

**DESENVOLVIMENTO DE TELHA DE CONCRETO ECO-EFICIENTE  
UTILIZANDO RESÍDUO DE MÁRMORE DO TEAR DE FIO  
DIAMANTADO**

**DAVI GONÇALVES FERNANDES**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE - UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ**

**DEZEMBRO – 2017**

**DESENVOLVIMENTO DE TELHA DE CONCRETO ECO-EFICIENTE  
UTILIZANDO RESÍDUO DE MÁRMORE DO TEAR DE FIO  
DIAMANTADO**

**DAVI GONÇALVES FERNANDES**

“Tese de Doutorado apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais”

**Orientador: Prof. José Nilson França de Holanda**

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

DEZEMBRO – 2017

**DESENVOLVIMENTO DE TELHA DE CONCRETO ECO-EFICIENTE  
UTILIZANDO RESÍDUO DE MÁRMORE DO TEAR DE FIO  
DIAMANTADO**

**DAVI GONÇALVES FERNANDES**

“Tese de Doutorado apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais”

Aprovada em 06 de dezembro de 2017.

**Comissão Examinadora:**

---

Prof. José Nilson França de Holanda (D.Sc.) – UENF  
Orientador

---

Prof. Márcia Gardinieri de Azevedo (D.Sc.) - UENF

---

Prof. Eduardo Atem de Carvalho (PhD) - UENF

---

Prof. Andre Zotelle Destefani (D.Sc) - IFF

## AGRADECIMENTOS

Ao professor José Nilson pela compreensão e ajuda nos momentos difíceis de desenvolvimento desta tese.

Aos meus pais Octavio e Lucia que sempre me incentivaram durante todo o processo, dando ajuda e suporte necessário.

A minha esposa Bruna pelas conversas de incentivo, paciência e ajuda durante esta caminhada.

Aos meus filhos Daniel e Amanda que me fazem ter força e saber que este momento é mais uma etapa na qual virão outras.

Ao amigo Andre Zotelle Destefani, que proporcionou todo o inicio deste doutorado com suas ideias, incentivo e orientações.

Aos amigos e professores do Instituto Federal Fluminense, em especial a Cláudia, Cremilsson, Sandra, Marcellus, Laura, Caroline, Rafael, Marcelo, Helder, Maicon.

Ao pessoal da Fernandes Arquitetura Ltda, com entendimento nas minhas ausências.

Ao Lucas Assed, pela ajuda e compreensão na etapa final deste trabalho.

Aos amigos da Uenf, em especial a Tarcília, sempre disposta a ajudar nos momentos difíceis.

Ao professor Herval Ramos Paes Junior, pelo auxilio no sexperimentos de microscopia confocal.

A todos que contribuíram para resultado deste trabalho.

Resumo da tese apresentada ao CCT-UENF como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais.

## **DESENVOLVIMENTO DE TELHA DE CONCRETO ECO-EFICIENTE UTILIZANDO RESÍDUO DE MÁRMORE DO TEAR DE FIO DIAMANTADO**

**Davi Gonçalves Fernandes**

**06 de Dezembro de 2017**

**Orientador: Prof. José Nilson França de Holanda**

### **RESUMO**

No Brasil a indústria de rochas ornamentais é de grande importância e contribuição no cenário nacional, a qual contribui para o desenvolvimento social e econômico nacional. No entanto, as atividades da indústria de rochas ornamentais geram enormes quantidades de resíduos sólidos poluentes. Na atualidade, o grande desafio desta indústria é compatibilizar os benefícios econômicos gerados e os impactos ambientais negativos originados, principalmente no processo do beneficiamento das rochas ornamentais. O reaproveitamento de resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais como material de construção constitui uma alternativa importante para mitigar tais impactos ambientais, bem como contribui para a sustentabilidade da indústria de rochas ornamentais. Este trabalho tem como objetivo avaliar o reaproveitamento do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais em misturas para produção de telhas de concreto. As diversas proporções dos agregados constituintes foram avaliadas, visando alcançar um desempenho satisfatório das propriedades tecnológicas analisadas (tensão de ruptura à flexão e absorção de água). Os resultados experimentais indicaram uma máxima massa seca dos agregados para a incorporação de 18 % do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais em relação à massa seca dos agregados. A nova telha de concreto produzido nesta pesquisa apresentou carga de ruptura à flexão entre 2524 N e 2528 N e absorção de água entre 8,3 e 8,2%, os quais atendem às especificações técnicas brasileiras para esta tipologia de material de construção.

Abstract of thesis presented to CCT-UENF as part of the requirements for obtaining the Doctor Degree in Materials Engineering and Science.

## DEVELOPMENT OF ECOEFFICIENT CONCRETE ROOFING TILE USING ORNAMENTAL ROCK RESIDUE OF DIAMOND WIRE TEAR

Davi Gonçalves Fernandes

December 06, 2017

**Advisor: Prof. José Nilson França de Holanda**

### **ABSTRACT**

In Brazil the ornamental rock industry is of great importance and contribution in the national scenario, which contributes to national social and economic development. However, the activities of the ornamental rock industry generate huge amounts of solid waste pollutants. At present, the great challenge of this industry is to reconcile the economic benefits generated and the negative environmental impacts originated, mainly in the process of the ornamental rocks processing. Reuse of ornamental rock waste as a building material is an important alternative to mitigate such environmental impacts and contributes to the sustainability of the ornamental rock industry. This work aims to evaluate the reuse of the residue of the ornamental rock processing in mixtures for the production of concrete roofing tiles. The different proportions of the constituent aggregates were evaluated in order to achieve a satisfactory performance of the analyzed technological properties (flexural strength and water absorption). The experimental results indicated a maximum dry density of the aggregates for the incorporation of 18% of the ornamental rock residue in relation to the dry mass of the aggregates. The new concrete roofing tile produced in this research had flexural load between 2524N and 2528N and water absorption between 8.3 and 8.2%, which meet the Brazilian technical specifications for this type of construction material.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Resistência à compressão em função da relação água/cimento (a/c) para uma mesma proporção de agregados/cimento (traço fixo) (Oliveira, 2004).....	5
Figura 2: Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento Portland (ABCP,2016 ).....	10
Figura 3: Sistema de partículas (Oliveira, 2000). ....	15
Figura 4: Processo de hidratação do cimento .....	18
Figura 5: Modelo de Telha de Concreto .....	20
Figura 6: Fotos de residências com telhados executados com telhas de concreto ...	20
Figura 7: Fluxograma de processo de fabricação de telha de concreto (Adaptado - FERNANDES,2012) .....	22
Figura 8: Processo de serragem dos blocos de mármore .....	27
Figura 9: Resíduo proveniente do processo de serragem.....	27
Figura 10: Processo da geração de resíduos na indústria de rochas ornamentais (Reis 2008).....	28
Figura 11: Processo do programa experimental.....	31
Figura 12: Processo de prensagem do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais.....	32
Figura 13: Resíduo seco, pronto para destorroamento. ....	32
Figura 14: Resíduo destorroado - pronto para peneiramento. ....	33
Figura 15: Resíduo final pronto para o uso. ....	33
Figura 16: Agregados: areia fina e areia grossa.....	34
Figura 17: Aparato experimental para determinação da máxima densidade seca aparente.....	37
Figura 18: Etapas de produção de argamassa.....	38
Figura 19: Parte superior e inferior da telha de concreto .....	39
Figura 20: Dimensões da telha de concreto .....	39
Figura 21: Maquinário completo para extrusão de telha de concreto.....	40
Figura 22: Argamassadeira .....	40
Figura 23: Esteira de agregados. ....	41
Figura 24: Extrusora.....	41
Figura 25: Formas das Telhas utilizadas.....	42

Figura 26: Prensa utilizada para realização dos testes de ruptura execução de ruptura.....	42
Figura 27: Distribuição granulométrica das areias utilizadas como agregados: areia fina (curva azul) e areia grossa (curva vermelha). ....	45
Figura 28: Difratograma de raios-X do resíduo. D = Dolomita; C = Calcita; .....	48
Figura 29: Microscopia de MEV do Resíduo, (a) aumento de 200x; (b) aumento de 600x; (c) aumento de 800x e (d) aumento de 800x.....	49
Figura 30: Gráfico resultante da análise dos dados da tabela 16.....	50
Figura 31: Gráfico resultante da análise dos dados da tabela 16.....	51
Figura 32: Molde para corpo de prova .....	55
Figura 33: Mecanismo para teste de extrusão .....	57
Figura 34: Comparativo dos resultados da carga de ruptura a flexão aos 28 dias de cura exigidos pela NBR 13858-2:2009 para telhas de concreto.....	60
Figura 35: Comparativo dos resultados de absorção de água aos 28 dias de cura exigidos pela NBR 13858-2:2009 para telhas de concreto. ....	60
Figura 36: Gráfico comparativo com a carga de ruptura de todas as telhas de concreto.....	61
Figura 37: Gráfico comparativo de Absorção de água de todas as telhas de concreto. ....	62
Figura 38: Microestrutura, ampliação 216x .....	63
Figura 39: Microestrutura, ampliação 430x .....	63
Figura 40: Microestrutura, ampliação 1075x .....	63
Figura 41: Microestrutura, ampliação 2136x .....	63
Figura 42: Microestrutura, ampliação 4059x .....	64
Figura 43: Microestrutura, ampliação 8545x .....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição dos tipos de cimento (ABCP 2016).....	9
Tabela 2: Limites exigidos pela NBR 13858-2 : 2009.....	23
Tabela 3: Características geométricas da telha de concreto (NBR 13858-2: 2009)(Adaptado) .....	24
Tabela 4: Relação de Aspectos Ambientais e Impactos Ambientais no processo de beneficiamento de rochas ornamentais (GOMES, 2009) .....	26
Tabela 5: Ensaio de caracterização do resíduo.....	34
Tabela 6:Ensaio de caracterização do agregado .....	35
Tabela 7: Caracterização do Aglomerante hidráulico .....	35
Tabela 8:Características do SP utilizado.....	35
Tabela 9: Caracterização física dos materiais agregados usados. ....	46
Tabela 10: Análise química do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais..	47
Tabela 11: Planejamento da inserção de areia fina com a areia grossa e o resultado da massa unitária compactada para cada ponto. ....	49
Tabela 12: Planejamento da inserção do resíduo de rocha ornamental e o resultado da massa unitária compactada para cada ponto. ....	51
Tabela 13: Planejamento do teor de cimento e água/finos. ....	52
Tabela 14: Traços de concreto do planejamento da Tabela 17.....	53
Tabela 15:Consumo (m <sup>3</sup> ). ....	54
Tabela 16: Consumo em Kg/m <sup>3</sup> das matérias-primas utilizadas. ....	55
Tabela 17: Consumo para execução de corpo de prova. ....	56
Tabela 18: Influência dos finos na argamassa. (CINCOTTO, 1995) .....	56
Tabela 19: Calculo de influencia dos finos na plasticidade. ....	56
Tabela 20: Composição do concreto T1 com adição do RBRO. ....	57
Tabela 21: Composição do concreto T4 com adição do RBRO. ....	57
Tabela 22: Carga de Ruptura a flexão das telhas traço T1 e T4.....	58
Tabela 23: Comparativo entre telhas de mercado e telhas com resíduo .....	61

## SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO .....	1
2.0 OBJETIVOS .....	3
2.1 OBJETIVO GERAL .....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
2.3 INEDITISMO .....	3
3.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
3.1. CONCRETOS RHEODINÂMICO (SECO).....	4
3.1.1 – MATERIAIS CONSTITUINTES .....	5
3.1.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO .....	17
3.1.3 - PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO .....	19
3.2 TELHAS DE CONCRETO .....	20
3.2.1 MATERIAIS E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO .....	21
3.2.2 PROPRIEDADES A SEREM AVALIADAS NAS TELHAS DE CONCRETO ...	23
3.2.3 ESTUDO COM TELHAS DE CONCRETO.....	24
3.3 RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS .....	25
3.3.1 UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO NA CONTRUÇÃO CIVIL.....	29
4.0 MATERIAIS E MÉTODOS DE ANÁLISE.....	31
4.1 – SELEÇÃO DE MATERIAIS .....	31
4.1.1 – RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS .....	31
4.1.2 – AGREGADOS: AREIA GROSSA E AREIA FINA .....	34
4.1.3 – ÁGUA .....	36
4.3 – OTIMIZAÇÃO DO ESQUELETO GRANULAR .....	36
4.3.1 – PREPARO DAS ARGAMASSAS .....	38
4.3.2 – DOSAGEM ÓTIMA DO SP.....	39
4.4 – ESTUDO DOS CONCRETOS.....	39
4.4.1 – PRODUÇÃO DOS DAS TELHAS DE CONCRETO .....	39

4.4.2 – RESISTÊNCIA DE CARGA DE RUPTURA À FLEXÃO .....	42
4.4.3 – ABSORÇÃO DE ÁGUA .....	43
4.5 – COMPARATIVO COM OUTROS RESULTADO DE ADIÇÃO DE RESÍDUO EM TELHAS DE CONCRETO .....	44
5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5.1 – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS .....	45
5.1.1 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA.....	45
5.1.2 – COMPOSIÇÕES QUÍMICA E MINERALÓGICA .....	47
5.2 — MÁXIMA MASSA APARENTE SECA.....	49
5.3 – DOSAGEM DOS CONCRETOS .....	52
5.3.1 – EXECUÇÃO DOS TRAÇOS.....	54
5.3.2 – PRODUÇÃO DOS CONCRETOS .....	57
5.3.3 – ANÁLISE DE DADOS.....	58
5.3.4 – CARGA DE RUPTURA A FLEXÃO E ABSORÇÃO DE ÁGUA .....	58
5.3.5 – ANÁLISE DA MICROESTRUTURA .....	62
6.0 CONCLUSÕES .....	65
6.1 - CONCLUSÕES .....	65
6.2 – SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	66
7.0 REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICAS .....	67

# Capítulo 1

## 1.0 INTRODUÇÃO

O Brasil detém um dos mais expressivos setores de rochas ornamentais do mundo, o qual é responsável pela extração e beneficiamento de rochas ornamentais diversas tais como: granitos, mármore, gnaisses, ardósia entre outras. O setor de rochas ornamentais contribui com a economia nacional, ajudando no aumento das riquezas do país e no desenvolvimento social. De acordo com a ABIROCHAS (2017) o Brasil frente ao ano de 2016, registrou uma participação de 5,82% do mercado mundial, fixando uma grande presença no mercado internacional.

Os principais estados produtores de rochas ornamentais são: Espírito Santo, Minas Gerais, Ceará, Bahia, Rio Grande do Norte (ABIROCHAS, 2017), sendo que o Espírito Santo é o maior produtor de rochas ornamentais do Brasil, principalmente granito e mármore. O estado do Espírito Santo, por exemplo, contribui com cerca de 75 % do mercado nacional de rochas ornamentais, com cerca de 6,9 milhões de toneladas por ano (ABIROCHAS, 2017). Mais especificamente, o estado do Espírito Santo detém cerca de 70 % da produção nacional de mármore e 30 % da produção de granito.

Deve-se salientar que, as atividades de extração e beneficiamento de rochas ornamentais geram uma quantidade considerável de resíduos sólidos, os quais podem causar impactos negativos no meio ambiente e nas pessoas.

Os resíduos são misturas de pós de rochas, granalhas e lama a base de cálcio. Na maioria dos casos a quantidade de resíduos de rochas ornamentais é em torno de 20 – 25 % da produção. Estes resíduos sólidos são materiais não biodegradáveis e não tem uma aplicação prática definida. Por este motivo, é comum que grande parte destes resíduos sejam descartados em rios, lagoas, lagos, córregos e no meio ambiente, tendo como resultados impactos negativos.

Os resíduos oriundos do processo produtivo, é dependente do tipo de rocha que está sendo beneficiada, nos casos de algumas indústrias, o uso de corte através do fio diamantado em blocos de mármore, faz com que este resíduo tenha uma

característica única de lama abrasiva de mármore, sem a presença de gralha e de elementos característicos do granito.

Segundo SOUZA (2007) 20% A 25% da serragem dos blocos para a produção de chapa de 2 cm são transformadas em pó, sendo que o volume de rejeito gerado pelo processo de serragem é grande, e não podem ser descartados no meio ambiente (rios, lagos, lixões), pois são altamente poluentes.

De acordo com a estimativa da CETEM (2014) ABIROCHAS (2015), a produção brasileira de rochas ornamentais cerca de 9,3 milhões de toneladas no ano de 2012.

O campo do concreto tem se destacado como uma área promissora na solução correta e definitiva para disposição final de resíduos sólidos provenientes do setor de extração e beneficiamento de rochas ornamentais (Destefani, 2013). Na maioria dos casos esses trabalhos são voltados para incorporação nos traços dos concretos (bloco, telhas e pisos).

Os resíduos de serragem de rochas ornamentais, aparentemente sem valor industrial, podem ser usados como componente importante nos traços dos produtos de concreto, para uso na construção civil. Existem algumas razões para incorporar esses resíduos nos traços de concreto:

- i) a composição químico-mineralógica do resíduo;
- ii) a sua natureza não plástica;
- iii) não causa poluição durante a fabricação e uso dos novos produtos de concreto.
- iv) sua granulometria

O uso de diferentes agregados com distribuição granulométrica variada favorece o melhor empacotamento dos grãos de agregado, diminuindo o consumo de cimento e reduzindo o volume de vazios na peça. Consequentemente, aumenta-se a resistência mecânica e diminui-se a absorção de água (Maia, 2004).

Neste contexto, o estudo da adição do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de concreto pode contribuir para um maior empacotamento dos materiais utilizados na produção de telhas de concreto. Isso pode favorecer um aumento da resistência mecânica e menor consumo de cimento, gerando a redução de custos e impactos ambientais.

# Capítulo 2

## 2.0 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é estudar o desenvolvimento e caracterização de telhas de concreto utilizando resíduo gerado no beneficiamento (corte) de blocos de rochas ornamentais, particularmente aquele proveniente do tear de fio diamantado.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantamento bibliográfico referente à produção e propriedades do concreto seco;
- Levantamento bibliográfico sobre telha de concreto;
- Levantamento bibliográfico sobre a utilização do resíduo do beneficiamento de rocha ornamental na fabricação de telha de concreto;
- Caracterização dos materiais utilizados para a produção dos concretos;
- Caracterização física, química e mineralógica do resíduo do beneficiamento de rocha ornamental;
- Planejamento experimental da dosagem dos materiais utilizados na produção dos concretos para confecção das telhas de concreto;
- Produção das telhas de concreto (protótipo) e verificação das propriedades físicas e mecânicas.

