

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ESTÂNCIA

DIRETORIA DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ANNY SALONNY SANTOS NASCIMENTO

**ESTUDO PARA DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO
COM REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO**

MONOGRAFIA

ESTÂNCIA

2019

ANNY SALONNY SANTOS NASCIMENTO

**ESTUDO PARA DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO
COM REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CORTE DE GRANITO**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel, da
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do
Instituto Federal de Sergipe – Campus
Estância.

Orientador: Prof. Dr. Herbet Alves de Oliveira

ESTÂNCIA

2019

N244e Nascimento, Anny Salonnny Santos.
Estudo para desenvolvimento de argamassa de revestimento com reaproveitamento de resíduos de corte de granito. / Anny Salonnny Santos Nascimento. – Estância, 2019.
68f.; il.

Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS. Coordenação do Curso de Engenharia Civil. Orientador: Prof. Dr. Herbet Alves de Oliveira.

1. Argamassa. 2. Sustentabilidade. 3. Aproveitamento de resíduos de corte de granito. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - IFS. II. Oliveira, Herbet Alves de. III. Título.

CDU: 624:69

AGRADECIMENTOS

A Deus, que é indispensável nas nossas vidas, que permaneceu ao meu lado em todos os momentos.

Ao meu marido, Pablo Rafael Nascimento Santos, pelo amor, compreensão, incentivo e incondicional apoio em todos os momentos.

Aos meus pais, Gilvane Soares Nascimento e Sivaldo Soares Santos, que sempre estiveram presentes nas minhas conquistas, a minha profunda e eterna gratidão.

Aos meus irmãos, Elvia Soraya Santos Nascimento e Gian Glauberty Santos Nascimento pelas orações, apoio e incentivo ao longo desta caminhada.

Ao professor Dr. Herbet Alves Oliveira pela orientação, convivência, ensinamentos e aprendizado.

Aos professores Msc. Vanessa Gentil de Oliveira Almeida Silva e Cochiran Pereira dos Santos pelas sugestões e apoio durante a realização desta pesquisa.

Aos meus colegas de sala, José Nilton, Jéssica Soares e Fernando Andrade, pela presteza e apoio durante a realização de todo o trabalho.

Às técnicas do laboratório de Materiais de Construção do IFS- Campus Estancia, Jucicléa e Mandarlan pela ajuda e disponibilidade em ajudar no que fosse necessário.

E por fim, a todos que não foram citados, mas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta pesquisa.

RESUMO

NASCIMENTO, Anny. **Estudo para desenvolvimento de argamassa de revestimento com reaproveitamento de resíduos de corte de granito**. 68 folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Estância. 2019.

A argamassa para revestimento com adição de resíduos de cortes de granito (RCG), trata-se de uma mistura cimentícia onde são incorporados RCG a uma formulação conhecida. A principal vantagem de argamassas com esse tipo de adição é que o RCG apresenta menor índice de vazios e consequentemente, reduz a permeabilidade e aumenta a aderência e a resistência das argamassas. Este trabalho tem como objetivo verificar a influência da utilização de Resíduo de Corte de Granito (RCG) como substituto parcial do cimento (A1) em percentuais de (5%, 10%, 15% e 20%) e agregado miúdo (A2) em percentuais de (5%, 10% e 20%), na produção de argamassa de revestimento em estado fresco e endurecido, comparando o desempenho das mesmas com as argamassas de referência. Na produção dessas argamassas foi utilizado o cimento Portland CP II F – 32 RS, caulim, areia de rio e água da concessionária local. Os resíduos utilizados foram caracterizados quanto a massa específica, massa unitária, análise química, por meio do ensaio de difratometria por energia dispersiva. O traço em volume utilizado foi 1:2:6, com a relação água/cimento fixada, em 1,70. Foram produzidas 08 composições de argamassas, 07 utilizando RCG e 01 composição convencional que serviu de referência. Com as argamassas no estado fresco, foram realizados os ensaios de índice de consistência e densidade de massa, já no estado endurecido, os ensaios realizados foram: resistência à tração na flexão, resistência à compressão, densidade de massa aparente e absorção de água por capilaridade. Os resultados mecânicos com as argamassas A2 foram superiores aos de referência, principalmente com substituição de 20%, e as outras propriedades analisadas não sofreram grandes alterações.

Palavras-chave: argamassa, sustentabilidade, aproveitamento de resíduos de corte de granito.

ABSTRACT

NASCIMENTO, Anny. **Estudo para desenvolvimento de argamassa de revestimento com reaproveitamento de resíduos de corte de granito**. 68 folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Estância. 2019.

Granular slag-based mortar (RCG) is a cementitious mixture where RCG is incorporated into a known formulation. The main advantage of mortars with this type of addition is that the RCG has a lower void index and, consequently, reduces the permeability and increases the adhesion and resistance of the mortars. This work aims to verify the influence of the use of Granite Cutting Residue (RCG) as partial substitute of cement (A1) in percentages of (5%, 10%, 15% and 20%) and small aggregate (A2) in percentages of (5%, 10% and 20%), in the production of fresh and hardened coating mortar, comparing their performance with reference mortars. In the production of these mortars, Portland cement CP II F - 32 RS, kaolin, river sand and water of the local concessionaire were used. The residues used were characterized as specific mass, unit mass, chemical analysis, by means of the dispersive energy diffraction test. The volume trace used was 1: 2: 6, with the water / cement ratio set at 1.70. Eight compositions of mortars, 07 using RCG and conventional reference composition were produced. With the mortars in the fresh state, the tests of consistency index and mass density were carried out, in the hardened state, the tests carried out were: flexural tensile strength, compressive strength, apparent mass density and water absorption by capillarity. The mechanical results with the mortars A2 were superior to those of reference, mainly with substitution of 20%, and the other properties analyzed did not undergo major alterations.

