



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
AMBIENTAL

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO  
AGLOMERANTE POR RESÍDUO INDUSTRIAL DE GRANITO EM  
ARGAMASSAS**

**SALOMÃO DAVID SOUTO MENEZES**

Campina Grande – PB

2020

**SALOMÃO DAVID SOUTO MENEZES**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO  
AGLOMERANTE POR RESÍDUO INDUSTRIAL DE GRANITO EM  
ARGAMASSAS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento aos requisitos necessários para obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

**ORIENTADOR: Prof. Dr. William de Paiva.**

**COORIENTADOR: Prof. Dr. Laercio Leal dos Santos.**

Campina Grande - PB

2020

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

M543e Menezes, Salomão David Souto.  
Estudo da influência da substituição parcial do aglomerante por resíduo industrial de granito em argamassas [manuscrito] / Salomão David Souto Menezes. - 2020.  
56 p. : il. colorido.  
Digitado.  
Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2020.  
"Orientação : Prof. Dr. William de Paiva, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."  
"Coorientação: Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."  
1. Argamassa. 2. Resíduos industriais. 3. Resíduo de granito. 4. Meio ambiente. I. Título  
21. ed. CDD 628.5

## SALOMÃO DAVID SOUTO MENEZES

### ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGLOMERANTE POR RESÍDUO INDUSTRIAL DE GRANITO EM ARGAMASSAS.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da Universidade Estadual da Paraíba em cumprimento aos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Aprovada em 30 de Julho de 2020

#### BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. William de Paiva  
(Orientador – Universidade Estadual da Paraíba – UEPB)



Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos  
(Coorientador – Universidade Estadual da Paraíba – UEPB)



Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira  
(Avaliador Interno – Universidade Estadual da Paraíba – UEPB)



Prof. Dr. Antonio Augusto Pereira de Sousa  
(Avaliador Interno – Universidade Estadual da Paraíba – UEPB)



Profa. Dra. Djane de Fátima Oliveira  
(Avaliador Interno – Universidade Estadual da Paraíba – UEPB)



Prof. Dr. Franksalé Fabian Diniz de A. Meira  
(Avaliador Externo – Instituto Federal da Paraíba – IFPB)

## DEDICATÓRIA

“Dedico este trabalho a Deus. Sem ele nada seria possível”.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde, força e discernimento para superar as dificuldades impostas na minha vida. E que mesmo sem merecer sempre estar ao meu lado.

Aos meus pais, Salomão Correia de Menezes e Maria José Souto Menezes por ter me concedido o dom da vida, me apoiar e sempre acreditar no meu potencial.

As minhas irmãs, Mayara Souto e Mariana Souto, por sempre me apoiar, incentivar e acreditar no meu crescimento intelectual e profissional.

Ao meu orientador, Prof. Dr. William de Paiva e coorientador, Prof. Dr. Laércio Leal, pela amizade, conselhos e orientações que foram fundamentais para a conclusão desta pesquisa.

Ao Grupo de Pesquisa em Tecnologia Ambiental (GPTecA), pelo conhecimento e apoio compartilhado.

Por fim, a minha noiva, companheira, incentivadora e melhor amiga, Heloísa Aragão, por compartilhar sonhos e viver momentos especiais ao seu lado.

A todos vocês, meu muito obrigado.

## RESUMO

Conforme a associação brasileira de rochas ornamentais (ano-base 2019), a exportação dos minerais foi de 1.960 milhões de toneladas e estima-se que 30% de cada bloco extraído durante o processo produtivo vire resíduo. A disposição incorreta desses resíduos tem trazido grandes transtornos para a fauna, flora, aquíferos, ar e a população de comunidades vizinhas. Então é uma necessidade para a utilização de materiais alternativos que pode contribuir para mitigar os impactos ambientais e chegando a melhorar a qualidade dos materiais. Então a pesquisa tem como objetivo analisar e estudar o comportamento do resíduo industrial de granito em argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos, com incorporação parcial no aglomerante. Foi determinado um traço de 1:1:5 (cimento, cal e areia), com uma variação da porcentagem de resíduo de 5% a 20% e utilizando o planejamento fatorial o fator água/cimento variou de 1,3 a 1,7. As argamassas foram analisadas no estado endurecido através da determinação da densidade de massa no estado endurecido, resistência à tração na flexão e compressão e do coeficiente de capilar, no estado fresco foram determinadas a retenção de água e densidade de massa no estado fresco. A caracterização dos resíduos foi química e física através da determinação do índice de finura. Entre os ensaios realizados destacou-se a resistência à compressão que obteve resultados bem satisfatórios e maiores que as argamassas sem resíduos na sua composição. O resíduo teve como principal característica de *filler*, assim reduzindo os espaços vazios e às vezes realizando o empacotamento granulométrico das partículas. Então no mundo que vivemos precisamos de alternativas que diminua o consumo de matéria prima e também de tecnologias para incorporação dos resíduos gerados novamente na cadeia produtiva.

**Palavras-chaves:** Argamassa, resíduos industrial de granito, meio ambiente.

## ABSTRACT

According to the Brazilian association of ornamental rocks (base year 2019), mineral exports were 1,960 million tons and it is estimated that 30% of each block extracted during the production process becomes waste. The incorrect disposal of these residues has caused great disturbances to the fauna, flora, aquifers, air and the population of neighboring communities. So there is a need for the use of alternative materials that can contribute to mitigate environmental impacts and even improve the quality of the materials. So the research aims to analyze and study the behavior of industrial granite waste in mortars for laying and lining walls and ceilings, with partial incorporation in the binder. A ratio of 1: 1: 5 (cement, lime and sand) was determined, with a variation of the percentage of residue from 5% to 20% and using the factorial design the water / cement factor varied from 1.3 to 1.7. Mortars were analyzed in the hardened state by determining the mass density in the hardened state, tensile strength in flexion and compression and the capillary coefficient, in the fresh state water retention and mass density in the fresh state were determined. The characterization of the residues was chemical and physical through the determination of the fineness index. Among the tests carried out, the resistance to compression stood out, which obtained very satisfactory results and greater than mortars without residues in their composition. The main feature of the RIG was filler, thus reducing empty spaces and sometimes carrying out particle size packing. So in the world we live in, we need alternatives that reduce the consumption of raw materials and also technologies to incorporate the waste generated again in the production chain.

**Keywords:** Mortar, granite industrial waste, environment.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Bloco de Granito .....	17
<b>Figura 2</b> - Fluxograma do beneficiamento das rochas ornamentais.....	19
<b>Figura 3</b> – Disposição final incorreta do RIG .....	20
<b>Figura 4</b> – Ensaio de resistência a compressão e tração na flexão .....	35
<b>Figura 5</b> – Ensaio de determinação da retenção de água .....	35
<b>Figura 6</b> – Ensaio densidade de massa no estado fresco .....	36
<b>Figura 7</b> – Corpo de prova da densidade de massa no estado endurecido .....	36
<b>Figura 8</b> – Determinação do coeficiente de capilaridade .....	37
<b>Figura 9</b> – Ensaio do agregado .....	37
<b>Figura 10</b> – Equipamento Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer.....	38
<b>Figura 11</b> – Distribuição granulométrica do agregado .....	39
<b>Figura 12</b> – Parede teste .....	41
<b>Figura 13</b> – Densidade de massa aparente das argamassas .....	42
<b>Figura 14</b> – Resultado da resistência a tração na flexão .....	43
<b>Figura 15</b> – Resultados de resistência a compressão axial das argamassas .....	45
<b>Figura 16</b> – Índice de retenção de água das argamassas .....	46
<b>Figura 17</b> – Coeficiente de absorção capilar das argamassas.....	47
<b>Figura 18</b> – Densidade de massa no estado fesco das argamassas .....	49

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Matriz de planejamento inicial.....	33
<b>Quadro 2</b> – Matriz de deliniamento .....	33
<b>Quadro 3</b> – Ensaios realizados.....	34
<b>Quadro 4</b> – Parâmetros cal CH I. ....	38
<b>Quadro 5</b> – Índice de finura do RIG.....	39
<b>Quadro 6</b> – Composição química do RIG. ....	40
<b>Quadro 7</b> – Resultados dos ensaios com a argamassa de 20%.....	50

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Classificação da densidade de massa no estado aparente .....	42
<b>Tabela 2</b> – Classificação da resistência a tração na flexão .....	44
<b>Tabela 3</b> – Classificação da Resistência a compressão .....	45
<b>Tabela 4</b> – Classificação da retenção de água .....	47
<b>Tabela 5</b> – Classificação do Coeficiente de capilaridade .....	48
<b>Tabela 6</b> – Classificação da densidade de massa no estado fresco .....	49

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. OBJETIVO GERAL .....	15
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1. ROCHAS ORNAMENTAIS.....	16
3.2. RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE GRANITO (RIG) .....	18
3.3. ARGAMASSA .....	20
3.3.1. ASSENTAMENTO .....	21
3.3.2. REVESTIMENTO .....	21
3.4. PROPRIEDADES DA ARGAMASSA .....	22
3.4.1. ESTADO SECO.....	23
3.4.2. ESTADO ENDURECIDO .....	25
3.5. MATERIAIS COMPONENTES DA ARGAMASSA.....	27
3.5.1. ÁGUA .....	27
3.5.2. CAL .....	27
3.5.3. AREIA.....	28
3.5.4. CIMENTO PORTLAND CP II Z 32 .....	28
3.6. A CONSTRUÇÃO CIVIL E SEU PAPEL DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	29
4. METODOLOGIA .....	32
4.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PESQUISA .....	32
4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS .....	34
4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS E CONSTITUINTES.....	37
4.4. CARACTERIZAÇÃO DO RIG .....	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	39
5.1. ÍNDICE DE FINURA.....	39
5.2. QUANTIFICAÇÃO DO TEOR DOS CONSTITUINTES QUÍMICOS.....	40
5.3. DENSIDADE DE MASSA APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO .....	41
5.4. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO .....	43
5.5. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL .....	44
5.6. RETENÇÃO DE ÁGUA .....	46

5.7. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE .....	47
5.8. DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO FRESCO .....	48
5.9. ARGAMASSA COM 20% DE RIG .....	50
6. CONCLUSÃO .....	51
7. REFERÊNCIAS.....	52

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas ambientais atuais, seja no Brasil ou no mundo, é a disposição incorreta de resíduos sólidos em áreas urbanas e através do constante desenvolvimento da humanidade tem-se uma infinidade de tipos de resíduos nas áreas urbanas dispostos irregularmente, trazendo passivos ambientais e transtorno para sociedade.

A indústria da construção da civil é um dos ramos que utiliza variados tipos de matéria prima para seu desenvolvimento. Visto que é um mercado que cresceu muito nos últimos anos, então existe uma demanda ampla de materiais para satisfazê-lo e um desses é o de rocha ornamental que cada vez é mais utilizado em residências e grandes obras gerando uma intensa quantidade de resíduo na sua produção e instalação.