### 2.3 INEDITISMO

Este trabalho refere-se a um desenvolvimento de uma nova telha de concreto com um melhor acabamento mantendo todas as suas propriedades tecnológicas, utilizando resíduo de mármore, através de um empacotamento ótimo entre seus agregados (areia média, areia fina e resíduo), onde o resíduo utilizado foi proveniente do tear de fio diamantado, sem a presença da granalha que é encontrada nos processos convencionais de cortes de rocha.

# Capítulo 3

## 3.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1. CONCRETOS RHEODINÂMICO (SECO)

O concreto é uma mistura de um aglomerante (cimento), agregados, água e aditivo. O concreto seco necessita de uma quantidade mínima para hidratação do cimento (Manual do Concreto, 2007). Além disso, o concreto pode conter pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais, cujos empregos tornam-se cada vez mais frequentes nos concretos atuais. No caso do concreto seco é adicionado um superplastificante que torna o concreto com a plasticidade necessária para executar certos procedimentos. A dosagem entre os diversos constituintes é variada de acordo com a utilização do concreto, pois tem influência direta em suas propriedades mecânicas, físicas e durabilidade, além das características de trabalhabilidade necessárias para o transporte e lançamento, condições estas que variam caso a caso (Schumacher, 2007).

O concreto seco é considerado um concreto com resistência superior se comparado aos concretos usuais (concretos plásticos), em função da menor quantidade de água, podendo ocorrer uma desforma imediata. Esta característica torna o concreto conhecido como slump zero, com uma consistência de terra úmida sendo necessária a utilização de equipamentos especiais para compactação (Juvas, 1993).

Segundo Rodrigues (1984) as leis que regem as propriedades mecânicas dos concretos secos, são diferentes das que conduzem o concreto estrutural de consistência plástica. O concreto seco não segue a regra da “Lei de Abram” (Figura 1). A redução na relação água/cimento não melhora a resistência à compressão.

Como é um concreto com baixo teor de água, a relação água/cimento não é um fator determinante na porosidade das peças, sendo que quantidade maior de água melhora a trabalhabilidade da mistura, diminui o atrito interno entre os grãos e facilita a compactabilidade da mesma. De forma que, fixados um traço e uma

energia de compactação, com o aumento de água, consegue-se uma redução na porosidade total, aumentando, assim, a resistência à compressão.

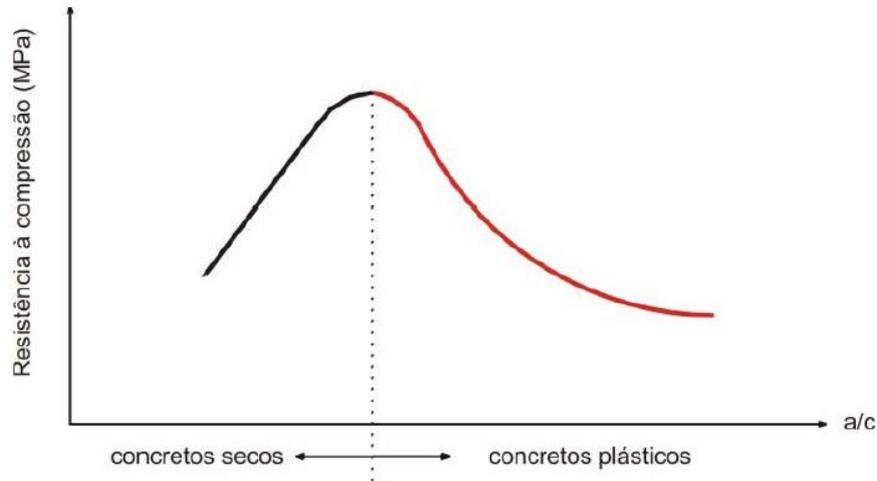


Figura 1: Resistência à compressão em função da relação água/cimento (a/c) para uma mesma proporção de agregados/cimento (traço fixo) (Oliveira, 2004).

### 3.1.1 – MATERIAIS CONSTITUINTES

#### 3.1.1.1 CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland foi criado por um construtor inglês, Joseph Aspdin, em 1824. Na época se construía muito na Inglaterra com pedras vinda de Portland. Como sua invenção era bastante parecida em cor e dureza com a pedra, o mesmo registrou esse nome em sua patente, logo o cimento passou a ser chamado de cimento Portland (ABCP, 2002).

O cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Após seu endurecimento mesmo adicionado água novamente não é possível a sua decomposição (ABCP, 2002).

Atualmente, o cimento Portland é o principal material de construção empregado pelo homem. O concreto, material composto basicamente de cimento Portland, agregados naturais e água em diferentes composições e formas representa, em conjunto com o aço, a base da engenharia estrutural moderna.

Segundo dados do cimento.org e Carvalho 2013 no Brasil, a produção mundial de cimento Portland em 2013 foi cerca de 70 milhões de toneladas. Os

principais produtores, em ordem decrescente, foram Irã, Estados Unidos, Índia e China.

O Brasil teve uma evolução na produção de 95% de 2005 para 2013 (SNIC, 2012). Quanto ao consumo regional, a região Sudeste produziu 3.441 toneladas. A região Nordeste produziu, no mesmo ano de 2012, 13.620 toneladas do total, enquanto as regiões Sul, Centro-oeste e Norte produziram , 9.992 T, 7.227T e 3.593T, respectivamente. As cinco principais unidades produtoras da Federação foram Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro e Sergipe (SNIC, 2012).

### 3.1.1.1.1 COMPOSIÇÃO

A composição do cimento Portland contém *clínquer* e adições, onde o *clínquer* é obrigatório presente em todos os tipos de cimento Portland. As adições podem variar de um tipo de cimento para outro e são elas que definem os diferentes tipos de cimento (ABCP 2016)

- CLÍNQUER
- ADIÇÕES

#### CLÍNQUER

O clínquer tem como matérias-primas calcário e argila, ambos obtidos de jazidas em geral situadas nas proximidades das fábricas de cimento. A rocha calcária é primeiramente britada, depois moída e em seguida misturada, em proporções adequadas, com argila moída. A mistura formada atravessa então um forno giratório de grande diâmetro e comprimento, cuja temperatura interna chega a alcançar 1450 °C. O intenso calor transforma a mistura em um novo material, denominado *clínquer*, que se apresenta sob a forma de pelotas. Na saída do forno o clínquer, ainda incandescente, é bruscamente resfriado para posteriormente ser finamente moído, transformando-se em pó (ABCP, 2016).

O clínquer em pó tem a peculiaridade de desenvolver uma reação química em presença de água, na qual ele, primeiramente, torna-se pastoso e, em seguida, endurece, adquirindo elevada resistência e durabilidade. Essa característica

adquirida pelo clínquer, que faz dele um ligante hidráulico muito resistente, é sua propriedade mais importante (ABCP, 2016).

## **ADIÇÕES**

As adições são matérias-primas que, misturadas ao clínquer na fase de moagem, permitem a fabricação dos diversos tipos de cimento Portland disponíveis no mercado. Essas matérias-primas são: (ABCP 2016)

- Sulfato de cálcio
- Escória de alto forno
- Materiais pozolânicos
- Materiais Carbonáticos

### Sulfato de Cálcio

O gesso tem como função básica controlar o tempo de pega, isto é, o início do endurecimento do clínquer moído quando este é misturado com água. Caso não se adicionasse o gesso à moagem do clínquer, o cimento, quando entrasse em contato com a água, endureceria quase que instantaneamente, o que inviabilizaria seu uso nas obras. Por isso, o gesso é uma adição presente em todos os tipos de cimento Portland. A quantidade adicionada é pequena: em geral, 3% de gesso para 97% de clínquer, em massa (ABCP, 2016).

### Escórias de Alto Forno

As escórias de alto-forno são obtidas durante a produção de ferro-gusa nas indústrias siderúrgicas e se assemelham aos grãos de areia. Antigamente, as escórias de alto-forno eram consideradas como um material sem maior utilidade, até ser descoberto que elas também tinham a propriedade de ligante hidráulico muito resistente. Reage em presença de água e desenvolve características aglomerantes de forma muito semelhante à do clínquer. Essa descoberta tornou possível adicionar a escória de alto-forno à moagem do clínquer com gesso, guardadas certas proporções, e obter como resultado um tipo de cimento que, além de atender

plenamente aos usos mais comuns, apresenta melhoria de algumas propriedades, como maior durabilidade e maior resistência final.(ABCP 2016)

### Materiais Pozolânicos

Os materiais pozolânicos são rochas vulcânicas ou matérias orgânicas fossilizadas encontradas na natureza, certos tipos de argilas queimadas em elevadas temperaturas (550°C a 900°C) e derivados da queima de carvão mineral nas usinas termelétricas. Da mesma forma que no caso da escória de alto-forno, os materiais pozolânicos, quando pulverizados em partículas muito finas, também passam a apresentar a propriedade de ligante hidráulico, se bem que de forma distinta. Isto porque não basta colocar os materiais pozolânicos, sob forma de pó muito fino, em presença de água, para que passem a desenvolver as reações químicas que os tornam primeiramente pastosos e depois endurecidas. A reação só vai acontecer se, além da água, os materiais pozolânicos moídos em grãos finíssimos também forem colocados em presença de mais um outro material. O clínquer é justamente um desses materiais, pois no processo de hidratação libera hidróxido de cálcio (cal) que reage com a pozolana (ABCP, 2016).

Esse é o motivo pelo qual a adição de materiais pozolânicos ao clínquer moído com sulfato de cálcio é perfeitamente viável, até um determinado limite. E, em alguns casos, é até recomendável, pois o tipo de cimento assim obtido ainda oferece a vantagem de conferir maior impermeabilidade, por exemplo, aos concretos e às argamassas (ABCP, 2016).

Outros materiais pozolânicos como metacalim resultantes da microssintetização de argilas cauliniticas ou cinzas resultantes da queima de casca de arroz e sílica ativa, um pó finíssimo que sai das chaminés das fundições de ferro-silício e que, embora em caráter regional, já têm seu uso consagrado no Brasil (ABCP, 2016).

### Materiais Carbonáticos

Os materiais carbonáticos são rochas moídas que apresentam carbonato de cálcio em sua constituição tal como o próprio calcário. Esta adição serve também para tornar os concretos e as argamassas mais trabalháveis. Os grãos ou partículas

desses materiais moídos têm dimensões adequadas para se alojar entre os grãos ou partículas dos demais componentes do cimento, funcionando como um verdadeiro *lubrificante*. Quando presentes no cimento são conhecidos como *fíler calcário* (ABCP, 2016).

### 3.1.1.1.2 PRINCIPAIS TIPOS DE CIMENTOS

Os diversos tipos de cimento Portland são diferentes, principalmente em função de sua composição. Os principais tipos oferecidos no mercado, ou seja, os mais empregados nas diversas obras de construção civil são (ABCP, 2016):

- cimento portland comum;
- cimento portland composto;
- cimento portland de alto-forno;
- cimento portland pozolânico.

A Tabela 1 a seguir apresenta os diversos tipos de cimento e suas características quanto a sua composição, e identifica os tipos de cimento em relação a sua nomenclatura.

Tabela 1: Composição dos tipos de cimento (ABCP 2016)

TIPO DE CIMENTO PORTLAND	SIGLA	COMPOSIÇÃO (% em massa)				NORMA BRASILEIRA
		CLINQUER + SULFATO DE CÁLCIO	ESCÓRIA GRANULADA DE ALTO-FORNO (SIGLA E)	MATERIAL POZOLÂNICO (SIGLA Z)	MATERIAL CARBONÁTICO (SIGLA F)	
Comum	CP I	100		-		NBR 5732
	CP I-S	99-95		1-5		
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	
Alto-Forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736
Alta resistência inicial	CP V-ARI	100-95	-	-	0-5	NBR 5733

A Figura 2, apresenta a evolução da resistência à compressão para os diferentes tipos de cimento portland. Pode-se observar que, após o sétimo dia, sua resistência aumenta gradativamente onde, ao chegar ao 28º dia adquire sua resistência requisitada pela norma, a grande diferença é o CP V, que tem um aumento significativo nos 3 primeiros dias e após sua evolução é gradativa, assim como os outros.

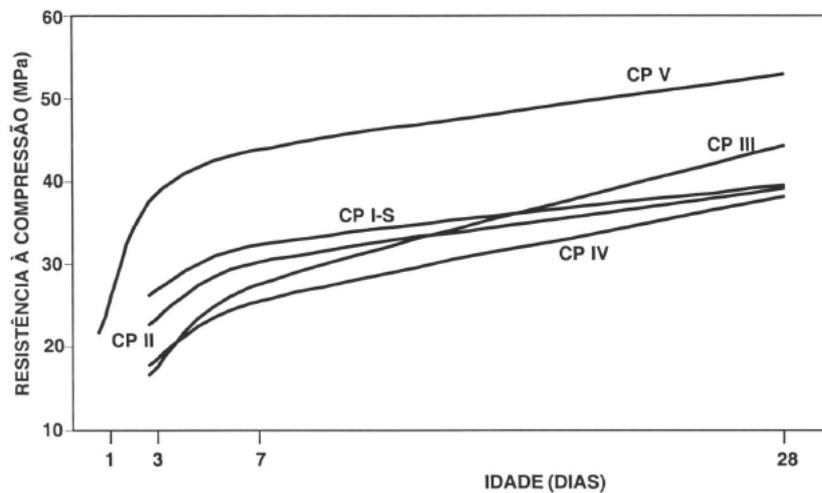


Figura 2: Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento Portland (ABCP,2016).

### 3.1.1.2 AGREGADOS

Segundo Mehta e Monteiro (1994), os agregados não entram em reações químicas com a água. No entanto, tem sido tratado como um material de enchimento inerte no concreto, mas devido à crescente compreensão do papel desempenhado pelos agregados na determinação de muitas propriedades importantes do concreto, este ponto de vista tradicional dos agregados como material inerte vem sendo questionado.

Já Neville (1997), reforça que pelo menos três partes do volume do concreto são ocupadas pelos agregados, o que aumenta a sua importância. Com propriedades indesejáveis existentes nos agregados podem, não apenas produzir um concreto pouco resistente, como também comprometer a durabilidade e desempenho estrutural deste.

Os agregados não interferem nas interações concreto/aço e concreto/meio, mas têm influência em várias propriedades do concreto, como estruturais e permeabilidade.

## OS AGREGADOS SÃO CLASSIFICADOS COMO:

### a) Quanto à origem:

- naturais: são encontrados na natureza na forma de agregados: areia de mina, areia de rio, seixo rolado, pedregulho, etc;
- artificiais: necessitam de um trabalho para chegar à situação de uso como agregado: pedra britada, pedrisco, pó de pedra, argila expandida, poliestireno expandido, etc.

### b) Quanto à massa:

- leves: massa inferior a 1 ton/m<sup>3</sup>: argila expandida, vermiculita, poliestireno expandido, etc; ou
- normais: massa de 1 a 2 ton/m<sup>3</sup>: areia, seixo, brita, etc;
- pesados: massa superior a 2 ton/m<sup>3</sup>: barita, magnetita, limolita, etc.

De acordo com a Norma Brasileira ABNT 7211 (2009), os agregados podem ser classificados quanto ao tamanho como:

- **agregado miúdo:** areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm;

- **agregado graúdo:** pedregulho ou a brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm;

- **material pulverulento:** partículas minerais com dimensões inferiores a 0,075 mm, inclusive os materiais solúveis em água presente nos agregados, definida na NM 46 (ABNT, 2003);

- **outros:** brita corrida e pedra de mão e pedra amarrada.

c) Quanto à obtenção:

- agregados naturais: extração direta do leito dos rios ou de minas. Devem ser lavados e classificados;

- agregados britados: obtidos pelo processo de britagem. Poderá haver também a necessidade de serem lavados; ou

- industrializados: são obtidos por processos industriais. Exemplos: poliestireno expandido escória britada, argila expandida, cinza leve, vermiculita, etc.

## **CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS**

Segundo a Norma Brasileira NBR 7211 (ABNT, 2009), os agregados devem ser constituídos por grãos de minerais duros, compactos, duráveis e limpos. Não devem conter substâncias, de natureza e em quantidade, que possam afetar a hidratação do cimento ou dar origem a produtos expansivos. Devem apresentar, ainda, resistência à compressão superior a da pasta, boa forma e boa graduação.

Os agregados possuem diversas características e propriedades, cujo conhecimento e entendimento são fundamentais para a sua aplicação em concretos. Dentre elas, pode se destacar: composição granulométrica, massa específica, massa unitária, umidade, inchamento, impurezas, formas das partículas.

a) Composição granulométrica

A composição granulométrica de um agregado isto é, a proporção relativa, geralmente expressa em percentagem, em que se encontram os grãos de determinado agregado tem influência muito grande na qualidade das argamassar dos concretos, especialmente sobre a compacidade e a resistência aos esforços mecânicos (ABCP, 2016). Já Prudêncio (1999), adverte que existem certos limites ou faixas granulométricas, em se tratando de agregado miúdo para concreto, onde se consegue resultados em termos de dosagem, quer sob o ponto de vista técnico ou econômico.

Em virtude a esses dois aspectos, é viável que se façam composições de agregados miúdos, para que se obtenha um material com características

granulométricas o mais próximo possível das especificações da NBR 7211 (ABNT, 2009) - zona 3.

A composição granulométrica é determinada por peneiramento, através de peneiras utilizadas com malhas de forma quadrada, numa seqüência tal, que o lado de cada abertura tenha sempre o dobro do lado da abertura das malhas da peneira anterior. Essas peneiras e os limites granulométricos estão relacionados na NBR 7211 (ABNT, 2009). Essa norma possui alguns destaques, dentre eles, de que podem ser utilizadas areias, cuja granulometria não se enquadre em qualquer uma das zonas indicadas, desde que sejam realizados estudos prévios de dosagem, ou então, que a faixa granulométrica seja de uso consagrado em determinada região.

## **CONSTANTES FÍSICAS DOS AGREGADOS**

### a) Massa Específica Real

É a relação entre a massa e o volume de cheios, isto é, volume de grãos do agregado. (ABCP, 2016).

### b) Massa Unitária

É a relação da massa total de um certo volume total de agregado e este volume. (ABCP, 2016)

### c) Umidade e Absorção

O teor de umidade conduzido pelo agregado é de grande importância, pois a quantidade de água que é conduzida ao concreto altera consideravelmente a relação água/cimento. Além disso, há que se fazer correção da massa dos agregados colocados na mistura, e quando se trabalha com dosagem em volume a influência é muito maior por causa do fenômeno do inchamento das areias. (ABCP, 2016)

### d) Coeficiente de Vazios

Corresponde ao número que multiplicado pelo volume total do agregado dê o volume de vazios nesse agregado. A determinação do coeficiente de vazios se faz pelo método do ASTM C 30 – *Standard Method of Test for Voids in Aggregate for Concrete*. (ABCP, 2016)

#### f) Inchamento da areia

Determina a quantidade de água contida em agregados miúdos. O método de determinação do inchamento para agregados miúdos de concreto é apresentado na NBR 6467, na qual é dito: “denomina-se inchamento de agregados miúdos ao fenômeno da variação do seu volume aparente, provocado pela água absorvida”(ABCP,2016).

