



LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANDRÉ MEDEIROS GUEDES

**UTILIZAÇÃO DE CONCRETO SEM FINS ESTRUTURAIS COM RESÍDUOS DO
PROCESSO DE CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS PARA AMBIENTES
RURAIS E URBANOS**

NATAL-RN

2019

ANDRÉ MEDEIROS GUEDES

**UTILIZAÇÃO DE CONCRETO SEM FINS ESTRUTURAIS COM RESÍDUOS DO
PROCESSO DE CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS PARA AMBIENTES
RURAIS E URBANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

NATAL-RN

2019

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN

Setor de Processos Técnicos

Guedes, André Medeiros.

Utilização de concreto sem fins estruturais com resíduos do processo de corte de rochas ornamentais para ambientes rurais e urbanos. / André Medeiros Guedes. – Natal, 2019.

61f.

Orientador: Profº. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Engenharia civil – Monografia. 2. Concreto – Monografia. 3. Resíduos de mármore – Monografia. 4. Agregado miúdo – Monografia. 5. Sustentabilidade – Monografia. I. Pereira, Fábio Sérgio da Costa. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

ANDRÉ MEDEIROS GUEDES

**UTILIZAÇÃO DE CONCRETO SEM FINS ESTRUTURAIS COM RESÍDUOS DO
PROCESSO DE CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS PARA AMBIENTES
RURAIS E URBANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD. Fabio Sérgio da Costa Pereira

Orientador

Prof. MSc. Tomás Barros Vasconcelos

Membro avaliador interno

Profa. MSc. Anna Luiza Nobre

Membro avaliador externo

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus que me permitiu alcançar mais um objetivo com muita luta e dedicação. Temos que ter objetivo e fé para crer que ele dará certo mesmo quando tudo e todos apontam o contrário. Dedico um agradecimento especial a minha família: meu pai Gustavo Henrique, minha mãe Maria Tereza e minha irmã Maria Fernanda. A família é a fundação de qualquer ser humano e por trás de todo grande ser humano há uma fundação maior ainda, a qual jamais permitirá que você desmorone em tempos difíceis. Não importa o que acontecer ou o que o mundo acha de você, ela jamais te abandonará. Meu pai, sinônimo de fortaleza e resistência, é meu maior exemplo de homem; jamais perdeu a fé ou a esperança em sua vida e principalmente em seus filhos. Ele que assumia o controle, mesmo que silenciosamente, quando as coisas não pareciam ter mais jeito. Com poucas palavras me mostrou o que é o respeito, a dignidade e responsabilidade, assim como minha mãe, com seu jeito mais doce e carinhoso, ingredientes necessários para ser um grande ser humano. Obrigado por todo apoio, amor e atenção, jamais teria chegado aqui sem seus ensinamentos, atenção e apoio. Minha mãe, sinônimo de amor, carinho e amizade, uma grande amiga e terapeuta, minha maior torcedora e que jamais perdeu a fé nos seus. Inúmeras vezes deixou ela mesma de lado para atender aos seus filhos. Se o ser humano tem sexto sentido, o dela é sentir quando há algo de errado com seus filhos. Mesmo sem que a gente demonstre, sempre soube usar as melhores palavras; sempre soube chegar exatamente na hora certa para atender os seus filhos e jamais permitiu que a fé e a esperança desaparecessem, até mesmo quando não parecia haver argumentos para provar que tudo iria dar certo. Ela jamais permitiu que seus filhos vissem isso e jamais deixou que perdêssemos a fé. Sem seu amor, sem sua atenção jamais conseguiria ter caminhado até aqui e jamais conseguiria chegar aonde quero chegar um dia. Minha irmã, a alegria e a alma da casa (a casa com ela nunca esta quieta), sempre trazendo boas risadas e muitas alegrias, minha grande amiga. Quero agradecer a minha namorada Ana Luiza, minha confidente e apoiadora, sempre disponível para ouvir atentamente meus desabafos e sempre com argumentos convincentes que tudo irá dar certo, sempre acreditando em mim e dona de um grande otimismo o qual chega a ser contagiante para quem anda ao seu lado. Não há palavra pra agradecer o carinho e atenção da minha grande

parceira. Aos meus educadores gostaria de agradecer primeiramente ao professor Fabio Pereira por me aceitar como seu orientando e dar toda a orientação e atenção necessária para que esse sonho pudesse se tornar concreto. E não apenas por isso, agradeço muito por acreditar em meu potencial, assim como minha família acredita, e trazer à tona o melhor de mim, academicamente falando. Quero agradecer também ao professor Tomás Vasconcelos por acreditar em mim como aluno e ser um dos grandes incentivadores do meu trabalho sempre se fazendo totalmente disponível para ajudar. Quero dedicar um agradecimento especial ao meu antigo professor e amigo Antônio Carlos, ele foi o primeiro contato com o corpo docente que eu tive assim que cheguei à universidade, o qual imediatamente me acolheu em seu projeto de extensão a “casa sustentável”, onde fizemos grandes trabalhos em equipe e incansáveis pesquisas na universidade. Agradeço a todos os amigos e familiares que acreditaram em mim e sempre torceram pelo meu sucesso, deixo aqui o meu sincero obrigado.

RESUMO

No século atual tem-se duas grandes problemáticas: a economia e o meio ambiente, a grande questão é como fazer que ambos caminhem para um desenvolvimento no qual os dois lados apresentaram vantagens. Com isso foi visto que um dos maiores mercados existentes no Brasil, a construção civil, possui uma grande taxa de desperdício de material. O estudo em questão objetiva empregar o resíduo de rochas ornamentais gerados pelo final do beneficiamento da marmoraria (pó da rocha) e reempregá-los ao ciclo produtivo e desenvolvimento do concreto, dessa forma oferecendo uma alternativa econômica para pequenas e médias empresas de engenharia tomando como base a sustentabilidade. Para isso foi definido um novo traço de concreto com novas proporções incluindo o resíduo gerado. Todo o estudo foi realizado no Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) avaliando se o mesmo possui qualidades e resultados para serem empregados nas construções. Foi avaliado o ensaio granulométrico (NRB 248), a absorção partindo da NBR 9778, em seguida o tempo de cura com o auxílio da NBR 6118 e também o ensaio de compressão e ruptura partindo da NBR 6118. O estudo apresentou resultados positivos obtendo uma média de 32,47 para o traço confeccionado para ambiente urbano e uma média de 27,99 para o traço confeccionado para ambiente rural e foi visto que é uma boa alternativa sustentável para aplicação no comércio.

Palavra-chave: Concreto, resíduo de mármore, agregado miúdo, sustentabilidade.

ABSTRACT

In the present century the great questions are: the economy and the environment, the great importance is the goal of both to move towards a development in the future of its advantages. With that was going to go to the big book sites existing in Brazil, the civil construction, has a great rate of waste of material. The study in issue aims at employers the stone of rocks ornamental gereds for the profit of the maritime (rock powder) and reemployment them the cycle product and development of concrete, this form the economic unit for small and means companies and engineering companies of base of sustainability. This part does not belong to the part of the space. The entire study was conducted at the University Center of Rio Grande do Norte (UNI-RN). It was the granulometric test (NBR 248), an absorption starting from NBR 9778, together the cure time with the aid of NBR 6118 and also the compression and rupture test starting from NBR 6118. The method completed positive results obtaining an average of 32.47 for the route made for the urban environment and an average of 27.99 for the route made for the rural environment and was seen as a good alternative for sustainable development.

Key-words: Concrete, marble residue, small aggregate, sustainability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de traços	13
Tabela 2 – Origem das perdas na cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais	39
Tabela 3 – Classes de agressividade do concreto.....	44
Tabela 4 - Tabela de relação água/cimento de acordo com a agressividade.	44
Tabela 5 – Tempo médio de cura.	45
Tabela 6 – Valores de insumos.....	47
Tabela 7 – Relação de valores com o concreto de 20 MPA	47
Tabela 8 – Relação de valores com o concreto de 25 MPA	47
Tabela 9 – Relação de resultados granulometricos	48
Tabela 10 – Relação de pesos de corpos de provas de 25MPA	49
Tabela 11 – Relação de pesos de 20MPA.....	50
Tabela 12 – Resultados do teste de compressão do traço de 25MPA	51
Tabela 13 – Resultados do teste de compressão do traço de 20MPA	52
Tabela 14 – Tipos de ruptura ocasionada no teste de compressão(25MPa)	53
Tabela 15 – Tipos de rupturas ocasionada no teste de compressão(20MPa)	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Lama gerada pelos resíduos das rochas ornamentais	7
Figura 2 – lagoa formada pela lama gerada do beneficiamento da rocha.	7
Figura 3 – Relação de ano x produção (equivalente a milhões de m ²).....	7
Figura 4 – Fluxograma explicativo da justificativa	9
Figura 5 – Cimento utilizado na confecção do concreto.	10
Figura 6 – Agregado miúdo utilizado na confecção do traço.	11
Figura 7 – Agregado Graúdo utilizado na confecção do concreto.	11
Figura 8 – pó da rocha ornamental utilizado na confecção do concreto.....	12
Figura 9 – Distribuição de peneiras granulométricas.....	13
Figura 10 – Corpos de prova submersos no tanque com água.	14
Figura 11 – Corpo de prova sendo pesado após 24h submerso	15
Figura 12 – Corpo de prova rompido na prensa hidráulica.....	15
Figura 13 – Corpo de prova rompido	16
Figura 14 – Cimento Portland utilizado.....	19
Figura 15 – Espaço destinado a reservar areia media.	20
Figura 16 - Areia media utilizada.	20
Figura 17 – Local destinado a reservar a brita 19.	21
Figura 18 -Brita 19.....	21
Figura 19 – Jazidas de exploração.....	23
Figura 20 – extração de rochas ornamentais no Brasil.	24
Figura 21 – Rocha Ignea.	25
Figura 22 – Rocha sedimentar.	26
Figura 23 – Rocha metamórfica.	27
Figura24 – Lavragem do mármore	31
Figura 25 – Corte de rocha.....	32
Figura 26 – Chapa bruta passando pelo processo de beneficiamento.....	33
Figura 27 – Pedra ornamental na construção civil.....	34
Figura 28 – Percentuais médios de desperdícios nas etapas da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais	39
Figura 29 - Gráfico representativo dos resultados do ensaio do traço para 25 MPa.	51
Figura 30 - Gráfico representativo dos resultados do ensaio do traço para 20 MPa.	52

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Porcentagem de absorção	14
Equação 2 – Equação utilizada para transformar tonelada em MPa.....	16
Equação 3 – Resistencia capilar	42
Equação 4 – porosidade efetiva	43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS	8
2.1 GERAL	8
2.2 ESPECÍFICOS	8
3. JUSTIFICATIVA	9
4. METODOLOGIA	10
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	10
4.2 ENSAIO GRANULOMETRICO	12
4.3 FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA E SEUS TRAÇOS	13
4.4 ENSAIO DE ABSORÇÃO	14
4.5 ENSAIO DE COMPRESSÃO	15
4.6 ENSAIO DE RUPTURA	16
5. DESCRIÇÃO DE CAPÍTULOS	17
6. ESTADO DA ARTE	18
6.1 MATERIAIS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DO TRAÇO	18
6.1.1 Cimento Portland	18
6.1.2 Agregado miúdo	19
6.1.3 Agregado graúdo	20
6.1.4 Água	21
6.2 HISTÓRIA DA EXPLORAÇÃO DO MARMORE	22
6.2.1 Tipologia das rochas	24
6.2.1.1 Rochas ígneas	25
6.2.1.2 Rochas sedimentares	26
6.2.1.3 Rochas metamórficas	27
6.2.2 Aspectos geológicos do mármore	28
6.2.3 Rochas ornamentais	28
6.2.3.1 Conceitos e propriedades	28
6.2.3.2 Propriedades tecnológicas	29
6.2.4 Métodos de lavragem do mármore	30
6.2.5 Corte	31
6.2.7 Aplicação das rochas na construção civil	33

6.3 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS	35
6.3.1 ESTUDOS REALIZADOS COM APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MARMORE	36
6.3.1.1 Históricos de trabalhos anteriores sobre estudos com resíduos.....	36
6.3.1.2 Resíduos do setor.....	39
6.3.2.1 Para concreto fresco.....	40
6.3.2.2 Para o concreto endurecido.....	40
6.4 NORMAS TÉCNICAS UTILIZADAS.....	43
6.4.1 ABNT NBR 6118.....	43
6.4.2 ABNT NBR 5739.....	45
6.4.3 ABNT NBR 9778.....	46
6.4.4 ABNT NBR 248.....	46
7. ESTUDO DE CASO	47
7.1 ANALISE ECONÔMICA.....	47
8. RESULTADOS OBTIDOS	48
8.1 RESULTADOS DA GRANULOMETRIA.....	48
8.2 ENSAIO DE ABSORÇÃO DA ÁGUA	49
8.3 ENSAIO DE COMPRESSÃO DO CONCRETO	51
8.4 ENSAIO DE RUPTURA DOS CORPOS DE PROVA.....	53
9. CONCLUSÕES.....	55
REFERÊNCIAS.....	56

1. INTRODUÇÃO

A indústria mineral em âmbito mundial é uma das maiores, tendo um crescimento de 6% ao ano, dito isso, podemos afirmar também que o Brasil é um dos maiores produtores de granito do mundo, apresentando enormes reservas naturais, segundo Lisboa (2004).

