



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

APROVEITAMENTO DE REJEITOS PROVENIENTES DO CORTE DE MÁRMORE E GRANITO PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO

PEDRO MATHEUS VITORINO GOMES

Orientadora: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

Coorientadora: Priscila Maria Sousa Gonçalves Luz

Campina Grande-PB, 27/07/2018

**APROVEITAMENTO DE REJEITOS PROVENIENTES DO CORTE DE
MÁRMORE E GRANITO PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande-PB, 27/07/2018

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

PEDRO MATHEUS VITORINO GOMES

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

Área de habilitação: Materiais de Construção.

Orientador: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça
Coorientadora: Priscila Maria Sousa Gonçalves Luz

CAMPINA GRANDE – PB

Julho/2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

PEDRO MATHEUS VITORINO GOMES

APROVEITAMENTO DE REJEITOS PROVENIENTES DO CORTE DE MÁRMORE E GRANITO PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em 27/07/2018
perante a seguinte Comissão Julgadora:

Ana Maria Gonçalves Duarte
Prof. Dr^a Ana Maria Gonçalves Duarte
Orientadora
Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

Cyreneado

Priscila Maria Sousa G. Luz
Priscila M^a Sousa Gonçalves Luz
Co-orientador
Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

Aprovado

Izabelle Marie Trindade Bezerra
Izabelle Marie Trindade Bezerra
Membro Interno
Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

APROVADO

Macel Wallace Queiroz Fernandes
Macel Wallace Queiroz Fernandes
Examinador Externo
Departamento de Engenharia Civil
UNINASSAU

APROVADO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me oferecer uma vida repleta de possibilidades, desafios e felicidade.

Agradeço a minha família, amigos e professores, por fazerem todo o possível para que eu pudesse aproveitar cada momento desta jornada acadêmica, por mais difícil que fosse, com total dedicação e tranquilidade.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre me apoiaram em todos os aspectos da vida, aos meus amigos por todo companheirismo e aos professores que me guiaram nesta jornada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema da composição mineralógica típica: a) do mármore: calcita (2) e dolomita (3); b) do granito (4): quartzo (5), mica (6), e feldspato (7).....	18
Figura 2: Estrutura de comercialização de rochas ornamentais no Brasil	22
Figura 3: Fluxograma de geração e destinação de resíduos de rochas ornamentais.....	27
Figura 4: Placas no pátio da marmoraria	28
Figura 5: Aparas de mármore e granitos provenientes do corte de placas ...	28
Figura 6: Venda acumulada de cimento em 12 meses.	31
Figura 7: Perspectiva do setor de agregados (2015 - 2019)	32
Figura 8: Resíduo utilizado: (a) granito; (b) mármore	40
Figura 9: Fluxograma das etapas da pesquisa.....	41
Figura 10: Equipamento utilizado para a britagem	43
Figura 11: Resultado da britagem: (a) mármore; (b) granito.....	44
Figura 12: Ensaio de Slump Test realizado para o concreto em estudo	45
Figura 13: Corpos de prova após moldagem.....	47
Figura 14: Corpos de prova em processo de cura.....	48
Figura 15: Ensaio de absorção de água do concreto em estudo.....	49
Figura 16: Ensaio de resistência à compressão simples	50
Figura 17: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral	51
Figura 18: Curva granulométrica do agregado miúdo	53
Figura 19: Curva granulométrica da brita 9,5 mm	55
Figura 20: Curva granulométrica da brita 25 mm	56
Figura 21: Curva granulométrica obtida para o rejeito do corte de granito após britagem	58
Figura 22: Curva granulométrica do rejeito britado resultante do corte de mármore	60
Figura 23: Resistência à compressão simples do CREF e do concreto - C40%RMG	61
Figura 24: Resistência à compressão simples do CREF e do concreto - C60%RMG	63
Figura 25: Resistência à tração por compressão diametral do concreto de referência -CREF e do concreto C40%RMG	64
Figura 26: Resistência à tração por compressão diametral do concreto de referência -CREF e do concreto C60%RMG	66
Figura 27: Absorção de água do concreto de referência - CREF e do concreto com rejeitos de mármore e granito nos teores de 40% - C40%RMG e com 60% - C60%RMG	68

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Dimensão da Indústria dos Agregados	32
Tabela 2: Slump Test do concreto em estudo.....	45
Tabela 3: Consumo de materiais para a confecção de 16 corpos de prova	46
Tabela 4: Quantitativo de corpos de prova submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples.....	49
Tabela 5: Quantidade de corpos de prova submetidos ao ensaio para determinação da resistência à tração por compressão diametral	50
Tabela 6: Caracterização física do agregado miúdo.....	52
Tabela 7: Composição granulométrica do agregado miúdo.....	53
Tabela 8: Caracterização física da brita 9,5 mm.....	54
Tabela 9: Composição granulométrica da brita 9,5 mm	54
Tabela 10: Composição granulométrica da brita 25 mm	55
Tabela 11: Caracterização física do cimento CII Z.....	57
Tabela 12: Caracterização física dos rejeitos britados provenientes do corte de granitos	57
Tabela 13: Composição granulométrica do rejeito de granito	58
Tabela 14: Caracterização física do rejeito britado proveniente do corte de mármore	59
Tabela 15: Composição granulométrica do rejeito britado resultante do corte de mármore	60

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

ABIRROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais

ANEPAC - Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil

ASTM - American Society for Testing and Materials

CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

FIHP - Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado

MEV - Microscopia eletrônica de varredura

RMG - Resíduo de mármore e granito

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento.

RESUMO

A indústria da construção civil está entre um dos mais importantes setores para o desenvolvimento de uma nação por possuir elevada importância econômica, empregar elevado número de pessoas, gerar riquezas e ser fundamental para o desenvolvimento de uma região. Entretanto, recai sobre a mesma uma grande responsabilidade de gestão e manejo dos resíduos sólidos que são gerados direta ou indiretamente, sendo necessário modificações das atuais práticas em sua cadeia produtiva, para que o setor possa contribuir adequadamente com o desenvolvimento sustentável do país. Nesse objetivo, a construção tem sido alvo da incorporação de diversos tipos de resíduos devido ao fato de alguns possuírem composições semelhantes às matérias-primas naturais. Dentre as atividades que estão relacionadas com a indústria da construção civil, encontra-se o setor de rochas ornamentais que é responsável por uma significativa quantidade de resíduo gerado em diversas dimensões, dentre esses, pode-se citar as aparas de mármore e granitos. Assim, este trabalho tem como principal desígnio avaliar o desempenho do concreto produzido com substituição parcial do agregado graúdo convencional por rejeitos provenientes de aparas de mármore e granitos. Foram realizados ensaios de caracterização física do cimento, dos agregados e dos rejeitos de mármore e granito, sequencialmente realizou-se o estudo da dosagem e moldagem dos corpos de prova nas dimensões de 10 x 20 (cm), com substituição do agregado graúdo (brita 9,5mm) por teores de 40% e 60% de rejeitos de mármore e granito, sendo avaliadas as propriedades físicas e mecânicas do concreto. Observou-se que a substituição do agregado graúdo convencional por rejeitos de mármore e granito promoveu a elevação da resistência à compressão e a tração do concreto, e um leve aumento da absorção de água, sendo, portanto, indicado para utilização como agregado alternativo para uso em concreto.

Palavras-chave: Concreto; Propriedades; Resíduos.

ABSTRACT

The construction industry is among one of the most important sectors for the development of a nation because it has high economic importance, employs a large number of people, generates wealth and is fundamental to the development of a region. However, there is a great responsibility for the management of solid waste that is generated directly or indirectly, and it is necessary to modify the current practices in its production chain, so that the sector can contribute adequately to the sustainable development of the country. In this objective, the construction has been the target of the incorporation of several types of waste due to the fact that some have similar compositions to the natural raw materials. Among the activities that are related to the construction industry, there is a sector of ornamental rocks that is responsible for a significant amount of waste generated in several dimensions, among them, marble and granite pieces. In this work was done the physical characterization of the marble and granite residue (RMG) to study the feasibility of replacing the conventional aggregate with the residue in the concrete production. It was also done the study of the physical and mechanical properties of the concrete with addition of 40% and 60% of the residues in relation to the mass of the gravel 9,5 mm. For the concrete produced, the properties of the hardened concrete (resistance to axial compression and tensile strength by diametral compression) and durability parameter (immersion absorption) were evaluated. The analysis of the results shows that the use of the waste is technically feasible. It was observed that the substitution of the conventional aggregate for marble and granite residue promoted the increase of compressive and traction strength of the concrete, and a slight increase in water absorption, and was therefore indicated for use as an alternative aggregate in concrete.

Key words: Concrete; Properties; Residue.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa	15
1.2 Hipótese da pesquisa	16
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos	17
1.4 Organização do trabalho de conclusão de curso	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Rochas ornamentais	18
2.1.1 Produção de rochas ornamentais no Brasil e a influência econômica	20
2.1.2 Ciclo produtivo das rochas ornamentais	23
2.1.3 Rochas ornamentais e geração de resíduos	24
2.2 Concreto e sua produção no brasil	29
2.3 Propriedades do concreto fresco	33
2.3.1 Trabalhabilidade	33
2.3.2 Segregação	34
2.3.3 Exsudação	35
2.3.4 Homogeneidade	36
2.4 Propriedades do concreto endurecido	36
2.5 Uso de resíduos de rochas ornamentais na construção civil	37
3. MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1 Materiais	40
3.2 Metodologia	41
3.2.1 Caracterização física dos agregados e dos resíduos	41
3.2.2 Caracterização e beneficiamento do resíduo de mármore e granito	43
3.2.3 Estudo da dosagem e análise da consistência do concreto	44
3.2.4 Moldagem dos corpos de prova	46
3.2.5 Cura dos corpos de prova do concreto em estudo	47
3.2.6 Determinação das propriedades físicas e mecânicas do concreto em estudo	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1 Caracterização dos materiais utilizados neste estudo	52
4.1.1 Agregado miúdo	52
4.1.2 Agregado graúdo	54

4.1.3 Cimento	57
4.1.4 Rejeitos de mármore e granito	57
4.2 Caracterização mecânica do concreto com substituição do agregado graúdo por rejeito britado proveniente do corte de mármore e granito.....	61
4.2.1 Resistência à compressão simples	61
4.2.2 Resistência à tração por compressão diametral.....	64
4.3 Caracterização física do concreto com substituição do agregado graúdo por rejeito britado proveniente do corte de mármore e granito.....	67
4.3.1 Determinação da Absorção de Água.....	67
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	70
5.1 Sugestões para pesquisa futuras	71
REFERÊNCIAS.....	72

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil na condição de um dos setores mais importantes para o desenvolvimento de uma nação, agrega em sua cadeia produtiva várias atividades econômicas. Trata-se, desse modo, de um segmento de elevada importância à economia que emprega elevado número de pessoas, gera riquezas e ajuda a promover o desenvolvimento de uma região. Entretanto, recai sobre esta indústria uma acentuada responsabilidade no âmbito da gestão ambiental, devido à grande quantidade de resíduos sólidos que é produzido (SCHERRER et al.,2014).

Segundo pesquisas encomendadas pelo Ministério do Meio Ambiente (2014), a indústria da construção é o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e é responsável pela utilização de fontes de energia de maneira intensiva, gerando impactos ambientais, além disso, estima-se também que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto de todas as atividades humanas sejam provenientes da construção civil. Desse modo, cabe a mesma a necessidade de melhorar o panorama ambiental, realizando, por exemplo, o reaproveitamento de resíduos, seja da própria construção civil ou também de indústrias relacionadas, por ser uma alternativa econômica e ecologicamente viável que proporciona um destino definitivo para tais materiais (SANTO et al., 2012). Para o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável – CBCS, as atuais práticas que são adotadas pelas empresas da construção civil necessitam de modificações em sua cadeia produtiva para que o setor possa contribuir adequadamente para o desenvolvimento sustentável do país.

Devido ao aumento da preocupação ambiental, a construção tem sido alvo da incorporação de diversos tipos de resíduos, já que alguns possuem composição semelhante às matérias-primas naturais. Segundo (SANTO et al., 2012), tal incorporação na produção de materiais, em síntese, consiste na busca do equilíbrio entre o dinâmico setor da construção civil, que cresce diariamente, e a presente necessidade de preservar jazidas limitadas de recursos naturais, evitando assim, extrações danosas ao meio ambiente e economicamente dispendiosas. De acordo com Mendonca et al. (2013) o estudo de novas tecnologias para reaproveitar os resíduos de origem industrial, poderá propiciar o desenvolvimento de novos materiais com a consequente

diminuição do descarte do mesmo, otimizando a cadeia produtiva das indústrias.

O setor de rochas ornamentais, como mármore e granitos, é uma das atividades industriais que mais tem crescido nas últimas três décadas no Brasil e, conseqüentemente, tem aumentado a quantidade de resíduos que são produzidos (MOTHÉ FILHO et al., 2005). De acordo com Campos et al. (2014), estima-se que no processamento dos blocos nas serrarias, o resíduo gerado seja de 40% do volume do bloco processado, sendo 26% de resíduo muito fino misturado com insumos de serragem e 14% de resíduo grosso, na forma de casqueiros e aparas (restos do aparelhamento dos blocos). Estima-se, então, que no beneficiamento sejam geradas em torno de 1,5Mt dos resíduos finos (pó de rocha) e quase 1Mt de resíduo grosso (casqueiros e aparas) anualmente no país.

No ciclo produtivo de rochas ornamentais são gerados resíduos nas diversas etapas do processo, que são: resíduos na extração do bloco; na serragem para enquadrá-los nas dimensões padronizadas; no processo de corte e devido ao polimento (MOURA & LEITE, 2011). Neste contexto, mediante a grande quantidade de resíduo gerado nas diversas etapas, este trabalho visa avaliar a viabilidade técnica da incorporação de aparas de mármore e granitos para confecção de concreto simples.

1.1 Justificativa

A utilização de novos materiais na produção de concreto e a possibilidade de se oferecerem materiais alternativos vem crescendo em todo o mundo, onde a principal preocupação é o equilíbrio entre os aspectos ambientais, tecnológicos e econômicos.

A busca por produtos que sejam eficientes e causem pouco ou nenhum dano ao meio ambiente vem incentivando cada vez mais pesquisas sobre produtos oriundos de fontes renováveis e cuja exploração gere benefícios à sociedade que os explore. Com isso a utilização de resíduos tem se mostrado como uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo

desordenado de matéria-prima e pela redução das áreas de disposição, considerando o crescente volume de resíduos descartados.

Assim, a realização deste estudo é de fundamental importância e justifica-se pela grande quantidade e variedade de rejeitos gerados no processo de corte e polimento de mármore e granitos, os quais têm se tornado um grande problema ambiental devido à forma inadequada de disposição. Portanto, a reciclagem sistemática e/ou uso destes resíduos como material alternativo em substituição aos agregados convencionais na construção civil para produção do concreto seria uma solução para minimizar o impacto ambiental, bem como para agregar valor ao mesmo e reduzir o consumo de matérias-primas naturais.

1.2 Hipótese da pesquisa

Partiu-se da seguinte hipótese: *“Aparas de mármore e granito são produzidas durante o processo de beneficiamento, o que contribui para um volume de resíduo gerado, sem destinação apropriada, os quais podem ser utilizados como substituinte ao agregado graúdo convencional na produção de concreto”*. Como consequência da aceitação desta hipótese, tem-se uma alternativa para reduzir a disposição desse resíduo no meio ambiente e aumentar o seu aproveitamento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo principal avaliar as propriedades físicas e mecânicas do concreto em que se usa agregado graúdo britado resultante do processo de corte de mármore e granitos em substituição ao agregado graúdo convencional, brita 9,5 mm.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar as propriedades físicas do concreto produzido com agregados resultante do corte de mármore e granitos em substituição ao agregado convencional;
- Avaliar as propriedades mecânicas do concreto produzido com agregados resultante do corte de mármore e granitos em substituição ao agregado convencional;
- Contribuir para a redução do volume de rejeitos de mármore e granitos dispostos no meio ambiente.

1.4 Organização do Trabalho de Conclusão de Curso

O texto deste Trabalho de Conclusão de Curso encontra-se em um volume único distribuído da seguinte forma:

Introdução – Introdução, Justificativa, Hipótese da pesquisa, Objetivos e Organização do TCC.

Fundamentação Teórica – São abordados assuntos relacionados ao concreto, propriedades, usos, produção de granitos, beneficiamento e usos de resíduos de granito na construção civil.

Materiais e Métodos – São apresentados os materiais utilizados na pesquisa e relatados aspectos considerados importantes sobre os procedimentos da etapa experimental.

Resultados e discussões – São apresentados os resultados obtidos para os ensaios realizados neste estudo.