Keywords: mortar, sustainability, use of residues of granite cutting.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Tipos, aplicações e indicação de uso das argamassas.....	19
Quadro 2 -Tipos de Cimento Portland produzidos no Brasil	23
Quadro 3 – Tipos, aplicações e indicação de uso das argamassas.....	28
Quadro 4: Tipos de argamassa segundo as formas de fornecimento ou preparo.....	29
Quadro 5: Funções, e propriedades das argamassas.....	29
Quadro 6 -Classificação das argamassas.....	33
Quadro 7 – Classificação dos Resíduos da Construção Civil	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da fabricação do cimento	22
Figura 2 – Ciclo da cal.....	24
Figura 3 – Análise de argamassa forte e argamassa fraca	32
Figura 4 – Fluxograma das etapas de geração do RCG.	36
Figura 5 – Fotos referentes às etapas geração do RCMG; A) Extração das rochas na pedreira, B) Corte dos blocos de rocha na serraria, C) Acabamento final na marmoraria, D) Depósito de lama gerado nas pedreiras depositado a céu aberto.....	36
Figura 6 – Diagrama esquemático do procedimento experimental.	39
Figura 7– Misturador Mecânico	43
Figura 8– Etapas do ensaio de consistência.....	45
Figura 9 – Execução dos ensaios	46
Figura 10 – Curva granulométrica	50
Figura 11 – Padrão de difratometria de raios X do caulim	51
Figura 12 – Padrão de difratometria de raios X do resíduo de granito	52
Figura 13– Correlação Teor de Resíduos e Índice de Consistência da Argamassa .	53
Figura 14 – Correlação Teor de Resíduos e Densidade das Argamassas.....	54
Figura 15 – Correlação Teor de Resíduos e Resistência a Compressão.....	56
Figura 16 – Correlação Teor de Resíduos e Resistência à Tração na Flexão	57
Figura 17 – Correlação Teor de Resíduos e Absorção por Capilaridade	58
Figura 18– Correlação Teor de Resíduos e Massa Específica	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Formulação das Argamassas.....	38
Tabela 2 – Conversão dos traços das argamassas	43
Tabela 3 – Perguntas fechadas duas escolhas: sim ou não	44
Tabela 4 – Massa específica e unitária dos materiais de partida.....	48
Tabela 5 – Análise química dos materiais de partida.....	49
Tabela 6 – Granulometria do Agregado Miúdo.....	50
Tabela 7 – Resultados médios dos Índices de Consistência das Argamassas.....	52
Tabela 8 – Resultados médios das Densidades das Argamassas.....	54
Tabela 9 – Resultados médios do Ensaio de Resistência a Compressão	55
Tabela 10 – Resultados médios do Ensaio de Tração na Flexão	56
Tabela 11 – Resultados médios de Absorção por Capilaridade.....	57
Tabela 12 – Resultados médios de Massa Específica.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS

RCG: Resíduo de Corte de Granito

LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

CP: Cimento Portland

CPI: Cimento Portland Comum

CPII: Cimento Portland Composto

CPIII: Cimento Portland Alto forno

CPIV: Cimento Portland Pozolânico

CPV-ARI: Cimento Portland de Alta Resistência

ANOVA- *Analysis of Variance*

NBR – Norma brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA.....	13
1.2	OBJETIVOS.....	14
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	ESTADO DA ARTE.....	16
2.1	MATRIZES CIMENTÍCIAS COM RESÍDUO DE CORTE DE GRANITO	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1	ARGAMASSA	18
3.1.1	Definição.....	18
3.1.2	História.....	18
3.1.3	Tipos de Argamassa	19
3.1.4	Materiais Constituintes da Argamassa	20
3.1.4.1	Cimento Portland.....	20
3.1.4.1.1	Definição	20
3.1.4.1.2	Histórico	20
3.1.4.1.3	Fabricação do cimento Portland	21
3.1.4.1.4	Composição química do cimento.....	22
3.1.4.1.5	Tipos de cimento Portland.....	22
3.1.4.2	Cal	23
3.1.4.2.1	Processo produtivo	23
3.1.4.2.2	Tipos de cal	24
3.1.4.2.2.1	Cal virgem	24
3.1.4.2.2.2	Cal hidratada	24
3.1.4.2.2.3	Cal hidráulica.....	25
3.1.4.3	Agregado Miúdo	25
3.1.4.3.1	Definição	25
3.1.4.3.2	Função	25
3.1.4.3.3	Classificação	25
3.1.4.4	Caulim	26
3.1.4.4.1	Industrialização do Caulim	27
3.1.4.5	Água	27
3.1.4.5.1	Funções e características.....	27
3.1.5	Argamassa de revestimento	27
3.1.6	Principais Propriedades	29

3.1.6.1	Propriedades no estado fresco	30
3.1.6.2	Propriedades no estado endurecido	31
3.1.7	Classificação da Argamassas	32
3.1.7.1	Argamassa de cal	33
3.1.7.2	Argamassa de cimento	33
3.1.7.3	Argamassa mista	34
3.2	REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	34
3.3	PANORAMA DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS	35
3.3.1	Resíduos de Corte de Granito	35
3.3.2	Utilização em Matriz Cimentícia	37
4	METODOLOGIA	38
4.1	DEFINIÇÃO DO TRAÇO DE ARGAMASSA	38
4.2	FORMULAÇÃO DAS ARGAMASSAS	38
4.3	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	39
4.4	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	40
4.4.1	Cimento	40
4.4.2	Cal e Caulim	40
4.4.3	Agregado miúdo	41
4.4.4	Resíduo de Corte de Granito	41
4.5	CONVERSÃO DO TRAÇO EM VOLUME PARA MASSA	42
4.6	PREPARO DAS ARGAMASSAS	43
4.7	MÉTODOS DE ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS ..	44
4.7.1	Argamassa no Estado Fresco	44
4.7.1.1	Índice de consistência	44
4.7.2	Argamassa no Estado Endurecido	45
4.7.2.1	Densidade de massa aparente no estado endurecido	45
4.7.2.2	Resistência à compressão	46
4.7.2.3	Resistência à tração na flexão	46
4.7.2.4	Absorção de água por capilaridade	47
4.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL DE PARTIDA	48
5.1.1	Massa Específica e Massa Unitária	48
5.1.2	Análise química dos materiais de partida	49
5.2	AGREGADO MIÚDO	49
5.2.1	Granulometria	49
5.3	CAL (CAULIM)	50
5.3.1	Difratometria de Raios-X	50

5.4	RESÍDUO DE CORTE DE GRANITO	51
5.4.1	Difratometria de Raios-X.....	51
5.2	RESULTADOS DOS ENSAIOS COM AS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO.	52
5.2.1	Índice de Consistência – Trabalhabilidade	52
5.2.2	Densidade de Massa.....	53
5.3	RESULTADOS DOS ENSAIOS COM AS ARGAMASSAS NO ESTADO endurecido.....	55
5.3.1	Resistência à Compressão.....	55
5.3.2	Resistência à Tração na Flexão	56
5.3.2	Absorção de Água por Capilaridade.....	57
5.3.3	Massa Específica	58
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
6.1	CONCLUSÕES	60
6.2	CONSIDERAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	61
	REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

A destinação final dos resíduos é um dos grandes problemas enfrentados hoje no mundo. Independentemente de quais sejam as razões, se políticas, econômicas ou ecológicas, nos últimos anos a reciclagem tem sido incentivada em todo o planeta. E, sem dúvida, a alternativa mais eficiente para reduzir o impacto que o ambiente pode sofrer com o grande consumo de matérias-primas e a geração de resíduos (OLIVEIRA, 2015).

