



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIDADE DE ENSINO SUPERIOR DOM BOSCO - UNDB
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANA PAULA MENDES LEITE

UTILIZAÇÃO DO PÓ DE GRANITO COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO
AGREGADO MIÚDO NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS

São Luís

2021

ANA PAULA MENDES LEITE

**UTILIZAÇÃO DO PÓ DE GRANITO COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO
AGREGADO MIÚDO, NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Thiago Coelho Ferreira

São Luís

2021

ANA PAULA MENDES LEITE

**UTILIZAÇÃO DO PÓ DE GRANITO COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO
AGREGADO MIÚDO, NA FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Unidade de Ensino Superior Dom Bosco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em ___ / ___ / 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Thiago Coelho Ferreira (Orientador)
Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB

Prof. Esp. Ricardo Alberto Barros Aguado (1º Examinador)
Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco - UNDB

Prof. Esp. Rafael Carvalhêdo Lima (2º Examinador)
Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco - UNDB

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Centro Universitário – UNDB / Biblioteca

Leite, Ana Paula Mendes

Utilização do pó de granito como substituição parcial do agregado miúdo, na fabricação de argamassas. / Ana Paula Mendes Leite. __ São Luís, 2021.

90 f.

Orientador: Prof. Me. Thiago Coelho Ferreira.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil – Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB, 2021.

1. Impacto ambiental. 2. Resíduo. 3. Rochas ornamentais. 4.
Reutilização. I. Título.

CDU 691.322.53

À minha família,
pela confiança em mim depositada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre me dar sabedoria, força e fé para seguir e por sempre me guiar dando capacitação para eu conseguir chegar até o fim da graduação.

Aos meus pais, Antônio Leite Júnior e Jaciara Ivo Mendes Leite, por não medirem esforços pelo meu crescimento profissional e por me tornarem uma pessoa íntegra. Eles são minha torcida número um, vibrando por cada conquista, fazendo com que eu queira ser uma pessoa melhor todos os dias.

As minhas filhas Gabriela Leite Caldas e Giovana Leite Caldas, por serem filhas extremamente compreensivas, que fazem com que toda a graduação seja uma vitória pra elas e por elas.

Ao meu cônjuge, Igor José Ferreira Caldas, que sempre me motivou a seguir em frente, que tanto me ajudou nos meus estudos acadêmicos, que meteu a mão na massa para que hoje esta monografia tenha sido finalizada e que nunca mediu esforços para me proporcionar tudo de melhor que estivesse ao seu alcance.

A minha irmã Viviane Mendes Leite, por cada ajuda que me ofereceu ao longo da minha graduação, muitas vezes cuidando da minha filha para que eu pudesse ir para a faculdade.

A minha tia Solange Ivo Mendes e minha prima Lana Gabriela Mendes, por me auxiliarem na formatação desta monografia..

Aos meus amigos e colegas de profissão que somaram para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Engenheiro Rafael Walachinski e ao Laboratorista Carlos que me auxiliaram e dedicaram seu tempo para me auxiliar nos ensaios desenvolvidos neste trabalho.

Ao meu orientador Engenheiro Thiago Coelho Ferreira agradeço por compartilhar os ensinamento sobre a vida acadêmica e profissional, sendo uma pessoa importantíssima para minha formação como Engenheira Civil.

E por fim, ao professor Donny Wallesson dos Santos, por ser prestativo e ter me auxiliado na construção deste trabalho.

“Seja qual for o vosso trabalho, fazei-o de boa vontade, como para o Senhor e não para os homens, cientes de que receberá do Senhor a herança como recompensa... O Senhor é Cristo”

Col 3,23-24

RESUMO

Com o crescimento do mercado da construção civil, a grande necessidade da utilização de recursos naturais, acaba modificando o meio ambiente, contribuindo para também o aumento da geração de resíduos. Como exemplo, pode-se citar a indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, mercado que gera toneladas de resíduos sólidos por não possuírem mais uso e não terem um local de descarte, estes são depositados na natureza, provocando o aumento de diversos impactos ambientais. Diante do exposto, este trabalho objetivou analisar a substituição da areia natural pelo pó de granito nos teores de 50% e 100%, na fabricação da argamassa. Para isso adotou-se o traço de 1:3 em massa (cimento portland: agregado miúdo), sendo utilizado o cimento portland CP IV-RS 32, com fator água/cimento entre (0,545 e 1,025). Para a análise foram feitos ensaio de compressão e de atividade pozolânica do resíduo. Sua granulometria demonstrou que possui uma grande quantidade de finos o que acarretou na diminuição de resistência e aumento na absorção de água, fator esse que não prejudicou a argamassa fabricada, resultando de forma positiva no seu possível uso no mercado de construção civil. O ensaio de atividade pozolânica obteve resultados positivos, isso porque os resíduos de rochas ornamentais apresentaram os valores mínimos exigidos.

PALAVRAS-CHAVE: Impacto ambiental; Resíduo de Rochas Ornamentais; Reutilização.

ABSTRACT

With the growth of the civil construction market, the great need to use natural resources ends up modifying the environment, also contributing to the increase in waste generation. As an example, we can mention the ornamental stone processing industry, a market that generates tons of solid waste because they no longer have use and do not have a disposal site, these are deposited in nature, causing an increase in various environmental impacts. Given the above, this work aimed to analyze the replacement of natural sand by granite powder at levels of 50% and 100%, in the manufacture of mortar. For this, the mix of 1:3 in mass (portland cement: fine aggregate) was adopted, using portland cement CP IV-RS 32, with a water/cement factor between (0.545 and 1.025). For the analysis, compression and pozzolanic activity tests were performed. Its particle size showed that it has a large amount of fines, which resulted in a decrease in resistance and an increase in water absorption, a factor that did not harm the manufactured mortar, positively resulting in its possible use in the civil construction market. The pozzolanic activity test obtained positive results, because the ornamental rock residues presented the minimum values required.

KEYWORDS: Environmental impact; Waste from Ornamental Stones; Reuse

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Lama gerada no beneficiamento do granito.....	20
Figura 2- Impacto ambiental causado pelos resíduos dos cortes de granito.....	25
Figura 3- Extração de blocos de granito.....	26
Figura 4- Desperdício causado no corte de chapas do granito	29
Figura 5- Foto montagem de amostras sendo pesadas para o quarteamento.....	44
Figura 6- Foto montagem do processo de quarteamento dos agregados.....	45
Figura 7- Pesagem da amostra retirada do quarteamento.....	45
Figura 8- Foto montagem da preparação da amostra.	46
Figura 9- Foto montagem da secagem de amostras.....	46
Figura 10- Foto montagem do teste para amostra seca.	47
Figura 11- Material na estufa	47
Figura 12- Foto montagem da pesagem de amostras após secagem em estufa.....	48
Figura 13- Amostra sendo separada para peneiramento.....	49
Figura 14- Foto montagem do peneiramento de agregado miúdo.....	49
Figura 15- Materiais passando pela vibração.	50
Figura 16- Foto montagem de alguns materiais retidos após vibração.	50
Figura 17- Condições da umidade dos agregados.	51
Figura 18- Foto montagem do teor de umidade utilizando o método de Chapman.	52
Figura 19- Foto montagem das amostras em repouso e pesagem para ver o inchamento dos agregados.	53
Figura 20- Foto montagem dos aparelhos necessários para ensaio de massa específica..	54
Figura 21- Misturador de Argamassa.	56
Figura 22- Tabela dos Valores do desvio padrão (Sd).	57
Figura 23- Curva de Abrams.	58
Figura 24- Foto montagem das pesagens dos materiais.	61
Figura 25- Foto montagem da moldagem para abatimento.....	61
Figura 26- Foto montagem dos CP's moldados, identificados e mesa vibratória.	62
Figura 27- Foto montagem dos CP's desmoldados e cura submersa.	62
Figura 28- Foto montagem da pesagem dos CP's.	63
Figura 29- Foto montagem do rompimento dos CP's.	63
Figura 30- Amostra seca para teste de umidade.	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -Porcentagem de beneficiamento do mármore e granito em cada segmento.	28
Gráfico 2 - Curva granulométrica da areia.	66
Gráfico 3 -Curva granulométrica resíduo.	67
Gráfico 4 - Resultado da resistência a compressão.	73
Gráfico 5 - Comparação CP's do ensaio com as argamassas de referência.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Módulo de finura dos agregados.	67
Tabela 2 -Traço de argamassa.	70
Tabela 3 -Exigências Físicas.	71

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 -Granulometria Agregado Miúdo.....	37
Quadro 2 -Requisitos físicos e mecânicos.	43
Quadro 3 -Traço, composição e proporção do resíduo utilizado no experimento..	60
Quadro 4 -Peneiramento fino da areia.	65
Quadro 5 -Peneiramento Fino Pó Granito.....	66
Quadro 6 -Valores do Pt, Ps e Pa.	68
Quadro 7 -Valores do Pt, Ps e Pa.	69
Quadro 8 -Resistência à compressão da argamassa de referência e argamassa com resíduo. .	71
Quadro 9 -Resistência a compressão.....	72
Quadro 10 -Média Teste de compressão.....	73

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Módulo de Finura	51
Equação 2 - Peso da Amostra.....	53
Equação 3 - Teor de Umidade	53
Equação 4 - Massa específica dos agregados	54
Equação 5 - Resistência do concreto a compressão aos 28 dias.....	57
Equação 6 - Consumo de cimento (Cc).....	58
Equação 7 - Consumo de agregado miúdo (areia e pó de granito).....	59
Equação 8 - Consumo de Areia e Pó de granito	59
Equação 9 - Consumo final do traço	59
Equação 10 - Atividade Pozolonânica.....	64
Equação 11 - Peso da Amostra Úmida	68
Equação 12 - Teor de Umidade.	69

LISTA DE SIGLAS

°C - Graus Celsius

A/C - Água/Cimento

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AG - Argamassa

CAEMA - Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP IV - Cimento Portland Pozolânico

CP's - Corpo de Prova

IAP - Índice de Atividade Pozolânico

Kg - Quilograma

Mf - Módulo de Finura

Mm - Milímetro

Mpa - Mega Pascal

NBR - Norma Brasileira

RCD - Resíduo da Construção e Demolição

RS - Resistente a Sulfato

Sd - Desvio Padrão

UNDB - Unidade de Ensino Superior Dom Bosco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Problema	15
1.1.1 Hipóteses	15
1.2 Justificativa	16
1.3 Objetivos	16
1.3.1. Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16
1.4 Síntese Metodológica	17
2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE O PROJETO	19
2.1 Beneficiamento do Granito no Século XXI	19
2.1.1 Mármore	20
2.1.2 Granitos	21
2.1.3 Utilização das rochas ornamentais	21
2.1.4 Resíduos	22
2.2 Impacto Ambiental e Resíduos Provenientes de Obras de Engenharia	23
2.2.1 Cenário Atual dos Resíduos Descartados pelas Empresas de Beneficiamento de Granito.....	27
<i>2.2.1.1 Reciclagem dos Resíduos de Mármore e Granito</i>	27
2.3 Argamassa	31
2.3.1 Classificação das Argamassas	31
2.3.2 Componentes da Argamassa.....	33
2.3.3 Granulometria.....	35
3 METODOLOGIA	40
3.1 Tipo de Pesquisa	40
3.2 Local de Estudo	41
3.3 Coleta de Materiais	41

4 MATERIAIS E MÉTODOS	42
4.1 Materiais	42
4.2 Análise de Dados	42
4.3 Caracterização dos Materiais	43
4.3.1 Informações do cimento	43
4.3.2 Quarteamento e separação de material para teste de umidade	44
4.3.3 Ensaio de granulometria por peneiramento	47
4.3.4 Peneiramento Agregado Miúdo.....	48
4.3.5 Ensaio de umidade da areia média e do resíduo (pó de granito)	51
4.3.6 Massa Específica (NBR 16916a).....	53
4.3.6 Relação A/C.....	55
4.3.7 Dosagem da Argamassa.....	55
4.4 Mistura	56
4.5 Traço	57
4.6 Procedimento Experimental	59
4.7 Produção de Argamassa	60
4.7 Ensaio de compressão	63
4.8 Atividades Pozolânica do Resíduo de Rochas Ornamentais	64
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
5.1 Análise Granulométrica	65
5.1.1 Teste de Umidade	68
5.2 Dosagem do traço definido para modelagem de CP	69
5.3 Avaliação da Atividade Pozolânica	70
5.4 Teste de compressão nos corpos de prova	71
6 CONCLUSÃO	75
6.1 Sugestões para trabalhos futuros	76

REFERÊNCIAS	77
APÊNDICE	84

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais preocupado com uma vida confortável, o homem utiliza métodos que estão ligados a evolução constante da humanidade. Com o passar do tempo e na busca para atender as exigências do ser humano e as mudanças no meio em que ele habita, sugere-se a procura de matérias primas que atendam essa constante evolução.

Apresentando vantagem, beleza e sofisticação, as rochas ornamentais vieram para o mercado como uma boa opção para quem é bastante exigente, surgindo em larga escala um amplo mercado de beneficiamento das rochas no mundo todo.

Com o expressivo crescimento do setor, as pessoas vem se preocupando com a geração e destinação dos resíduos, pois em seu processamento primário, apresentam uma perda de 26% do material. A demanda contínua tem levado a uma rápida redução dos recursos naturais, gerando uma grande quantidade de resíduos e subprodutos, a maioria dos quais são não reciclados diretamente (MENEZES et al., 2007), devido ao manuseio inadequado das substâncias, agravará a degradação ambiental, afetando os animais, a flora e até mesmo o nível do lençol freático (MACHADO, 2003).

Machado (2003) utilizou o resíduo para fazer cerâmicas vermelhas, enquanto Silva (2019) os utilizou na substituição de agregados miúdos na fabricação de argamassas. Ambos os valores de resistência das pesquisas foram aceitos pela norma, podendo então ser adequados para o uso contínuo de insumos na fabricação de materiais. Favorecendo um possível aumento na qualidade de vida da população em geral, construção civil e meio ambiente. Pois os lugares de ocupação dos resíduos diminuirão os custos de construção também e os recursos naturais poderão ir se renovando. Portanto, este trabalho busca estudar a utilização desse resíduo na fabricação de argamassas, com o objetivo de reduzir seu impacto ambiental.

1.1 Problema

O crescimento da construção civil nos últimos anos tem criado bastantes desafios para os novos profissionais do mercado e para as incorporadoras e construtoras no Brasil. Com o aumento da competitividade entre as empresas, o mercado vem buscando inovações e aplicação de novas técnicas para a melhoria do desempenho da construção, diminuição e controle de custos em obras e impactos ambientais.

Anualmente, as empresas de beneficiamento de granito, geram bastantes resíduos sólidos, e estes têm se mostrado como uma problemática constante que as industriais nacionais e internacionais vem enfrentando, no que se refere ao descarte e manuseio adequado desses resíduos, que tem como principais destinos o acúmulo desses materiais nos pátios das indústrias ou o descarte na natureza, despertando assim o interesse por parte do meio acadêmico em transformar esses resíduos em algo útil e necessário na construção civil.

No entanto, por ainda existirem poucos trabalhos que relacionem o emprego destes materiais quanto a sua durabilidade e as possíveis manifestações patológicas, o presente trabalho visa responder o seguinte questionamento: Como a utilização do pó oriundo do corte de granito como substituição de parte do agregado miúdo (areia) pode garantir melhorias nas propriedades da argamassa?

1.1.1 Hipóteses

- a. Pondera-se que a utilização do pó de granito pode aumentar a resistência da argamassa;
- b. É possível determinar se a substituição parcial do agregado miúdo e a adição dos resíduos oriundos do corte dos granitos apresentam resultados satisfatórios em relação às propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido;
- c. O resíduo do granito pode vir a influenciar na trabalhabilidade e leveza da argamassa;
- d. Haverá a possibilidade de comercializar essa nova argamassa no mercado da construção civil.

1.2 Justificativa

O reaproveitamento dos resíduos de marmorarias apresentam grandes benefícios tecnológicos, pois traz ao setor de construção civil um produto que pode ser possivelmente melhor que o produto convencional presente no mercado e também benefícios ambientais que contribuem para a redução de dejetos que ocupam locais impróprios para o seu descarte, diminuindo a poluição devido ao seu armazenamento incorreto, possíveis alagamentos quando jogados em córregos, rios e lagos, além de contribuir com o aumento socioeconômico.

Considerando a grande quantidade de sobras oriundas das marmorarias descartadas anualmente, o grande volume de entulhos, o pó e a massa produzido por essas indústrias, o crescente uso de recursos naturais para a produção de compósitos cimentícios e a possibilidade de melhorias na qualidade do produto final para a construção civil, presume-se que a incorporação do pó de granito pode contribuir significativamente na durabilidade e no comportamento mecânico das argamassas.