O comércio do granito parte da extração do material, seu corte e polimento, ocasionando uma grande perda de material, segundo Freire e Motta (1998). O processo de serragem atinge níveis altíssimos de desperdícios de pó numa proporção de 20 a 25% do bloco, sendo material desperdiçado em forma de lama que é depositado nos pátios das empresas, a quantidade gerada da fabricação conjunta dos beneficiamentos das rochas ornamentais é de aproximadamente 240000 toneladas/ano no Brasil como aponta Gonçalves (2000). Tomando como base esses dados é nesse desperdício que o trabalho busca impactar, de forma que o quadro mundial se reverta positivamente, tanto para o meio ambiente quanto para os profissionais da área.

Por sua vez de acordo com Kaefer (1998) o concreto é moldável, que com o seu devido tempo de cura atinge as devidas resistências, vencendo previstos esforços solicitantes. Somente no ano 1836 foi criado o concreto, constituído por aglomerantes, areia e brita. Até então utilizava-se cal como material ligante, George Godwin, na Inglaterra, sendo esse estudo consolidado, chegando a métodos de produção tecnológicos, inicialmente tendo por objetivo criar um material resistente o bastante para se produzir fundações, esse estudo foi atribuído ao instituto britânico e logo em seguida foi consolidado e aperfeiçoado a utilização de cimento, areia, brita e água.

De séculos atrás para cá o concreto foi muito estudado e evoluído, hoje em dia temos diferentes tipos de concreto, para ambientes agressivos, ou que exijam baixa resistência, variando assim a questão da economia em sua utilização, segundo Kaefer (1998).

Por sua vez o estudo trabalhado em questão procura reunir esses dois materiais, tanto o concreto tradicional quanto a lama do pó da rocha, o qual podemos observar na figura 1 e na figura 2, essa forma a elaboração de traço aonde se substitua o agregado miúdo, a areia, por pó de rocha ornamental, de forma que o concreto possua as mesmas características em relação a resistência, dos confeccionados tradicionalmente.

Figura 1– Lama gerada pelos resíduos das rochas ornamentais



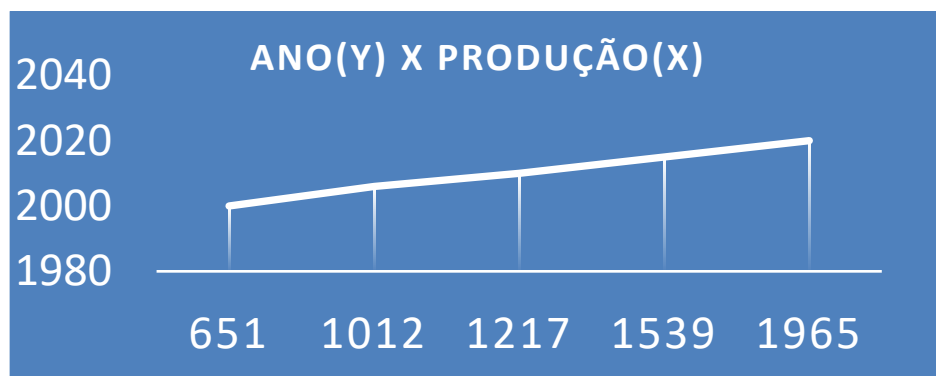
Fonte: Autor (2018).

Figura 2 – lagoa formada pela lama gerada do beneficiamento da rocha.



Fonte: Gonçalves (2000).

Figura 3 – Relação de ano x produção (equivalente a milhões de m²).



Fonte: Chiodi Filho e Kistemann (2014)

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Com o referido estudo, procura-se provar que com o uso correto de um traço, substituindo a areia (o agregado miúdo) por pó de granito (lama de granito passado por um processo de evaporação), dessa forma fazendo que o concreto consiga chegar as mesmas resistências exigidas na norma ABNT NBR 6118:2014, ou, até mesmo, mais altas. Dessa forma transformando em um meio de comercialização, mais barato, o que antes era um rejeito mal direcionado.

Tendo conhecimento desse cenário, pode-se acrescentar a questão do comércio da areia (cujo o material a ser substituído) pois se trata de um material finito na natureza, ajudando com a saúde da fauna e flora e com a economia.

No trabalho foi feita uma pesquisa bibliográfica desde o seu histórico até a utilização do pó de granito na construção civil como elemento substitutivo no traço do concreto através de livros, tcc's e periódicos.

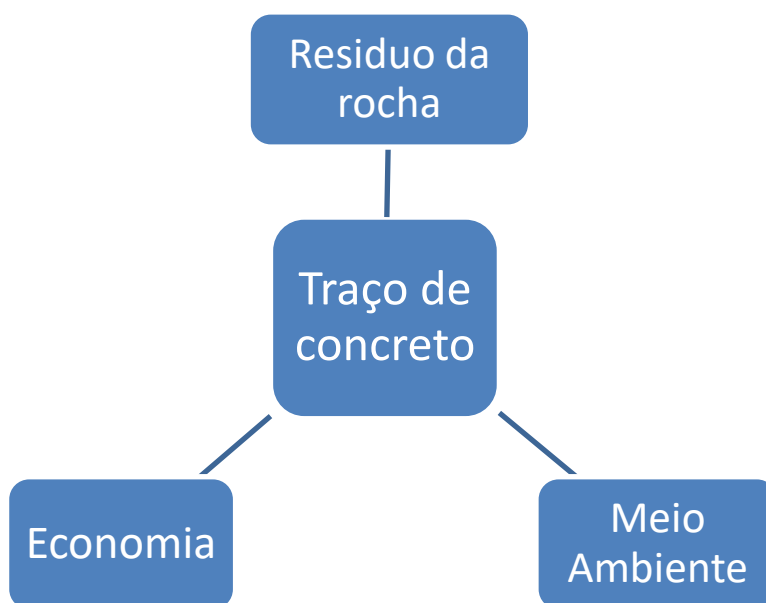
2.2 ESPECÍFICOS

- Elaborar um traço contendo resíduo de mármore que seja compatível com as exigências da norma ABNT NBR 6118:2014;
- Realizar ensaios de compressão e de absorção da água;
- Analisar o custo do concreto com e sem substituição da areia pelo resíduo do granito;
- Analisar os resultados obtidos dos ensaios de compressão e absorção de água para ambientes rurais e urbanos, de acordo com a NBR 6118:2014;
- Propor a comercialização de um concreto com o resíduo do granito.

3. JUSTIFICATIVA

Esse estudo foi desenvolvido tendo em vista a presença abundante de resíduos de mármore que são descartados e podem ser utilizados para substituir o agregado miúdo do concreto. Desta forma o trabalho procura impactar tanto no âmbito do meio ambiente quanto na economia, de forma que desperte interesse de grandes empresas de mármore no aproveitamento do seu resíduo e o transforme em um produto, quanto nas empresas da construção em procurar essa tecnologia para a construção econômica e com qualidade compatível ao concreto convencional, além da retirada de resíduos da produção de granito do meio ambiente.

Figura 4 – Fluxograma explicativo da justificativa



Fonte: Autor(2019).

4. METODOLOGIA

No estudo em questão foi utilizado a matéria prima primordial do concreto, que são elas: areia (agregado miúdo), brita (agregado graúdo), cimento Portland tipo II (aglomerante) e o resíduo oriundo do beneficiamento das rochas ornamentais, o mesmo foi substituído em proporções sobre o agregado miúdo, na tabela 1. podemos ver exatamente quais foram suas proporções para resistências de 20 e 25 Mpa.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Na fabricação dos corpos de prova foram utilizados cimento Portland classe 2(dois) como mostra a figura 5.

Figura 5 – Cimento utilizado na confecção do concreto.



Fonte: Autor (2019)

Também foi utilizado como agregado miúdo a areia média, como mostra a figura 6 e brita 19 como mostra a figura 7. Pelo fato do concreto ter finalidade não estrutural não necessita areia grossa.

Figura 6 – Agregado miúdo utilizado na confecção do traço.



Fonte: Autor (2019).

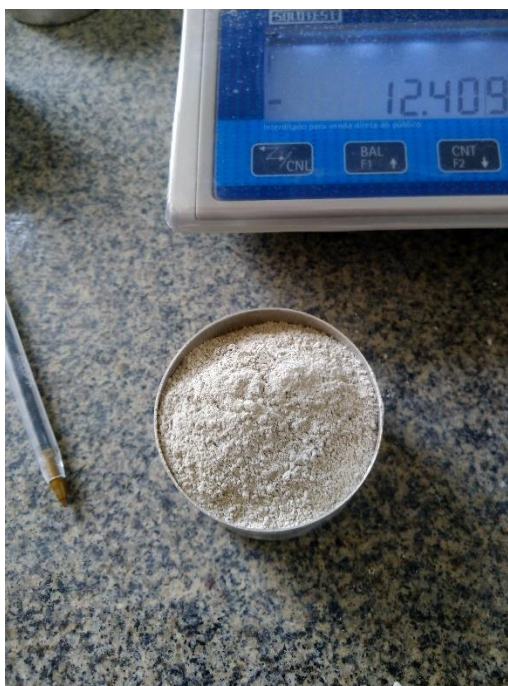
Figura 7 – Agregado Graúdo utilizado na confecção do concreto.



Fonte: Autor (2019).

Foi utilizado o resíduo da rocha, como mostra na figura 8. O resíduo se trata da lama recolhida de marmorarias submetida a secagem pela estufa e um processo de purificação através de peneiramento, com o objetivo de remover quaisquer rejeitos que não seja derivado da rocha, como plásticos entre outros, resultando assim no pó da rocha ou resíduo da rocha.

Figura 8 – pó da rocha ornamental utilizado na confecção do concreto.



Fonte: Autor (2019)

4.2 ENSAIO GRANULOMETRICO

Esse ensaio consiste em determinar a distribuição granulométrica do solo, em outras palavras, sua porcentagem em peso de acordo com o tamanho dos grãos. Esse ensaio é comumente usado de acordo com a NBR 248 para definir que tipo de solo é em questão, arenoso, argiloso entre outros podemos observar suas peneiras distribuídas na ordem de 2mm, 1,18mm, 0,85mm, 0,6mm, 0,425mm, 0,3mm, 0,250mm, 0,180mm, 0,150mm, 0,075mm e fundo (figura 9). O ensaio que foi realizado com o material em questão teve como objetivo quantificar a proximidade com o material comumente usado, a areia.