#### f) Granulometria

É a composição granulométrica, geralmente expressa em forma de percentual, em que se encontram os grãos de um determinado agregado. A determinação da composição granulométrica se faz pelos métodos NBR 7216 (coleta de amostras) e NBR 7217 (composição granulométrica). A partir da composição granulométrica pode-se traçar a curva de granulometria do agregados

### **3.1.1.3 ÁGUA**

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), via de regra, uma água ruim para o consumo humano não é imprópria para o amassamento do concreto.

Quando se remete ao ponto de resistência do concreto, água ácida, alcalina, salgada, salobra, colorida ou com mau cheiro não deve ser rejeitada imediatamente. Isto é importante, porque as águas provenientes da mineração e várias outras operações industriais podem ser usadas seguramente como água de amassamento para o concreto. O método mais indicado para determinar a aptidão de uma água de desempenho desconhecido para o preparo do concreto é comparar o tempo de pega do cimento e a resistência de corpos-de-prova de argamassa feitos com água desconhecida e uma água limpa de referência.

### **3.1.1.4 - ADITIVOS MINERAIS**

A NBR 11172 (ABNT, 1990) aditivos são produto químico adicionado em pequenos teores às caldas, argamassas e concretos, com a finalidade de alterar suas características no estado fresco e/ou no endurecido

Segundo Neville (1997) o filler é uma adição mineral finamente dividida sem atividade química, ou seja, sua ação se resume a um efeito físico de empacotamento granulométrico e ação como pontos de nucleação, ativando a hidratação dos grãos de cimento. Calcáreo, pó de quartzo e pó de pedra são materiais considerados como filler.

O efeito filler (Figura 3) é consequência da maior compacidade conferida à mistura pela inclusão de partículas finas e ultrafinas do aditivo mineral (Oliveira, 2000). Pode-se observar na figura abaixo que a densidade de empacotamento está relacionado diretamente com a características das partículas. Neste sentido, Os resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais, em grande parte, de acordo com seus comportamentos granulométrico, químico e morfológico, apresentam características satisfatórias para sua utilização como filler (Destefani,2009).

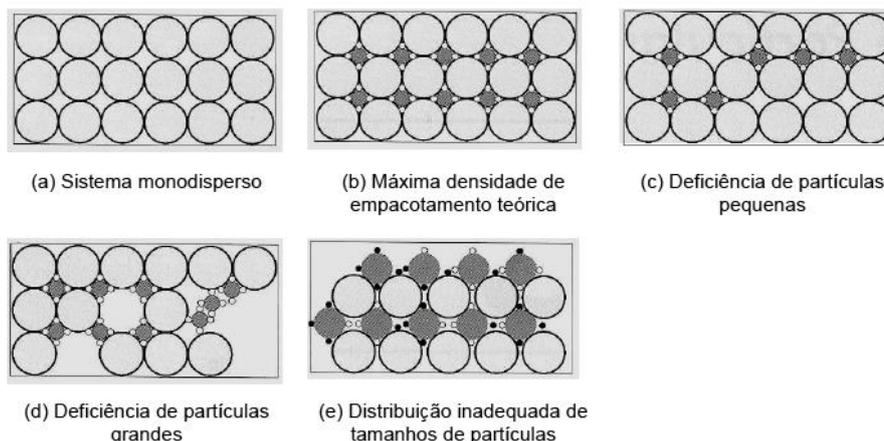


Figura 3: Sistema de partículas (Oliveira, 2000).

### 3.1.1.5 – ADITIVOS

De acordo com NBR 13858-2:2009, os aditivos são produtos adicionados em pequenas quantidades à massa de cimento antes ou durante o processo de mistura, causando modificações em suas propriedades materiais, tornando-os mais adequados em termos de trabalho, manuseio, economia ou outros fins.

Os aditivos juntados à argamassa e aos concretos no momento da mistura, têm por objetivo modificar certas características dessas argamassas e concretos, seja quando fresco ou durante a sua passagem ao estado endurecido. Podem também, compensar defeitos provenientes dos constituintes de certos tipos de

concretos e reduzir os custos do lançamento. Cada aditivo tem uma finalidade, podendo ser uma ação principal ou até mesmo secundária. (ABCP, 2016)

Os aditivos colocam em jogo as ações físicas e físico-químicas, de tensão superficial, de absorção, de modificação das forças de atração entre as partículas do cimento, de modificação da velocidade das reações de hidratação durante a pega e o endurecimento, e de combinação de certos constituintes do cimento. (ABCP, 2016)

### **3.1.1.6 ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES**

Os superplastificantes são aditivos químicos capazes de manter a adequada trabalhabilidade do concreto fresco sob baixa relação água/cimento, por um período de tempo razoável, sem afetar as propriedades de pega e endurecimento. Estes aditivos são também conhecidos como redutores de água, devido à sua característica de reduzir a quantidade de água empregada na mistura mantendo a mesma fluidez, ou ainda de aumentar a fluidez sem um acréscimo de água. Em relação à estrutura química, os superplastificantes usados na indústria do concreto são basicamente surfactantes poliméricos com uma elevada massa molecular e um grande número de unidades moleculares que são repetidas em uma certa seqüência (Roncero, 2002).

Segundo Isaia (2010) esses produtos são utilizados basicamente com um ou alguns destes objetivos:

- Maior trabalhabilidade: aumentando a trabalhabilidade do concreto e mantendo a mesma resistência;
- Incremento da resistência e durabilidade: reduzindo o fator água/cimento e mantendo a mesma trabalhabilidade; e
- Redução de custo: reduzindo simultaneamente o conteúdo de água e cimento para uma mesma resistência e trabalhabilidade do concreto.

Os aditivos redutores de água, em especial os superplastificantes, reduzem ligeiramente a viscosidade plástica, mas diminuem em grande medida a resistência ao fluxo (BUCHER,1998). Isso se deve ao fato de que as adições de superplastificante interagem com as partículas do cimento introduzindo uma camada de adsorção. Esta camada evita a aproximação entre elas por meio de uma combinação de repulsões eletrostáticas, que confere as mesmas cargas e, portanto,

provoca repulsão, além de um efeito denominado repulsão estéricas, que é produzido pela presença de cadeias longas, que agem como barreira entre as partículas de cimento e possuem um forte efeito dispersante. Conseqüentemente, reduz-se a tensão de escoamento do material. Como as partículas estão dispersas, existe uma pequena mudança da viscosidade plástica.

### 3.1.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

#### *a) Trabalhabilidade*

A trabalhabilidade do concreto é fundamental para conseguir-se compactação que assegure uma massa específica máxima possível, com aplicação de uma quantidade de energia compatível com o processo de adensamento a ser empregado. (ABCP, 2016).

A segregação é entendida como a separação dos constituintes da mistura, impedindo a obtenção de um concreto com características de razoável uniformidade (ABCP, 2016)

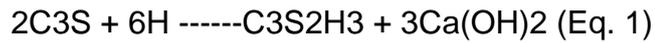
A exsudação é uma forma particular de segregação, em que a água da mistura tende a elevar-se à superfície do concreto recém-lançado. Esse fenômeno é provocado pela impossibilidade dos constituintes sólidos ficarem toda a água da mistura, em grande escala. (ABCP, 2016)

#### *b) Demanda de água*

Devido à finura das adições e elevada superfície específica, quando incorporadas ao concreto provocam um aumento na demanda de água para manter a mesma consistência. Porém, em alguns casos, dependendo das características da adição, este efeito pode ser adverso (Gonçalves, 2000).

#### *c) Hidratação*

De acordo com Neville (1997), a hidratação do cimento depende principalmente de sua finura. Na hidratação do  $C_2S$  e  $C_3S$ , há a suposição que o  $C_3SH_3$  seja formado como o produto final, conforme as equações:



onde,  $C_2S$  – silicato dicálcico;  $C_3S$  – silicato tricálcico,  $C_3S_2H_3$  – silicato de cálcio hidratado.



Figura 4: Processo de hidratação do cimento

Na figura 4 as reações de hidratação são exotérmicas, a adição de água inicia processo de libertação de calor que começa a aumentar rapidamente (Domone, 1994) enquanto os produtos de hidratação de cada grão de cimento começam a desenvolver-se e a entrelaçar-se (Neville, 1997). A taxa de libertação de calor continua a aumentar, formando agulhas/cristais das quais se aglomeram cada vez mais através da hidratação até chegar ao estado de endurecimento completo.

A presença de adições minerais pode acelerar o processo de hidratação, pois as partículas da adição servem como pontos de nucleação dentro da mistura.

De acordo com Neville (1997), o calor de hidratação é a quantidade de calor, em joules por grama de cimento não hidratado, que se desprende até a hidratação completa a uma temperatura estabelecida. A hidratação dos compostos de cimento Portland é exotérmica, chegando a liberar até 500J/g.

Com a inclusão de adições minerais na mistura do concreto ocorrerá uma diminuição do calor de hidratação, pois ocorre uma diminuição do consumo de cimento (Gonçalves, 2000).

#### *d) Tempo de Cura*

Cura é o nome dado ao procedimento utilizado para favorecer a hidratação do cimento. Consiste no controle da temperatura e do movimento da água de dentro para fora ou de fora para dentro do concreto. (ABCP, 2016).

### **3.1.3 - PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO**

As principais propriedades do concreto endurecido segundo Shumacher (2007) são a resistência a compressão e resistência a tração e a massa específica.

#### *a) Massa Específica*

Segundo Pinheiro (2004) serão considerados os concretos de massa específica normal, compreendida entre 2000 kg/m<sup>3</sup> e 2800 kg/m<sup>3</sup>. Para efeito de cálculo, pode-se adotar para o concreto simples o valor 2400 kg/m<sup>3</sup> e para o concreto armado 2500 kg/m<sup>3</sup>.

#### *b) Resistência à Compressão*

A resistência à compressão está diretamente ligada a outras propriedades do concreto, a resistência de compressão axial deverá ser verificada aos 28 dias sendo aceita como um índice da resistência mecânica do concreto.

Existem fatores que influenciam diretamente a resistência, tais como, proporções dos materiais que compõem o traço do concreto, grau de adensamento e condições de cura.

A relação água/cimento (A/C) é o fator mais relevante, pois influencia a porosidade e controla o processo de hidratação. (Schumacher, 2007).

#### *c) Resistência à Tração*

Os elementos de concreto não são projetados para resistir a esforço de tração, neste caso deverá ser utilizado armaduras de aço para absorver as tensões. (Mehta e Monteiro, 1994).

### 3.2 TELHAS DE CONCRETO

Telhas de concreto são componentes para cobertura com forma essencialmente retangular e perfil geralmente ondulado. Elas são compostas na sua maioria de cimento, agregado, água e aditivos (ou adições), e podem ser fornecidas na cor natural ou coloridas pela adição de pigmentos, segundo a NBR 13858-1 e NBR 13858-2. A telha de concreto é usada na confecção de telhados principalmente residencial, podendo ser produzidas em várias tonalidades de cores.

A Figura 5 , apresenta o modelo de telha de concreto.

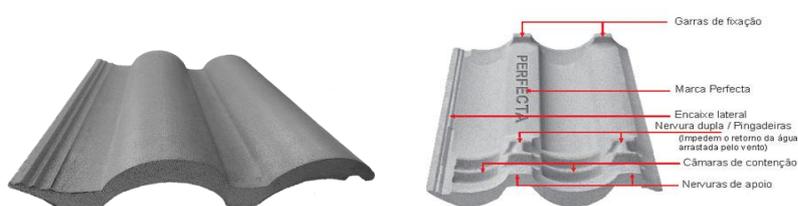


Figura 5: Modelo de Telha de Concreto

A primeira fábrica de telhas de concreto iniciou sua produção por volta de 1976 em São Paulo. Na atualidade existem inúmeras fábricas espalhadas pelo Brasil (Fernandes, 2012).

As telhas de concreto são utilizadas em residências unifamiliares, principalmente as de alto padrão, mas já existe uma tendência da utilização em residências de médio padrão.

A Figura 6, apresenta uma residência unifamiliar de alto padrão utilizando telhas de cimento



Figura 6: Fotos de residências com telhados executados com telhas de concreto

Dentro de algumas características, podem-se usar como índices de comparação com a telha cerâmica tradicional o consumo e o peso por metro quadrado.

Em geral os consumidores consideram que a telha de concreto é mais pesada do que a telha cerâmica tradicional, mas isso é um equívoco. O peso da telha deve ser calculado com ela molhada, e a telha de concreto apresenta um peso de 5 % a mais se comparada com seu peso seco. Já a de telha cerâmica apresenta um aumento de peso de cerca de 16% (Fernandes, 2012). No consumo por metro quadrado, a telha cerâmica utiliza em torno de 10,4 telhas por metro quadrado, enquanto a telha de concreto de 7,5 telhas por metro quadrado.

A NBR 13858-2:2009 (ABNT, 2009) define telha de concreto como componente para cobertura com forma essencialmente retangular e perfil geralmente ondulado, composto de cimento, agregado e água, aditivos ou adições.

A norma vigente no Brasil que estabelece as características técnicas das telhas de concreto é a NBR 13858-2:2009 (ABNT, 2009).

No Brasil a produção de telhas de concreto começou apenas em 1976, em São Paulo, com a implantação da fábrica da Eternit. Atualmente a qualidade das telhas de concreto fabricadas no Brasil e certificadas segue o mesmo padrão das importadas. Seu processo não é mais prensado, mas sim extrudado, que permite maior velocidade na produção por ser um processo contínuo. Em algumas fábricas o processo é bastante rigoroso, seu controle vai da matéria-prima (areia e cimento) até a pós-produção (Fernandes, 2012).

### **3.2.1 MATERIAIS E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**

Segundo a NBR 13858-2 (ABNT, 2009) a fabricação das telhas de concreto exige a utilização dos seguintes materiais:

- Cimento Portland;
- Agregados
- Pigmentos
- Aditivos ou Adições
- Água.

A NBR 13858-2 (ABNT, 2009) ainda especifica todas as características físicas das telhas de concreto, tais como:

- Dimensões
- Geometria
- Classe
- Detalhes funcionais

A produção da telha de concreto começa pelo armazenamento da areia que podem passar por peneiramento para garantir a uniformidade da classificação granulométrica.

A mistura de areia, cimento e eventualmente pigmento, e levada ao misturador e deste a extrusora. Na extrusora a mistura passa por um sistema de prensagem e extrusão (ANFATECCO, 2007).

Em seguida cada telha é moldada em uma forma que passa em uma esteira por baixo da extrusora, após a extrusão, as telhas são cortadas exatamente na dimensão da forma (que tem o formato da telha). Já cortada, as telhas seguem na esteira e podem receber a aplicação superficial de um verniz, ainda com as formas, são colocadas em gaiolas (estantes metálicas) e estas gaiolas entram na câmara de cura onde permanecem por em média 24 horas. Posteriormente as telhas são retiradas das gaiolas e desformadas, as formas são limpas e recebem uma camada de desmoldante e voltam para o ciclo de produção. As telhas recebem a aplicação de hidrofugante e em seguida são paletizadas e colocadas no estoque, estando prontas para a entrega (ANFATECCO, 2007). A seguir a Figura 7 mostra o fluxograma do processo de fabricação das telhas.

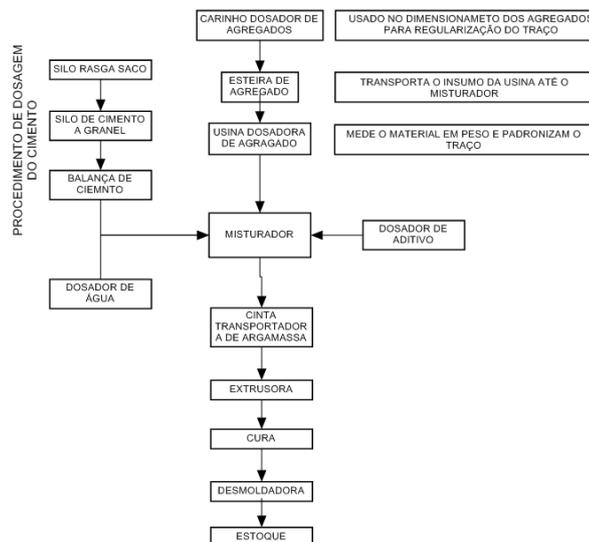


Figura 7: Fluxograma de processo de fabricação de telha de concreto (Adaptado - FERNANDES,2012)

### 3.2.2 PROPRIEDADES A SEREM AVALIADAS NAS TELHAS DE CONCRETO

Estão definidas na NBR 13858-2 (ABNT, 2009) as características técnicas das telhas de concreto que devem ser comprovadas e controladas por testes de laboratório. A Tabela 2 apresenta os limites exigidos pela norma.

Tabela 2: Limites exigidos pela NBR 13858-2 : 2009

REQUISITOS	LIMITES
Sonoridade	Som semelhante ao metálico
Massa	Entre 4,3Kg e 5,0Kg
Impermeabilidade	Não formação de gotas aderentes na face inferior
Empenamento	Não deve apresentar afastamento maior que 1,5mm
Absorção de água	Máximo de 10%
Carga de ruptura	Maior o igual a 2400N

O empenamento tem como princípio verificar o empenamento através da folga entre um dos pontos de apoio da telha e uma superfície plana e horizontal. A aparelhagem necessária a execução do ensaio e composta de um pente de folgas e uma superfície fixa, plana e horizontal e deve seguir os seguintes procedimentos: o corpo-de-prova deve ser posto sobre uma superfície plana, com as garras de fixação em seguida certificar-se de que as nervuras duplas e as garras de fixação estejam em contato com a superfície; pressionar a telha, garantindo apoio em três pontos e por fim passar o pente de folgas. A expressão do resultado deve consignar se a lamina passou ou não passou.

Segundo a NBR 13858-2 (ABNT, 2009) a absorção de água da telha não deve ser superior a 10% e o princípio desse ensaio e determinar a absorção em função da quantidade de água absorvida dentro de limites preestabelecidos de umedecimento e secagem.

Na impermeabilidade é verificada através da pressão de coluna d'água onde a telha não deve apresentar vazamentos ou formação de gotas em sua face inferior, sendo, porém tolerado o aparecimento de manchas de umidade.