Desse modo, é evidente que o uso desses resíduos pode ajudar bastante em relação aos custos, logística de obra e fabricação de insumos, em especial a argamassa, sendo que neste trabalho foi realizado um estudo sobre a produção de uma argamassa que utilize diferentes porcentagens de agregados miúdos, para a utilização na construção civil.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Analisar a viabilidade do pó de granito enquanto matéria prima de substituição de parte do agregado miúdo (areia) para argamassas, em um modelo sustentável, econômico e inovador, alinhado a premissa da sustentabilidade que rege as relações econômicas e jurídicas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a. Verificar o comportamento de argamassas com a adição do pó de granito;
- b. Avaliar as propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido;

- c. Realizar ensaios de consistência, resistência à compressão e atividade pozolânica, utilizando as normas da ABNT;
- d. Avaliar os corpos e prova após o período de cura, verificando qual resistência foi obtida.

1.4 Síntese Metodológica

O referencial teórico deste trabalho foi elaborado nos seguintes tópicos: cenário atual dos resíduos descartados pelas empresas de beneficiamento de granito; impacto ambiental e resíduos provenientes de obras de engenharia e a argamassa e seu processo de fabricação.

O desenvolvimento deste trabalho foi elaborado de forma que o leitor tenha compreensão do assunto abordado, do primeiro ao quinto capítulo fazem parte do referencial teórico e resultados obtidos através de ensaios. O primeiro capítulo foi desenvolvido de acordo com a problemática encontrada neste momento, determinando hipóteses para serem respondidas no decorrer da pesquisa, assim como, a justificativa e os possíveis objetivos da pesquisa.

Para comprovar a hipótese aqui formulada, serão feitos ensaios experimentais em laboratório, com os resíduos coletados em uma marmoraria na cidade de São Luís – MA avaliando as propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido, por meio de ensaios a serem especificados no capítulo 3.

O capítulo 2 será retratado sobre as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento deste estudo. Descrevendo a definição e utilização das pedras ornamentais para a sociedade, simplificando que sua origem depende do tipo de rocha encontrada e dos minerais existentes em cada uma delas. E uma abordagem superficial das formas de sua utilização na engenharia. Explanando sobre como o uso dessas rochas pode causar bastante resíduos sólidos e que os mesmos podem gerar muita poluição no meio ambiente, tanto na sua retirada até o uso final.

Ainda no capítulo 2 dissertou-se sobre os impactos ambientais causados pelos resíduos desses materiais, em seus subtópicos foi relatado o cenário atual dos resíduos sólidos, como são descartados até a sua possível utilização para a fabricação de argamassa. Explanam-se também sobre a argamassa, sua classificação, aglomerantes, suas funções, componentes e a granulometria dos agregados, onde o mesmo esclarece a importância de cada componente para a fabricação dela.

Para o capítulo 3 fez-se a descrição da análise utilizando os resíduos provenientes das rochas ornamentais para a fabricação de argamassas, metodologia utilizada para o desenvolvimento do tipo de pesquisa, nele também é descrito o método utilizado para desenvolver o estudo de caso no local desse trabalho.

No capítulo 4 serão demonstrados os resultados obtidos da avaliação do uso dos resíduos de granito para produção de argamassa, em comparação com outras misturas, e com o controle (argamassa apenas com areia). Como se desenvolveu a metodologia de ensaios das amostras coletadas para que houvesse o comparativo entre as propriedades mecânicas do pó de granito, cimento e a areia. Estarão presentes também nesse capítulo os resultados obtidos após os ensaios realizados em laboratório.

Enfim no capítulo 5 é feita a abordagem da conclusão retirada de todo o estudo realizado nesse trabalho e informando como os resultados obtidos podem sanar as hipóteses descritas anteriormente nesse estudo de caso.

2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE O PROJETO

2.1 Beneficiamento do Granito no Século XXI

Os resíduos ou fragmentos estão na forma sólida, possuindo propriedades físicas distintas pois dependem do processo de sua geração, podendo apresentar-se em tamanhos e formas geométricas conhecidas de materiais de construção, ou em formas e tamanhos irregulares (ZORDAN, 2001).

Esses resíduos podem ser utilizados como agregados na fabricação de argamassas quando reciclados, pois seu desempenho é semelhante ou até melhor do que ao das argamassas existentes no mercado. Porém, após a moagem, o resíduo torna-se um material pulverulento que pode reagir com a cal para obter um ligante hidráulico nobre alternativo, também denominado cal pozolânica (FARIAS FILHO, 2007).

Se esses resíduos não forem tratados de maneira adequada, eles escoarão para rios, lagos e riachos, causando problemas de assoreamento e danos ao meio ambiente. No Brasil, existe uma grande quantidade de indústrias de beneficiamento de granito, responsáveis pela liberação de centenas de toneladas de resíduo por ano no meio ambiente. Isso porque o consumo médio por empresa da ordem de 10.000 l/dia de efluentes líquidos e gera cerca de 48.000 toneladas de resíduos sólidos por ano (SOUSA, 2007). Este quadro de desperdício é agravado ainda mais pelos indicativos de crescimento da produção, despertando a preocupação de ambientalistas e da comunidade em geral, em vista de um cenário ainda mais perigoso e danoso ao meio ambiente e à saúde da população (FARIAS FILHO, 2007).

Com intuito de diminuir a poluição ainda maior na natureza, antes de instalarem a máquina de corte os empresários fazem um reservatório com água e instalam esse aparelho em cima, para que ao cortar as chapas de granito, mármore ou industrializados o pó que poderia pairar no ar fique contido nesse local. Entretanto na junção de água e pó, surge um resíduo com aspecto denso.

O resíduo do beneficiamento do granito, também conhecido como lama, geralmente é constituído de pó de rochas, que corresponde a cerca de 20% a 25% do bloco beneficiado, além de outros constituintes como granalha metálica, cal e água (MONTEIRO *et al.*, 2004). A Figura 1 apresenta a lama formada através da mistura do pó e água:

Figura 1-Lama gerada no beneficiamento do granito.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Além disso, a poeira produzida pela lama seca pode causar danos à saúde humana, principalmente relacionados à silicose. Quando dispostos em sedimentos a céu aberto, esses resíduos podem afetar a estética da paisagem (FARIAS FILHO, 2007).

A dificuldade em avaliar a durabilidade dos materiais alternativos produzidos a partir de resíduos reciclados está relacionada à complexidade dos componentes desses resíduos, que dependem diretamente do ambiente de origem, do tipo ou processamento do material. Com relação a sua interação aos fatores ou mecanismos de degradação ambiental, estes serão submetidos à avaliação de indicadores de durabilidade (FARIAS FILHO, 2007).

2.1.1 Mármore

Compostos por calcita e/ou dolomita, os mármore são rochas metamórficas muito utilizadas em decorações sofisticadas, além disso, formam-se naturalmente e cada chapa extraída e lapidada apresenta formas diferentes. Os seus componentes denominam a sua coloração, entretanto seu padrão é definido pelos minerais e impurezas presentes nos seus componentes (FARIAS FILHO, 2007).

Quando comparado com o granito, o mármore é de baixa dureza, ou seja, apresenta mais porosidade e são mais sucessíveis a ação de ácidos sendo muitas vezes manchado.

2.1.2 Granitos

O granito, também conhecido como pedra natural, pode ser definido como rochas não calcárias que podem ser polidas e usadas como material de revestimento. Esse conceito inclui rochas de diferentes composições, que atendam às condições necessárias para o uso na construção civil (NITES, 1994).

No estudo das rochas ornamentais o granito se engloba na família das rochas silicáticas. Os minerais constituintes são: mica (biotite e moscovite), feldspato (ortoclase, sanidina e microclima) e quartzo. Ou seja, é o resultado da solidificação do magma a grandes profundidades.

As modificações de seus componentes minerais atribuem suas cores e texturas distintas as rochas. De extrema beleza, durabilidade e resistência esses materiais podem ser utilizados desde o piso à bancadas.

Por apresentar uma alta dureza, o granito dificilmente pode ser riscado, quebrado ou manchado.

2.1.3 Utilização das rochas ornamentais

Por terem suas principais características como a beleza, resistência e durabilidade, o mármore e o granito são bastante empregados nas obras de construção civil. A utilização dessas rochas não vem só de hoje, pois desde os primórdios, as civilizações antigas já empregavam-no na construção de pirâmides e outros edifícios arquitetônicos (HANIEH, 2014). Pode-se citar o período Romano e Idade Média, como um dos períodos que mais se observou essas rochas sendo utilizadas na construção dos monumentos com estrutura permanente (LOPES; MARTINS, 2012). Apesar de apresentar benefícios na sua empregabilidade estas rochas acarretam uma preocupação ambiental devido aos resíduos provenientes da indústria de beneficiamento de mármore e granito (ALIABDO, 2014).

Oliveira (2009) destaca o significativo volume de resíduos que são gerados na atividade de beneficiamento de rochas ornamentais, de 25% a 30% o total de resíduo gerado no processo. Com isso é possível entender que se não houver um descarte adequado

para essas sobras, ocorrerão inúmeros impactos ambientais que atuam negativamente no meio onde vivemos.

De acordo com Gazi (2012), a falta de gestão sustentável dos recursos e grandes quantidades de material de resíduos gerados em todas as etapas de produção estão entre os principais problemas neste setor. Portanto, os fornecedores dessas matérias primas causam bastantes impactos ambientais desde a extração até a entrega final do produto para o cliente.

2.1.4 Resíduos

Os processos de fabricação na construção civil, por sua natureza, geram muitos resíduos ao longo da cadeia produtiva. Desde a ocupação do solo, mineração, processamento de matérias-primas, construção e uso de estruturas, exploração de recursos, criação de ruínas, influência no ar, clima, água subterrânea, o solo, a paisagem, os animais, as plantas, etc. Esses efeitos são mais presentes em bairros de baixa renda ou em cidades dilapidadas. Porque a resultante desta operação é um grande desperdício de aspecto ambiental colaborando para a origem deste desequilíbrio (MESQUITA 2012).

Independentemente do tipo de resíduo, medidas de gerenciamento devem ser tomadas para reduzir o impacto no meio ambiente. Também visando minimizar custos e maximizar o uso de matérias-primas. Como parte dos esforços para melhorar a qualidade de vida e o conforto da população, a utilização de recursos recicláveis está se tornando cada vez mais frequente.

O atual modelo de desenvolvimento econômico é baseado no lucro e no consumismo. Dessa forma, buscamos utilizar os recursos naturais como matéria-prima para gerar lucros em escala cada vez maior de produção (DIAS, 2004).

No Brasil, a construção civil responde por cerca de 14% do PIB do país. A indústria também é uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais. Estima-se que 20-50% de todos os recursos naturais consumidos pela sociedade são usados na construção civil. Além da utilização de grande parte dos recursos naturais, esse setor ainda gera um volume de resíduos maior que 60% (MESQUITA, 2012). Pinto (2005) ainda afirma que anualmente cada pessoa é responsável por gerar de 163 kg à 300 kg de resíduos. A Resolução nº 307 do CONAMA, traz em seu art. 2º inciso I, o conceito de resíduos da construção civil, vejamos:

Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas,

metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc, comumente chamados de entulhos, caliça ou metralha (CONAMA,2002).

A quantidade de resíduos gerados pelas cidades brasileiras podem ser consideradas como um indicador de desperdício de materiais muito elevado. Os resíduos da indústria da construção variam de 41% à 70% da quantidade total de resíduos sólidos urbanos. Tendo em vista a grande quantidade de resíduos gerados, pode-se supor que o reaproveitamento desses materiais, pode suprir o desenvolvimento e construção de novos empreendimentos (MESQUITA 2012).

Apesar disso, o arranjo desses entulhos em muitas cidades do país é irregular, causando problemas para a decomposição e a limpeza pública, problemas para a sociedade como: contaminação do solo, contaminação de cursos de água, enchentes, dentre outros.

Por fim, existem várias definições sobre o que são resíduos, todavia o que fica evidente que as atividades desenvolvidas na construção civil e no beneficiamento do granito e mármore são fontes que geram bastante resíduos sólidos (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

Segundo a norma da ABNT NBR 10004 (ABNT, 2004a, p.13) definem-se resíduos como aqueles nos estados sólido e semissólido que:

Resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

De acordo com a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) a elaboração de planos de gerenciamento dos resíduos devem ser integrados ao sistema de gestão com vistas à melhoria dos processos produtivos e ao aproveitamento de resíduos sólidos. Devendo o produtor, agente público ou privado, ser o responsável pela destinação e reaproveitamento desses resíduos gerados. A lama abrasiva é uma mistura composta de água, granalha metálica de ferro e/ou aço, cal e rocha moída. Essa lama abrasiva é classificada, segundo a ABNT NBR 10004 (ABNT, 2004a), como resíduo Classe II B – inerte e não apresenta toxicidade (SILVA, 2019).

2.2 Impacto Ambiental e Resíduos Provenientes de Obras de Engenharia

Impactos ambientais são os resultados da atividade humanas que alteram de alguma forma o meio ambiente. Afetando diretamente o planeta, podendo ser impactos locais, como a poluição urbana do ar e água e a poluição do ar em ambientes fechados, podendo transformar esses estragos irreparáveis.

De acordo com a Resolução nº 001 do CONAMA, de 23 de janeiro de 1986, art. 1º p.636, Brasil, 1986) :

O impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA , 1986).

Com a utilização em larga escala das reservas naturais, é possível o esgotamento das mesmas e conseqüentemente agressões diretas ao meio-ambiente, pois quanto maior o desenvolvimento urbano, mais rápido se torna a necessidade de explorar essas matérias-primas.

A grande massa de resíduos sólidos produzidos nas grandes cidades contribui para a ocupação de grandes áreas destinadas a aterros para deposição destes resíduos (FARIAS FILHO, 2007), torna-se um grande problema devido às poucas áreas que sejam destinadas para a utilização desse fim. Portanto é essencial aperfeiçoarmos nossa gestão dos resíduos sólidos.

As médias e grandes cidades brasileiras não estão estruturadas para gerenciar o volume expressivo de resíduos e não podem mais adiar a busca de solução para os problemas acarretados (PINTO, 2000).

Os desperdícios gerados pelas indústrias de beneficiamento de granito juntamente com os resíduos domiciliares criam verdadeiras jazidas de matérias primas inutilizáveis e causam grandes danos ao meio-ambiente, a vida urbana e a economia. A Figura 2 apresenta um exemplo dos danos causados ao meio ambiente provocados pela deposição inadequada:

Figura 2- Impacto ambiental causado pelos resíduos dos cortes de granito..



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

A classificação dos resíduos é feita através das Normas da ABNT NBR 10004 (ABNT, 2004a), ABNT NBR 10005 (ABNT, 2004b), ABNT NBR 10006 (ABNT, 2004c) e ABNT NBR 10007 (ABNT, 2004d). A ABNT NBR 10004 (ABNT, 2004e), diz que a característica apresentada por um resíduo, que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, pode apresentar:

- a. Risco à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou incidência de doenças;
- b. Risco ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada.

Por isso antes que ocorra a destinação dos resíduos coletados, é necessária a triagem dos mesmos para a redução dos custos de locais destinados a receber os entulhos e a facilidade na possível reciclagem. A Resolução n° 307 do CONAMA, art.3°, classifica o RCD em:

Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis, com agregados compostos por diversos materiais de origem mineral, materiais estes a base de: cimento (blocos, concretos, argamassas); e cerâmicos (tijolos, telhas, etc.); rochas e solos entre outros.

Classe B: resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras, asfaltos e outros.

Classe C: resíduos sem tecnologia de reciclagem no Brasil, como o gesso.

Classe D: resíduos considerados perigosos, como: tintas, solventes, óleos entre outros. (CONAMA, 2002)

Em 1995, Caiado e Mendonça, fizeram um estudo sobre as indústrias de beneficiamento de granito do Espírito Santo, esses estudos foram comparados com bacias não impactadas e foi constatado que, essa prática contínua de mineração altera significativamente a qualidade dos recursos hídricos regionais. A Figura 3 apresenta amostras do impacto ambiental causado no processo de extração dos blocos e granitos e na deposição do resíduo produzido pela indústria no beneficiamento do granito.

Figura 3- Extração de blocos de granito.



Fonte: Mothé Filho (2001).

Os resíduos provenientes do beneficiamento (corte, polimento e acabamento) de granito e mármore pelas serrarias, em cerca de 200.000 t/ano, necessita de local adequado para armazenamento para evitarem-se assim maiores agressões ao meio-ambiente (MOTHÉ FILHO, 2001).

Ficou esclarecido, o quanto é necessário que se adote meios de reaproveitamento dos bens minerais descartados por essas indústrias, para assim reduzir a quantidade de materiais extraídos das jazidas e por consequência diminuir o impacto ambiental através da reutilização e reciclagem desses resíduos.

