setor da economia em diversos países sendo o Brasil um dos principais exportadores mundiais. Possui o maior parque industrial de teares multifio diamantado, concentrado no Estado do Espírito Santo (CHIODI FILHO, 2013).

Estima-se que o setor de rochas movimenta transações comerciais de US\$ 80-100 bilhões/ano. A produção mundial noticiada evoluiu de 1,8 milhão t/ano, na década de 20, para um patamar atual de 100 milhões t/ano. Cerca de 46 milhões t de rochas brutas e beneficiadas foram comercializadas no mercado internacional em 2007. Prevê-se que no ano de 2025 a produção mundial ultrapassará 400 milhões t, correspondentes a quase 5 bilhões m<sup>2</sup> equivalentes/ano, devendo-se multiplicar por cinco o volume físico das atuais transações internacionais (MME, 2009).

As rochas ornamentais são aplicadas, principalmente, em pisos e revestimentos. Cerca de 70% da produção mundial de mármore e granitos é utilizada na forma de pisos (internos e externos) e em revestimentos de parede e fachadas, 17,5% em arte funerária, 9,5% em decoração e 3,5% em outras aplicações (GRILLO, 2010).

Comercialmente, as rochas ornamentais são definidas essencialmente à luz de duas principais categorias, que são os “granitos” e os “mármore”, distinguidas com base na sua composição mineralógica. Os granitos abrangem as rochas silicatadas, ou seja, formadas por minerais

estruturalmente constituídos por tetraedros de  $\text{SiO}_4$ , ao passo que os mármore incluem as rochas composicionalmente carbonáticas (MENEZES et al, 2005).

As rochas comercialmente designadas por mármore englobam lato sensu as rochas carbonáticas, incluindo calcários, dolomitos e seus correspondentes metamórficos (os próprios mármore). Os calcários são rochas sedimentares compostas principalmente de calcita (carbonato de cálcio), enquanto os dolomitos são rochas também sedimentares formadas sobretudo por dolomita (carbonato de cálcio e magnésio). Os mármore resultam do metamorfismo (modificações ocorridas na rocha devido a variações nas condições de pressão e temperatura, em relação ao ambiente de origem) de calcários e dolomitos (FERRARI, 2011).

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 desdobramento. As variedades recristalizadas têm a vantagem de um menor índice de porosidade e de absorção de água (MENEZES et al, 2005).

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) (MENEZES et al, 2005).

A beleza e as propriedades físicas, químicas e mineralógicas do produto em questão, agradaram a sociedade de tal forma que suas aplicações deixaram de ser somente utilitárias para se tornarem um utensílio que está inserido até mesmo nos momentos de lazer da população, a partir do momento em que passaram a ser utilizadas como matéria-prima na criação de obras de arte e de monumentos históricos (TEIXEIRA et al, 2012).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo principal deste estudo é verificar a viabilidade de incorporação do resíduo de mármore em pó em argamassa.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar química, física e mineralogicamente o resíduo de mármore;
- Estudar a viabilidade da incorporação de resíduo de mármore em argamassa;
- Determinar as propriedades mecânicas de argamassas incorporadas com resíduo de mármore em pó;

### 3. JUSTIFICATIVA

O ramo da construção civil voltado para materiais alternativos é muito abrangente, são muitos estudos referentes a esses diferentes materiais. Tais estudos buscam a possibilidade de utilizar novos materiais ou reaproveitar os já existentes. Em parte, isso se dá ao fato de tanto a construção civil como outras indústrias produzirem muitos resíduos que causam danos ao meio ambiente.

Com relação às rochas ornamentais, que é fortemente ligada à construção civil, este setor é responsável por diversos impactos ambientais, desde a prospecção mineral até a fase de polimento das placas e ladrilhos. Esses impactos incluem poeira, ruído e vibrações, lama e fragmentos de rocha.

A produção de rochas ornamentais, em grande parte das empresas brasileiras, é feita a partir da serragem, em chapas, de grandes blocos de pedra. Na serragem, cerca de 25% a 30% de cada bloco de mármore é perdido, transformando-se em pó, gerando um resíduo em forma de lama.

O setor das rochas ornamentais gera uma vasta quantidade de resíduos e escassez de lugares adequados para destina-los. Assim, esse resíduo pode ser uma fonte de matéria-prima barata, se constatada a sua eficiência.

Logo, tem-se um meio de diminuir os impactos ambientais, além de possuir benefícios econômicos, com a reutilização do resíduo de mármore em pó.

## **4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **4.1 Origem das Rochas Ornamentais**

O ser humano sempre utilizou as rochas devido à resistência, à trabalhabilidade e à beleza natural que elas apresentam. Ao longo da história humana, as rochas sempre se mostraram como alternativas em termos de material para construções, principalmente de moradias, templos, armas, ferramentas, sistemas de transporte, sistemas de defesa e aquedutos. Várias civilizações tiveram marcos históricos representativos feitos com o uso de rochas há várias centenas ou até mesmo milhares de anos, como as pirâmides no Egito, o Coliseu em Roma e a muralha na China (RUSSO, 2011).

A humanidade, gradativamente, passou a utilizar materiais de diferentes origens, porém, com exceção de alguns poucos exemplos, como lã animal e madeira, todos os outros dependem das rochas como matéria prima (cerâmica, adobe, cal, vidro, cimento portland e ligas metálicas), sem contar as rochas que são empregadas sem perder as características originais, ou seja, as rochas ornamentais aplicadas ao longo da história como peças de revestimento, estruturas, alvenarias ou obras de arte (RUSSO, 2011).

Desde os tempos pré-históricos, as rochas têm sido utilizadas para os mais diversos fins. Elas viriam a ser usadas com função estética e ornamental ao redor de 3.000 a.C. pelos mesopotâmios e egípcios e, posteriormente, pelos gregos, que difundiram seu emprego por meio da escultura e da arquitetura. Finalmente os romanos consolidaram seu uso nas mais audaciosas obras públicas da antiguidade. Por volta do ano 80 a.C. eles começaram a utilizar em revestimento de grandes construções de tijolos, principalmente por motivos estéticos e para dar a estas obras um aspecto opulento e duradouro. Tornaram-se os pioneiros nesta modalidade (NOGAMI, 2013).

Naquela época, Roma explorava o mármore travertino, em ocorrência próxima à cidade (Tivoli). Posteriormente, o centro mundial de produção se deslocou para a região de Carrara, cuja tradição na exploração subterrânea e a céu aberto do mármore perdura até os dias atuais (NOGAMI, 2013).

A expansão comercial das rochas ornamentais e a decorrente diversificação de suas formas se deram com o processo gradual de



mecanização da indústria de extração e de beneficiamento no início do século XX. Desde então, em função da combinação de suas qualidades estruturais e estéticas, elas constituem um importante produto em diversas áreas (NOGAMI, 2013).

No século XX, apesar de certa estagnação durante a primeira e segunda grandes guerras, o comércio mundial de rochas ornamentais apresentou grande desenvolvimento. Porém foi na década passada, a primeira do século XXI, que houve um aquecimento vertiginoso desse comércio (RUSSO, 2011).

#### **4.2 A produção de rochas ornamentais**

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, compreendem os materiais geológicos naturais que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados por meio de esquadreamento, polimento, lustro, etc. Seus principais campos de aplicação incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se neste caso os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, dentre outros (CHIODI, 2009).

Do ponto de vista comercial, são basicamente subdivididas em granitos e mármore: como granitos enquadram-se genericamente as rochas silicáticas, enquanto os mármore englobam as rochas carbonáticas. Alguns outros tipos litológicos, como os quartzitos, serpentinitos, travertinos e ardósias, também são muito importantes setorialmente (CHIODI, 2009).

Todos os tipos de rochas depois extraídas têm sua divisão comercial em duas categorias: naturais e tratadas. As rochas naturais são aquelas retiradas na natureza sem qualquer tratamento e sem polimento conservando seu aspecto natural e sendo mais resistentes às ações de intemperismo. Como a resistência das rochas naturais é elevada, elas são mais utilizadas em áreas externas e úmidas, como por exemplo, bordas de piscina. As rochas tratadas são aquelas que recebem tratamento, algum tipo de polimento, aumentando

seu brilho e como resultado obtendo valorização das texturas e cores (GRILLO, 2010).

A produção de rochas ornamentais se divide em quatro etapas distintas. A extração, realizada nas pedreiras, onde o maciço ou matacão é cortado em blocos de rocha, o desdobramento, onde os mesmos são serrados em chapas, o polimento responsável por dar o acabamento ao material, e por fim, as chapas são vendidas para as marmorarias que executam os mais diversos trabalhos, com aplicação direta na construção civil, confeccionando pisos, ladrilhos, bancadas, etc (SILVA, 2011).

O primeiro estágio de cadeia produtiva das rochas ornamentais é a lavra de blocos a céu aberto desempenhada pelas empresas extratoras (IDEIES, 2015).

O beneficiamento primário é feito nas serrarias. Compreende o corte de blocos brutos em chapas, por meio de equipamentos denominados teares, ou em tiras e ladrilhos por meio de talha-bloco para a produção de ladrilhos. A grosso modo, cada metro cúbico de pedra bruta gera 30 m<sup>2</sup> de chapas, variando de acordo com a espessura da chapa, tipo e qualidade do material (IDEIES, 2015).