Para os próximos anos, opções de viabilização e reaproveitamento de resíduos da construção civil, assim como a redução do seu volume, além de definição de melhorias no manejo, transporte, armazenamento e destinação final, serão imprescindíveis (GONÇALVES, 2000; ALYAMAÇ, 2009; HAGGAR, 2009).

As áreas urbanas são palcos de grandes concentrações populacionais, e como consequência também é onde ocorrem maiores extrações de recursos naturais, sendo a construção civil um dos setores que mais impacta o ambiente, sendo responsável por consumir 75% desses recursos no planeta (FECOMÉRCIO, 2012).

No Brasil, anualmente são empregados cerca de 210 milhões de toneladas de agregados naturais na produção de concretos e argamassas. Essa crescente demanda tem esgotado as reservas de matérias primas próximas aos grandes centros urbanos, gerando maior consumo de energia, poluição e prejuízos para os produtores no transporte desses materiais a longas distâncias (JOHN, 2000).

O Brasil tem um grande destaque no segmento de exploração e beneficiamento de rochas ornamentais, tais como: mármore, granito, ardósia, serpentinitos e xistos, e se encontra entre os maiores exportadores e importadores de desse material no mundo. Dados coletados até o mês de setembro de 2016, aponta um total exportado próximo dos dois milhões de toneladas, com destaque para os estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Ceará, Bahia, Rio Grande do Norte e Pernambuco que contribuíram em maior proporção no beneficiamento de rochas ornamentais (ABIROCHAS, 2016).

No processo produtivo de rochas graníticas, na fase do beneficiamento primário, além do resíduo do corte e água, forma uma lama abrasiva com grande potencial para a produção de argamassas e concretos, pois possui grande estabilidade e resistência à abrasão (APOLINÁRIO et al, 2012).

A aplicação do resíduo em matrizes cimentícias tem se mostrado uma alternativa viável, (Gonçalves, 2000; Menezes et al, 2009); em função da elevada finura e pela utilização como *filler*, minimizando o uso de recursos naturais, reduzindo custos, respeitando a geodiversidade e, conseqüentemente, a biodiversidade. Durante o beneficiamento primário, muitas vezes o resíduo é depositado a céu aberto, sem nenhum tratamento prévio, causando sérios danos ao meio ambiente.

A maior parte da lama é proveniente dos teares convencionais presentes nas serrarias, constituída por 67% de água, e deste percentual, 30% é de pó de rocha. Estima-se que sejam geradas 2,2 toneladas de lama por cada metro cúbico de rocha serrado. No entanto, como as indústrias não costumam separar os resíduos por processo (serragem e polimento), misturando todos eles, a lama final pode conter, ainda, outros produtos químicos, provenientes de todas as etapas de polimento e resinagem das chapas, no beneficiamento secundário. No polimento são gerados em torno de 3,5 kg de lama por metro quadrado de chapa (ou 100 kg/m³ de bloco) (VIDAL et al. 2013).

Considerando esse panorama, o trabalho tem como objetivo desenvolver argamassas para revestimento com aproveitamento do resíduo proveniente do beneficiamento de rochas graníticas, com o fim de melhorar as suas propriedades, bem como reduzir o impacto ambiental provocado pelo descarte.

1.1 JUSTIFICATIVA

Apesar de existir na literatura técnica, vários trabalhos publicados a respeito da utilização da argamassa com a incorporação de resíduos de cortes de granito, o estudo analisando argamassa para revestimento com esse tipo de adição ainda não é frequente. O estudo viabiliza o reaproveitamento de um resíduo proveniente da construção civil que é com frequência descartado de forma aleatória no meio ambiente.

A substituição parcial do cimento e do agregado miúdo por percentuais de finos resultantes do corte de pedras de granito na indústria da construção civil possui várias vantagens, entre elas se destacam:

- Aproveitamento integral das pedreiras;
- Reciclagem total do resíduo resultante do beneficiamento de rochas de granito gerado pela indústria de rochas ornamentais, visto que os mesmos em geral são descartados em aterros gerando custos aos fabricantes;
- Redução do consumo de cimento, cuja produção traz grandes impactos ambientais;
- Redução do consumo de recursos naturais como por exemplo o agregado miúdo (areia), cuja produção traz grandes impactos ambientais;

1.2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar a influência da utilização de Resíduo de Corte de Granito (RCG) como substituto parcial do cimento e agregado miúdo, na produção de argamassa de revestimento de reboco.

Objetivos Específicos

- Caracterizar o RCG e as matérias-primas do ponto de vista químico e físico;
- Avaliar a influência da utilização de diferentes teores de RCG, em substituição ao agregado natural e ao cimento, em propriedades das argamassas no estado fresco (índice de consistência e densidade de massa).
- Verificar a influência da utilização de diferentes teores de RCG, em substituição ao agregado natural e ao cimento, em propriedades das argamassas, no estado endurecido (resistência à tração na flexão, resistência à compressão, massa específica, absorção por capilaridade);

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho é composta por sete capítulos, sendo que no primeiro foi abordada a importância do tema, as justificativas e os objetivos da pesquisa.

No segundo capítulo está apresentado o estado da arte sobre os principais resíduos de rochas ornamentais utilizados na confecção de materiais que possuem matriz cimentícia.

O terceiro capítulo aborda o referencial teórico sobre o cimento, argamassas, resíduo de corte de granito.

No quarto capítulo encontra-se o programa experimental e os ensaios realizados.

Em seguida, no quinto capítulo, são apresentados, analisados e discutidos os resultados dos ensaios.