Considerações Finais e Sugestões para pesquisas futuras – São apresentadas as considerações acerca do estudo e apresentam-se sugestões para realização de outras pesquisas.

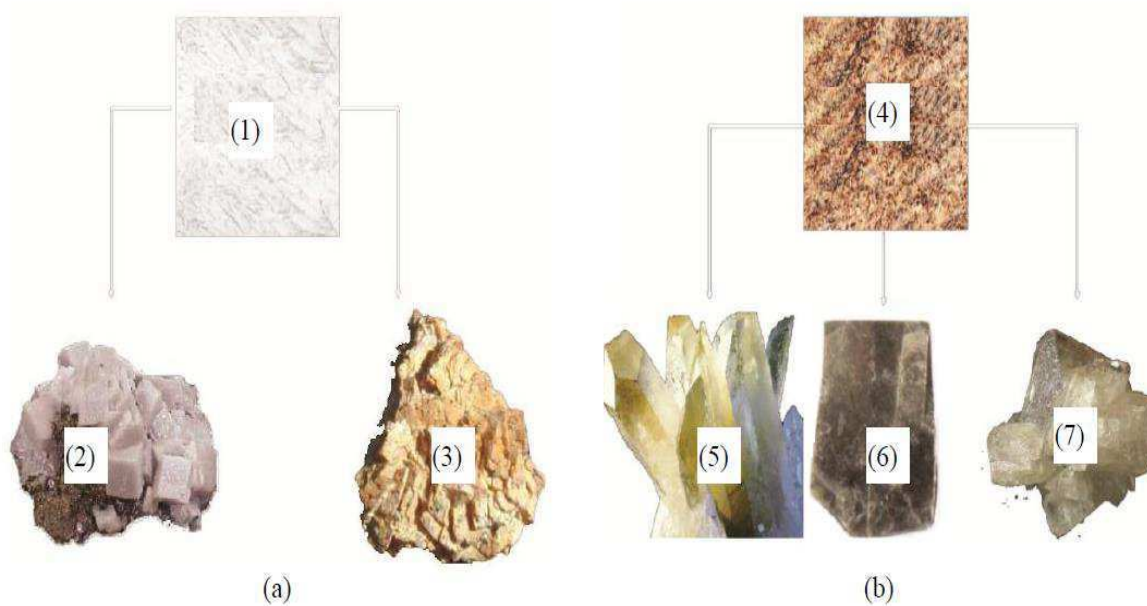
Por fim, estão as Referências, onde estão listadas as pesquisas citadas neste estudo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Rochas ornamentais

As rochas ornamentais são materiais que agregam valor devido, principalmente, suas características estéticas, destacando-se o padrão cromático, desenhos, texturas e a sua granulação. No tocante a classificação comercial, os tipos de rochas mais difundidas no mercado são os granitos e os mármore, que assumem de maneira generalizada estes nomes, independentemente de possuírem outra designação mais intrínseca do ponto de vista geológico, cuja composição mineralógica típica está representada na Figura 1 (SANTO et al.,2012).

Figura 1: Esquema da composição mineralógica típica: a) do mármore: calcita (2) e dolomita (3); b) do granito (4): quartzo (5), mica (6), e feldspato (7).



FONTE: Rodrigues (2015)

O uso e aplicação das rochas ornamentais, é baseado no conhecimento de suas propriedades físicas, propriedades mecânicas, composição mineralógica, textura, grau de microfissuramento e porosidade. Por isso, as

informações sobre o ambiente no qual a rocha será aplicada vai influenciar na escolha da mesma: ambientes quentes e úmidos são mais propícios para ocasionar alteração dos minerais constituintes das rochas; regiões de climas secos e quentes induzem ciclos de dilatação e contração, o que pode resultar na quebra da rocha; locais em que ocorre uma grande circulação de pessoas, tais como saguões de aeroportos, centro de compras e supermercados requerem tipos cujos constituintes mineralógicos apresentem dureza elevada (OLIVEIRA et al., 2013).

Segundo Alencar (2013), um outro aspecto determinante para a utilização das rochas, deriva do seu aspecto estético-decorativo, levando em consideração as características cromáticas, harmônicas do desenho e da sanidade da rocha, fazendo com que o campo de utilização seja bastante amplo e, historicamente, tendo sua aplicação distribuída da seguinte forma: 75% em obras civis, 15% em arte funerária e 10% em aplicações diversas.

A utilização desses materiais é praticamente ilimitada, devido à grande quantidade de usos que é possível obter mediante a exploração e combinação de suas características estruturais e estéticas. Esse grande campo de aplicação gera um conjunto de produtos extremamente amplo, tais como: blocos, chapas, peças sob medida para revestimento de paredes e/ou fachadas, revestimento de escadas e de pisos, dentre outros (ALENCAR, 2013).

Para o setor, o termo granito faz referência a um amplo conjunto de rochas silicáticas, compostas predominantemente por feldspatos, quartzo e mica. O mesmo é uma rocha plutônica ácida, com aproximadamente 75% de sílica, possui cristais que variam, em média, de 1 a 5 mm. Esta rocha geralmente fornece agregados de excelente qualidade, pois são resistentes, tem baixa porosidade e absorção de água e, além disso, não reagem com os álcalis do concreto de cimento Portland (SANTO et al., 2012). Além disso, a aplicação do granito na construção civil em substituição a outros produtos vem sendo crescente, pelo fato de suas características apresentarem vantagens de uso, como por exemplo: resistência, durabilidade, facilidade de limpeza e até mesmo estética. Seu dinamismo de mercado está fundamentado na sua

elevada capacidade de substituição em relação a outros materiais, além de ser resistente ao ataque químico e desgaste abrasivo (NETO; MELO, 2013).

Dentre as rochas ornamentais mais utilizadas, encontra-se também o mármore, cuja durabilidade e nobreza elevam o seu valor, mesmo sendo menos resistente a riscos. No setor de rochas ornamentais e de revestimento, o termo mármore é empregado comercialmente para designar qualquer rocha carbonática que seja capaz de receber o processo do polimento e lustro (FRASCÁ, 2014). Tal rocha resulta do metamorfismo de calcários e dolomitos, sendo o seu padrão cromático definido por minerais acessórios e impurezas (OLIVEIRA et al., 2013). No tocante às rochas carbonáticas, é importante fazer a distinção entre as de origem sedimentar e as de origem metamórficas. As primeiras são, muitas vezes, compostas por corpos rochosos tabulares, que não foram significativamente afetados por dobras e falhas. Sua disposição é sub-horizontal, são normalmente estratificadas e nessa compartimentação estão incluídos os limestones, travertinos, além dos tipos laminados. As metamórficas são os mármore propriamente ditos (ALENCAR, 2013).

Segundo Frascá (2014), com a evolução do uso e das variedades de materiais pétreos e tecnologias associadas, as designações de rochas ornamentais se ampliaram e agora também englobam: quartzitos, arenitos, calcários, travertinos, ardósias e etc.

2.1.1 Produção de rochas ornamentais no Brasil e a influência econômica

De acordo com o Banco do Nordeste (2017), na produção de rochas ornamentais, dez países são responsáveis por 81,0% do total, em dados referentes ao ano de 2015. A participação brasileira (5,9%) correspondente a 8,2 milhões de toneladas, representando a quarta maior do mundo. Para o processamento de tais rochas, dez países detêm 77,5% do beneficiamento, sendo o Brasil (5,2%), o terceiro maior beneficiador de rochas ornamentais do planeta, tendo processado 4,3 milhões de toneladas em 2015.

Em relação ao ano de 2016, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS), as exportações brasileiras de

produtos de rochas ornamentais e de revestimento fecharam o ano com US\$ 1.138,3 milhões e 2,46 milhões toneladas, tendo o Brasil exportado para 120 países, com maior destaque para EUA, CHINA e Itália. Somadas, as vendas para esses três países, compuseram 80,6% do total de exportações brasileiras de rochas. Tais exportações foram efetuadas por 18 estados brasileiros, sendo o estado do Espírito Santo o maior exportador nacional, respondendo por 75% do volume físico e 81% do total do faturamento. No quesito da importação, os materiais rochosos somaram US\$ 31,9 milhões e um volume de 58,9 mil toneladas, sendo Itália, Espanha, China, Grécia, Turquia, Indonésia e Portugal, os principais importadores, envolvendo, principalmente, rochas carbonáticas (mármore, travertinos e calcários), em produtos acabados e semiacabados.

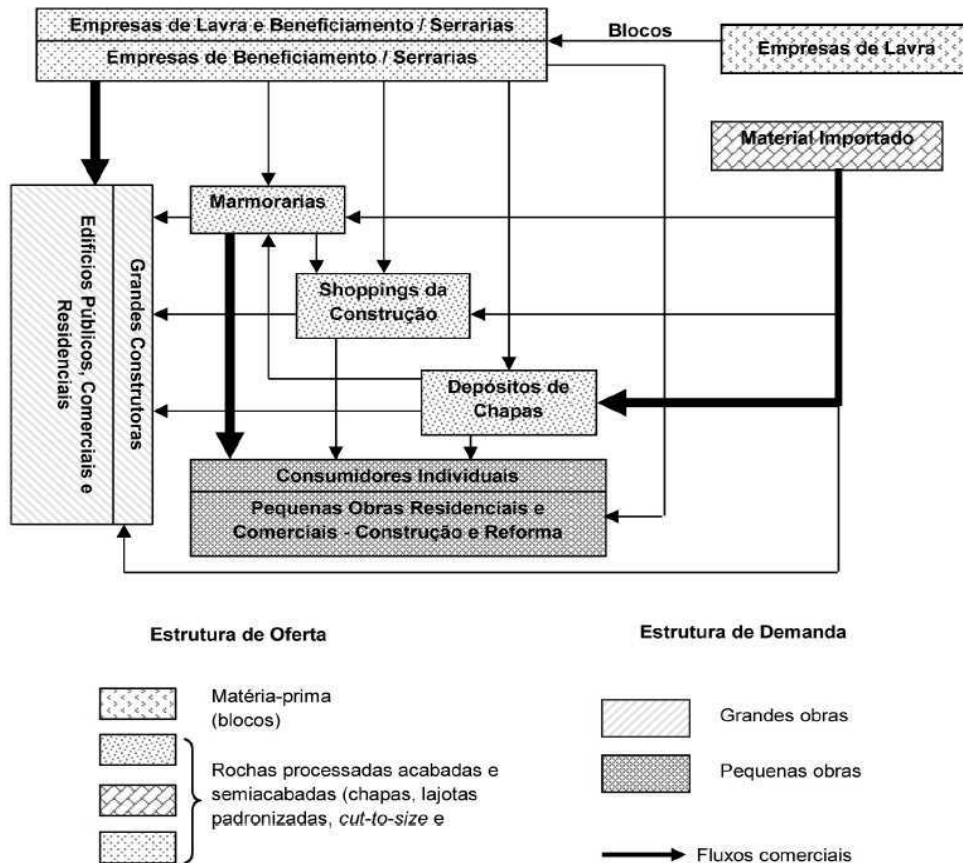
Segundo o Banco do Nordeste (2017), levando por base os dados de emprego em julho de 2017, o setor de rochas ornamentais, abrangendo a extração e o beneficiamento, ocupa (formalmente) 57.396 pessoas. O número de estabelecimentos do setor, analisado em dezembro de 2016, compreendia 7.515 unidades. Além disso, sabe-se da existência de empregos e de empresas informais, no entanto, não foram feitas estimativas sobre a informalidade no setor. Pode-se concluir, desse modo, que as atividades relacionadas aos mais variados segmentos do setor de rochas ornamentais servem como fonte de renda, propiciando um desenvolvimento econômico e social com significância em nível global.

De acordo com esses dados, o segmento de rochas ornamentais é bastante significativo na economia brasileira. Reúne todas as atividades da cadeia produtiva principal: jazidas para diferentes mármore e granitos, empresas para beneficiamento primário (serragem) e secundário (polimento e obtenção de produtos acabados), além de todas as atividades da cadeia de apoio, que incluem fabricantes de máquinas e equipamentos, fabricantes de insumos industriais, prestadores de serviços técnicos e administrativos, centro de tecnologia, sindicatos e associações (MOURA; LEITE, 2011).

Filho e Chiodi (2014) ressaltam que cabe ainda destacar o processo de comercialização de produtos acabados, que ocorre de diversas formas, envolvendo empresas para o beneficiamento (serrarias e marmorarias),

shoppings de construção, importadores de chapas, construtoras e consumidores individuais, dentre outros, como pode ser mostrado na Figura 2.

Figura 2: Estrutura de comercialização de rochas ornamentais no Brasil



FONTE: Filho e Chiodi (2014)

Por fim, no caso nordestino, o Banco do Nordeste (2017) estima que a mineração das rochas ornamentais tenha alcançado 1,48 milhão de toneladas em 2015, representando 18% da produção nacional. No caso da extração, o Nordeste representa 19,9% do total nacional, e 17% referente ao beneficiamento brasileiro. Para o ano de 2012, entre os estados nordestinos, a Paraíba se encontra como o terceiro maior produtor de rochas ornamentais da região (atrás da Bahia e do Ceará, respectivamente) com a produção de 450.000 toneladas, entre granitos e conglomerados (FILHO; CHIODI, 2014).

2.1.2 Ciclo produtivo das rochas ornamentais

Em quaisquer das principais aplicações das rochas ornamentais (arquitetura, construção, revestimento, decoração e etc.), seu ciclo produtivo pode ser dividido em três etapas bem definidas, desde a atividade mineral até a conformação do produto. São elas: extração, beneficiamento primário e beneficiamento secundário ou final (ALENCAR, 2013).

A extração consiste na remoção de material útil ou economicamente aproveitável dos maciços rochosos ou dos matacões. O produto oriundo dessa etapa resulta em blocos de arestas aproximadamente retangulares, de dimensões variadas, que procuram obedecer ou aproximar-se, o máximo possível, daqueles que proporcionem o melhor aproveitamento do material e a maior utilização da capacidade produtiva dos equipamentos nas etapas de beneficiamento (ALENCAR, 2013).

Segundo Vidal et al., (2014) a extração de rochas ornamentais obedece algumas fases para a sua execução, as principais delas são a prospecção – para localizar ou identificar a ocorrência mineral da rocha ornamental; a pesquisa mineral – que visa avaliar o potencial de aproveitamento da jazida e realizar o levantamento de dados e informações para o melhor planejamento da extração; a lavra – atividade produtiva de extração desenvolvida com a aplicação de metodologias apropriadas às características do material e da geologia presente na jazida; e, por fim, a atividade de recuperação da área degradada.

De acordo com Silveira et al., (2014) o beneficiamento de rochas ornamentais visa basicamente, transformar os blocos, extraídos na fase da lavra, em produtos finais ou semiacabados. Desta forma, pode-se separar as fases de beneficiamento em primário, ou desdobramento, e secundário.

O beneficiamento primário, também conhecido como serragem ou desdobramento, constitui-se do corte dos blocos para a obtenção de chapas, tiras ou espessores, com dimensões bastante próximas daquelas que terão os produtos finais. Essa é uma etapa essencialmente industrial, realizada em instalações específicas, com o uso de máquinas e equipamentos, tais como: os

teares convencionais ou multifios diamantados para granitos, teares com lâminas diamantadas para mármore, talha-blocos, monofios diamantados etc. A aplicação de um ou outro tipo de equipamento ou tecnologia para o beneficiamento primário é função, principalmente, do tipo de produto intermediário que se quer obter (ALENCAR, 2013).

O beneficiamento final, que pode ser chamado de acabamento, consiste na etapa do ciclo em que as peças tomam sua forma, dimensões e aparências definitivas. Pode ainda ser dividida em três processos pelos quais o produto ornamental passa: o polimento ou outro tipo de acabamento, o corte e o acabamento final. Nessa fase, a maior diversidade de produtos que se obtém exige maior variedade de máquinas, equipamentos, ferramentas e insumos para a execução da atividade. Os principais grupos produtos gerados neste último elo de cadeia de produção da indústria para mármore e granitos são: ladrilhos e painéis para revestir pisos, paredes internas e externas, soleiras, rodapés, bancadas de pias e móveis, objetos de adorno e decoração, degraus e parapeitos, etc (ALENCAR, 2013).

Silveira, et al., (2014) relata que especificamente no setor de rochas ornamentais, o Brasil, apesar de ter apresentado uma significativa melhora na qualidade operacional de seus parques industriais, principalmente, levando em conta às técnicas de beneficiamento primário (desdobramento) e secundário (polimento), ainda não tem atentado para a importância de desenvolver, de uma forma mais intensa, pesquisas nesse importante setor produtivo para aumentar ainda mais a competitividade brasileira no mercado internacional, diminuindo as perdas nas etapas produtivas.