A etapa seguinte consiste no acabamento das placas nas marmorarias, através de polimento das chapas, corte e polimento de topo. Para Pontes e Stellin Jr. (2001), o processo de acabamento das chapas inicia-se na maioria das vezes com o polimento das peças que saem dos teares. Esta etapa tem por finalidade conferir à superfície da peça brilho e lustre de tal forma que realcem a coloração dos diferentes minerais constituintes da rocha. Isto é conseguido através da eliminação da rugosidade da superfície da peça e pelo fechamento dos poros dos diferentes minerais ou cristais que constituem o material. Nesta etapa são utilizados elementos abrasivos de granulometria decrescente que, através de movimentos de fricção sobre a chapa, vão desbastando-o até alcançar o grau de polimento almejado. Ainda segundo Pontes e Stellin Jr. (2001), o abrasivo comumente utilizado é o carbetto de silício, em diferentes granulometrias e formas, formando rebolos de formas distintas, conforme sua aplicação. Os rebolos que utilizam grãos de diamante como elemento abrasivo apresentam, em relação ao primeiro, maior velocidade de polimento e seu uso está consagrado na Europa. O resíduo de polimento é

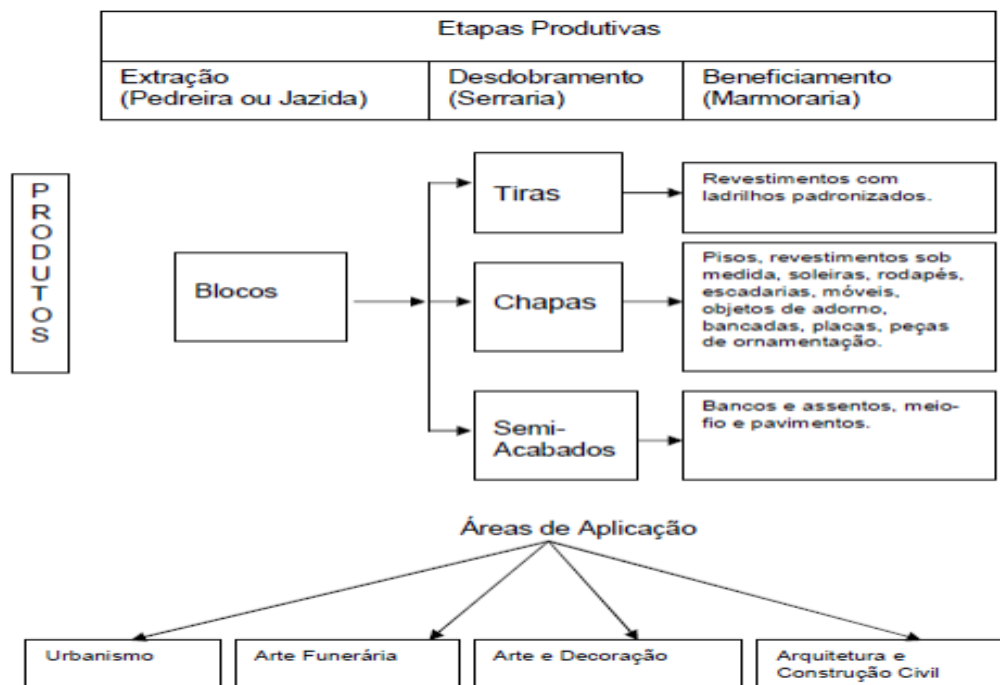
o resíduo gerado nesta fase de processamento das chapas e é constituído por uma grande quantidade de água, pó de rocha e restos dos abrasivos utilizados. Devido à quantidade de água contida no resíduo, é uma prática comum utilizar tanques de decantação para se efetuar um reaproveitamento da água no processo. Após a retirada de uma grande quantidade da água, o RCG é geralmente levado às lagoas de resíduos, onde são misturados aos outros resíduos do processamento das rochas. A rocha ornamental quando especificada, é fracionada na marmoraria, nas dimensões referidas no projeto. A partir do corte da chapa e do polimento do topo da mesma, é gerado o resíduo de corte de mármore e granito – RCMG.

Os bloquetes são blocos pequenos e irregulares, geralmente com menos de 50 cm de aresta, que sobram nas pedreiras e são aproveitados por algumas serrarias na fabricação de ladrilhos. Através de talhas blocos semelhantes a “mini teares”, os bloquetes são serrados diretamente em ladrilhos. Este tipo de processo, muitas vezes artesanal, é comum na região norte do estado da Bahia na produção de ladrilhos de mármore bege (IDEIES, 2015).

Os materiais, muitas vezes refugados nas pedreiras, que não possuem dimensões apropriadas para blocos ou bloquetes, são utilizados por empresas de artesanato mineral, na produção de mosaicos para tampos de mesa, esferas, objetos de adorno e utilidades, como abajures, cinzeiros, castiçais (IDEIES, 2015).

Na Figura 1, ilustra o fluxograma com as etapas de produção das rochas ornamentais.

**Figura 1:** Etapas de produção das rochas ornamentais



Fonte: Spínola(2004).

### 4.3 A Indústria Mundial

A produção mundial noticiada de rochas ornamentais e de revestimento evoluiu de 1,8 milhão t/ano, na década de 1920, para um patamar atual de 123,5 Mt/ano. Cerca de 52 mt de rochas brutas e beneficiadas foram comercializadas no mercado internacional em 2012. O notável crescimento do intercâmbio mundial caracterizou as décadas de 1980 e 1990 como a “nova idade da pedra” e o próprio setor de rochas como uma das mais importantes áreas emergentes de negócios minero-industriais (CHIODI FILHO, 2014).

A década de 2000, pelo menos até 2008, foi marcada pela multiplicação de feiras setoriais internacionais, pela modernização das tecnologias de lavra, beneficiamento e acabamento, pela diversificação dos produtos comerciais e da carteira de rochas comercializadas, pela bolha de consumo no mercado dos

EUA e pela notável expansão chinesa no mercado internacional (CHIODI FILHO, 2014).

A China foi a maior produtora mundial em 2007, com 26,5 milhões t. O segundo maior produtor mundial foi a Índia, com 13,0 milhões t, tendo-se ainda Brasil, Turquia e Itália, com uma produção próxima de 8 milhões t. A China foi responsável por 25% do total do volume físico das exportações mundiais em 2007 e, em sequência, a Índia (12,1%), Turquia (10,2%), Itália (7,2%), Espanha (5,7%) e Brasil (5,4%). O aspecto mais notável da China é a sua participação percentual no mercado internacional de rochas processadas especiais, que já se aproxima dos 50% (CHIODI FILHO, 2009).

Os 13 maiores importadores mundiais foram responsáveis por 60% do total do volume físico das importações efetuadas em 2007. Os 10 principais foram responsáveis por 50% do total das importações, o que revela grande concentração de vendas em um grupo reduzido de mercados. A China foi o maior importador mundial em 2007, praticamente só adquirindo rochas brutas, figurando em 2º lugar os EUA, que quase só importa rochas processadas. São ainda destacados, pelo crescimento das importações ao longo do período de 2002-2007, a Coreia do Sul, Bélgica e Reino Unido (CHIODI FILHO, 2009).

Com o estouro da bolha imobiliária norte-americana e instalação da crise econômica mundial, a partir de meados de 2008, promoveu-se um novo cenário, delineado pelo forte enxugamento do crédito, acirramento da concorrência entre os exportadores e aumento da pressão de oferta dos grandes produtores. Este cenário negativo mostrou sinais de recuperação ao longo dos anos de 2010, 2011 e 2012, pelo incremento lento, mas consistente, do mercado de reformas residenciais dos EUA e do mercado imobiliário chinês, apesar da persistência da crise econômica mundial (CHIODI FILHO, 2014).

#### **4.4 A Indústria Brasileira**

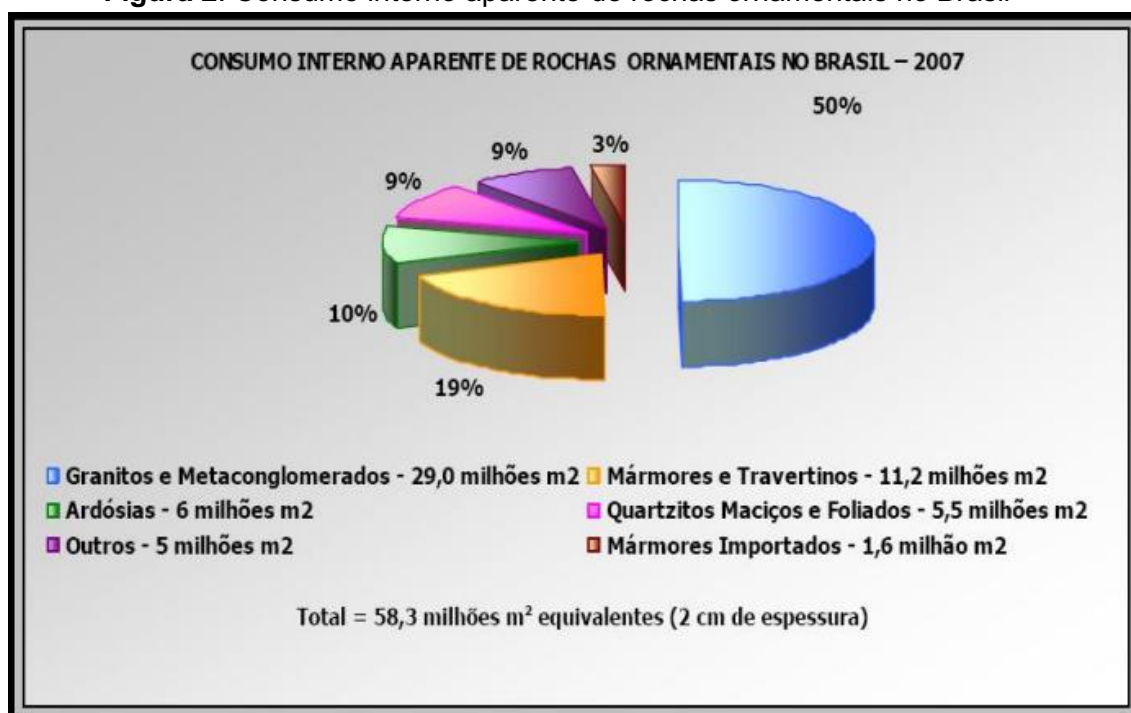
No ano de 2006, o Brasil colocou-se como o 4º maior produtor e exportador mundial de rochas em volume físico, como o 2º maior exportador de granitos brutos, como 4º maior exportador de rochas processadas especiais, e como 2º maior exportador de ardósias. No Brasil são registradas atividades de

extração em cerca de 400 municípios, assumindo-se a existência de 1.800 frentes ativas de lavra e a produção de 1.200 variedades comerciais de rochas (CHIODI, 2013).

A atuação do setor produtivo de rochas ornamentais tem possibilitado ao país participar de forma significativa do mercado mundial, prática favorecida pela singular diversidade e ótima aceitação das matérias-primas brasileiras, especialmente os granitos, que para o setor de rochas ornamentais e de revestimento, designa um amplo conjunto de rochas silicatadas, abrangendo monzonitos, granodioritos, sienitos, dioritos, basaltos, entre outros (GRILO, 2010).

Segundo as informações extraídas de Chiodi Filho (2008), o consumo de rochas é ilustrada na Figura 2.

**Figura 2:** Consumo interno aparente de rochas ornamentais no Brasil



Fonte: CHIODI (2008).

No Brasil os empreendimentos que trabalham com produção de rochas ornamentais são essencialmente micro e pequenas empresas. A maior parte delas são marmorarias (cerca de 61%), as outras são empresas de beneficiamento, de lavra, exportadoras, depósito de chamás, serviços, equipamentos e insumos e indústrias (TEIXEIRA et al, 2012).