Figura 9 – Distribuição de peneiras granulométricas

Fonte: Autor (2018).

4.3 FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA E SEUS TRAÇOS

Foram produzidos 20 corpos de provas para cada classe de concreto, com a devida substituição do resíduo das rochas ornamentais utilizando o processo de mistura consiste na divisão de três etapas, aonde a primeira coloca-se todo o agregado graúdo, a brita, e 1/3 da água, esperando-se cinco minutos, esse processo repete-se mais duas vezes com o agregado miúdo, areia, e o material ligante, cimento. O resíduo da rocha irá compor parte do agregado miúdo, no processo de produção toda a areia é posta juntamente com o resíduo em todas as etapas da produção, como ele substitui percentualmente o agregado miúdo ele entrará na mistura juntamente com os agregados miúdos, compondo assim o traço mostrado na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Tabela de traços

Fck	Cimento (kg)	Resíduos (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (l)
25	1	0,483	1,127	1,93	0,45
20	1	0,576	1,291	2,15	0,5

Fonte: Autor (2018).

4.4 ENSAIO DE ABSORÇÃO

Ao ser feito o traço e composto todos os corpos de prova, foi feita sua pesagem quando o mesmo estava seco, e uma nova pesagem quando retirado de um tanque de água no qual o CP ficou 24 horas submerso (figuras 10 e 11), existe uma porcentagem mínima do concreto, o mesmo não podendo ultrapassar 10% de absorção segundo a NBR 9778 com o auxílio da equação 1, podendo afetar diretamente suas características estruturais e também em sua vida útil, pelo aumento da porosidade do concreto podendo apresentar manifestações patológicas.

Equação 1 - Porcentagem de absorção

$$porcentagem(\%) = \frac{\text{peso saturado}}{\text{peso seco}} \times 100$$

Figura 10 – Corpos de prova submersos no tanque com água.



Fonte: Autor (2018).

Figura 11 – Corpo de prova sendo pesado após 24h submerso



Fonte: Autor (2018).

4.5 ENSAIO DE COMPRESSÃO

Como maior característica do concreto se trata da sua resistência a compressão e a norma brasileira exige um mínimo de 25 MPA para meio urbano e 20 MPA para meio rural, NBR 5739 , foi realizado o processo após 28 dias corridos de tempo de cura, posto na prensa hidráulica(figura 12) e recolhido a média de 15 corpos de provas para cada ambiente específico. Com o auxílio da equação 2 pode-se pegar o resultado em MPa.

Figura 12 – Corpo de prova rompido na prensa hidráulica



Fonte: Autor (2018).

Equação 2 – Equação utilizada para transformar tonelada em MPa

$$Fck = \frac{F(tf) \times 1000}{Area} \times 0,0980665$$

4.6 ENSAIO DE RUPTURA

Foi analisado em cada corpo de prova como ocorreu sua ruptura de acordo com a NBR 6118, isso consiste em mostrar se o CP distribuiu bem sua carga aplicada ou não (figura 13).

Figura 13 – Corpo de prova rompido



Fonte: Autor (2018).

5. DESCRIÇÃO DE CAPÍTULOS

- Introdução: apresentação geral do conteúdo apresentado
- Objetivos: apresentação dos objetivos que devem ser alcançados, tanto geral como específico.
- Justificativa: apresentação do motivo principal do desenvolvimento do trabalho.
- Metodologia: apresentação do que foi realizado no trabalho de maneira pontual.
- Revisão Bibliográfica: apresentação de todos os trabalhos junto a seus atores e obras que foram utilizados na produção na área do trabalho.
- Estudo de caso: apresentação de dados recolhidos de amostras
- Resultados e Discussões: interpretação de dados.
- Conclusão: Considerações finais sobre o trabalho.
- Referências: Conjunto de elementos do trabalho que o identifica.

6. ESTADO DA ARTE

6.1 MATERIAIS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DO TRAÇO

Para a confecção do concreto foi utilizado a matéria prima básica do mesmo, agregado miúdo (areia) com utilização do resíduo da rocha, agregado graúdo (brita), aglomerante (CP-II-Z), e a proporção de água conveniente para ambientes rurais e urbanos, ou seja, agressividades I e II respectivamente.

6.1.1 Cimento Portland

De acordo com Neville e Brooks (2013) o cimento é dado a partir da mistura de calcário, argila ou outros materiais silicosos, alumina e materiais que contenham óxido de ferro, essa mistura passa por um processo de queima a temperaturas de clínquerização, sendo o material obtido o resultado dessa queima, o clínquer, e moído.

No trabalho realizado foi utilizado o CP-II-Z (figura 14) em comparação ao CP-I se trata de um cimento modificado nos Estados Unidos, se trata de um cimento o qual possui uma taxa de liberação mais alta que o cimento do tipo IV e uma resistência melhor do que o cimento do tipo I, extremamente indicados em estruturas devido a sua resistência a ataques por sulfatos em grandes centros urbanos. Vale ressaltar que o cimento em questão há adição de pozolanas, segundo Neville e Brooks(2013) esse material confere ao cimento menor permeabilidade, sendo assim um aglomerante interessante para ambientes com presença de umidade.

Figura 14 – Cimento Portland utilizado.



Fonte: Autor (2019).

6.1.2 Agregado miúdo

De acordo com Popp (2014) se trata do resultado da fragmentação de rochas com o granito, gnaiss, basalto, sílica, quartzo e o calcário, e para o uso do mesmo em concreto deve-se passar por uma peneira com abertura de no máximo 4,8mm, pode ser obtidas tanto em fontes naturais como leito de rios, como industrializadas a partir do processo de britagem. As industrializadas se tornam mais interessantes por não haver contaminantes nela como a argila ou até mesmo material orgânico além de apresentar uma uniformidade diferentemente das encontradas em leito de rios que possui um formato de placas alongadas e dessa forma precisando de mais água e aglomerante. A areia em questão foi usada a de granulação média, como mostra a figura 15 e 16.

Figura 15 – Espaço destinado a reservar areia media.



Fonte: Autor (2019).

Figura 16- Areia media utilizada.



Fonte: Autor (2019).

6.1.3 Agregado graúdo

A produção do agregado miúdo de acordo com Chiossi(2016), vem a partir de pedreiras que utilizam como fonte de matéria prima as rochas ígneas ou metamórficas , no caso do agregado Graúdo parte de uma dimensão maior de grãos. É comumente

usado a rocha ígnea para a ser usado como agregado graúdo. Pode-se observar nas figuras 17 e 18.

Figura 17 – Local destinado a reservar a brita 19.



Fonte: Autor(2019).

Figura 18 -Brita 19.



Fonte: Autor (2019).

6.1.4 Água

A água é utilizada em quase todos os serviços de engenharia, às vezes como componente e outras como ferramenta. Entra como componente nos concretos e argamassas e como ferramenta nos trabalhos de limpeza, resfriamento e cura do

concreto. É um dos componentes mais importantes na confecção de concretos e argamassas. Um material de construção nobre, que influencia diretamente na qualidade e segurança da obra, conforme afirma (AMBROZEWICZ, 2012).

6.2 HISTÓRIA DA EXPLORAÇÃO DO MARMORE

As rochas ornamentais são materiais rochosos extraídos e beneficiados, em maior ou menor grau, para serem utilizados com funções de revestimento, decorativas ou estruturais. O termo abrange outros como pedras naturais, materiais lapídeos, rochas dimensionadas e rochas de cantaria. Sua utilização tem acompanhado a evolução da humanidade e, graças a sua durabilidade, serve de registro dessa evolução, da cultura e dos costumes ao longo da história. Para a escala de tempo humana, as rochas são eternas, pois começaram a se formar há 4,5 bilhões de anos enquanto que nosso primeiro ancestral bípede apareceu 3 milhões de anos atrás e o homem moderno há, apenas, 100.000 anos. Não é sem motivo que o homem escolheu esse material para construir estruturas e templos com objetivos religiosos ou funerários, de forma a perdurarem muito além da própria vida e até da civilização (VIDAL; CASTRO; FRASCÁ, 2014)

Por volta do século VI A.C, os Gregos realizaram obras de grande magnitude em mármore, como o Parthenon, o Templo de Zeus e como o Templo de Artêmis com 127 colunas inteiramente de mármore.

Durante a época do Império Romano, o uso de rochas para construções urbanas foi explosivamente ampliado, havendo muitas obras de arquiteturas e construções civis, tais como: Maison Carree, um santuário; Pont Du Gard, uma ponte para transporte de água; Anfiteatro; Pantheon; Coliseu; etc. A pavimentação decorativa das calçadas feitas de rochas brancas e pretas, denominada mosaico, apareceu naquela época (PACHECO, 2009).

Já na Idade Média com melhores condições de transformação, o mármore e granito foram utilizados vastamente nos interiores de casas, igrejas, pisos.

Na era moderna da Europa, o mármore passou a ser utilizado como matéria prima para confecções de móveis luxuosos. Nesta época, houve o aparecimento de indústrias modernas, que logo se espalham por toda a Europa, mas foi apenas no século XIX que esses produtos luxuosos foram exportados para o Brasil .

No século XX, ocorreu uma grande evolução na tecnologia de corte, polimento, reformas e aplicações das rochas. O corte utilizando diamante permitiu que as rochas tomassem formas inovadoras, como chapas polidas de espessura e tamanhos definidos que foram utilizados para revestimento de paredes, pilares, pavimentos, colunas, peitoris, etc.

No Brasil existem inúmeras jazidas de rochas ornamentais (figura 19), de excelente qualidade e imensa reserva. Entretanto, só a partir do século XXI que começou a introdução dos equipamentos com tecnologia necessária para extração e produção destas rochas. Assim o Brasil passou a ser um dos grandes exportadores de mármore do mundo (PACHECO, 2009).

Figura 19 – Jazidas de exploração.



Fonte: Web: <http://www.jmfmarmoresegranitos.com/jazidas-exploracao>.

6.2.1 Tipologia das rochas

As rochas são divididas em três grandes grupos, todos eles aplicados de formas diferentes na construção civil. As propriedades das rochas são regidas por quatro aspectos: composição mineralógica, estrutura, textura e granulometria, de acordo com VASCONCELOS apud IFES (2013).

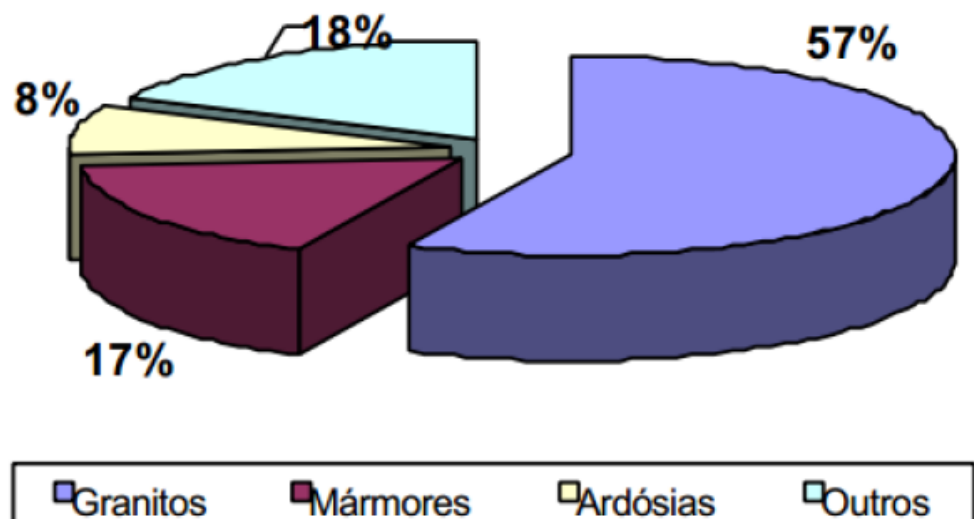
A composição mineralógica referente à composição química, à formação e às alterações na estrutura de cada mineral componente. Influencia em propriedades da rocha e na sua durabilidade (PACHECO, 2009).