2.2.1 Cenário Atual dos Resíduos Descartados pelas Empresas de Beneficiamento de Granito

Na fabricação de peças com as rochas ornamentais, as marmorarias cortam, lixam e fazem polimentos para atender os tamanhos e modelos das peças solicitadas. Desta forma, os empresários desse setor são responsáveis por causar uma variedade de impactos, visto que para evitar trincas consequentes do superaquecimento das chapas de mármore e granitos, é necessário a utilização de água que ajuda a evitar esses problemas e minimizar a poeira oriunda desses cortes, a mistura de água e pó que resultam dessa operação torna-se uma lama bastante espessa. A quantidade de resíduos gerados é despejada no meio ambiente em sua forma inicial ou após desidratação em uma estação de tratamento (ALYAMAÇ; TUĞRUL, 2014).

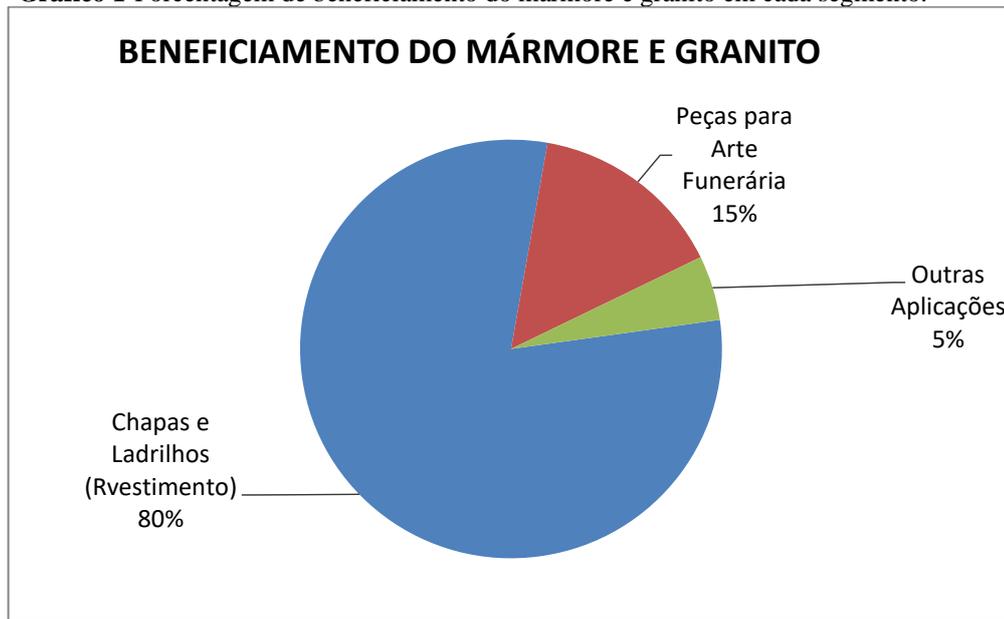
Para Almeida (2007) no processo de corte, polimento e acabamento os resíduos sólidos são representados por cacos descarregados em aterros, independentemente do uso potencial destes resíduos. A lama de mármore ou granito, quando não despejada em locais próximos das empresas, é destinada a aterros, o seu teor de água é totalmente reduzido e o pó de pedra, resulta em vários impactos ambientais.

Durante a produção destes materiais grandes quantidades de resíduos são geradas, tais como a poeira e a lama do mármore. O manuseio e descarte destes resíduos levantam graves problemas ambientais uma vez que eles contribuem para a acumulação e dispersão ocasionando a poluição do ar, da água e do solo (GALETAKIS, 2012).

2.2.1.1 Reciclagem dos Resíduos de Mármore e Granito

Cerca de 80% das explorações globais são transformados em revestimento, 15% para lápides funerais e 5% para outras aplicações (Filho e Rodrigues, apud FARIAS FILHO, 2007). Essa divisão do processamento de mármore e granitos mostra que esse resíduo é amplamente utilizado na construção civil, conforme mostrado no Gráfico 1.

Gráfico 1-Porcentagem de beneficiamento do mármore e granito em cada segmento.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

O processo de fabricação de blocos para a produção, produz uma quantidade significativa de resíduos na forma de lama. Esta lama é geralmente constituída por água, pó e cal moída. Calcário de alto forno pode substituir a cal moída (CALMON, 1997).

Cada vez mais os resíduos conhecidos como lamas resultantes da mistura do pó com a água dos reservatórios têm preocupado as autoridades ambientais e governantes devido à agressão direta no meio. Córregos, rios e lagos têm sido utilizados para descarte desse resíduo. Também não é rara a utilização de faixas de domínio das rodovias como local para descarte, colocando em risco os motoristas e passageiros que possam vir a sofrer acidentes nesses locais, pois essas áreas são transformadas em verdadeiro lagos movediços de “lama” (NEVES, 2002).

Estima-se que o desperdício no processo de mineração das pedras ornamentais chegue a 40% (monólitos fora das dimensões padronizadas, lascas e pó de pedra). Na serragem, as perdas podem chegar a 30% na forma de lama abrasiva (FARIAS FILHO, 2007). Outras perdas corriqueiras são por quebra de chapas, materiais trincados, erro de corte, sobras de corte de cubas e fogões do tipo cooktop ou semi-encaixe, cortes para tomada, furos para torneira e passagem de fios, dentre outros. O empresário entrevistado, explica as porcentagens de perdas durante a manufatura das peças:

Primeiramente ele levantou as seguintes porcentagens: “- As perdas na hora do corte das chapas para a fabricação dos projetos podem chegar a 5%, sendo que a maioria não utiliza mais para nada, logo o material fica exposto na fábrica, uma vez ou outra pagamos as caçambas de entulho e eles levam os materiais quando a fábrica está muito lotada de sobras.” (IGOR CALDAS, 2020, informação verbal).

Além das perdas de produção, muitas vezes na aplicação das pedras ornamentais na construção civil, nas montagens os materiais vão com medidas maiores para ajuste in loco e nesses ajustes há cortes também sendo fonte de sobra e desperdício. A Figura 4 apresenta uma amostra das perdas ocorridas no corte das chapas.

Figura 4-Desperdício causado no corte de chapas do granito



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

A utilização de resíduos de mármore e granito na fabricação de blocos cerâmicos não só permite maior aproveitamento dos recursos naturais, mas também promove o desenvolvimento social (BARROTE, 2000).

Moura (2006) também utilizou esses resíduos de corte na produção de rejuntas e revestimentos. Criando um traço de 1: 6 (cimento: areia), com substituição de 5% e 10% de areia por resíduo.

Eles observaram a consistência do material como fator de controle da ordem de 260 ± 10 mm. O efeito do sedimento foi confirmado pela medição da resistência à compressão axial nos dias 3, 7 e 28.

Concluíram que obtiveram melhores resultados com uma substituição de 10% onde a resistência à compressão da argamassa residual foi superior à resistência à compressão da argamassa convencional. Moura (2006) utilizou também o resíduo do corte de blocos de mármore e granito, para a fabricação de argamassas de revestimento e na produção de lajotas para piso. Produziram argamassas com o traço 1:6 (cimento: areia) em massa, com substituições de 5% e 10% da massa de areia por resíduo. Observavam a consistência do material como o

fator de controle, estando na faixa de 260 ± 10 mm. Para a verificação da influência do resíduo foi medida através da resistência à compressão axial a 3, 7 e 28 dias. Concluíram que a resistência à compressão das argamassas feitas com o resíduo foi maior do que a resistência da argamassa convencional, com melhores resultados quando a substituição foi de 10%.

Neves (1999), também estudou a probabilidade do uso desses resíduos na produção de elementos construtivos cerâmicos (tijolos e blocos), obtendo resultados satisfatórios.

Pode-se observar que cada vez mais, as indústrias de mineração, principalmente as de beneficiamento de rochas ornamentais, estão como uma das maiores fontes de poluição para a natureza, pois a maior parte desses resíduos é depositada a céu aberto e sem prévio tratamento que elimine ou pelo menos reduza os poluentes, que promovem graves danos ao meio-ambiente. Desta forma torna-se de preocupação pública um melhor aproveitamento.

Em 2003, D'Agostino e Soares, fizeram a classificação de dois tipos de material arenoso e avaliaram o comportamento de argamassas preparadas com estas areias tomando como parâmetro a resistência à compressão simples. As areias, de origens distintas: I) natural - do leito de rio; II) resultante da britagem de rocha gnaisse-granítica. Chegaram ao resultado que a argamassa preparada com areia da britagem, após 90 dias, mostrou maior resistência à compressão simples, superando em duas vezes mais a argamassa feita com a areia natural. Pode-se logo avaliar que a areia da britagem oferece maior qualidade na fabricação de argamassas.

Feitosa (2004) desenvolveu um estudo para utilizar resíduos de serragem de granito na fabricação de blocos de concreto. Ele usou um substituto parcial para a quantidade total de areia nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20%. Para avaliar o comportamento, ele tomou os parâmetros de resistência à compressão e absorção simples de água em imersão. Os resultados que obteve mostraram que o resíduo de serragem de granito era tratável. Isso indica que os blocos produzidos pela combinação desse resíduo apresentam valores de resistência à compressão melhores do que os produzidos com a mistura convencional (FARIAS FILHO, 2007).

Conforme estudos dos autores citados e com a atual economia, o reaproveitamento desse resíduo pode vir a contribuir para a diversidade dos produtos, trazendo inovações no mercado da construção civil e redução nos custos finais. Torna-se fundamental a realização de estudos que visam o aproveitamento desses materiais como substituição das matérias-primas não renováveis.

2.3 Argamassa

A mistura composta por cimento, areia, cal hidratada e água, é conhecida como argamassa, mas conforme a influência de características regionais e projetos de pesquisa outros materiais têm sido utilizados na sua composição.

Segundo a ABNT NBR 13281 (ABNT, 2001), as argamassas utilizadas nas construções civis são uma mistura homogênea de agregados inorgânicos e água, podendo conter ou não nessa mistura aditivos e adições contendo propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou instalações próprias.

Maciel (1998), afirma que as funções do revestimento em argamassa são: proteger os elementos de vedação de agentes agressivos; auxiliar os elementos de vedação em suas funções, como isolamento térmico e acústico e estanqueidade à água e aos gases; regularizar a superfície como base regular para os próximos acabamentos; colaborar para a estética.

A escolha ideal da argamassa a ser utilizada deve ser feita desde o projeto, pois logo no início podemos considerar todos os fatores que interferem seja direta ou indiretamente em todo o processo de revestimentos ou assentamentos, desde o planejamento até a sua aplicação e utilização (CEOTTO, 2005).

A ABNT NBR 13749 (ABNT, 2013a) prescreve que o revestimento de argamassa deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições, tais como: cavidades, fissuras, manchas e eflorescência, devendo ser prevista na especificação de projeto a aceitação ou rejeição, conforme níveis de tolerâncias admitidas.

A argamassa serve para dois propósitos práticos, além de unir e ser esteticamente agradável ela impede a infiltração de umidade dentro da estrutura ou debaixo do chão e também impede que o ar entre na estrutura (SANTOS, 2012).

2.3.1 Classificação das Argamassas

a. Classificação dos aglomerantes e sua natureza

Em uma obra de construção civil, surgem certas dúvidas quanto ao tipo de argamassa que deve ser empregado e muitas vezes a escolha errada gera problemas futuros, como deslocamento de uma peça cerâmica.

A ABNT NBR 13529 (ABNT, 2013b) classifica as argamassas quanto à natureza e à quantidade de aglomerantes:

- a) Argamassa de cal: argamassa preparada com cal, sendo ele o único aglomerante;
- b) Argamassa de cimento: argamassa preparada com cimento, sendo ele o único aglomerante;
- c) Argamassa mista: argamassa preparada com mais de um aglomerante;
- d) Argamassa de cimento e cal: argamassa mista preparada com cimento e cal como aglomerantes.

b. Funções para revestimento

A ABNT NBR 13529 (ABNT, 2013b) classifica as argamassas para revestimento de:

- a) Chapisco: uniformiza a superfície e melhora a aderência do revestimento;
- b) Emboço: cobre e regulariza a base ou chapisco, para receber a próxima camada de revestimento final;
- c) Reboco: camada de revestimento executada para cobrir o emboço;
- d) Acabamento decorativo: revestimento aplicado sobre o revestimento de argamassa, podendo ser pintura, cerâmica, papel, etc.

c. Preparo

A ABNT NBR 13529 (ABNT, 2013b) classifica as argamassas quanto às condições de fornecimento ou preparo:

- Argamassa dosada em central: argamassa simples ou mista, os materiais são medidos em massa;
- Argamassa dosada em obra: argamassa simples ou mista, cujos materiais são medidos em massa ou em volume na própria obra;
- Argamassa dosada industrializada: produto industrializado de dosagem controlada, com aglomerante de origem mineral, agregado miúdo e aditivos e adições, sendo adicionada pelo usuário apenas a quantidade de água recomendada pelo fabricante;
- Mistura semi pronta para argamassa: mistura fornecida ensacada ou a granel, sendo adicionada na obra aglomerante, água e aditivos.

A ABNT NBR 13529 (ABNT, 2013b) também esclarece que as argamassas industrializadas provenientes da dosagem controlada, em instalações próprias (indústrias), de aglomerante(s), agregado(s), e eventualmente, aditivo(s), em estado seco e homogêneo, compondo uma mistura seca a qual o usuário somente adiciona a quantidade de água requerida para proceder à mistura. Agora as argamassas que são preparadas em obras, são aquelas em que a medição e a mistura de materiais ocorrem no próprio canteiro de obras. Medem-se os materiais em volume e massa e podem ser compostos por mais de um aglomerante.

A argamassa industrializada é fornecida através de sacos com o pó dentro, que quando incorporados com água tornam-se a mistura que é utilizada em revestimentos e assentamentos. Os ingredientes dessas argamassas podem se apresentar na forma de um ou mais aglomerantes, material inerte além de outros aditivos para permitir maior ancoragem mecânica

e química (ALVES, 2006). Pode haver também a possibilidade de argamassas fornecidas em silos onde a medição é mecanizada e o equipamento de mistura pode ser acoplado no próprio silo ou em outro equipamento que se encontrará nos pavimentos da construção onde se efetuará a mistura. Os equipamentos são especificamente para esse sistema de mistura (FERREIRA, 2016).

Outra possibilidade é a compra de argamassas dosadas em central, que atendem a todos os parâmetros de qualidade dos materiais usados para a medição e chegando ao local que serão utilizadas em caminhões betoneira.

No Brasil já existiram, no passado, argamassas dosadas em central com adições escória de alto forno, pozolana, e mesmo filler calcário, com aditivos plastificantes, incorporadores de ar, e redutores d'água, para usos específicos (FERREIRA, 2016).

2.3.2 Componentes da Argamassa

a. Cimento

O cimento Portland é caracterizado como sendo um pó fino de origem mineral originado da calcinação de misturas de argila e calcário submetidas à alta temperatura, denominadas “clínquer” mais adições. Sendo que as adições mais comuns são: escória de alto-forno, matérias pozolânicos, gesso e materiais carbonáticos (FERREIRA, 2016).

O cimento é utilizado nas argamassas por sua capacidade de endurecimento, por ser um aglomerante hidráulico o mesmo endurece em contato com a água. Além disso, confere resistência e aderência a argamassas (DUBAJ, 2000).

A composição química do cimento é a maior responsável por seu comportamento, mas a finura do material também é importante. Quanto maior a finura do cimento maior sua capacidade aglutinante e com isso há um aumento de sua resistência, além de ajudar em uma melhor retenção de água. O cimento ideal para argamassas deve apresentar à pega, e ganho de resistência gradativo para não sofrer fissuras devido à retração hidráulica e a secagem (COSTA, 2016).

No mercado brasileiro podem-se encontrar diversos tipos de cimento Portland, diferentes na sua composição, isso porque para cada tipo de obra, existe um tipo adequado de cimento a ser empregado. Este material é responsável por fazer ligação das partículas soltas e pelas suas propriedades mecânicas, sendo um dos principais aglomerantes na fabricação de

argamassas. Maccari (2010) afirma que é necessária uma data recente de fabricação e que as qualidades do cimento estejam bem descritas na embalagem.

Os principais materiais que constituem o cimento Portland são: Cal (CaO) , Sílica (SiO₂), Alumínia (Al₂O₃) ,uma determinada proporção de magnésia (MgO) e uma pequena proporção de anidrido sulfúrico (SO₃), que quando adicionados após a calcinação retardam o tempo de pega do produto (YAZIGI, 2002).

Segundo o Manual de Revestimentos da ABCP (2002) o cimento contribui para a resistência mecânica do revestimento, ajuda na retenção de água, na plasticidade o que se deve à composição for partículas finas e também melhora a aderência a base, porém quanto maior a quantidade de cimento maior será a retração.