2.1.3 Rochas ornamentais e geração de resíduos

Minimizar os impactos ambientais, como a minimização da produção de resíduos, e, conseqüentemente, acabar por maximizar os recursos naturais não renováveis são diretrizes das sociedades modernas, já engajadas na busca do desenvolvimento sustentável. Com base nisso, em todos os países e, particularmente, no Brasil, tanto a legislação ambiental, quanto a Política

Nacional de Resíduos sólidos, requerem que sejam buscadas soluções técnicas para o aproveitamento desses resíduos e a inserção em novos ciclos produtivos (CAMPOS et al., 2014).

A mineração consiste em uma atividade potencialmente poluidora, e as etapas produtivas de rochas ornamentais, embora operem em escalas menores em relação a outros tipos de mineração, produzem tanto impactos ambientais quanto uma mudança na dinâmica social e econômica do seu entorno, estando, desse modo, sujeita a um arcabouço legal mais rigoroso, aumentando despesas de instalação e operação de minas, pedreiras e unidades para o beneficiamento, especialmente para micro e pequenas empresas por, em muitos casos, não estabelecerem critérios e exigências diferenciadas mediante às diferentes escalas produtivas (PEITER et al., 2014).

Em todas essas etapas da cadeia produtiva das rochas ornamentais, principalmente a extração e o beneficiamento, tanto primário quanto secundário, ocorre uma grande geração de resíduos que podem apresentar-se sob a forma de matacões, casqueiros, lamas, materiais particulados, sobras de chapas recortadas e danificada, entre outros. Todo esse processo tem gerado uma grande quantidade de resíduos sólidos, que, na sua grande maioria, ficam depositados nos pátios das empresas à espera de uma destinação final, que, em sua maioria, não é adequada (NETO; MELO, 2013).

No Brasil, para rochas de processamento especial (granitos e mármore), que são aquelas extraídas em blocos e serradas em teares ou talha-blocos, para posterior calibragem e acabamento de face, a perda no beneficiamento é de no mínimo 35-40%. Para as rochas de processamento simples (ardósias, quartzitos e gnaiesses foliados, etc.), essa perda no beneficiamento pode atingir até 70% da matéria-prima, o que também destaca a necessidade de aproveitamento dos rejeitos do setor de rochas (BRASIL, 2009).

Segundo Moura e Leite (2011), o resíduo gerado na cadeia produtiva das rochas ornamentais ocorre em grande quantidade, podendo ser oriundo da extração do bloco, da serragem para enquadrar o mesmo nas dimensões padronizadas, do processo de corte e polimento, além dos finos das lavras. No tocante a serragem, cerca de 20% a 30% do bloco é transformado em pó, que

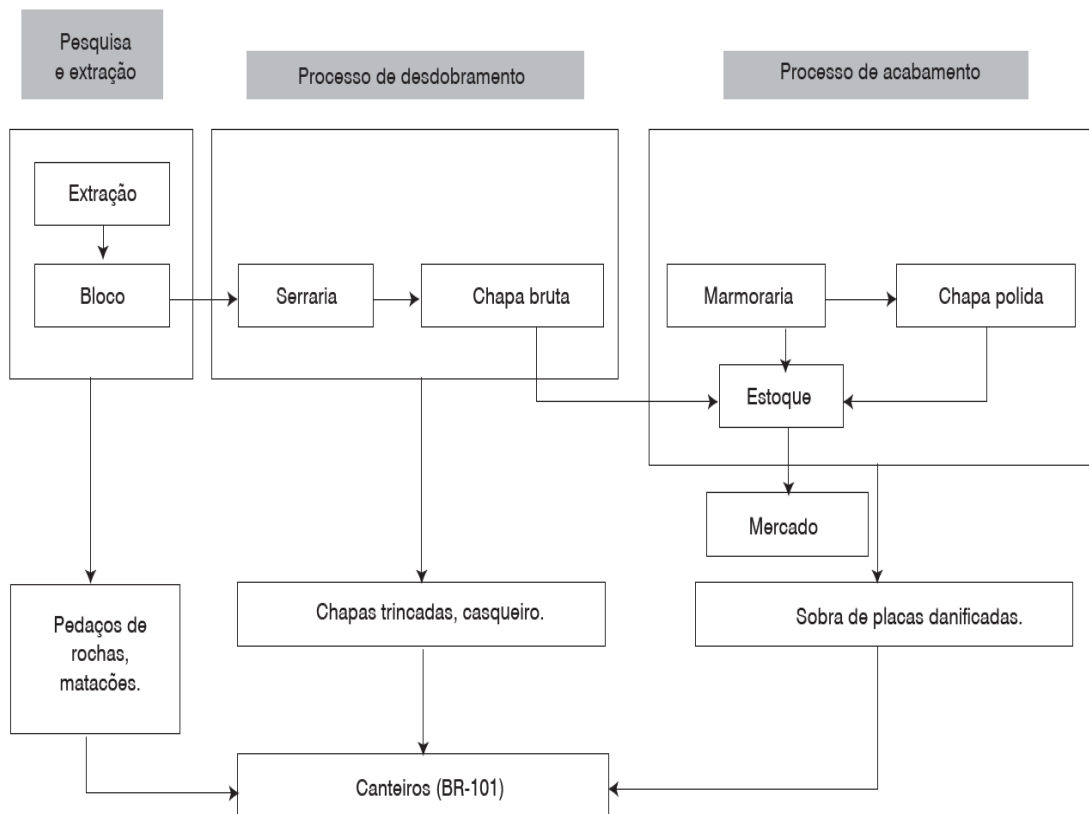
fica depositado em pátios. Uma grande quantidade de serrarias utiliza a polpa abrasiva no corte, que consiste em uma mistura de água, gralha, cal e rocha moída, cujo objetivo é lubrificar e resfriar as lâminas, evitar a oxidação das chapas, servir de veículo abrasivo e efetuar a limpeza entre as chapas.

A lama abrasiva após passar pelos teares é drenada por um sistema de esgotamento, seguindo, posteriormente, para tanques de decantação, onde a água presente na mistura é reaproveitada e o material sólido é separado e depositado, incorretamente, no pátio das empresas. O desgaste das lâminas produz pequenos fragmentos metálicos que são incorporados aos resíduos, sendo a quantidade do mesmo dependente da serrabilidade de cada material (LIMA, 2010). A lama abrasiva, mesmo não possuindo um constituinte perigoso em sua composição, precisa ter um tratamento adequado. Isso porque, com a má destinação da mesma, pode ocorrer assoreamento e turbidez dos recursos hídricos gerando impactos, como o comprometimento da biota local (BARBOSA et al., 2013).

Neto e Melo (2013) realizaram um estudo mostrando a situação dos resíduos gerados durante a cadeia produtiva das rochas ornamentais no estado do Espírito Santo, por figurar entre os estados de maior produtividade no setor, e por apresentar problemas mediante a grande quantidade de resíduos gerados nessa atividade produtiva, principalmente com os de maior dimensão, sendo, em muitos casos, vendidos e/ou doados aos canteiros localizados pela margem da BR – 101 Norte, como mostrado na Figura 3.

Os resíduos sólidos com dimensões maiores são constituídos, em grande parte, de casqueiros (sobras da serragem nos teares), chapas com defeito, matacões, blocos trincados e blocos que não apresentam valor comercial. Tais materiais podem ser utilizado para outras finalidades mediante transformações em suas formas e tamanhos, reduzindo, assim, a quantidade de material descartado. A transformação desses resíduos em outros produtos de interesse para o comércio, contribuirá para a geração de novos empreendimentos na cadeia produtiva, novos postos de trabalhos e a consequente diminuição dos resíduos no meio ambiente (NETO; MELO, 2013)

Figura 3: Fluxograma de geração e destinação de resíduos de rochas ornamentais



FONTE: Neto e Melo (2013) adaptado de Gonçalves (2000)

Na transformação de um bloco de rocha (volume médio de 10 m³) em chapas, na serraria, perdem – se cerca de 1,5 m³ nos casqueiros e aparas e 2,6 m³ em finos do corte. Tais resíduos gerados variam muito em termos de granulometria: grossos (>2 mm) dos casqueiros e aparas, finos (2 – 0,075 mm) e ultrafinos (<0,075 mm) do corte e polimento das chapas (CAMPOS et al., 2014).

A Figura 4 ilustra a disposição das placas de mármore e granito com acabamento no pátio das empresas. Entretanto, as bordas das placas por possuírem formatos irregulares, serão cortadas para o seu uso definitivo, podendo ser: ladrilhos, revestimentos de paredes e pisos, arte funerária, etc. Ao final desse processo de corte, serão obtidos os produtos conformados e os resíduos de dimensões variadas.

Figura 4: Placas no pátio da marmoraria



FONTE: Rodrigues (2015)

Oliveira (2015) afirma que esse tipo de resíduo, originado de sobras e quebras de peças, pode chegar a alcançar uma perda de 10% a 20%. Estes fragmentos muitas vezes são depositados de maneira irregular no pátio da própria empresa (Figura 5), podendo ocorrer também, em alguns casos, de ocorrer a doação destes fragmentos ou inserção do resíduo na confecção de produtos alternativos como, por exemplo, enfeites, puxadores de gavetas e armários, etc.

Figura 5: Aparas de mármores e granitos provenientes do corte de placas



(a)



(b)

FONTE: Melquizedec (2015)

Segundo Campos et al., (2014) apesar da variabilidade existente na composição, muitas pesquisas, ao redor do mundo, demonstraram a viabilidade técnica de sua utilização industrial, podendo, os resíduos grossos serem utilizados na construção civil, em obras de entroncamentos, pavimentação, meio fio, mosaico e muitos outros elementos ou peças estruturais e decorativas. Caso sejam cominuídos, os resíduos podem ser utilizados na produção de brita, argamassa, areia artificial, pavimentos e outros. Os finos podem ser beneficiados e utilizados, por exemplo, em cerâmicas, borrachas, plásticos, na indústria do cimento, dentre outros, além das utilizações mencionadas anteriormente para os grossos. Estas aplicações, em sua totalidade, dependerão, principalmente, dos diferentes tipos de rochas que deram origem a esses resíduos, conferindo aos mesmos suas composições mineralógicas e suas características físicas e químicas.

Ainda de acordo com os autores supracitados, apesar das várias possibilidades de aplicar o resíduo de rochas ornamentais, a utilização dos mesmos ainda é incipiente, se levado em consideração com o passivo ambiental existente e com a quantidade que é produzida, no dia a dia das empresas.

2.2 Concreto e sua produção no brasil

O concreto é um material construtivo amplamente disseminado, podendo ser encontrado nos mais variados tipos de construções, dentre eles, casas de alvenaria, rodovias, pontes, edifícios dos mais variados portes, usinas hidrelétricas, etc. Devido a essa grande versatilidade de aplicações, estima-se que anualmente são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, que segundo a Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP), existe, aproximadamente, um consumo médio de 1,9 tonelada de concreto por habitante a cada ano, valor inferior apenas ao consumo de água, tornando, desse modo, o concreto o segundo material mais consumido do mundo. No brasil, o concreto que sai de centrais dosadoras gira em torno de 30 milhões de metros cúbicos (PEDROSO, 2009).

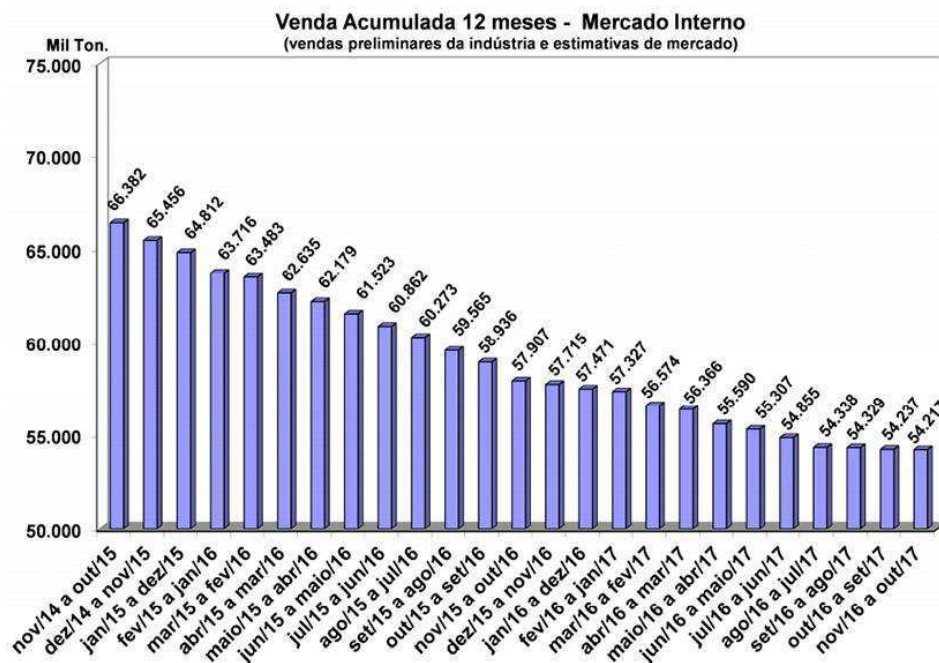
A grande difusão do concreto está relacionada com suas características e propriedades que o torna vantajoso. Consta-se que o concreto é uma pedra artificial que se molda nas mais diversas formas possíveis, formando um material que, depois de endurecido, apresenta resistência similar às rochas naturais e, quando no estado fresco, é composto plástico, possibilitando sua modelagem em formas e tamanhos variados. Além disso, pode-se justificar a importância do material através de alguns benefícios que o mesmo oferece. A primeira explicação baseia-se na sua resistência à água, razão de poder ser utilizado em estruturas de controle, armazenamento e transporte de água. A segunda seria a plasticidade, possibilitando formas construtivas inusitadas. Por fim, a terceira razão, que está relacionada com a disponibilidade abundante de seus elementos (água, cimento, agregado miúdo e graúdo) e seus baixos custos (PEDROSO, 2009).

De acordo com a ASTM (American Society for Testing and Materials), o concreto é um material compósito, constituído de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas de diferentes naturezas. O material aglomerante consiste no cimento em presença da água. O agregado, por outro lado, é qualquer material granular, como areia, pedregulho, seixos, rochas britadas, escória de alto-forno e resíduos de construção e demolição; a distinção entre os tipos de agregados, é relativo ao tamanho dos seus grãos, se as partículas são maiores do que 4,75mm, o agregado é graúdo; caso contrário, o agregado é miúdo. Por fim, também é adicionado ao concreto os aditivos e adições que são substâncias químicas que alteram alguma propriedade do mesmo, adequando-as às necessidades construtivas (PEDROSO, 2009).

O concreto, por ser a mistura de diferentes materiais, deve ter seu consumo mensurado pela produção dos seus principais constituintes: cimento e agregados. Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), no período de janeiro a outubro de 2017, as vendas de cimento no mercado interno totalizaram 45,2 milhões de toneladas, de acordo com dados preliminares da indústria. Esse montante, entretanto, representa uma queda de 6,7% frente ao mesmo período do ano passado. Com base na Figura 6, em 12 meses, as vendas acumuladas totalizaram 54,2 milhões de toneladas, quantidade que é 6,4% menor do que nos 12 meses anteriores (novembro/15 a

outubro/16). No mês de outubro de 2017, foram vendidas 4,6 milhões de toneladas, o que representa uma queda de 0,5% em relação a outubro de 2016.

Figura 6: Venda acumulada de cimento em 12 meses.



FONTE: SNIC (2017)

De acordo com a Associação Nacional das Entidades de Produtos de Agregados para Construção (ANEPAC), o setor de agregados para construção apresentou em 2014 uma demanda da ordem de 740 milhões de toneladas de brita e areia, mantendo-se praticamente estável em comparação com o ano de 2013. A oferta do produto foi gerada por 3100 empresas produtoras, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1: Dimensão da Indústria dos Agregados (2014)

	Areia	Brita	Total
Produção (milhões de toneladas)	439	302	741
Per capita	2,2	1,5	3,7
Número de empresas	2.500	600	3.100
Investimento (R\$ milhões)	-	-	700
Empregos diretos	49.000	26.000	75.000
Capacidade instalada (toneladas/ano)	-	-	850
Valor da produção (R\$ bilhão)	-	-	19

FONTE: ANEPAC (2015)

A Figura 7 ilustra que após experimentar um crescimento médio de 6,2% ao ano no período de 2000 a 2014, o setor de agregados sofreu uma queda de cerca de 30% em 2015, com volume estimado de 519 milhões de toneladas, base no período compreendido entre janeiro e outubro e projetado para o ano. Para o período de 2016 a 2019 é estimada uma projeção na qual haverá um recuo da ordem de 5% em 2016 em relação a 2015, decrescendo para 493 milhões de toneladas, mantendo-se a mesma quantidade em 2017 e um aumento de 3% para 2018 e 7% para 2019, respectivamente, atingindo 543 milhões de toneladas em 2019.