O sexto capítulo apresenta as conclusões finais sobre a pesquisa e algumas sugestões para trabalhos futuros.

Logo após, no sétimo capítulo encontram-se as referências e os anexos da pesquisa.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 MATRIZES CIMENTÍCIAS COM RESÍDUO DE CORTE DE GRANITO

Segundo Apolinário (2014), a adição de resíduos de corte de mármore e granito (RCMG) em argamassas industrializadas, obteve resultado satisfatório quanto a resistência mecânica, adicionando percentuais de 5% e 10% de RCMG à mistura, atestando que este pode ser utilizado como *filler* em matrizes cimentícias.

A adição de resíduos de corte de mármore e granito (RCMG) às argamassas, mostrou-se satisfatória para os ensaios de resistência de aderência à tração, atingindo os melhores resultados quando adicionado em teores de 1,4% e 2,8% às argamassas simples e às argamassas industrializadas, respectivamente. (APOLINARIO et al. 2012).

Segundo De Nes Antunes, (2017) o resíduo de rocha ornamental (RRO), quando substituído parcialmente ao cimento Portland na mistura de argamassa, apresentou resultados que indicam que o teor de substituição de 7% apresenta resistências mecânicas superiores às misturas de argamassa de referência, enquanto os traços com substituição de 17% e 22% se equiparam ao de referência.

Pimentel et al (2018) em análise comparativa com dois tipos de argamassas, uma hidráulica e outra mista, no qual foi utilizado agregado reciclado em substituição ao agregado natural, nas proporções de 30% e 60%, para os dois tipos de argamassa, obteve os seguintes resultados: no estado plástico, o aumento da porcentagem de substituição do agregado natural pelo reciclado produziram uma redução da massa específica da ordem de 4% para os dois tipos de argamassa, e a capacidade de retenção de água apresentou comportamento inverso, as argamassas mistas apresentaram melhores resultados neste quesito. No estado endurecido, as resistências tração e à compressão tiveram resultados menores em função do aumento da substituição do agregado natural pelo reciclado. A argamassa hidráulica apresentou melhor desempenho que a argamassa mista quando classificada conforme a NBR13281.

De acordo com Santos (2008), as argamassas formuladas com resíduos não sofrem alterações significativas no que se refere ao índice de consistência, retenção

de água, densidade de massa no estado fresco, teor de ar incorporado e densidade de massa aparente no estado endurecido, no entanto, a presença dos resíduos na mistura ocasionou a diminuição no módulo de elasticidade do mesmo, desta forma, melhorando o desempenho da argamassa. Porém, a resistência à tração na flexão e à resistência a compressão, além da absorção de água por capilaridade, tiveram o seu desempenho comprometido.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ARGAMASSA

3.1.1 Definição

Argamassas são materiais utilizados em grande escala na construção civil. Elas possuem propriedades de endurecimento e aderência, adquiridas como resultado da mistura homogênea de agregado miúdo, um ou mais aglomerantes e água. Além destes componentes essenciais, podem ainda ser adicionados minerais e aditivos (ISAIA, 2010).

3.1.2 História

A produção das primeiras argamassas foi realizada a aproximadamente 10.000 anos atrás e consistia basicamente de cal e areia e foram encontradas onde hoje é o estado de Israel. Os romanos aprimoraram o material utilizando métodos melhores para escolha e cozimento da matéria prima, com a junção de pozolanas, moagem de cal com argila e adições orgânicas conferindo melhores propriedades de resistência e trabalhabilidade (ALVAREZ; SEQUEIRA; COSTA, 2005).

Alvarez; Sequeira; Costa (2005), acrescentam que, em meados do século XVIII com a necessidade de expansão da construção civil para as áreas marítimas, houve necessidade de estudos para obtenção por ligantes hidráulicos. A partir do cozimento de uma mistura proporcional de calcário e argila a temperaturas mais elevadas, melhoravam-se os níveis de hidráulicidade. Com a evolução tecnológica, fornos mais sofisticados foram desenvolvidos até que se chegou ao estado de clinquerização, sendo a argamassa produzida com características cimentícia.

No primeiro século da colonização do Brasil, a argamassa passou a ser utilizada sendo empregada principalmente no assentamento de alvenaria de pedra, material muito utilizado na época. A cal, outro aglomerante que constitui a argamassa, era obtida através da queima de conchas e mariscos, além destes, o

óleo de baleia também era muitas vezes utilizado como aglomerante nesses tipos de argamassas (WESTPHAL et al., 2013)

3.1.3 Tipos de Argamassa

A NBR 13281 (ABNT, 2005) define e classifica os diversos tipos de argamassa conforme o uso e aplicação de cada uma delas, conforme o Quadro 1:

Quadro 1 – Tipos, aplicações e indicação de uso das argamassas

Tipo de Argamassa	Aplicabilidade	Indicação
Argamassa para assentamento	Assentamento em alvenaria de vedação	Indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função de vedação.
	Assentamento em alvenaria de estrutural	indicada para a ligação de componente de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função estrutural.
	Complementação da alvenaria (encunhamento)	Indicada para fechamento de vedação, após a última fiada de componentes.
Argamassa para revestimento de paredes e tetos	Revestimento interno	Indicada para revestimento de ambientes internos da edificação, caracterizando-se como camada de regularização (emboco ou camada única);
	Revestimento externo	Indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos da edificação em contato com o meio externo, caracterizando-se como camada de regularização (emboco ou camada única).
Argamassa de uso geral	-	Indicada para assentamento de alvenaria sem função estrutural e revestimento de paredes e tetos internos e externos.
Argamassa para reboco	-	Indicada para cobrimento de emboco, propiciando uma superfície fina que permita receber o acabamento; também denominada massa fina.
Argamassa decorativa em camada fina	-	Argamassa de acabamento indicada para revestimentos com fins decorativos, em camada fina.
Argamassa decorativa em monocamada	-	Argamassa de acabamento indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos de edificação em contato com o meio externo, aplicada em camada única e com fins decorativos.

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005)

3.1.4 Materiais Constituintes da Argamassa

3.1.4.1 Cimento Portland

3.1.4.1.1 Definição

A Associação Brasileira de Cimento Portland (2002) define o cimento como:

“um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Na forma de concreto, torna-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes, de acordo com as necessidades de cada obra. Graças a essas características, o concreto é o segundo material mais consumido pela humanidade, superado apenas pela água”.