A partir de estudos realizados pelo Instituto Metas (2002), para o então Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT (atual MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação), evidenciou-se a existência de 18 aglomerações produtivas relacionadas com o setor de rochas ornamentais e de revestimento no Brasil, envolvendo atividades de lavra em 10 estados e 80 municípios da Federação. Mais amplamente, foram registrados 370 municípios com recolhimento da CFEM – Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais, para extração de rochas ornamentais (CETEM, 2014).

A Tabela 1 apresenta as principais aglomerações produtivas do setor de rochas no Brasil.

**Tabela1:** Principais Aglomerações Produtivas do Setor de Rochas no Brasil

<b>Região</b>	<b>Aglomerações Identificadas</b>	<b>UF</b>	<b>Nº Munic.</b>
Sudeste	Pedra Paduana	RJ	1
	Ardósias Papagaio	MG	8
	Mármore e Granitos Cachoeiro de Itapemirim	ES	8
	Granitos Nova Venécia	ES	6
	Quartzitos São Thomé	MG	6
	Granitos Baixo Guandu	ES	4
	Granitos Medina	MG	4
	Granitos Candeias - Caldas	MG	16
	Granitos Bragança Paulista	SP	4
	Quartzitos e Pedra-Sabão Ouro Preto	MG	4
	Quartzitos Alpinópolis	MG	2
Região Centro-Oeste	Quartzitos Pirenópolis	GO	2
Região Sul	Basaltos Nova Prata	RS	7
	Ardósias Trombudo Central	SC	1
Região Nordeste	Travertinos Ouro-lândia	BA	2
	Granitos Teixeira de Freitas	BA	2
	Pedra Cariri	CE	2
	Pedra Morisca	PI	1
<b>Total</b>	<b>18 Aglomerações Produtivas de Rochas</b>	<b>10</b>	<b>80</b>

Fonte: Instituto Metas (2002).

Dentre regiões brasileiras, o sudeste é a que mais produz, já que nela estão alguns dos Estados que mais extraem rochas, como o Espírito Santo e Minas Gerais, juntos esses Estados são responsáveis por cerca de 62% da produção Nacional (TEIXEIRA et al, 2012).

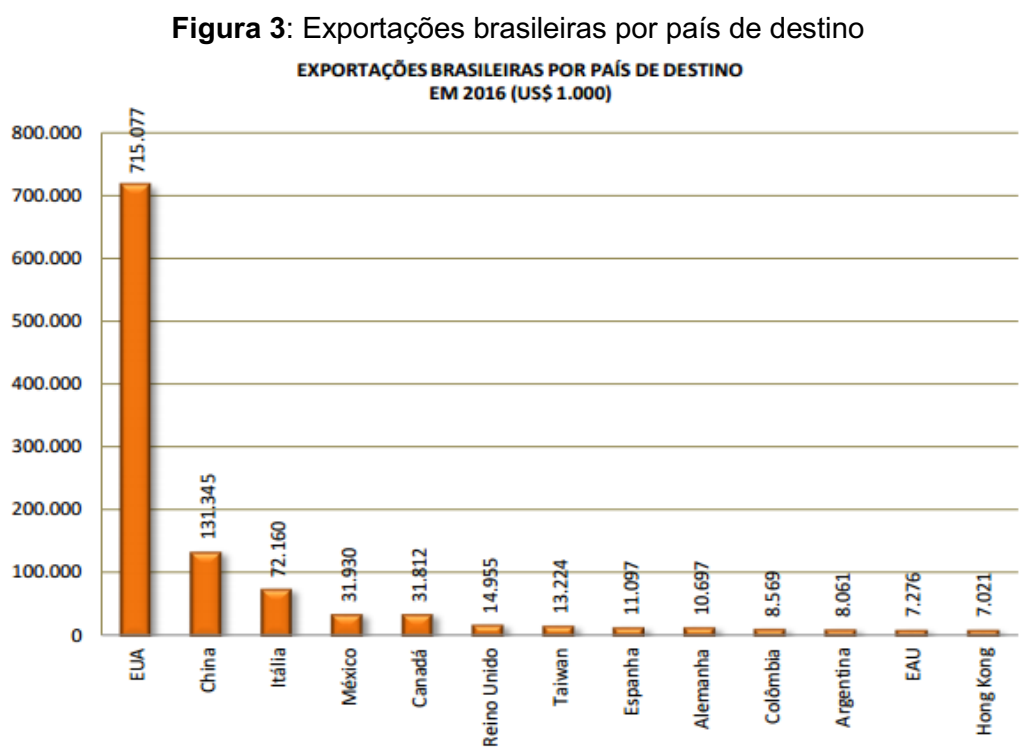
#### 4.5 Exportações de rochas ornamentais

As exportações brasileiras de produtos de rochas ornamentais e de revestimento fecharam o ano de 2016 com US\$ 1.138,3 milhões e 2,46 milhões t. Reproduzindo a mesma tendência de 2014 e 2015, estas exportações tiveram variação negativa no faturamento (-5,85%) e positiva no volume físico (+5,82%) (ABIROCHAS, 2016).

A participação de rochas processadas, no total do faturamento, recuou de 81,8% em 2015 para 80,2% em 2016. Em volume físico, essa participação recuou de 58,2% para 55,9% (ABIROCHAS, 2016).

O Brasil exportou rochas ornamentais para 120 países em 2016, novamente com maior destaque para EUA, China e Itália. Somadas, as vendas para esses três países, compuseram 80,6% do total das exportações brasileiras de rochas (ABIROCHAS, 2016).

A Figura 3 ilustra as exportações brasileiras por país de destino.



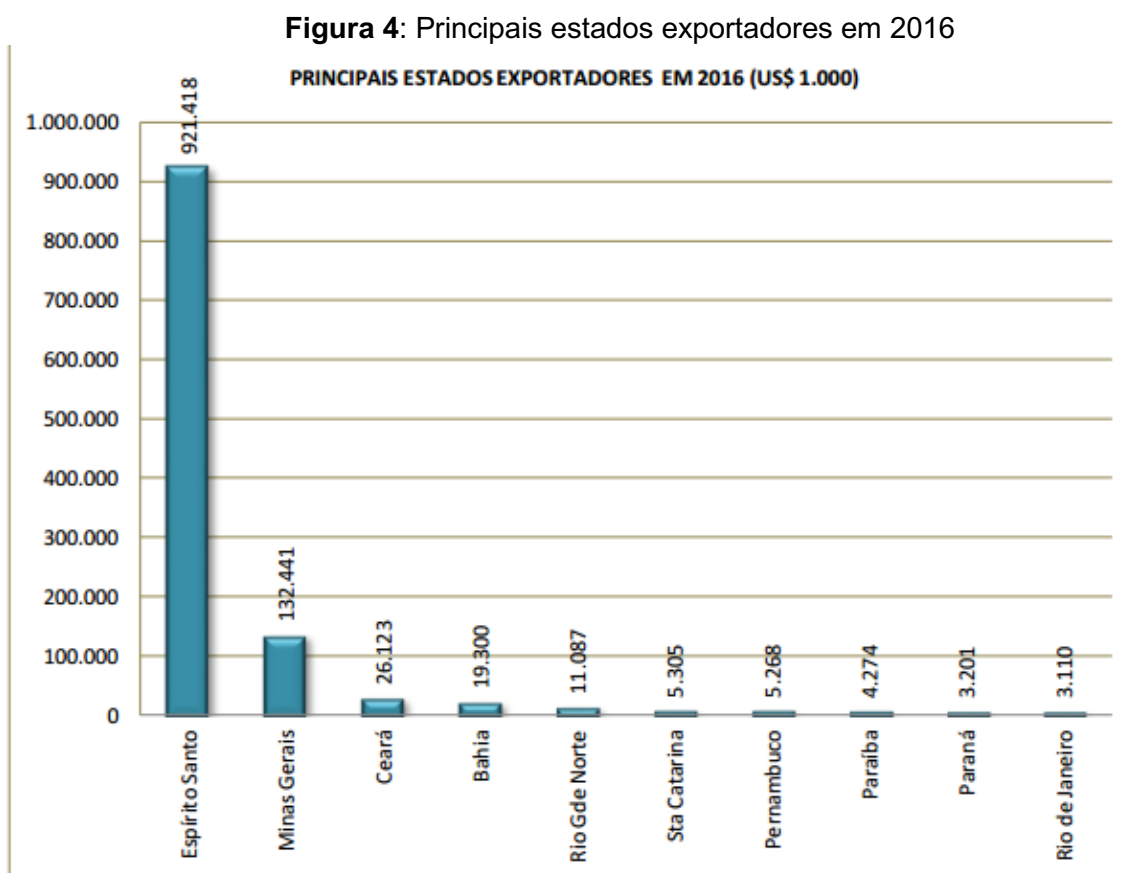
Fonte: ABIROCHAS (2016).



O Reino Unido é o principal destino das exportações brasileiras de ardósia, seguindo-se os EUA, Alemanha e Chile. Em vários dos destinos das exportações brasileiras de rochas, as ardósias constituem o primeiro ou segundo produto exportado, sendo comercializadas para 61 países em todos os continentes. Situação semelhante é observada para os produtos de quartzitos foliados (6801), vendidos para 32 países e que têm como principais destinos a Alemanha, Japão, Itália e França (ABIROCHAS, 2016).

Exportações de rochas ornamentais foram efetuadas por 18 estados brasileiros em 2016. Apenas os estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia, Ceará e Rio Grande do Norte efetuaram vendas superiores a US\$ 10 milhões. Com 1,8 milhões t e US\$ 921,4 milhões, destacou-se novamente o Espírito Santo, que respondeu por 75% do volume físico e 81% do total do faturamento das exportações brasileiras (ABIROCHAS, 2016).

A Figura 4 ilustra os principais estados exportadores de rochas ornamentais.



Fonte: ABIROCHAS (2016).