O setor que apresenta um vultoso potencial produtivo e conseqüentemente acentuada capacidade de geração de resíduos é o setor de mineração, mais precisamente o setor de rochas ornamentais conhecidas comercialmente como mármore e granito, amplamente utilizadas devido à vasta aplicabilidade como, por exemplo, mesas, prateleiras, revestimento de pisos e paredes, ou como objetos de decoração dentre outros. Logo, as rochas ornamentais podem ser definidas como materiais geológicos naturais que podem ser extraídos na forma de blocos, cortados em diversas formas e beneficiados através de várias etapas (MOTA et al, 2007a).

Segundo a lei N° 12.305 de 2 de agosto de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, uma alternativa ambientalmente e economicamente viável é a incorporação dos resíduos novamente na cadeia produtiva, com reutilização e/ou reciclagem com o intuito de reduzir a extração de recursos naturais, reduzir os custos de produção dos produtos finais, promover o consumo de produtos ecologicamente corretos de modo a evitar danos à saúde pública, à segurança e a para minimizar os impactos ambientais adversos.

Uma alternativa é a utilização desse resíduo em substituição por parte da massa do aglomerante (cimento) em argamassas, ou mesmo, incorporação desses resíduos em solos utilizados para compactação, impermeabilização, dentre outros usos, promovendo a reciclagem, reaproveitamento e reutilização do mesmo para diversos fins, não apenas dos resíduos de rochas como também dos resíduos da construção civil.

A argamassa é um material da construção civil amplamente utilizado em obras de engenharia e a maioria delas são obtidas misturando aglomerante (cimento), agregado (geralmente areia) e água, podendo ou não conter aditivos. Porém, para cada aplicação existe uma proporção certa destes componentes. Por exemplo, assentamento de tijolos, pisos e revestimentos, impermeabilizar, nivelar e regularizar superfícies, como no reboco, emboço e contra piso. (ABNT NBR 13281, 2005).

Sendo o principal componente da argamassa o cimento, segundo Campello (2008), a indústria de cimento, responde por 5% das emissões mundiais de gás carbônico, devido o processo de produção que a cada tonelada de clínquer (principal componente do cimento) são liberados a mesma quantidade de CO<sub>2</sub>.

Diante do exposto, a proposta do trabalho busca estudar e propor uma destinação final correta para os resíduos da indústria de rochas ornamentais gerados, agregando valor econômico ao mesmo, e dessa forma, desenvolver uma argamassa que propicie características melhores ou iguais as já existentes.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Analisar o comportamento das argamassas produzidas, a partir da incorporação de resíduos oriundos da indústria de rochas ornamentais em substituição parcial do aglomerante promovendo a mitigação do ambiente afetado.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar o RIG de forma química;
- Caracterização física através do índice de finura;
- Analisar o comportamento da argamassa com a incorporação do RIG;
- Propor uma alternativa para a destinação final ambientalmente adequada do resíduo industrial de granito.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1. ROCHAS ORNAMENTAIS**

O uso de rocha pelo homem remonta aos tempos pré-históricos, quando foi utilizada para a confecção de utensílios domésticos, armas para caça, guerra e como objetos sacros. Posteriormente, por volta de 8.000 a.C., tem-se seu uso como elemento construtivo nas edificações de habitações e de defesa da cidade, que surgia então como unidade política e social (ALENCAR, 2013).

O uso das rochas ornamentais, na antiguidade mais remota foi bastante restrito, principalmente por causa do sistema de propriedade das minas e das técnicas disponíveis. No antigo Egito, as minas ou jazidas eram de propriedade dos faraós. Na Grécia clássica, pertenciam às cidades-estados. Em Roma também pertenciam ao Estado, já no Império Bizantino eram propriedades do tesouro do imperador. Cada um desses proprietários de jazidas possuía também seus próprios técnicos especializados na extração e no beneficiamento primário da rocha. Tais serviços eram realizados por grandes contingentes de escravos, com uso de técnicas e ferramentas muito rudimentares (ALENCAR, 2013).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, no termo da norma 15012 (2013) define rocha ornamental como: material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, utilizado para exercer uma função estética. A rocha para revestimento corresponde à rocha natural que, submetida a processos diversos de beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos, paredes e fachadas, em obras de construção civil. Tal revestimento corresponde ao material rochoso natural selecionado, beneficiado e acabado em formatos e tamanhos específicos, para atender a requisitos dimensionais exigidos para fins estruturais ou arquitetônicos.

Os blocos ou placas de rochas ornamentais e de revestimento compreendem os tipos litológicos que podem ser cortados em formas variadas e beneficiados por meio de técnicas como esquadrejamento, polimento, etc. Podem ser utilizados em esculturas, tampos e pés de mesa, arte funerária, revestimentos internos e externos de paredes, pisos, entre outros. De modo geral, são comercialmente divididas em três categorias segundo (Departamento de Recursos Naturais, 2012):

- Mármore - definido como rochas metamórficas formadas principalmente por calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomita ( $\text{Ca,MgCO}_3$ );
- Granito - abrange o grupo das rochas silicáticas (ricas em sílica e alumínio – gnaisses, migmatitos, etc.)
- Pedras decorativas - rochas de processamento simples e de uso direto na construção civil em geral ou, ainda, como adornos e/ou peças decorativas in natura, trabalhadas em diversas formas. São exemplos destas: ardósias, milonitos-gnaisse (Pedras Madeira e Paduana), calcários etc.

De acordo com o que foi pesquisado sobre as rochas ornamentais, podemos dizer que as mesmas visam basicamente à transformação dos blocos como mostra a Figura 1, extraídos na fase de lavra, em produtos finais ou semiacabados.

**Figura 1** – Bloco de granito



Fonte: Autor (2020)

Assim, elas têm autonomia para se separar em algumas fases, seja ela de beneficiamento em primário, ou desdobramento, e secundário, contudo, o primeiro compreende a preparação e serragem dos blocos em chapas de

espessura variável, usualmente dois ou três centímetros, entretanto no segundo processo, as chapas são submetidas a acabamento superficial, com ou sem resinagem, que pode ser um simples desbaste, polimento, escovado, flameado ou outros tipos que serão vistos neste capítulo, assim como a produção de ladrilhos e outras peças (SILVEIRA et al, 2014).

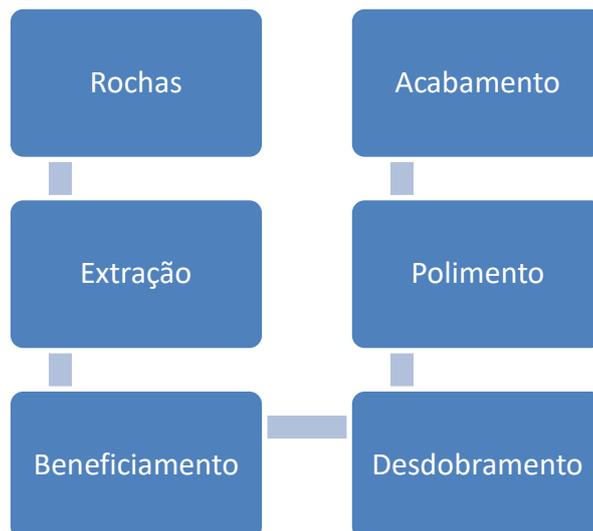
### **3.2. RESÍDUO INDUSTRIAL DE GRANITO (RIG)**

É notório que existe um crescente desenvolvimento do setor da construção civil, de contra partida isso acaba causando graves danos ao meio ambiente e pode colocar em risco a sua sustentabilidade, pois esses danos se devem ao fato de que além de consumir matéria prima oriunda de fontes não renováveis (rocha, areia, argila, etc.). O setor da indústria da construção civil apresenta muito desperdício de materiais, gerando milhões de toneladas de resíduos.

O fato é que devido à maioria dos países não terem um plano específico para o tratamento destes materiais, os mesmo são enviados para aterros em vez de serem reutilizados em novos produtos, por isso é cada vez mais urgente considerar os impactos potenciais e reais associados ao ambiente construído (ONOFRE et al, 2016).

As rochas ornamentais compreendem os mármore, os granitos e pedras como as ardósias, arenitos, basaltos, gnaisses e quartzitos. Após a extração nas pedreiras, as rochas são beneficiadas em serrarias e marmorárias. Seus principais campos de aplicação incluem: revestimentos horizontais e verticais, arte funerária, soleiras, pisos e tampos, esculturas, pilares, peças usinadas (ABIROCHAS, 2018).

O beneficiamento de rochas ornamentais é o desdobramento de materiais brutos extraídos nas pedreiras na forma de blocos, e pode ser subdividido em processo de beneficiamento primário e secundário. O beneficiamento primário é entendido como o processo de obtenção de chapas com espessuras variadas em unidades industriais chamadas serrarias, enquanto o beneficiamento secundário (corte e acabamento de peças) é realizado na indústria de rochas ornamentais (MORAES, 2006). Para melhor entendimento pode-se observar o fluxograma da Figura 2 abaixo.

**Figura 2** – Fluxograma do processo produtivo das rochas ornamentais

Fonte: Autor (2020)

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (2019), no mesmo ano as exportações brasileiras do setor de rochas ornamentais somaram US\$ 488,2 milhões e 999,9 mil toneladas. Com base nesses números tem-se uma ideia da quantidade de resíduos gerados, pois em média cerca a 30% do bloco bruto é transformado em resíduo e na maioria das vezes destinado de forma incorreta.

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

O resíduo sólido oriundo da lama abrasiva utilizada no processo de corte é drenado por um sistema de esgotamento, em seguida segue para tanques ou lagoas de decantação, onde a água será reaproveitada no processo de beneficiamento e o resíduo sólido será destinado para terrenos ao redor da empresa ou lagoas de estabilização causando um considerável impacto ambiental, devido a sua complexidade de tratamento e destinação inadequada que irá promover a contaminação dos aquíferos próximos ao local de destinação

e a descaracterização da paisagem afetando assim a fauna e a flora local como mostra na Figura 3. Os órgãos sanitários e a população que reside nos entornos das empresas que promovem a extração e o beneficiamento das rochas ornamentais (MOTA et al, 2007b).

**Figura 3** – Disposição final incorreta do resíduo industrial de granito



Fonte: Autor (2020)

### **3.3. ARGAMASSA**

A norma NBR ABNT 13281 (2005) define que a argamassa é uma mistura homogênea de agregado (s) miúdo (s), aglomerante (s) inorgânico (s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada). Na produção da argamassa os principais materiais utilizados são o cimento (aglomerante) e os agregados.

O cimento segundo a associação brasileira de cimento Portland (ABCP, 2002) pode ser definido como um pó fino com propriedades aglomerantes e ligantes que endurece sob a ação da água e depois de endurecido, mesmo que seja submetido à água não se decompõe. Logo, também é conhecido como cimento hidráulico. É utilizado como um dos principais materiais de construção, pois quando misturado com água e outros materiais como areia, pedra britada,

cal, dentre outros, resulta na formação dos concretos e argamassas utilizadas na construção de casas, edifícios, pontes, barragens e demais obras da construção civil.