A estrutura está relacionada com a orientação, as posições de massas rochosas em uma determinada área, as feições resultantes de processos geológicos (PACHECO, 2009) (falhamentos, dobramentos, intrusões ígneas, etc.).

A textura está ligada a mineralogia e as condições físicas durante a formação de cada rocha e diz respeito ao arranjo microscópico dos minerais que a formam. A granulometria diferencia as rochas macroscopicamente de acordo com o tamanho dos seus grãos (VASCONCELOS apud IFES, 2013).

Como podemos observar na figura 20, a pesquisa realizada com a porcentagem de rochas extraídas e comercializadas no Brasil.

Figura 20 – extração de rochas ornamentais no Brasil.



Fonte: OLIVEIRA apud CHIODI (2015).

6.2.1.1 Rochas ígneas

Como aponta Popp (2014) as rochas ígneas são oriundas do magma, no qual se define como sendo um fluido natural muito quente, constituído predominantemente por uma fusão de silicatos e mostrando proporções variadas de água.

As rochas intrusivas recebem essa classificação, pois foram formadas a partir de lentos processos de resfriamento e solidificação do magma em localizações profundas da crosta terrestre. Geralmente constituem material cristalino de granulação grossa (PACHECO, 2009).

Já as rochas extrusivas são aquelas que foram formadas na superfície terrestre ou em suas proximidades, devido ao extravasamento de material magmático por orifícios vulcânicos (PACHECO, 2009).

A rocha mais encontrada no Brasil se trata do granito (figura 21), no qual se caracteriza como sendo uma rocha intrusiva, é encontrado facilmente em massas muito grande de rochas, ocorrendo com frequência na serra do mar ou nas regiões dos escudos, quase sempre formando elevações características

O tipo e a variedade (de 50% a 70% do volume) do componente feldspato são o que influenciam na cor das rochas ígneas, do rosa-claro, ao vermelho-escuro, cinza, verde-claro ao escuro. Devido a alterações ítempéricas pode ocorrer à presença de hidróxidos de ferro, em clivagens ou fissuras, que confere cores amarelo-ferruginosas às rochas ígneas (VASCONCELOS apud IFES, 2013).

Figura 21 – Rocha Ignea.



Fonte: Web: <https://rocks.comparenature.com/pt/anfibolito-rocha/model-42-0>

rocha/model-42-0

6.2.1.2 Rochas sedimentares

Segundo Chioffi (2016) são formadas por meio da erosão, transporte (fluvial, marítimo ou eólico) e decomposição de sedimentos (clastos ou detritos) derivados da desagregação e decomposição de rochas na superfície terrestre, da precipitação química ou, ainda, do acúmulo de fragmentos orgânicos.

As rochas incluídas nesse grupo são as que se formaram tanto pela atividade mecânica como pela atividade química dos agentes de intemperismo, sobre rochas preexistentes. Se tratam do acúmulo do produto da decomposição e desintegração, podemos observar um exemplo na figura 22 de todas as rochas presentes na crosta terrestre (CHIOSSI, 2016).

Os calcários e dolomitos são as rochas sedimentares de origem química e bioquímica (rochas carbonáticas formadas de por mais de 50% de calcita ou dolomita) de acordo com ABIROCHAS (2004).

Vale ressaltar que as rochas sedimentares são de vital importância para o âmbito da construção civil, visto que, por sua vez ao sofrerem processos de degradação, podendo ser naturais ou artificiais, elas geram sedimentos argilosos, arenosos, o qual dependendo do seu uso e se esse processo de deterioração for induzido pode gerar agregados de tamanhos uniforme.

Figura 22– Rocha sedimentar.



Fonte: Web: <https://br.depositphotos.com/91430516/stock-photo-close-up-of-sedimentary-rock.html>.

6.2.1.3 Rochas metamórficas

São derivadas de outras preexistentes que, no decorrer dos processos geológicos, exibem mudanças mineralógicas, químicas e estruturais, no estado sólido, em resposta a alterações nas condições físicas e químicas impostas em grandes profundidades (VASCONCELOS apud Materiais de construção Civil, Vol 1, IBRACON 2004).

O metamorfismo se trata das transformações sofridas pela rocha sem que sofram fusões (figura 21). Quando as transformações são puramente mecânicas os resultados se traduz pela deformação do material dos minerais constituintes das rochas consequentemente mudando assim sua estrutura e textura.(CHIOSSI, 2016)

O metamorfismo é classificado de acordo com o ambiente geológico e com a extensão geográfica em local, regional dinâmico. O metamorfismo regional é caracterizado pelo predomínio da temperatura sobre a pressão, o que gera rochas com estruturas maciças e levemente orientadas (figura 23). Os mármore e os quartzitos são exemplos. Já no metamorfismo dinâmico a pressão predomina a temperatura, além de novos minerais serem formados (ABIROCHAS, 2004).

Figura 23 – Rocha metamórfica.



Fonte: Web: <https://trabalhosparaescola.com.br/rocha-metamorfica-2/>.

6.2.2 Aspectos geológicos do mármore

Para iniciar o estudo sobre as rochas ornamentais, como o mármore, deve-se ter conhecimento sobre alguns conceitos fundamentais. Pode-se partir do fato que o mármore é uma rocha ornamental metamórfica proveniente do calcário. Este tipo de rocha contém mais de 50% de calcita e/ou dolomita, ou seja, são formadas a partir do metamorfismo de calcários (rochas sedimentares compostas principalmente de calcita) e dolomitos (rochas também sedimentares formadas, sobretudo carbonato de cálcio e magnésio). Apresenta estrutura maciça e granulação variada (VASCONCELOS, 2013).

6.2.3 Rochas ornamentais

6.2.3.1 Conceitos e propriedades

Alguns conceitos de rochas ornamentais seriam a ASTM (2003) apud MENEZES; LARIZZATTI (2005) define rocha ornamental como um material rochoso natural serrado, cortado em chapas e fatiado em placas, com ou sem acabamento mecânico. Em coerência com os conceitos da ABNT e da ASTM, Frascá (2002 apud MENEZES; LARIZZATTI, 2005) elaborou o seu: rocha ornamental é o produto de desmonte de materiais rochosos e, conseqüentemente desdobramento em chapas, posteriormente beneficiadas (polimento) e cortadas em placas.

As rochas ornamentais podem ser chamadas também de pedras naturais, rochas de revestimento, rochas lapídeas, rochas dimensionais, materiais de cantaria, entre outras nomenclaturas. Afirma ainda que as rochas ornamentais são todos os aglomerados minerais que são extraídos de blocos ou placas e cortados sob as formas desejadas para que haja o seu beneficiamento através de técnicas como esquadreamento, polimento, lustro entre várias outras. ABIROCHAS (2004)

As rochas ornamentais são utilizadas de diversas maneiras e a indicação do melhor tipo se dá de acordo com suas propriedades físicas e químicas e de acordo com suas feições estéticas, que são as propriedades que vão definir qual a mais adequada pra ser utilizada em determinada função. Rochas ornamentais são definidas como todos os materiais rochosos aproveitados pela sua aparência estética e

utilizados como elementos decorativos, em trabalhos artísticos e como material de construção (VASCONCELOS, 2013).

O mármore é uma espécie de rocha metamórfica, assim, originada pela exposição da rocha calcária e altas temperaturas e pressão. Devido a estes fatores, as maiores jazidas de pedra mármore estão em regiões de rocha matriz calcária e atividade vulcânica (VASCONCELOS, 2013).

6.2.3.2 Propriedades tecnológicas

A escolha da melhor rocha como uso estrutural ou para revestimento, para um pretendo projeto arquitetônico ou de engenharia, precede o conhecimento de suas propriedades intrínsecas, que, conjugado ao conhecimento do meio físico no qual ficará submetida a rocha e às suas solicitações de uso, definem sua qualificação e viabilidade de emprego. O uso inadequado dos materiais pétreos pode levar ao comprometimento da durabilidade e da estética, e, conseqüentemente, implicações de ordem econômica e de segurança (VASCONCELOS, 2013).

De acordo com Chiodi Filho (2004), a qualidade da rocha é verificada quanto menores forem a presença e os teores de minerais alterados que possam comprometer seu uso e durabilidade. Segundo o geólogo, as características das rochas, assim como a previsão do seu desempenho em serviço, são obtidas através de análises e ensaios executados segundo procedimentos rigorosos, normatizados por entidades nacionais, como a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), ou internacionais, como a American Society for Testing and Materials (ASTM).

Os ensaios procuram representar as diversas solicitações às quais a rocha estará submetida durante todo o processamento até seu uso final, quais sejam, extração, esquadreamento, serragem dos blocos em chapas, polimento das placas, recorte em ladrilhos etc. (VASCONCELOS, 2013).

Ainda são muito raros os ensaios em rochas beneficiadas (ladrilhos ou chapas polidas), que visem parâmetros para dimensionamento e de previsão de desempenho e durabilidade de rochas para revestimento de fachadas e pisos (VASCONCELOS, 2013).

A caracterização tecnológica das rochas é obtida por meio de análises e ensaios, executados segundo procedimentos e normas nacionais e internacionais, a saber: análise petrográfica, índices físicos (massa específica, porosidade e absorção

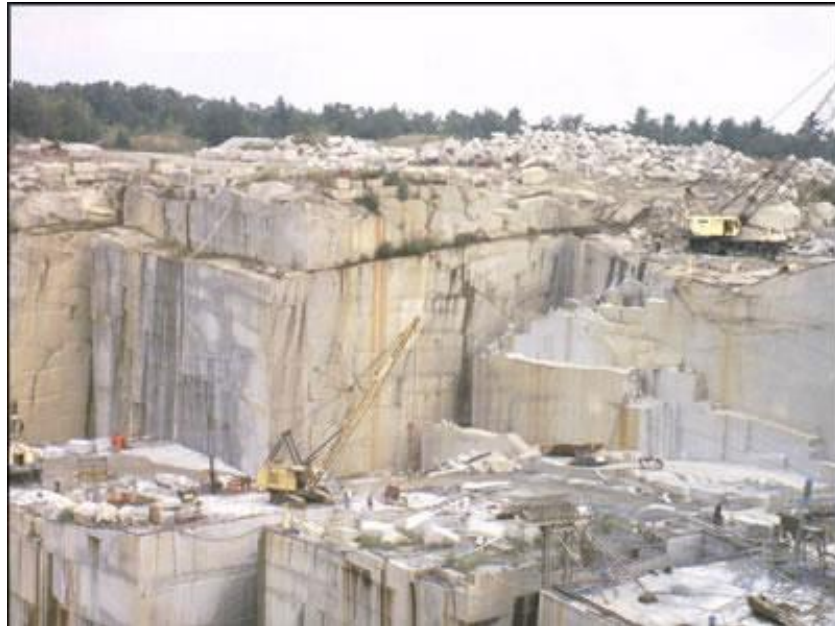
de água), desgaste amsler, resistência à compressão uniaxial, resistência a flexão (modulo de ruptura), coeficiente de dilatação térmica linear, resistência ao impacto, congelamento e degelo e alterabilidade. (MELLO, 2006)

6.2.4 Métodos de lavragem do mármore

Segundo Trindade (2015) o processo de extração é caracterizado pela separação de blocos a partir do maciço rochoso (figura 24). Esse processo é necessário para facilitar o transporte para as empresas de beneficiamento. Existem diferentes técnicas utilizadas no processo de lavra das rochas ornamentais, são as principais:

- Corte por meio de perfuração e explosivos - inicialmente é demarcado o alinhamento dos furos próximos uns aos outros, seguindo as dimensões desejadas para os blocos. Em seguida é realizada a perfuração das rochas por meio de marteletes pneumáticos manuais ou por talha blocos acionados mecanicamente. O seguinte passo é a colocação dos explosivos nos furos e sua detonação. Os explosivos são dosados com uma carga pequena, ou seja, uma carga apenas para a ruptura entre os furos e a liberação dos blocos rochosos.
- Corte a fio diamantado – é um cabo de aço flexível com anéis diamantados, mas conhecidos como pérolas espaçadas por borrachas galvanizadas. O fio possui aproximadamente 5,0 mm de diâmetro e as pérolas em torno de 11,40 mm. Pode ser utilizado tanto para cortes horizontais como verticais.
- Corte por jet flame – o processo de corte é realizado pelo aquecimento em altas temperaturas da rocha no alinhamento desejado. Esse aquecimento é realizado através de uma lança com maçarico na extremidade.
- Corte contínuo – é realizada sequencialmente furos, conforme alinhamento. Os furos são espaçados entre si e a distância entre eles é igual ou um valor próximo ao diâmetro do furo. Após a primeira etapa, é iniciada outra perfuração, porém desta vez intercalada aos primeiros furos e com diâmetro um pouco maior. Com esse processo é possível realizar o destacamento dos blocos.