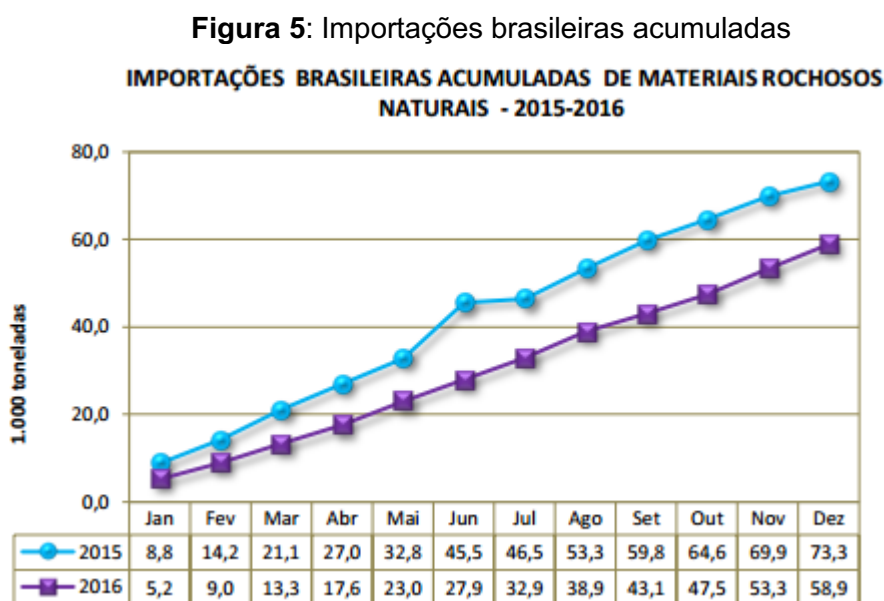
Conforme referido, as exportações brasileiras de rochas reproduziram, em 2016, o mesmo comportamento de 2014 e 2015, evidenciando recuo do faturamento e incremento relativo do volume físico comercializado. Esta tendência deverá persistir enquanto não for incrementada a comercialização de produtos acabados, com maior valor agregado, para o atendimento de obras (ABIROCHAS, 2016).

A queda das importações continua refletindo a retração da economia brasileira e do seu mercado imobiliário. Tal retração, como sempre acontece, provocou uma corrida dos produtores ao mercado externo e induziu uma queda de preço dos produtos comercializados (ABIROCHAS, 2016).

#### 4.6 Importações de rochas ornamentais

As importações brasileiras de materiais rochosos naturais somaram US\$ 31,9 milhões e 58,9 mil t em 2016, com variação negativa de respectivamente 24,6% e 19,7% frente a 2015.

A Figura 5 ilustra a evolução das importações brasileiras de 2015 e 2016 (ABIROCHAS, 2016).

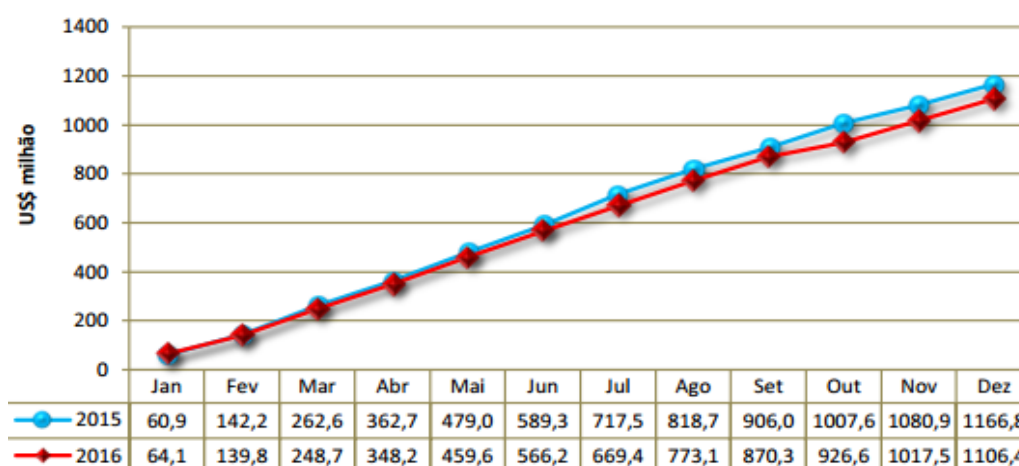


Fonte: ABIROCHAS (2016).

Os principais fornecedores de materiais naturais, para o Brasil, incluem Itália, Espanha, China, Grécia, Turquia, Indonésia e Portugal. Essas importações brasileiras envolvem principalmente rochas carbonáticas (mármore, travertinos e calcários), em produtos acabados e semiacabados. O Brasil importa materiais artificiais de 23 países, sendo China e Espanha os dois mais importantes. Apenas da China, as compras perfazem 82,6% do volume físico total importado, sendo 10,3% devidos à Espanha (ABIROCHAS, 2016).

A Figura 6 ilustra o saldo acumulado da balança comercial do setor de rochas ornamentais em 2015 e 2016.

**Figura 6:** Saldo acumulado da balança comercial do setor de rochas ornamentais em 2015 e 2016  
**SALDO ACUMULADO DA BALANÇA COMERCIAL DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM 2015 E 2016**



Fonte: ABIROCHAS (2016).

#### 4.7 Produção de Mármore

A etimologia da palavra mármore provém do grego marmairein ou do latim marmor e significa pedra de qualidade ou pedra branca; para os geólogos o mármore é exclusivamente uma rocha metamórfica cristalina e carbonatada, composta por cristais de calcite (mármore calcítico), ou dolomite (mármore dolomítico), resultante da recristalização de rochas calcárias ou dolomíticas, na maior parte de natureza sedimentar, previamente existentes (LOPES, 2007).

Um conceito comercial mais comum refere que o mármore é toda a rocha cristalina sedimentar ou metamórfica, carbonatada ou não, que apresentando um aspecto semelhante ao do mármore (stricto sensu), possa ser extraída em blocos, evidencie boas características para o corte e seja susceptível de adquirir bom polimento (LOPES, 2007).

A Tabela 2 apresenta a composição química em porcentagem de massa do mármore obtida por Felipe-Sesé et al. (2011) e Arrivabene (2008) comprovando a composição carbonática do mármore.

**Tabela 2:** Composição química em porcentagem de massa do mármore

<b>Composição</b>	<b>Felipe-Sesé et al. (2011)</b>	<b>Arrivabene (2008)</b>
<b>CaO</b>	55.3±0,01	38,00 a 49,80
<b>MgO</b>	1,25±0,01	3,60 a 13.60
<b>SiO<sub>2</sub></b>	0,93±0,01	0,20
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,36±0,01	0,06
<b>Outros</b>	0,16	1,54
<b>Perda ao Fogo</b>	42,0±0,01	44,60

Fonte: Almeida (2014).

Argilominerais (caulinita, illita, clorita, esmectita, etc.) e seus produtos metamórficos (sericita, muscovita, flogopita, biotita, tremolita, actinolita, diopsídio, etc.), constituem impurezas comuns tanto disseminadas quanto laminadas nas rochas carbonáticas (ALMEIDA, 2014).

Quartzo e sulfetos são acessórios frequentes, como cristais isolados ou em disseminações na matriz (ALMEIDA, 2014).

O padrão cromático dos mármore depende das impurezas dos seus carbonatos constituintes. Óxidos de ferro e manganês, por exemplo, podem misturar-se aos carbonatos nos mármore e outras rochas carbonáticas. Pode-se estabelecer um padrão de cores aos mármore, indo do clássico, com cores róseas e brancas, aos mais comuns, de cores bege e marrom. Matéria orgânica pode estar também finamente disseminada, conferindo cores marrons escuras e negras às rochas portadoras (ALMEIDA, 2014).

Os mármore mais categorizados são os de massa fina, tanto brancos quanto desenhados coloridos, muito apreciados para arte estatutuária e outras peças isoladas de acabamento e mobiliário (ALMEIDA, 2014).

#### **4.8 Resíduos de Mármore**

Segundo a norma técnica ABNT 10004:2004, “ Resíduos Sólidos – Classificação”, os resíduos nos estados sólidos e semi – sólidos, são os que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição além de certos efluentes com características inviáveis para lançamento na rede pública ou outros corpos de água.

Há menos de um século, os resíduos se tornaram um problema de ordem ambiental. Isto por que nos dias atuais se percebe que não há como tratar o lixo como problema relacionado ao direito de propriedade ou de vizinhança. Na realidade a problemática que gira em torno dos resíduos só pode ser reconhecida como de interesse difuso e internacional “cuja solução e encaminhamento dependem nossa sobrevivência na Terra, tomando proporções nunca antes vista” (LEMOS, 2012).

A população do planeta vem aumentando a passos largos, haja vista que ultrapassamos a marca dos sete bilhões, num crescimento de dois bilhões em apenas 25 anos. Um maior contingente populacional e a concentração em áreas urbanas resultam em ampliação na utilização dos serviços ecossistêmicos, cuja depleção ocorre tanto pela utilização para a produção e consumo, como pelos danos decorrentes do retorno dos resíduos à natureza, após sua utilização pelo homem (GODECKE, 2012).

Aspectos econômicos e culturais se associam à questão demográfica para acelerar o ritmo da deterioração dos recursos ambientais. A quantidade de resíduos sólidos produzidos pelas populações guarda relação não só com o nível de riqueza, refletido na capacidade econômica para consumir, mas também com os valores e hábitos de vida, determinantes do grau de disposição para a realização do consumo. É ilustrativa a comparação da cultura americana e japonesa: enquanto os primeiros geram cerca de dois quilogramas de

resíduos sólidos urbanos (RSU) por habitante ao dia, os japoneses, também de elevado poder aquisitivo, apresentam comportamentos que resultam numa geração significativamente menor, pouco superior a um quilograma. Os brasileiros, apesar de possuírem renda per capita significativamente menor, ficam próximos aos níveis japoneses (ABRELPE, 2008). Essa simples comparação sinaliza para o alinhamento cultural do Brasil com os maiores níveis de geração de resíduos, quando ponderada a capacidade financeira da sociedade para tal (GODECKE, 2012).

No Brasil, como em outros países em desenvolvimento, outros malefícios somam-se à questão ambiental, ocasionados por deficiências na gestão dos resíduos sólidos urbanos (GRU), como as doenças decorrentes da proliferação de vetores causadores de doenças e a emissão desnecessária de gases de efeito estufa, agravadores do aquecimento global (GODECKE, 2012).

O consumo sustentável passou a enfatizar ações coletivas e mudanças institucionais para a introdução de políticas multilaterais de regulação, tanto no tocante à produção como ao consumo. O meio ambiente deixou de ser relacionado apenas a uma questão de “como” usamos os recursos, para incluir o “quanto” o usamos (PORTILHO, 2003). Apesar da evolução na conscientização para os problemas ambientais, pesquisas de opinião como a Global Environmental Survey (GOES) concluem que existe um significativo distanciamento entre a consciência para o problema e as ações a nível individual. Os cidadãos se mostram verbalmente dispostos a fazer sua parte, mas não percebem a relação de causalidade entre a conduta individual e o problema a nível global. Apesar de segmentos importantes das várias populações consultadas acreditarem que o indivíduo pode fazer a diferença para ajudar o meio ambiente, esperam que os governos assumam a liderança, através de medidas regulatórias e rigorização da fiscalização ambiental (GODECKE, 2012).

A Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é bastante atual e contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao país no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos (SRHU).

Prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado) (SRHU).

Institui a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos: dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, o cidadão e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos na Logística Reversa dos resíduos e embalagens pós-consumo e pós-consumo (SRHU).

Cria metas importantes que irão contribuir para a eliminação dos lixões e institui instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microregional, intermunicipal e metropolitano e municipal; além de impor que os particulares elaborem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (SRHU).

Também coloca o Brasil em patamar de igualdade aos principais países desenvolvidos no que concerne ao marco legal e inova com a inclusão de catadoras e catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis, tanto na Logística Reversa quanto na Coleta Seletiva (SRHU).

Carneiro et al (2006), afirma que o gerenciamento de resíduos está intimamente associado ao desperdício de mão-de-obra e materiais na fase de execução dos empreendimentos e que somente um projeto de gerenciamento de resíduos de construção civil contribui com uma das ferramentas que pode minimizar na redução desses resíduos.

A mineração é uma atividade essencialmente destrutiva, com a qual o meio ambiente sofre degradação em favor do progresso da economia. As operações de mineração comumente envolvem o desmatamento e a destruição de habitats e da biodiversidade local. Além disso, extração e beneficiamento mineral podem levar à poluição ambiental. No entanto, o ser humano não pode desistir dos recursos minerais, usados como matérias-primas básicas para o seu desenvolvimento. Segundo Chauhan (2010), um meio ambiente preservado oferece segurança ecológica para a humanidade, porém pode levar ao não crescimento econômico e tecnológico. Todavia, é fundamental que as minerações realizem suas atividades com responsabilidade social e ambiental,

sempre considerando os princípios do desenvolvimento sustentável (FARIA&COELHO, 2002). Porém, são atividades com grandes problemas ambientais, já que produzem grandes quantidades de rejeitos devido às impurezas e alterabilidade dos minerais e às heterogeneidades da rocha (FABRI, 2012).

A exploração de rochas ornamentais é uma atividade extrativista onde as principais características são o processamento dos recursos naturais, o investimento de pouca tecnologia e a não exigência de uma escala mínima de produção (SPÍNOLA et al., 2004). Porém, são atividades com grandes problemas ambientais, já que produzem grandes quantidades de rejeitos devido às impurezas e alterabilidade dos minerais e às heterogeneidades da rocha (FABRI, 2012).

Nas diversas etapas de produção (nomeadamente, extração, corte, serragem e polimento dos blocos de pedra), as perdas podem ser da ordem de 30 a 40%. Atualmente, e em grande parte dos casos, não existe nenhuma preocupação com o meio ambiente, sendo o rejeito jogado diretamente em lagoas e rios, sem nenhum tratamento prévio, o que, apesar de as lamas de serragem não serem consideradas resíduo perigoso (classe I), constituem um sério problema ambiental (MORAES, 2006).

Para o uso das rochas ornamentais na construção civil, é necessário o seu desdobramento de blocos para chapas. Este processo é responsável pelo resíduo na forma de lama abrasiva. Esta lama é geralmente depositada num pátio, porém a quantidade produzida é significativa. Além disso, a polpa afeta a paisagem esteticamente, necessita-se de grande espaço para a sua estocagem, e o alto custo do recolhimento e armazenamento. Ressalta-se, ainda, que este resíduo (lama) quando seco constitui-se num pó fino que provoca danos a saúde humana (MORAES, 2006).

O processo industrial de beneficiamento de rochas ornamentais, envolvendo o desdobramento de blocos de rochas, o polimento das chapas brutas serradas e no corte nas dimensões dos materiais para comercialização envolve grandes quantidades de águas para a sua realização. A necessidade de água nessa etapa do processo industrial é muito grande, encontrando-se para uma única politriz de 20 cabeçotes, operando 24 horas/dia, valores de águas residuárias de até 576 m<sup>3</sup> /dia. No processo de corte das chapas polidas



são utilizadas máquinas cortadeiras, equipadas com discos de corte que funcionam com água para resfriamento, gerando, por conseguinte, também grande quantidade de águas residuárias (MORAES, 2006).

No processo de corte dos blocos de rochas, onde são utilizados teares com lâminas de aço, são lançados sobre as mesmas uma mistura de água, cal e granalha de ferro, com objetivo principal de lubrificá-las e aumentar seu poder de corte. Tal mistura é constantemente monitorada pelos operadores das máquinas, controlando-se assim a densidade da lama, a concentração e capacidade de corte da granalha, dosando quando necessário os ingredientes para se manter uma boa qualidade da mistura. Com isso, tornam-se necessárias descargas periódicas do excesso da lama, principalmente devido ao acréscimo do material removido dos blocos de rocha (MORAES, 2006).

Muitos pesquisadores se empenham em desenvolver novas tecnologias para a reutilização dos resíduos na produção de produtos, sempre com a preocupação de que os mesmos não perdessem suas características e também que durante a fabricação não produzam maiores gastos energéticos. Outros se empenharam em diminuir parte do consumo de matéria-prima natural e não renovável, incorporando resíduos de rocha em sua composição (ALMEIDA, 2014).

Com a rigidez das leis governamentais que protegem o meio ambiente, as empresas produtoras de rochas ornamentais foram obrigadas a dar um destino mais apropriado para os resíduos formados durante o processo de beneficiamento das rochas (ALMEIDA, 2014).

O uso desses materiais como matéria-prima em outros processos produtivos pode transformar resíduos em subprodutos úteis diminuindo as grandes quantidades que são depositadas em aterros e contribuindo com a minimização dos impactos ambientais (MANHÃES & HOLANDA, 2008).

Baken et al. (2000) e Van Straaten (2007) comprovam haver também a possibilidade de aplicação de resíduos oriundos do corte de mármore no setor agrícola para a correção do pH do solo, podendo também utilizar resíduos de granitos na fertilização de solos graças à libertação de potássio.

Saboya et al. (2007) mostram que a inclusão de 15-20% de pó de mármore no material cerâmico vermelho, em bruto, pode ser considerada a melhor proporção para alcançar as melhores características do tijolo cerâmico.

Souza et al. (2009) demonstram que a aplicação de resíduos oriundos do corte do mármore no setor de polímeros gerou resultado que indicam a possibilidade da utilização destes como carga no processamento de compósitos à base de polipropileno.

#### 4.9 Caracterização do resíduo do corte de granito e mármore

O conhecimento das características químicas é de fundamental importância para o conhecimento do resíduo e avaliação do desempenho da aplicação em que este foi utilizado (GOLÇALVES, 2000).

Mehta (1999) caracterizou o resíduo gerado na etapa de fracionamento de chapas de mármore e granito.

A Tabela 3 apresenta a caracterização química de amostras de RCGM estudadas por diferentes autores.

**Tabela 3:** Caracterização química de amostras de RCGM

Teor (%)	Calmon <i>et al.</i> (1997)	Gonçalves (2000)	Moreira <i>et al.</i> (2003)
SiO <sub>2</sub>	59,95	59,62	65,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,05	9,49	7,89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,28	12,77	12,84
CaO	6,51	4,83	3,01
MgO	3,25	1,96	1,47
K <sub>2</sub> O	4,48	5,30	4,19
TiO <sub>2</sub>	0,92	---	0,93
SO <sub>3</sub>	---	0,03	---
Na <sub>2</sub> O	3,39	2,72	2,39
Perda ao Fogo	4,74	1,92	1,33

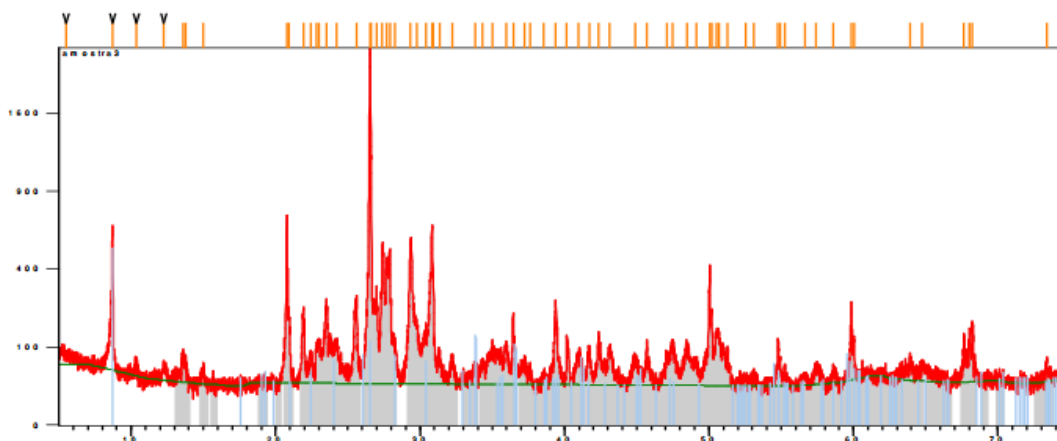
Fonte: Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil.

Verifica-se a similaridade na composição química dos diversos resíduos apresentados, os quais apresentam um alto teor de SiO<sub>2</sub>+ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, o que conferiria um potencial pozolânico para o material em estudo no caso deste ser reativo. Entretanto, a caracterização mineralógica apresentada por Moreira et

al. (2003); Gonçalves (2000) demonstra que o RCG apresenta-se como um material cristalino, não reativo.

A Figura 7 ilustra o difratograma de raios-x do RCMG realizado por Mehta (1999).

**Figura 7:** Difratograma de Raio-X de amostras de RCGM



A Tabela 4 apresenta os minerais presentes na difração de raio-x

**Tabela 4:** Minerais presentes na difração de Raio-X

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
00-005-0490	Quartz, low	Si O <sub>2</sub>
01-072-1937	Calcite	Ca C O <sub>3</sub>
00-019-0932	Microcline, intermediate	K Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
01-089-6429	Albite (heat-treated)	Na ( Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )

Quanto à caracterização física, Gonçalves (2000) e Calmon et al. (1997) apresentam, respectivamente, uma massa específica do resíduo de 2,78g/cm<sup>3</sup> e 2,67g/cm<sup>3</sup>. Na caracterização granulométrica, Calmon et al. constataram que o RCG é constituído por partículas irregulares e diâmetro variável dos grãos, na faixa de 0,8µm a 25µm. Já Gonçalves (2000), buscando uma granulometria ótima para viabilizar a utilização do RCG como adição em concretos, realizou a

moagem de amostras do resíduo em diferentes tempos, chegando a diâmetros na faixa de 3,92µm a 6,74µm (MEHTA, 1999).