Segundo Fiorito (2003), as argamassas de cimento e areia, cimento, cal e areia ou cimento, aditivo e areia são comumente utilizadas em obras, possuindo múltiplas aplicações nas construções. A destinação das argamassas determina o tipo de aglomerante ou a mistura de tipos diferentes de aglomerantes e sua composição e espessura quando da sua aplicação são muito variáveis.

### **3.3.1. ASSENTAMENTO**

Segundo a BS 5625 (1985) apud Santos (2013), quando do uso para assentamento de paredes de alvenaria a argamassa tem a função de:

- Unir as unidades de alvenaria e ajuda-las a resistir aos esforços laterais;
- Distribuir uniformemente as cargas por toda área resistente dos blocos;
- Absorver as deformações naturais;
- Selar as juntas contra eventos naturais como água de chuva.

E suas características para ter uma boa eficiência são (SABBATINI, 2008):

- Capacidade de retenção de água;
- Resistência inicial;
- Aderência adequada;
- Trabalhabilidade;
- Durabilidade.

### **3.3.2. REVESTIMENTO**

Não será demais lembrar que, estando às camadas de revestimento ligadas entre si, à deformação de qualquer uma delas devida a causas endógenas ou esforços externos resultará em tensões atuando sobre cada camada. As tensões que atuam sobre os revestimentos são de especial interesse (FIORITO, 2003).

As argamassas de revestimento devem ter as seguintes características:

- Estabilidade mecânica e dimensional;
- Resistência ao fogo;
- Colaborar para a estanqueidade da parede;
- Colaborar para o conforto higrotérmico.

O revestimento da argamassa tem como principal característica absorver pequenas deformações, essas quando aplicadas estão sujeitas a variações dimensionais, ocasionando o surgimento de fissuração, que pode ser decorrente da elasticidade, da retração térmica e das ações externas ao revestimento (CANOVA; BERGAMASCO; ANGELIS NETO, 2007).

### **3.4. PROPRIEDADES DA ARGAMASSA**

Segundo Fiorito (2003), as argamassas de cimento e areia, cimento, cal e areia ou cimento, aditivo e areia são comumente utilizadas em obras, possuindo múltiplas aplicações nas construções. A destinação das argamassas determina o tipo de aglomerante ou a mistura de tipos diferentes de aglomerantes e sua composição e espessura quando da sua aplicação são muito variáveis.

Devido aos inúmeros tipos de utilização da argamassa na atualidade em obras, é possível encontrar este material no assentamento das alvenarias, mas onde se encontra mais visível é nos revestimentos e acabamentos dos edifícios, contudo, as funções principais, vai da proteção das alvenarias e interiores das habitações aos de decoração. Entende-se por traço de uma argamassa a indicação das proporções dos seus componentes ao utilizarmos o traço em peso teríamos uma segurança absoluta quanto à qualidade da argamassa e as suas quantidades no consumo e apropriação de custos. Porém, não seria praticável no canteiro de obras (FIORITO, 2003).

Tendo em vista essas atualizações, os revestimentos têm que ser capazes de aderir ao suporte, resistir bem aos movimentos destes, aos seus próprios movimentos internos decorrentes da secagem e processo de endurecimento, bem como, às solicitações exteriores, permitir ainda que ocorram as necessárias trocas de vapor entre o interior e o exterior dos edifícios e tenham capacidade

para expulsar a água infiltrada. Quando se tratando de escolhas para se adequar as necessidades, são de extrema importância às dosagens das matérias-primas para contribuir que os requisitos pré-definidos sejam cumpridos, contudo, existem fatores de grande importância no comportamento das argamassas, tais como, a natureza do suporte ou das camadas subjacentes, que influenciam diretamente no comportamento da argamassa (MARGALHA, 2011).

Na pesquisa realizada as argamassas utilizadas são empregadas como de argamassas de assentamento ou argamassas de revestimentos e são as argamassas mais utilizadas na construção civil. Suas principais funções e características serão abordadas nos itens abaixo.

#### **3.4.1. ESTADO SECO**

Segundo Carasek (2010), é resultante de outras propriedades, como a consistência, a plasticidade, a retenção de água, a exsudação, a densidade e a adesão inicial, entretanto, de acordo com estudos desenvolvidos, mostrou-se que a trabalhabilidade determina a facilidade de manuseamento da argamassa ao ser misturada, transportada e aplicada.

Segundo Sabbatini e Baía (2000), uma argamassa pode ser aceitável para o trabalho quando, ao ser arremessada na parede, observa-se a facilidade com que ela se distribui, não endurece e nem possui grande aderência na ferramenta de quem esteja manuseando, além de não apresentar segregação ao ser transportada e permanecer plástica durante o tempo da sua aplicação.

A consistência e qualidade está associada à capacidade de a argamassa deformar-se sob a ação de cargas, ela é influenciada pela quantidade de água na mistura, sendo assim, as argamassas de consistência mais fluidas apresentam menor tensão de escoamento. Enquanto que a plasticidade está relacionada com a capacidade de a argamassa manter-se deformada após a redução das tensões de deformação (CARASEK, 2010).

De acordo com a finalidade e forma de aplicação da argamassa e a plasticidade adequada para cada mistura, demanda uma quantidade ótima de água a qual significa uma consistência ótima, sendo esta função do proporcionalmente e natureza dos materiais (CASCUDO et al, 2005).

Em linhas gerais a plasticidade está relacionada com a consistência, coesão e retenção de água da argamassa. Segundo estudos de Rocha (2014), quanto menor for o diâmetro de espalhamento, mais difícil será da argamassa se deformar. A consistência da argamassa é determinada pela medida do espalhamento de uma porção de argamassa realizada por meio de ensaios de mesa de consistência (Flow Table), 49 seguindo os princípios da NBR ABNT 13276 (2005).

A tixotropia também é uma propriedade relacionada à coesão. Pode-se defini-la como sendo a mudança da viscosidade quando se promove a agitação da massa, provocando a passagem do estado sólido, ou de pasta, para o gel (CALHAU, 2000). No caso da argamassa, o estado de gel diz respeito à massa coesiva de aglomerante na pasta que se torna mais densa após a hidratação.

Podemos conceituar que a retenção de água está associada à capacidade da argamassa manter a sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, que pode ser de duas maneiras: por evaporação e por absorção de água da base, com isso interferindo no processo de acabamento e na retração plástica, contudo, vemos que a retenção de água também afeta as propriedades da argamassa no estado endurecido, como a aderência, a resistência mecânica e a durabilidade do material (CARASEK, 2010).

Segundo Nascimento (2008), a massa específica diz respeito à relação entre a massa do material e o seu volume e pode ser absoluta (não são considerados os vazios existentes no volume do material) ou aparente (consideram-se os vazios impermeáveis). A massa unitária constitui-se na massa do material que ocupa um recipiente com capacidade unitária, valor utilizado para a conversão de quantidades expressas em massa para as expressas em volume. Para um material com determinada massa específica, a massa unitária depende do adensamento conferido ao material e, portanto, da forma e distribuição de tamanho das partículas, relacionando-se com a distribuição granulométrica da areia.

Segundo definição da NBR ABNT 13528 (2010), a resistência de fixação à tração consiste na tensão máxima suportada por uma área limitada de revestimento, na interface de avaliação, quando colocado sob um esforço normal de tração. De acordo com Carasek (2010), a aderência está diretamente relacionada com a o quanto essa argamassa vai ter de trabalho e qualidade, com

a energia de impacto no processo de execução, além das características e propriedades do substrato e de fatores externos, sabendo então é possível entender que as argamassas contendo elevado teor de cimento apresentam alta resistência de aderência, mas podem ser menos duráveis por possuir maior tendência ao desenvolvimento de fissuras. Por outro lado, argamassas contendo cal possuem maior extensão de aderência, pois preenchem mais facilmente e de maneira mais completa toda a superfície do substrato, dessa forma, para garantir uma boa aderência, procura-se utilizar argamassas mistas de cimento e cal.

### **3.4.2. ESTADO ENDURECIDO**

- **RESISTÊNCIA MECÂNICA**

As argamassas estão sujeitas a esforços que podem ser causados por cargas estáticas ou dinâmicas decorrentes do uso da edificação e por solicitações de fenômenos térmicos ou climáticos. Sintetizando pode-se dizer que resistência mecânica das argamassas é a capacidade das mesmas de suportarem as tensões de tração e compressão às quais o revestimento pode estar sujeito. E a resistência mecânica tem um aumento quando o agregado miúdo no traço diminui e variando inversamente com a relação água cimento (LAPA, 2011).

- **PERMEABILIDADE**

A permeabilidade está relacionada à passagem de água pela argamassa de revestimento, que é um material poroso e permite a percolação da água tanto no estado líquido como de vapor. O revestimento deve ser estanque à água, impedindo a sua percolação. Mas, é recomendável que o revestimento seja permeável ao vapor para favorecer a secagem de umidade de infiltração ou decorrente da ação direta do vapor de água. Quando existem fissuras no revestimento, o caminho para percolação da água é direto até a base e, com isso, a estanqueidade da vedação fica comprometida (LAPA, 2011).

Essa propriedade depende da natureza da base, da composição e dosagem da argamassa, da técnica de execução, da espessura da camada de revestimento e do acabamento final.

- DURABILIDADE

Segundo CARVALHO JÚNIOR (2006), durabilidade é uma propriedade da argamassa no período de uso e consiste na capacidade de um revestimento argamassado manter o desempenho de suas funções ao longo do tempo. Existem alguns fatores que podem influir negativamente na durabilidade de um revestimento:

- Movimentações de origem térmica, higroscópica ou impostas por forças externas, promovendo fissuração, desagregação (umidade) e descolamento dos revestimentos;
- Espessura excessiva dos revestimentos, intensificando a movimentação higroscópica nas primeiras idades e ocasionando fissuras de retração, comprometendo a capacidade de aderência;
- Técnica de execução, com revestimentos executados em múltiplas camadas e com sarrafeamento e desempenho realizado em momento inadequado;
- Incompatibilidade química entre os componentes, tais como mistura de gesso e cimento promovendo formação de etringita, que apresenta expansibilidade indesejável, e incompatibilidade alcalina entre a base e certos tipos de tinta;
- Cultura e proliferação de micro-organismos, que ocorrem, geralmente, em áreas permanentemente úmidas dos revestimentos, provocando manchas escuras.

- ELASTICIDADE

A elasticidade é a propriedade da argamassa de suportar tensões sem romper, apresentar fissuras prejudiciais e sem perder a aderência (BAÍÁ e SABBATINI, 2000), retornando às suas dimensões iniciais quando cessam as solicitações que lhe foram impostas.

A capacidade da argamassa de absorver deformações pode ser avaliada através do módulo de elasticidade que pode ser obtido através do método estático ou dinâmico. Quanto menor o valor do módulo, maior será a capacidade do material de absorver deformações.

- **RETRAÇÃO**

A retração na secagem ocorre em função da evaporação da água de amassamento das argamassas, de reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes. A retração causa microfissuras que não são prejudiciais, mas podem causar fissuras que permitem a percolação da água pelo revestimento já no estado endurecido, comprometendo a sua estanqueidade.