A carga de ruptura de uma telha é verificada pela aplicação de uma força, a velocidade definida, no centro da telha, estando o ponto de aplicação em contato com a superfície da telha onde a carga de ruptura a flexão não deve ser inferior a 2400 N.

É importante lembrar que, além dos testes exigidos na Tabela 2, a NBR 13858-2 :2009 padroniza as dimensões da telha, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3: Características geométricas da telha de concreto (NBR 13858-2: 2009)(Adaptado)

CARACTERÍSTICAS	VALORES E LIMITES (mm)
Projeção Horizontal	420 x 320
Comprimento Útil	320 + 1
Largura Útil	300
* Valores de características geométricas e valores limites indicados em projetos da telha	

### 3.2.3 ESTUDO COM TELHAS DE CONCRETO

Um dos resíduos resultantes do processo de beneficiamento de rocha é a lama abrasiva que possui aproximadamente 70% de água. Esta quantidade elevada de água possibilita sua infiltração no solo e conseqüentemente a contaminação do lençol freático (IEMA, 2005 apud BRANDAO; RIBEIRO, 2007). Com isso, as empresas necessitam de um sistema de tratamento de efluentes visando reduzir a umidade da lama, de modo a facilitar o seu aproveitamento na confecção de produtos, realizarem a disposição final da mesma quando não for possível sua utilização e promover o reaproveitamento da água no processo industrial (BRANDAO; RIBEIRO, 2007).

Um exemplo de tratamento refere-se ao sistema de desaguamento dos resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais, que consiste em um processo físico-químico, realizado por meio do uso de coagulação/floculação, sedimentação primária e desidratação do material sedimentado por meio de filtro prensa (BRANDAO; RIBEIRO, 2007).

Os efluentes do beneficiamento tratados poderão ser totalmente reciclados para o processo industrial e os resíduos sólidos e semissólidos com umidade inferior a 15% poderão ser comercializados, doados ou destinados a um aterro industrial para a disposição final (BRANDAO; RIBEIRO, 2007).

Em vários segmentos produtivos, a lama pode ser reaproveitada. Vale mencionar seu uso na construção civil, na fabricação de papel em substituição a matéria-prima vegetal, no tratamento de águas ácidas, na vedação de células de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários, na correção do solo agrícola e como

material de enchimento em concretos asfálticos usinados, a quente (BRANDAO; RIBEIRO, 2007).

Além do emprego dos resíduos na indústria de cimento, o mesmo pode ser usado nos materiais cerâmicos como: revestimentos, telhas, blocos e tijolos. (BRANDÃO, 2007).

J.F. Barbosa (2012) incorporou de 10% e 20% de lama abrasiva (material primário do processo de serragem dos blocos de mármore e granito) na confecção das telhas de concreto.

O número de telhas foi selecionado de acordo com os padrões estabelecidos pela NBR 13858-2.

A lama abrasiva foi coletada e devido ao alto teor de água junto à lama, houve a necessidade de submetê-la a um processo simples de desaguamento para posterior utilização na confecção das telhas. O desaguamento foi realizado ao ar livre expondo o material ao sol por um período de três dias. Não foi utilizado estufa nesse procedimento.

Para a confecção das telhas de concreto são utilizadas, após a realização do desaguamento da lama abrasiva, esta foi moída e adicionada ao processo de confecção da telha de concreto nas proporções de 10% e 20% em substituição a areia fina. Verificou-se um resultado positivo nas propriedades avaliadas (absorção de água e ruptura a flexão), tanto na incorporação de 10%, quanto na de 20% tiveram resultado acima dos valores especificados na norma.

### **3.3 RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

Um dos problemas enfrentado pela indústria de extração e beneficiamento de rochas ornamentais no Brasil é a poluição do meio ambiente, causado pela disposição final do resíduo da serragem, polimento e desdobramento. Este resíduo pode alcançar rios, lagos, córregos e até mesmo os reservatórios naturais de água, pois eles são lançados no ecossistema sem nenhum tratamento prévio. Além disso, o resíduo na forma de lama afeta a paisagem esteticamente e necessita-se de grande espaço para a sua estocagem, bem como um alto custo do recolhimento e armazenamento. Ressalta-se, ainda, que este resíduo (lama) quando seco constitui-se num pó fino que provoca danos à saúde humana (SILVA, 1998).

Na etapa de serragem dos blocos um dos grandes transtornos sofridos pelos trabalhadores e habitantes próximos e a emissão dos ruídos, ha também geração de poeira nessa etapa. A poluição do ar por poeira pode ter origem tanto nos trabalhos de desmonte dos blocos como nas etapas de transporte da produção (GOMES,2009).

Neste sentido pode-se afirmar que a poluição com o processo de beneficiamento de rocha pode atingir o solo, água, ar e saúde humano.

Na Tabela 4 a seguir foram listados algumas relações entre os aspectos e impactos ambientais gerados no processo de beneficiamento das rochas ornamentais.

Tabela 4: Relação de Aspectos Ambientais e Impactos Ambientais no processo de beneficiamento de rochas ornamentais (GOMES, 2009)

ATIVIDADES	ASPECTOS AMBIENTAIS	IMPACTO AMBIENTAL
Serragem	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lama Abrasiva</li> <li>- Geração de Ruídos e Poeira</li> <li>- Geração de Efluentes, aporte de sedimentos para os cursos d'água</li> <li>- Escape/ perda do material</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poluição do ar e sonora, desconforto aos trabalhadores;</li> <li>- Contaminação das águas superficiais e assoreamento de córregos próximos;</li> <li>- Comprometimento do solo e das águas superficiais.</li> </ul>
Levigamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geração de ruídos e poeira</li> <li>- Escape/ perda do material</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poluição do ar e sonora, desconforto aos trabalhadores.</li> </ul>
Polimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geração de lama abrasiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminação das águas superficiais e assoreamento de córregos próximos;</li> <li>- Poluição do ar e sonora;</li> <li>- Contaminação do solo e das águas superficiais.</li> </ul>
Lustração	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geração de efluentes, aporte de sedimentos para os cursos d'água</li> <li>- Lama abrasiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminação das águas superficiais e assoreamento de córregos próximos;</li> <li>- Poluição sonora</li> </ul>
Corte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geração de efluentes, aporte de sedimentos para os cursos d'água</li> <li>- Lama Abrasiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminação das águas superficiais e assoreamento de córregos próximos;</li> <li>- Poluição do ar e sonora</li> <li>- Comprometimento do solo e das águas superficiais.</li> </ul>
Acabamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geração de efluentes, aporte de sedimentos para os cursos d'água</li> <li>- Lama Abrasiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminação das águas superficiais e assoreamento de córregos próximos;</li> <li>- Poluição do ar e sonora</li> <li>- Comprometimento do solo e das águas superficiais.</li> </ul>

Estes problemas ambientais têm despertado nos últimos anos grandes inquietações no Brasil, fazendo com que as leis de controle ambiental se tornem mais severas e os órgãos de fiscalização ambiental tornem-se mais eficientes. Por outro lado, os custos de disposição de resíduos de forma ecologicamente correta são elevados (MOREIRA; MANHAES; HOLANDA, 2005).

A Figura 8 mostra a vista lateral/transversal de um tear em funcionamento



Figura 8: Processo de serragem dos blocos de mármore

De acordo com estudos realizados por diversos autores, o processo de serragem dos blocos de rochas ornamentais gera enormes quantidades de resíduos (Figura 9)



Figura 9: Resíduo proveniente do processo de serragem

O beneficiamento de rochas ornamentais é dividido em:

- Extração dos blocos;
- Desdobramento dos blocos;
- Polimento;
- Cortes e acabamentos finais.

Os resíduos gerados nestes processos são:

- Pó de pedra e retalhos;
- Lama (pó de pedra + cal + água + granalha metálica);
- Lama (pó de pedra + cal + água);

A granalha metálica irá depender do maquinário utilizado para realização do corte, quando for usado o fio diamantado o resíduo irá ser isento de granalha.

A Figura 10, mostra todo o processo e fluxograma do beneficiamento das rochas ornamentais.

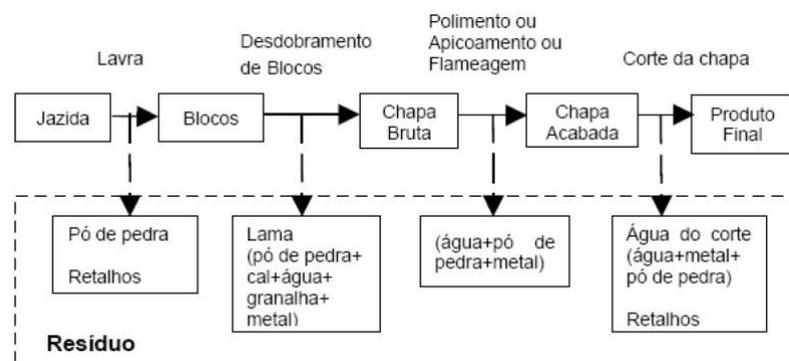


Figura 10: Processo da geração de resíduos na indústria de rochas ornamentais (Reis 2008)

Conforme citado anteriormente o beneficiamento de rocha, gera vários subprodutos, entre eles a lama abrasiva, resíduo que será utilizado neste trabalho.

A lama da serragem, também chamada de lama abrasiva possui característica granulométrica, segundo Coelho et al. (2007), de 18,57% de material retido na peneira nº 30 (0,6 mm) e 51,48% na de 0,075 mm (nº 200). E constituída por água, óxido de cálcio (CaO), granalha de ferro e restos de rocha moída. Destes, talvez, os mais significativos sejam o CaO e o SiO<sub>2</sub> (MOREIRA; MANHAES; HOLANDA, 2005). Além desses compostos, a de se destacar o pH básico girando em torno de 9 a 12 e a coloração do mesmo, pois quando o resíduo apresenta-se

branco, significa possuir os elementos ferro, silício e cálcio em maior proporção; para a fase cinza claro, predomina a cal associada a restos de rocha; e na fase cinza escuro destacam-se fragmentos de rochas graníticas somados a altas quantidades de silício (SILVA, 1998).

O resíduo gerado e que foi utilizado neste trabalho difere do resíduo resultante do processo de beneficiamento de outros trabalhos, pois o desdobramento dos blocos será feito através de fios diamantados, eliminando a presença de granalha e metal nos resíduos resultantes deste processo.

### **3.3.1 UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO NA CONTRUÇÃO CIVIL**

Segundo Rocha (2008) as formas mais usuais de aproveitamento de resíduos, muitas vezes, foram realizadas baseando-se em aspectos qualitativos – como textura, forma, granulometria, cor, capacidade de aglutinar –, sem qualquer tipo de investigação que pudesse dar por embasamento características que fornecessem justificativas para avaliar o comportamento ao longo do tempo, causando não somente danos ao meio ambiente como expondo a edificação a riscos de contaminação, além do comprometimento devido à exposição. As formas adequadas de aproveitamento de resíduos, ou de subprodutos industriais, como matéria-prima secundária, devem envolver um completo conhecimento do processo as unidades de geração dos resíduos, a caracterização completa dos resíduos e identificação do potencial de aproveitamento, identificando as características limitantes do uso e da aplicação.

A CETEM (2014) apresenta em estudo onde os resíduos podem ser utilizados em diversos setores da construção civil, na indústria cerâmica como fundente, na de pavimentação asfáltica como agregado mineral, aumentando a dureza e a resistência a tração, e na construção civil em geral como agregados.

Seguindo este linha, a utilização do resíduo na indústria da construção civil Moura (2002), utiliza o resíduo na mistura com um solo areno-siltoso, comumente utilizado na região de Feira de Santana e outras regiões. A determinação do teor ótimo de resíduo do corte de mármore e granito (RCMG) foi definido com base no melhor comportamento das misturas quanto ao Índice de Suporte Califórnia (CBR ).

Foram realizadas misturas com substituição de 15%, 25% e 35% do solo arenosiltoso por RCMG (em massa ). Após a homogeneização da mistura foram então realizados ensaios de compactação ( Proctor Normal ) em cada uma delas para determinar a umidade ótima. Foram realizados, também, ensaios no solo arenosiltoso, sem RCMG.

Menezes (2002) caracteriza o resíduo beneficiamento e a avaliação de sua aplicabilidade como matéria-prima cerâmica alternativa para a produção de blocos e telhas cerâmicos.

Freire (1995) apresenta resultados obtidos referentes à construção de blocos paisagísticos. A adição de 10% de resíduo de corte de granito produziu uma barreira física melhor à absorção de água, proporcionando uma diminuição da porosidade. Com relação à resistência a compressão axial com 10% de adição de resíduo obteve ganho médio de resistência maior que as argamassas com 25% de adição de resíduo. Portanto a partir dos resultados obtidos, o uso do resíduo de corte de granito pode ser viável tecnicamente, sendo que, nas propriedades mecânicas e parâmetros de durabilidade avaliados, o resíduo com 10% de adição apresenta-se como o teor ideal a ser usado.

J.F. Barbosa (2012) incorporou de 10% e 20% de lama abrasiva (material primário do processo de serragem dos blocos de mármore e granito) na confecção das telhas de concreto. O uso da lama abrasiva reduziu a necessidade de utilização de agregado miúdo (areia) no preparo da massa para a fabricação da telha de concreto e constitui uma eficaz solução para a minimização de resíduos lançados in natura no meio ambiente. A possibilidade de reciclagem desse resíduo como matéria-prima alternativa para a fabricação de telha de concreto, polpa áreas em aterros sanitários, uma vez que, quando disposto de forma correta, o mesmo é colocado no aterro.

# Capítulo 4

## 4.0 MATERIAIS E MÉTODOS DE ANÁLISE

A Figura 11 apresenta os procedimentos experimentais seguidos neste trabalho de doutorado.

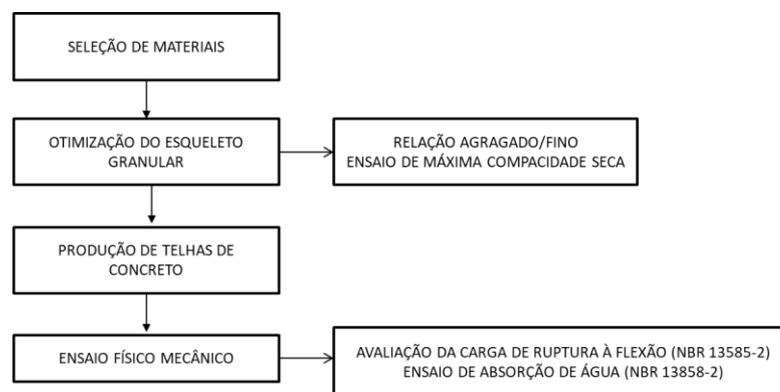


Figura 11: Processo do programa experimental.

Para a avaliação das propriedades tecnológicas do concreto com a adição do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais, foi necessário fazer um estudo sobre a dosagem dos constituintes do concreto.

O estudo experimental foi realizado de maneira que fosse possível a otimização de dois traços para fabricação do protótipo de telha de concreto com a adição do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais, avaliando assim, as propriedades técnicas exigidas pelas normas técnicas brasileiras.

### 4.1 – SELEÇÃO DE MATERIAIS

#### 4.1.1 – RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

O resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais utilizado neste trabalho é proveniente da região sul do Estado do Espírito Santo, mais especificamente da

cidade de Cachoeiro de Itapemirim e foi coletado na empresa Polita Mármore. Trata-se de um resíduo sólido proveniente do beneficiamento de mármore. A coleta do resíduo foi realizada seguindo os procedimentos prescritos pela NBR 10007 (ABNT, 2004).

O resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais foi coletado em estado seco ao ar, após passar por um filtro prensa (Figura 12) – equipamento usado para retirar o excesso de água da lama abrasiva, reutilizando-a para o processo do beneficiamento das rochas, conforme lei ambiental do Estado do Espírito Santo (IEMA, 2005). A umidade do resíduo após passagem pelo filtro-prensa é de aproximadamente 30%, estabelecida pelo IEMA (2005), para a disposição final do resíduo em aterros.



Figura 12: Processo de prensagem do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais.

Após a coleta do resíduo na empresa, este foi seco em estufa, e depois seguiu para o processo de destorroamento em uma argamassadeira. Após o processo de destorroamento do material, este foi seco passado na peneira mesh 50, assim disponível para sua utilização, o resultado deste procedimento é ilustrado pela Figuras de 13 à 15.



Figura 13: Resíduo seco, pronto para destorroamento.



Figura 14: Resíduo destorroado - pronto para peneiramento.



Figura 15: Resíduo final pronto para o uso.

#### 4.1.1.1 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Para a caracterização física das propriedades do resíduo estudado, foram realizados ensaios para a determinação da massa específica dos grãos, massa unitária e granulometria. A Tabela 5 apresenta os ensaios de caracterização realizados com o resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais e suas respectivas normas técnicas.

Tabela 5: Ensaio de caracterização do resíduo

Ensaio	Norma Técnica
Massa específica	NBR NM 23/2001
Granulometria	NBR 7181/1984

#### 4.1.1.2 – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA

A determinação da análise química semiquantitativa do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais, em forma de óxidos, foi obtida por meio da técnica de análise química por fluorescência de raios X de energia dispersiva (EDX). Os seguintes óxidos foram determinados: CaO, MgO e SiO<sub>2</sub>.

#### 4.1.2 – AGREGADOS: AREIA GROSSA E AREIA FINA

Neste trabalho foram utilizados como agregados areia fina e areia grossa provenientes da empresa Robaina, localizada no município de Campos dos Goytacazes-RJ. As areias grossa e fina passaram previamente por um processo de peneiramento e posteriormente por secagem em estufa à temperatura de 105 °C por um período de 24 horas. A Figura 16 apresenta os agregados utilizados na produção das telhas de concreto.



Figura 16: Agregados: areia fina e areia grossa.

Os ensaios realizados para a caracterização física do agregado miúdo e respectivas normas técnicas estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6: Ensaio de caracterização do agregado

Ensaio Físico	Norma Técnica
Módulo de finura	NBR 7211/2005
Análise granulométrica	NBR NM 248/2003

#### 4.1.3 – Aglomerante hidráulico

Foi utilizado como aglomerante o cimento Portland Composto CP-V ARI da marca Votoram, cujas exigências descritas pela NBR 5735 (ABNT, 1991), foram fornecidas pelo fabricante e estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7: Caracterização do Aglomerante hidráulico

Ensaio	Norma	Resultado
Superfície específica Blaine	NBR NM 76/1998	3000cm <sup>2</sup> /g
Tempo de início de pega	NBR NM 65/2003	60 min
Tempo de fim de pega	NBR NM 65/2003	300 min
Resistência à compressão axial	NBR 7215/1996	1 dia – 14 MPa 3 dias – 24 MPa 7 dias – 34 MPa

#### 4.1.4 – Aditivo

Neste trabalho foi também utilizado aditivo superplastificante com natureza química de estereato de ácido graxo e suas principais características foram fornecidas pelo fabricante e estão descritas na Tabela 8.