Ribeiro (2002) listou os principais tipos de cimento Portland como:

- c. Cimento Portland Comum – CP I;
- d. Cimento Portland Composto – CP II (com adições de escória de alto forno, pozolana e filler);
- e. Cimento Portland de Alto-Forno – CP III (com adição de escória de alto-forno, apresentando baixo calor de hidratação);
- f. Cimento Portland Pozolânico – CP IV (com adição de pozolana, apresentando baixo calor de hidratação);
- g. Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – CP V (com maiores proporções de silicato tricálcico, C₃S, que lhe confere alta resistência inicial e alto calor de hidratação).

Souza (1996) afirma que a escolha do tipo de cimento depende do que se deseja em relação ao tempo de desforma, a cura do concreto ou da argamassa e às necessidades de resistência mecânica e química. Em usos comuns geralmente pode-se fazer uso dos cimentos CP I , CP II, CP III OU CP IV. Já para o uso dos cimentos CP III (alto forno) e CP IV (pozolânico) deve-se verificar se o tempo de início e fim de pega não afeta o serviço em questão. “Usualmente utilizam-se para confecção de argamassas Cimento Portland CP II Z (com adição de material pozolânico) e o CP II F (com adição de material carbonático – filler).” (SILVA, 2006, p. 11).

b. Areia (agregado miúdo)

O agregado miúdo ou areia é um dos materiais que constituem a fabricação das argamassas. Segundo Carvalho Júnior (2005) o principal agregado usado para fabricação de

argamassa é a areia natural, material constituído essencialmente de quartzo, podem ser originários de rios, cava e britagem.

Maciel (1998) destaca os principais aspectos a serem considerados na escolha da areia: composição mineralógica e granulométrica; dimensões do agregado; forma e rugosidade superficial dos grãos; massa unitária; inchamento; comportamento da argamassa com a areia; manutenção das características da areia. Dessa forma, poderão ser evitadas deficiências na curva granulométrica.

c. Aditivos

Os aditivos são definidos pela ABNT NBR 13529 (ABNT, 2013b) como produto adicionado à argamassa em pequena quantidade para melhorar uma ou mais propriedades nos estados fresco ou endurecido.

Podem-se destacar como principais aditivos para argamassas:

- Redutores de água;
- Incorporador de ar que melhora a trabalhabilidade;
- Retardador de pega;
- Aumentador de aderência;
- Hidrofugante que reduz a absorção de água por capilaridade.

d. Água

O uso da água na fabricação de argamassa está ligado a necessidade da ativação do cimento Portland, por ser o material responsável pela regulagem da trabalhabilidade da massa e atender os traços especificados nas normas para cada serviço.

A água potável é considerada pela maioria dos profissionais como a melhor para a elaboração de produtos que utilizando o cimento Portland, isso porque as águas que contenham algum resíduo podem acabar atrapalhando e desencaminhando a mistura.

2.3.3 Granulometria

A granulometria é critério mais analisado dos agregados, pois somente com os valores obtidos através dela é que podemos saber a influência, a compacidade e a resistência

que irá sofrer dos esforços mecânicos. Antes assim que começaram, a fazer as primeiras análises sobre a granulometria ótima, Basílio (1995), demonstrou que a máxima compacidade não era conseguida através de uma granulometria ótima e sim descontínua, ou seja, grãos finos e grossos, onde eram desprovidos dos médios. Porém os grãos descontínuos acarretavam problemas com a trabalhabilidade do material, sendo exigida maior energia de vibração para que o adensamento fosse adequado. Na mesma pesquisa Basílio (1995), mostrou que a granulometria ótima corresponderia a uma granulometria contínua e Lobo Carneiro (1995) por sua vez, afirmou que ela variava com a proporção cimento/agregado. A granulometria ótima será aquela que, para uma mesma consistência e a mesma relação água/cimento, gere um consumo mínimo de cimento (BASÍLIO, 1995).

De acordo com Basílio (1995), na fração fina do agregado, é especialmente onde se tem que atuar para se obter uma mistura mais econômica e de uma melhor qualidade. Já Rodrigues (1984) afirma que, devido à sua elevada área específica, qualquer alteração do teor de areia poderá provocar alterações significativas no consumo de água e, conseqüentemente, no de cimento. De uma forma geral, Carneiro e Cincotto (1997), concluem que a heterogeneidade granulométrica da areia, mostra-se positiva, pois a mesma permite que os vazios sejam completamente preenchidos e por conseqüência utiliza-se menos argamassa chegando assim a uma economia.

Um agregado possui várias características, para isso torna-se necessário conhecermos as parcelas que constituem cada grão e quanto de diâmetro tem cada um. Essas características são expressas em função da massa total do agregado.

A proporção relativa encontrada em forma de porcentagem (%) em cada grão de determinado agregado, influência sobre a qualidade das argamassas, pois elas agem com compacidade e atuam também sobre a resistência. O ensaio granulométrico é importante também, pois ele determina a textura do solo, ou seja, solos grossos são melhores para utilização em pavimentação, já os finos o diâmetro pode intervir no seu desempenho. Logo, com esse ensaio podemos obter a curva granulométrica de cada grão, modelo de finura e o diâmetro de cada agregado, sendo assim com as informações obtidas, seria otimizado a qualidade final da argamassa. Segundo a ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003), o módulo de finura de determinado agregado nada mais é, que a soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras de série normal, dividida por 100. A ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009), que trata de agregados para o concreto e argamassa, classifica as areias em quatro faixas, denominadas muito fina, fina, média e grossa. Essas faixas de classificação se diversificam pelas diferentes porcentagens de tamanhos dos grãos.

Para sua utilização adequada, a ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009), estabelece uma curva granulométrica que se desenvolve entre os limites inferior e superior que são responsáveis por definir os fusos granulométricos.

No Quadro 1 da ABNT NBR 7211(ABNT, 2009), expressa os limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo, variando entre:

Quadro 1-Granulometria Agregado Miúdo.

PENEIRA COM ABERTURA DE MALHA (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	PORCENTAGEM, EM MASSA RETIDA ACUMULADA			
	LIMITES INFERIORES		LIMITES SUPERIORES	
	ZONA UTILIZÁVEL	ZONA ÓTIMA	ZONA ÓTIMA	ZONA UTILIZÁVEL
9,5mm	0	0	0	0
6,3mm	0	0	0	7
4,75mm	0	0	5	10
2,36mm	0	10	20	25
1,18mm	5	20	30	50
600µm	15	35	55	70
300µm	50	65	85	95
150µm	85	90	95	100
NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.				
NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.				
NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.				

Fonte: ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009).

Assim pode concluir que a distribuição granulométrica influencia diretamente na trabalhabilidade do concreto fresco. Pois se utilizar uma alta porcentagem do agregado miúdo de 0,15mm, conseqüentemente terá que utilizar mais água para o amassamento, tornando a mistura mais onerosa. Ainda se utilizar o material mais fino, inferior a 0,075mm, terá um material ainda mais oneroso, pois os grãos misturam-se com o concreto de uma forma que causa a descontinuidade da argamassa e diminui a sua resistência.

a. Massa Específica e o teor de ar incorporado

A massa específica do material pode ser absoluta ou relativa. O valor da massa específica é obtido pela relação da massa pelo volume do material, sendo que para cálculo da massa absoluta não são considerados os vazios do material, já na específica relativa também denominada unitária os vazios são considerados no cálculo (BAIA E SABBATINI, 2008).

O teor de ar incorporado é o quanto de ar existe em determinado volume de amostra do material. Ao aumentar o teor de ar de uma argamassa conseqüentemente a massa específica

da mesma diminui, o que pode ser bom até certo ponto, depois este aumento pode causar perda de resistência mecânica e aderência da argamassa (COSTA,2016).

A massa específica e o teor de ar são responsáveis por melhorar a trabalhabilidade das argamassas, portanto quanto maior o teor de ar incorporado menor a massa específica da argamassa. Quanto maior a massa específica menor e mais fácil de trabalhar com a argamassa, pois ao reduzir o esforço do operário, sobra mais tempo para o mesmo fazer outras atividades, logo gera mais produtividade (CARASEK, 2007).

b) Trabalhabilidade

Segundos os autores Baia e Sabbatini (2008), a trabalhabilidade das argamassas pode ser definida como:

A trabalhabilidade é uma propriedade de avaliação qualitativa. Uma argamassa para revestimentos é considerada trabalhável quando:

Deixa penetrar facilmente a colher de pedreiro sem ser fluida;
Mantém coesa ao ser transportada, mas não adere a colher ao ser lançada;
Distribui-se facilmente e preenche todas as reentrâncias da base;
Não endurece rapidamente quando aplicada. (BAIA E SABBATINI, 2008, pg 16).

A trabalhabilidade garante tanto uma boa execução do revestimento quanto um bom desempenho do mesmo. Onde deve ser ajustada ao modo que a argamassa será aplicada. Este ajuste torna-se importante já que algumas propriedades no estado endurecido dependem da aplicação da argamassa com boa trabalhabilidade no estado fresco, uma destas propriedades é a aderência (COSTA, 2016).

c. Retenção de água

A retenção de água é a propriedade das argamassas de conter a perda de água para a superfície de aplicação e para o ambiente. Uma argamassa com boa retenção de água retarda o endurecimento da mesma, o que é de suma importância em questões de aderência, capacidade de absorver deformações, resistência mecânica entre outros. Os principais fatores que influenciam na retenção de água são os tipos de materiais utilizados e a dosagem de cada um deles. Esta propriedade pode ser melhorada com a adição de cal ou de outros aditivos (COSTA, 2016).

d. Materiais Nocivos à Argamassa

A presença de substâncias contaminantes pode prejudicar a argamassa, causando desprendimentos de cerâmicas, porcelanatos, entre outros. É importante se livrar de impurezas, fazendo uma limpeza cuidadosa retirando restos de materiais corrosivos, tintas, eflorescências, principalmente se for utilizar a argamassa para aderência superficial.

Além disso, devemos nos atentar à presença de sais solúveis e sulfatos que podem estar contidos nos suportes.

3 METODOLOGIA

Esse estudo teve a sua criação moldada através da metodologia de pesquisa, baseada em estudos experimentais, que analisou corpos de prova, visando descobrir se suas propriedades mecânicas da argamassa sustentável é melhor ou igual o da argamassa presente no mercado.

Logo, foram analisadas as frações de amostras do mesmo material elaboradas em laboratório, com o objetivo de alcançar uma argamassa adequada. Além disso, utilizou-se revisões bibliográficas através de livros, artigos, monografias, dissertações, teses e normas que continham informações pertinentes a esta pesquisa, para fundamentar, complementar e reafirmar os estudos realizados em laboratório.

3.1 Tipo de Pesquisa

A pesquisa é como um processo de fabricação do conhecimento, como procedimento de aprendizagem, sendo parte integrante de todo processo reconstrutivo de conhecimento (DEMO, 1994). Com a aplicação desse conhecimento desse conhecimento, torna-se favorável a compreensão de uma determinada área de estudo, ou seja, a pesquisa nada mais é que a análise de uma construção científica que permite ao leitor melhor compreensão das explicações e o emprego de arcabouços que incluem pressupostos metodológicos e filosóficos (LLOYD, 1995).

Quando a finalidade dessa pesquisa a mesma caracteriza-se como aplicada, tendo em vista que seu objetivo possui uma abordagem explicativa, por ter como interesse explicar a utilização do pó de granito como substituição parcial do agregado miúdo, na fabricação de argamassas, observando as circunstâncias do seu uso. Sobre o objeto de estudo, compreende uma pesquisa realizada em laboratório por conta da necessidade da realização de ensaios que atestem o bom desempenho da substituição com intuito de melhorar as propriedades da argamassa em estudo. O meio técnico praticado é uma estrutura de pesquisa experimental, que representa um desenvolvimento de traços para a substituição adequada do agregado, que alcance as suas características singulares como boa resistência.

3.2 Local de Estudo

O desenvolvimento do projeto foi através de ensaios experimentais laboratoriais, para obtenção de resultados que comprovaram se o projeto foi satisfatório ou não para o crescimento das inovações civis, sendo desenvolvidos no Laboratório de Ensaio de Materiais/UNDB.

3.3 Coleta de Materiais

Os resíduos foram coletados em uma marmoraria na cidade de São Luís – MA, de onde obtive o material oriundo do corte da fabricação das peças fabricadas pela empresa, acondicionada em recipientes fechados.

A empresa I J F CALDAS, com sede em São Luís – MA, autorizou a utilização de seus resíduos para que fossem desenvolvidos corpos de prova com diferentes traços, a fim de solucionar os entulhos e poluição causados pelo pó derivados dos cortes das chapas de granitos e mármore.

Já os outros materiais, foram comprados em depósito, o cimento foi o CP- IV RS 32, areia média natural, água fornecida pela CAEMA, a fim de tornar o mais próximo possível da fabricação da argamassa no canteiro de obras.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse estudo teve a sua criação moldada através de análises de amostras de argamassas fabricadas com agregados miúdos comuns e a sua substituição pelo pó de granito que foi coletado para o presente estudo de caso. Os dados foram alcançados a partir dos ensaios executados em laboratório, visando analisar as propriedades mecânicas da argamassa após seu tempo de cura.

4.1 Materiais

Os materiais utilizados para o desenvolvimento da pesquisa foram: câmera para o registro fotográfico das amostras e ensaios realizados, também foram utilizados cimento CP IV, areia natural, água e pó oriundo da produção de cortes de mármore e granitos. Além disso, houve a utilização de utensílios de um laboratório de solo. Por fim se utilizou também de prensas mecânicas para medição de resistência dos corpos de provas modelados para estudo (ensaio de compressão). A fim de obtermos ao final a comparação dos diferentes corpos de prova.

4.2 Análise de Dados

O enfoque do projeto foi na análise do produto obtido através da mistura do pó do granito com os outros materiais na produção da argamassa. Os ensaios realizados neste estudo para alcançar os objetivos desejados foram: Quarteamento do material se baseando na ABNT NBR 16915 (ABNT, 2021); Ensaio de granulometria de agregados miúdos por meio de peneiramento de acordo com as ABNT NBR NM ISSO 2395 (ABNT, 1997) e ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003); A caracterização granulométrica da areia e do resíduo de granito realizada com base na ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009); A massa específica do resíduo e da areia natural média e Ensaio de Compressão Simples regido pela ABNT NBR 12253 (ABNT, 2012).

Após a realização dos ensaios citados, os resultados serão obtidos de maneira positiva ou não do objeto de estudo, onde serão descritos com o intuito de comprovar a eficiência da pesquisa ou, se caso os resultados não forem satisfatórios, buscar compreender e esclarece-los.

4.3 Caracterização dos Materiais

4.3.1 Informações do cimento

O cimento escolhido para a realização desse projeto foi o CP IV – 32 RS possui na sua composição de 15% a 50% de pozolana. Por ser resistente a sulfatos e por possuir baixo calor de hidratação, tornou-se bastante recomendável para climas mais quentes, ou cidades que não tenham um clima bem definido. Como esse estudo utilizou resíduos que possuem granito, mármore e industrializados (quartzos), que embora pouco, mas que possuem agregados reativos tornou-se a melhor escolha.

Por sua composição conter pozolana, podem ser expostos a ambientes de agregados reativos e que tenham ataque ácido, em especial por sulfatos. Em consequência sua resistência nas primeiras idades é baixa, sendo não recomendado na utilização de argamassa armada. Entretanto, é muito eficiente para a fabricação de argamassas de assentamento e revestimento.

A ABNT NBR 16697 (ABNT, 2018a), nos descreve os requisitos para a utilização de cada cimento. No Quadro 2 , podemos visualizar os requisitos físicos e mecânicos:

Quadro 2-Requisitos físicos e mecânicos.

SIGLA ^a	CLASSE	FINURA	TEMPO DE INÍCIO DE PEGADA (min)	EXPANSIBILIDADE A QUENTE (mm)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)				ÍNDICE DE BRANCURA
		RESISTÊNCIA NA PENEIRA 75 µm (%)			1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	
CP I	25	≤12,0	≥60	≤5	-	≥8	≥15	≥25	-
CP I-S	32	≤12,0	≥60	≤5	-	≥10	≥20	≥32	-
CP II-E CP III-Z	40	≤10,0	≥60	≤5	-	≥15	≥25	≥40	-
CP III	25	≤8,0	≥60	≤5	-	≥8	≥15	≥25	-
CP IV	32	≤8,0	≥60	≤5	-	≥10	≥20	≥32	-
	40	≤8,0	≥60	≤5	-	≥12	≥23	≥40	-
CP V	ARI	≤6,0	≥60	≤5	≥14	≥24	≥34	-	-
CPB ESTRUTURAL	25	≤12 ^b	≥60	≤5	-	≥8	≥15	≥25	-
	32	≤12 ^b	≥60	≤5	-	≥10	≥20	≥32	-
	40	≤12 ^b	≥60	≤5	-	≥15	≥25	≥40	≥78
CPB NÃO ESTRUTURAL	-	≤12,0 ^b	≥60	≤5	-	≥5	≥7	≥10	≥ 82

^a Requisitos aplicáveis também aos cimentos resistentes a sulfatos e de baixo calor de hidratação, identificados por sua sigla seguida do sulfato RS ou BC, respectivamente.