As características e as proporções dos materiais, a espessura e o intervalo de aplicação das camadas, o respeito ao tempo de sarrafeamento e desempenho, são fatores que influenciam a propriedade de retração.

Segundo Barbosa (2005), o fenômeno de retração pode ser classificado quanto:

- Ao estado físico da mistura;
- À natureza (retração por perda de água);
- Ao grau de restrição (retração livre, restringida ou impedida);
- À permanência (retração à permanência do fenômeno e retração irreversível).

### **3.5. MATERIAIS COMPONENTES DA ARGAMASSA**

#### **3.5.1. ÁGUA**

De acordo com Silva Júnior (2014, p. 32), A água é responsável por ativar as reações químicas do aglomerante, e deve atender a certas qualidades, não podendo conter impurezas e ainda estar dentro dos parâmetros recomendados pelas normas técnicas a fim de que garantam a homogeneidade da mistura.

Ainda com a mesma linha de pensamento, Guimarães (2002, p. 245), “a água utilizada nas argamassas não pode conter matéria orgânica e colóides em suspensão, e tampouco “resíduo a 180°C” (que reflete sua salinidade), acima dos tolerados pelos índices de potabilidade”.

#### **3.5.2. CAL**

Segundo a NBR ABNT 7175 (2003), a cal hidratada é um pó seco proveniente da hidratação adequada da cal virgem, possui mistura de hidróxido de magnésio e hidróxido de cálcio, ou da mistura de hidróxido de magnésio, hidróxido de cálcio e óxido de magnésio.

Segundo Guimarães (2002, p. 265), as argamassas com cal têm flexibilidade para absorver as pequenas deslocações provocadas pelos movimentos de acomodação desiguais da estrutura, pois elas têm versatilidade para auto refazer muitas das pequenas fissuras que ocorrem no decorrer do tempo, graças à sua atividade química que só se extingue após muito tempo, contudo, a cal quando adicionada à argamassa, aumenta a resistência à penetração de água, garantindo maior durabilidade das construções. Ainda assim a capacidade de retenção de água das argamassas está ligada com a quantidade de cal hidratada adicionada a mistura.

### **3.5.3. AREIA**

Segundo Guimarães (2002, p. 245), “o agregado ou areia, componente das argamassas, é o material particulado de origem mineral, onde predomina o quartzo, de diâmetros entre 0,06 e 2,0 mm”. Os agregados influenciam o comportamento da argamassa em seu estado fresco como também no desempenho do revestimento, além de totalizar cerca de 60% a 80% do consumo dos materiais da argamassa pronta (CARASEK, 2010).

De acordo com Silva Júnior (2014, p. 29), “Os agregados podem afetar a coesão, consistência e trabalhabilidade, em compósitos cimentícios no estado fresco, e a resistência à compressão, estabilidade dimensional, durabilidade, resistência à abrasão e aspecto visual no estado endurecido”.

### **3.5.4. CIMENTO PORTLAND CP II Z 32**

O cimento Portland possui clínquer e adições minerais em sua composição. A flexibilidade da sua estrutura permite a produção de diversos tipos de cimentos com diferentes propriedades químicas e mecânicas. O clínquer é o resultado da fusão entre 1400°C a 1500°C das matérias primas usadas na composição do cimento (argila + calcário + óxido de ferro). Há muitos compostos presentes no clínquer como os silicatos de cálcio, aluminato de cálcio e alumino ferritas (BAÍÁ; SABBATINI, 2000).

O primeiro cimento Portland comercializado no Brasil foi o CP I (cimento tipo Portland comum sem quaisquer adições além do gesso), ele foi utilizado para a maioria das aplicações usuais, logo se tornou referência e foi a partir do amplo domínio científico e tecnológico sobre o cimento Portland comum que foi possível

desenvolver outros tipos de cimento, com o objetivo inicial de atender a casos específicos.

Segundo a (ABCP, 2002), existem atualmente no Brasil oito tipos de cimento Portland, diferentes entre si, principalmente em função da sua composição e de suas propriedades. Em relação a composição os principais tipos comercializados no Brasil são: o cimento Portland comum (CP I), cimento Portland composto (CP II), cimento Portland de alto-forno (CP III) e cimento Portland pozolânico (CP IV). Já para cimentos Portland específicos com propriedades especiais de aplicação, existem os seguintes tipos: cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI), cimento Portland resistentes aos sulfatos, cimento Portland branco (CPB), cimento Portland de baixo calor de hidratação e cimento Portland para poços petrolíferos (CPP), (ABCP, 2002).

### **3.6. A CONSTRUÇÃO CIVIL E SEU PAPEL DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Devido à degradação ambiental e social causado principalmente pelas ações empresariais, a busca pela sustentabilidade ganhou relevância num contexto em que essas ações são apontadas como causadores de danos irreparáveis ao meio ambiente, Sachs (2008), sugere que a sustentabilidade é o principal desafio do século XXI, para tanto nesse contexto, a indústria da construção civil caracteriza-se como uma das principais consumidoras de recursos naturais e geradoras de resíduos, visto que a maioria dos insumos utilizados na construção civil é proveniente de fontes não renováveis.

De acordo com inúmeros estudos, é de grande importância validar a exploração dos recursos naturais e sua consequente degradação, que por sua vez têm sido potencializadas num sistema orientado para o crescimento econômico e acumulação progressiva de capital. Diante disso, autores como Vizeu, Meneghetti e Seifert (2012) sugerem que, tendo em vista os fundamentos históricos do modo de produção capitalista, a conciliação entre objetivos econômicos, sociais e ambientais propostas pelo discurso dominante da sustentabilidade constitui uma impossibilidade e, portanto, tem natureza ideológica. Desta forma, o discurso ideológico da sustentabilidade pode ser entendido como prática, em última análise, serve para ocultar o fenômeno de

agressão ao ambiente natural, servindo como marketing comercial, objetivando lucros ainda maiores.

Oliveira e Vieira (2008, p. 39) defendem que “sustentabilidade é um processo de construção da dinâmica social que envolve um pacto de atores sociais de um modo gradativo e de consenso para um futuro sustentável”. Envolve, de acordo com os autores, quatro dimensões: - A dimensão ética: onde se destaca o reconhecimento de que o almejado equilíbrio ecológico está em jogo mais que um padrão duradouro de organização da sociedade. - A dimensão temporal: determina a necessidade de planejar em longo prazo, rompendo a lógica imediatista. - A dimensão social: expressa o consenso de que só uma sociedade sustentável, menos desigual e com pluralismo político pode produzir o desenvolvimento com sustentabilidade. - A dimensão prática: reconhece necessária a mudança de hábitos de produção, consumo e de comportamentos, para uma convivência melhor.

Reconhecer que existem diferentes paradigmas que fundamentam os debates e embates relacionados à questão da sustentabilidade é de fundamental importância para que se possa conhecer e entender essas diferenças, contudo, Paradigmas podem ser descritos como sendo um conjunto de crenças, valores e hábitos que fundamentam a visão compartilhada por determinado grupo (KUHN, 2001).

Os principais paradigmas associados à questão da sustentabilidade têm sido tipicamente apontados como: antropocentrismo e ecocentrismo. De acordo com Almeida e Austin (2006, p. 75), “o paradigma antropocêntrico caracteriza-se como uma perspectiva de ação que submete o ambiente natural à lógica de produção”.

Na visão dos autores, o ecocentrismo se caracteriza pela crítica aos padrões de modernidade, considerando a concepção de domínio da natureza, e por defender uma mudança de postura do ser humano, na busca eficaz de utilização dos recursos para reduzir os impactos sobre o meio ambiente”.

O setor da construção civil, dentro do contexto da sustentabilidade, vem gerando grandes e fortes discussões com relação às questões ambientais, além de ser um grande consumidor de recursos naturais, é também um grande gerador de resíduos e, quando não possui um sólido programa de gestão destes resíduos, os mesmos são devolvidos de forma inadequada ao meio ambiente, gerando

transtornos sociais e econômicos, além dos ambientais que são enormes e muitas vezes sem volta ao padrão original (ORTEGA, 2014).

No que se refere a reciclagem dos materiais utilizados, é importante a participação e vistoria em todas as fases do processo de uma construção, contribuindo assim para os ideais econômicos, sociais e ambientais, que são pontos fundamentais dentro das bases da sustentabilidade. De acordo com as diretrizes do Conselho Nacional do Meio Ambiente, os resíduos da construção civil, no que diz respeito a reciclagem, possui quatro classificações, A, B, C e D (BLUMENSCHHEIN, 2007).

Cada uma dessas classes inclui os materiais considerados para a reciclagem ou descarte, a saber:

- Classe A: cacos de cerâmicas, tijolos, blocos de telhas (com exceção das telhas de amianto), placas de revestimento, concreto, argamassa, pedras. Todos esses são classificados como resíduos reutilizáveis.
- Classe B: plásticos, madeiras, papel, papelão, metais e vidros. Todos esses são classificados como resíduos recicláveis.
- Classe C: são os resíduos oriundos do gesso, que devem ser descartados de forma adequada, pois ainda não foi desenvolvida tecnologia para reutilização ou reciclagem.
- Classe D: tintas, óleos, solventes, resíduos de amianto, resíduos de reparos de clínicas radiológicas. Todos esses são classificados como resíduos perigosos. Portanto, devem ser descartados de forma adequada e responsável, segundo várias pesquisas, são possíveis reutilizar e reciclar 60 a 80% dos resíduos de classes A e B.

Diante de todos os aspectos em evidência, esses resíduos necessitam de um tratamento individual e diferenciado, e para que isso ocorra de forma regular, os indivíduos que atuam diretamente com cada um desses elementos sejam em qualquer etapa do processo, devem ser devidamente capacitadas a fim de garantir a prática do conceito de sustentabilidade (BLUMENSCHHEIN, 2007).

## **4. METODOLOGIA**

Essa pesquisa apresenta um propósito exploratório acerca da análise do comportamento da argamassa com incorporação parcial de RIG, desenvolvido em parceria com a Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) laboratório de química industrial (LETEQ), o laboratório de núcleo de pesquisa de engenharias gerais (NPEG) da faculdade Maurício de Nassau, campus Campina Grande, o laboratório de Geotecnia do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), campus Campina Grande, e a empresa Granfuji Mármore e Granitos LTDA que disponibilizou o resíduo industrial de granito RIG utilizado durante a pesquisa.

Uma vez que os resultados dessa pesquisa foram feitos através de percepções e análises de cenários, e são apresentados por meio de uma abordagem explicativa e por tabelas qualitativas. Os materiais utilizados na pesquisa foram: água, areia, cal, RIG, cimento portland composto com pozolana (CP II-Z 32).

Através dessa pesquisa será possível fazer a comparação entre os padrões de tolerância, qualidade, e alguns danos causadas pelas empresas que por vezes acometem o meio ambiente.