Figura 7: Perspectiva do setor de agregados (2015 - 2019)



FONTE: ANEPAC (2015)

2.3 Propriedades do concreto fresco

É importante ressaltar que as propriedades de resistência do concreto endurecido são bastante influenciadas por seu grau de adensamento. Assim, é fundamental que a consistência da mistura seja tal que o concreto possa ser transportado, lançado, adensado e acabado facilmente, sem ocorrer a separação dos seus constituintes, sendo, desse modo, as propriedades do concreto no estado plástico fatores para atingir esses objetivos (NEVILLE, 2016).

No intervalo de tempo na qual o concreto permanece em estado plástico, as principais propriedades a serem estudadas são: trabalhabilidade, consistência e a exsudação (CHUST, 2016).

2.3.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é uma propriedade inerente do concreto em seu estado fresco, que pode ser entendida através da junção de outras duas características: consistência e coesão. Consistência é definida pelo grau de umidade que está presente na mistura (NEVILLE, 2016), correspondendo também à maior ou menor capacidade que o concreto tem de se deformar (CARVALHO & FILHO, 2016). A coesão, por outro lado, é caracterizada pela facilidade de adensamento e acabamento, sendo caracterizada pela resistência à exsudação e segregação (METHA; MONTEIRO, 2014).

Na maioria dos casos, os concretos que apresentam maiores adições de água acabam por obter uma trabalhabilidade melhor, porém, a quantidade de água é um fator que deve ser dosado de acordo com cada traço, pois a sua utilização em excesso pode interferir, de maneira negativa, na resistência do concreto e causar um aumento na porosidade do mesmo. Além disso, outros fatores podem afetar a consistência e a coesão e, por isso, esses dois componentes da trabalhabilidade podem trabalhar de forma diferente. De maneira geral, a consistência e a coesão são controladas pelo fator

água/cimento, pela granulometria dos agregados, devido aos aditivos utilizados, e dentre outras características físicas que afetam a perda de abatimento (METHA; MONTEIRO, 2014).

A trabalhabilidade de um concreto está, desse modo, ligada basicamente à maneira de efetuar seu adensamento, existindo atualmente os concretos autoadensáveis, que são quase fluidos e não necessitam, teoricamente, de nenhuma energia de adensamento para formar um conjunto que seja homogêneo e que possua as características de resistência requeridas (CARVALHO; FILHO, 2016)

Existem outros dois fatores que afetam a trabalhabilidade: tempo e temperatura. O concreto fresco enrijece com o tempo, mas isso não deve ser confundido com a pega do cimento. Trata-se da absorção de parte da água pelos agregados, perdas por evaporação e remoção de parte da água pelas reações químicas iniciais. O enrijecimento do mesmo é medido de maneira eficiente pela perda da trabalhabilidade com o tempo, através da perda de abatimento da mistura. No tocante a temperatura, valores mais elevados reduzem a trabalhabilidade e aumentam a perda de abatimento (NEVILLE, 2016).

A medida da trabalhabilidade pode ser obtida através da consistência do concreto através do abaixamento que uma determinada quantidade de massa, colocada em um molde metálico normalizado com uma forma tronco-cônica, terá quando o molde for retirado; a medida da deformação vertical obtida é chamada de abatimento ou slump, sendo esse procedimento regulamentado pela ABNT NBR NM 67:1998. Um concreto com slump alto é, em geral, fácil de ser lançado e adensado, podendo ser considerado como possuindo uma boa trabalhabilidade (CARVALHO; FILHO, 2016).

2.3.2 Segregação

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2000), a segregação é entendida como a separação dos constituintes da mistura,

impedindo a obtenção de um concreto com característica de razoável uniformidade. A diferença de tamanho dos grãos do agregado e na massa específica dos constituintes são as causas primárias da segregação, mas seu aparecimento pode ser controlado pela escolha conveniente da granulometria dos agregados e pelo cuidado nas operações de produção que culminam com o adensamento.

Existem duas formas de segregação: na primeira, os grãos maiores do agregado tendem a separar-se dos demais, seja quando se depositam no fundo das formas, ou quando se deslocam mais rapidamente, como para o caso de concretos transportados em calhas; na segunda forma, comum em misturas muito plásticas, observa-se a nítida separação da pasta (cimento e água) da mistura. Quando são utilizados alguns tipos de granulometrias em concretos pobres e secos, poderá ocorrer a primeira forma de segregação. A adição de água poderá melhorar a coesão, mas quando a mistura se torna muito úmida, criam-se condições para o aparecimento da segunda forma (NEVILLE, 2016). A segregação também por ocorrer como resultado de vibração intensa. Um concreto em que isso venha a ocorrer será, obviamente, um concreto mais fraco e sem uniformidade.

2.3.3 Exsudação

Consiste em uma forma particular de segregação dos materiais, na qual parte da água da mistura tende a migrar para a superfície do concreto recém-lançado. Isso é causado pela incapacidade dos constituintes sólidos da mistura em reter toda a água de amassamento quando eles se assentam em direção ao fundo. Como resultado da exsudação, o topo da camada do concreto lançado poderá ter excesso de água e, caso a água seja aprisionada devido ao concreto sobreposto, o resultado será uma camada porosa, fraca e sem durabilidade (NEVILLE, 2016).

2.3.4 Homogeneidade

Está relacionada com a distribuição dos agregados graúdos dentro da massa de concreto, sendo um fator importante de interferência na qualidade do mesmo. Quanto mais uniformes, ou regulares, os agregados graúdos se apresentarem dispersos na massa, estando completamente envolvidos pela pasta, melhor será a qualidade do concreto, principalmente quanto à permeabilidade. Essa distribuição dos agregados é a homogeneidade; ou seja, quanto mais homogêneo o concreto, melhor a qualidade da estrutura final (CARVALHO; FILHO, 2016).

2.4 Propriedades do concreto endurecido

Para o concreto no seu estado endurecido, as principais características de interesse são as mecânicas, destacando-se as resistências à compressão e à tração (CARVALHO; FILHO, 2016), que serão avaliadas no decorrer do trabalho com o incremento de resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais em corpos de prova de concreto.

A resistência do concreto é mensurada em função do processo de hidratação do cimento, que consiste em uma reação química relativamente lenta. Geralmente, os ensaios de resistência são realizados por meio da ruptura de corpos de prova, curados em ambientes com controle de umidade e temperatura no período de 28 dias (METHA; MONTEIRO, 2014).

A principal característica do concreto que o faz ser tão utilizado em construções, é sua resistência a compressão, a qual é determinada pelo ensaio de corpos de prova submetidos à compressão centrada, sendo um ensaio de fácil execução, que ainda permite obter outras características, como o módulo de deformação longitudinal (módulo de elasticidade) (CARVALHO; FILHO, 2016).

Segundo (NEVILLE, 2016), os resultados obtidos com o ensaio de resistência à compressão axial nem sempre serão os mesmos resultados

encontrados nas estruturas, pois pode haver interferência de alguns fatores humanos, como o adensamento inadequado, segregação ou cura mal realizada, fortalecendo a necessidade de conhecer as propriedades do concreto no estado fresco para poder obter resultados com maior precisão.

No tocante ao ensaio de resistência à tração, sabe – se que o concreto resiste mal à tal esforço, entretanto, é importante a realização do ensaio, pois é necessário para determinar a carga na qual a fissuração inicia, além da capacidade resistente da peça. Existem três tipos de ensaio para se obter a resistência à tração: tração direta, tração na flexão e tração por compressão diametral (CARVALHO; FILHO, 2016).

2.5 Uso de resíduos de rochas ornamentais na construção civil

Mediante os diversos fatores apontados, muitas pesquisas têm abordado temas referentes a utilização de resíduos em materiais da construção civil como uma tentativa de melhorar o panorama ambiental. Dentre as pesquisas, pode-se citar as que utilizaram resíduos de rochas ornamentais para esse propósito, conforme apresentado por Gonçalves (2000); Silva (2009); Oliveira et al., (2011); Santo et al., (2012); Rodrigues (2015); Lima (2010); dentre outros pesquisadores.

No caso da pesquisa realizada por Gonçalves (2000), foi efetivado a caracterização física e química do resíduo de corte de granito (RCG), tendo sido estudado a viabilidade técnica da utilização do mesmo em concretos. Tal adição de granito foi realizada em teores de 10% a 20% em relação à massa de cimento, para o concreto resultante, foram observadas propriedades do concreto endurecido e parâmetros de durabilidade. De maneira resumida, foi constatado que o resíduo de corte de granito não apresenta riscos ambientais e que sua utilização como adição em concretos é viável tecnicamente, sendo o teor de 10% de adição, o que proporcionou melhor desempenho.

Oliveira et al., (2011) estudou a utilização de resíduo de granito como substituição parcial ao cimento Portland em matrizes cimentícias, objetivando analisar as propriedades físicas do resíduo ativado in-natura, bem como avaliar

as propriedades mecânicas da matriz com a inserção da lama de granito. As matrizes produzidas com estas adições em substituição ao cimento Portland foram submetidas a programas de ensaios destrutivos para a determinação do índice de atividade pozolânica e resistência à compressão uniaxial para matrizes nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias. Como síntese dos resultados, foi constatado que o resíduo não possui atividade pozolânica e que as resistências mecânicas foram influenciadas negativamente com a substituição do cimento Portland pelo resíduo in-natura ou ativado.

Para a pesquisa efetivada por Santo et al., (2012) foi realizado o reaproveitamento dos resíduos da britagem de granito como agregado em argamassas. Foram determinados dois traços com a substituição total da areia natural pelo resíduo e realizado os ensaios de resistência, além disso, também foi estudada a influência do resíduo na aparência e no consumo de água. Como resultado geral, constatou-se que a substituição refletiu positivamente na resistência à compressão e flexão da argamassa.

No tocante a pesquisa realizada por Rodrigues (2015), o escopo consistia em determinar o percentual da substituição possível de cimento por resíduos de mármore e granitos (RMG) para a produção de concreto autoadensável (CAA), além disso, foram aplicados dois superplastificantes, um à base de sais sulfonados e outro à base de polímeros, cujo teor ótimo será determinado. Os resultados obtidos mostraram-se eficazes para a maioria dos traços do CAA, com até uma substituição de 30% do cimento por RMG quando o aditivo a base de polímeros foi utilizado e de até 20% de substituição com a utilização do superplastificante sulfonado. Nos ensaios de reação álcali-agregado (RAA) as expansões alcançadas foram menores que 0,10%, podendo classificar os resíduos utilizados como inócuos pela NBR 15577-4. Por fim, concluiu-se que os resíduos de marmorarias podem ter uma destinação alternativa na construção civil.

Lima (2010) estudou a durabilidade de paredes monolíticas e tijolos ecológicos de solo-cimento incorporados com resíduos de granito (lama abrasiva), através do processo de envelhecimento acelerado. Os resultados evidenciaram que o aumento do teor de resíduo incorporado ao solo-cimento esteve associado a uma diminuição da resistência à compressão simples e ao

aumento da perda de massa e a variação de volume. Também foi evidenciado que ao aumentar a quantidade de resíduo nos tijolos, houve uma interferência em uma durabilidade

Diante desses dados, pode-se concluir que diversas pesquisas têm utilizado resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais como possível incorporação para diversos materiais da construção civil, entretanto, a utilização de aparas do beneficiamento de granito e mármore para a confecção do concreto simples ainda não foi explorado, mostrando, portanto, o ineditismo da presente pesquisa.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para realização desta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais:

- Cimento Portland - Cimento Portland CP II Z 32, composto com adição de pozolana;
- Agregado miúdo - Areia quartzosa extraída do leito do Rio Paraíba;
- Agregados graúdos - Brita de origem granítica:
 - Brita granítica de 9,5 mm
 - Brita granítica de 25 mm
- Resíduos do corte de mármore e granito - Os resíduos utilizados foram provenientes da empresa GRANFUJI, localizada no distrito industrial do município de Campina Grande – PB. A Figura 8 ilustra os resíduos utilizados na pesquisa.

Figura 8: Resíduo utilizado: (a) granito; (b) mármore

(a)



(b)



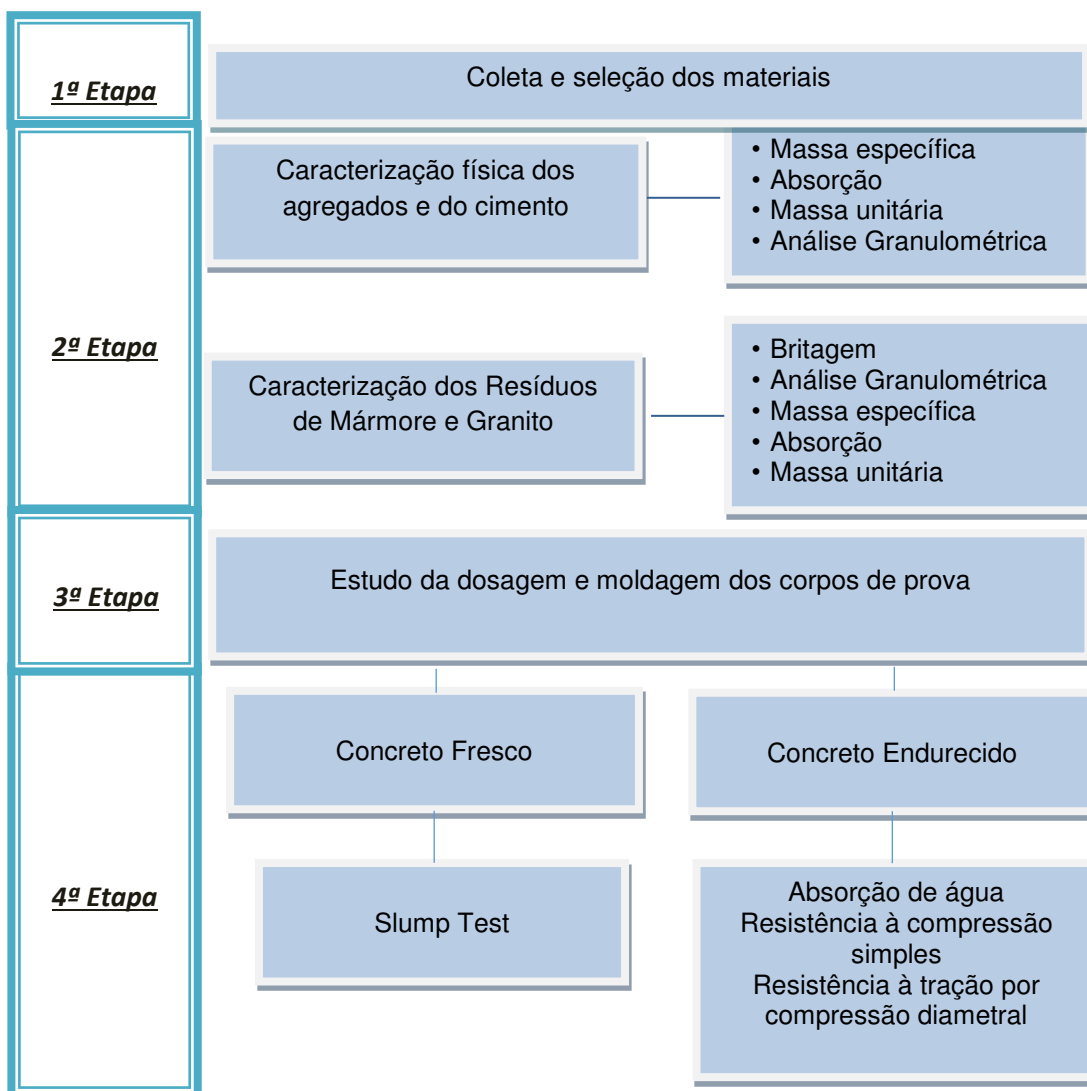
FONTE: Dados da pesquisa (2018)

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

3.2 Metodologia

A Figura 9 ilustra o Fluxograma das etapas da pesquisa.

Figura 9: Fluxograma das etapas da pesquisa



3.2.1 Caracterização física dos agregados e dos resíduos

Análise granulométrica

O ensaio de granulometria determina a distribuição percentual dos diferentes tamanhos dos grãos do agregado. É representada pela curva de

distribuição granulométrica que mostra o percentual de material passando na peneira em questão versus logaritmo do diâmetro da abertura da peneira.

O ensaio de composição granulométrica para agregado, gráudo e miúdo, e para os resíduos, mármore e granito, foi realizado segundo o método de ensaios da ABNT NBR NM 248: 2003.