^b Resíduo na peneira 45µm.

Fonte: NBR 16697 (ABNT, 2018a).

Por fim, a escolha do CP IV – 32 RS se deu pela facilidade de encontra-lo no mercado, pelo clima da cidade não ser bem definido e por ser uma ilha e o vento nos trazer a maresia, o cimento resistente a sulfato vai contribuir para a diminuição de possíveis patologias.

4.3.2 Quarteamento e separação de material para teste de umidade

O método do quarteamento abrangeu a redução das quantidades de amostras dos agregados elevados, para um tamanho próprio para os testes feitos no laboratório. Isso se dá, pois foi utilizada a técnica com a finalidade de obter embora em pequena quantidade, uma variação de diâmetros e minerais distintos em cada parte da amostra.

Para ser possível a realização deste teste foi pego 3 kg da amostra de cada agregado miúdo (Figura 5).

Figura 5-Foto montagem de amostras sendo pesadas para o quarteamento



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Após pesagem do material foi colocado em uma bandeja e feito o quarteamento do material (Figura 6).

Figura 6- Foto montagem do processo de quarteamento dos agregados.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

O material foi devidamente dividido em quatro partes para o recolhimento de um pouco de cada quarto da amostra. Esse método foi importante para a pesquisa, pois o mesmo tende reduzir uma porção grande da amostra presente no campo, para a análise dele no teste laboratorial.

O material foi dividido e selecionado uma porção de cada quadrado até obtermos 1 kg das amostras (Figura 7).

Figura 7- Pesagem da amostra retirada do quarteamento.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Após a pesagem da quantidade do material desejado, molhamos as amostras e em seguida retiramos a água desnecessária (Figura 8).

Figura 8-Foto montagem da preparação da amostra.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Com os materiais úmidos, mas não encharcados, foi colocado em uma bandeja para secar ao ar livre e ser possível a análise dos futuros ensaios (Figura 9).

Figura 9-Foto montagem da secagem de amostras.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Ao percorrer dos dias, era observado a olho nu, se a amostra estava realmente seca, para ser feito o teste, após a verificação do material aparentemente seco, foi feito o teste para constatar essa possível afirmação (Figura 10).

Figura 10-Foto montagem do teste para amostra seca.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Para o teste do material seco foi utilizado o tronco cone pequeno, cada vez que era colocado uma camada, era aplicado 12 golpes, ao todo foram 3 camadas e 36 golpes no material seco.

4.3.3 Ensaio de granulometria por peneiramento

A realização do ensaio de granulometria por peneiramento teve como base a ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003), sendo realizados com os agregados miúdos, grãos que passam pela peneira 4,75mm e ficam retidos na peneira de 150 μ m, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010).

Figura11- Material na estufa



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Conforme descrito na ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003), para determinarmos a composição granulométrica dos agregados, colocamos 4 kg em estufa para tirar toda umidade

dos materiais, logo após é feito a pesagem a fim de fazermos a subtração e ver quanto tivemos de perda, logo sendo possível determinarmos m1 e m2.

Figura 12-Foto montagem da pesagem de amostras após secagem em estufa



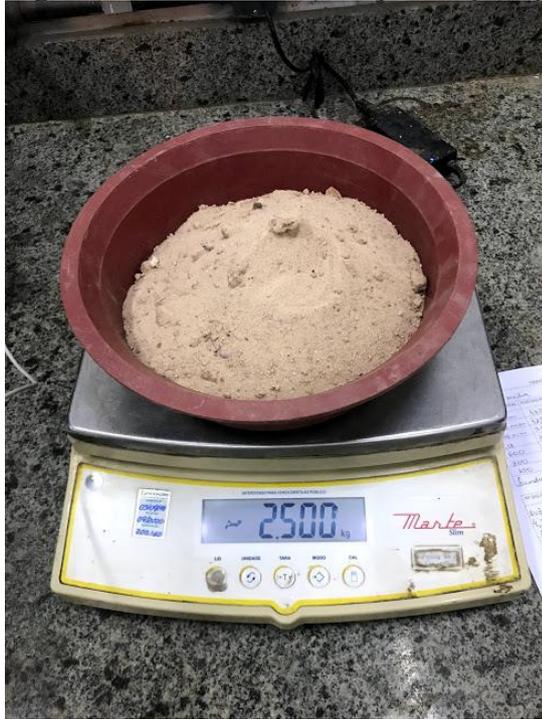
Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Amostras com seus respectivos pesos após secagem na estufa. Logo após foi retirado 2,5 kg para o peneiramento das amostras.

4.3.4 Peneiramento Agregado Miúdo

Para o peneiramento fino foram tomados 2,5 kg do material de amostra. Onde o mesmo foi secado na estufa com 105°C por 24 horas, conforme ABNT NBR 7181 (ABNT, 2016). Após isso o material esfriou ao ar livre e foi passado no conjunto de peneiras que correspondem às malhas 6,3mm; 4,75mm; 2,36mm; 1,18mm; 0,6mm; 0,3mm; 0,15mm, com fundo coletor.

Figura 13-Amostra sendo separada para peneiramento.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Pesagem de material seco em estufa, para ser passado nas peneiras.

Figura 14-Foto montagem do peneiramento de agregado miúdo.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Materiais sendo colocados na peneira para a vibração.

Figura 15- Materiais passando pela vibração.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Conforme ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003) realizou-se o ensaio de composição granulométrica dos agregados, sendo possível pesarmos a quantidade retida de cada material para a obtenção do módulo de finura.

Figura 16-Foto montagem de alguns materiais retidos após vibração.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Após a vibração, é pesada cada peneira e no final é calculado o modulo de finura.

Equação 1 – Módulo de Finura

$$Mf = \frac{\sum \text{Retido Acumulado (\%)}}{100}$$

Onde,

Mf – Módulo de Finura

\sum Retido Acumulado (%) – Somatório do agregado retido acumulado em porcentagem

4.3.5 Ensaio de umidade da areia média e do resíduo (pó de granito)

Após a granulometria dos agregados miúdos, fez-se necessário o teste de umidade dos agregados, que nada mais é que a relação da massa de água existente no agregado e sua massa seca, que é expressa em porcentagem. Na Figura 17 é observado um esquema dos agregados e suas condições de umidade.

Figura 17- Condições da umidade dos agregados.



Fonte: Seminário de iniciação científica (2011).

Nesta presente pesquisa foi empregado o agregado seco em estufa. Por ser uma pesquisa exploratória é necessário uma potencialização nos métodos utilizados. Logo, quando o agregado é seco em estufa, toda a água presente na amostra, é evaporada, quer seja umidade na superfície externa ou umidade interna.

A areia média utilizada e o resíduo foram avaliados no laboratório, apresentando sua caracterização. Para a determinação da umidade do agregado miúdo, está pesquisa se baseou em dois métodos: Frasco de Chapman e Estufa sendo o de estufa o método de referência. Por existir uma relação entre umidade do agregado e seu inchamento. Podemos afirmar que o inchamento nada mais é que a diferença do aumento de volume da areia seca ao molhada.

O método de Chapman (ABNT NBR 9775, 2011a) consistiu na coleta de duas amostras de areia média e resíduo do granito de 500g, não observa-se o passo a passo da pesagem de material e a amostra sendo colocada no frasco, para o seguinte método começar a ser feito.

Figura 18-Foto montagem do teor de umidade utilizando o método de Chapman.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

As imagens acima mostram o primeiro processo deste teste. Após a colocação da água no frasco, foi necessária a agitação do frasco para eliminar os vazios, como mostra na Figura 19, após o repouso da amostra foi feita a leitura do nível atingido pela água. Em seguida repetimos a amostra e tiramos a média.

Figura 19– Foto montagem das amostras em repouso e pesagem para ver o inchamento dos agregados.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Entretanto, pelo método da estufa (ABNT NBR 9939, 2011b) ser considerado o método mais preciso, foi coletado amostra dos agregados, pesados e colocados na estufa em uma temperatura de 105°C durante 24 horas, calculando a diferença do peso total e do peso seco, utilizando a seguinte fórmula:

Equação 2 - Peso da Amostra

$$Pa = Pt - Ps$$

Onde, a diferença desses pesos, foi aplicada na fórmula 2:

Equação 3 - Teor de Umidade

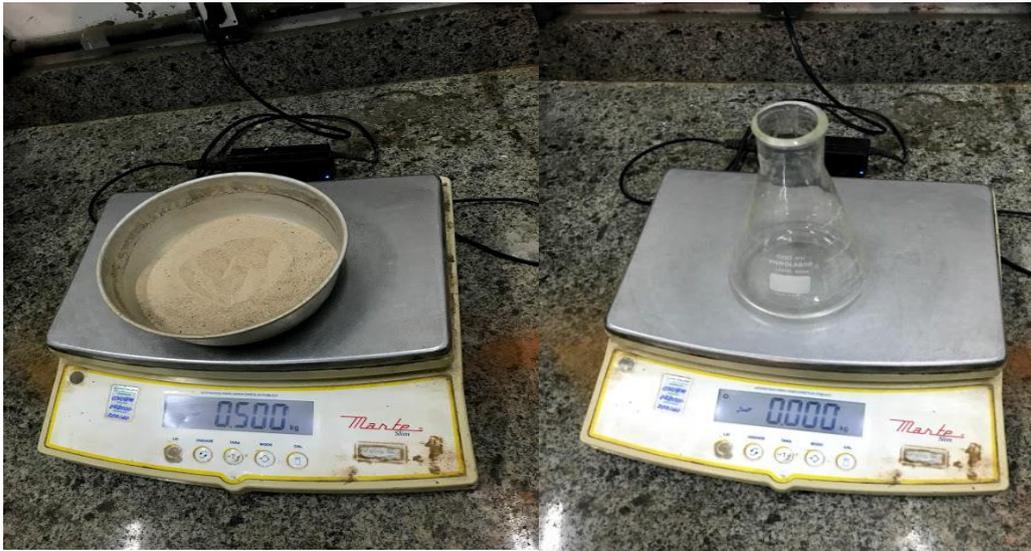
$$h\% = Pa/Pt \times 100$$

E com o resultado obtido, foi descoberto o teor de umidade dos agregados miúdos utilizados nessa pesquisa.

4.3.6 Massa Específica (NBR 16916a)

Para a determinação da massa específica de agregados Agregado Miúdo, foi utilizada a norma ABNT NBR 16916 (ABNT, 2021a) que tem como objetivo a determinação dessa massa, para a fabricação de concretos e argamassas. No laboratório fez-se necessário a utilização de aparelhos para a sua conferência final como; balança, frasco e amostras conforme a Figura 20.

Figura 20-Foto montagem dos aparelhos necessários para ensaio de massa específica..



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Por conseguinte, após a realização do ensaio com a areia foi efetuado o mesmo método com o pó de granito, devido esse projeto de pesquisa ter como objetivo comparar os dois agregados em todos os ensaios possíveis.

Assim com após a realização desse ensaio, é obtido o valor de duas determinações, usando a seguinte formulação:

Equação 4 - Massa específica dos agregados

$$D = m / (V - Va) - ms - m / \rho a$$

Onde,

D = massa específica do agregado em g/cm^3

m = massa da amostra seca em estufa

V = volume do frasco em cm^3

Va = volume de água adicionado ao frasco (cm^3)

ms = massa da amostra saturada seca em g

A massa específica aparente considerada foi a média das massas de cada agregado dividido pelo volume do recipiente utilizado.

4.3.6 Relação A/C

A argamassa foi produzida pela mistura de três materiais, sendo eles o agregado miúdo (areia e pó de granito), cimento e água, sendo os dois últimos, essenciais na resistência final da argamassa. A possível qualidade da argamassa está bastante relacionada com o fator água/cimento, pois a quantidade de água utilizada tem influencia direta no tempo de cura, resistência e trabalhabilidade da argamassa.

4.3.7 Dosagem da Argamassa

A argamassa não possui um método de dosagem específico, cabendo ao pesquisador as devidas adaptações para a fabricação desse insumo. Para essa pesquisa, o método adotado foi o ABCP, criado na década de 80 pela Associação Brasileira de Cimento Portland, através de experimentos. Entretanto, para a utilização desse método foi necessário a adaptação da mesma, devido a utilização de insumos diferentes e também pela mesma esta desatualizada. Ou seja, esse método foi utilizado apenas como um norte para a elaboração de um traço-base, com a finalidade de identificar se o projeto vai se apresentar satisfatório ou não.

Esse método se caracteriza, pela obtenção experimental do diagrama de dosagem, sendo presente a resistência a compressão pro traço criado, relação água/cimento e o consumo dos agregados e aglomerantes. Segundo Assunção (2002), o experimento pode ser dividido em 4 etapas, ou seja:

1° - Utilizando-se dos materiais disponíveis no canteiro produz-se um traço piloto 1:5 (cimento: agregados totais, em massa) e determina-se o teor ideal de argamassa (α) para a obtenção de um concreto que apresente a consistência e trabalhabilidade requeridas; 2° - Conhecidos os parâmetros teor de argamassa (α) e relação água/mistura seca (H) do traço piloto, confecciona-se duas misturas, com traços definidos em 1:3,5 (traço rico) e 1:6,5 (traço pobre). As três misturas (piloto, pobre e rico) deverão ser confeccionadas com o mesmo teor de argamassa e a mesma consistência, medida pelo abatimento do tronco de cone, especificada. 3° - Para cada um dos traços são moldados corpos-de-prova a serem ensaiados à compressão nas idades de interesse para o estudo. Recomendam-se pelos menos as idades de 3, 7 e 28 dias de idade. 4° Conhecidos os resultados dos ensaios de resistência à compressão, são traçados as curvas de Abrams, Lyse e Molinary, que permitem a obtenção do diagrama de dosagem e o traço definitivo.

Diante disso, o trabalho apresenta e discute os resultados obtidos através do traço base e as substituições feitas através do experimento, a fim de propiciar reflexão e conclusão sobre qual melhor argamassa.

4.4 Mistura

Inicialmente foram pesados todos os materiais seguindo o traço proposto. Com o misturador de argamassa desligado, foram inseridos a água e o cimento, em seguida, o misturador foi ligado para a mistura dos materiais, depois aos poucos foi adicionado os agregados miúdos. Na Figura 21 podemos observar o aparelho utilizado para a mistura dos agregados.

Figura 21-Misturador de Argamassa.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Posteriormente, foi necessária a ajuda manual para o misturador homogeneizar os agregados, sendo necessário também a adição de água aos poucos. Quando observado que a trabalhabilidade da argamassa estava boa, o misturador ficou batendo a massa por 5 minutos contínuos.

Após a elaboração da argamassa, foi avaliado a trabalhabilidade da mistura através do ensaio de abatimento de tronco de cone e a utilização da mesa para índice de consistência, observando o fator água/cimento como variável, pois o mesmo teve mudanças nos distintos traços. Tendo como foco estudar o comportamento da argamassa com substituição parcial e total do pó de granito, pelo agregado miúdo. Os ajustes de água nos traços se deram pela trabalhabilidade da argamassa, a modo de obter a trabalhabilidade desejada.

4.5 Traço

O traço em volume de todos os materiais que fazem parte da argamassa é o mais utilizado no dia a dia de uma obra, sendo assim foi o escolhido para esse projeto de pesquisa experimental. Para a elaboração do mesmo foi utilizado, tabelas, consumo de água estimado em normas e artigos que consistem na mesma finalidade e cálculos para o consumo de agregados.

Para a elaboração do traço pelo método utilizado na pesquisa (método ABCP), após a granulometria dos agregados, devemos calcular o f_{cj} (resistência desejada aos 28 dias de cura dos corpos de prova), adota-se a seguinte fórmula constante na ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014a):

Equação 5 - Resistência do concreto a compressão aos 28 dias

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \times Sd$$

Onde,

f_{cj} = Resistência do concreto à compressão na idade de j dias (MPa)

f_{ck} = Resistência característica à compressão do concreto (MPa)

Sd = Desvio-padrão de dosagem (MPa)

1,65 = Quantidade correspondente a 5% na curva de densidade da distribuição normal de Gauss.