Figura24 – Lavragem do mármore



Fonte: Web: <http://style.greenvana.com/2011/pedreira-abandonada-vira-hotel-sustentavel-de-luxo/>

6.2.5 Corte

Existe uma maior produção de resíduos, isto em função do desenvolvimento do setor e devido ao maior consumo das rochas ornamentais. Uma das primeiras etapas geradoras de resíduos é a extração. Nesta etapa os resíduos gerados são provenientes da liberação dos blocos do maciço através do corte. Os resíduos por sua vez, apresentam diferentes granulometrias (TRINDADE, 2015)

Depois de transportados e entregues as beneficiadoras, existe a geração de outro resíduo, chamado de costaneira. Esse resíduo é gerado pela serragem dos blocos para que os mesmo estejam com as dimensões necessárias para colocação nos equipamentos de corte (TRINDADE, 2015)

Entre os resíduos existe o chamado resíduo do corte de granito (RCG), que por sua vez, é gerado quando os blocos são colocados nos teares para serem cortados em chapas. Neste processo é utilizada polpa abrasiva composta por água, cal e granalha. No entanto, além desses componentes da polpa abrasiva, o resíduo 29 também possui em sua composição o pó de pedra, em virtude da serragem dos blocos (TRINDADE, 2015)

Segundo Calmon (2007), “cerca de 25% a 30% do volume dos blocos de rochas ornamentais é transformado em resíduos após o beneficiamento primário.” Além desses resíduos, existe também o resíduo de polimento, porém em comparação aos demais, este é gerado em menor quantidade. Na figura 25 estão representados uma das operações das indústrias de rochas ornamentais.

Figura 25 – Corte de rocha.



Fonte: Web: https://pt.made-in-china.com/co_agastonemachine/product_Automatic-Multiblade-Stone-Granite-Marble-Block-Bridge-Cutting-Saw_ryursnihg.html.

6.2.6 Beneficiamento

A transformação dos blocos de rochas em chapas, nas indústrias de beneficiamento de mármore e granito, gera uma quantidade significativa de resíduo em forma de lama. Esta lama é formada pela utilização de uma polpa nos teares (equipamento usado para o corte dos blocos), com o objetivo de lubrificar e resfriar as lâminas, bem como evitar sua oxidação impedindo o aparecimento de manchas nas chapas. Essa polpa é geralmente constituída de água, gralha e cal moída. É comum a substituição da cal por outros materiais como calcário moído e escoria de alto forno (NEVES, 2002 apud CALVALCANTI, 2006).

A maior quantidade de resíduo é produzida na etapa chamada de desdobramento ou serragem do bloco de granito ou mármore. Esta etapa consiste na transformação dos blocos de rochas em chapas, por meio dos teares. Os teares são equipamentos robustos constituídos por quatro colunas, que sustentam quadros que realizam movimentos pendulares. Nesses quadros são dispostas lâminas de aço carbono de alta dureza e boa resistência mecânica, de forma a resistir aos esforços de tração e abrasão. (NEVES, 2002 apud CAVALCANTI, 2006).

As politrizes manuais composta por um cabeçote, politrizes de ponte com um a dois cabeçotes e politizes multicabeçotes, cinco a vinte cabeçotes, são os equipamentos mais utilizados no polimento, por serem linhas de politrizes mais modernas e eficientes, que possibilitam o processamento de chapas de até 10-15 cm de espessura e 2 m de largura (GOMEZ, 2009).

O apicoamento é o processo que submete a chapa ao impacto de um martelo pneumático de percussão, com uma ferramenta específica na sua extremidade que, dependendo do seu desenho, confere um tipo de rugosidade e, conseqüentemente, uma aparência diferente à superfície trabalhada (PACHECO, 2009).

Em relação as porcentagem de perda desse material durante esse processo é em torno de 25 a 30% da rocha.

Pode se observar pela figura 26 a chapa bruta passando pelo processo de corte.

Figura 26 – Chapa bruta passando pelo processo de beneficiamento.



Fonte: LISBOA (2004)

6.2.7 Aplicação das rochas na construção civil

O mármore é um produto natural de qualidade superior, uma vez que não sofre alterações com as condições climáticas, é durável, isolante e de fácil limpeza. Constitui, portanto, um material nobre para a construção civil, devido não só às características mencionadas, mas também à beleza do resultado final (CRISTOVÃO, 2012 apud VASCONCELOS, 2013).

O Mármore é muito utilizado pela construção civil e empresas de decoração (figura 27), por possuir excelente grau de acabamento, uma vez que quase não se percebe o rejunte entre uma peça e outra, como também pela durabilidade do material, além de ser um belo material de revestimento (VASCONCELOS, 2013).

O mármore também pode ser usado como substituto da areia para a fabricação de concreto, segundo a Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), um estudo revelou que a substituição de areia por sobras de mármore branco melhora em 16% as propriedades do concreto, conforme o cimento usado (VASCONCELOS, 2013).

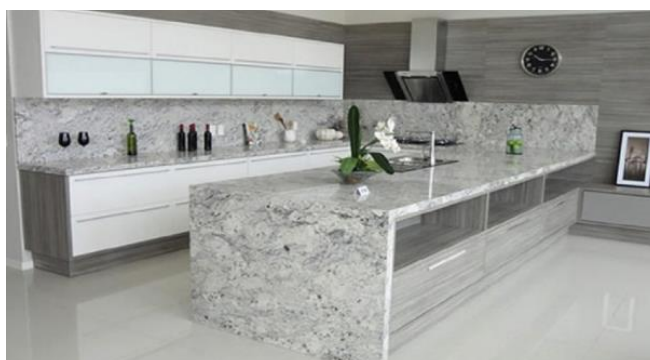
A rocha é um dos mais importantes materiais usados na construção civil desde de tempos antigos. Temos como um bom exemplo a Turquia que apresenta em suas reservas em torno de 40% de mármore no mundo inteiro, a sua produção anual gira em torno de 7.000.000 de toneladas. Com isso vemos que é um dos materiais mais desperdiçados no mundo inteiro gerando em torno de milhões de toneladas (ULUBEYLI, 2015).

Referindo-se ao setor também de produção de cerâmica, grandes empresas utilizam os materiais provenientes de várzeas de rios e alterações de rochas graníticas e magmáticas, entre outras.

Outro exemplo são as rochas calcárias, assim como o marmore segundo Popp (2014) são extremamente conhecidas e utilizadas desde a antiguidade na construção, revestimento, monumentos e esculturas.

Os materiais de construção a serem utilizados dependem da natureza geológica dos terrenos da região ou do país. Hoje seu valor e sua utilização dependem de inúmeros ensaios visando suas propriedades, tais como resistência a flexão, corrosão, porosidade, absorção e petrografia. (POPPE, 2014).

Figura 27 – Pedra ornamental na construção civil.



Fonte: Web: <http://construiraltovale.com.br/artigo/diferencas-entre-marmore-e-granito-182>.

6.3 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

A conceituação e a proposição de procedimentos para a gestão de resíduos sólidos têm sido alvo de diversos órgãos governamentais, especialmente a partir da década de 1990 (OLIVEIRA, 2015).

Devido à quantidade de resíduo gerado por inúmeros processos de produção e a diferença entre estes, a NBR 10004 (2004), Resíduos Sólidos – Classificação avalia os resíduos em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, que podem apresentar riscos à saúde pública e/ou ao meio ambiente, conforme descrito a seguir:

a) resíduos Classe I – perigosos – apresenta riscos à saúde pública (provocando ou acentuando o aumento da mortalidade ou incidência de doenças), ao meio ambiente (quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada), ou características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, que estão definidas na norma em discussão;

b) resíduos Classe II – não perigosos – são divididos em duas subclasses, a saber:

- resíduos Classe II A – não inertes – aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – perigosos ou de Classe II B – inertes, podem ter as propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
- resíduos Classe II B – inertes – aqueles que, quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme NBR 10006 (2004), não solubiliza seus constituintes a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se: o aspecto, a cor, a turbidez, a dureza e o sabor.

O processo de reciclagem deve levar em consideração todas as características do resíduo e, principalmente, seu risco ambiental, para que o desenvolvimento dos novos produtos tenha um bom desempenho e uma maior aceitação por parte dos consumidores (OLIVIRA, 2015).

GOBBO et al. (2004) classificam esta lama residual de acordo com a NBR 10004, a resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, o anteprojeto de Política Estadual de Resíduos Sólidos e o Projeto de Lei 611 sobre Disciplina da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos, como demonstrado a seguir:

A Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, em 2002 também apresenta uma série de definições referentes ao tema:

- Resíduos de construção civil – provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, bem como os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, etc., comumente chamados de entulhos de obras;
- Agregado reciclado – é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia;
- Reutilização – é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo;
- Reciclagem – é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação, devendo-se considerar todas as características do resíduo e, principalmente, seu risco ambiental, para que o desenvolvimento dos novos produtos tenha um bom desempenho e uma maior aceitação por parte dos consumidores;
- Beneficiamento – é o ato de submeter um resíduo a operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições para que sejam utilizados como matéria-prima ou produto.

Resolução 307: classifica-se como classe B, os quais são entendidos como “resíduos recicláveis para destinações, como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros; onde abrangeriam também os finos de serragem, polimento e lustro”.

Anteprojeto de Política Estadual de Resíduos Sólidos: encaixam-se na categoria II, os quais são “resíduos industriais provenientes de atividades de pesquisa e de transformação de matérias-primas e substâncias orgânicas em novos produtos, por processos específicos, bem como os provenientes das atividades de mineração e extração, de montagem e manipulação de produtos acabados e aqueles gerados em áreas de utilidade, apoio, depósito e de administração das indústrias similares”.

Projeto de Lei 611: os resíduos de marmorarias se encaixariam dentre aqueles “gerados em comércio, escritórios e serviços”, onde o seu possuidor se desprenda ou tenha a intenção ou a obrigação de desprender-se (OLIVEIRA, 2015).

6.3.1 ESTUDOS REALIZADOS COM APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MARMORE

6.3.1.1 Históricos de trabalhos anteriores sobre estudos com resíduos

De acordo com OLIVEIRA, (2015), devido o desenvolvimento do setor de rochas ornamentais e aumento do resíduo gerado, iniciou-se uma série de trabalhos

com a finalidade de encontrar um destino para o resíduo minimizando assim, o impacto ambiental. Dentre os trabalhos, destacam-se:

SILVA (1998), estudou a caracterização da lama proveniente da serragem do bloco de granito, portanto, a substituição da cal por resíduo, a partir dos experimentos realizados, leva a pensar que o resíduo está se comportando como “fíler”. Isto aponta para a direção que o resíduo poderá ser utilizado na melhoria das propriedades de outras argamassas que não somente as de assentamento.