Determinação da massa específica real

A massa específica real do agregado consiste na relação entre massa e volume do mesmo, não considerando os vazios permeáveis. Este ensaio tem importância no cálculo do consumo dos materiais a serem determinados no traço do concreto.

A determinação da massa específica da areia é realizada por meio do frasco de Chapman, segundo a norma ABNT NBR NM 52:2009. Para o agregado gráudo convencional e os resíduos, foi utilizado a NBR NM 53:2009.

Determinação da massa unitária

A massa unitária de um agregado no estado solto é obtida pelo quociente da massa deste agregado em um recipiente de volume conhecido, considerando-se também os vazios entre os grãos. A massa unitária compactada, por outro lado, é relação entre a massa dos agregados e o volume que os mesmos ocupam, quando compactados. O ensaio foi realizado seguindo as Normas da ABNT NBR NM 45:2006.

Absorção

Consiste no incremento na massa de um corpo sólido devido à penetração de água em seus poros permeáveis, levando em consideração a sua massa no estado seco. A determinação da absorção dos agregados gráudos e dos resíduos foi realizada segundo a ABNT NBR NM 53:2009. Com base no valor obtido para a absorção, pode ser realizado o ajuste nos cálculos da relação água/aglomerante no traço do concreto

3.2.2 Caracterização e beneficiamento do resíduo de mármore e granito

Britagem

A britagem é definida como a operação que tem como objetivo a fragmentação de materiais, levando-os a granulometrias compatíveis para a utilização direta ou para um posterior processamento (FIGUEIRA et al., 2010). Esta etapa foi realizada com os resíduos com o objetivo de permitir a compatibilização dos mesmos com a brita 9,5 mm, já que possuem tamanhos variados.

Utilizou-se um britador de mandíbula como ilustrado na Figura 10, para realização desta etapa da pesquisa.

Figura 10: Equipamento utilizado para a britagem



FONTE: Dados da pesquisa (2018)

Sequencialmente, os resíduos de mármore e granito passaram por um peneiramento para retirar as partículas de pó que foram obtidas, restando apenas resíduos que passaram por uma análise granulométrica para posterior inserção no concreto (Figura 11).

Figura 11: Resultado da britagem: (a) mármore; (b) granito



FONTE: Dados da pesquisa (2018)

3.2.3 Estudo da dosagem e análise da consistência do concreto

3.2.3.1 Estudo da dosagem

Para dosagem do concreto, o método utilizado foi o da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), e, após a caracterização dos materiais, foi obtido o traço 1:2:3,14, com fator água/ cimento (fa/c) de 0,53.

O traço adotado como referência possui como resistência característica (f_{ck}) de 20 MPa, e um consumo de cimento de 4,5 kg/m³. O valor do abatimento do tronco de cone (slump test) foi fixado entre (40 – 60 mm), entretanto, após a realização do ensaio, conforme preconizado na ABNT NBR NM 67:1998, notou-se que para obter o valor de abatimento desejado, seria necessário um incremento na quantidade de água, obtendo assim, o traço corrigido de 1:2:3,14:0,58. Devido a quantidade de perdas durante o processo de confecção dos corpos de prova, fixou-se uma margem de 20% para o valor do consumo do cimento, encontrando o consumo majorado do mesmo como 10,8kg/m³ para preencher o volume de 16 corpos de prova.

3.2.3.2 Avaliação da consistência do concreto – Slump Test

O ensaio para determinação da consistência do concreto - Slump Test foi realizado de acordo com a norma técnica ABNT NBR 7223:1992. Desta forma, o concreto foi dividido em três camadas individuais compactadas com 25 golpes de haste cada, em um tronco de cone com altura de 30cm. Após compactar as três camadas, removeu-se o excesso de concreto e fez-se a retirada do tronco de cone lentamente. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para o Slump Test do concreto em estudo.

Tabela 2: Slump Test do concreto em estudo

Concreto	Abatimento (mm)
CREF – Concreto de referência	4,4
C40%RMG – Concreto com 40% (20% RM e 20% RG)	5,1
C60%RMG – Concreto com 30% RM e 30% RG	4,3

FONTE: Dados da pesquisa (2018)

A Figura 12 ilustra o ensaio de Slump Test realizado para o concreto em estudo.

Figura 12: Ensaio de Slump Test realizado para o concreto em estudo



FONTE: Dados da pesquisa (2018)

3.2.4 Moldagem dos corpos de prova

Sequencialmente foram moldados corpos de prova cilíndricos de referência (CREF) com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, e corpos de prova com substituição da brita 9,5 mm por resíduos de mármore e granito, na proporção de 40% (20% de mármore e 20% de granito) e 60% (30% de mármore e 30% de granito) sendo nomeados de C40%RMG e C60%RMG, respectivamente e, estabeleceu-se as idades de cura para rompimento dos corpos de prova de 7, 14, 21 e 28 dias.

Para realização dos ensaios estabelecidos na pesquisa, foram moldados um total de 48 corpos de prova. A Tabela 3 representa o consumo de materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova da pesquisa.

Tabela 3: Consumo de materiais para a confecção de 16 corpos de prova

Material	CREF	C40%RMG	C60%RMG
Cimento	10,8 kg	10,8 kg	10,8 kg
Agregado Miúdo	21,6 kg	21,6 kg	21,6 kg
Agregado Graúdo (Brita 9,5)	13,56 kg	8,14 kg	5,36 kg
Agregado Graúdo (Brita 25)	20,35 kg	20,35 kg	20,35 kg
Água	6,26 L	6,26 L	6,26 L
Resíduo de Mármore	0 kg	2,71 kg	4,10 kg
Resíduo de Granito	0 kg	2,71 kg	4,10 kg

FONTE: Dados da pesquisa (2018)

A proporção entre os agregados graúdos foi estabelecida de acordo com a norma ABNT NBR 7810:1983, conforme as proporções 70/30, 60/40 e 50/50, respectivamente, a proporção de 60% para brita 25 e 40% para brita 9,5, foi à escolhida por apresentar a maior massa unitária compactada.

A moldagem dos corpos de prova foi realizada de acordo com a ABNT NBR 5738:2015 (Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova). Após a moldagem, os corpos de prova foram colocados em local protegido, em uma superfície horizontal e livre de vibrações, por um período inicial de 24 horas, conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13: Corpos de prova após moldagem



FONTE: Dados da pesquisa (2018)

3.2.5 Cura dos corpos de prova do concreto em estudo

Para este estudo foi realizada a cura imersa em um tanque de cura específico para concreto, onde os corpos de prova desmoldados permaneceram até o dia previsto para a realização dos ensaios. A Figura 14 ilustra o processo de cura do concreto em estudo.

Figura 14: Corpos de prova em processo de cura



FONTE: Dados da pesquisa (2018)

3.2.6 Determinação das propriedades físicas e mecânicas do concreto em estudo

3.2.6.1 Determinação da absorção

A absorção de água, expressa em porcentagem, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de água em seus poros permeáveis, em relação a sua massa em estado seco, sendo a ABNT NBR 9778:2005 – corrigida em 2009, a norma utilizada para tal objetivo. O valor da absorção de água de cada corpo de prova foi calculado utilizando a Equação 1:

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

A = absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);

M_{sat} = massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g);

M_s = massa do corpo de prova seco em estufa, expressa em gramas (g).

A Figura 15 ilustra o ensaio de absorção de água do concreto em estudo.

Figura 15: Ensaio de absorção de água do concreto em estudo



FONTE: Dados da pesquisa (2018)

3.2.6.2 Determinação da Resistência à Compressão Simples

O ensaio de resistência à compressão foi utilizado para realizar a caracterização mecânica de uma peça, indicando a que tensão ela sofreu a ruptura. Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados de acordo com a ABNT NBR 5739:2007. Os corpos de prova foram previamente retificados, para promover uma superfície plana e livre de ondulações para os mesmos, conforme estabelecido na ABNT NBR 5738:2015.

O quantitativo de corpos de prova utilizados para realização do ensaio de resistência a compressão simples está apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Quantitativo de corpos de prova submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples

Concreto	Tempo de cura (dias)			
	7	14	21	28
CREF	2	2	2	2
C40%RMG	2	2	2	2
C60%RMG	2	2	2	2
TOTAL				24 corpos de prova

FONTE: Dados da pesquisa (2018)

A Figura 16 ilustra o ensaio de resistência à compressão simples do concreto em estudo.

Figura 16: Ensaio de resistência à compressão simples



FONTE: Dados da pesquisa (2018)

3.2.6.3 Determinação da resistência à tração por compressão diametral

A determinação da resistência à tração indireta com o objetivo de determinar o $f_{ct,sp}$, foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 7222:2011 nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias. A Tabela 5 apresenta o quantitativo de corpos de prova submetidos ao ensaio para determinação da resistência à tração por compressão diametral.

Tabela 5: Quantidade de corpos de prova submetidos ao ensaio para determinação da resistência à tração por compressão diametral

Concreto	Tempo de cura (dias)			
	7	14	21	28
CREF	2	2	2	2
C40%RMG	2	2	2	2
C60%RMG	2	2	2	2

FONTE: Dados da pesquisa (2018)

Para realização do ensaio foram utilizadas taliscas de maneira nas dimensões de 2 cm de largura, 2 cm de espessura e 20 cm de comprimento,

objetivando fazer com que o contato entre o corpo de prova e os pratos ocorresse em duas geratrizes através das mesmas, a força foi aplicada até que a ruptura do corpo de prova ocorresse por fendilhamento. A Figura 17 ilustra a realização do ensaio de resistência à tração por compressão diametral do concreto em estudo.

Figura 17: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral



FONTE: Dados da pesquisa (2018)

Os ensaios de caracterização física e mecânica do concreto em estudo foram realizados no Laboratório de Solos II e de Engenharia de Pavimentos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização dos materiais utilizados neste estudo

4.1.1 Agregado miúdo

O agregado miúdo foi caracterizado através dos ensaios de composição granulométrica (NBR NM 248:2003), massa específica (NBR NM 52:2009), massa unitária (NBR NM 45:2006), teor de materiais pulverulentos (NBR NM 46:2001) e, por fim, foi classificado de acordo com a NBR 7211:2009 (Agregados para concreto – Especificação). A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para caracterização física do agregado utilizado nesse estudo.

Tabela 6: Caracterização física do agregado miúdo

Parâmetro determinado	Média dos valores
Massa unitária (g/cm ³)	1,5
Massa específica real (g/cm ³)	2,59

Os valores obtidos para a massa unitária e massa específica do agregado miúdo utilizado neste estudo foram respectivamente 1,5g/cm³ e 2,59g/cm³, os quais atendem aos parâmetros para uso em concreto. Segundo Metha e Monteiro (2008), a maioria dos agregados naturais possui massa específica entre 2,6 e 2,7 g/cm³, valores próximos aos obtidos neste estudo. Neville (2016) cita que os valores obtidos dependem do empacotamento das partículas, variando no intervalo entre 0,52 e 0,74 vezes a massa específica. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos para a composição granulométrica do agregado miúdo.

Tabela 7: Composição granulométrica do agregado miúdo

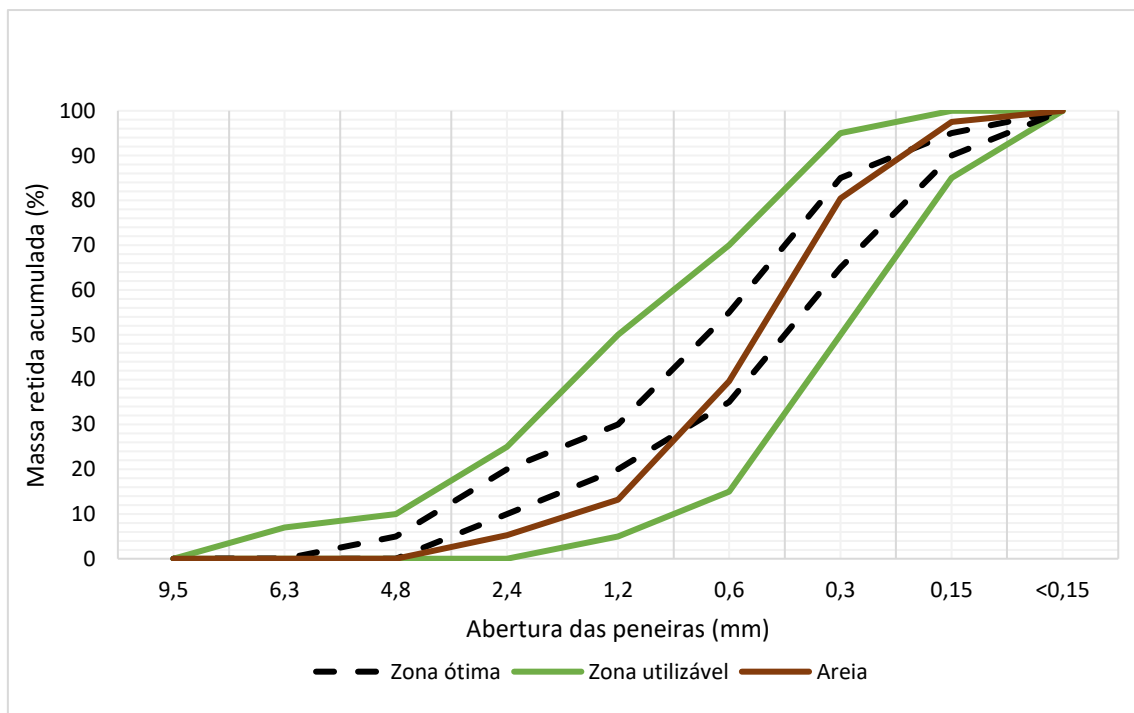
Composição Granulométrica				
Peneira (mm)	Material Retido			% Que passa da amostra total
	Massa (g)	% Amostra Total	% Acumulada	
4,8	0	0	0	100
2,4	52,6	5,26	5,26	94,74
1,2	79,4	7,94	13,2	86,8
0,6	264,3	26,43	39,63	60,37
0,3	408,3	40,83	80,46	19,54
0,15	170,8	17,08	97,54	2,46
<0,15	24,6	2,46	100	0

Diâmetro Máximo = 4,8 mm

Módulo de Finura = 2,36

A Figura 18 ilustra a curva granulométrica obtida para o agregado miúdo utilizado no estudo.

Figura 18: Curva granulométrica do agregado miúdo



O agregado miúdo em estudo se enquadra dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7211:2009, pertencendo à zona utilizável.

4.1.2 Agregado graúdo

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos para a caracterização física dos agregados graúdos convencionais - brita 9,5mm e brita 25mm

Tabela 8: Caracterização física da brita 9,5 mm

Parâmetro determinado		Média dos valores
Brita 9,5mm	Massa unitária (g/cm ³)	1,43
	Massa específica real (g/cm ³)	2,59
	Absorção (%)	0,5
Brita 25mm	Massa unitária (g/cm ³)	1,5
	Massa específica real (g/cm ³)	2,69
	Absorção (%)	0,3

Observa-se que os agregados utilizados neste estudo se encontram dentro dos parâmetros estabelecidos para a utilização em concreto, conforme estabelecido por Neville (2016), para os valores usuais de britas graníticas, e conforme citado por Chagas Filhos (2013), os valores de absorção para agregados de origem granítica são de aproximadamente 0,3%, de modo que os resultados obtidos foram satisfatórios.