Tabela 8: Características do SP utilizado.

Descrição	Característica
Tipo	Estearato de ácido graxo
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	1.0
Teor de sólidos (%)	28 à 32
pH	9,5 à 13

### **4.1.3 – ÁGUA**

A água utilizada na produção dos corpos-de-prova e da telha de concreto foi proveniente do sistema de abastecimento da cidade de Campos dos Goytacazes-RJ.

### **4.3 – OTIMIZAÇÃO DO ESQUELETO GRANULAR**

Com o objetivo de elaborar um traço com maior compacidade (empacotamento) que o dosado tradicionalmente, utilizou-se o planejamento experimental através da máxima compacidade seca dos agregados para a adição do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais como filler na composição das matérias-primas (agregados) para produção dos concretos.

Esse ensaio segue as orientações da norma ABNT NBR NM 45:2006 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.

O ensaio consiste em utilizar um recipiente cilíndrico rígido provido de alças fabricado com material não atacável pela umidade. Preencher com a mistura na proporção do ponto experimental até um terço de sua capacidade e nivelar a superfície com os dedos, em seguida efetuar o adensamento da camada da mistura com 25 golpes da haste de adensamento, distribuindo uniformemente em toda a superfície de material, após, continuar o enchimento do recipiente até completar dois terços e realizar o mesmo procedimento, finalmente terminar de encher o recipiente executar os 25 golpes, como procedimento final foi nivelado a camada da mistura e arrasou-as com a borda superior do recipiente.

Neste trabalho as relações entre os materiais utilizados para a realização dos ensaios foi definida através de testes de pontos experimentais, tendo como objetivo a formação da curva de máxima compactação. Foram definidos pontos experimentais através da mistura gradual de areia fina com areia grossa, nas proporções de 20%, 40%, 60%, 80% de areia fina, definindo a máxima massa unitária para cada um desses pontos experimentais. Após a verificação desses pontos foi encontrado a máxima massa unitária seca entre a areia grossa e areia fina.

A partir de desse momento, foi realizado um novo ensaio de máxima compactação entre o ponto máximo das duas areias (grossa e fina) com o resíduo .

Os pontos experimentais foram utilizados nas proporção de 5%, 10%, 20%, 25% e 30% de resíduo de beneficiamento de rocha ornamental na mistura com as areias.

A mistura foi lançada no recipiente e foi executado todo o procedimento citado acima, de acordo com a NBR NM45:2006, este procedimento foi feito em todos os pontos experimentais . Cada ponto foi repetido o ensaio três vezes, e o resultado utilizado foi a média dos três pontos. Assim foi feito tanto nas misturas entre areia fina e grossa, quanto na areia fina, grossa e resíduo.

A Figura 17, mostra o aparato experimental para realização dos ensaios.



Figura 17: Aparato experimental para determinação da máxima densidade seca aparente.

#### 4.4 – ARGAMASSA

De acordo com a revisão bibliográfica e visitas nas fábricas produtoras de telha de concreto, foi verificado que a quantidade de cimento por  $m^3$  utilizado nas composições de argamassa são praticamente os mesmo, tendo a variação feita através adição de água.

A composição da argamassa é definida pela quantidade de cimento areia e das relações  $a/f$  (água/finos) e  $sp/f$ (superplastificante/finos). A dosagem do superplastificante e de cimento foi fixada.

Para a produção das argamassas foi utilizado aditivo superplastificante (SP) estearato de ácido graxo.

De acordo com a revisão bibliográfica, visita a fábrica para verificação do traço utilizado e NBR 13858-2:2009 foram definidas as seguintes restrições:

- Teor de consumo de cimento: 400 a 500  $kg/m^3$ ;
- Superplastificante: 0,3%
- Água/fino: 0,4 a 0,35

#### 4.3.1 – PREPARO DAS ARGAMASSAS

A mistura das argamassas foi realizada de acordo com o padrão abaixo, elaborado com a finalidade manter uma homogeneidade no método de preparo. A sequência do preparo da argamassa é descrita a seguir

Esta mistura foi feita para verificar o fator água em relação à consistência de argamassa.

- 1) Na baixa velocidade misturam-se o agregado miúdo (areia grossa e areia fina), finos (cimento e RBRO) durante 30 segundos.
- 2) Em seguida parte da água, durante 1 minuto;
- 3) Em seguida, deslocam-se os materiais aderentes às paredes e à pá, com ajuda de uma colher;
- 4) Reinicia-se a mistura por mais 1 minuto;
- 5) Adiciona-se a água restante onde previamente se introduziu o superplastificante misturando-se mais 1 minuto;
- 6) Em seguida, deslocam-se os materiais aderentes às paredes e à pá, com ajuda de uma colher;
- 7) Mistura-se mais 30 segundos;
- 8) Finalmente mistura-se mais 1 minuto com velocidade alta;

A Figura 18 ilustra o processo de mistura das argamassas e o equipamento utilizado.



Figura 18: Etapas de produção de argamassa

### 4.3.2 – DOSAGEM ÓTIMA DO SP

O teor de adição do superplastificante pode variar entre 0,1% e 0,3% em relação ao peso do cimento (Fernandes, 2012), em função da quantidade de finos ser maior devido adição de RBRO foi fixado o valor de 0,3% em função da absorção de água exercida pelo resíduo.

## 4.4 – ESTUDO DOS CONCRETOS

### 4.4.1 – PRODUÇÃO DOS DAS TELHAS DE CONCRETO

Após os estudos das argamassas, foram definidos os fatores água e cimento utilizado para produção dos protótipos de telha de concreto e avaliação das propriedades de resistência à tração na flexão e absorção de água. As Figuras de 21 a 25 mostram os equipamentos utilizados para a confecção dos protótipos de telhas.

Foram produzidos telhas com as seguintes dimensões:

Largura: 330mm

Comprimento: 420mm

Perfil : 50mm



Figura 19: Parte superior e inferior da telha de concreto



Figura 20: Dimensões da telha de concreto

A Figura 21 mostra a extrusora, esta máquina é responsável pela produção das telhas, é dividida em várias partes sendo a principal o garfo compactador, que tem a função de empurrar a argamassa para debaixo do rolo, este rolo alisador que faz o pré-acabamento no formato da superfície, e os sliper que faz o acabamento superficial final, sendo alinhado pelas régua laterais que fazem os acabamentos laterais.



Figura 21:Maquinário completo para extrusão de telha de concreto.

Também conhecida como misturador a Figura 22 apresenta a argamassadeira, responsável pela homogeneização dos materiais, neste caso cimento, areia fina, areia grossa, resíduo, água e aditivo.



Figura 22: Argamassadeira

A Figura 23, apresenta a esteira de agregados, sua função e transportar os insumos para dentro da argamassadeira.



Figura 23: Esteira de agregados.

A Figura 24, é parte integrante da extrusora, chamado de garfo compactador.



Figura 24: Extrusora

A Figura 25 apresenta os moldes, também chamados de formas, são responsáveis pelo formato inferior das peças.



Figura 25: Formas das Telhas utilizadas

Após extrusão das telhas, estas foram desmoldados após 24 horas e permanecerem em cura até a idade dos ensaios de 28 dias.

#### 4.4.2 – RESISTÊNCIA DE CARGA DE RUPTURA À FLEXÃO

A carga de ruptura à flexão determinado via ensaio de resistência à tração na flexão foi feito de acordo com as especificações da Norma Brasileira NBR 12142 (ABNT, 2010).

Foram moldado protótipo de telha de concreto e submetidos ao ensaio de tração na flexão 28 dias de cura.

O ensaio de determinação da carga de ruptura a flexão dos protótipos foi realizado em uma prensa com capacidade de 10 toneladas do laboratório de ensaios destrutivos do IFF, apresentada na Figura 26.

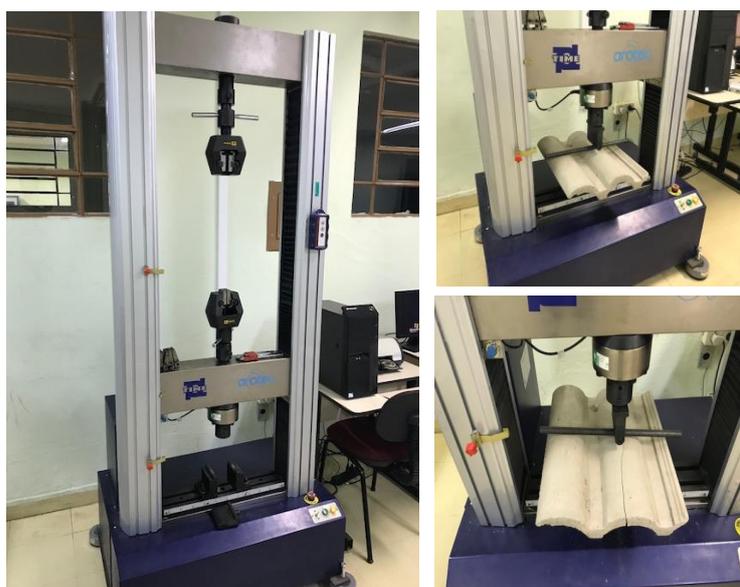


Figura 26: Prensa utilizada para realização dos testes de ruptura execução de ruptura

#### 4.4.3 – ABSORÇÃO DE ÁGUA

A absorção de água das telhas produzidas foi determinada de acordo com as especificações da NBR 13858-2 (ABNT, 2009).

Foram moldados protótipos e submetidos ao ensaio de absorção de água aos 28 dias de cura.

A absorção de água dos protótipos é calculada usando a massa do corpo-de-prova seco em estufa até a constância de massa e o valor da massa do corpo-de-prova saturado, seguindo a Equação 4.16.

$$AA(\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100$$

Onde:

AA = absorção de água (%);

Mu = massa do corpo-de-prova saturado (g);

Ms = massa do corpo-de-prova seco em estufa (g).

A qualidade das telhas de concreto produzida em escala piloto foi avaliada em termos de resistência mecânica e absorção de água.

Os ensaios para verificação da carga de ruptura à flexão e absorção de água nas telhas de concreto foram realizados segundo a NBR 13858-2:2009 anexo D e B, respectivamente.

A Figura 27 mostra a ruptura da telha de concreto após realização do ensaio de resistência à flexão, e a Figura 28 o ensaio de absorção de água no qual a telha após 28 dias foi imergida durante 24h no tanque de água e após su retirada verificado a sua massa.

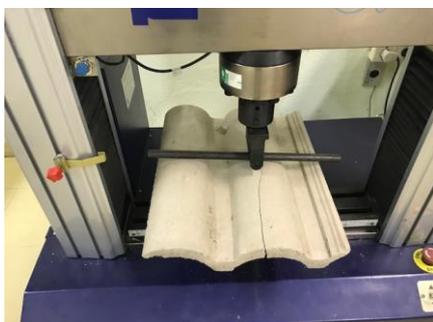


Figura 27: Ruptura da telha após ensaio



Figura 28: Ensaio de Absorção de água

#### **4.5 – COMPARATIVO COM OUTROS RESULTADO DE ADIÇÃO DE RESÍDUO EM TELHAS DE CONCRETO**

Os resultados das propriedades tecnológicas (absorção de água e carga de resistência à flexão) obtidas para a telha de concreto proposto neste trabalho foram comparados com os valores obtidos nos ensaios realizados com telhas de concreto encontrados no mercado da construção civil e um estudo das propriedades físicas e mecânicas das telhas de concreto produzidas nas fábricas da cidade de Herval d'Oeste. Além disso, os resultados foram também comparados com as telhas de concreto com incorporação de lama abrasiva proveniente do beneficiamento de rocha ornamental produzidos por Barbosa (2012), por meio de prensagem e com um produto produzido por uma empresa localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim, localizado no Estado do Espírito Santo.

Logo as comparações dos protótipos deste trabalho foram comparadas aos seguintes resultados obtidos e normas:

- Norma NBR 13.858-2:2009
- Telhas da linha de produção da fábrica Supertelha
- Telha produzida por Barbosa (2012)
- Telhas das fábricas da cidade de Herval d'Oeste - SC

# Capítulo 5

## 5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados dos ensaios desenvolvidos nos materiais utilizados e corpos-de-prova produzidos neste trabalho.

### 5.1 – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

#### 5.1.1 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

As Figuras 27 apresentam as curvas de distribuição de tamanho de partículas das areias e resíduo de rocha ornamental utilizadas, obtidas via ensaios combinados de sedimentação e peneiramento.

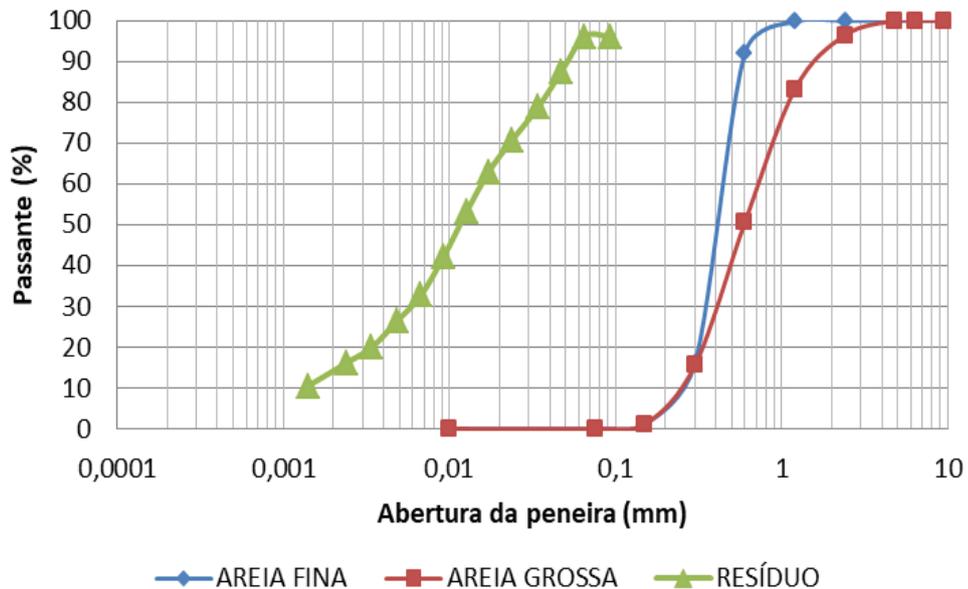


Figura 27: Distribuição granulométrica das areias utilizadas como agregados: areia fina (curva azul) e areia grossa (curva vermelha).

Em termos de tamanho de partículas, os materiais agregados usados são bastante diferentes. O comportamento da curva granulométrica da areia fina apresenta os seguintes dados granulométricos:  $D_{10\%} \cong 250 \mu\text{m}$ ,  $D_{50\%} \cong 400 \mu\text{m}$  e  $D_{90\%} \cong 600 \mu\text{m}$ . Já o comportamento da curva granulométrica da areia grossa apresenta os seguintes dados granulométricos:  $D_{10\%} \cong 260 \mu\text{m}$ ,  $D_{50\%} \cong 600 \mu\text{m}$  e  $D_{90\%} \cong 1500 \mu\text{m}$ . Verifica-se que o resíduo do beneficiamento de rocha ornamental apresentou granulometria mais fina, o qual pode ser usado como um material filler com a quase totalidade do resíduo com tamanho  $< 75 \mu\text{m}$ . De fato, o comportamento da curva granulométrica do resíduo de rocha ornamental comprova a granulometria mais fina, cujos dados granulométricos são:  $D_{10\%} \cong 1,5 \mu\text{m}$ ,  $D_{50\%} \cong 12 \mu\text{m}$  e  $D_{90\%} \cong 50 \mu\text{m}$ . Este resultado é importante devido às partículas mais finas do resíduo de rocha ornamental usado neste trabalho, em princípio, poderem preencher os vazios entre as partículas maiores. Isto pode contribuir para otimizar o empacotamento das partículas e, portanto, maximizar a densidade seca aparente dos materiais agregados na produção dos concretos.

A Tabela 9 apresenta as características físicas dos materiais agregados utilizados na composição das misturas.

Tabela 9: Caracterização física dos materiais agregados usados.

Ensaio	Norma	Areia Grossa	Areia Fina	RBRO
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	NBR NM 52/2003	2,66	2,63	2,66

Os materiais apresentaram valores de massa específica real relativamente próximos na faixa entre 2,63 – 2,66 g/cm<sup>3</sup>. Estes valores refletem a mineralogia dos materiais agregados. Em particular, as areias são, em regra, compostas essencialmente de partículas de quartzo livre (SiO<sub>2</sub>). Já os resíduos de rochas ornamentais como, por exemplo, provenientes de beneficiamento de rochas de mármore contém carbonato de cálcio na forma de calcita (CaCO<sub>3</sub>), em sua grande maioria. Pode-se observar que em termos de massa unitária no estado solto, o resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais apresenta o menor empacotamento das partículas. Isto se deve fundamentalmente a sua granulometria mais fina, como observado na Figura 27. Em termos de diâmetro máximo

característico os materiais são bem diferentes, sendo que a areia fina e areia grossa são classificadas como agregado miúdo. Já o resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais pode ser classificado como um material filler.

### 5.1.2 – COMPOSIÇÕES QUÍMICA E MINERALÓGICA

A composição química para o resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10: Análise química do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais.

Elementos	%
CaO	53,30
SiO <sub>2</sub>	0,39
MgO	0,11
K <sub>2</sub> O	<0,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,05
Na <sub>2</sub> O	0,84
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,05
TiO <sub>2</sub>	<0,05
MnO	<0,05
PF	45,14%

O constituinte principal é o óxido de cálcio (CaO), que é característico de rochas carbonatadas e pequenas concentrações de óxido de magnésio (MgO), Nota-se também que o resíduo de rocha ornamental apresentou alta perda ao fogo (45,14 % em peso), que está relacionado essencialmente a decomposição de carbonatos principalmente carbonato de cálcio (calcita). O alto teor de cálcio indica que o resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais usado na produção da telha de concreto é oriundo do beneficiamento de mármore.

A Figura 28 apresenta o difratograma de raios-X do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais.