Quanto à caracterização ambiental, ensaios de lixiviação e solubilização demonstrados por Gonçalves (2000) apontam a solubilização de fluoreto em uma concentração superior ao limite definido pela NBR 10.004 (1987), o que classifica este resíduo – pela nova classificação da NBR 10.004 (2004) – como classe II-a (não inerte) (MEHTA, 1999).

#### **4.10 Uso do resíduo do mármore na construção civil**

Dentre os impactos ambientais causados pelas atividades econômicas desenvolvidas numa sociedade, a geração de resíduos sólidos está presente, em maior ou menor escala, na maioria das situações. Na atividade industrial em especial, a geração de resíduos sólidos é uma medida de ineficiência ou de desperdício no processo produtivo, pois um resíduo é gerado quando uma matéria-prima ou um insumo utilizado na produção não se converteu em produto final na atividade produtiva de uma organização ou quando sua geração é inerente a este processo (MENEZES, 2002).

Assim, conceitos de sustentabilidade são aplicados rotineiramente nas indústrias como forma de minimizar os impactos ambientais causados pela geração de resíduos sólidos por suas atividades e com isto reduzir seus custos de produção e tornar suas atividades ambientalmente mais sustentáveis. Geralmente estes impactos são adversos e implicam em danos ao meio ambiente quando não são gerenciados adequadamente (MENEZES, 2002).

Um conceito de sustentabilidade muito aplicado visando o gerenciamento dos resíduos sólidos é o conceito dos 3 R's que tange tanto a área ambiental quanto a econômica e a social. O significado dos 3 R's é "Reduzir, Reutilizar e Reciclar."

- Reduzir ajuda a acabar com desperdícios e representa o fato de usar e tirar da natureza somente o necessário. Além da diminuição de resíduos e da economia dos recursos naturais, reduzir significa também economia de dinheiro.

- Reutilizar é o 2º passo dos 3 R's e orienta a necessidade de buscar novas utilidades para materiais que supostamente não seriam mais úteis.
- Reciclar é a transformação física e química de um produto, ou seja, o formato físico e suas características químicas são alterados para a confecção de um novo produto. Isso elimina a necessidade de extrair novos recursos naturais, usa a matéria-prima que já foi gerada e aumenta a vida útil dos aterros sanitários

Nos últimos anos, a pesquisa sobre a reciclagem de resíduos industriais vem sendo intensificada em todo o mundo. Na América do Norte e Europa, a reciclagem é vista, pela iniciativa privada, como um mercado altamente rentável. Muitas empresas investem em pesquisa e tecnologia, o que aumenta a qualidade do produto reciclado e propicia maior eficiência do sistema produtivo. Paralelamente, a reciclagem de resíduos urbanos ganha evidência, em virtude do crescente volume de rejeitos sólidos e da indisponibilidade cada dia maior de locais para descarte desse material, em particular em grandes centros urbanos, com elevada densidade demográfica (MENEZES, 2002).

No Brasil, diversos pesquisadores têm-se dedicado ao estudo desse tema, obtendo-se resultados bastante relevantes; todavia, a reciclagem ainda não faz parte da cultura dos empresários e cidadãos. A reciclagem de resíduos industriais ainda possui índices insignificantes frente ao montante produzido e, a cada dia, os rejeitos urbanos agridem mais o meio ambiente, em virtude da falta de tratamentos adequados e fiscalização sobre a manipulação e descarte desses rejeitos (MENEZES, 2002).

Em relação à reciclagem de resíduos industriais minerais, a indústria cerâmica tem grande destaque por possuir um alto volume de produção, beneficiando o grande consumo de resíduos (COLLATTO & BERGMANN, 2009). Esses resíduos são incorporados especialmente em produtos cerâmicos como tijolos, blocos e pisos, substituindo parte da matéria prima tirada diretamente da natureza e utilizada no processo de confecção desses materiais, por resíduos que contém propriedades químicas e mineralógicas, que, adicionados em quantidades apropriadas, beneficiam a produção desses produtos cerâmicos (MANHÃES & HOLANDA, 2008).

No Estado do Espírito Santo, onde se concentra a maior parte das indústrias de extração e de beneficiamento de rochas ornamentais e de revestimentos e são produzidas enormes quantidades de resíduos, várias providências foram tomadas pela Associação Ambiental Monte Líbano (AAMOL), representada por aproximadamente 80 empresas da região de Cachoeiro de Itapemirim. Nesta associação participam também órgãos governamentais, tendo por objetivo pesquisar e dar finalidade aos resíduos produzidos no que se refere à sustentabilidade da Indústria da Pedra. Dados de Silva (2011) e Freire, Castro e Vidal (2013) indicam que a AAMOL recebe mensalmente cerca de 15.000 toneladas desses resíduos no aterro. Dentre outras iniciativas, destaca-se a construção de fábrica de argamassa e de artefatos de cimento para bloquetes de pavimentação, meio fio e tijolos.

O uso desses materiais como matéria-prima em outros processos produtivos pode transformar resíduos em subprodutos úteis diminuindo as grandes quantidades que são depositadas em aterros e contribuindo com a minimização dos impactos ambientais (MANHÃES & HOLANDA, 2008).

#### **4.11 Argamassa**

Mistura homogênea de agregados(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânicos e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada) (NBR 13281:2005).

Acredita-se que a argamassa surgiu na Pérsia antiga, onde usava-se alvenaria de tijolos secos ao sol, com assentamento de argamassas de cal. Seu desenvolvimento como sistema construtivo, entretanto, ocorreu em Roma. Durante o Império Romano surgiu a idéia de misturar um material aglomerante, a pozolana (cinzas vulcânicas), com materiais inertes, dando origem às primeiras argamassas. Portanto, há mais de 2000 anos, este material vem sendo utilizado tanto para pavimentar as edificações, bem como para unir e revestir os blocos que formam as paredes e os muros das mesmas (OLIVEIRA, 2004).

No Brasil, a argamassa passou a ser utilizada no primeiro século de nossa colonização, para assentamento de alvenaria de pedra (largamente utilizada na época). A cal (aglomerante) que constituía tal argamassa era obtida através da queima de conchas e mariscos. O óleo de baleia era também muito utilizado como aglomerante, no preparo de argamassas para assentamento (LABCON, 2003).

O estudo de argamassas de assentamento assume uma grande importância de forma a minimizar algumas patologias correntes em alvenarias. As argamassas de assentamento representam cerca de 2 a 16 % do volume total de alvenaria, mas têm uma influência no desempenho da mesma muito mais acentuada do que esta percentagem possa indicar (PEREIRA, 2010).

É importante o estudo de argamassas segundo a óptica de desempenho, sendo daí que advém a escolha da argamassa adequada para os trabalhos de execução de alvenaria. As principais funções que as argamassas de assentamento desempenham na alvenaria são: unir as unidades de alvenaria; resistir a esforços mecânicos; distribuir as cargas uniformemente e absorver as deformações da parede de alvenaria. Para tal devem apresentar um conjunto de características das quais se salientam: capacidade de aderência, capacidade de resistir a esforços mecânicos, capacidade de distribuição de cargas, capacidade de absorver deformações, durabilidade e eficiência do ponto de vista da produção, racionalização e economia (PEREIRA, 2010).

#### **4.11.1 Argamassa 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

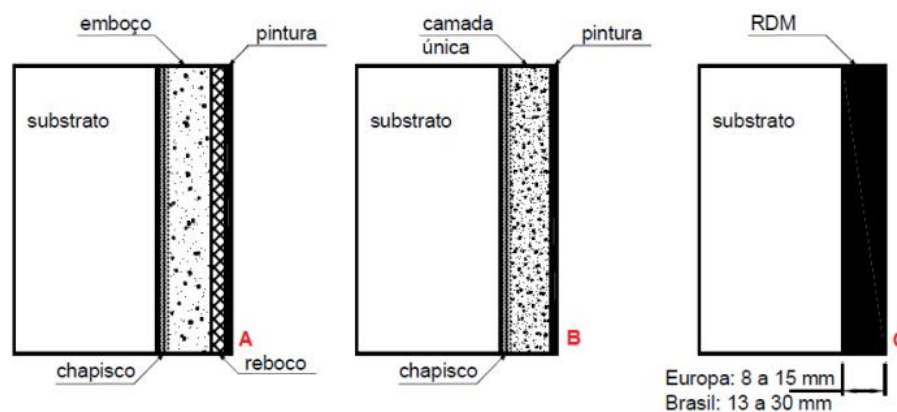
secagem (origem higroscópica) a que a alvenaria estiver sujeita (CARASEK, 2007).

#### 4.11.2 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 8 ilustra tipos de argamassa de revestimento.

**Figura 8:** Tipos de revestimento, a) Revestimento com várias camadas (chapisco, emboço e reboco), b) Revestimento com camada única, c) Revestimento decorativo monocamada (RDM)



Fonte: Carasek (2007), com adaptações de Apolinário (2014).

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).

## **4.12 Propriedades de cimento e agregados utilizados em argamassas**

### **4.12.1 Cimento**

O cimento portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido a ação da água, o cimento portland não se decompõe mais (ABCP, 2002).

O cimento portland, misturado com água e outros materiais de construção, tais como a areia, a pedra britada, o pó-de-pedra, a cal e outros, resulta nos concretos e nas argamassas usadas na construção de casas, edifícios, pontes, barragens etc (ABCP, 2002).

As características e propriedades desses concretos e argamassas vão depender da qualidade e proporções dos materiais com que são compostos.

Dentre eles, entretanto, o cimento é o mais ativo, do ponto de vista químico. Pode-se dizer que o cimento é o principal responsável pela transformação da mistura dos materiais componentes dos concretos e das argamassas no produto final desejado (uma laje, uma viga, um revestimento etc.) (ABCP, 2002).

Por definição, é um “aglomerante hidráulico resultante da mistura homogênea de clínquer Portland, gesso e adições normatizadas finamente moídas” (MARTINS et al., 2008).

Aglomerante porque tem a propriedade de unir outros materiais. Hidráulico porque reage (hidrata) ao se misturar com água e depois de endurecido ganha características de rocha artificial, mantendo suas propriedades, principalmente se permanecer imerso em água por aproximadamente sete dias (MARTINS et al., 2008).

#### **4.12.2 Agregados miúdo**

A NBR 7211 (ABNT, 2005) define o agregado miúdo como agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 0,15mm. Ainda segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005) o agregado deve ser composto por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias deletérias.