NEVES et al. (1999), visaram aproveitar (reciclar) o resíduo de corte de granito e o resíduo de polimento em misturas com argilas para a confecção de tijolos cerâmicos. Estudaram a utilização dos resíduos proveniente do corte/ ou polimento de granito de duas empresas diferentes e argila utilizada em cerâmica vermelha. No seu método de pesquisa, foram realizados os seguintes ensaios: absorção de água; massa específica aparente; porosidade aparente, e resistência à compressão simples. A partir dos resultados preliminares obtidos, conclui que os valores para os resíduos estudados estão em conformidade para uso em cerâmica vermelha, porém ensaios ainda estão sendo realizados.

Gonçalves (2000), utilizou com êxito o resíduo de corte de granito como adição para a produção de concretos em frações de 10% e 20% em relação à massa de cimento. A análise dos resultados permite concluir que sua utilização como adição em concretos é viável tecnicamente, e que 10% de adição é o teor que apresenta melhor desempenho.

Almeida e Pontes (2001), realizaram estudos sobre rejeitos de pedreiras e finos de serrarias de rochas visando à sua utilização em agregados para a construção civil, bem como em argamassas, pré-moldados e indústria de cerâmica vermelha (tanto em tijolos como telhas).

Xavier et al. (2002), utilizaram resíduo da serragem de mármore e granito em até 20% na fabricação de produtos de cerâmica vermelha, tendo como processo de conformação tanto a extrusão, como o processo de prensagem. Neste caso, foram utilizadas duas massas cerâmicas, onde foram aplicados um resíduo de mármore e um de granito, tendo sido desagregados e passados em malha 200. Os melhores resultados foram apresentados com os teores de 5% de granito e 15% de mármore.

Menezes et al. (2002), avaliaram a possibilidade de adição dos resíduos em massas cerâmicas para confecção de blocos e revestimentos cerâmicos. Verificou-se que os resíduos apresentam características físicas e mineralógicas semelhantes as

das matérias-primas cerâmicas convencionais e que corpos cerâmicos formulados com resíduos apresentam características dentro das especificações da normalização brasileira tanto para blocos como para revestimentos cerâmicos.

Mothé Filho, Polivanov e Mothé (2003), visaram a fabricação de blocos cerâmicos vazados, conformados por extrusão, empregando como matéria-prima a lama proveniente da serragem do mármore e do granito em até 30%. Foi utilizado um resíduo contendo tanto mármore quanto granito, porém não foi especificada sua predominância. Tendo em vista os ensaios físicos, os melhores resultados foram obtidos nas porcentagens de 5 e 10% de adição de resíduo.

Moreira, Freire e Holanda (2003), utilizaram o resíduo da serragem do granito, porém específico da região do Espírito Santo (onde este tipo de resíduo é produzido em grande escala), como aditivo na fabricação de produtos cerâmicos para construção civil. Os resultados revelaram que o resíduo é um material polimineral não plástico constituído basicamente por sílica, feldspatos, mica e calcita. Além do mais, os corpos sinterizados contendo resíduo de serragem de granito têm uso provável em cerâmica vermelha, contribuindo para a minimização de resíduos e desenvolvimento autossustentado.

Hwang e Soo Ko (2008), destacam a importância do desenvolvimento de tecnologias de reciclagem de resíduos de materiais, como os provenientes do mármore, do concreto e do plástico; devido ao elevado volume de produção na indústria e a crescente economia mundial. Além disso, o crescimento da indústria da construção civil resulta numa crescente demanda por agregados; logo, a importância de como reciclar ou reutilizar resíduos torna-se uma questão tecnológica.

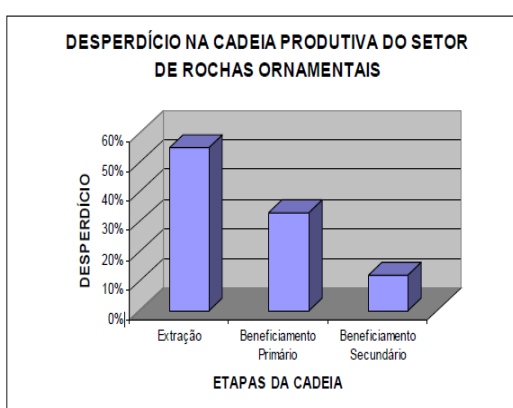
Sobre o assunto resíduo neste caso pó de marmoraria não podemos deixar de observar que isso implica tanto no aspecto ambiental quanto no aspecto econômico, visto que, ao serem recolhidos os resíduos depositados ilegalmente do grupo de construção civil (onde está inclusa o pó), é gerado um custo para os municípios.

Observando por este lado, fica certo a relevância dos trabalhos realizados e dos que estão em andamento, uma vez que, das 10 empresas visitadas na cidade de Mariana, São João del Rei e Ouro Preto, seis encaminhavam seus resíduos para lixões e aterros, de forma irregular, muitas vezes utilizando os caminhões da própria empresa (OLIVEIRA, 2015).

6.3.1.2 Resíduos do setor

Devido às atividades realizadas na exploração das rochas são produzidos inúmeros resíduos, embasado em Vilaschi e Sabadine (2000), foi elaborado um gráfico (figura 28) mostrando os percentuais médios destes desperdícios, e uma tabela (Tabela 2) com a origem destas perdas (OLIVEIRA, 2015).

Figura 28 – Percentuais médios de desperdícios nas etapas da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais



Fonte: Oliveira (2015).

Tabela 2– Origem das perdas na cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais

ETAPAS DA CADEIA PRODUTIVA	ORIGEM DAS PERDAS
EXTRAÇÃO	• Blocos com dimensões não padronizadas; • Cacos de pedra e pó.
BENEFICIAMENTO PRIMÁRIO (SERRARIA)	• Imperfeições dos casqueiros (laterais dos blocos); • Quebras de placa por falhas no empilhamento; • Serragem de placas defeituosas.
BENEFICIAMENTO SECUNDÁRIO (MARMORARIA)	• Retalhos de rocha • Pó de serraria (lama) • Pó de marmoraria (lama)

Fonte: Oliveira (2015).

Segundo Oliveira (2015), setor de rochas ornamentais é responsável por três tipos principais de resíduo conforme a seguir:

- Retalhos de rocha: este tipo de resíduo é originado de sobras e quebras de peças, chegando a alcançar uma perda de 10% a 20%. Estes fragmentos muitas vezes são jogados no pátio da própria empresa. Algumas empresas doam estes fragmentos, porém outras os retrabalham confeccionando produtos alternativos como, por exemplo, enfeites, puxadores de gavetas e armários, etc.
- Pó de serraria (lama): é o pó proveniente da serragem dos blocos de rochas (após a extração), além do polimento e lustro das chapas. Este pó é o resíduo gerado em maior quantidade, chegando a atingir entre 30% a 40% em volume dos blocos serrados conforme GOBBO (2004).
- Pó de marmoraria (lama): esta ocorre em forma de partículas finas formadas a partir do processo de recorte, polimento e lustro de peças, confeccionadas a partir das chapas geradas nas serrarias. Estas peças podem ser tanto personalizadas, como pias, balcões, etc, como também padronizadas, como placas, revestimentos, peitoris entre outros. De acordo com GOBBO (2004), esta lama é produzida em 2% do total de volume processado, o que a princípio parece pouco, porém pensando na produção de um mês, bem como de várias empresas, é possível justificar seu estudo neste trabalho, uma vez que o Estado de São Paulo, conforme MELLO (2004), produziu cerca de 336.000 t de rochas ornamentais no ano de 2003, isso significa aproximadamente 7.000 t de lama.

Este pó residual de marmoraria (lama) é normalmente armazenada em tanques subterrâneos, e sua retirada é realizada em sua maioria com pá e transportada por caminhões. No caso deste trabalho, o pó residual de marmoraria foi retirado do próprio tanque, utilizando-se uma lata.

6.3.2 Parâmetros para avaliação do uso do RCG como adição em concretos

Neste trabalho, para a verificação da influência da adição de RCG nos concretos foram determinados parâmetros relacionados ao desempenho do concreto no estado fresco e no estado endurecido. Vale ressaltar que neste estudo não foi realizados os ensaios de tração por compressão, flexão e de durabilidade.

6.3.2.1 Para concreto fresco

No estado fresco foi avaliada a influência da adição do RCG na consistência dos concretos através do método do abatimento de tronco de cone, normalizado pela NBR 7223 (ABNT, 1992).

6.3.2.2 Para o concreto endurecido

No estado endurecido dos concretos foram definidos como parâmetros para avaliação propriedades mecânicas e aspectos relacionados à durabilidade.

- Propriedades Mecânicas

Para verificação das propriedades mecânicas foram utilizados também os métodos normalizados pela ABNT:

- Resistência à compressão axial, determinada de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007);
- Resistência à tração por compressão diametral, determinada de acordo a NBR 7222 (ABNT, 1994);

Resistência à tração na flexão, determinada de acordo a NBR 12 142 (ABNT, 1991);

- Aspectos de Durabilidade

A incorporação de adições minerais nos concretos influencia bastante no seu desempenho final, contribuindo para um maior refinamento da estrutura de poros, aumentando a dificuldade de penetração de água e/ou agentes agressivos e podendo diminuir a absorção.

Conforme Helene (1993), existem como mecanismos para penetração de água no concreto endurecido: a permeabilidade (diferença de pressão com o meio externo), a absorção capilar (diferença de pressão interna), a migração e difusão.

Segundo Kelham (apud GONÇALVES, 2000), a absorvidade é a penetração de água num concreto não saturado em função da raiz quadrada do tempo. Para Bauer (1998), esta característica avalia um maior ou menor grau de absorção em um determinado tempo. A absorvidade apresenta-se como uma característica muito importante para a verificação da influência de uma adição no concreto, pois os efeitos causados são refletidos nesta característica, ou seja, através da absorvidade pode-se constatar o ganho no refinamento da estrutura de poros promovido pela incorporação da adição. Para Gopalan (1996), a determinação da absorvidade é de grande importância para a verificação da durabilidade dos concretos. Concretos com baixos valores de absorvidade representam concretos de melhor qualidade, conforme HO et al. (apud GONÇALVES, 2000).

Para avaliação desta característica, existe o ensaio de absorção por sucção capilar, desenvolvido por Kelham (apud GONÇALVES, 2000), o qual baseia-se no monitoramento, ao longo do tempo, do acréscimo na massa aparente de um corpo-de-prova submerso em água e devidamente condicionado.

Os acréscimos de massa aparente são plotados num gráfico em função da raiz quadrada do tempo, onde após o ajuste das retas, verifica-se as duas fases

distintas de absorção de água. A primeira fase é caracterizada pelo período de absorção e a segunda pelo período de saturação. O ponto exato da passagem do estágio de absorção para o estágio de saturação pode ser chamado de "ponto de saturação", onde ocorre uma diminuição da velocidade de absorção, e o acréscimo de massa aparente é muito pequeno em relação à raiz quadrada do tempo. Portanto, para uma mesma amostra ensaiada uma taxa de absorção para a fase de absorção e uma outra taxa de absorção bem menor para a fase de saturação.

A partir dos gráficos de ganho de massa em função da raiz quadrada do tempo, calcula-se a taxa de absorção, resistência capilar e porosidade efetiva. A taxa de absorção, em $g/h^{1/2}$, é obtida através da inclinação da reta ajustada na fase inicial de absorção.