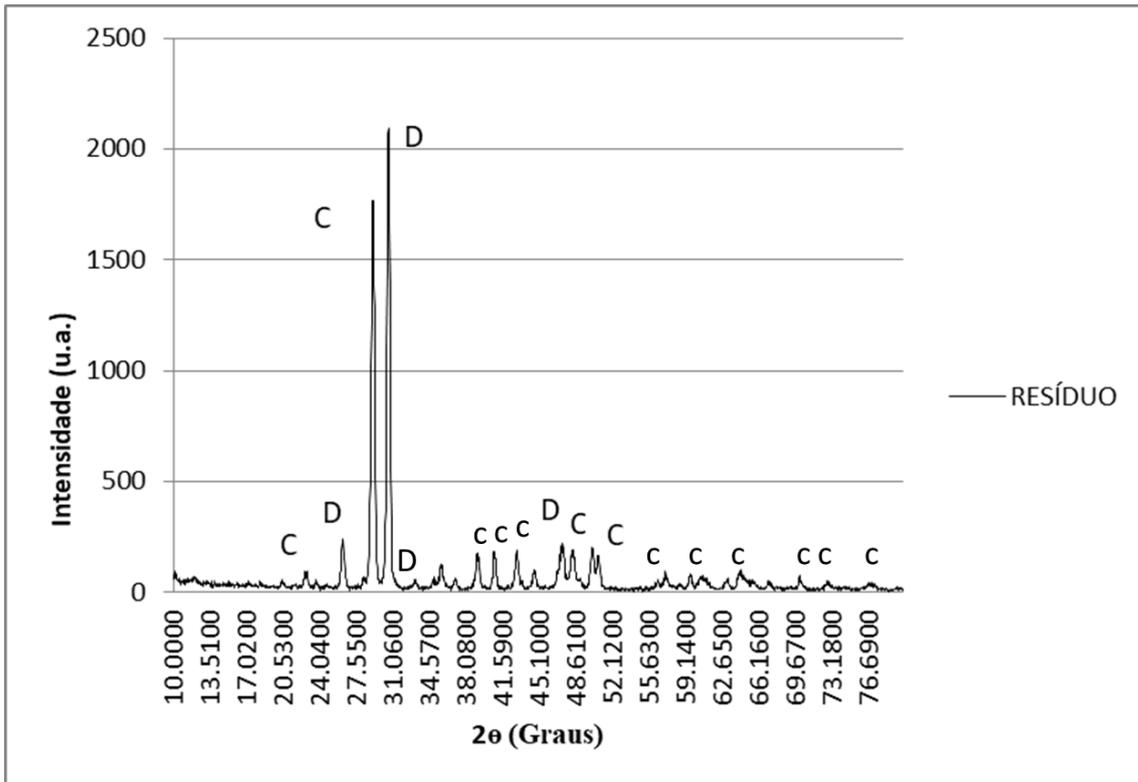
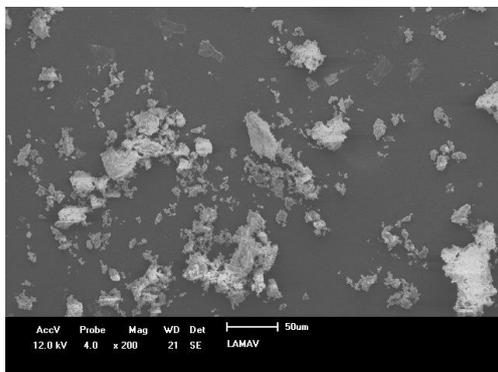


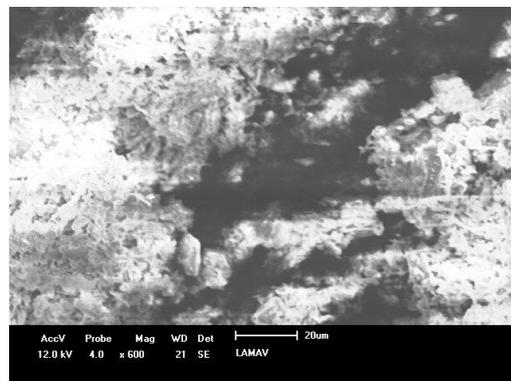
Figura 28: Difratoograma de raios-X do resíduo. D = Dolomita; C = Calcita;

De acordo com a Figura 28 observa-se que os principais picos de difração identificados na amostra de resíduo de rocha ornamental usado são de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) com a presença de dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) como mineral acessório. Estes minerais são os principais constituintes das rochas carbonáticas (ALMEIDA, 2014). Isto indica que o resíduo é oriundo do beneficiamento de mármore, confirmando assim o exposto pela análise química do resíduo na Tabela 14.

Na Figura 29 a-d são representados os aspectos morfológicos das partículas do resíduo de rocha ornamental utilizado neste trabalho.



(a)



(b)

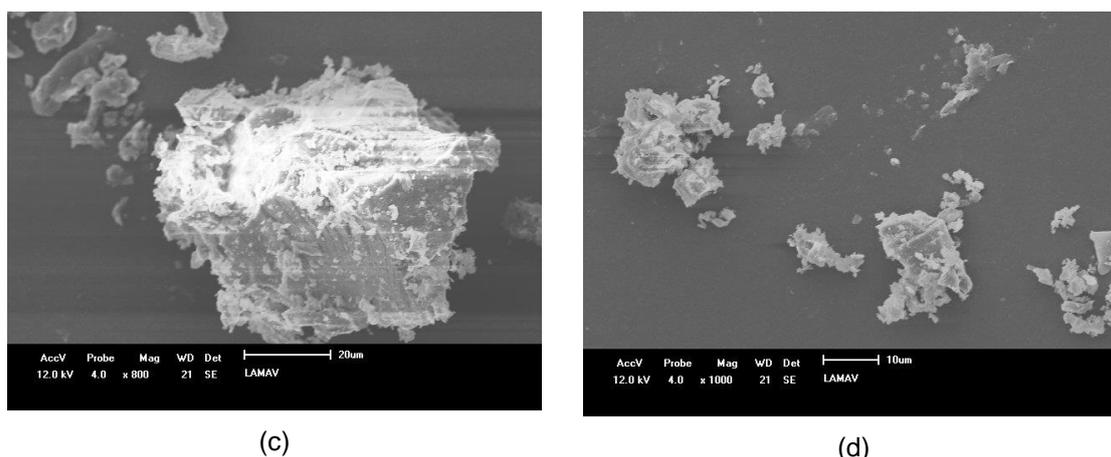


Figura 29:Microscopia de MEV do Resíduo, (a) aumento de 200x; (b) aumento de 600x; (c) aumento de 800x e (d) aumento de 800x

Observando a Figura 29 a-d nota-se que o resíduo apresenta uma morfologia irregular de formato angular. Pode-se observar também que o resíduo é composto de partículas finas de diferentes tamanhos corroborando a curva granulométrica (Figura 27). Observa-se ainda que as partículas possuem planos extensos e clivagem características da calcita (ALMEIDA, 2014).

## 5.2 — MÁXIMA MASSA APARENTE SECA

Para o planejamento experimental foram utilizados 4 pontos na determinação da densidade aparente seca máxima das misturas entre areia fina e areia grossa. Com esses pontos foi executado o ensaio da ABNT NBR NM 45:2006 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios, conforme mostrados na Tabela 11 e Figura 30.

Tabela 11: Planejamento da inserção de areia fina com a areia grossa e o resultado da massa unitária compactada para cada ponto.

PONTOS	% DE AREIA FINA	MASSA UNITÁRIA (Kg/m <sup>3</sup> )
01	20	1368
02	40	1394
03	60	1389
04	80	1366

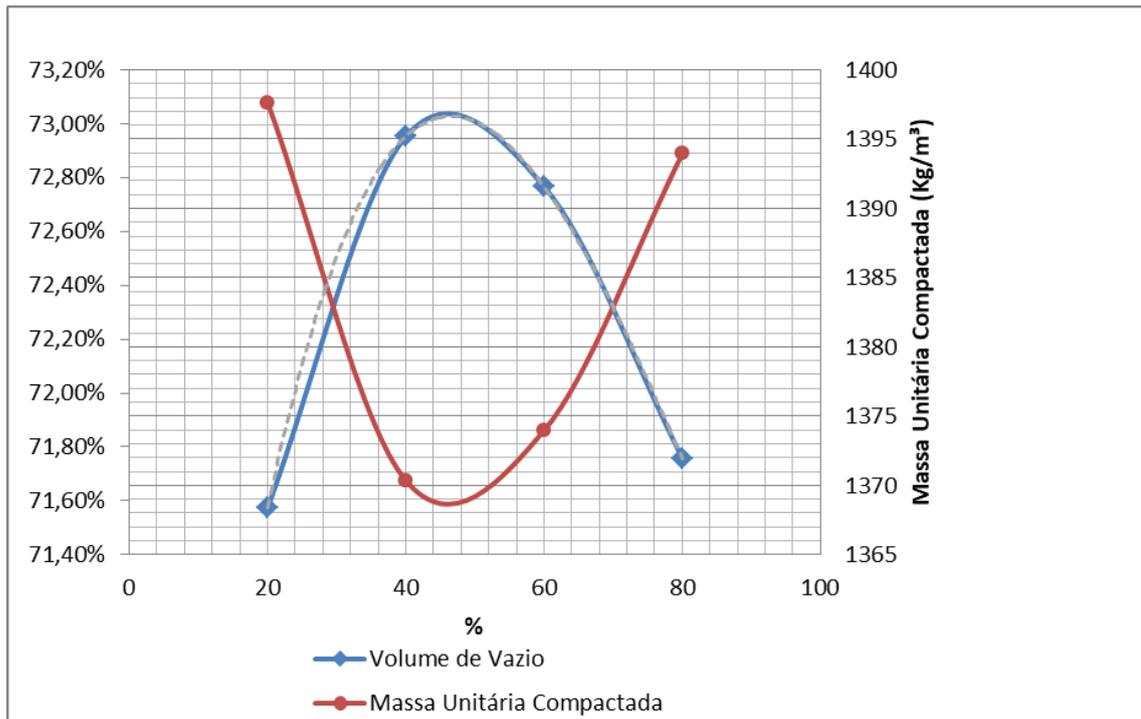


Figura 30: Gráfico resultante da análise dos dados da tabela 16

A Equação abaixo representa a linha de tendência do gráfico apresentado na Figura 30.

$$y = 0,0003x^3 - 0,074x^2 + 4,9396x + 1296,8$$

Onde:

y = Massa unitária compactada

x = Porcentagem referente a areia fina

Após análise da curva de tendência mostrada na Figura 30 e o comportamento da equação, foi estabelecido que a porcentagem de areia fina que corresponde à máxima compactação de empacotamento corresponde a 45%. Neste sentido a mistura com máxima compactação é de 45% de areia fina e 55% de areia grossa.

Esta conclusão pode ser confirmada na Figura 30, se for comparado a curva de porcentagem de vazios, que está inversamente proporcional a curva de compactação das areias.

Na sequência do planejamento experimental foram definidos mais 4 pontos com porcentagens de resíduo de rocha ornamental a serem adicionados na misturas de 45% de areia fina e 55% de areia grossa.

Na Tabela 12 são apresentados os pontos de resíduo de rocha ornamental adicionados com os seus respectivos valores de massa unitária. A Figura 31 apresenta o comportamento dos pontos de resíduos inseridos, conforme a Tabela 12.

Tabela 12: Planejamento da inserção do resíduo de rocha ornamental e o resultado da massa unitária compactada para cada ponto.

PONTOS	% RESÍDUO	MASSA UNITÁRIA (Kg/m <sup>3</sup> )
01	10	1703
02	20	1780
03	25	1781
04	30	1739

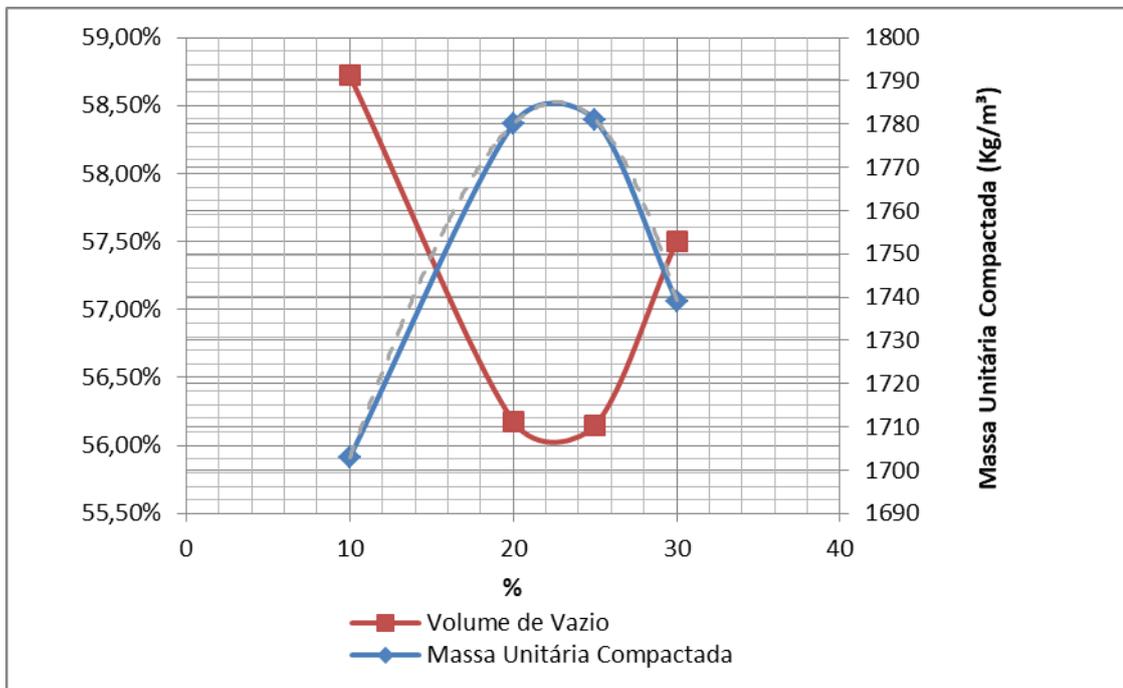


Figura 31: Gráfico resultante da análise dos dados da tabela 16

A Equação abaixo representa a linha de tendência do gráfico apresentado na Figura 31.

$$y = -0,0163x^3 + 0,3883x^2 + 7,408x + 1606,5$$

Onde:

y = Massa unitária compactada

x = Porcentagem referente ao resíduo de rocha ornamental

Fazendo a ponderação entre os dados extraídos nos gráficos das Figuras 30 e 31, verifica-se que as porcentagens de agregados da mistura para obtenção de máxima compactação de empacotamento é de 45% para areia grossa, 37% para areia fina e 18% de resíduo em massa

A máxima compacidade seca é confirmada novamente na Figura 31, pela curva de porcentagem de índices de vazios.

### 5.3 – DOSAGEM DOS CONCRETOS

Neste item são apresentados e analisados os resultados obtidos nas etapas que determinam a dosagem do concreto para a produção dos protótipos para avaliação das características físicas e mecânicas.

Foi definido como referência um concreto onde o esqueleto granular é composto de areia grossa, areia fina e resíduo, tendo a relação entre o consumo dos três componentes, definidos no planejamento experimental e pela máxima massa aparente seca.

Para o cálculo dos concretos produzidos neste trabalho foi utilizado o volume dos componentes que integram o concreto seja igual a 1m<sup>3</sup> de concreto:

$$V_c + V_r + V_{af} + V_{ag} + V_{agua} = 1m^3$$

Onde

$V_c$  = Volume do cimento

$V_r$  = Volume do resíduo

$V_{af}$  = Volume da areia fina

$V_{ag}$  = Volume da areia grossa

$V_{agua}$  = Volume da água

Neste sentido, baseado no teor de consumo de cimento apresentado na Tabela 13, foi feito o planejamento dos traços de argamassas para execução dos verificação da plasticidade da argamassa. A Tabela 14 apresenta o planejamento dos teores de cimento, água/finos e aditivo/finos.

Tabela 13: Planejamento do teor de cimento e água/finos.

	-1	0	1
<b>CIMENTO</b>	400	450	500
<b>ÁGUA/FINOS</b>	0,35	0,38	0,40
<b>ADITIVO/FINOS</b>	0,3	0,3	0,3

Tabela 14: Traços de concreto do planejamento da Tabela 17.

	<b>CIMENTO</b>	<b>A/F</b>
<b>T1</b>	500	0,35
<b>T2</b>	500	0,4
<b>T3</b>	400	0,35
<b>T4</b>	400	0,4
<b>T5</b>	450	0,38
<b>T6</b>	450	0,4
<b>T7</b>	450	0,35
<b>T8</b>	500	0,38
<b>T9</b>	400	0,38

Dando continuidade aos cálculos de dosagem, segue os valores das densidades dos componentes.

Cimento: 3000 Kg/m<sup>3</sup>

Água: 1000 Kg/m<sup>3</sup>

Areia Fina: 2630 Kg/m<sup>3</sup>

Areia Grossa: 2640 Kg/m<sup>3</sup>

Resíduo: 2660 Kg/m<sup>3</sup>

Assim, optou-se por calcular os traços com os consumos de cimento de 400 kg/m<sup>3</sup> a 500 kg/m<sup>3</sup>, já que estão dentro das restrições observados nos consumos da indústrias de produção de telhas.

Para as proporções dos agregados sugeridas neste trabalho, obtidas de acordo com o máxima massa aparente seca, a proporção de areia fina de 37%, areia grossa 45% e resíduo 18%.

$$EQ. GERAL: \frac{M_{CIMENTO}}{D_{CIMENTO}} + \frac{M_{RESÍDUO}}{D_{RESÍDUO}} + \frac{M_{AREIA FINA}}{D_{AREIA FINA}} + \frac{M_{AREIA GROSSA}}{D_{AREIA GROSSA}} + \frac{M_{ÁGUA}}{D_{ÁGUA}} = 1,00m^3$$

Onde:

M = massa

D = Massa específica

$$EQ.CIMENTO.: \frac{M_{CIMENTO}}{D_{CIMENTO}} \times D_{CIMENTO}$$

$$EQ.RESÍDUO.: \left( \frac{M_{CIMENTO}}{D_{CIMENTO}} \times D_{CIMENTO} \right) - \left( AFINOS \times \left( \frac{M_{CIMENTO}}{D_{CIMENTO}} \times D_{CIMENTO} \right) \right)$$

$$EQ.AREIA FINA.: \frac{37\%}{18\%} \times EQ.RESÍDUO$$

$$EQ.AREIA GROSSA.: \frac{45\%}{18\%} \times EQ.RESÍDUO$$

$$EQ.ÁGUA.: 1 - \frac{M_{CIMENTO}}{D_{CIMENTO}} + \frac{M_{RESÍDUO}}{D_{RESÍDUO}} + \frac{M_{AREIA FINA}}{D_{AREIA FINA}} + \frac{M_{AREIA GROSSA}}{D_{AREIA GROSSA}}$$

### 5.3.1 – EXECUÇÃO DOS TRAÇOS

Portanto, fazendo-se todos os cálculos baseados no planejamento da Tabela 14, têm-se os resultados dos cálculos dos traços conforme mostrado na Tabela 15.