3.1.4.1.2 Histórico

A aplicação do cimento é uma prática bem antiga. Os antigos egípcios usavam gesso impuro calcinado. O primeiro concreto da história foi desenvolvido pelos gregos e romanos que inicialmente usavam calcário calcinado e, posteriormente, aprenderam a misturar cal e água, areia e pedra triturada, tijolos ou telhas em cacos (NEVILLE, 1997).

O engenheiro John Smeaton, em 1756, responsável por construir o farol de Eddystone, ao largo da costa de Corn na Inglaterra, buscava facilitar o seu trabalho e procurou um aglomerante que permanecesse duro mesmo imerso em meio aquoso. Em suas tentativas, analisou que uma mistura calcinada de calcário e argila permanecia, após secagem, tão resistente como as pedras utilizadas nas construções. Contudo foi o pedreiro Joseph Aspdin, em 1824, quem patenteou a descoberta, intitulando-a de cimento Portland, numa alusão a Portland stone, espécie de pedra arenosa muito utilizada em construções na região de Portland, Inglaterra. No pedido de carta patente constava que o calcário era fragmentado com argila, em ambiente úmido, até se transformar em pó. A água evaporava através da exposição ao sol ou por irradiação de calor através de tubulação com vapor. A massa da mistura seca era calcinada em fornos e depois triturava bem finos (TAYLOR, 1967 apud SILVA, 2006).

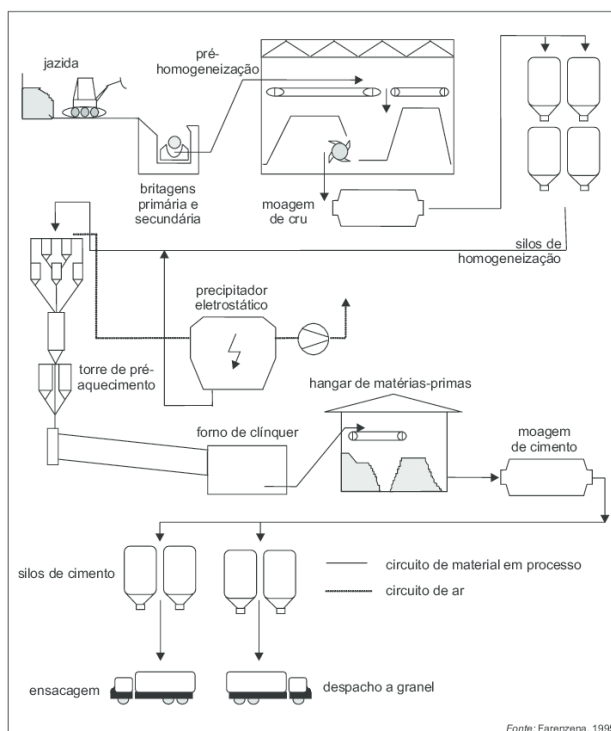
3.1.4.1.3

Fabricação do cimento Portland

A produção de cimento Portland (Figura 1) consiste essencialmente em triturar a matéria-prima, mistura-la nas proporções apropriadas e queimar essa mistura em um grande forno rotativo até alcançar uma temperatura por volta de 1450 °C. Nessa temperatura, o material passa por um processo de fusão incipiente formando pelotas, conhecidas como clínquer. O clínquer é arrefecido e triturado até atingir uma granulometria de um pó bem fino com a adição de um pouco de gesso, resultando o cimento Portland comercial amplamente utilizado em todo o mundo (NEVILLE, 1997).

A moagem e a mistura das matérias-primas devem ser realizadas através de dois tipos de processos: via úmida ou via seca. No processo por via úmida, a moagem e a homogeneização da mistura de matérias-primas são preparadas em aspecto de lama, contendo de 30% a 40% de água. As fábricas mais avançadas em tecnologia de cimento priorizam o processo por via seca, o qual é mais eficiente em termos de energia do que o processo por via úmida, porque depois, a água usada para produzir a lama deverá ser evaporada antes da passagem do processo de clinquerização. Para esta operação, os fornos usados no processo por via seca equipados com pré aquecedores a suspensão, os quais possibilitam uma permuta eficiente de calor entre os gases quentes e as misturas de matéria-prima precisam de um consumo de energia combustível fóssil da ordem de 800 kcal/kg de clínquer comparado com cerca de 1400 kcal/kg para os fornos do processo por via úmida (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Figura 1 - Fluxograma da fabricação do cimento



FONTE: FARENZENA, 1995

3.1.4.1.4

Composição química do cimento

Os compostos essenciais do cimento, cujas proporções são obtidas por meio de análise química são: silicato tricálcico (C3S), silicato dicálcico (C2S), aluminato tricálcico (C3A), ferroaluminato tetracálcico (C4AF) e gipsita (C5H2). Além destes, que são constituintes primordiais do cimento, estão também envolvidos na mistura os constituintes em menores proporções, tais como os álcalis (Na_2O ; K_2O), que apresentam na forma de sulfatos, o óxido de magnésio (MgO), a cal livre (CaO) e outros (SOUZA e RIPPER, 1998).

3.1.4.1.5

Tipos de cimento Portland

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) classifica os cimentos Portland em comum (Tipo 1) e composto (Tipo 2), sendo que este primeiro praticamente não é mais comercializado no mercado brasileiro. No quadro 2 são apresentados os tipos de cimentos fabricados e distribuídos no Brasil e suas respectivas normas (GIRARD, 2014).