Serão mostrados os benefícios da implementação desses padrões químicos, ensaios físicos, de laboratórios utilizou-se o planejamento fatorial e definiu-se uma matriz de planejamento utilizada na composição dos materiais da argamassa, no qual foi estabelecido uma idade dos corpos de prova de 28 dias e traço de 1:1:5 (cimento, cal e areia) que tem como base o traço comumente utilizado na região para argamassas de assentamento e revestimento. O fator água/cimento varia de 1,3 a 1,7 e os diferentes percentuais de resíduos 0%, 5%, 10% e 20%.

### **4.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PESQUISA**

Para a redução dos ensaios e a validação estatística dos resultados utilizou-se o planejamento fatorial com dois níveis e duas variáveis de controle que foram: porcentagem do RIG e o fator água cimento (a/c) e adicionado três pontos centrais para garantir a receptibilidade do processo e a verificação dos

erros puros e residuais, assim, obtendo uma superfície de resposta mais contundente e ajustável ao modelo realizado. Como mostra no Quadro 1 e na equação 1, respectivamente.

**Quadro 1** - Matriz de planejamento inicial

<b>Variáveis</b>	<b>Níveis</b>		<b>Ponto Central</b>
<b>% Resíduo</b>	0	10	5
<b>Fator A/C</b>	1,3	1,7	1,5

Fonte: Autor (2020)

Então a partir da equação (1):

$$P = 2^2 + 3$$

Onde:

P = Planejamento fatorial

2 = Número de variáveis

3 = Pontos Centrais

Tem-se a matriz de planejamento, conforme mostrado no Quadro 2.

**Quadro 2** - Matriz de delineamento

<b>Argamassa</b>	<b>% Resíduo</b>	<b>Fator a/c</b>
<b>Argamassa A</b>	0	1,3
<b>Argamassa B</b>	0	1,7
<b>Argamassa C</b>	10	1,3
<b>Argamassa D</b>	10	1,7
<b>Argamassa E</b>	5	1,5
<b>Argamassa F</b>	5	1,5
<b>Argamassa G</b>	5	1,5

Fonte: Autor (2020).

Foi confeccionada uma argamassa com maiores porcentagens de RIG (20%) e um fator de a/c 1,3, invariável, essa não pertencendo ao planejamento fatorial, mas uma importante fonte de análise dos limites impostos pelo RIG.

## 4.2. ESTUDOS DAS ARGAMASSAS

Os ensaios de laboratório realizados estão demonstrado no Quadro 3. E encontrar-se de acordo com a NBR ABNT 13281 (2005) que determina os requisitos para argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos.

**Quadro 3** – Ensaios realizados com as argamassas.

<b>Norma</b>	<b>Ensaio</b>
NBR ABNT 13277:2005	Determinação da retenção de água.
NBR ABNT 13278:2005	Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.
NBR ABNT 13279:2005	Determinação da resistência à tração na flexão e a compressão axial.
NBR ABNT 13280:2005	Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.
NBR ABNT 15259:2005	Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.

Fonte: Autor (2020)

Os ensaios de resistência à compressão e tração na flexão foram realizados no estado endurecido onde os três corpos de provas de cada argamassa passaram por um tempo de cura de 28 dias. E utilizou-se o laboratório de Geotecnia do IFPB e o NPEG da Uninassau para a efetivação dos ensaios como mostra a Figura x.

**Figura 4** – Ensaio de resistência à compressão e tração na flexão



Fonte: Autor (2020)

O ensaio de determinação da retenção de água da argamassa foi feito no estado fresco e no laboratório de Geotecnia do IFPB, conforme a figura 5.

**Figura 5** – Ensaio de determinação da retenção de água



Fonte: Autor (2020)

A determinação da densidade de massa no estado fresco foi realizada no laboratório LETEQ da UEPB como pode observar na Figura 6. O ensaio realizado é um importante análise para regular o fator água/cimento e consistência da argamassa.

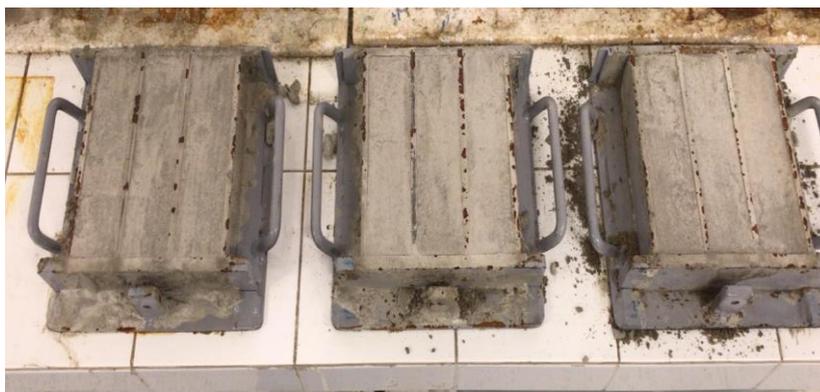
**Figura 6** – Ensaio de densidade de massa no estado fresco



Fonte: Autor (2020)

Já a determinação da densidade de massa no estado endurecido foi feito através de três corpos de prova para cada argamassa e os mesmos deixados em idades de cura de 28 dias. O ensaio foi realizado no LETEQ na UEPB como pode observar na Figura 7.

**Figura 7** – Corpo de prova da densidade de massa no estado endurecido



Fonte: Autor (2020)

O ensaio para determinação do coeficiente de capilaridade foi realizado com três corpos de prova e com idade de 28 dias e foi desenvolvido no LETEQ na UEPB como podemos observar na Figura 8.

**Figura 8** – Determinação do coeficiente de capilaridade



Fonte: Autor (2020)

### 4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS E CONSTITUINTES

- Areia

O ensaio de granulometria foi realizado conforme NBR ABNT NM 248 (2003), no laboratório LETEQ da UEPB.

**Figura 9** – Ensaio do agregado (areia)



Fonte: Autor (2020)

- Água

A água utilizada foi a da rede de abastecimento disponibilizada pela CAGEPA e os parâmetros estão de acordo com a legislação utilização pela própria companhia.

- Cal CH I

A cal hidratada utilizada é do tipo CH I, caracterizada pela NBR ABNT 7175 (2003) e suas especificações de acordo com o fabricante estão apresentadas no Quadro 5.

**Quadro 4 – Parâmetros Cal CH I**

<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado</b>
Anidrido Carbônico	Fábrica $\leq 5,0\%$ e Depósito $\leq 7,0\%$
Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado calculado (CaO+MgO)	$\leq 10,0\%$
Óxidos Totais na base não volátil (CaO+MgO)	$\geq 90,0\%$
Finura (peneira 0,600 mm)	$\leq 0,5\%$
Finura (peneira 0,075 mm)	$\leq 10,0\%$

Fonte: Hidra (2020)

#### 4.4. CARACTERIZAÇÃO DO RIG

A caracterização física do RIG foi realizada através do ensaio do índice de finura conforme a ABNT NBR 11579 (2012). Já a caracterização química ocorreu com a quantificação dos teores de seus constituintes químicos determinados por Eflorescência de raios-x (EDX). O equipamento utilizado para realização do ensaio de EDX foi da marca Shimadzu do tipo Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer (Figura 10).

**Figura 10 – Equipamento Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer**



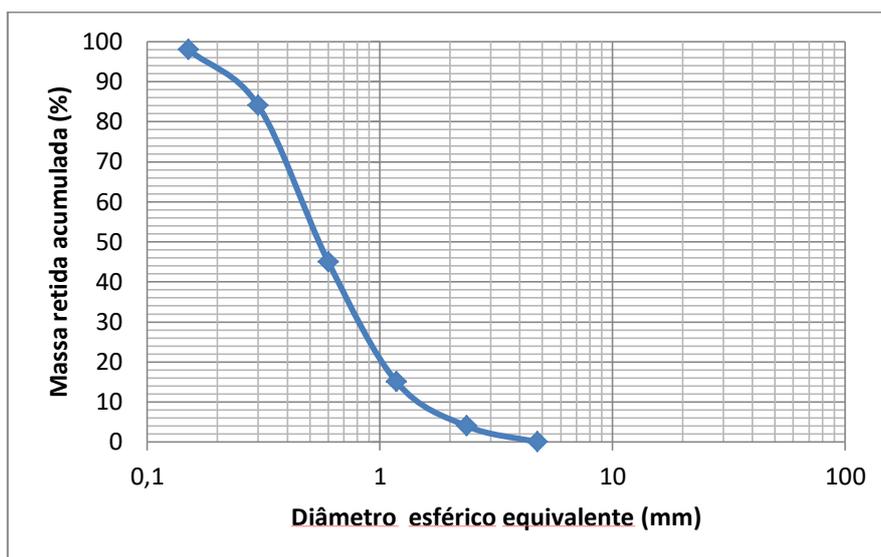
Fonte: Google adaptada (2019)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. GRANULOMETRIA DA AREIA

O ensaio de granulometria foi realizado conforme NBR ABNT NM 248 (2003), onde apresenta classificação de fina na Figura 11, pois seu módulo de finura é 2,46, sendo usual para confecções de argamassas.

**Figura 11** – Distribuição granulométrica do agregado



Fonte: Autor (2020)

### 5.2. ÍNDICE DE FINURA

Em relação ao índice de finura, de acordo com os resultados obtidos (Quadro 5), observa-se que o resíduo é bem fino chegando a ser aproximadamente 16,8% menor que o índice de finura do cimento, porém possuindo uma área superficial maior, fazendo com que o RIG seja eficaz no preenchimentos de vazios, atuando como *filler*.

**Quadro 5** – Índice de finura do RIG

Resíduo industrial de granito na peneira 0,0075 ( r ) [g]	4,99
Massa Inicial (m) [g]	50,02
Fator de correção da peneira (Fc)	1,00
Índice de finura (If) [%]	9,98

Fonte: Autor (2020)

Para Dal Molin (2005), o *filler* também produz um efeito físico de melhorar o empacotamento granulométrico das partículas. Em muitos estudos, o resíduo industrial de granito (RIG) é considerado um *filler*, com propriedades inertes, que aumenta a densidade de concretos e argamassas, melhorando suas características e propriedades, além de reduzir a demanda mundial de cimento (APOLINÁRIO, 2014; SOUZA; BRANCO, 2017).

## 5.2. QUANTIFICAÇÃO DO TEOR DOS CONSTITUINTES QUÍMICOS

A constituição química do RIG foi realizada com a aplicação do equipamento EDX e os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 6.