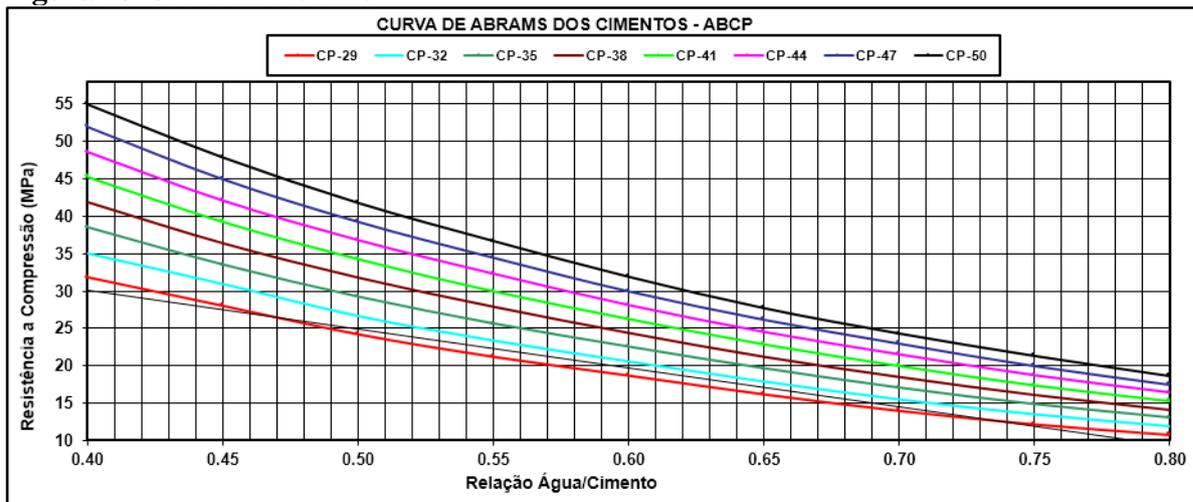
Figura 22-Tabela dos Valores do desvio padrão (Sd).

Sd	CONDIÇÃO	CLASSE	TIPO DE CONCRETO
4,0	A	C10 a C80	Quando todos os materiais forem medidos em peso e houver medidor de água, corrigindo-se as quantidades de agregado miúdo e água em função de determinações freqüentes e precisas do teor de umidade dos agregados, e houver garantia de manutenção, no decorrer da obra, da homogeneidade dos materiais a serem empregados.
5,5	B	C10 a C25	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, com correção do volume do agregado miúdo e da quantidade de água em função de determinações freqüentes e precisas do teor de umidade dos agregados.
7,0	C	C10 a C15	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, corrigindo-se a quantidade de água em função da umidade dos agregados simplesmente estimada.

Fonte: Clube do Concreto (2010).

Após a realização do cálculo do f_{cj} e seu valor estimado, foi necessário a utilização da tabela de Abrams para a formação da curva de correlação do teor de água/cimento em função da resistência a compressão da argamassa.. A Figura apresenta uma demonstração da curva de correlação da resistência pelo fator a/c .

Figura 23-Curva de Abrams.



Fonte: Clube do Concreto (2010).

Com os dados fornecidos sobre o fator a/c da tabela de Abrams, foi realizado o cálculo do traço com base no método ABCP, como mostra o seguinte passo a passo:

a. Primeiro Passo:

Calcular o consumo de água, que deve variar devido a umidade da areia e do resíduo de granito, tendo sempre cuidado na quantidade de água para não diminuir a resistência da argamassa, assim foi usada a seguinte fórmula com algumas adaptações:

Equação 6 - Consumo de cimento (C_c)

$$C_c = C_a / (a/c)$$

Onde,

C_c : Consumo de cimento por metro cúbico de concreto (kg/m^3)

C_a : Consumo de água por metro cúbico concreto (l/m^3)

a/c : Relação água/cimento (kg/kg)

Para a relação do C_a , foram utilizadas pesquisas com os mesmos objetivos e feito uma média entre os C_a dos mesmos, tendo valor, $C_a = 285 \text{ l}/\text{m}^3$ a cada 1 m^3 de argamassa.

b. Segundo Passo:

Após a determinação do consumo de água/ cimento foi calculado a quantidade em volume do agregado miúdo com a seguinte fórmula:

Equação 7 - Consumo de agregado miúdo (areia e pó de granito)

$$Vm = 1 - (cimento/\gamma_{cimento}) + (\acute{a}gua \gamma_{\acute{a}gua})$$

Onde,

Vm : Volume do agregado miúdo

$\gamma_{cimento}$: massa do cimento

$\gamma_{\acute{a}gua}$: massa da água

c. Terceiro Passo:

Nessa etapa foi onde encontramos os valores do consumo de areia e pó de granito (agregado miúdo) através da formulação abaixo:

Equação 8 - Consumo de Areia e Pó de granito

$$Cm = \gamma_m \times Vm$$

Onde:

Cm : Consumo médio do agregado miúdo

γ_m : massa específica agregado miúda

Vm : volume de agregado miúdo

d. Quarto Passo:

Apresentação do traço final:

Equação 9 - Consumo final do traço

$$Cc \ Cc: \ Careia \ Cc : \ C\acute{a}gua \ Cc$$

Após, o cálculo do traço realizado, o próximo passo é preparar a argamassa no laboratório da Undb, visando um produto que esteja dentro das normas e com o menor desperdício possível. Após isso as três argamassas foram comparadas e analisadas diante de um processo de abatimento e o teste de compressão.

4.6 Procedimento Experimental

Inicialmente foi definido o traço da argamassa, sendo 1:3 em massa (cimento: areia/pó granito), apresentando-se como usual e contendo apenas cimento e areia em sua composição.

O traço foi calculado em massa e os teores de substituição do agregado por resíduo foram de 0, 50 e 100%. Essa substituição só foi possível após obter os dados dos testes de

granulometria, que apresentaram em qual peneira houve a maior concentração de material, tanto areia como do resíduo de granito.

Posteriormente foi estabelecido o fator água de 0,545 para a argamassa de referência, que teve como parâmetro valores utilizados em argamassas convencionais com a mesma aplicação. Para atingir a mesma consistência da argamassa de referência foi necessário aumentar o fator água/cimento gradativamente à medida que se aumentava a proporção de substituição de areia natural por resíduo (Quadro 3).

Quadro 3-Traço, composição e proporção do resíduo utilizado no experimento..

TRAÇO	COMPOSIÇÃO DO TRAÇO	TEOR DE SUBSTITUIÇÃO	NOMECLATURA	FATOR ÁGUA
1:3	CIMENTO: AREIA	0%	AG0	0,545
1:3	CIMENTO: AREIA + PÓ	50%	AG50	0,645
1:3	CIMENTO: PÓ	100%	AG100	1,025

Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

A nomenclatura adotada para as argamassas foi de “AG” (argamassas que contêm cimento e areia natural). Após a sigla AG, foi colocado o número que representa o teor de substituição do agregado pelo resíduo em porcentagem, por exemplo: AG0 representa 0% de substituição considerada argamassa de referência, já AG50 significa 50% de substituição da areia pelo resíduo e, por fim, AG100 é a argamassa que substituiu a areia natural 100% pelo resíduo de granito.

4.7 Produção de Argamassa

Após a execução dos testes com proporções distintas de materiais, foram moldados corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm, conforme ABNT NBR 7215 (ABNT, 2019a) as figuras a seguir descrevem o passo a passo da moldagem.

Figura 24-Foto montagem das pesagens dos materiais.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

O primeiro passo para a produção da argamassa, foi pesar todos os materiais para a fabricação da AG0, AG50 e AG100. Em seguida os materiais são colocados no misturador.

Conforme a ABNT NBR 7215 (ABNT, 2019a), foi colocado em todo depósito a água e adicionado o cimento, em velocidade baixa a pasta foi misturada por 30 segundos, após isso, para a preparação da AG0 a areia foi dividida em quatro partes iguais e adicionadas na mistura e misturadas por 30 segundos. A AG50 foi feita a pasta assim como a AG0, e o agregado miúdo foi intercalado entre areia/resíduo, já a AG100, foi feita conforme a AG0, substituindo apenas a areia média pelo pó de granito.

Enquanto o misturador fez seu último ciclo de 30 segundos, lubrificamos a mesa do aparelho de consistência com óleo mineral, foi pego a forma troncônica para o teste de abatimento e com o auxílio de uma espátula foi colocado a argamassa em três camadas, na primeira foi dado 15 golpes com o soquete, a segunda 10 golpes e a terceira 5 golpes e tirado o excesso com a régua. Na Figura 23, podemos observar o que foi feito.

Figura 25-Foto montagem da moldagem para abatimento.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Após o enchimento, foi retirado imediatamente a forma troncônica, em seguida foi girada a manivela 30 vezes, provocando o abatimento do tronco de cone da argamassa. Visto isso foram moldados os CP's com as misturas AG0, AG50 e AG100. Logo em seguida foram pra mesa vibratória, foi feita a identificação dos corpos de prova e aguardado 24 horas para o desenforme (Figura 26).

Figura 26-Foto montagem dos CP's moldados, identificados e mesa vibratória.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Após as 24 horas, os CP's foram desmoldados e foram para a cura na água, de acordo com a ABNT NBR 137 (ABNT, 1997). Os corpos de prova foram submersos em um recipiente plástico (Figura 27).

Figura 27-Foto montagem dos CP's desmoldados e cura submersa.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Para cada proporção de resíduo (0%, 50% e 100%) foram utilizados 6 corpos de prova para teste de resistência a compressão, com tempos de cura de 7, 21 e 28 dias, respectivamente, e 4 corpos de prova para teste de determinação de material pozolânico, com tempo de cura de 28 dias.

4.7 Ensaio de compressão

Para a realização desse ensaio foi seguido as especificações da ABNT NBR 5739 (ABNT, 2018b), onde mantemos os corpos na cura ate o dia do ensaio. Meia hora antes foi tirado os CP's da água, foi deixado por meia hora ao ar livre, quando a umidade do material diminuiu, os corpos de prova foram pesados e feito o teste de rompimento por compressão (Figura 28).

Figura 28-Foto montagem da pesagem dos CP's.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Figura 29-Foto montagem do rompimento dos CP's.



Fonte:

Dados da Pesquisa (2020).

Na Figura 29, observa-se as fissuras de alguns dos CP's fabricados para o ensaio, sua força máxima e sua resistência com 7 dias.

4.8 Atividades Pozolânica do Resíduo de Rochas Ornamentais

A atividade pozolânica com cimento foi determinada seguindo a norma ABNT NBR 5752 (ABNT, 2014), onde se utiliza os parâmetros do teste de compressão simples. Ou seja, podemos determinar o valor pela diferença de resistência à compressão simples do traço incorporado com resíduo e o traço de referência da argamassa.

Foi preparada uma argamassa de referência constituída de cimento Portland, areia natural e água, e outra argamassa com 50% da massa do cimento substituída pelo resíduo de rocha ornamental. O índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias foi calculado pela seguinte Equação 10:

Equação 10 - Atividade Pozolonânica

$$Ic = \frac{fcB}{fcA} \cdot 100$$

Onde,

I – É o índice de desempenho com cimento portland aos 28 dias

fcB - É a resistência média aos 28 dias dos corpos de prova moldados com cimento CP IV-RS-32 e 50% de material pozolânico expressa em MPa

fcA - é a resistência média aos 28 dias dos corpos de prova moldados apenas com cimento CP IV-RS-32 expressa em Mpa

Foram preparados 4 corpos de prova cilíndricos de cada argamassa que foram mantidos nos moldes durante 24 h a temperatura ambiente de 30 ± 2 °C, depois foram desmoldados e imerso em água para cura durante os 28 dias. No 28° dia de cura, os corpos de prova foram rompidos, através do ensaio de compressão uniaxial e foram obtidos valores de resistência das argamassas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão apresentados e analisados nesse capítulo os resultados dos ensaios descritos na metodologia, observando o comportamento da argamassa quando submetido a uma mistura com areia natural, pó de granito e areia + pó de granito e em seguida verificando se os seus parâmetros atendem os critérios técnicos de aceitabilidade para a utilização dessa argamassa na construção civil.

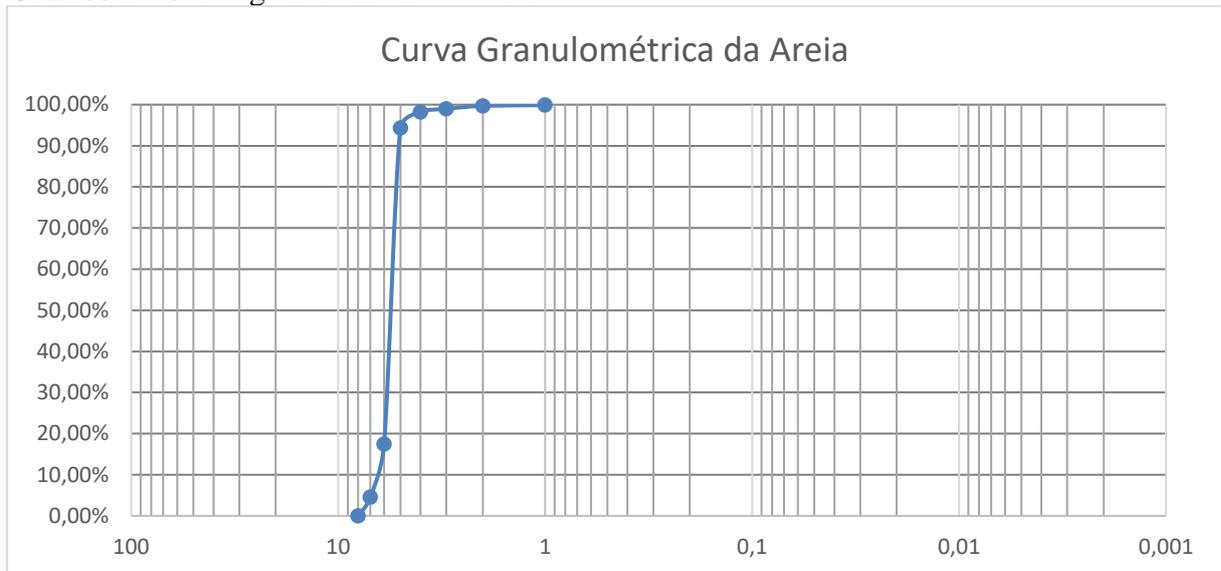
5.1 Análise Granulométrica

A análise Granulométrica foi realizada a partir dos resultados obtidos pelo ensaio de granulometria por peneiramento, sendo possível observar a distribuição dos grãos que compõe a amostra estudada e determinar a curva de distribuição granulométrica. O Quadro 4 corresponde aos resultados do peneiramento correspondendo a fração da areia e o Quadro 5 corresponde aos resultados do peneiramento do pó de granito.

Quadro 4-Peneiramento fino da areia.

PENEIRAMENTO FINO	Peneiras ASTM	Abertura de malha (mm)	Material retido na peneira (%)	Material retido acumulado (%)	Parcial do material retido (kg)	Material passado (kg)	Material que passa na peneira (%)
	¼"	6,3	0,12%	0,12%	0,003	2,497	99,88%
	4	4,75	0,20%	0,32%	0,005	2,492	99,68%
	8	2,36	0,68%	1%	0,017	2,475	99%
	16	1,18	0,80%	1,80%	0,02	2,455	98,20%
	30	0,6	3,92%	5,72%	0,098	2,357	94,28%
	50	0,3	76,84%	82,56%	1,921	0,436	17,44%
	100	0,15	12,91%	95,47%	0,321	0,115	4,53%
	FND	*	4,53%	100,00%	0,113	0,002	0,00%

Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Gráfico 2 - Curva granulométrica da areia.

Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Nota-se a partir dos gráficos acima, que os grãos da areia retidos na primeira peneira são inferiores a 1%, e gradativamente continua inferior a 4%, até chegar na peneira de malha 0,3mm onde tem um crescimento de material retido superior, sendo mais de 73% de diferença, na peneira seguinte ocorre uma queda de material retido, até chegar no fundo.

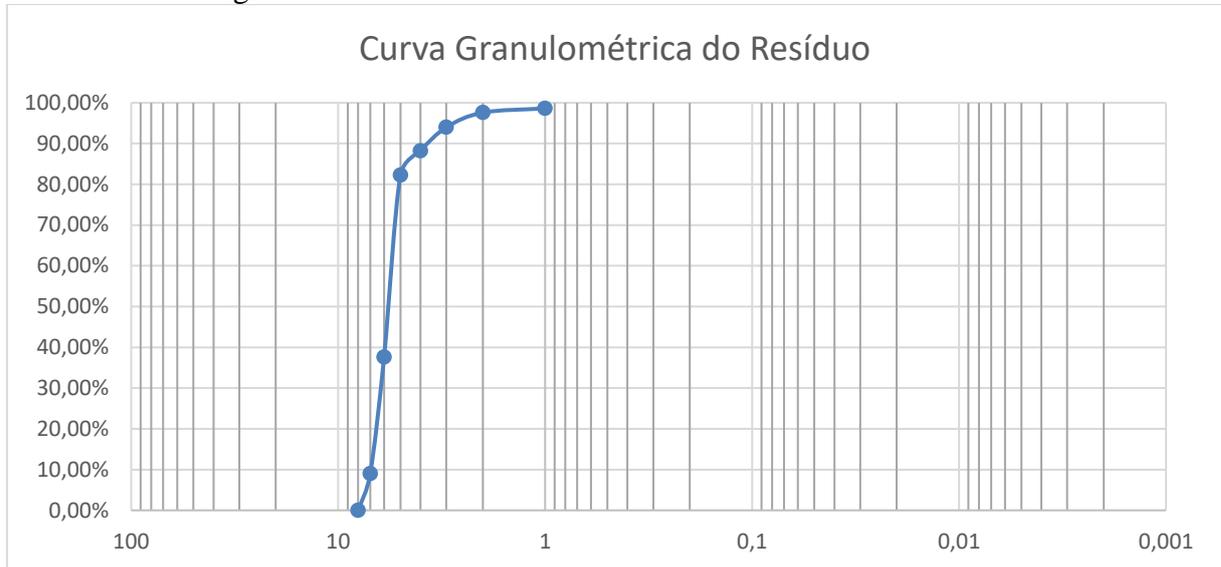
Quadro 5-Peneiramento Fino Pó Granito..