Tabela 15: Consumo (m³).

TRAÇOS	CIMENTO	RESIDUO	AREIA FINA	AREIA GROSSA	AGUA	SOMA (m³)
T1	0,17	0,10	0,21	0,25	0,269	1,0
T2	0,17	0,095	0,197	0,239	0,301	1,0
T3	0,133	0,112	0,232	0,281	0,244	1,0
T4	0,133	0,018	0,03	0,04	0,76	1,0
T5	0,15	0,102	0,213	0,259	0,275	1,0
T6	0,15	0,100	0,209	0,253	0,287	1,0
T7	0,15	0,105	0,219	0,266	0,256	1,0
T8	0,166	0,096	0,201	0,244	0,288	1,0
T9	0,133	0,107	0,224	0,271	0,261	1,0

A partir desta base, foi calculado o consumo em  $\text{kg/m}^3$  conforme Tabela 16 para enfim iniciar a fase de composição dos traços de concreto a serem utilizados para verificação de plasticidade e extrusão da argamassa.

Tabela 16: Consumo em  $\text{Kg/m}^3$  das matérias-primas utilizadas.

CONSUMO ( $\text{kg/m}^3$ )						
	CIMENTO	agregados	RESIDUO	AREIA FINA	AREIA GROSSA	AGUA
<b>T1</b>	500	1492	269	552	671	269
<b>T2</b>	500	1403	253	519	631	301
<b>T3</b>	400	1651	297	611	743	244
<b>T4</b>	400	278	50	103	125	180
<b>T5</b>	450	1520	274	563	684	275
<b>T6</b>	450	1486	268	550	669	287
<b>T7</b>	450	1564	281	578	704	256
<b>T8</b>	500	1433	258	530	645	288
<b>T9</b>	400	1594	287	590	717	261

Porém, para efeito de testes em laboratório foi feito uma conversão de cálculos de traços para realização dos experimentos. A quantidade de consumo foi baseado em corpos de prova de acordo com a NBR 5738/03 de dimensões iguais a diâmetro de 50mm e altura igual 100mm, conforme o molde mostrado na Figura 32.



Figura 32: Molde para corpo de prova

Tabela 17: Consumo para execução de corpo de prova.

Consumo	% mínima de finos da argamassa					
	CIMENTO	RESIDUO	AREIA FINA	AREIA GROSSA	AGUA	ADITIVO
CONSUMO 01	200	107	221	269	108	0,9
CONSUMO 02	200	101	208	253	120	0,9
CONSUMO 03	160	119	244	297	98	0,8
CONSUMO 04	160	20	41	50	72	0,5
CONSUMO 05	180	109	225	274	110	0,9
CONSUMO 06	180	107	220	268	115	0,9
CONSUMO 07	180	113	231	281	102	0,9
CONSUMO 08	200	103	212	258	115	0,9
CONSUMO 09	160	115	236	287	104	0,8

A influência do teor de finos (partículas < 0,075mm) na mistura seca na plasticidade das argamassas (CINCOTTO, 1995) é apresentada na Tabela 18.

Tabela 18: Influência dos finos na argamassa. (CINCOTTO, 1995)

Plasticidade	% mínima de finos da argamassa	
	Sem aditivo	Com aditivo
Pobre (áspera, seca)	<15	<10
Média (plástica)	15 a 25	10 a 20
Rica (gorda)	>25	>20

Conforme Tabela 19, elaboraram-se os cálculos para verificação da plasticidade das argamassas que foram desenvolvidas. Percebe-se que todos os traços apresentam porcentagem de finos superior a 20%, logo pode ser classificada como uma plasticidade rica.

Tabela 19: Calculo de influencia dos finos na plasticidade.

	CIMENTO	RESIDUO	TOTAL DA ARGAMASSA	% DE FINOS
CONSUMO 01	200	107	797	39%
CONSUMO 02	200	101	761	40%
CONSUMO 03	160	119	820	34%
CONSUMO 04	160	20	271	66%
CONSUMO 05	180	109	788	37%
CONSUMO 06	180	107	774	37%
CONSUMO 07	180	113	805	36%
CONSUMO 08	200	103	773	39%
CONSUMO 09	160	115	797	34%

Após análise feita entre a plasticidade (Tabela 19) e consumo (Tabela 17), foram executados os 9 traços da Tabela 16, para verificação do fator água/finos.

### 5.3.2 – PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

Após a execução de todos os 9 traços, foi feito o teste de extrusão com um mecanismo similar ao da Figura 33 e conclui-se que, todos os traços seriam capazes de serem extrudados. Assim, foram selecionados os dois traços extremos, o mais seco e o mais plástico, pois se tratava da execução da telha, no qual seriam produzidos em escala industrial.



Figura 33: Mecanismo para teste de extrusão

Neste sentido foram selecionados os traços descritos nas Tabelas 20 e 21.

Tabela 20: Composição do concreto T1 com adição do RBRO.

Concreto T1 (MENOS PLÁSTICO)		
Quantidades na Composição (kg/m³)	Areia Fina	552
	Areia Grossa	671
	RBRO	269
	cimento	500
	água	269
	Sp	2,3

Tabela 21: Composição do concreto T4 com adição do RBRO.

Concreto T4 (MAIS PLÁSTICO)		
Quantidades na Composição (kg/m³)	Areia Fina	103
	Areia Grossa	125
	RBRO	50
	cimento	400
	água	180
	Sp	1,35

### 5.3.3 – ANÁLISE DE DADOS

Após execução dos ensaios foram feitos as análises dos dados, inicialmente foram analisados os dados referentes à carga de ruptura.

As Tabelas 22 apresentam os resultados das cargas de ruptura a flexão das telhas de concreto produzidas referentes aos traços T1 e T4.

Tabela 22: Carga de Ruptura a flexão das telhas traço T1 e T4

TELHA	CARGA DE RUPTURA (N)
T1.1	2405
T1.2	2502
T1.3	2705
T1.4	2601
T1.5	2430
T1.6	2500
T4.1	2570
T4.2	2405
T4.3	2380
T4.4	2708
T4.5	2502
T4.6	2600

### 5.3.4 – CARGA DE RUPTURA A FLEXÃO E ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os resultados das propriedades analisadas de carga de ruptura à flexão e absorção de água, estão apresentados nas Tabelas 26 e 27.

Tabela 26: Propriedades tecnológicas da telha de concreto (traço 01) com adição do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais.

TELHA	CARGA DE RUPTURA (N)	MÉDIA (N)	DESVIO PADRÃO	AA (%)	MÉDIA (%)	DESVIO PADRÃO
T1.1	2405	2524	102	8,9	8,3	0,75
T1.2	2502			9,2		
T1.3	2705			8,8		
T1.4	2601			8,3		
T1.5	2430			7,1		
T1.6	2500			7,6		

Tabela 27: Propriedades tecnológicas da telha de concreto (traço 04) com adição do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais.

TELHA	CARGA DE RUPTURA (N)	MÉDIA (N)	DESVIO PADRÃO	AA (%)	MÉDIA (%)	DESVIO PADRÃO
T4.1	2570	2528	113	7,4	8,2	0,77
T4.2	2405			7,8		
T4.3	2380			7,8		
T4.4	2708			7,8		
T4.5	2502			8,6		
T4.6	2600			9,7		

As Tabelas 26 e 27 apresenta os resultado obtidos das cargas de ruptura e absorção de água após 28 dias de cura, exigências da NBR 13858-2:2009 referente as telhas de concreto.

Tabela 28: Propriedades tecnológicas da telha de concreto com adição do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais.

Propriedades tecnológicas		Limites exigidos pela NBR 13858-2
Carga de Ruptura (T1)	2524 ± 102 N	2400 N (mínimo)
AA (T1) (%)	8,3 ± 0,75 %	10% (máximo)
Carga de Ruptura (T4)	2528 ± 113 N	2400 N (mínimo)
AA (T4) (%)	8,2 ± 0,77 %	10% (máximo)

A Tabela 28 apresenta o resumo das propriedades avaliadas com seus respectivos desvio padrão, mostrando que mesmo aplicando o desvio, os índices permanecem dentro dos limites exigidos pela NBR 13858-2:2009.

A Figura 34 apresenta o comparativo da carga de ruptura à flexão dos traços com a norma. Pode-se observar que, tanto o T1 quanto o T4 atendem a carga mínima exigida pela NBR 13858-2:2009.

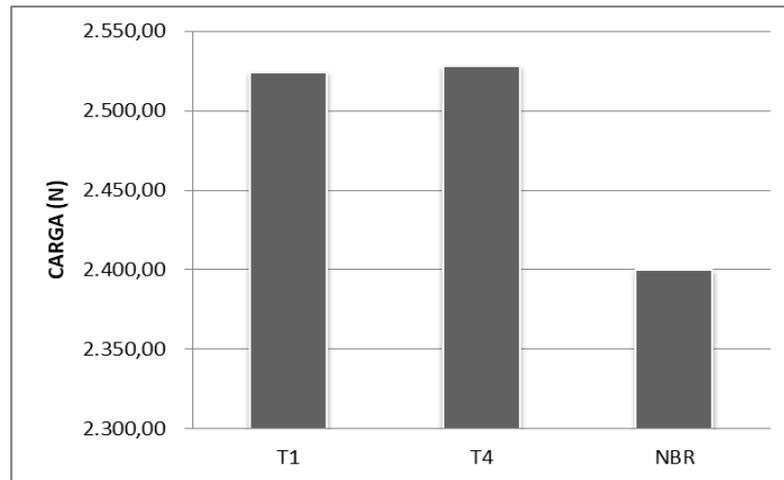


Figura 34: Comparativo dos resultados da carga de ruptura a flexão aos 28 dias de cura exigidos pela NBR 13858-2:2009 para telhas de concreto

Observa-se na Figura 35 que o limite máximo de absorção de água exigidos para telhas de concreto pela norma NBR 13858-2:2009 é de 10 %. Verifica-se que os traços avaliados atendem às exigências da NBR 13858-2:2009. Este resultado é muito importante devido a absorção de água estar relacionada com o nível de porosidade aberta e ser a principal propriedade física da telha de concreto.

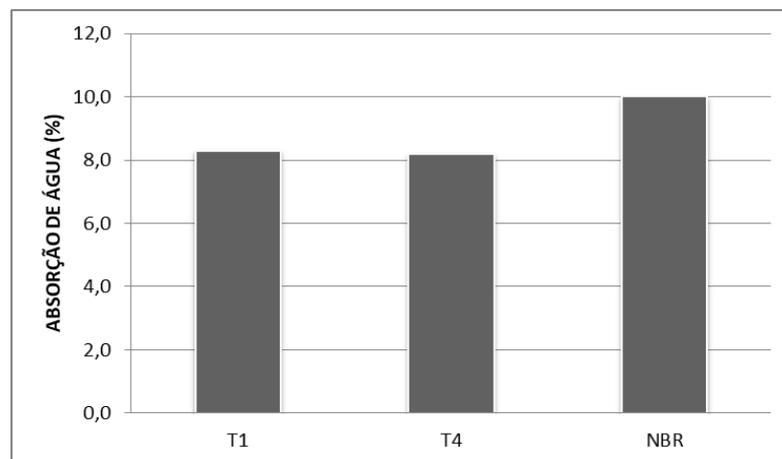


Figura 35: Comparativo dos resultados de absorção de água aos 28 dias de cura exigidos pela NBR 13858-2:2009 para telhas de concreto.

De acordo com os resultados obtidos para as propriedades tecnológicas da telha de concreto produzidas neste trabalho, observa-se que os limites de carga de ruptura à flexão e absorção de água exigidos pela norma técnica brasileira NBR 9457 (ABNT, 2013) são atendidos.

A Tabela 23 apresenta um comparativo da carga de ruptura à flexão e absorção de água (AA) para as telhas de concreto deste trabalho T1 e T4, telha com

incorporação de lama abrasiva (Barbosa, 2012), telhas comerciais da região de Campos dos Goytacazes-RJ (Fábrica Super Telha), e por fim, das Fabricas de Herval Oeste – SC, (Valcarenchi, 2011).

Tabela 23: Comparativo entre telhas de mercado e telhas com resíduo

TELHAS	CARGA DE RUPTURA A FLEXÃO (N)	AA (%)
FERNANDES (2017) T1	2524	8,3
FERNANDES (2017) T4	2528	8,2
BARBOSA (2012)	3310	4,5
VALCARENCHI(2011)	3000	7
SUPER TELHA	2929	6,2

As Figuras 36 e 37 apresentam o gráfico de comparação das cargas de ruptura a flexão e absorção de água em comparação com a NBR 13858-2:2009 de telhas de concreto. Verifica-se que todos os resultados atendem as exigências da NBR 13858-2:2009.

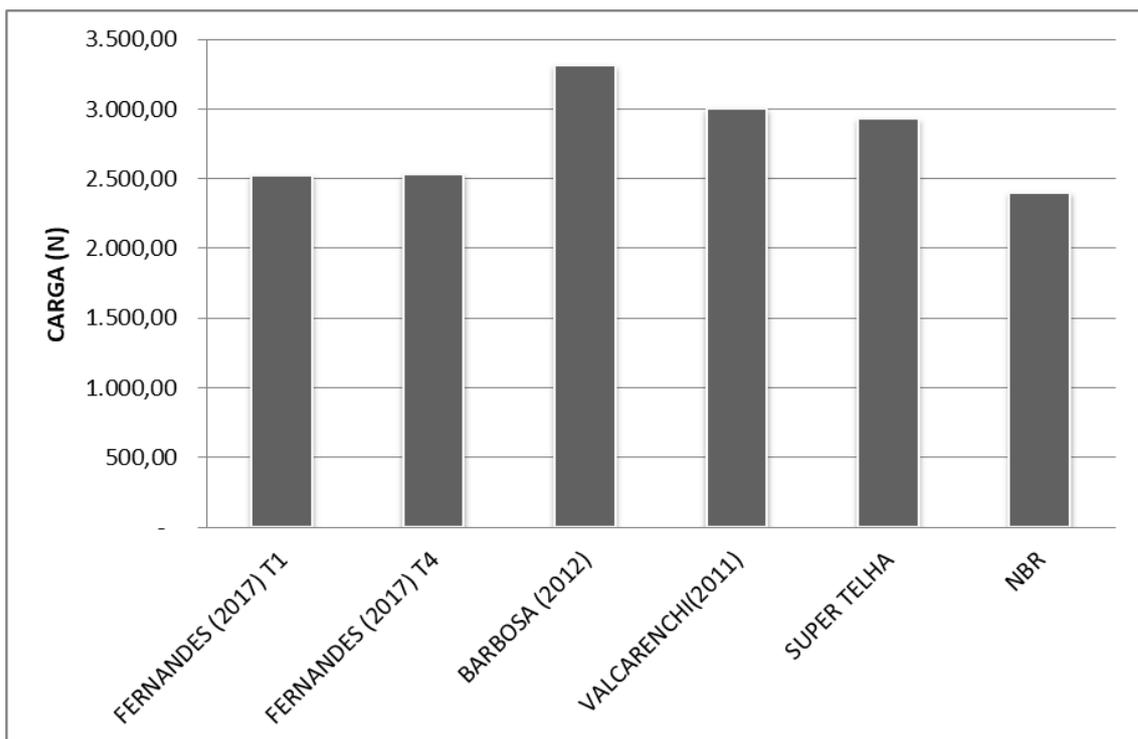


Figura 36: Gráfico comparativo com a carga de ruptura de todas as telhas de concreto.

Na figura 37 e Tabela 23, a carga mínima de ruptura a flexão exigida pela norma é de 2400N, percebe-se que os traços T1 e T4 atendem as especificações, porém ficam com uma carga de ruptura abaixo dos desenvolvidos comercialmente (Super Telha e valcarench) e abaixo também de Barbosa (2012), que adicionou lama

abrasiva resultante do beneficiamento de rocha no processo de moldagem das telhas.

Fazendo uma comparação entre T1 e T4 e as comerciais, nota-se que a adição do resíduo diminuiu a resistência de ruptura e aumentou a absorção de água, observados na Figura 37, porém ficou dentro dos parâmetros da NBR, comparando com a telha com inserção de lama abrasiva, apresentou um resultado inferior porém dentro dos padrões da NBR.

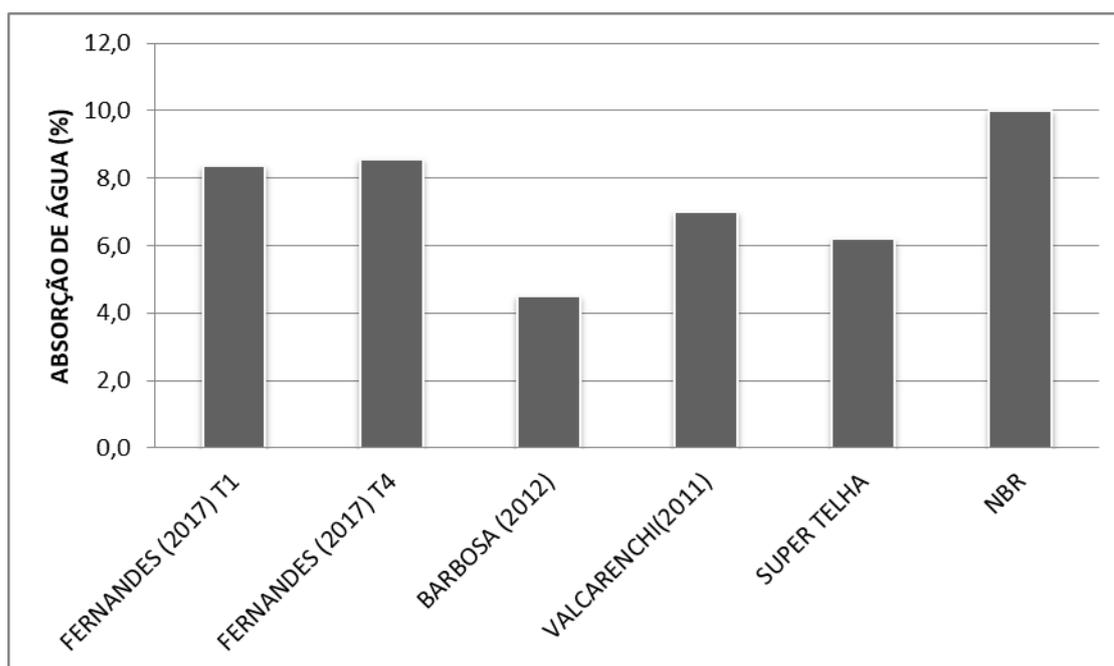


Figura 37: Gráfico comparativo de Absorção de água de todas as telhas de concreto.