**Quadro 6** - Composição química do RIG.

Composto Químico	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Outros
Teor (%)	60,356	16,611	8,247	5,663	3,917	2,669	1,058	1,479

Fonte: Autor (2020)

Nota-se uma maior concentração de dióxido de sílica (60,356%) que é um componente do quartzo que melhora a flexibilidade e aderência da argamassa. Observa-se também, teores de Alumina e (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e de Óxido de férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) proveniente das laminas de corte, iguais a 16,611% e 8,247%, respectivamente. Outro elemento importante que pode influenciar na argamassa é o Óxido de cálcio (CaO) que, ao se hidratar durante o endurecimento, pode expandir de volume e ocasionar fissuras na argamassa, mas como o teor de CaO obtido no EDX é de apenas 3,917%, torna-se não significativo, não comprometendo a qualidade da argamassa, como pode ser observado na Figura 12, a aplicação da argamassa em um reboco de uma parede exposta ao ambiente no dia 08/12/2018. O próprio profissional que realizou o reboco afirmou que a argamassa com 10% RIG havia uma melhor trabalhabilidade. Outro fator que chama atenção é que, apesar do RIG possuir partículas metálicas, ao ser utilizado na argamassa, não apresentou fosforescência típica de oxidação de metais, como pode ser observado na Figura 5. Apolinário (2014a), complementa que a sílica (SiO<sub>2</sub>), componente com predominância no RIG analisado, encontra-se presente na difração de raios X,

logo se apresenta em sua fase cristalina, indicando pequena possibilidade de o RIG ser reativo.

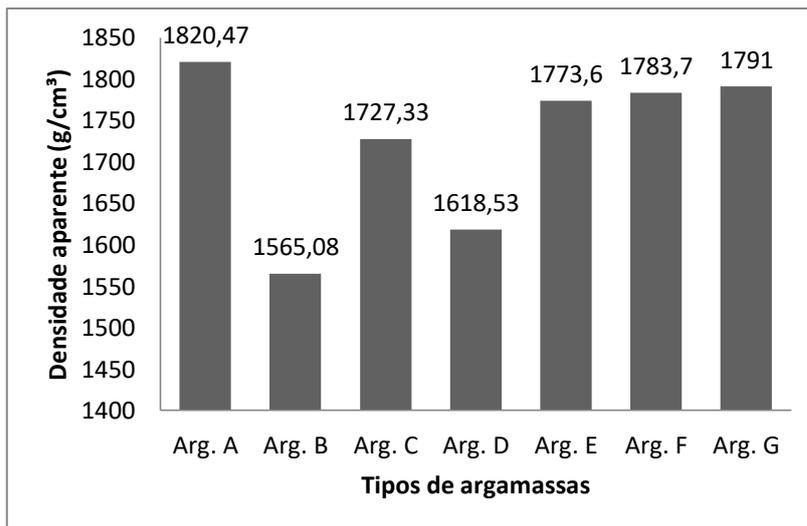
**Figura 12** - Imagem do dia 06/05/2020 do reboco realizado em 08/12/2018 com 0%, 5% e 10% de RIG.



Fonte: Autor (2020)

### 5.3. DENSIDADE DE MASSA APARENTE NO ESTADO ENDURECIDO

Observa-se na Figura 13 que com o aumento do fator a/c combinado com a incorporação do resíduo a densidade diminui em comparação as Argamassas A e C existindo uma diferença de 5,1%, fator este que estar associado à água de amassamento, que se perde menos água quando existe uma maior porcentagem de cimento na argamassa, isso acontece no processo de cura da argamassa. Frisa-se que de acordo com a Tabela 1 da NBR ABNT 13281 (2005) a argamassa A pertencem à classe M5 e B, C, D, E, F e G a classe M4.

**Figura 13** - Densidade de massa aparente das argamassas.

Fonte: Autor (2020)

Segundo Corso *et al.* (2020) o ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido teve um aumento de 9,49% em comparação com argamassa de referência. Foi utilizado na pesquisa óxido de grafeno em substituição parcial do cimento. Na argamassa com 20% de RIG (1839,00 g/cm<sup>3</sup>) observou-se uma densidade maior comparando com argamassa A. Logo, os resultados obtidos na Figura 3 são aceitáveis, uma vez que o RIG tem função de diminuir a porosidade do material conforme SILVA *et al.* (2017).

De acordo com a NBR ABNT 13281 (2005) que rege os requisitos para classificação das argamassas, verificou-se que a partir dos resultados obtidos no ensaio, todas apresentam a mesma classificação, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1** - Densidade de Massa Aparente no Estado Endurecido segundo a NBR 13281 (2005)

Classe	Densidade de Massa Aparente no Estado Endurecido (Kg/m <sup>3</sup> )	Tipos de Argamassa
M1	≤ 1200	
M2	1000 a 1400	
M3	1200 a 1600	
<b>M4</b>	<b>1400 a 1800</b>	<b>Arg. B, C, D, E, F e G</b>
<b>M5</b>	<b>1600 a 2000</b>	<b>Arg. A</b>
M6	> 1800	

Fonte: Autor (2020)

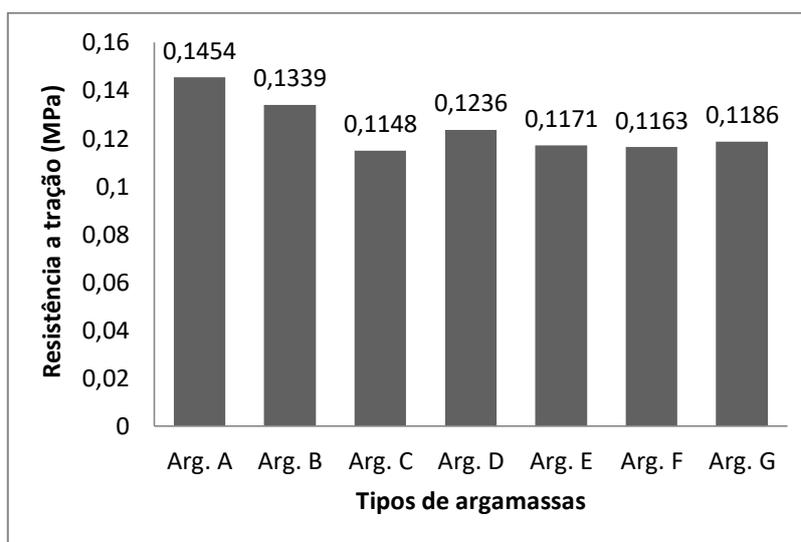
Mesmo as argamassas obtendo diferentes valores de densidade de massa aparente no estado endurecido, Só a argamassa A ficou com classificação

diferente o restante obtiveram a mesma classificação ainda com as argamassas B que teve resíduo na sua constituição.

#### 5.4. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

No caso da Resistência a Tração na Flexão (Figura 14), observou-se que a resistência entre as argamassas apresentaram diferenças insignificantes com o acréscimo do RIG e as argamassas sem incorporação de RIG, ou seja, as argamassas de referência apresentaram maiores resistências, seguidas da argamassa D.

**Figura 14** - Resultados de resistência à tração na flexão das argamassas.



Fonte: Autor (2020)

Já Apolinário (2014b) observou em suas análises que as argamassas contendo resíduos de mármore e granito possuíam valores de resistência superiores às argamassas de referência nas primeiras idades (3 dias). Verificou que nas argamassas com incorporação de 10% de RCMG apresentou um aumento de 21,1% na resistência. Já para sete dias ocorreu um aumento ainda maior de 35,51%. Logo nesse estudo, conforme a Figura 14 observa-se uma redução de aproximadamente 21% na resistência entre as argamassas A e C e também de uma redução de 7,7% entre as argamassas B e D que pode ser explicado pelo efeito físico do RIG como *filler* acelerando a hidratação do cimento, conforme Gonçalves (2000), já que para todas as argamassas foram realizadas

após 28 dias de cura. No caso das argamassas E, F e G apresentaram valores constantes no período.

De acordo com a NBR ABNT 13281 (2005) que rege os requisitos para classificação das argamassas, verificou-se que a partir dos resultados obtidos no ensaio, todas apresentam a mesma classificação, conforme Tabela 2.

**Tabela 2** - Resistência à tração na flexão segundo a NBR 13281 (2005)

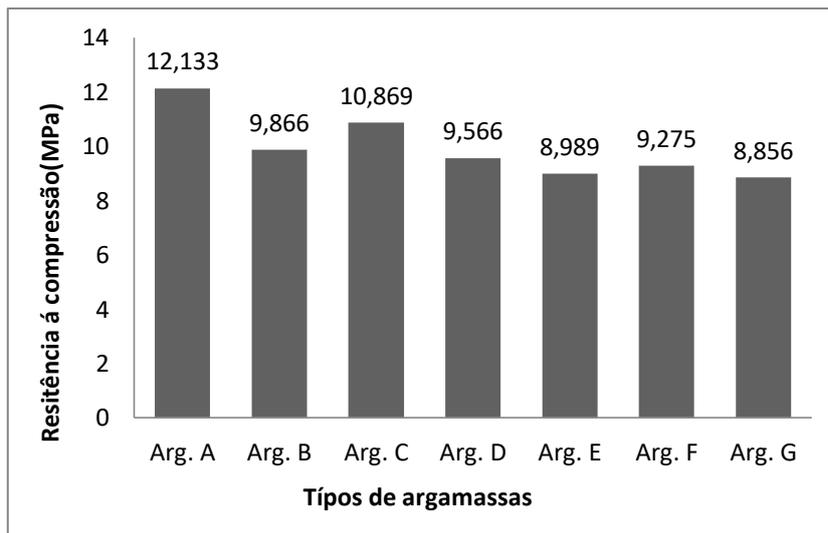
Classe	Resistência a Tração na Flexão (MPa)	Tipos de Argamassa
<b>R1</b>	<b>≤ 1,5</b>	<b>Arg. A, B, C, D, E, F e G.</b>
R2	1,0 a 2,0	
R3	1,5 a 2,7	
R4	2,0 a 3,5	
R5	2,7 a 4,5	
R6	> 3,5	

Fonte: Autor (2020)

Mesmo as argamassas obtendo diferentes valores de resistência a tração na flexão, tiveram a mesma classificação ainda com as argamassas (A e B) que não tinha RIG na sua constituição.

## 5.5. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Em relação à resistência a compressão axial (Figura 15) pode-se destacar nesse ensaio as argamassas B e D, ambas possuem o mesmo fator a/c, porém a argamassa D possui incorporação de 10 % de RIG na composição, apresentando uma diferença no resultado da resistência de 3,04%, que pode ser atribuído a maior área superficial do RIG em relação ao cimento e pela finura do RIG.

**Figura 15** – Resultados de resistência à compressão axial das argamassas.

Fonte: Autor (2020)

Já as argamassas C e D com incorporação de 10% de RIG na composição apresentaram uma diferença de 11,68%, valor relativo pequeno que foram influenciadas pela massa de água acometida. Isso ocorre porque o efeito produzido pelo RIG nas argamassas é preponderantemente físico, de tamponamento dos poros e complemento da granulometria, pois, a elevada finura dos *fillers*, provocando uma precipitação de produtos hidratados, o que torna a pasta mais densa e homogênea pela diminuição do diâmetro e melhor distribuição dos poros (MORAES, 2001). A pesquisa de Castro *et al.* (2015) que utiliza bagaço de cana-de-açúcar como agregado miúdo apresentou um aumento da compressão pelo o mesmo fato.

De acordo com a NBR ABNT 13281 (2005) que rege os requisitos para classificação das argamassas, verificou-se que a partir dos resultados obtidos no ensaio, todas apresentam a mesma classificação, conforme Tabela 3.