Os agregados são materiais granulares sem forma e volume definidos, geralmente inertes e com dimensões e propriedades adequadas para o uso na construção civil (PETRUCCI, 1982). Para poder ser utilizado o agregado deve ter uma boa resistência mecânica à compressão e abrasão e uma boa durabilidade, apresentando boa resistência a elementos agressivos, além de não possuir substâncias deletérias. Para Neville (1982) estas substâncias podem ser impurezas que interferem no processo de hidratação do cimento, substâncias que cobrem a superfície do agregado impedindo uma boa aderência com a pasta de cimento e partículas fracas e friáveis que podem alterar a resistência e a característica de concretos e argamassas.

A especificação dos limites granulométricos do agregado miúdo, assim como o conhecimento da sua dimensão máxima e do seu módulo de finura são de extrema importância, pois estas características influenciam na trabalhabilidade e no custo do concreto ou argamassa (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Além disso, areias muito grossa produzem misturas pouco trabalháveis e areias muito finas aumentam a demanda de água para a hidratação do cimento (MEIER, 2011).

Uma grande quantidade de material pulverulento como, por exemplo, o silte e pó fino, prejudicam a hidratação do cimento pois devido a sua finura e grande área superficial necessitam de mais água para molhagem de todas as partículas aumentando consecutivamente a relação água/cimento e diminuindo a resistência do concreto (NEVILLE, 1982).

Outro aspecto importante do conhecimento da composição granulométrica do agregado se deve a grande influência na qualidade das argamassas e concretos, especialmente na compactação e na resistência a esforços mecânicos (BASÍLIO, 1995).

#### **4.12.3 Água**

A água é um ingrediente essencial na argamassa e possui duas funções primordiais: possibilitar a trabalhabilidade da mistura e combinar quimicamente os aglomerantes, proporcionando endurecimento e resistência (CARASEK, 1996). 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).

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 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;

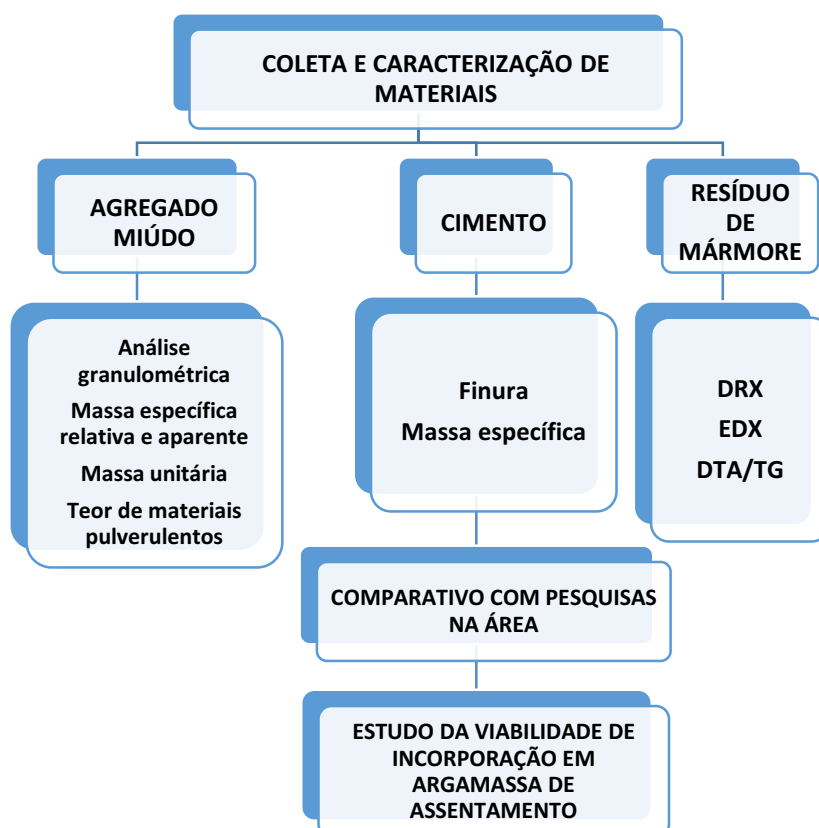
Água: destinada ao consumo humano fornecido pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA);

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

### 5.2 Metodologia

A Figura 9 ilustra o fluxograma das etapas do projeto.

**Figura 9:** Fluxograma das etapas da pesquisa



### 5.2.1 PRIMEIRA ETAPA: Seleção de materiais

Nesta etapa foram selecionados os materiais a serem utilizados para o desenvolvimento deste projeto.

### 5.2.2 SEGUNDA ETAPA:

*Caracterização física dos agregados e do cimento e caracterização física, química e mineralógica do resíduo.*

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

#### 5.2.2.1 *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 porcentual de material passando na peneira em questão versus logaritmo do diâmetro da abertura da peneira.

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

#### 5.2.2.2 *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 será realizado seguindo a norma DNER – ME 085/1994.

### *5.2.2.3 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 será realizado com o agregado miúdo segundo o método de ensaio ABNT NBR 7251 (ABNT, 1982).

### *5.2.2.4 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, 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).

### *5.2.2.5 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.

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

As análises térmicas diferenciais (DTA) e termogravimétricas (TG) de resíduo de mármore em pó 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.

#### *5.2.2.7 Difração de Raios-X*

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 $\theta$  < 30 $^\circ$  e  $\lambda$ 1,54 $^\circ$ .

#### *5.2.2.8 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 $^\circ$  200 (abertura de 0,074mm) e o ensaio realizar-se-á em equipamento EDX 720 da Shimadzu.

5.2.3 QUARTA ETAPA: Estudo da viabilidade de utilização do resíduo de mármore como insumo em argamassa de assentamento.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Caracterização química, física e mineralógica

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para a caracterização química por fluorescência de raios-X do resíduo de mármore.

**Tabela 5:** Caracterização química por fluorescência de raios-X do resíduo de mármore em pó

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.

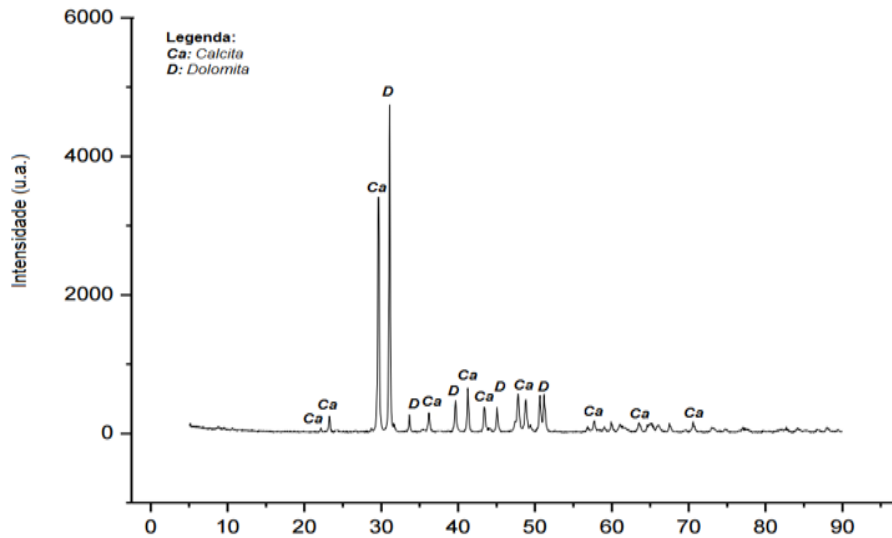
De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5, verifica-se que o resíduo de pó de mármore apresenta em sua composição majoritária CaO (51%), MgO (10%) e SiO<sub>2</sub> (2%). Verifica-se, que este resíduo apresenta composição característica de um material calcário dolomítico, exibindo teor de 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 do resíduo de mármore de 34% correspondente à liberação do 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%). Através do ensaio de análise química ele verificou que o resíduo de mármore apresenta em maiores proporções os elementos Ca (60,47%), O (26,00%) e Mg (12,62%). Em menores concentrações aparecem outros elementos, como o Al (0,48%) e o Si (0,43%).



A Figura 10 ilustra o difratograma de raios-X do resíduo de mármore em pó.

**Figura 10:** Difratograma de raios-X do resíduo de mármore em pó

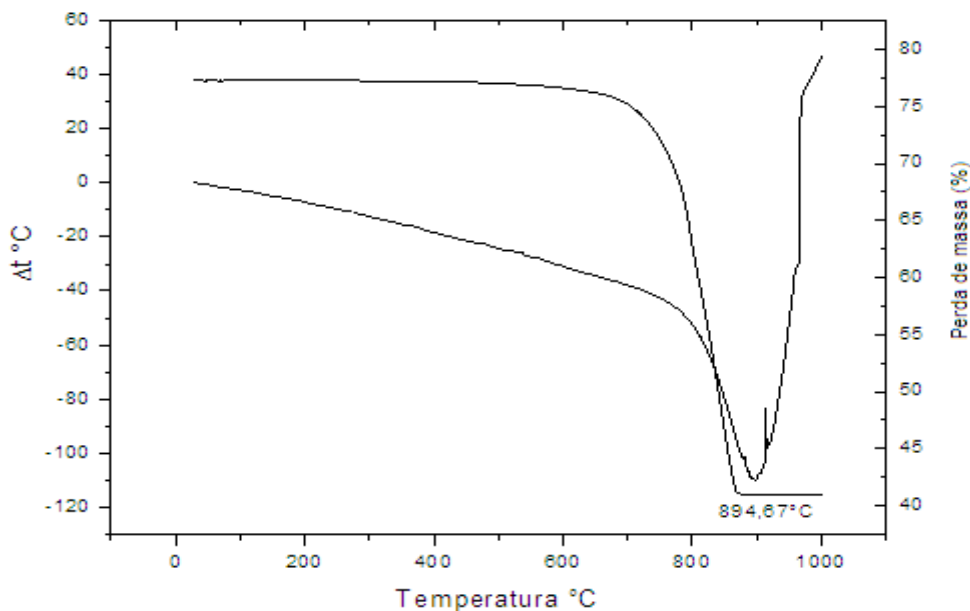


De acordo com os resultados obtidos para o Difratograma de raios-X do resíduo de mármore em pó, verificam-se as seguintes fases mineralógicas: Calcita e Dolomita, principais constituintes das rochas carbonáticas.

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.

A Figura 11 ilustra as curvas de análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo de mármore em pó.

**Figura 11:** Análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo de mármore.



De acordo com a Figura 11, 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.

A Tabela 6 apresenta a composição granulométrica de resíduo de mármore em pó.