A resistência capilar é obtida através do ponto de interseção entre as duas retas, chamado de ponto de saturação, para GJORV (apud GONÇALVES 2000) o "nick point". Calcula-se a resistência capilar, em h/m^2 , utilizando a seguinte fórmula (GONÇALVES apud GJORV, 2000):

Equação 3 – Resistencia capilar

$$M = \frac{ts}{e^2}$$

Onde: M - Resistência capilar (h/m^2)

ts - abcissa do ponto de saturação ($h^{1/2}$) e

- espessura do corpo-de-prova (m)

Como as adições influenciam bastante nas propriedades do concreto endurecido, existe também a influência da adição de RCG na porosidade efetiva dos concretos. Como a porosidade absoluta não se pode medir, pois nem todos os poros estão acessíveis, calcula-se o valor da porosidade efetiva, representam a porosidade aberta dos concretos em avaliação.

Para o cálculo da porosidade efetiva utilizou-se a seguinte fórmula, proposta por Kelham:

Equação 4 – porosidade efetiva

$$P_{efet}(\%) = \frac{\text{ganho de massa}}{A \times L \times m_a} \times 100$$

Onde: P_{efet}. -- porosidade efetiva em %;

A - área da seção transversal do corpo-de-prova (cm²);

L - espessura (cm);

m_a - massa específica da água (g/cm³).

Diferente do ensaio de absorção por sucção capilar, o ensaio de absorção por imersão mostra a absorção de um determinado concreto num tempo e seu índice de vazios, através da relação entre a massa seca e saturada da amostra, sem levar em consideração a velocidade desta absorção. Este ensaio é realizado a frio, conforme a NBR 9778 (ABNT, 1987), com o tempo de permanência de imersão de 96 horas.

Vale ressaltar que para o trabalho foi realizado apenas ensaios de compressão e absorção.

6.4 NORMAS TÉCNICAS UTILIZADAS

6.4.1 ABNT NBR 6118

A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas do concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas. (ABNT, 2014)

Nos projetos de estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na tabela 3, e pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 3 – Classes de agressividade do concreto.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a Industrial ^{a, b}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c} Respingos de maré	Elevado

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT(2014).

Ensaio comprobatório de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e classe de agressividade prevista em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta destes e devido à existência de uma forte correspondência entre a relação água/cimento e a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, permite-se que sejam adotados os requisitos mínimos expressos na tabela 4. (ABNT,2014)

Tabela 4 - Tabela de relação água/cimento de acordo com a agressividade.

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT(2014).

6.4.2 ABNT NBR 5739

A máquina de ensaio de compressão dos corpos-de-prova pode ser classe I, II ou III. A estrutura de aplicação de carga deve ter capacidade compatível com os ensaios a serem realizados, permitindo a aplicação controlada de carga sobre o corpo-de-prova colocado entre os pratos de compressão. O prato que se desloca deve ter movimento na direção vertical, mantendo paralelismo com o eixo vertical da máquina.(ABNT,1994)

Até a idade de ensaio, os corpos-de-prova devem ser mantidos em processo de cura úmida ou saturada, nas condições preconizadas, conforme o caso. (ABNT,1994)

As faces de aplicação de carga dos corpos-de-prova devem ser rematadas de acordo com o prescrito NBR 5738, em se tratando de corpos-de-prova moldados. (ABNT,1994)

Os corpos-de-prova devem ser rompidos à compressão em uma dada idade especificada, com as tolerâncias de tempo descritas na tabela Em se tratando de corpos-de-prova moldados a idade deve ser contada apartir do momento em que o corpo é posto em contato com a água.

Tabela 5 – Tempo médio de cura.

Idade de ensaio	Tolerância permitida
24 h	± 30 min ou 2,1%
3 d	± 2 h ou 2,8%
7 d	± 6 h ou 3,6%
28 d	± 20 h ou 3,0%
60 d	± 36 h ou 2,5%
90 d	± 2 d ou 2,2%

Fonte: ABNT(1994).

6.4.3 ABNT NBR 9778

Com o corpo de prova seco e já determinado a sua massa, proceder à imersão da amostra em água a temperaturas ambientes, durante 72h.(ABNT,1986)

Determinada a massa, decorridas 24h, 48h e 72h de imersão. As determinações devem ser feitas após enxugar a superfície da amostra com toalha absorvente. (ABNT,1986)

De acordo com a abnt (1986) os resultados obtidos não podem ultrapassar 10 % de saturação dos corpos de prova.

6.4.4 ABNT NBR 248

Após a secagem do material, se toma as amostras de acordo com sua massa. Encaixar as peneiras, previamente limpas, de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo. Prover um fundo de peneiras adequado ao conjunto. (ABNT, 2003)

Destacar e agitar manualmente a peneira superior do conjunto (com tampa e fundo falso encaixados) até que, após um minuto de agitação continua, massa de material passante pela peneira seja inferior a 1% da massa do material retido. A agitação da peneira deve ser feita em movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal quanto inclinado. (ABNT, 2003)

Para cada uma das amostras de ensaio, calcular a porcentagem retida, em massas, em cada peneira, com aproximação de 0,1%. As amostras devem apresentar necessariamente a mesma dimensão máxima característica e, nas demais peneiras, os valores de porcentagem retida individualmente não devem diferir mais que 4% entre si. Caso isto ocorra, repetir o peneiramento para outras amostras de ensaio até atender a esta exigência. (ABNT, 2003)

7. ESTUDO DE CASO

Todo o estudo de caso foi realizado a partir de testes laboratoriais envolvendo ensaios de absorção, compressão, granulométricos e análise de ruptura e todas as conclusões foram tiradas com base em resultados obtidos.

7.1 ANALISE ECONÔMICA

Como toda a pesquisa foi voltada ao traço do concreto tendo como base 1Kg(um quilograma) de cimento Portland, a análise econômica seguiu esse padrão também. De acordo com a tabela do SINAPI e também grandes lojas de construção em Natal-RN pode-se chegar aos preços descritos na tabela abaixo (tabela 6):

Tabela 6 – Valores de insumos

Insumos	Areia média (kg)	CP-II (kg)	Brita 19 (kg)
Valor (R\$)	0,22	0,5	0,055

Tendo esses valores por base podemos chegar a análise de valores nas seguintes tabelas(tabela 7 e 8):

Tabela 7 – Relação de valores com o concreto de 20 MPA

Valor com a adição do resíduo (R\$)	0,90
Valor sem a adição do resíduo (R\$)	1,02

Tabela 8 – Relação de valores com o concreto de 25 MPA

Valor com a adição do resíduo (R\$)	0,85
Valor sem a adição do resíduo (R\$)	0,96

Os resultados poderam ser obtidos tendo por base o valor unitário de 1kg de cimento, ou seja, para 1kg de cimento um outro valor de quilos é necessário de areia e de brita para que seja constituído o traço, e após isso com os custos unitários do material pode-se chegar as os valores assim como descrito na tabela 7 e 8.

8. RESULTADOS OBTIDOS

8.1 RESULTADOS DA GRANULOMETRIA

Tabela 9 – Relação de resultados granulométricos

Dimensão da malha (mm)	Material retido (g)
2	3,041
1,18	17,566
0,85	32,167
0,6	46,699
0,425	54,641
0,3	364,321
0,25	356,979
0,18	92,761
0,15	8,151
0,075	10,673
Fundo	5,896

Com os resultados obtidos de acordo com a tabela anterior, podemos observar que o pó da rocha se trata de um agregado miúdo mais fino que o a areia normalmente utilizada nos ensaios.

8.2 ENSAIO DE ABSORÇÃO DA ÁGUA

Tabela 10 – Relação de pesos de corpos de provas de 25MPA

Nº	Peso Seco (kg)	Peso Saturado (kg)	Porcentagem (%)
1	3,631	3,665	0,91
2	3,544	3,616	1,99
3	3,633	3,668	0,97
4	3,655	3,693	1,03
5	3,706	3,742	0,956
6	3,679	3,707	1,01
7	3,649	3,687	1,01
8	3,631	3,667	0,979
9	3,617	3,651	0,93
10	3,672	3,707	0,957
11	3,632	3,666	0,957
12	3,671	3,707	0,973
13	3,632	3,667	0,948
14	3,658	3,693	0,955
15	3,509	3,52	0,318
16	3,491	3,524	0,973
17	3,557	3,582	0,695
18	3,335	3,386	1,517
19	3,339	3,408	2,012
20	3,577	3,605	0,795
		Média	1,044
		Desvio Padrão	0,3879

Foi observado que o ensaio de absorção realizado para o traço confeccionado de 25 MPA eles estão dentro do limite aceitável pela NBR 9778.

Tabela 11 – Relação de pesos de 20MPa

Nº	Peso Seco (kg)	Peso Saturado (kg)	Porcentagem (%)
1	3,583	3,625	1,15
2	3,586	3,621	0,974
3	3,567	3,613	1,482
4	3,579	3,624	1,225
5	3,601	3,636	0,971
6	3,613	3,652	1,067
7	3,607	3,643	1,007
8	3,625	3,673	1,301
9	3,596	3,623	0,753
10	3,569	3,583	0,391
11	3,485	3,543	1,642
12	3,592	3,625	0,913
13	3,599	3,632	0,9
14	3,517	3,584	1,874
15	3,672	3,704	0,877
16	3,655	3,686	0,83
17	3,661	3,688	0,77
18	3,678	3,711	0,907
19	3,641	3,672	0,844
20	3,588	3,624	0,996
		Média	1,436
		Desvio Padrão	0,3339

Também foi observado que no traço confeccionado para 20 MPa obteve-se um limite de absorção muito bom, permitido pela NBR 9778.

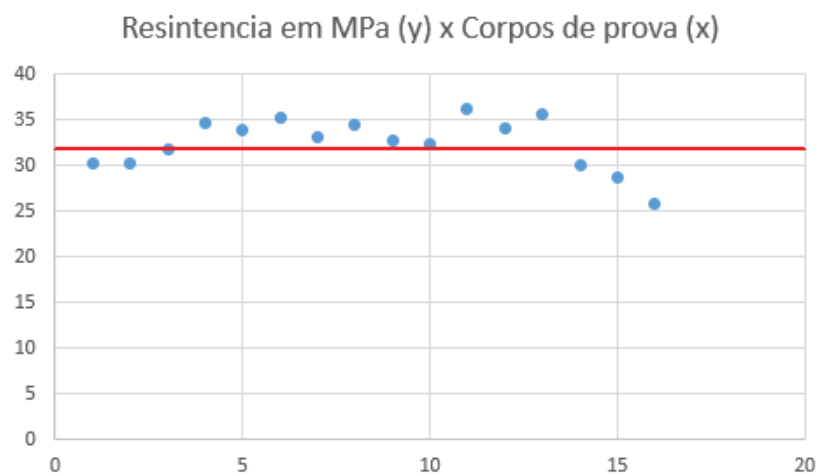
8.3 ENSAIO DE COMPRESSÃO DO CONCRETO

Tabela 12 – Resultados do teste de compressão do traço de 25MPA

Nº	Resistencia (Mpa)
1	30,21
2	30,32
3	31,8
4	34,68
5	33,94
6	35,28
7	33,11
8	34,53
9	32,67
10	32,42
11	36,29
12	34,02
13	35,71
14	30,07
15	28,73
16	25,77
Média	32,47
Desvio padrao	2,85

O resultado esperado para o ensaio do traço confeccionado era de 25 MPa, como foi visto ele deu um resultado muito superior ao esperado, comprovando sua eficiência de acordo com a NBR 6118 no estudo foi exclui 4 corpos de prova devido à má compactação, na Figura 29 podemos observar, o qual mostra o gráfico dos resultados, com a média sendo representada pela linha vermelha.

Figura 29 - Gráfico representativo dos resultados do ensaio do traço para 25 MPa.