PENEIRAMENTO FINO	Peneiras ASTM	Abertura de malha (mm)	Material retido na peneira (%)	Material retido acumulado (%)	Parcial do material retido (kg)	Material passado (kg)	Material que passa na peneira (%)
	¼"	6,3	1,36%	1,36%	0,034	2,466	98,64%
	4	4,75	1,04%	2,40%	0,026	2,44	97,60%
	8	2,36	3,68%	6,08%	0,092	2,348	94%
	16	1,18	5,66%	11,74%	0,141	2,207	88,26%
	30	0,6	6%	17,74%	0,15	2,057	82,26%
	50	0,3	44,68%	62,42%	1,117	0,94	37,58%
	100	0,15	28,58%	91%	0,714	0,226	9,00%
FND	*	9%	100%	0,225	0,001	0,00%	

Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Peneiramento da amostra de 2,5 kg do pó de granito após vibração.

Gráfico 3-Curva granulométrica resíduo.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Nota-se a partir dos gráficos acima, que os grãos da areia retidos na primeira peneira é superior a 1%, e gradativamente continua inferior a 4%, até chegar na peneira de malha 0,3mm onde tem um crescimento de material retido superior, sendo mais de 38% de diferença, na peneira seguinte ocorre uma queda de material retido, até chegar no fundo.

Após o cálculo das porcentagens das amostras em cada peneira, materiais retidos e retidos acumulados. O módulo de finura foi calculado pela soma das porcentagens retidas acumuladas em massa da areia e do pó de granito, nas peneiras da serie normal, dividida por 100. Sendo eles mostrados na Tabela 1:

Tabela 1-Módulo de finura dos agregados.

MÓDULO DE FINURA	
AREIA MÉDIA	1,8
PÓ DE GRANITO	1,9

Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

As dimensões máximas da areia e do pó de granito correspondem à abertura nominal, em mm, da malha da peneira da série normal ou intermediária.

5.1.1 Teste de Umidade

O teste fez-se necessário, pois o inchamento varia conforme a umidade do agregado, utilizando a ABNT NBR 16915 (ABNT,2021) como base para executar o procedimento de testagem. Foi coletado a amostras da areia e do resíduo de granito, onde ambos fomos para a estufa por 24 horas, os materiais após esse tempo o material foi colocado sobre um recipiente limpo e não aderente conforme a Figura e homogeneizado de acordo com a ABNT NBR NM 45 (ABNT, 2006).

Figura 30-Amostra seca para teste de umidade.



Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Após isso foi importante para a evolução da pesquisa, obtermos o valor da água contida nessa amostra, para isso utilizamos a fórmula a seguir:

Equação 11 - Peso da Amostra Úmida

$$Pa = Pt - Ps$$

Onde,

Pa = Peso da amostra úmida

Pt = Peso total da amostra úmido

Ps = Peso da amostra seca em estufa

Quadro 6-Valores do Pt , Ps e Pa .

	AREIA MÉDIA (kg)	PÓ GRANITO (kg)
Pt	4	4
Ps	3,551	3,680
Pa	0,449	0,320

Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Com a diferença desses pesos, é aplicado na seguinte fórmula:

Equação 12 - Teor de Umidade.

$$h\% = Pa/Pt \times 100$$

Onde,

h% = teor de umidade

Pa = peso da amostra

Pt = peso total úmido

Com a resolução da fórmula acima citada foi possível descobrir o teor de umidade dos agregados miúdos utilizados nessa pesquisa, no Quadro 7 consta os valores obtidos de cada amostra utilizada.

Quadro 7-Valores do Pt, Ps e Pa.

TEOR DE UMIDADE	
AREIA	RESÍDUO
h% = 12	h% = 9

Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

O resíduo aparenta as características de um solo argiloso retendo mais água que a areia.

5.2 Dosagem do traço definido para modelagem de CP

A definição dos traços utilizados nesta pesquisa se deu de forma empírica, tomando como outros trabalhos bibliográficos sobre o tema, para tentar aperfeiçoar essa pesquisa, utilizando a melhor relação a/c e agregados.

A partir da adoção de tais parâmetros, seguiram-se as recomendações de dosagem da ABCP, tendo em vista que este método tem de ser adaptado para a utilização na fabricação da argamassa experimental, porém foi o melhor método estabelecido para um melhor controle. Dessa forma, fixando a relação água/cimento em 0,545, foi possível determinar o consumo de cimento em Kg/m³ e o consumo de agregados miúdos em Kg/m³, apresentando um traço cimento/agregado de 1:3 mostrados na Tabela 3.

Tabela 2-Traço de argamassa.

AG0 – MATERIAIS	
CIMENTO (kg/m ³)	1
AREIA (kg/m ³)	2,331
PÓ GRANITO (kg/m ³)	*
ÁGUA (L)	0,545
AG50 – MATERIAIS	
CIMENTO (kg/m ³)	1
AREIA (kg/m ³)	1,368
PÓ GRANITO (kg/m ³)	1,368
ÁGUA (L)	0,645
AG100 – MATERIAIS	
CIMENTO (kg/m ³)	1
AREIA (kg/m ³)	*
PÓ GRANITO (kg/m ³)	2,736
ÁGUA (L)	1,025

Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

A relação a/c se distinguiu bastante entre as três argamassas, notou-se uma maior necessidade de água na mistura AG100, inicialmente o fator a/c fixado foi o de 0,545 para todas as argamassas, entretanto somente a AG0 utilizou essa quantidade, tanto a AG50, quanto a AG100 quando adicionadas a pasta cimentícia apresentavam uma argamassa bastante ressegada e sem liga, impossibilitando a sua trabalhabilidade.

É válido ressaltar que o traço empregado foi o mesmo em todas as misturas, variando apenas a porcentagem de agregados miúdos e a relação a/c mudando quando as argamassas continham o resíduo das rochas ornamentais.

Pode-se afirmar então, que a dosagem deve ser obtida através de adaptações, tendo vista a dificuldade de trabalhabilidade dessa mistura com o traço padronizado e de uma norma brasileira que determine um método de dosagem compatível ao mesmo.

5.3 Avaliação da Atividade Pozolânica

No Quadro 8 estão contidos os valores médios da argamassa de referência, ou seja, a argamassa tradicional contendo 0% da adição de resíduo e a argamassa experimental com 50% de resíduo das rochas ornamentais, que substituiu o cimento para a avaliação da atividade pozolânica no corpo de prova.

Quadro 8- Resistência à compressão da argamassa de referência e argamassa com resíduo.

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO (%)	CURA (dias)	f_{cB} (MPa)	f_{cA} (MPa)	IAP – cimento (%)
AG0	28	*	23,604	74,39
AG50	28	16,4545	*	

Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

As características encontradas na distribuição granulométrica do resíduo, o tornou possível para o empacotamento das partículas de pasta cimentícia, sendo considerado um material pozolânico, conforme a Tabela 3.

Tabela 3- Exigências Físicas.

PROPRIEDADES	CLASSES DE MATERIAL POZOLÂNICO		
	N	C	E
Material retido na peneira 45 μ m, % máx.	34	34	34
Índice de atividade pozolânica: Com cimento aos 28 dias, em relação ao controle, % mín.	75	75	75
Com o cal aos 7 dias, em MPa	6,0	6,0	6,0
Água requerida, % máx.	115	110	110

Fonte: ABNT NBR 12653 (ABNT, 2015).

De acordo com a ABNT NBR 12653 (ABNT,2015), para o material ser considerado pozolânico deve ser considerado o valor mínimo do Índice de Atividade Pozolânica do cimento (IAP-cim) é 75%, logo, de acordo com os valores obtidos no ensaio foi obtido o valor de 74,39%, sendo assim, por o valor ter ficado bastante próximo do valor estabelecido pela norma, podemos considerar o resíduo como material pozolânico, por tanto, devemos considerar esse material de grande potencial para a construção civil..

5.4 Teste de compressão nos corpos de prova

No Quadro 9 estão apresentados todos os valores de resistência à compressão simples realizado durante o experimento, em conjunto com a comparação de médias entre os diferentes dias de cura e entre as três argamassas.

Quadro 9-Resistência a compressão.

AG0				
PESO (kg)	CARGA MÁXIMA (kgf)	RESISTÊNCIA 7d (Mpa)	RESISTÊNCIA 21d (Mpa)	RESISTÊNCIA 28d (Mpa)
0,430	3384	16,903	*	*
0,428	3272	16,344	*	*
0,433	4474	*	22,346	*
0,423	4383	*	21,890	*
0,431	4324	*	*	21,802
0,432	5086	*	*	25,406
AG50				
PESO (kg)	CARGA MÁXIMA (kgf)	RESISTÊNCIA 7d (Mpa)	RESISTÊNCIA 21d (Mpa)	RESISTÊNCIA 28d (Mpa)
0,409	1959	9,783	*	*
0,409	2050	10,239	*	*
0,412	3243	*	16,197	*
0,402	3346	*	16,712	*
0,405	3392	*	*	16,947
0,412	3587	*	*	17,918
AG100				
PESO (kg)	CARGA MÁXIMA (kgf)	RESISTÊNCIA 7d (Mpa)	RESISTÊNCIA 21d (Mpa)	RESISTÊNCIA 28d (Mpa)
0,391	1567	7,841	*	*
0,389	1749	8,738	*	*
0,394	2848	*	14,226	*
0,395	2839	*	14,182	*
0,393	3080	*	*	15,388
0,394	3016	*	*	15,064

Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

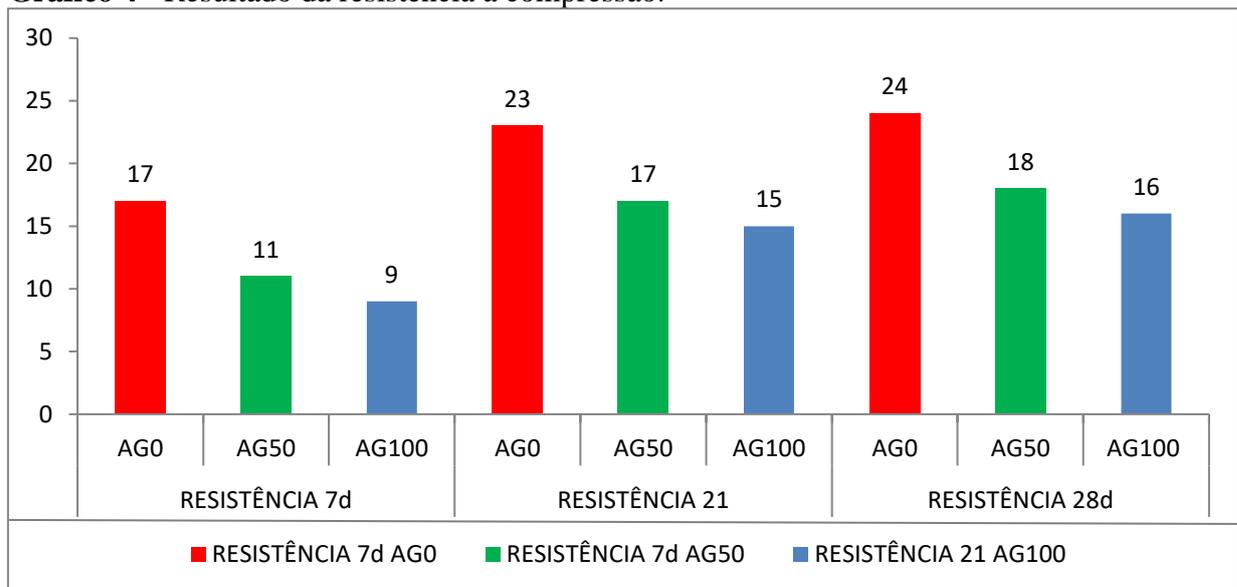
A ABNT NBR 13279 (ABNT, 2005) determina que devem ser calculadas as médias dos CP's, devendo arredondar para cima e ser descrito em Mpa. No Quadro 10, observa-se as propriedades mecânicas das argamassas de referência e seus respectivos valores. Comparando esses valores, com os obtidos pelas argamassas AG50 e AG100 conclui-se que as argamassas possuem valores até melhores, que os valores das próprias argamassas de referência.

Quadro 10-Compressão CP's.

MÉDIA CP's (Mpa)				RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS (ASTM C-270) MPa			
Dias	AG0	AG50	AG100	I	II	III	V
7	17	11	9	17,2	12,4	5,2	20,5
21	23	17	15				
28	24	18	16				

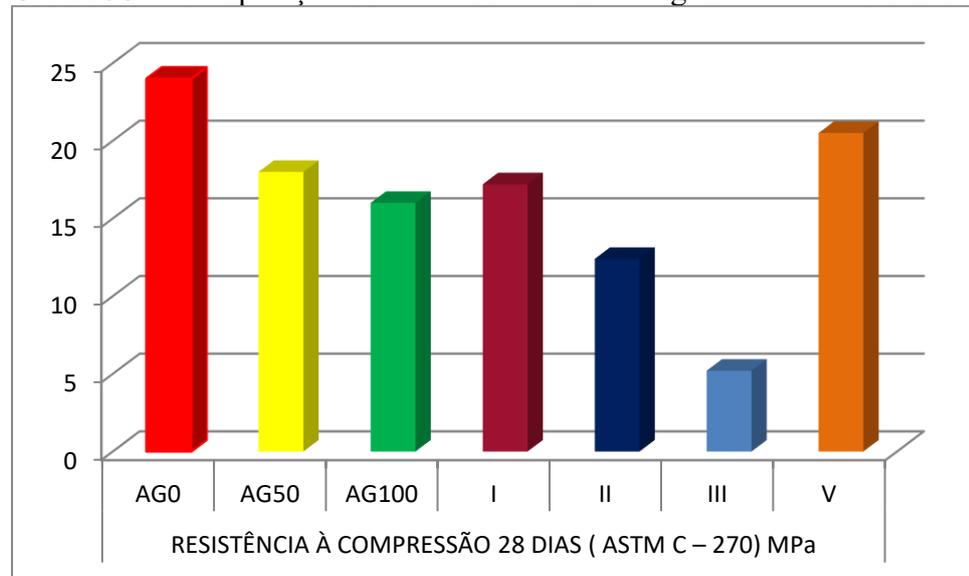
Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

De acordo com a média de cada dia observa-se que a AG50 foi a que obteve uma melhor resistência comparada a argamassa de referência.

Gráfico 4 - Resultado da resistência a compressão.

Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Nota-se a partir do gráfico a evolução da resistência à compressão com a idade, fato importante em algumas situações que necessitam dessa evolução mais rápida. Aos 7 e 21 dias, podemos observar esse crescimento na resistência dos corpos de prova, aos 28 dias embora o seu progresso não tenha sido proporcionalmente tão elevado quanto os outros rompimentos, ainda assim sua resistência mostrou um aumento.

GRÁFICO 5- Comparação CP's do ensaio com as argamassas de referência.

Fonte: Dados da Pesquisa (2020).

Na comparação dos corpos de prova aos 28 dias com as argamassas de referência, nota-se que embora o progresso das argamassas, AG50 e AG100 não tenha sido proporcionalmente tão elevado quanto os outros rompimentos, ainda assim sua resistência mostrou um aumento, aumento esse que superou as argamassas de referência Tipo I, II e III.

Portanto, a teoria de que o resíduo das rochas ornamentais é um material que pode ser substituído pelo agregado miúdo é verdadeira e só tem a crescer o seu uso na fabricação de insumos para a construção civil.

6 CONCLUSÃO

De um modo geral, essa pesquisa obteve conclusões positivas a respeito do proposto, desde o início da pesquisa até o final as etapas foram concluídas com sucesso, demonstrando um método de fabricação de argamassas viável e vantajoso para a construção civil.

Podemos apontar a sustentabilidade como uma das principais vantagens da utilização do pó de granito como substituto da areia natural, uma vez que sua utilização causa diminuição dos danos causados pela exploração da areia e dos danos causados pelos resíduos das rochas ornamentais.