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos para a composição granulométrica da brita 9,5 mm

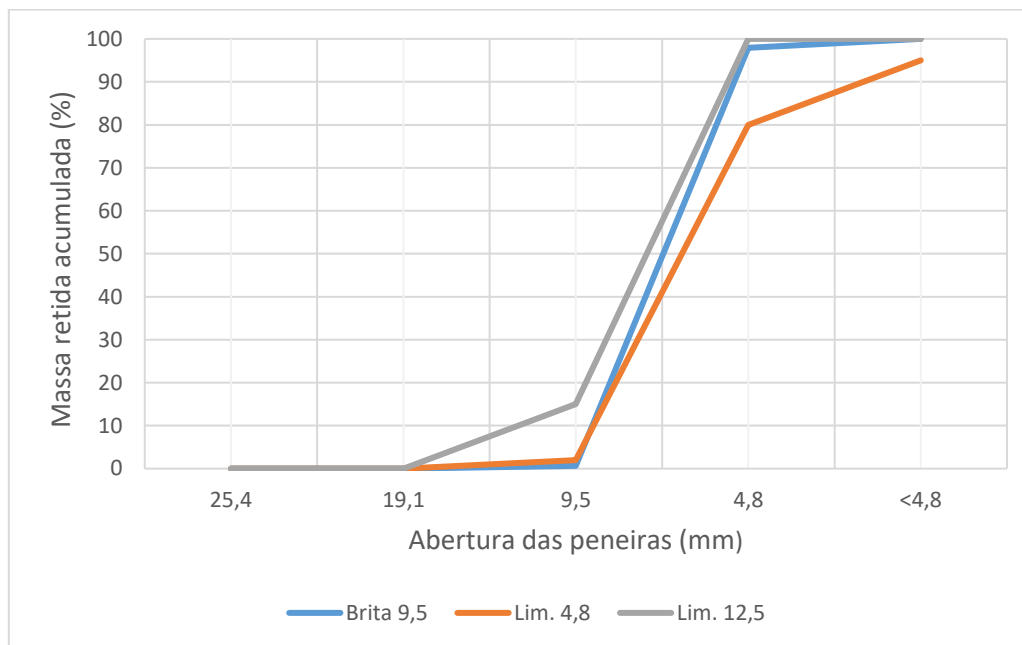
Tabela 9: Composição granulométrica da brita 9,5 mm

Composição Granulométrica				
Peneira (mm)	Material Retido			% Que passa da amostra total
	Massa (g)	% Amostra Total	% Acumulada	
25,4	0	0	0	100
19,1	0	0	0	100
9,5	18,9	0,63	0,63	99,37
4,8	2919,2	97,31	97,94	2,06
<4,8	61,9	2,06	100	0

Diâmetro máximo = 9,5 mm
Módulo de finura = 5,98

A Figura 19 ilustra a curva granulométrica obtida para o agregado graúdo – brita 9,5mm utilizada neste estudo.

Figura 19: Curva granulométrica da brita 9,5 mm



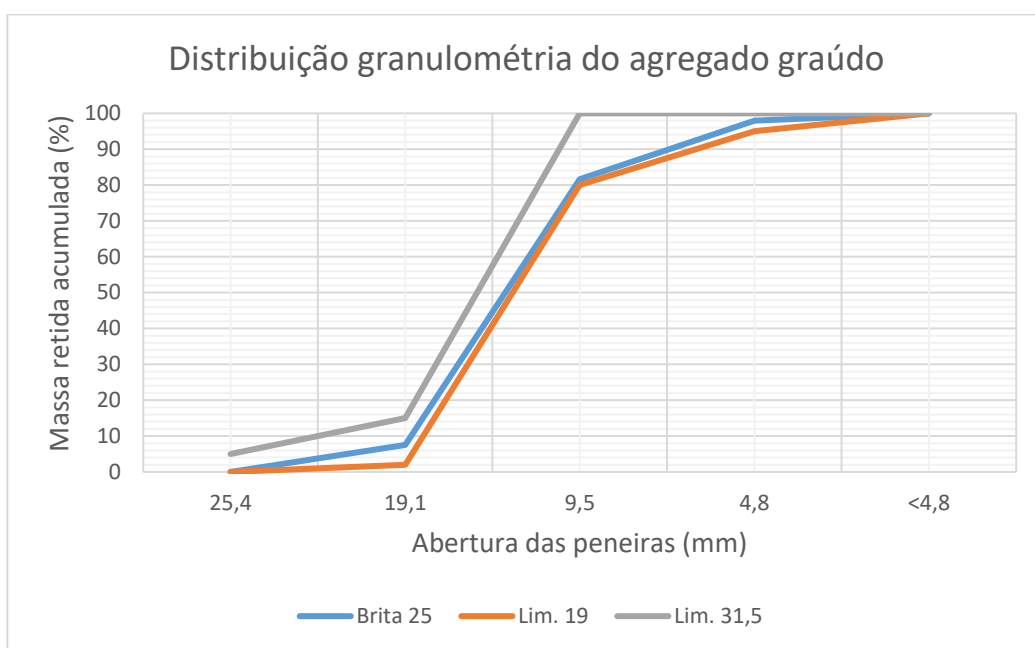
A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos para a composição granulométrica do agregado graúdo – brita 25mm utilizado neste estudo.

Tabela 10: Composição granulométrica da brita 25 mm

Composição Granulométrica				
Peneira (mm)	Material Retido			% Que passa da amostra total
	Massa (g)	% Amostra Total	% Acumulada	
25,4	0	0	0	100
19,1	377,06	7,54	7,54	92,46
9,5	3702,57	74,05	81,59	18,41
4,8	819,2	16,38	97,97	2,03
<4,8	101,17	2,03	100	0
Diâmetro máximo = 25 mm				
Módulo de finura = 6,87				

A Figura 20 ilustra a curva granulométrica obtida para o agregado graúdo – brita 25mm utilizada neste estudo.

Figura 20: Curva granulométrica da brita 25 mm



De acordo com os resultados obtidos, observa-se a presença de uma granulometria contínua, devido à presença dos grãos nos intervalos das peneiras ensaiadas, além da existência de material fino, entretanto, apresentando valores dentro dos estabelecidos pela ABNT NBR 7211:2009.

No tocante a classificação, as curvas granulométricas dos agregados graúdos utilizados neste estudo se encontram inseridas em intervalos preconizados pela ABNT NBR 7211:2009, sendo, desse modo, comercialmente denominadas de brita 0 e brita 2, respectivamente.

A importância de conhecer as características dos agregados que são utilizados na confecção do concreto, reside além dos cálculos para a obtenção do traço, pois características dos mesmos, tais como: porosidade, composição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial dos grãos, resistência mecânica e etc., são fatores influentes nas propriedades mecânicas do concreto obtido (ALHADAS, 2008).

4.1.3 Cimento

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos para caracterização física do cimento Portland CII Z 32 utilizado neste estudo.

Tabela 11: Caracterização física do cimento CII Z

Ensaio	Valor obtido
Massa específica (DNER – ME 085/1994)	2,91 g/cm ³
Finura (ABNT NBR 11579:1991)	2,84%

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 11, verifica-se que o valor do índice de finura encontrado foi de 2,84%, que satisfaz ao valor limite máximo de 12% para este ensaio, a massa específica apresenta valor dentro do limite estabelecido para os cimentos brasileiros que variam de 2,9 g/cm³ a 3,2 g/cm³.

4.1.4 Rejeitos de mármore e granito

A Tabela 12 apresenta os resultados obtidos para caracterização física dos rejeitos britados provenientes do corte de granitos.

Tabela 12: Caracterização física dos rejeitos britados provenientes do corte de granitos

Parâmetro determinado	Média dos valores
Massa unitária (g/cm ³)	1,42
Massa específica real (g/cm ³)	2,84
Absorção (%)	0,3

Apesar da existência de diferentes tipos de granito, segundo Frascá (2014), a mudança de coloração se deve ao tipo de feldspato existente na composição e impurezas contidas. Conforme resultados obtidos para

caracterização física do rejeito, verifica-se que os valores obtidos são análogos aos obtidos para o agregado graúdo convencional. Para a absorção, os resultados obtidos corroboram os estudos realizados por Chagas Filho (2013).

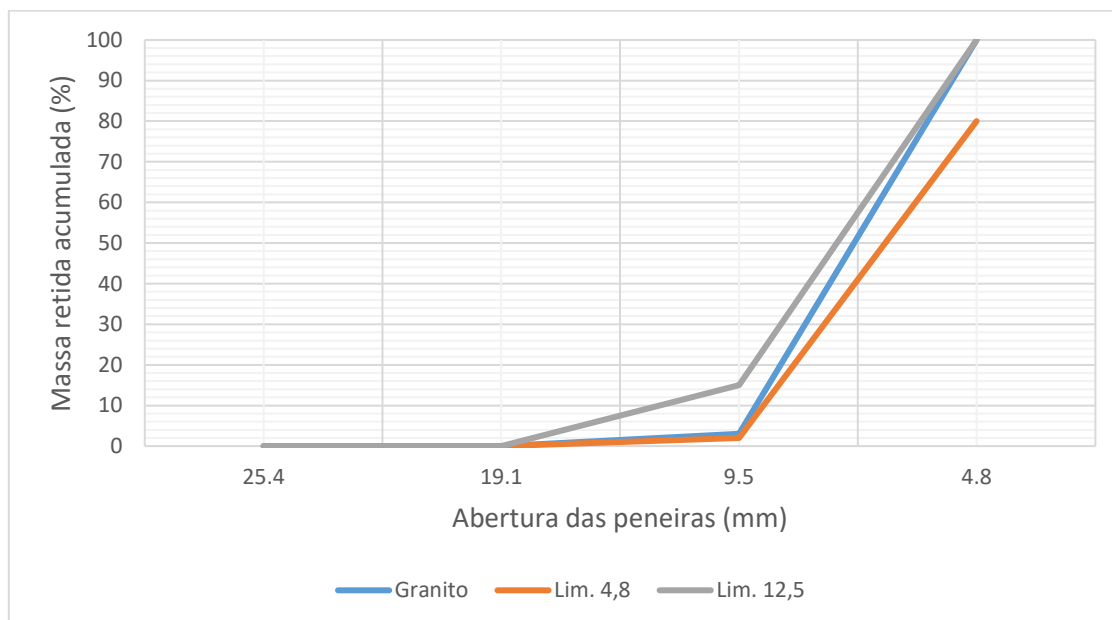
A Tabela 13 apresenta a composição granulométrica do rejeito de granito britado, utilizado neste estudo.

Tabela 13: Composição granulométrica do rejeito de granito

Composição Granulométrica				
Peneira (mm)	Massa (g)	Material Retido		% Que passa da amostra total
		% Amostra Total	% Acumulada	
25,4	0	0	0	100
19,1	0	0	0	100
9,5	91,54	3,05	3,05	96,95
4,8	2908,46	96,95	100	0
Diâmetro Máximo = 9,5 mm				
Módulo de finura = 6,03				

A Figura 21 ilustra a curva granulométrica obtida para o rejeito do corte de granito de granito

Figura 21: Curva granulométrica obtida para o rejeito do corte de granito após britagem



De acordo com a classificação da ABNT NBR 7211:2009, o rejeito britado proveniente do corte de granitos se encontra dentro dos limites

preconizados para brita 0. A curva granulométrica representada possui diferença em relação à da brita convencional utilizada, pois o rejeito passou por um processo de beneficiamento através do peneiramento e seleção da granulometria específica.

No tocante ao módulo de finura, quanto maior for o seu valor, maior é o tamanho das partículas, o que causa uma diminuição da superfície específica dos agregados (LEITE, 2001). O rejeito resultante do corte do granito apresentou um módulo de finura superior ao da brita convencional, o que implica uma menor quantidade de água de amassamento.

A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos para a caracterização física do rejeito britado proveniente do corte de mármore.

Tabela 14: Caracterização física do rejeito britado proveniente do corte de mármore

Parâmetro determinado	Média dos valores
Massa unitária (g/cm ³)	1,33
Massa específica real (g/cm ³)	2,76
Absorção (%)	1,61

De acordo com os resultados obtidos para a caracterização física do rejeito de mármore, observa-se que os valores encontrados para a massa unitária e massa específica são próximos aos obtidos para o agregado graúdo convencional utilizado neste estudo. Para a absorção verifica-se uma elevação significativa justificada pela origem de rocha calcária do rejeito. De acordo com Neville (2016), o rejeito utilizado pertence ao grupo Calcário, estando também nesse conjunto, o dolomito e o próprio calcário. Neville (2016) ainda informa que para o grupo, a massa específica real pode variar entre valores de 2,5 a 2,8 g/cm³, e cita que a porosidade pode variar até 37,6%, podendo interferir na porosidade total do concreto.

Alhadas (2008), verificou a influência das diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto. Em relação ao

agregado de calcário, o resíduo de mármore apresentou massa específica real 7,81% superior, massa unitária 8,90% inferior, e absorção aproximadamente 4 vezes maior do que os resultados obtidos para o agregado convencional.

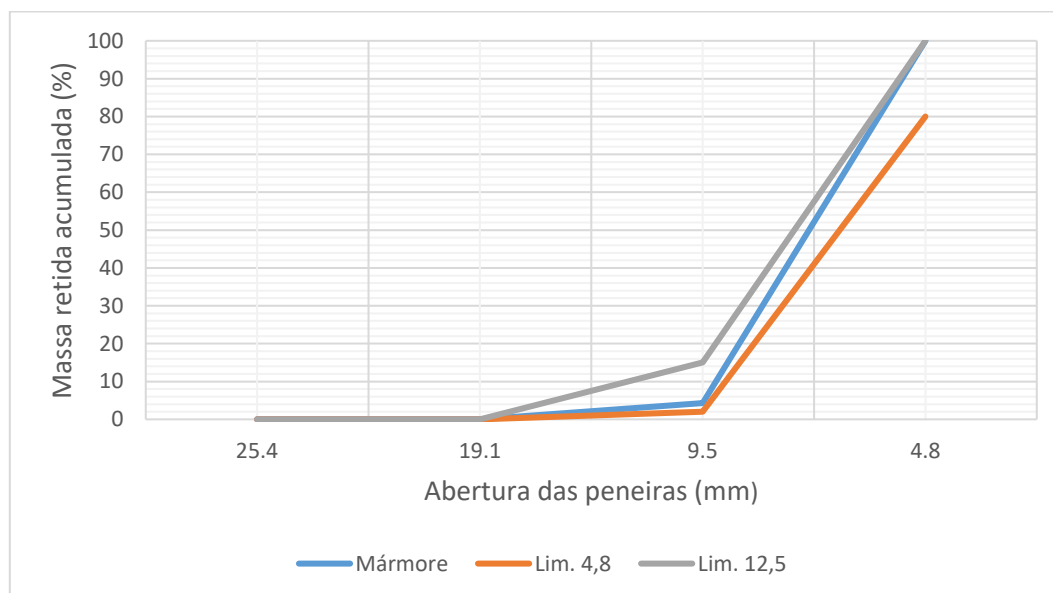
Na Tabela 15 está apresentada a composição granulométrica do rejeito britado resultante do corte de mármore.

Tabela 15: Composição granulométrica do rejeito britado resultante do corte de mármore

Composição Granulométrica				
Peneira (mm)	Massa (g)	Material Retido		% Que passa da amostra total
		% Amostra Total	% Acumulada	
25,4	0	0	0	100
19,1	0	0	0	100
9,5	128,56	4,29	4,29	95,71
4,8	2871,44	95,71	100	0
Diâmetro Máximo = 9,5 mm				
Módulo de finura = 6,04				

A Figura 22 ilustra a curva granulométrica obtida para o rejeito britado resultante do corte de mármore.

Figura 22: Curva granulométrica do rejeito britado resultante do corte de mármore



De acordo com a classificação da ABNT NBR 7211:2009, o rejeito britado proveniente do corte de mármore se encontra dentro dos limites

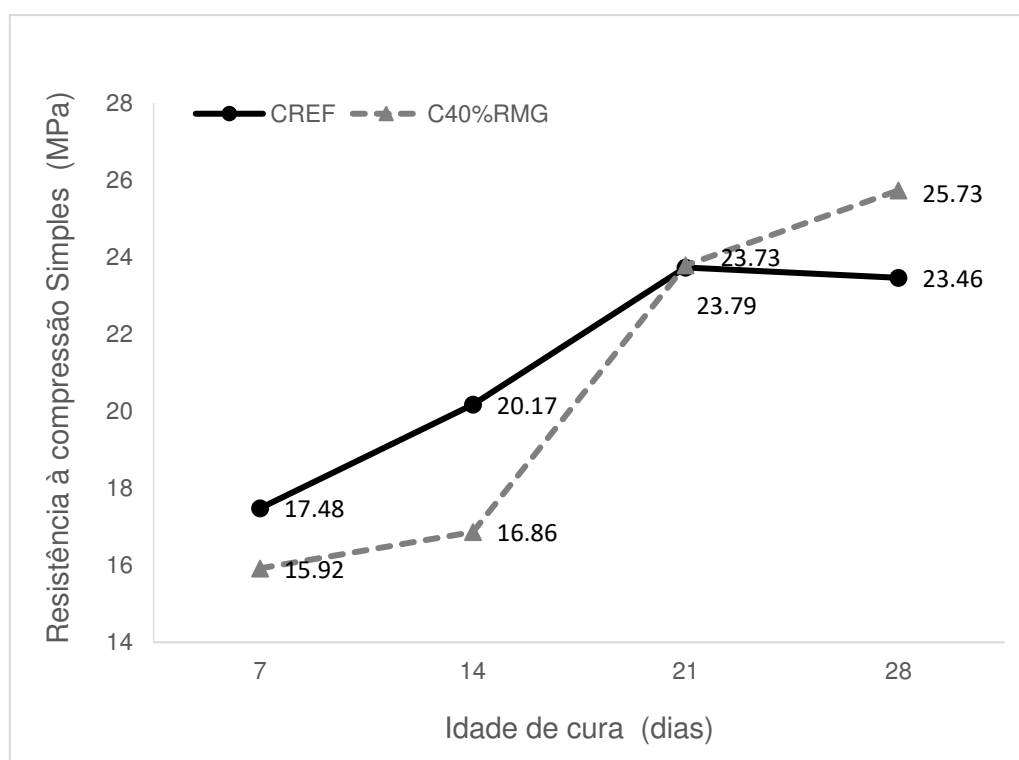
estabelecidos para brita 0. A curva granulométrica representada possui diferença em relação à da brita convencional utilizada, devido ao processo de beneficiamento através do peneiramento.