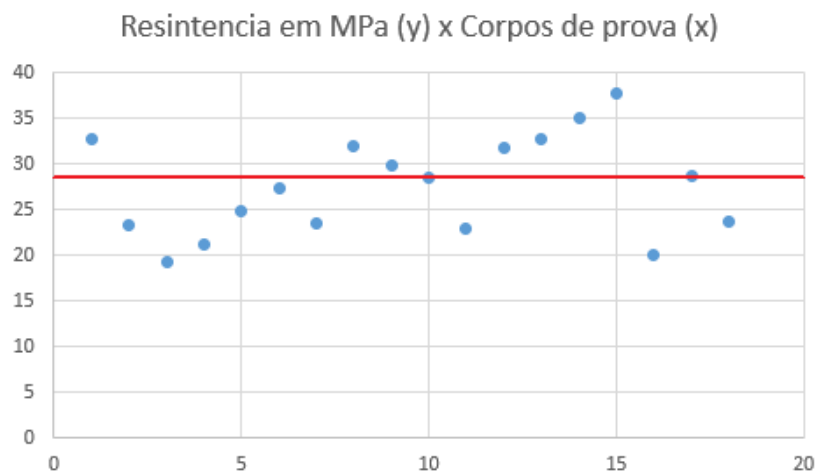


Fonte: Autor (2019).

Tabela 13 – Resultados do teste de compressão do traço de 20MPA

Nº	Resistencia (Mpa)
1	32,8
2	23,27
3	19,21
4	21,13
5	24,91
6	27,3
7	23,56
8	31,95
9	29,91
10	28,46
11	22,91
12	31,72
13	32,77
14	35,03
15	37,72
16	20,11
17	28,68
18	23,73
Média	27,99
Desvio Padrão	5,17

Também foi observado que para o traço confeccionado, o resultado deu bem acima do esperado, indicando sua eficiência, de acordo com a NBR 6118 a qual fala sobre resistência do concreto, vale ressaltar que 2 corpos de provas foram retirados devido à má compactação. Pode-se observar a relação de resistência com os corpos de prova na figura 30, a média sendo representada pela linha vermelha.

Figura 30 - Gráfico representativo dos resultados do ensaio do traço para 20 MPa.

Fonte: Autor (2019).

8.4 ENSAIO DE RUPTURA DOS CORPOS DE PROVA

Tabela 14 – Tipos de ruptura ocasionada no teste de compressão(25MPa)

Nº	Tipos de ruptura
1	D
2	B
3	B
4	B
5	B
6	E
7	F
8	E
9	B
10	B
11	E
12	B
13	B
14	B
15	B
16	B
17	F
18	E
19	F
20	E
Média	B

Para a análise de ruptura foi observado que predominantemente tem-se o tipo B, o qual é comum em todas as análise realizadas no mesmo gênero, observa-se que se repetiu 12 vezes. Em relação a porcentagens obteve-se 60% tipo B, 20% tipo E, 15% tipo F e 5% tipo D.

Tabela 15 – Tipos de rupturas ocasionada no teste de compressão(20MPa)

Nº	Tipos de ruptura
1	B
2	F
3	F
4	B
5	F
6	F
7	B
8	B
9	F
10	F
11	F
12	E
13	B
14	F
15	B
16	E
17	B
18	B
19	B
20	B
Média	B

Foi também observado o mesmo comportamento em relação ao traço de 20 MPa, a ruptura do tipo B observa-se que se repetiu 11 vezes. Em relação as porcentagens obteve-se 50% tipo B, 35% tipo F, 15 % tipo E.

9. CONCLUSÕES

Pode-se afirmar que ambos os traços feitos apresentaram médias de resistência acima do esperado para ambientes rurais e urbanos e médias de absorção abaixo do limite normatizado de 10%, e que o mesmo está apto a ser utilizado na construção civil, estando dentro das especificações atribuídas pela NBR 6118-2014 - a comumente usada na fabricação de concretos. No entanto, é responsável afirmar que o resíduo atribuído ao concreto não possui a mesma granulometria que a areia grossa e atualmente apesar de ter passado por um processo de purificação do material por peneiramento, muitos rejeitos são encontrados em mistura com o mesmo, ressaltando que o material ainda é visto como rejeito, dessa forma sendo contra indicado empregá-los em peças estruturais como vigas, lajes, pilares e até mesmo fundações, mas totalmente indicado para contrapisos entre outras aplicações não estruturais, produzindo uma economia no custo do concreto despertando um interesse maior na grandes marmorarias em tratar de forma correta seu, até então, rejeito, passando assim a encará-lo como um resíduo, que pode gerar lucro de pela sua comercialização e para o construtor uma economia que pode alcançar 10% em cima do custo do concreto.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. L. M.; PONTES, I. F. Aproveitamento de rejeitos de pedreiras e finos de serrarias de rochas ornamentais brasileiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1 nov. 2001, Salvador, **Anais...** Salvador, 2001.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de Construção**. 5. ed. São Paulo: Pini, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). **Panorama do setor de rochas ornamentais no mundo e no Brasil**, 2004.

Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais –ABIROCHAS, Panorama do setor de rochas ornamentais no mundo e no Brasil, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-provas cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13532**: Elaboração de projetos de edificação - arquitetura ,ABNT, 1995

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **10004**: Resíduos Sólidos - classificação. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2004. 71 p.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **12142**: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos - Método de ensaio. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1991. 4 p.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **7222**: Argamassa e concreto. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1994. 3 p.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **7223**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1992. 4 p.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. 1 ed. Rio de Janeiro, 1986. 3 p.

BAUER, E. Dosagem de Argamassas. Relatório Técnico. Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, Junho, 1998.

CALMON, J, L. Resíduos industriais e agrícolas. In: IBRACON – INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 1. ed. São Paulo: Ipsis Gráfica e Editora, 2007. 2 v. p.1591-1627.

CHIODI FILHO, Cid; KISTEMANN, Denize. **Tecnologia de rochas ornamentais**. Rio de Janeiro, 2014.

CHIODI FILHO,C. **Balanço das exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento em 2004** – Novo recorde histórico de crescimento. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1º, fevereiro 2005, Espírito Santo, Anais...Espírito Santo, 2005.

CHIOSSI, Nivaldo. Rochas: Rochas sedimentares. In: CHIOSSI, Nivaldo. **Geologia de engenharia**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. Cap. 3. p. 13-426.

Frascá, Maria H. B. de O. **Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso.** São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Disponívm em: <http://www.fiec.org.br/sindicatos/simagran/artigos_palestras/Curso_Caracterizacao_TecndeRochas.htm>.

FREIRE, A.S.; MOTTA, J. F. M. **Potencialidades para aproveitamento econômico de rejeito de serragem de granito.** São Paulo: [s.n.], 1998.

GOBBO, L. A. et al. **Aproveitamento de resíduos industriais: a cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo: diretrizes e ações para inovação e competitividade.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2004. p.129-152.

GOMEZ, MOAB PRAXEDES(2004).**MATRIZ DE INTERAÇÃO QUALITATIVA DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS NO SEGMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS.** SANTOS, J.F., CHIODI FILHO. C. Programa Michelangelo Espírito Santo: uma proposta para liderança nacional em rochas ornamentais. Brasília. D.N.P.M., 1991.

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

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HWANG, Eui-Hwan; SOO KO, Yung. Comparison of mechanical and physical properties of SBR-polymer modified mortars using recycled waste materials. **Journal of Industrial e Engenharia Quimica**, v. 14, p. 644-650, set. 2008.

KAEFER, Luis. **A evolução do concreto armado**. São Paulo, 1998. (PEF 5707: Concepção, projeto e Realização das estruturas: aspectos históricos).

LISBÔA, Edvaldo Monteiro. **Obtenção do concreto auto-adensável utilizando resíduo do beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas**. 2004. 144 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Tecnológico, Maceió, 2004.

MELLO, I. S. C. et al. **A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo: diretrizes e ações para inovação e competitividade**. São Paulo: IPT, 2004. (IPT, Publicação 2995).

MELLO, Roberta Monteiro de. **UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO PROVENIENTE DO ACABAMENTO E MANUFATURA DE MARMORE E GRANITOS COMO MATÉRIA-PRIMA EM CERÂMICA VERMELHA**. 2006. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência na área de Tecnologia Nuclear, Centro Tecnológico, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2006. Cap. 8.

MENEZES, R. R. et al. Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas. **Cerâmica**, n. 48, p. 92-101, 2002.

MOREIRA, J. M. S.; FREIRE, M. N.; HOLANDA, J. N. F. Utilização do resíduo de serragem de granito proveniente do Estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v.49, n.312, p. 262-267, out./dez. 2003.

MOTHÉ FILHO, H. F.; POLIVANOV H.; MOTHE C.G. Bloco estrutural contendo rejeito da indústria de mármore e granito. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 47º, junho 2003, São Paulo, **Anais...** São Paulo, 2003. 1 CD-ROM.

NEVES, G. A. **Reciclagem de Resíduos da Serragem de Granitos para o uso como Matéria-Prima Cerâmica**. Tese – Curso de Pós-Graduação em engenharia de processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

NEVES, Gelmires et al. Utilização de resíduos da serragem de granitos para a confecção de tijolos cerâmicos. 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica. **Anais...** Florianópolis/SC, jun. 1999.

NEVILLE, A.m; BROOKS, J.j. Cimento: Cimento modificado(tipo II). In: NEVILLE, A.m; BROOKS, J.j. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2013. Cap. 2. p. 1-448.

NTC E LOGÍSTICA. 2007. Disponível em: <http://www.newslog.com.br/site/default.asp?TroncoID=907492&SecaoID=508074&SubsecaoID=948063&Template=../artigosnoticias/user_exibir.asp&ID=638017&Titulo=Contran%20quer%20conter%20acidentes%20com%20blocos%20de%20m%E1rmore%20e%20granito%20no%20ES>. Acesso em: 1 nov. 2018.

OLIVEIRA, Liliane Souza de. **Reaproveitamento de resíduos de marmoraria em compósitos cimentícios**. 2013. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Tecnológico, UFSJ, São João Del-rei, 2015.

PACHECO, Clarice Pereira. **Estudo do desenvolvimento do Mármore e granito**. 2009. (Apostilha).

POPP, José Henrique. Rochas igneas ou magmaticas: Origens e tipos de magma. In: POPP, José Henrique. **Geologia Geral**. 6. ed. Rio Grande do Sul: Ltc, 2014. Cap. 10. p. 3-309.

SILVA, S. C. **Caracterização do resíduo de serragem de blocos de granito: estudo do potencial de aplicação na fabricação de argamassas de assentamento e de tijolos de solo-cimento**. 1998. Dissertação (Mestrado) –: Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1998.

TRINDADE, Bruna Cristina. **Adição de Resíduo Proveniente de Rochas Ornamentais no Concreto**. 2015. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unifor-mg, Formiga, 2015. Cap. 8.

ULUBEYLI, Gulden Cagin. Properties of hardened concrete produced by waste marble powder. In: WORLD CONFERENCE ON TECHNOLOGY, INNOVATION ENTREPRENEURSHIP, 1., 2015, Istambul. **Properties of hardened concrete produced by waste marble powder**. Istambul: Elsevier, 2015. p. 1 – 10.

VASCONCELOS, Carlito de Chaves da Silva. Processo de extração do mármore e suas aplicações na construção civil na cidade de São Rafael-RN. 2013. 53 f. Monografia (Graduação – Engenharia Civil) – Tecnológico, UFERSA, Mossoró, 2013.

VIDAL, Francisco Wilson H.; CASTRO, Núria Fernández; FRASCÁ, Maria Heloísa B. O.. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavras e beneficiamento**. Florianópolis: Cetem, 2014. 684 p.

XAVIER, G. C. et al. Aditivo mineral: uso do rejeito de mármore e granito na massa de conformação de cerâmica vermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 46º, maio 2002, São Paulo, **Anais...** São Paulo, 2002. 1 CD-ROM.