**Tabela 3** - Resistência à compressão segundo a NBR 13281 (2005)

Classe	Resistência a Compressão (MPa)	Típos de Argamassa
P1	≤ 2,0	
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	> 8,0	Arg. A, B, C, D, E, F e G.

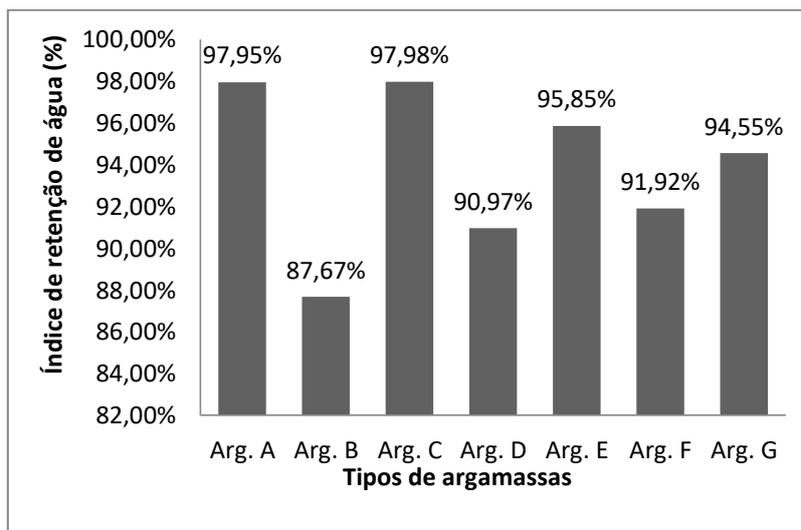
Fonte: Autor (2020)

Mesmo as argamassas obtendo diferentes valores de compressão, tiveram a mesma classificação ainda com as argamassas (A e B) que não tinha resíduo na sua constituição.

## 5.6. RETENÇÃO DE ÁGUA

Observando a Figura 16 pode-se verificar que as argamassas estão dentro do limite imposto pela NBR ABNT 13281 (2005) afirma que as argamassas devem reter de 78% a 100% de água e na mesma norma de acordo com a tabela 4 tem-se que as argamassas B e D pertencem à classe U4; E, F e G a U5 e A e C a U6.

**Figura 16** – Índice de retenção de água das argamassas.



Fonte: Autor (2020)

Devido às solicitações de amassamento e de retração plástica no processo de acabamento, ambos estão ligados com a capacidade de manter a trabalhabilidade da argamassa e assim podendo atender as solicitações previstas. E vale a ressaltar que pode afetar a aderência e a durabilidade do material no estado endurecido (CARASEK, 2007b). Todas as argamassas analisadas obtiveram resultados satisfatórios.

A argamassa B e D que tem a mesmo fator a/c apresentou uma diferença de 3,63% e todas as argamassas apresentaram uma retenção acima de 87,67%. E segundo Pczieczek (2017) que incorporou resíduo de borracha na composição de argamassas encontrou valores acima de 80%, concluindo que os resíduos incorporados em argamassas ajudam na impermeabilidade.

De acordo com a NBR ABNT 13281 (2005) que rege os requisitos para classificação das argamassas, verificou-se que a partir dos resultados obtidos no ensaio, obtiveram classificações próximas, conforme Tabela 4.

**Tabela 4** – Retenção de água NBR 13281 (2005)

Classe	Retenção de Água (%)	Tipos de Argamassa
C1	≤ 78	
C2	72 a 85	
C3	80 a 90	
C4	86 a 94	Arg. B e D
C5	91 a 97	Arg. E, F e G
C6	95 a 100	Arg. A e C

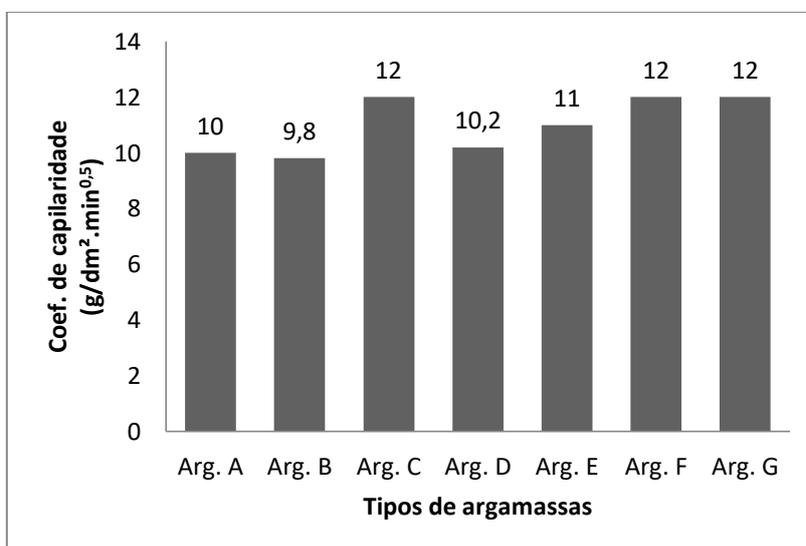
Fonte: Autor (2020)

Podem-se observar que as argamassas A e C que tem o mesmo fator a/c e a mesma % de RIG tiveram a mesma classificação, assim como a B e D e seguindo a mesma lógica as argamassas E, F e G.

## 5.7. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

As argamassas A e B de referências apresentaram os menores índices de capilaridade tendo em vista que todas permaneceram com valores muito próximos. E de acordo com a Tabela 5 da NBR ABNT 13281 (2005) todas as argamassas pertencem à classe C5. Conforme a Figura 17.

**Figura 17** – Coeficiente de absorção capilar das argamassas



Fonte: Autor (2020)

Analisando os resultados obtidos e a incorporação de RIG nas argamassas e sua microestrutura, observa-se uma mudança da permeabilidade devido a redução dos índices de vazios. Conforme Courand e Michel (2014), o aumento da absorção da água por capilaridade entre 15 a 27% se mantem constantes ao longo do tempo com a utilização de *filler* calcário na substituição do cimento em proporções variando de 0 a 15%. Já no presente estudo com a utilização do RIG obteve um aumento de 18,3% e também se manteve constante. Com isso, observa-se novamente a eficiência do RIG como *filler*.

De acordo com a NBR ABNT 13281 (2005) que rege os requisitos para classificação das argamassas, verificou-se que a partir dos resultados obtidos no ensaio, todas apresentam a mesma classificação, conforme Tabela 5.

**Tabela 5** - Coeficiente de Capilaridade segundo a NBR 13281 (2005)

Classe	Coeficiente de Capilaridade ( $g/dm^2 \cdot min^{1/2}$ )	Tipos de Argamassa
C1	$\leq 1,5$	
C2	1,0 a 2,5	
C3	2,0 a 4,0	
C4	3,0 a 7,0	
C5	5,0 a 12,0	Arg. A, B, C, D, E, F e G
C6	$> 10,0$	

Fonte: Autor (2020)

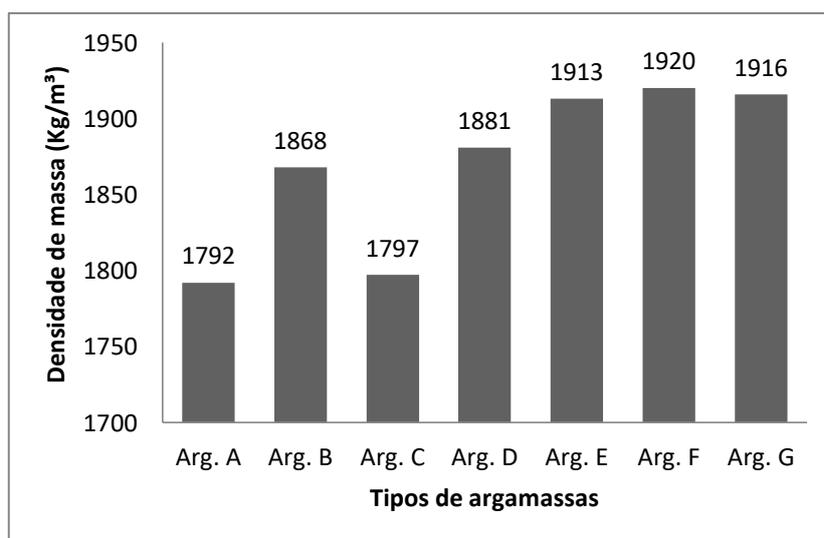
Mesmo as argamassas obtendo diferentes valores do coeficiente de capilaridade, tiveram a mesma classificação das argamassas (A e B) que não tinha resíduo na sua constituição.

## 5.8. DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO FRESCO

A determinação da densidade de massa no estado fresco foi realizada através dos requisitos estabelecidos na NBR ABNT 13278 (2005). Então, observa-se uma menor densidade quando o fator água/cimento foi de 1,3, isso devido à argamassa ficar menos fluida com uma menor massa de água. Mesmo assim de acordo com a tabela 6 da NBR ABNT 13281 (2005) tiveram a mesma classificação D4.

A maior diferença de argamassa é entre a Arg. A e Arg. F, totalizando uma diferença de apenas 6.66%, com isso percebe-se claramente que as não houve muita diferença entre as mesmas (Figura 18). E a adição de resíduo proporciona a argamassa a aprisionar o ar interno através da água de amassamento e este tende a preencher os vazios, deixando-as mais densa, causando o efeito *filler*. O aumento do teor de *filler* faz com que aumente a densidade de massa aparente no estado fresco e, por conseguinte, diminua o teor de ar incorporado da mistura (ARNOLD & KAZMIERCZAK, 2009). E podemos analisar na Figura 11 o que foi explanado anteriormente.

**Figura 18** - Densidade de massa no estado fresco das argamassas.



Fonte: Autor (2020)

De acordo com a NBR ABNT 13281 (2005) que rege os requisitos para classificação das argamassas, verificou-se que a partir dos resultados obtidos no ensaio, todas apresentam a mesma classificação, conforme a Tabela 6.

**Tabela 6** - Densidade de Massa no Estado Fresco segundo a NBR 13281 (2005)

Classe	Densidade de Massa no Estado Fresco (kg/m³)	Tipos de Argamassa
D1	≤ 1400	
D2	1200 a 1600	
D3	1400 a 1800	
<b>D4</b>	<b>1600 a 2000</b>	<b>Arg. A, B, C, D, E, F e G</b>
	1800 a 2200	
D6	> 2000	

Fonte: Autor (2020)

Mesmo as argamassas obtendo diferentes valores de densidade de massa aparente no estado fresco, tiveram a mesma classificação ainda com as argamassas (A e B) que não tinha resíduo na sua constituição.

### 5.9. ARGAMASSA COM 20% DE RIG

A argamassa com 20% de RIG e fator a/c de 1,3 obteve resultados satisfatórios como pode observar no Quadro 7.