4.2 Caracterização mecânica do concreto com substituição do agregado graúdo por rejeito britado proveniente do corte de mármore e granito

4.2.1 Resistência à compressão simples

A Figura 23 ilustra os resultados obtidos para a resistência a compressão simples do concreto de referência - CREF e do concreto com 40% de rejeitos de mármore e granito - C40%RMG.

Figura 23: Resistência à compressão simples do CREF e do concreto - C40%RMG



De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que o concreto com substituição do agregado graúdo convencional por rejeito de mármore e granito no teor de 40% (20% RM e 20% RG), proporcionou aos 28 dias de cura um

desempenho superior ao alcançado para o concreto de referência (CREF), obtendo-se uma elevação de resistência de 9,68%.

De acordo com a ABNT NBR 5739:2007 (Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos), tendo como base a idade de 28 dias, é possível analisar o desempenho do coeficiente de variação para o concreto em estudo. Para o CREF, o valor de 5,72% é classificado como razoável; o valor de 6,88% obtido para C40%RMG, por outro lado, encontra-se na categoria de deficiente.

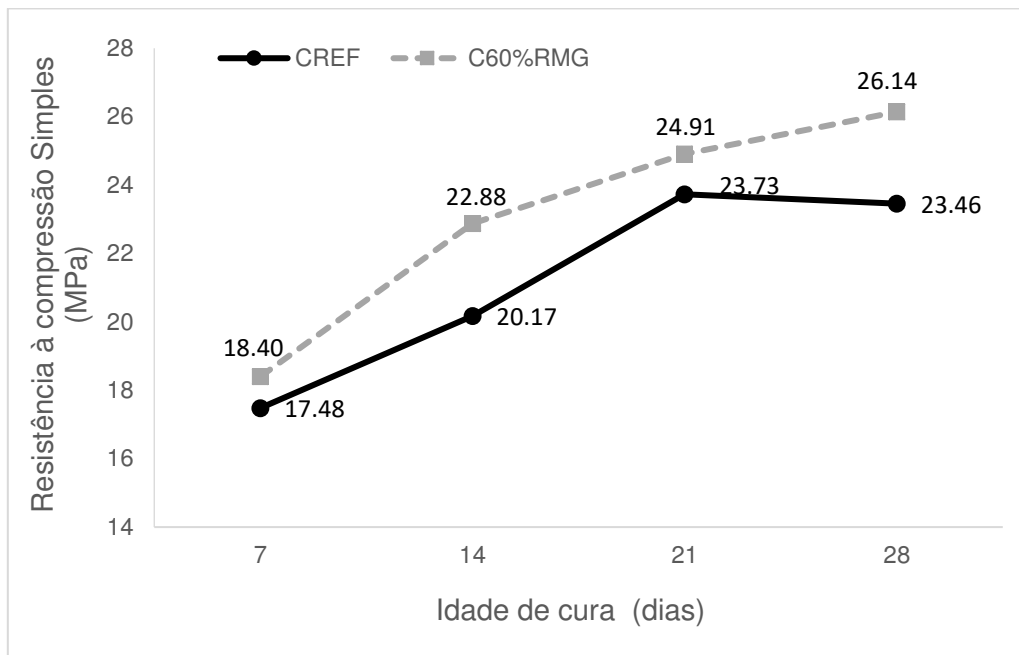
Gonçalves (2000) avaliou em seu estudo a resistência à compressão simples para concretos incorporados com resíduo de corte de granito e observou que tal adição proporcionou ao concreto, desempenho superior em relação ao de referência, em todas as relações a/c e em todos os teores experimentados.

Alhadas (2008) observou a influência do agregado graúdo oriundo de diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto, dentre os agregados estudados, têm-se os calcários e dolomitos, que apresentam origem geológica semelhante ao mármore, e verificou que o agregado dolomita proporcionou a obtenção de resultados semelhantes aos obtidos para produção do concreto com agregado de gnaisse.

Neville (2016) relata que a resistência do concreto é influenciada pela forma e textura do agregado graúdo, entretanto, esse tipo de influência é variável e depende da relação água/cimento da mistura. Para relações menores que 0,40, a utilização de agregado britado pode resultar em resistências até 38% superiores as obtidas para o seixo rolado (superfície lisa). Com o aumento da relação água/cimento a influência atribuída ao agregado diminui, possivelmente devido à resistência da pasta de cimento hidratada se tornar primordial. Pelo fato do presente trabalho apresentar fator água/cimento de 0,58, é de se esperar que a forma e textura dos resíduos tenham influenciado no acréscimo de resistência do concreto.

A Figura 24 ilustra os resultados obtidos para a resistência à compressão simples do CREF e C60%RMG.

Figura 24: Resistência à compressão simples do CREF e do concreto – C60%RMG



De acordo com os resultados obtidos verifica-se que a substituição do agregado graúdo convencional (brita granítica 9,5mm) por rejeitos britados resultantes do corte de mármore e granitos no teor de 60% (30% RM e 30% RG), promoveu a elevação da resistência à compressão simples para o concreto em todas as idades de cura em estudo, obtendo-se aos 28 dias uma elevação de 11,4% em relação ao concreto de referência.

De acordo com a ABNT NBR 5739:2007 (Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos), tendo como base a idade de 28 dias, é possível analisar o desempenho do coeficiente de variação para o concreto em estudo. Para o concreto - C60%RMG, o valor de 2,87% se enquadra como excelente, mostrando a menor dispersão entre os dados que foram encontrados.

A lavagem do agregado graúdo objetiva reduzir a quantidade de pó e substâncias deletérias nos agregados, permitindo, desse modo, o incremento na ligação do agregado com a pasta de cimento. Tal execução pode levar a ganhos de resistência à compressão de até 8% (MENDES, 2002). Os resíduos passaram por um processo de beneficiamento e peneiramento, afim remover o

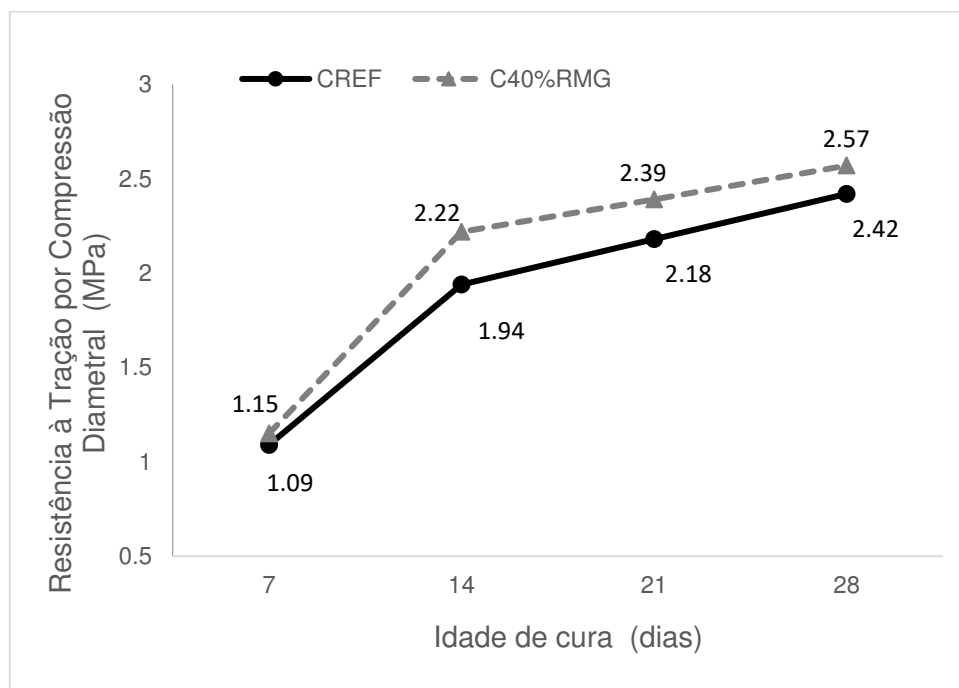
pó e materiais danosos que poderiam estar associados ao material, resultando em um determinado aumento na resistência do concreto.

Mendes (2002) afirma que a influência do agregado graúdo na resistência à compressão não é tão sensível para concretos que possuem valores de resistência características inferiores a 50 MPa, pois nessas situações, os componentes mais fracos dos mesmos são a pasta de cimento endurecida e a zona de transição entre a pasta e o agregado. Neste estudo, observou-se ganhos pontuais na resistência devido à sinergia entre alguns fatores, como a forma e textura dos grãos do agregado resultante do corte de mármore e granitos, ausência de pó e a escolha de uma granulometria específica.

4.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

A Figura 25 ilustra os resultados obtidos para a resistência à tração por compressão diametral obtida para o concreto de referência – CREF e para o concreto com 40% de rejeito de mármore e granito – C40%RMG.

Figura 25: Resistência à tração por compressão diametral do concreto de referência – CREF e do concreto C40%RMG



Conforme resultados ilustrados na Figura 25 observa-se que a adição de rejeitos de mármore e granito contribuíram com o aumento da resistência à tração do concreto para todas as idades e teores analisados quando comparados ao concreto de referência, obtendo-se aos 28 dias de cura uma elevação de resistência de 6,20%.

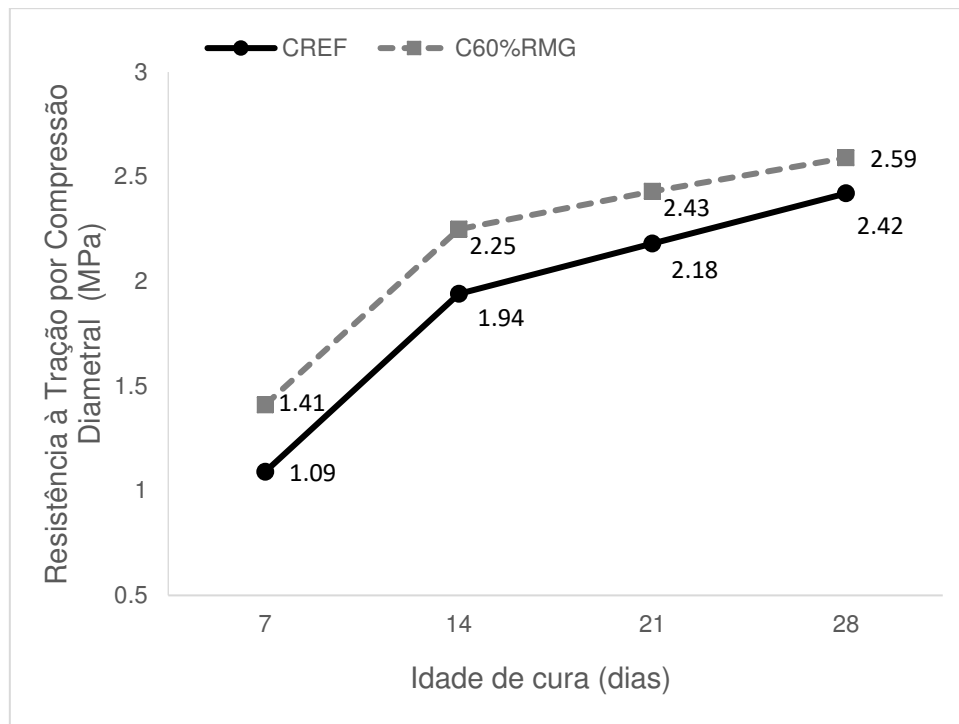
Rodrigues (2015) realizou estudo sobre a adição de RMG, na forma de pó, substituindo o cimento Portland e observou boa evolução da resistência à compressão axial nas idades até 90 dias em função das características dos resíduos servirem como ponto de nucleação para os produtos de hidratação e a alteração da microestrutura da zona de transição do cimento Portland comum.

Machado Jr. et al. (2000), que ensaiaram concretos com diferentes teores de substituição de agregado natural por reciclado, com dimensões máximas de 19 e 9,5 mm. Observaram através dos resultados obtidos para tração, que nem o teor de substituição, nem a dimensão máxima característica dos agregados apresentaram influência significativa sobre os resultados. A melhor aderência existe entre a matriz e o agregado reciclado, além de sua maior taxa de absorção, foram apontadas como razões para este comportamento.

Segundo Neville (2016), uma maior aderência também é obtida com agregados mais porosos, por haver a facilitação da penetração das partículas na superfície, implicando em uma maior ligação entre pasta de cimento e agregado. Essa afirmação corrobora os resultados obtidos, pois o resíduo de mármore apresentou um valor de absorção superior ao obtido para brita granítica convencional, resultando assim, em um possível aumento de resistência na zona de transição entre pasta e agregado.

A Figura 26 ilustra os resultados obtidos para a resistência a tração por compressão diametral obtida para o concreto de referência – CREF e para o concreto com 60% de rejeito de mármore e granito – C60%RMG.

Figura 26: Resistência à tração por compressão diametral do concreto de referência – CREF e do concreto C60%RMG



De acordo com os resultados obtidos, verifica-se uma elevação de resistência a tração para o concreto com substituição do agregado graúdo convencional por rejeitos britados resultantes do corte de mármore e granitos, sendo proporcional ao aumento dos teores de rejeitos utilizados. Para o concreto - C60%RMG observou-se uma elevação de resistência da ordem de 7,02% para a idade de cura de 28 dias quando comparado ao concreto de referência.

Aitcin e Mehta (1990) utilizaram quatro tipos de agregados para confecção do concreto de alto desempenho, dosados com os mesmos materiais e proporções, e observaram que o calcário e o diabásio produziram concretos com valores de resistência superiores em relação ao concreto confeccionado com granito e seixo, com base nessa afirmação e em análises das curvas de histerese do concreto, observaram a existência de uma forte aderência entre agregado e pasta, com a utilização do calcário e diabásio.

A possível aderência química também foi observada por Neville (1997) utilizando agregados como o calcário e dolomito. A explicação desses casos,

de acordo com Mendes (2002), deve-se a uma possível interação química entre o mineral calcita, presente no calcário, e o hidróxido de cálcio na pasta de cimento hidratado, implicando no incremento de resistência na zona de transição do concreto. Nunes (2005) revela que a forma e a textura do agregado possuem influência na aderência com a pasta de cimento, sendo a resistência à tração mais afetada que a resistência à compressão.

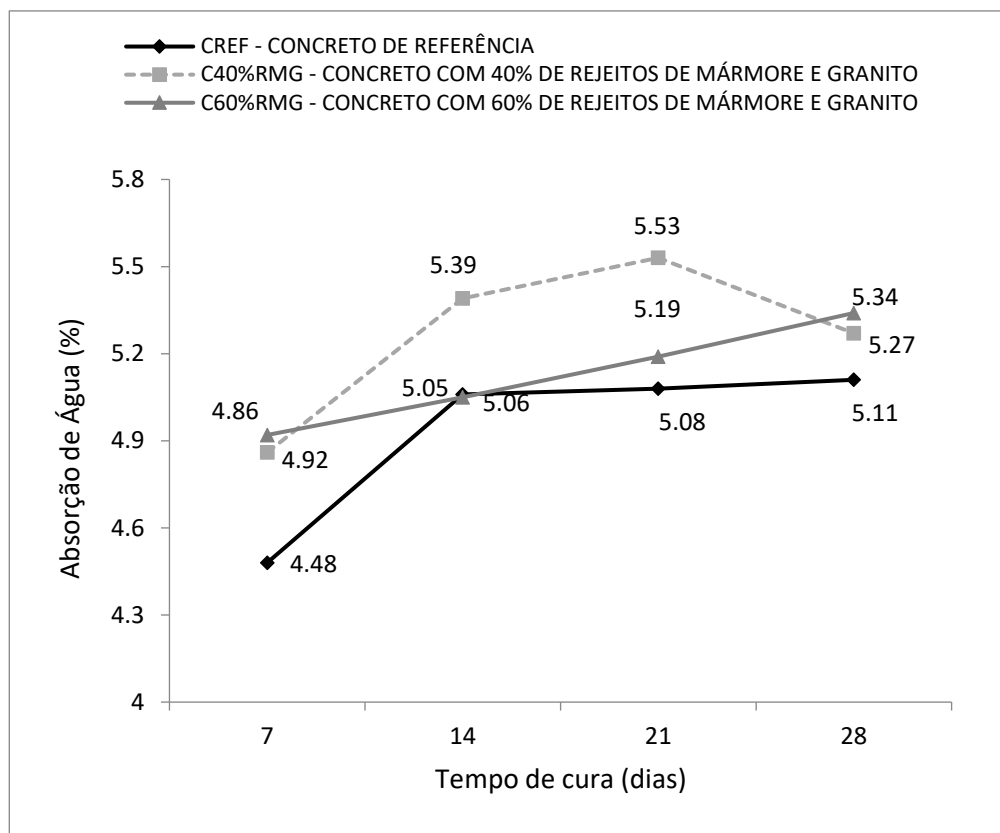
O aumento da resistência à tração do concreto com incorporação de rejeitos de mármore e granito deve-se também a uma maior aderência entre os resíduos e a pasta de cimento, além do processo de britagem proporcionar aos grãos uma maior rugosidade o que contribui para uma melhor aderência, fortalecendo a interface entre agregado e pasta de cimento, contribuindo significativamente para melhoria das propriedades mecânicas do concreto.