Quadro 2 -Tipos de Cimento Portland produzidos no Brasil

Tipo	Sigla	Classe (MPa)	Norma
Comum	CPI	25,32,40	ABNT NBR 5732:1991
Composto	CPII	25,32,40	ABNT NBR 11578:1991
Alto-Forno	CPIII	25,32,40	ABNT NBR 5735:1991
Pozolânico	CPIV	25,32	ABNT NBR 5736:1991
Alta resistência Inicial	CPV -	-	ABNT NBR 5733:1991
Resistência aos Sulfatos	RS	25,32,40	ABNT NBR 5737:1992
Baixo calor de Hidratação	BC	25,32,40	ABNT NBR 13116:1994
Branco Estrutural	CPB	25,32,40	ABNT NBR 12989:1993

FONTE: GIRARD, 2014

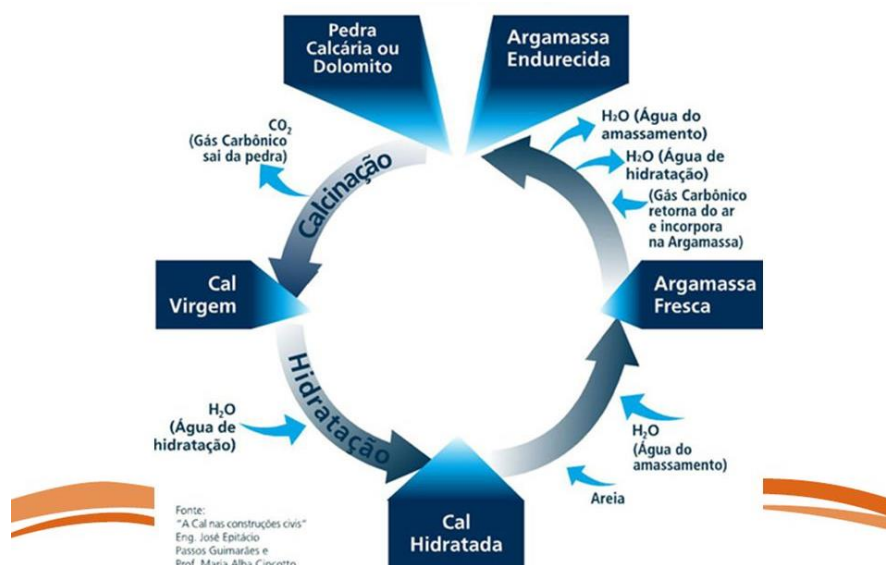
Devido à grande variedade e utilidade de cimentos produzidos, é importante definir o tipo mais adequado para cada situação. O consumidor deve possuir informações suficientes que o possibilite entender que existem opções que melhor se aplicam a cada atividade realizada. Cada tipo de cimento tem uma influência diferente nas propriedades da argamassa ou do concreto, tais como resistência à compressão, impermeabilidade e resistência aos agentes agressivos. No entanto, essa influência pode ser modificada com dosagem da quantidade de água e de cimento dentro da mistura (ABCP, 2002).

3.1.4.2 Cal

3.1.4.2.1 Processo produtivo

A Cal virgem é produzida por meio da calcinação completa da rocha calcárea. Durante este processo são formados os óxidos, de cálcio (CaO) e de magnésio (MgO), e ao reagirem com a água são produzidos os respectivos hidróxidos (PROCAFÉ, 2018). A Figura 2 mostra o ciclo industrial da cal.

Figura 2 – Ciclo da cal



FONTE: UNIFEB, 2014

3.1.4.2.2 Tipos de cal

3.1.4.2.2.1 Cal virgem

Quando são provenientes de rochas puras, a cal virgem é um produto inorgânico de cor branca. Quando apresenta colorações diferenciadas como: creme, amarelada e levemente cinza, é um indicativo que detém algum tipo de impureza. Seu odor é equivalente ao “terroso”. É encontrada na natureza com estrutura cristalina, em cristais isolados ou conglomerados cristalinos, de dimensões e espaços inter-cristalinos diversificado, só são possíveis de observar através de microscópios (GUIMARAES, 2002).

3.1.4.2.2.2 Cal hidratada

A cal hidratada é o resultado da continuidade do processo industrial que tem como resultado final a cal virgem. A reação química que a produz com a presença da água, é uma clássica “reação de fases sólido-líquida”. Possui uma ligação de dependência com o volume de água utilizada para a reação, o produto final pode ser seco ou com aspectos pastoso, lama, leite ou solução saturada (GUIMARAES, 2002).

3.1.4.2.2.3 Cal hidráulica

De forma geral, a cal hidráulica pode ser definida como um produto de transição entre a cal virgem e o cimento Portland. É um resultado da calcinação de calcários argilosos, processo que produz a combinação da sílica-quartzo com o hidróxido de cálcio e os minerais argilosos, formando uma porcentagem relativamente alta de compostos com propriedades hidráulicas (GUIMARAES, 2002).

3.1.4.3 Agregado Miúdo

3.1.4.3.1 Definição

Segundo a NBR 9935 (2011) a areia é definida como um agregado miúdo, originado através de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas, ou através de processos industriais.

O Manual de Revestimento ABCP (2002) descreve agregado miúdo ou areia como um constituinte das argamassas de origem mineral, de forma particulada, com diâmetros entre 0,06 e 2,0 mm. A granulometria do agregado influencia nas proporções de água e aglomerantes da mistura. Desta forma, quando há deficiências na curva granulométrica (isto é, a curva não é contínua) ou excesso de finos, ocorre maior consumo de água de amassamento, reduzindo a resistência mecânica e causando maior retração por secagem na argamassa.

3.1.4.3.2 Função

Segundo Mineropar (2004) apud Silva (2006), as principais funções dos agregados são:

- Fornecer um material de enchimento com um custo reduzido ao aglomerante;
- Municiar a pasta de partículas indicadas para resistir as cargas solicitadas, ao desgaste mecânico e a percolação da intempérie;
- Minimizar as oscilações de volume decorrente do processo de pega, endurecimento e variações de umidade na pasta de cimento, cal e água.

3.1.4.3.3 Classificação

De acordo com a Mineropar (2004) apud Silva (2006), quanto a origem os agregados são classificados em:

- Naturais: encontrados na natureza sob a forma definitiva de utilização (areia de rio), sem precisar passar por nenhum tipo de processo;
- Artificiais: necessitam de modificação textual para chegar à condição requerida para sua aplicação, como é o exemplo da areia de origem da britagem das rochas como basalto, calcário, dentre outras.

3.1.4.4 Caulim

O caulim ou “china clay” é derivado da palavra em chinês Kauling (colina alta) e faz referência a uma colina de Jauchau Fu, ao norte da China, onde o material é obtido faz muito tempo (BALANCO MINERAL BRASILEIRO/DNPM, 2001). Há mais de 3 mil anos os chineses já utilizavam o caulim na produção de porcelana e esse material é provavelmente um dos seis minerais mais abundantes do topo da crosta terrestre (profundidade até 10 metros) (ROSKILL, 1996 apud LUZ e CHAVES, 2000). É um material composto por um grupo de silicatos hidratados de alumínio, principalmente caulinita e/ou heloisita (SANTOS, 1992).