**Tabela 6:** Composição granulométrica de resíduo de mármore em pó

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

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

## 6.2 Caracterização Mecânica

### 6.2.1 Ensaio de resistência a compressão simples

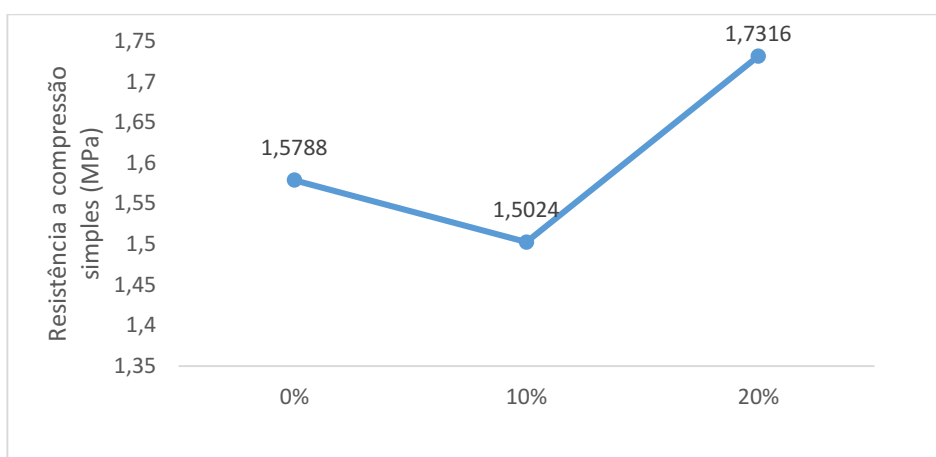
A Tabela 7 apresenta os resultados do ensaio de resistência a compressão simples para argamassa produzida com substituição de agregado miúdo por 10% e 20% de mármore em pó na idade de 28 dias.

**Tabela 7:** Resistência a compressão simples para argamassa incorporada com resíduo de mármore em pó aos 28 dias

Amostras	0%	10%	20%
Amostra 1 (Kg)	310	300	340
Amostra 2 (Kg)	310	290	340
Média (Kg)	310	295	340
Resistência (MPa)	1,5788	1,5024	1,7316

A Figura 12 ilustra a resistência a compressão simples dos corpos de prova aos 28 dias para a incorporação de 10% e 20% de resíduo de mármore.

**Figura 12:** Resistência a compressão simples aos 28 dias para corpos de prova incorporados com 10% e 20% de resíduo de mármore



Fonte: autoria própria.

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a substituição do agregado miúdo por resíduo de mármore em pó ocasionou a redução da sua resistência para a incorporação de 10% de resíduo de mármore, e aumento da mesma para a incorporação de 20%. Assim, em questões de resistência, o resíduo de mármore em pó é viável para a substituição de 20% do agregado miúdo.

Na pesquisa realizada por Moura et al. (2002), com argamassas de revestimento de traço 1:6 (cimento : areia), houve a substituição da areia pelo RCMG, em proporções de 5% e 10% em relação à massa da areia, observando-se o aumento de resistência em todas as idades estudadas, principalmente na substituição de 10% da areia, onde houve o melhor resultado.

Apolinário et al. (2012) estudou sobre o efeito da adição de corte de mármore e granito e observou que o RCMG age como filler, devido a sua alta finura e por possuir maior área superficial, preenche os poros capilares, reduz a permeabilidade e aumenta a aderência e a resistência das argamassas.

## 7. CONCLUSÕES

O resíduo do mármore apresenta uma composição química semelhante a matérias-primas convencionais utilizadas na construção civil de concretos e argamassas.

Com relação aos resultados obtidos para o ensaio de resistência a compressão simples, constatou-se que a substituição de 20% do agregado miúdo por resíduo de mármore gera um aumento da sua resistência com relação à amostra de referência. Com isso, tem-se a diminuição do custo na produção da argamassa.

Quanto as fases mineralógicas presentes, verificou-se que a calcita e a dolomita são fases características de rochas carbonáticas e estas fazem parte das fases existentes no cimento Portland.

Considerando-se os resultados obtidos para as análises termodiferencial e termogravimétrica, observa-se que o comportamento do resíduo mármore em pó, frente a elevações de temperatura não compromete sua utilização na construção civil, especialmente em composições para produção do concreto e argamassas.

Sendo assim, pode-se afirmar que existe a viabilidade da utilização do resíduo de mármore como substituto parcial do agregado miúdo, gerando uma economia na produção da argamassa, evitando o descarte inadequado do resíduo e minimizando os impactos ambientais gerados pelo descarte no meio ambiente.

## **8. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

- Avaliar a possibilidade de utilização do resíduo de mármore como substituto parcial do cimento;
- Analisar a viabilidade da utilização do resíduo de mármore como substituto parcial ao agregado miúdo em argamassa em percentagem superior a 20%;

## REFERÊNCIAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, 2002.  
Disponível em: [http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106\\_2003.pdf](http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf).

ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. São Paulo, 2002.

ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. “ **Balço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2016**”. (2016)

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. “**O setor de rochas ornamentais frente ao novo marco regulatório da mineração brasileira**”. (2013)

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1982) NBR. **Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1987) NBR 7217. **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1987) NBR 9776. **Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1987) NBR. **Agregados: Determinação do teor de materiais pulverulentos**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) NBR 13281. **Argamassa para assentamento e revestimento**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) NBR 7211. **Agregado para concreto**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2012) NBR. **Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 (200)**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1995. Catálogo ABNT. Rio de Janeiro.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Classificação de Resíduos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

Acesso em: 12/07/2017

Acesso em: 12/07/2017.

ALMEIDA, T. F. **Reaproveitamento de resíduo de pó de mármore e chamote na produção de material cerâmico para isolamento térmica**. Rio de Janeiro: UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO, 2014. Tese de mestrado.

APOLINÁRIO, E. C. A. **Influencia da adição do resíduo proveniente do corte de mármore e granito nas propriedades de argamassas de cimento Portland**. Bahia: Universidade Federal da Bahia. 2014.

BAUER, E. **Revestimento de argamassa: características e peculiaridades**. Brasília: LEM-UnB, Sinduscon, 2005.

CARASEK, H. Argamassas. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Ed. G. C. Isaia. - São Paulo: IBRACON, 2007.

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. **“O setor de rochas ornamentais no Brasil”**. Rio de Janeiro. 2014.

CHIODI FILHO, Cid. **Balço das exportações e importações de rochas ornamentais e de revestimento em 2012**. ABIROCHAS. 2013.

CHIODI FILHO, Cid. **Guia de aplicação de rochas em revestimento**. ABIROCHAS. 2009.

CHIODI FILHO, Cid. **O setor de rochas ornamentais no Brasil**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral. 2014.

Cia de cimento Itambé. Curitiba, 2010. Disponível em: <https://www.unochapeco.edu.br/static/data/portal/downloads/1276.pdf>

Acesso em: 09/02/2017.



DNER-ME – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994)  
ME 085. **Material finamente pulverizado: determinação da massa específica real.**

FABRI, E. S. **Exploração de rochas ornamentais e meio ambiente.** Paraná: Universidade Federal do Paraná. 2012.

FERRARI, C. **Cartilha de aplicação de rochas ornamentais.** SENAI. 2011. Disponível em: <http://www.sigmadobrasil.com.br/noticia-cartilha-de-aplicacao-de-rochas-ornamentais.php>.

Acesso em: 15/07/2017.

GODECKE, Marcos Vinicius. **O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil.** Rio Grande do Sul: FEEVALE. 2013

GRILLO, K. V. F. **Análise comparativa da aderência de tipos rochosos assentados com três argamassas,** São Carlos: Universidade de São Paulo, 2010. Dissertação de Mestrado.

IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto. **Argamassas.** Goiás: Universidade Federal de Goiás. Disponível em: [http://transportes.ime.eb.br/~moniz/matconst2/argamassa\\_ibracon\\_cap26\\_apresentacao.pdf](http://transportes.ime.eb.br/~moniz/matconst2/argamassa_ibracon_cap26_apresentacao.pdf)

Acesso em: 09/02/2017.

IDEIES – Instituto de Desenvolvimento Educacional e Industrial do Espírito Santo. **Análise de competitividade da indústria de rochas ornamentais do Estado do Espírito Santo.** Espírito Santo. 2015.

MANHAES, J. P. V. T; HOLANDA, J. N. F de. **Caracterização e classificação de resíduo sólido "pó de rocha granítica" gerado na indústria de rochas ornamentais.** Quím. Nova, São Paulo, 2008.

MEIER, D. **Análise da qualidade do agregado miúdo fornecido em Curitiba e Região Metropolitana.** Paraná: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2011.

MENEZES, R. G. **Rochas Ornamentais e de Revestimento: Conceitos, tipos e caracterização tecnológica,** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. Aperfeiçoamento Tecnológico.

MENEZES, U. **As práticas de inovação tecnológica orientadas para o desenvolvimento sustentável das indústrias químicas e o seu**

**desempenho.** Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002.

MME – Ministério de Minas e Energia. 2009. Relatório técnico 33.  
MONUMENTOS 27, DOSSIÊ. **O triangulo do mármore.**

MORAES, I. V. M. **Mármore e granito: Lavra, beneficiamento e tratamento de resíduos.** Rio de Janeiro: Rede de tecnologia do Rio de Janeiro. Dossiê técnico. 2006.

NOGAMI, L. **Investigação da influência das características petrográficas e da rugosidade de placas de “granitos e mármore” fixadas com argamassas.** São Paulo: Universidade de São Paulo. 2013. Tese de Doutorado.

OLIVEIRA, C. A. S. **Comportamento físico e avaliação microestrutural de argamassas produzidas a partir da mistura exaurida gerada na indústria de magnésio metálico.** Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais. 2004.

Paula, p. R. F. **Utilização dos resíduos da construção civil na produção de blocos de argamassa sem função estrutural.** Pernambuco: Universidade Católica de Pernambuco. 2010. Tese de mestrado.

PAULA, P. **Utilização dos resíduos da construção civil na produção de blocos de argamassa sem função estrutural.** Pernambunco: Universidade Católica de Pernambuco. 2010.

PEREIRA, M. F. P. **Caracterização de argamassas para assentamento de alvenaria de tijolo.** Portugal: Universidade do Minho. 2009.

RUSSO, M. L. C. **Reciclagem de Resíduo Gerado na Extração de Quartzito.** Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais. 2011. Tese de Pós-graduação.

SENAI. Cartilha de aplicação de Rochas Ornamentais. 2013.

SRHU – Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental. **Resíduos Sólidos.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/a3p/eixos-tematicos/gest%C3%A3o-adequada-dos-res%C3%ADduos>.

TEIXEIRA, A. F. N; MELO, L. B; OLIVEIRA, N. S. M. **Rochas ornamentais: o desenvolvimento economico e suas relações com a**

**sociedade brasileira e norte-riograndense.** Rio Grande do Norte. 2012.  
Congresso.