**Quadro 7** – Resultados dos ensaios com a argamassa de 20%

<b>Ensaio</b>	<b>Resultado</b>	<b>Classificação</b>
<b>Densidade de massa aparente no estado endurecido</b>	1839 (Kg/m <sup>3</sup> )	M5
<b>Retenção de Água</b>	94 (%)	U4
<b>Resistência à tração na flexão</b>	0,1231 (Mpa)	R1
<b>Resistência à compressão</b>	9,3 (Mpa)	P6
<b>Densidade de massa no estado fresco</b>	1826 (Kg/m <sup>3</sup> )	D5

Fonte: Autor (2020)

O principal efeito do RIG na argamassa com 20% de RIG foi de *filler*, onde se destaca a resistência a compressão obtendo valor de 9,3 MPa chegando a 5,3% maior que a argamassa E que tem na sua constituição 5% de resíduos, esses resultados comprovam que a utilização do RIG em sua composição pode ser viável, barateando o valor do produto como também desenvolvendo uma alternativa ambientalmente correta para a destinação do RIG.

## 6. CONCLUSÃO

- Com a incorporação de RIG em argamassas seguindo a matriz de delineamento proposta foi possível realizar o estudo com o menor número possível de amostras;
- A importância do RIG como um filler nas aplicações propostas, agindo no preenchimento dos espaços vazios;
- Beneficiamento da nucleação heterogênea, ativando a hidratação do cimento e catalisando o processo de nucleação dos hidratos;
- Ressalta-se, que após 19 meses de uma aplicação prática a argamassa com RIG apresentou uma melhor trabalhabilidade e não apresentou fissuras e fosforescência;
- Não alterou significativamente as resistências;
- O RIG apresentou uma alta finura, possuindo maior área superficial, assim, preenchendo os poros capilares;
- Aumento na impermeabilidade;
- As argamassas com fator  $a/c$  menor obtiveram melhores resultados;
- Mostra que a sustentabilidade é uma importante ferramenta para mitigação de danos;
- Que é possível incorporação de resíduos na cadeia produtiva através da reutilização;
- A construção civil estar em debates para desenvolvimento sustentável e novas tecnologias mais limpas;
- A adição do RIG em argamassa mostra ser uma alternativa ambientalmente correta e economicamente viável.

## 7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A., & AUSTIN, S. **Da compreensão materialística e dialética das relações ecológicas ao conceito de desenvolvimento sustentável.**

Desenvolvimento em Questão, 4(7), 73-94, 2006.

APOLINÁRIO, E. C. A. **Influência da adição do resíduo proveniente do corte de mármore e granito (RCMG) nas propriedades de argamassas de cimento Portland.** Salvador, 2014. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

ARNOLD, D. C. M.; KAZMIERCZAK, C. S. **Influência da distribuição granulométrica do agregado miúdo e do teor de filler nas propriedades de argamassas com areia de britagem.** VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas – VIII SBTA, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Guia básico de utilização do cimento Portland BT-106. 2002. Disponível em:

<[http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106\\_2003.pdf](http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf)>.

Acesso em: 21 de agosto de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. (ABRIROCHAS) Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2019. Disponível em: <[http://abirochas-novembro.institucional.ws/wpcontent/uploads/2019/04/Informe\\_05\\_2019\\_Agosto.pdf](http://abirochas-novembro.institucional.ws/wpcontent/uploads/2019/04/Informe_05_2019_Agosto.pdf)>. Acesso em 16 de abril. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732:** Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15012:** Rochas para revestimentos de edificações — Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175:** Cal hidratada para argamassas. Rio de Janeiro, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579.** Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (n°200). Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13528: Revestimentos de paredes inorgânicas – Determinação da resistência da aderência a tração. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

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

BAÍA, L. L.; SABBATINI, F. H. Projeto e execução de revestimento de argamassa. Coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras. 1 ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2000. 82 p.

BARBOSA, K. C. **Avaliação experimental do fenômeno de retração em alvenaria de blocos de concreto**. São Carlos, 2005. 223 p. Dissertação (mestrado). Programa de Pós Graduação em Construção Civil. Universidade Federal de São Paulo.

BLUMENSCHHEIN, R. N. **Manual Técnico. Gestão de Resíduos Sólidos em Canteiros de Obras**. Brasília, Sebrae/DF, 2007.

BRASIL. [Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010]. Política nacional dos resíduos sólidos [Recurso eletrônico]. – 2 ed. – Brasília: Câmara dos deputados, Edições câmara, 2012. 73 p. - (Série Legislação; nº 81).

CANOVA, José Aparecido; BERGAMASCO, Rosangela; ANGELIS NETO, Generoso de. **A utilização de resíduos de pneus inservíveis em argamassa de revestimento**. Acta Scientiarum. Technology, v. 29, n. 2, p. 141-149, 2007.

CARASEK, Helena. **Argamassas**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 893-941.

CASTRO, T. R. de; MARTINS, C. H. Avaliação da adição de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar em argamassas mistas. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 137-151, jul./set. 2016.

CALHAU, E. L. Argamassas de revestimento com aditivo incorporador de ar – propriedades e recomendações. Vitória 2000. 144 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo.

CARVALHO JÚNIOR, A. N. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência**

**mecânico**. 2005. 331f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

CASCUDO, O. ; CARASEK, H. ; CARVALHO, A. **Controle de argamassas industrializadas em obra por meio do método de penetração do cone**. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Anais...CD ROM. Florianópolis, maio 2005. P . 83 – 94.

CARASEK, H. et al. **Microestrutura da interface argamassa/tijolo cerâmico**. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, 2., 1997, Salvador. Anais... Salvador: CETA/ANTAC, 1997. 1 CD.

CINCOTTO, M. A. (Coord.); SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimentos: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: IPT, 1995.

CORSO, M.; BERTO, L. K.; ALBUQUERQUE, A. C. D. de; OLIVEIRA, J. H. de; FAVARO, S. L.; REZENDE, L. C. S. H. Incorporação de óxido de grafeno em argamassa de revestimento: uma visão sustentável. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 297-312, jan./mar. 2020.

COURARD, L. & MICHEL, F. Limestone fillers cement based composites: Effects of blast furnace slags on fresh and hardened properties. **Construction and Building Materials**, v.51, p. 439–445, 2014.

DAL MOLIN, D. C. C. Adições minerais para concreto estrutural. In: ISAIA, G. C. (Ed.). *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. v.1

DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS (DRM-RJ) – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços. **Panorama Mineral do estado do Rio de Janeiro** – Rio de Janeiro, 2012.

FIORITO, A. J. S. I. Manual de argamassas e revestimento: estudos e procedimentos de execução. São Paulo: PINI, 2003. 223 p.

FORMIGONI, et. al. Aproveitamento de resíduos: reciclagem de rochas naturais. Disponível em: <<http://junic.unisul.br/2007/JUNIC/pdf/0120.pdf>>. Acesso em: 20 de agosto. 2018.

GUIMARÃES, José Epitáfio Passos. **A Cal: Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 2002.

GONÇALVES, J. P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para a produção de concretos**. Porto Alegre, 2000. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2000.

KUHN, T. **Estruturas das Revoluções Científicas**. 6ª Ed. São Paulo: Perspectiva, 2001.

LAPA, JOSÉ SILVA. **Estudo de viabilidade técnica de utilização em argamassas do resíduo de construção oriundo do próprio canteiro de obra.** 20. Dissertação (mestrado) – Departamento de Engenharia Civil Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MARGALHA, M.G. – UNIVERSIDADE DE ÉVORA – Engenharia Civil - **Documento de apoio às aulas de Conservação e Recuperação do Património**, 2011.

MOTA, 2007. Caracterização e avaliação da lama abrasiva proveniente do corte de rochas ornamentais: um estudo comparativo. Disponível em: <<http://annq.org/eventos/upload/1331652012.pdf>>. Acesso em: 22 de agosto. 2018.

MORAES. I. V. M. Mármore e granito: lavra, beneficiamento e tratamento de resíduos. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MjE=>>>. Acesso em 18 de agosto. 2018.

NASCIMENTO, G. B. **Caracterização e utilização de Pó-de-pedra em revestimentos para restauração de edificações históricas em estilo art déco.** Dissertação (mestrado) - Departamento de Engenharia Civil Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

OLIVEIRA, J. S. DE & VIEIRA, F. G. D. **Produção simbólica e sustentabilidade: discutindo alógica da salvação da sociedade pela mudança nos modos de consumo.** Caderno de Administração, 16(2), 35-43, 2008.

ONOFRE, S.B; ABATTI, D; REFOSCO, D; FOQUESATT, C.F; SILVA, M. **Utilização de resíduos de mármore e granitos na produção de argamassas e resíduos da construção e demolição na produção de concretos – 10º simpósio Internacional de Qualidade Ambiental – 2016.**

ORTEGA, S.G. **Sustentabilidade na construção civil: significados, práticas e ideologia.** Organizações e Sustentabilidade, Londrina, v. 2, n. 1, p. 112-137, jan./jun. 2014.

PCZIECZEK, A. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de argamassa para revestimento utilizando cinza volante e resíduos de borracha de pneus inservíveis.** Joinville, 2017. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do estado de Santa Catarina, Joinville, 2017.

PINTO, J. A. N. **Elementos para dosagem de argamassas.** 2 ed. Santa Maria. 1996. 143 p.

RODRIGUES, M. I. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos.** 2ª ed. Campinas – SP: Casa do Espírito Amigo fraternidade Fé e Amor, 2009.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. de. **Construindo em alvenaria estrutural.** Florianópolis: UFSC, 1999. 83 p.

SANTOS, M. L. L. O. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil.** 2008. 163f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Natal, RN, 2008.

SABBATINI, F.H.; BAÍA, L.L. M. **Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa.** 4. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 80 p., 2008.

SACHS, I. **Desenvolvimento: Includente, Sustentável, Sustentado.** Rio de Janeiro: Garamond, 2008, 152 p.

SILVA JUNIOR, E. A. **Manual de controle higiênico sanitário em serviços de alimentação.** 7. ed. São Paulo: Varela, 2014.

SILVA, R. A. *et al.* Enhanced properties of cement mortars with multilayer graphene nanoparticles. **Construction and Building Materials**, v. 149, p. 378-385, 2017.

SILVEIRA, L.L.L. ET al.: **Beneficiamento de rochas ornamentais.** Cetem/mcti - tecnologia de rochas ornamentais: Pesquisa, lavra e beneficiamento, Rio de Janeiro, 2014.

SOUZA, A. R.; BRANCO, L. A. M. N. Argamassa e concreto com resíduos de mármore e granitos. Bento Gonçalves-RS: **IBRACON.** CBC2017.

UNGERICHT , A.J. PIOVESAN, A.Z. Influência da cura da argamassa em relação às propriedades mecânicas e absorção de água. **Unoesc & Ciência – ACSA**, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 75-86, 2011.

VIZEU, F; MENEGHETTI, F.K.;SEIFERT, R.E. **Por uma crítica ao conceito de desenvolvimento sustentável.** *Cad. EBAPE.BR* [online]. 2012, vol.10, n.3, pp.569-583. ISSN 1679-3951.