O caulim tem várias aplicações industriais e novos usos estão frequentemente sendo pesquisados e desenvolvidos. É um mineral industrial de baixo custo, mais que a maioria dos materiais concorrentes. Suas principais aplicações atualmente são como material de enchimento (*filler*) no preparo de papel; como agente de cobertura (coating) para papel “*couche*” e na composição das pastas cerâmicas e com menor frequência é usado na fabricação de materiais refratários, plásticos, borrachas, tintas, produtos farmacêuticos, entre outros. (BALANCO MINERAL, DNPM – 2001)

Na indústria da construção civil o caulim é utilizado em argamassas como adição mineral em algumas regiões do país, devido a sua finura de seus grãos. O primeiro uso de caulim para pozolana em concretos no mundo foi para a construção da barragem de Jupia, em 1960 (ZAMPIERI, 1989).

3.1.4.4.1 Industrialização do Caulim

Os processos que compõem o beneficiamento do caulim variam de conforme o uso a que se destina o produto. Existem dois processos: via seca e via úmida. No processo a seco conhecido também como separação ao ar, o caulim bruto é levado a usina de beneficiamento em grandes pedaços, onde é triturado em moinhos de rolos desintegradores e em seguida alimenta um moinho de bolas com um separador de ar tipo ciclone. As partículas finas são colhidas através de um coletor e ensacadas, enquanto que as mais grossas voltam ao moinho (LUZ e CHAVES, 2000).

3.1.4.5 Água

3.1.4.5.1 Funções e características

O Manual de Revestimento ABCP (2002) descreve que a água confere continuidade à mistura, permitindo a ocorrência das reações entre os diversos componentes, sobretudo as do cimento. A água, embora seja o recurso diretamente utilizado pelos colaboradores a fim de regular a consistência da mistura, sua adição é feita até alcançar a trabalhabilidade desejada, seu teor deve atender ao traço pré-estabelecido, seja para argamassa dosada em obra ou na indústria. A água potável é considerada como a mais indicada para elaboração de produtos à base de cimento Portland. Não devem ser utilizadas águas contaminadas ou com excesso de sais solúveis. Em geral, a água que serve para o amassamento da argamassa é a mesma utilizada para o concreto e deve seguir a NBR NM 137.

3.1.5 Argamassa de revestimento

A NBR 13529 (ABNT, 2013) define a argamassa para revestimento como sendo “uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”. A norma define as composições da argamassa, assim

como revestimento executado à base de cimento e cal, determinando o campo de aplicação de cada uma. Conforme o Quadro 3:

Quadro 3 – Tipos, aplicações e indicação de uso das argamassas

Composições de Argamassa	Definição
Adições	Materiais inorgânicos naturais ou industriais finamente divididos, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades.
Argamassa de cal	preparada com cal como único aglomerante.
argamassa de cimento	preparada com cimento como único aglomerante.
Revestimento	é o recobrimento de uma superfície lisa ou áspera com uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa, em espessura normalmente uniforme, apta a receber um acabamento final.

Fonte: NBR 13529 (ABNT,2013)

Conforme a NBR 13749 (ABNT, 1996) o revestimento de argamassa deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições, tais como: fissuras, cavidades, eflorescência e manchas, sendo que estas deformidades devem ser previstas na especificação de projeto a aceitação ou rejeição, conforme níveis de tolerâncias admitidas pelas normas.

Os tipos de argamassas definidos na realização do projeto dos revestimentos devem considerar além das exigências de desempenho pré-estabelecidas, as características da base de aplicação, as condições de exposição, os procedimentos de execução, a forma de produção da argamassa, o controle do revestimento, além das características do canteiro de obras. Além do conhecimento e entendimento das propriedades dos revestimentos de argamassa para fachada, é necessário considerar uma metodologia de avaliação de seu desempenho que permita prever e avaliar seu comportamento, proporcionando uma definição mais criteriosa das suas especificações no projeto, de forma que sejam atendidas todas suas funções. E ainda, a determinação do tipo de argamassa tem uma forte relação na organização do canteiro de obras e com a geração de perdas, já que, cada argamassa demanda uma configuração diferente do sistema de produção. Portanto, a decisão pelos diferentes tipos de argamassa quanto à forma de produção torna-se determinante (DIOGO, 2007).

A Quadro 4 apresenta a classificação das argamassas segundo as formas de fornecimento ou preparo.

Quadro 4: Tipos de argamassa segundo as formas de fornecimento ou preparo.

Tipo de Argamassa	Descrição e materiais constituintes
Preparada em obra	Medição e misturas em canteiro de obra de aglomerantes, areia e água, podendo também conter aditivos ou adições para melhoria das suas propriedades.
Mistura semipronta para argamassa	Mistura de uma parte de materiais constituintes da argamassa, com materiais medidos e homogeneamente misturados em fábrica ou no canteiro de obras, e fornecida para um último processo de mistura com adição dos demais materiais constituintes da argamassa no canteiro de obras imediatamente antes da sua aplicação.
Industrializada úmida	Mistura pronta para uso com proporções feitas em central, não necessitando de material adicional.
Industrializada seca	Mistura seca pronta, ensacada ou fornecida em silos, necessitando somente de adição de água para preparo.

FONTE: NBR 13529, ABNT, 2013

3.1.6 Principais Propriedades

Martinelli (1991) organizou as principais características desejáveis as argamassas segundo a função para o qual ela é aplicada, abordando a interdependência dessas propriedades através do controle de duas características fundamentais: a resistência mecânica, capacidade de absorver deformações e aderência, desta forma é possível controlar também a maior parte das outras propriedades, que estão dispostas no Quadro 5.

Quadro 5: Funções, e propriedades das argamassas.

Usos	Funções/Exigências	Propriedades
Assentamento estrutural	Resistir a esforços mecânicos; unir elementos da alvenaria.	Trabalhabilidade; retenção de água; resistência mecânica inicial e final; estabilidade volumétrica; capacidade de absorver deformações.
Assentamento convencional	Unir os elementos da alvenaria; vedar juntas.	Trabalhabilidade; retenção de água; resistência mecânica inicial e final; estabilidade volumétrica; capacidade de absorver deformações.
Assentamento de acabamento	Unir elementos de acabamento ao substrato.	Trabalhabilidade; retenção de água; aderência; estabilidade volumétrica; capacidade de absorver deformações.
Chapisco	Unir camadas de revestimento ao substrato.	Trabalhabilidade; aderência
Emboço	Vedar alvenaria; regularizar superfície; proteger o ambiente de intempéries.	Trabalhabilidade; retenção de água; aderência; estabilidade volumétrica; estanqueidade.