Os ensaios de caracterização do material apontaram esse resíduo bastante apto para essa substituição. Por ser um material de partículas finas, inclusive mais finas que a areia, para se obter uma boa trabalhabilidade de massa, foi necessário uma maior demanda de água, para que pudesse obter um abatimento dentro do previsto para uma argamassa de referência, sem contudo, influenciar negativamente na sua resistência a compressão.

No que diz respeito à trabalhabilidade, as argamassas com o pó de granito (AG50 e AG100), exigiu uma demanda maior de água para que pudesse apresentar uma consistência e abatimento igual a argamassa de referência (AG0), sem, contudo, que esse fato prejudicasse sua resistência à compressão em relação a argamassa de referência.

Em relação ao estado endurecido observa-se que os corpos de prova feitos com uma substituição parcial e total de agregado miúdo (AG50 e AG100), tiveram uma boa evolução no rompimento de 7 dias e 21 dias. No rompimento dos 28 dias os CP's embora não tenham tido um salto muito superior ao da resistência de 21 dias, também tiveram aumento na sua resistência final.

Ou seja, destaca-se que a substituição de agregados miúdos, compensou a diferença de resistência entre as argamassas feitas com o resíduo e da argamassa de referência. Portanto, embora a argamassa de referência tenha tido uma melhor resistência final, as argamassas experimentais atendem as normas de argamassa podendo ser utilizadas no mercado da construção civil.

No que diz respeito a atividade pozzolânica o resíduo apresentou os valores mínimos exigidos pela NBR 5752 (ABNT, 2014) portanto, pode ser considerado um material pozzolânico.

Por fim, conclui-se que o pó de granito é um material alternativo para a substituição da areia, pois apresentou todos os requisitos exigidos pelas normas de argamassa, além da economia e contribuição para diminuição de impactos ambientais no setor da construção civil.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Tendo em vista que o presente trabalho se limitou na fabricação de argamassas com resistências usuais e rompimento apenas por compressão. Sendo seu objetivo principal qualificar o resíduo como sendo um agregado miúdo para argamassas, podemos citar os possíveis estudos como:

- a. Estudo sobre capilaridade do resíduo;
- b. Estudo sobre teste de tração;
- c. Estudo sobre a utilização do pó de granito na fabricação de concretos sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ABCP – **Associação Brasileiro de Cimento Portland**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/>> . Acesso em 08 set. 2020.

ALIABDO, A. A.; ABD-ELMOATY, A. E. M.; HASSAN, H. H. **Utilization of crushed clay brick in concrete industry**. Alexandria Engineering Journal, v. 53, n. 1, p. 151–168, mar. 2014.

ALYAMAÇ, K.E.; TUĞRUL, E. **A Durable, Eco-Friendly and Aesthetic Concrete Work: Marble Concrete**. 11th International Congress on Advances in Civil Engineering (ACE 2014), 50, 21-25 October 2014, İstanbul, Turkey.

ALMEIDA, N.; BRANCO, F.; BRITO, J. de; SANTOS, J. R. **High-performance concrete with recycled stone slurry**. Cem. Concr. Res. 37 (2007) 210–220.

ALMEIDA, S.L.M; PONTES, I.F. **Aproveitamento de rejeitos de pedreiras e finos de serrarias de rochas ornamentais brasileiras**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1º, novembro 2001, Salvador, Anais.Bahia, 2001. p. 89- 94.

ALVES, N.J.D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília. 175p. 2002.

ALVES, N., J., D.; DO Ó, S., W. **Aditivos incorporadores de ar e retentores de água**. In: **Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades**. Brasília: LEM – UNB; Sinduscon, 2005. p.46-58.

AMORIM., FERREIRA, NEVES, PEREIRA. **Reciclagem de rejeitos da construção civil para uso em argamassas de baixo custo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.2, p.222-228, 1999. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR NM 45**. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR NM 137**. Argamassa e concreto - Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento portland. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 10004**. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro. 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 10005** – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduo. Rio de Janeiro. 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 10006** – Solubilização de resíduos. Rio de Janeiro. 2004c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 10007** - Amostragem de resíduos. Rio de Janeiro, 2004d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 13279** Determinação da Resistência a Compressão. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 13281** – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 5739**. Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 7215** - Cimento Portland - Determinação da Resistência à Compressão, 2019^a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 9939**. Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**. Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. **NBR 5752**. Rio de Janeiro, 2014b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR NM 248**. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR NM ISSO 2395** – Peneiras de Ensaio e Ensaio de Peneiramento. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR NM ISSO 3310**. Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 12253**. Solo-cimento — Dosagem para emprego como camada de pavimento — Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 16915**. Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2021b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 16916**. Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 16697**. Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 12653**. Materiais pozolânicos — Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. Rio de Janeiro, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**. Agregados para concreto – Especificação brasileira. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9775**. Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do Frasco de Chapman – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2011a.

BAÍÁ, Luciana Leone Maciel; SABBATINI, Fernando Henrique. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. 4ª edição, O nome da rosa editora Ltda .São Paulo/SP, 2008.

BARROTE, L. G. **Utilização de rejeitos (cacos) de mármore em massas cerâmicas**. In: Congresso brasileiro de cerâmica, 44. São Pedro, SP. Anais. Associação Brasileira de Cerâmica. S. Pedro, 2000. 2201-2211p.

BASÍLIO, Eduardo Santos. **Agregados para concreto**. Estudo Técnico N. 41. 3.ed.ver.atual. São Paulo: ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland, fev. 1995. 44 p.

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

BAUNER, E. **Revestimentos de argamassa: características peculiares**. Brasília, 2000.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução **CONAMA nº. 307**, de 5 de julho de 2002.

BRASIL, **Lei Nº 12.305** de 02 de agosto de 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). European Commission, (1996).

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Reutilização de Resíduo da Construção e Demolição na Indústria da Construção Civil**. 12p. Centro de Tecnologia – CT, Teresina – Pi, 2015.

CAIADO, M. C. C.; MENDONÇA, A. S. F. **Impactos de atividades de exploração de mármore e granito sobre a qualidade da água hidrográfica**, coletada de trabalhos de Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18. 1995. Salvador, BA. Anais, Salvador, ANTAC, 54-59p.

CALDAS, Igor José. **FABRICAÇÃO DE PEÇAS DE GRANITO**. [Ana Paula Leite]. SÃO LUIS - MA, outubro, 2020.

CALMON, J. L.; TRISTÃO, F. A.; LORDÉLLO, F. S. S.; DA SILVA, A. C.; MATTOS, F. V. **Aproveitamento de Resíduos de Corte de Granito para a Produção de Argamassas de**

Assentamento. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. Salvador, BA. Abril, 1997. 65p.

CARASEK, Helena. **Materiais de construção civil e princípios da ciência da engenharia de materiais.** 1ª ed. ISAIA, Geraldo Cechella– São Paulo: IBRACON, 2007, Cap. 26 – Argamassas, pág. 863 a 904. Volume2.

CARNEIRO, A; CINCOTTO, M. **A importância da diversidade granulométrica.** Técnica, n. 27, p. 29 – 31, mar/abr. 1997.

CARVALHO, P. E. F.; SANTOS, L. R. **Avaliação de argamassas com fibras de papel kraft provenientes de embalagens de cimento.** 2011, 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

CARVALHO, P. E. F.; SANTOS, L. R.; CARASEK, H. **Prática sustentável na construção civil por meio do reuso de sacos de cimento e de cal na produção e melhoria de argamassas de assentamento.** In: Prêmio Odebrecht para o desenvolvimento sustentável: livro comemorativo 2011: compilação dos melhores projetos. Rio de Janeiro, 2012.

CARVALHO JUNIOR, A.N. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: Uma contribuição à identificação do Sistema de Aderência Mecânico.** 2005. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

CEOTTO, L. H.; BANDUCK, R. C.; NAKAKURA, E. H. **Revestimentos de Argamassa: boas práticas em projeto, execução e avaliação.** Porto Alegre: ANTAC, 2005. 96p.

CINCOTTO, M.A. **Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil.** Tecnologia de Edificações, São Paulo, 1983, p. 71-78.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 001, de 23 de setembro de 1986.** Define impacto ambiental.

COSTA, I. (2016). **Estudo comparativo entre as argamassas de revestimento externo: preparada em obra, industrializada fornecida em sacos, e estabilizada dosada em central.**

D'AGOSTINO, L. Z. SOARES, L. **O Uso De Finos De Pedreira De Rocha Granítico Gnáissica Em Substituição Às Areias Naturais Na Elaboração De Argamassa.** São Paulo, UNESP, Geociências. 2003, 73p.

DEMO, P. **Pesquisa e construção do conhecimento: Metodologia científica no caminho de Habermas.** Tempo Brasileiro, Rio de Janeiro, 1994.

DIAS, Reinaldo. **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade.** São Paulo: Atlas, 2006.

DUBAJ, Eduardo. **Estudo comparativo entre traços de argamassas utilizadas em Porto Alegre - Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de PósGraduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2000.**

FARIAS FILHO. **Estudo da durabilidade de argamassas alternativas produzidas de resíduos de construção e granito**, 2007.

FEITOSA, A. O. **Utilização do Resíduo de Serragem de Granito para Uso em Blocos de Concreto sem Função Estrutural**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba – Campus II. Campina Grande. 2004. 92p.

FERREIRA, B.B.D. (2010). **Tipificação de patologias em revestimentos argamassados**. Dissertação de Mestrado. Disponível em https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ISMS-85UM2E/1/disserta__o_beatriz_04_05_2010.pdf. Acesso em 04 ago.2020

FREIRE, A. S. ; MOTTA, J. F. **Potencialidades para o aproveitamento econômico do rejeito da serragem do granito**. Rochas de Qualidade, n. 123, p. 98-106, jul./ ago. 1995.

GALETAKIS, M.; ALEVIZOS, G.; LEVENTAKIS, K. Evaluation of fine limestone quarry byproducts, for the production of building elements – an experimental approach, **Constr. Build. Mater.** 26 (2012) 122–130.

GALETAKIS, M.; SOULTANA, A. A review on the utilisation of quarry and ornamental stone industry fine byproducts in the construction sector. **Construction and Building Materials**. 102 (2016) 769–781.

GAZI, A.; SKEVIS, G.; FOUNTIM, M. A. **Energy efficiency and environmental assessment of a typical marble quarry and processing plant**. Journal of Cleaner Production 32 (2012) 10-21.

HANIEH, Ahmed Abu; ABDELALL, Sadiq; HASAN, Afif. **Sustainable development of stone and marble sector in Palestine**. Journal of Cleaner Production 84 (2014) 581-588.

LLOYD, C. **As estruturas da história**. Rio de Janeiro: Zahar, 1995

LOPES, L; MARTINS, R. **Marbles from Portugal**. Naturstein, online publication, naturalstone-online.com, 2012.

MACCARI, Guilherme H.. **Argamassa de assentamento com saibro: um estudo das práticas na região de tubarão/SC**. 2010. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Coordenação de Projetos e Novas Tecnologias de Edificações, Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2010.

MACIEL, L.L., BARROS, M.M.S.B., SABBATINI, F.H., 1998, **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**, São Paulo, SP.

MACHADO, MARLON ANTONIO; **Processos de Beneficiamento – Parte 1 – Apostila do Curso de Especialização em Valorização das Rochas Ornamentais**. UFRJ/CETEM/CPRM, 2003.

MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. **Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas.** Cerâmica. N. 48, p. 92-101, 2002.

MENEZES, R.R.; FERREIRA, H.S.; NEVES G.A.; FERREIRA, H.L. **Utilização de resíduos da serragem de granito na fabricação de blocos cerâmicos em escala piloto.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 46º., maio 2002, São Paulo, Anais... São Paulo, 2002. 1

MESQUITA, A. S. G. (2012). **Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, PIAUÍ.** HOLOS, vol. 2, 2012, pp. 58-65

MOURA, W.A. **Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso.** 2006.

MONTEIRO, M.A., JORDAN, M.M., ALMENDRO-CANDEL, M.B., et al., "The Use of a Calcium Carbonate Residue from the Stone Industry and Manufacturing of Ceramic Tile Bodies", *Applied Clay Science*, v. 43, n. 2, pp. 186- 189, 2009.

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.

NEVES, A.A.A.F. (1993). **A Geomecânica do Corte de Rocha.** Dissertação de Mestrado. Lisboa. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. 78p.

NÚCLEO REGIONAL DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA DO ESPIRITO SANTO – NITES (1991). **Estudo de Lama Abrasiva.** Rochas de Qualidade . Nº 107, p. 89-103.

NUNES, Daniel G. **Estudo de caso para comparativo entre uso de argamassa produzida em obra e argamassa ensacada.** 2014. Projeto de Graduação - UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, RJ.

OLIVEIRA, C.N. **Aplicação de Resíduos Oriundos do Corte de Rochas Ornamentais na Produção de Cosméticos.** 2009.

PINTO, P.T. **Resultados da gestão diferenciada,** Técnica, São Paulo, n. 5, p. 31-34, nov/dez. 1997.

PINTO, Tarcísio de Paulo (Coord.). **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: A experiência do Sinduscon-SP.** São Paulo: Sinduscon, 2005. 48p.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** Tese de Doutorado. 1999.

RIBEIRO, C.C. **Materiais de Construção.** 2ª ed, Belo Horizonte, 2002.

RODRIGUES, Públio Penna Firme. **Parâmetros de dosagem do concreto.** São Paulo: ABCP, 1984. 29 p.

SABBATINI, F.H. et al. **Desenvolvimento tecnológico de métodos construtivos para alvenarias e revestimentos: recomendações para execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação e tetos.** São Paulo, EPUSP-PCC, 1988. (Convênio EPUSP/ENCOL, Projeto EP/EN-01, Documento 1.F).

SANTOS, M. R. G. **Deterioração das Estruturas de Concreto Armado – estudo de caso.** 2012. 122f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.

SILVA, S. A. C. **Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito. Estudo do Potencial de aplicação na Fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo – Cimento.** Espírito Santo, 1998. 159p. Dissertação (Mestrado) - Núcleo de Desenvolvimento em Construção Civil - NDCC, Universidade Federal do Espírito Santo.

SILVA, Narciso G. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada De Rocha Calcária.** 2006. 164p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SILVA, P.M. **Argamassa de Cimento Portland com Diferentes Teores de Substituição da Areia por Resíduos de Rochas Ornamentais.** Campina Grande, 2019. 67p. Dissertação (Mestrado) – Centro De Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande.

SOUSA, J. G. **Análise Ambiental do Processo de Extração e Beneficiamento de Rochas Ornamentais com Vistas a uma Produção Mais Limpa: Aplicação em Cachoeiro de Itapemirim – ES.** Juiz de Fora, 2007. 42p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Federal de Juiz de Fora.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar.** 4.ed. São Paulo: Editora Pini/Sinduscon-SP, 2002. 669p.
ZORDAN, S.E. **Entulho da Industria da Construção Civil.** 2001.

APÊNDICE

Entrevista com Igor Caldas, empresário do ramo de rochas ornamentais.

1-Por dia qual a média de chapas cortadas?

Resp.: - Em um dia médio de produção, podemos dizer que cortamos mais o menor 135 metros lineares.

2-Dessas chapas quanto você acha que sobra de material?

Resp.: - Olha, depende muito do que você for fabricar, por exemplo, se for soleira, peitoril, bancada sem corte, o material é aproveitado o máximo, diria que uns 95% do material é aproveitado, porque sempre sobra no corte para alinhar a chapa no máximo para um melhor aproveitamento.

3-Você disse que quando não tem muitos cortes você aproveita 95% e se você vender bancada com cuba, ou com cooktop, por exemplo, como fica o aproveitamento?

Resp.: - Olha ai além de cortarmos a chapa pra alinhar, tem os furos, então em uma cozinha, que vai cuba, cooktop, misturador, você desperdiça uns 25%.

3-O que você faz com essas sobras?

Resp.: - Olha o material fica empilhado, até chamarmos uma caçamba de resíduos e daí não sei o destino ao certo, mas imagino que ficam dispostos em céu aberto, porque não conheço uso pra essas sobras.

4-Além das sobras, no corte das chapas tem um pó, como funciona esse processo?

Resp.: - Primeiramente, pra você cortar uma chapa, você tem que ter um sistema hidráulico, que vai jogando água na chapa pra evitar trincas, então esse pó como você citou, na verdade vira uma pasta, que fica armazenada no tanque da máquina de corte, esse resíduo só sai de lá, quando é feita a limpeza desse tanque.

5-Como funciona essa limpeza, vocês tiram essa “pasta” e descartam onde?

Resp.: - É tirada a pasta e não tem lugar para o descarte, limpamos a fabrica imagino que a pasta seque e o vento leva esse pó.

6-Se você soubesse que esse pó poderia ainda ser utilizado na fabricação de argamassa, você acharia que esse resíduo conseguiria suprir o mercado da construção civil?

Resp.: - Pra ser sincero não sei, pra você ter ideia esse pó é tão fino que demora até mesmo pra encher o tanque, então não sei, talvez possa suprir dependendo da porcentagem utilizada.