4.3 Caracterização física do concreto com substituição do agregado graúdo por rejeito britado proveniente do corte de mármore e granito

4.3.1 Determinação da Absorção de Água

A Figura 27 ilustra os resultados obtidos para a absorção de água obtida para o concreto de referência – CREF, para o concreto com rejeitos britados nos teores de 40% - C40%RMG e para o concreto com 60% - C60%RMG.

Figura 27: Absorção de água do concreto de referência – CREF e do concreto com rejeitos de mármore e granito nos teores de 40% - C40%RMG e com 60% - C60%RMG



Para os valores encontrados pode-se notar que não houve uma grande dispersão de dados. O concreto - C60%RMG apresentou aos 28 dias uma absorção de apenas 4,5% superior ao CREF; o C40%RMG obteve uma absorção de 3,13% superior ao de referência.

Rodrigues (2015) utilizou resíduos de mármore e granito em pó como substituinte ao cimento, e observou que o aumento da quantidade de material substituinte acarretava em um aumento na absorção do concreto, entretanto, o valor acrescido era inferior em comparação com a quantidade de material adicionada.

Gonçalves (2000) utilizou resíduo de corte de granito como substituinte ao cimento, e notou que para o teor de 10% de adição, houve uma redução na absorção em 10,2%, entretanto, para o teor de 20%, foi observado um incremento de 2,5% da absorção por imersão.

Segundo Rodrigues (2015), valores de absorção situados entre 4% e 5% servem de indicação de concretos com permeabilidades mínimas, sendo materiais que se utilizados em estruturas dificilmente apresentarão falhas devido adensamento incompleto e exsudação.

O fato do concreto com maior quantidade de resíduo possuir uma maior absorção em relação aos demais pode ser um indicativo da ausência de finos no concreto, deixando, desse modo, mais espaços vazios. Entretanto, os mecanismos envolvidos não estão claramente explicados, sendo recomendado a realização de estudos sobre a microestrutura do concreto com o intuito de compreender com precisão o processo ocorrido.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os objetivos da pesquisa e com base nos resultados obtidos, pode-se considerar que:

Quanto à resistência à compressão simples, a substituição do agregado graúdo convencional por rejeitos britados do corte de mármore e granito proporcionou ao concreto, desempenho superior ao obtido para o concreto de referência. O concreto com 40% de rejeito apresentou um ganho de 9,68%, enquanto que para o concreto com 60% de rejeito houve um incremento de 11,42% na resistência em comparação ao concreto de referência;

No tocante à resistência à tração por compressão diametral, a adição dos rejeitos proporcionou um aumento de desempenho em relação ao concreto de referência para todas as idades e teores ensaiados. Para o concreto com 40% de adição de RMG, o incremento foi de 6,20% e para o concreto com 60% foi de 7,02% em comparação ao concreto de referência na idade dos 28 dias;

Para absorção do concreto incorporado com teores de 40% e 60% de rejeitos britados resultante do corte de mármore e granitos observou-se que ocorreu uma elevação dos resultados quando comparados aos obtidos para o concreto de referência, no entanto, satisfazem os parâmetros normativos.

A utilização dos rejeitos de mármore e granito como substituinte ao agregado convencional se apresenta como uma alternativa viável para inserção de um material em um novo ciclo produtivo, além de obter ganhos de resistência mecânica para o concreto.

Dentre as formas existentes que visam à redução do impacto ambiental causado pela geração de rejeitos industriais uma das que apresenta maiores vantagens é a reciclagem. Os diversos setores da construção civil se apresentam com grande potencial para se utilizar os resíduos devido a inúmeros processos que envolvem diversos tipos de materiais. Além de contribuir para um maior desenvolvimento sustentável, algo tão visado na sociedade atual.

5.1 Sugestões para pesquisa futuras

- Avaliar a microestrutura do concreto através da realização da microscopia eletrônica de varredura (MEV) para compreender de forma mais intensa os mecanismos que levaram ao incremento da resistência do concreto;
- Analisar a relação entre custo e benefício para utilização do RMG como substituinte de agregados na composição do concreto;
- Realizar a substituição total dos agregados convencionais por rejeitos de mármore e granito;
- Estudar a viabilidade da utilização de RMG para produção de concreto de alto desempenho.

REFERÊNCIAS

AITCIN, P. C.; MEHTA, P. K., Effect of coarse-aggregate characteristics on mechanical properties of high-strength concrete, **ACI Materials Journal**, v. 87, n. 2, p. 103-107, Mar./Apr. 1990.

ALENCAR, Carlos Rubens Araújo, INSTITUTO EUVALDO LOVI. **Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo: Rochas Ornamentais**. Espírito Santo, 2013. 242p.

ALHADAS, M. F. S. **Estudo da influência do agregado graúdo de diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ALVES, M. S. 2008. **Estudo das características e da viabilidade do uso de resíduos gerados no polimento de rochas graníticas como adição em concretos**. Dissertação de Mestrado em Construção Civil, Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG.

ANEPAC. Perspectivas para o Setor de Agregados. Disponível em: <<http://www.anepac.org.br/agregados/mercado>>. Acesso em 17 de Novembro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Balanco das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2016**. Informe ABIROCHAS 01/2017. São Paulo, 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. ABCP, Estudo Técnico ET-15, **Propriedades do concreto fresco**. 5.ed. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 2000. 32p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7219: Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos, 1987

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7251: Agregado em estado solto - Determinação da Massa Unitária, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica Chapman, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 11579 Mb 3432 :Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 μm (nº 200), 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12142: Determinação da resistência a tração na flexão em corpos de prova prismáticos, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 248: Determinação da Composição Granulométrica, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7810: Agregado em estado compactado seco – Determinação da massa unitária, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7223 Determinação da Consistência pelo abatimento do tronco de cone, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7222: Concreto e Argamassa - Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7211: Agregado para concreto: Especificação, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, 1998.

BARBOSA, J. F.; COSTA, V. S.; LIMA, M. R. P. **Avaliação da utilização da lama abrasiva gerado no beneficiamento de mármore e granito para a confecção de telhas de concreto.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 8, n. 1, p. 30-35, 2013.

BARROS, P. G. S. **Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto autoadensável obtido com resíduo de corte de mármore e granito**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

BRASIL; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2009) **Perfil de Rochas Ornamentais e de Revestimento**. Relatório Técnico 33. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 101 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Construção Sustentável**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>>. Acesso em: 20 de Outubro de 2017.

CAMPOS, A. R. et al., Resíduos: Tratamento e aplicações industriais. In: Vidal, F. W. H. et al. **Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. 2014. cap. 9, p. 433-492.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jason R.F. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014**. 4. Ed. São Carlos: EdUFSCar, 2016. 415 p.

CBCS. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas: subsídios para a promoção da construção sustentável**. 2014. 111p.

CBCS. **Sustentabilidade na Construção**. São Paulo, SP – Brasil, 01 de Setembro de 2007. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/website/noticia/show.asp?npgCode=DBC0153A-072A-4A43-BB0C-2BA2E88BEBAE>>. Acesso em: 20 de Novembro de 2017.

CHAGAS FILHO, M. B. Estudo de agregados lateríticos para utilização em concretos estruturais. Tese (doutorado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB. 2013.

FIGUEIRA, H. V. O.; LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M. Britagem e Moagem. In: Luz, A. B. et al. **Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/COPM. 2010. Cap. 4, p. 143-211

FILHO, C. C., CHIODI, D. K. O setor de rochas ornamentais no Brasil. In: Vidal, F. W. H. et al. **Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. 2014. cap. 10, p. 493-528.

FRASCÁ, M. H. B. O. Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas. In: Vidal, F. W. H. et al. **Tecnologia de Rochas Ornamentais:**

Pesquisa, Lavra e Beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. 2014. cap. 2, p. 43-98.

GONÇALVES, J. P. **Utilização do Resíduo de Corte de Granito (RCG) como adição para produção de concretos.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LIMA, R. C. O. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

MACHADO Jr, E. F.; LATTEAZA, L. M.; MENDES, C. L. Influência do agregado reciclado de rejeitos de construção e demolição nas propriedades do concreto fresco e endurecido. In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 29., 2000, Punta Del Este, Uruguai. **Memórias...**[CD-ROM]. Punta del Este: EDITOR, 2000, 12p.

MENDES, S. E. S. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba.** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MENDONÇA, A. M. G. D; MONTEIRO H. B. S; CHAGAS FILHO, M. B. Avaliação das resistências de concretos com adição de resíduo oleoso da indústria de e & p de petróleo sob influência da umidade. In: **X Congresso de Iniciação Científica da UFCG**, 2013.

METHA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Pini, 2014. 573 p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 3ª Edição. IBRACON. São Paulo, 2008.

MOTHÉ FILHO, H.F.; POLIVANOV, H.; MOTHÉ, C.G. (2005) Reciclagem dos Resíduos Sólidos de Rochas Ornamentais. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 139-151.

MOURA, W. A.; LEITE, M. B. **Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação.** Revista Escolar de Minas, v. 64, n. 2, p. 147-154 Ouro Preto, 2011.

NETO, A. A. B.; MELO, A. M. V. Desenvolvimento de projetos de produtos utilizando resíduos pétreos de rochas ornamentais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Espírito Santo, v. 18, n. 4, p. 393-398, 2013.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888 p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Trad. Salvador E. Giamusso, São Paulo, ed. PINI, 1997.

NUNES, F. W. G. **Resistência e módulo de elasticidade de concretos usados no Rio de Janeiro**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, D. M. et al. **Utilização de resíduo de granito como substituição ao cimento Portland em matrizes cimentícias**. Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC2011. Florianópolis – SC; 2011.

OLIVEIRA, F. M. C.; KÁLIX, T. M. F.; BARROS, M. L. S. C.; MELO, E. B.; MORAIS, P. O. B. **ROCHAS ORNAMENTAIS SILICÁTICAS DO ESTADO DE PERNAMBUCO**. Revista Holos, v. 4, Ano 29, set/2013.

OLIVEIRA, L. S. **Reaproveitamento de resíduos de marmoraria em compósitos cimentícios**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São João Del-Rei, São João Del-Rei.

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

PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: **as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. Revista Concreto, pp. 14-19, n.53. Ano 37, 2009.

PEITER, C.C. et al., A busca da sustentabilidade na produção e uso de rochas ornamentais. In: Vidal, F. W. H. et al. **Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. 2014. cap. 11, p. 529-566.

RODRIGUES, M. A. **Utilização dos resíduos de cortes de placas de mármore e granitos como adição na fabricação de concreto autoadensável**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Amazonas, Manaus.

SANTOS, R. A.; LIRA, B. B.; RIBEIRO, A. C. M. **ARGAMASSA COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO NATURAL POR RESÍDUO DE BRITAGEM DE GRANITO**. Revista Holos, v. 5, Ano 28, nov./2012.

SCHERRER, A.; SILVA, J. L. G.; BRITO, L. A. P. F. **Estudo da influência do crescimento da construção civil na deposição de resíduos sólidos: estudo de caso no município de Caraguatatuba.** Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, Taubaté, v. 10, n.2, p. 243-263, ago./2014.

SILVEIRA, L. L. Y. et al. Beneficiamento de rochas ornamentais. In: Vidal, F. W. H. et al. **Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento.** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. 2014. cap. 7, p. 327-398.

SNIC. **Produção e Consumo de Cimento no Brasil.** Disponível em: <<http://snic.org.br/numeros-resultados-preliminares.php>>. Acesso em 20 de Novembro de 2017.

SOBRAL, Hernani Sávio. **Propriedades do concreto fresco.** 5. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2000. 32p

VIDAL, F. W. H. et al. Introdução. In: Vidal, F. W. H. et al. **Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento.** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. 2014. cap. 1, p. 15-42.

**Anexo I - APROVEITAMENTO DE REJEITOS PROVENIENTES DO CORTE
DE MÁRMORE E GRANITO PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO**

Características da produção do concreto

Concreto	Dia da moldagem	Início da produção (horas)	Dia do desmolde	Início do desmolde (horas)	Quantidade de corpos de prova	Abatimento (mm)
CREF	13/06/2018	10:00	14/06/2018	10:00	16	4,4
C40%RMG	14/06/2018	13:00	15/06/2018	13:00	16	5,1
C60%RMG	18/06/2018	10:00	19/06/2018	10:00	16	4,3

Fonte: Autoria própria (2018)

Resistência à compressão simples

Resistência à compressão dos corpos de prova

Concreto	CREF			C40%RMG			C60%RMG		
	Idade	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	Média (MPa)	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	Média (MPa)	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)
7 dias	17,48	17,48	17,48	14,36	17,48	15,92	19,40	17,50	18,40
14 dias	19,73	20,61	20,17	18,11	15,61	16,86	22,48	23,29	22,88
21 dias	24,73	22,73	23,73	24,73	22,86	23,79	23,39	26,42	24,91
28 dias	21,96	24,96	23,46	23,73	27,73	25,73	26,67	25,61	26,14

Fonte: Autoria própria (2018)

Desvio padrão e coeficiente de variação dos corpos de prova

Concreto	CREF			C40%RMG			C60%RMG		
	Idade	Média (MPa)	Desvio padrão	CV (%)	Média (MPa)	Desvio padrão	CV (%)	Média (MPa)	Desvio padrão
7 dias	17,48	0	0	15,92	1,38	8,67	18,40	0,84	4,57
14 dias	20,17	0,39	1,93	16,86	1,11	6,58	22,88	0,36	1,57
21 dias	23,73	0,89	3,75	23,79	0,83	3,49	24,91	1,34	5,38
28 dias	23,46	1,33	5,72	25,73	1,77	6,88	26,14	0,75	2,87

Fonte: Autoria própria (2018)

Resistência à tração dos corpos de prova

Concreto	CREF			C40%RMG			C60%RMG		
Idade	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	Média (MPa)	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	Média (MPa)	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	Média (MPa)
7 dias	1,03	1,15	1,09	1,12	1,17	1,15	1,41	1,41	1,41
14 dias	1,94	1,94	1,94	2,31	2,14	2,22	2,62	1,89	2,25
21 dias	2,27	2,10	2,18	2,53	2,24	2,39	2,65	2,22	2,43
28 dias	2,40	2,44	2,42	2,67	2,48	2,57	2,54	2,65	2,59

Fonte: Autoria própria (2018)

Desvio padrão e coeficiente de variação dos corpos de prova

Concreto	CREF			C40%RMG			C60%RMG		
Idade	Média (MPa)	Desvio padrão	CV (%)	Média (MPa)	Desvio padrão	CV (%)	Média (MPa)	Desvio padrão	CV (%)
7 dias	1,09	0,08	7,34	1,15	0,04	3,48	1,41	0	0
14 dias	1,94	0	0	2,22	0,12	5,40	2,25	0,52	23,11
21 dias	2,18	0,12	5,50	2,39	0,21	8,79	2,43	0,30	12,35
28 dias	2,42	0,03	1,24	2,57	0,13	5,06	2,59	0,08	3,09

Fonte: Autoria própria (2018)

Ensaio de absorção por imersão

Concreto	CREF			C40%RMG			C60%RMG		
Idade	CP1 (%)	CP2 (%)	Média (%)	CP1 (%)	CP2 (%)	Média (%)	CP1 (%)	CP2 (%)	Média (%)
7 dias	4,52	4,46	4,48	4,92	4,80	4,86	5,02	4,82	4,92
14 dias	5,05	5,07	5,06	5,29	5,48	5,39	4,80	5,29	5,05
21 dias	5,05	5,11	5,08	5,45	5,60	5,53	5,12	5,26	5,19
28 dias	4,90	5,31	5,11	5,43	5,11	5,27	5,41	5,28	5,34

Fonte: Autoria própria (2018)