### 5.3.5 – ANÁLISE DA MICROESTRUTURA

No estudo da microestrutura do concreto é importante a análise de três fases: agregado, matriz da pasta de cimento e uma interface bem definida entre estas, denominada interface pasta agregado ou zona de interação.(Metha,1994).

Após a realização do ensaio de ruptura à flexão, foram realizadas análises da microestrutura na fratura das telhas de traço T4. As Figuras 38 a 43 apresentam micrografias, obtidas via microscópio confocal de varredura a laser, com ampliações de 216x, 430x, 1075x, 2136x, 4059x e 8545x, respectivamente.

A matriz cimentícia (Figura 38) apresenta um aspecto compacto e homogêneo, com alguma presença de poros. É possível verificar também o resíduo presente na mistura e a partir da Figura 39. Percebe-se uma área de interação do resíduo com a matriz fazendo uma linha bem definida entre o resíduo e a matriz,

com a aproximação na Figura 40 e 41, verifica-se um que o resíduo e a matriz estão formando dois blocos, onde por fim na Figura 42 apresenta a sobreposição do resíduo e matriz mostrando a divisão entre o resíduo e a matriz.

Por fim verifica-se que nas Figuras 42 e 43 que existe uma divisão do resíduo com a argamassa, tendo como consequência a diminuição do da resistência em relação as amostras

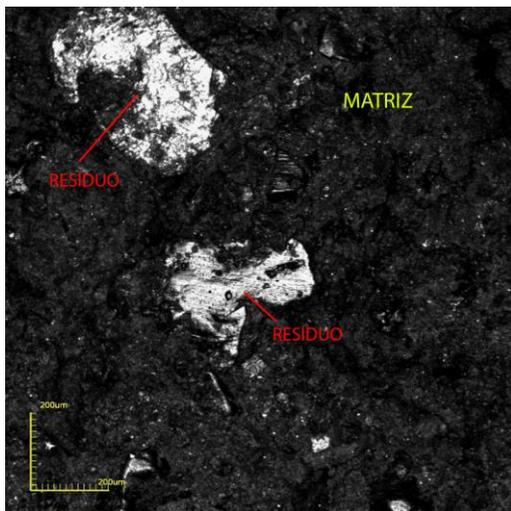


Figura 38: Microestrutura, ampliação 216x

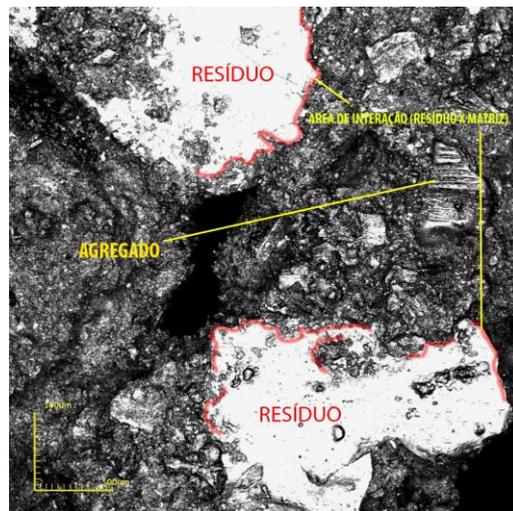


Figura 39: Microestrutura, ampliação 430x

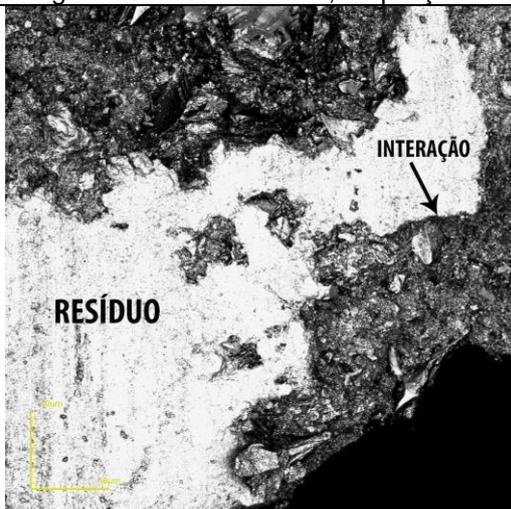


Figura 40: Microestrutura, ampliação 1075x



Figura 41: Microestrutura, ampliação 2136x

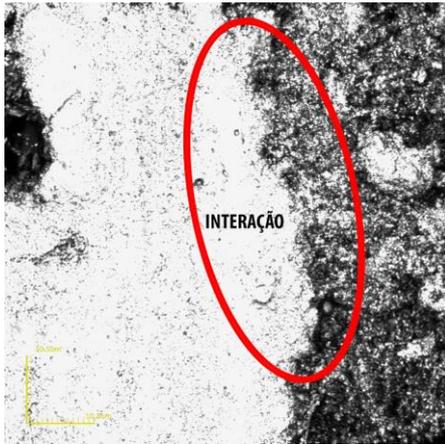


Figura 42: Microestrutura, ampliação 4059x

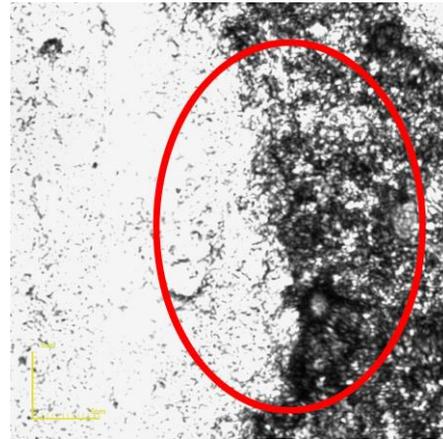


Figura 43: Microestrutura, ampliação 8545x

# Capítulo 6

## 6.0 CONCLUSÕES

### 6.1 - CONCLUSÕES

Este trabalho de tese de doutorado teve como finalidade estudar a possibilidade de desenvolver uma nova telha de concreto com resíduo do beneficiamento de rocha ornamental, particularmente de resíduo de rocha carbonácea, no caso resíduo de mármore proveniente do tear de fio diamantado.

- Os resultados experimentais e discussão deles permitiram concluir que o objetivo principal deste trabalho foi alcançado, onde foi demonstrada a viabilidade de fabricação de telha de concreto eco-eficiente usando resíduo de mármore proveniente da indústria de rochas ornamentais como um material filler. Destaca-se também que o reuso de resíduo de mármore na fabricação de telha de concreto é uma alternativa tecnológica viável para a valorização deste abundante material de resíduo sólido poluente, que contribui para a sustentabilidade ambiental.

- O resíduo de mármore proveniente do tear de fio diamantado utilizado apresenta características física, química e mineralógica adequada para aplicação como filler na produção telha de concreto. Apresenta uma distribuição de partículas com mais de 90 % das partículas inferiores a 75  $\mu\text{m}$ , o que pode causar um melhor empacotamento e aumento da densidade seca na composição dos agregados.

- O estudo mostrou que, a incorporação do resíduo do beneficiamento de mármore em 18 % da massa seca total da composição dos agregados, promove um ganho de massa seca máxima das misturas.

- O estudo dos traços mostrou que o resíduo do beneficiamento de mármore exerce uma função de preenchimento dos espaços vazios deixado entre areia e cimento. O mesmo está ligado diretamente aos índices de vazios, porém existe uma quantidade máxima de resíduo que pode ser adicionado ao traço, pois devido ao ensaio de máximo empacotamento, o mesmo após 18 % de adição na mistura causa efeito reverso.

- As argamassas de telhas de concreto produzidas com a incorporação do resíduo do beneficiamento de mármore apresentaram resultados satisfatórios, tanto no seu aspecto de microestrutura, como para as exigências de propriedades física e mecânica (absorção de água e carga de ruptura à flexão) para sua aplicação na produção de telhas de concreto de acordo com as normas técnicas brasileiras.
- Por fim, com base nos resultados obtidos neste trabalho, sugere-se que os traços testados permitem a obtenção de uma nova telha de concreto com adição do resíduo do beneficiamento de mármore proveniente do tear de fio diamantado de alta qualidade técnica em conformidade com as exigências das normas técnicas brasileiras.

## **6.2 – SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

Visando o entendimento de fatores que não foram tratados como foco nesta pesquisa, são sugeridas as seguintes linhas de pesquisa para o aprimoramento e continuidade do tema:

- Estudar o efeito a diminuição da quantidade de cimento abaixo dos índices utilizados nas fábricas e orientado na literatura.
- Avaliação das propriedades físicas da telha de concreto com resíduo de beneficiamento de mármore proveniente de ter de fio diamantado após a utilização em telhado por um período de tempo.
- Estudo da utilização de corantes na produção de telha de concreto com adição do resíduo do beneficiamento de mármore proveniente de ter de fio diamantado.

## 7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS, O setor de rochas ornamentais e de revestimento. São Paulo, 2012

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS, Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e Revestimentos, São Paulo, 2012

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS, Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e Revestimentos, São Paulo, 2015

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS, Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e Revestimentos, São Paulo, 2017

G. Rego, C. Martinez, A. Quero, T.P. Blanco, J.M> Boquea, Med. Clínica 116,8 (2001) 290-291.

J.P.V.T. Manhães, J.N.F. Holanda, Quím. Nova, (2008)

<[http://www.abirochas.com.br/rochas\\_ornamentais.php](http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais.php)>. Acesso em: 24 jun. 2011.

ABIROCHAS. **Conheça as Rochas Ornamentais:** Informações gerais do beneficiamento. 2004. Disponível em:

ASSOCIACAO BRASILEIRA DA INDUSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS –

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2002). Boletim técnico 106: Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. São Paulo, SP. ABCP.

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2016). Boletim técnico 106: Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. São Paulo, SP. ABCP.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 13858-1. 1997. Telhas de Concreto Parte 1 – Projeto e Execução de Telhados .

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 13858-2. 2009. Telhas de Concreto Parte 2 – Requisitos e métodos de ensaio .

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2003 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente – NM 52. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2003 – Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrômetros, por lavagem – NM 46. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2003 – Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal – NM 43. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2003. Agregados – Determinação da composição granulométrica – NM 248. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2003. Cimento Portland – Determinação do tempo de pega – NM 65. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 2009. Agregados para concreto – Especificação - NBR 7211. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 2013. Ladrilho Hidráulico para Pavimentação- especificação e métodos de ensaio - NBR 9457. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 1987. Agregados - Determinação da composição granulométrica - NBR 7217. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 2009. Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio - NBR 6467. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 2003. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova- NBR 5738. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 1990. Aglomerante de origem mineral - NBR 11172. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 2004 Amostragem de resíduo sólidos - NBR 1007. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 1991 Cimento Portland de auto forno - NBR 5735. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 2010 Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos - NBR 12142. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 2006 Concreto — gregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios – NM - 45. Rio de Janeiro.

ALMEIDA, N.G.C.M.; BRANCO, F.A.B.; SANTOS, J.R. Solucoes tecnicas para oconsumo de lamas de rochas ornamentais. Parte 1- Industria da construcao e Parte 2 – Aplicacoes diversas. In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS; II SIMPOSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2005, Guarapari. **Anais...** Guarapari: CETEMAG / CATE / CETEM, 2005. 1

ALMEIDA, T.F. Reaproveitamento de resíduo de pó de mármore e chamo-te na produção de material cerâmico para isolamento térmica - Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – 2014 - UENF,

BRANDAO, K. C.; RIBEIRO, R. L. P. Análise Ambiental de Blocos Cerâmicos Fabricados a partir da lama abrasiva proveniente do beneficiamento do mármore e do granito. 2007. 81 f. Monografia (Graduacao) - Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

Bahiense, A. V. Incorporação de Resíduo de Rocha Ornamental em Argamassa Utilizando Planejamento de Experimentos em Rede Simplex. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 159p.

BARBOSA J., COSTA V. “Avaliação da utilização de lama abrasiva do beneficiamento de mármore e granito na confecção de telhas de concreto” Vitória (2012).

Bauer, F. L. A. Materiais de Construção. Ed. Livros Técnicos e Científicos Ltda. 5. Ed., V. 1 e 2, 1997, 951p.

BUCHER, HRE. "Desempenho de aditivos redutores de água de alta eficiência em pastas, argamassas ou concretos." Seminário sobre Aditivos para Concreto e Argamassa, Rio de Janeiro (1988).

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C; CARASEK, H. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118 p. (Boletim Técnico 68 IPT)

Cassa, J. C.; Valois, J. C.; Carneiro, A. P. Aplicação de uma escória de ferro-cromo como agregado graúdo de concreto de alto desempenho. In: Congresso Anual da ABM, 53., 1998, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte, 1998.

C.F. Chiodi, Kisteman & Chiodi Assessoria de Projetos, ABIROCHAS, 2005

Calmon, J. L.; Tristão, F. A.; Lordêllo, F. S. S.; Silva, S. A.; Mattos, Flávio V. Aproveitamento do resíduo do corte de granito para a produção de argamassas de assentamento. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1997a. Anais...Salvador: ANTAC, p.64-75, 1997a.

Destefani, A. Z. (2009) Utilização do planejamento experimental na adição do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais para produção de blocos prensados de encaixe . Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 118p.

Destefani, A. Z. (2013) Utilização do planejamento experimental na adição do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais para produção de blocos prensados de encaixe . Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 118p.

FLOSS, M. F.; THOMÉ , A. (2006). Adição de resíduo proveniente do corte e polimento de rochas basálticas em materiais de cerâmica vermelha. RECIE, Uberlândia, v. 15, n. 1/2, p. 1-7, jan.-dez. 2006

Freire, A. S.; Motta, J. F. M. Potencialidades para o aproveitamento econômico do rejeito da serragem do granito. Revista Rochas de Qualidade. São Paulo. Ano XXV. Edição 123, p.98-108, julh/ago, 1995.

Fernandes, Idário D. (2012) Telhas de concreto – Produção e Controle de Qualidade. São Paulo – SP, 112p.

Gonçalves, J. P. (2000). Utilização do resíduo do corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Porto Alegre – RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 120p.

GOMES, M. P. *et al.* Matriz de Interacao Qualitativa de Aspectos e Impactos Ambientais no Seguimento de Rochas Ornamentais: Estudo de caso - Sao Rafael/RN. **Revista da FARN**, Natal, v. 53, n. 1/2, p. 135-159, 2009.

<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/09/umidade-agregados-miudos.html> -  
acessado em 08/03/2014

Isaia, G. C. (2010). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: 2ª edição, v. 1, 862p.

JUNAS, K.. Very Dry precasting concrete. "In Special Concretes: Workability and Mixing Proceeding of the RILEM Workshop. London. 1993. P.153 – 168

Lameiras, R. M. Estudo do potencial de utilização do resíduo do beneficiamento de chapas de granito (RBCG) como material de construção: aplicação em concreto (2004). Monografia (Engenharia Civil) – Alagoas – AL, Universidade Federal de Alagoas – UFA, 97p.

Lawrence, P., 1998, "The production of low-energy cements". In: Hewlett, P. C. (ed), Lea's chemistry of cement and concrete, 4 ed. New York: J. Wiley, pp. 421-469.

Lisboa, E. M.; Gomes, P. C. C.; Lima, F. B. de; Barboza, A. da S. R.; Lameiras, R. de M. Obtenção de pastas e argamassas altamente fluidas com resíduo da serragem dos blocos de granito para utilização em concreto auto-adensável. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. Anais...São Paulo: ANTAC, 2004.

Manual do Concreto - <http://www.cortesiaconcreto.com.br/> - Acesso em 03/08/2014

Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 573p., 1994.

Menezes, R. R.; Ferreira, H. S.; Neves, G.A.; Ferreira, H. C. Cerâmica 48, 306 (2002) 92-101

Moura, W. A.; Gonçalves, J. P., Leite, R. da S. Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso. Revista da Universidade Estadual de Feira de Santana – Sitientibus, Feira de Santana, n.26, p.49-61, jan./jun. 2002.

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

MOREIRA, J. M. S.; MANHAES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. Reaproveitamento de residuo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, Sao Paulo, v. 51, n. 319, p. 180-186, 2005.

Neville, A. M., 1997, *Propriedades do concreto*, 2 ed. São Paulo: Editora Pini, 828 p.

OFICEMEN Agrupación de Fabricantes de Cemento de España. On-line. Disponível em: <<http://www.oficemen.com/eventos/vermemorias.php>>.

OLIVEIRA, A. L., "Contribuição para dosagem e produção de peça de concreto para pavimentação" Santa Catarina (2004).

Oliveira, I. R. de; Studart, A. R.; Pileggi, R. G., Pandolfelli, V. C. *Dispersão e empacotamento de partículas*. São Paulo: Fazendo arte, 195p., 2000.

Petruci, E. G. R. (1998). *Concreto de Cimento Portland – 13. ed – São Paulo: Globo*.

PRUDÊNCIO JR, L. R., *Tecnologia do Concreto de Cimento Portland – Apostila curso mestrado em Engenharia Civil – Florianópolis, set. 1999*.

Reis, A. S. *Estudo do aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de ladrilho hidráulico piso tátil*. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Vitória – ES, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 221p, 2008.

RODRIGUES. Pubio Penna Firme. "Recomendações para fabricação de peças pré moldadas de concreto para pavimentação" São Paulo (1984)

Rocha, C. A. A (2008). *Estudo de concretos com adições minerais de resíduo de corte de rocha e de blocos cerâmicos moídos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 107p.

Roncero, J., and R. Gettu. "Influencia de los superplastificantes en la microestructura de la pasta hidratada y en el comportamiento diferido de los morteros de cemento." *Cemento Hormigón 832.1* (2002): 12-28.

Schumacher, H. R. S. P. (2007). Caracterização do concreto convencional com pó de pedra em substituição parcial a areia natural. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Joinville – SC, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, 89p.

SNIC Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. On-line. Disponível em: <<http://www.sindicatodocimento.org.br>>.

SILVA, S.A.C. (1998). Caracterização de Resíduo da Serragem de Blocos de Granito. Estudo Potencial de Aplicação na fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Vitória – ES. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. 159p.

VALCARENGHI (2011). Análise das propriedades físicas e mecânicas nas telhas de concreto fabricadas na cidade de Herval d'Oeste. 29p.

Xavier, G. C.; Júnior, F. S.; ALEXANDRE, J. Otimização por planejamento factorial  $3^2$  dos ensaios físicos-mecânicos das misturas de resíduo de granito na massa cerâmica vermelha moldados por prensagem. In: 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2003. João Pessoa/PB. 2003. Anais...João Pessoa/PB: ABCP – Associação Brasileira de Cerâmica, p.180-187,

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C; CARASEK, H. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118 p. (Boletim Técnico 68 IPT)