FONTE: Martinelli (1991)

3.1.6.1 Propriedades no estado fresco

Segundo Maciel et al. (1998), as principais propriedades do revestimento em argamassa no estado fresco são as seguintes:

- Massa Específica

É a razão entre a massa de argamassa e o volume preenchido por essa mistura; pode ser relativa ou absoluta (considera os vazios no volume de argamassa ou os vazios não são considerados, respectivamente). Uma argamassa com maior quantidade de ar, apresenta maior índice de vazios e, como conseguinte, maior massa específica relativa, o que pode ocasionar na melhora da trabalhabilidade, no entanto, redução na resistência e capacidade de aderência. É uma grandeza essencial para a conversão do traço em massa para o traço em volume, utilizados na dosagem das argamassas produzidas em canteiro de obra.

- Trabalhabilidade

É uma análise de habilitação, que possibilita considerar como trabalhável a argamassa que: permite a penetração da ferramenta com facilidade sem ser fluida, nem muito consistente; mantém-se coesa (sem segregação) durante o transporte, sem aderir ao meio que o transporta; ocupa todos os espaços da base e se espalha com facilidade; não endurece depressa após a aplicação.

- Retenção de Água

É a capacidade da argamassa reter água de amassamento, de forma que a água não escape rapidamente por sucção da base ou por evaporação, permitindo que as reações de endurecimento da argamassa e hidratação do cimento ocorram de forma gradativa e adequada e promovendo ganho de resistência.

- Aderência Inicial

É a ancoragem da argamassa através do endurecimento da pasta pelas cavidades da base (que deve estar limpa e com rugosidade adequada) e posterior compressão para ter maior contato com a base.

- Retração por Secagem

Ocorre no momento da secagem da argamassa, que acontece devido à evaporação da água de amassamento e às reações químicas dos aglomerantes

presentes na mistura, o que pode promover fissuras, que podem ser danosas (que permitem percolação de água no estado endurecido) ou não danosas. As fissuras danosas ocorrem com mais periodicidade: em argamassas “fortes” (com alto índice de cimento), por causa das altas tensões; argamassas com espessuras maiores que 2,5 cm; e argamassas no qual o sarrafeamento e desempenho foram feitos precipitadamente, sem a espera do tempo para atingir a umidade adequada a essas operações.

3.1.6.2 Propriedades no estado endurecido

Maciel et al. (1998), aponta as propriedades do revestimento em argamassa no estado endurecido, sendo elas:

- Aderência

Propriedade da argamassa de manter-se unida ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais na interface base/revestimento, sendo resultante das resistências de aderência à tração e ao cisalhamento e da extensão de aderência.

- Capacidade de Absorver Deformações

Característica da argamassa de passar por processos de deformações sem ruptura ou através de fissuras não prejudiciais, para aliviar as tensões devidas às deformações na base, devido a alterações de umidade e temperatura. Interferem nessa propriedade: módulo de deformação (menor teor de cimento implica em menor módulo de deformação e maior capacidade de absorver deformações); espessura das camadas (espessuras maiores permitem maior capacidade de absorver deformações, mas comprometem a aderência); quantidade de juntas de trabalho (mais juntas resultam em maior quantidade de panos, cujas dimensões passam a ser menores e compatíveis com as deformações); técnica de execução (compressão após a aplicação e durante o acabamento superficial).

- Resistência Mecânica

Propriedade do revestimento de resistir a ações mecânicas como abrasão superficial, impacto e contração termo higroscópica, em função da compactação da argamassa após a aplicação e durante o acabamento, e da dosagem dos

componentes da argamassa, apresentando maior resistência argamassas com menor proporção de agregado e menor fator água/cimento.

- Permeabilidade

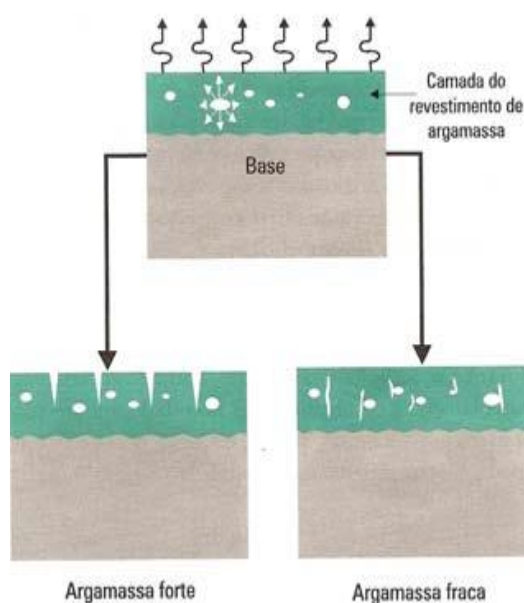
Relativa à percolação de água através do revestimento, que deve ser estanque a água no estado líquido, não permitindo o surgimento de fissuras que favoreça seu caminho até a base; no entanto, é aconselhável que seja permeável ao vapor para auxiliar na secagem de umidade.

- Durabilidade

Propriedade que retrata o desempenho do revestimento devido às ações externas ao longo do tempo.

A Figura 3 mostra o comportamento da argamassa quando ela possui as propriedades dentro dos padrões (argamassa forte) e quando ela não apresenta uma ou mais propriedades das que lhe são solicitadas (argamassa fraca).

Figura 3 – Análise de argamassa forte e argamassa fraca



Fonte: BAIA e SABATTINI (2000)

3.1.7 Classificação das Argamassas

Conforme a NBR 13530 (ABNT, 1995), as argamassas possuem a seguinte classificação (Quadro 6):

Quadro 6 -Classificação das argamassas

Tipos	Critério de Classificação
Argamassa aérea Argamassa hidráulica	Natureza do aglomerante
Argamassa de cal Argamassa de cimento Argamassa de cimento e cal	Tipo de aglomerante
Argamassa simples Argamassa mista	Número de aglomerantes
Argamassa aditivada Argamassa de aderência melhorada Argamassa colante Argamassa redutora de permeabilidade Argamassa de proteção radiológica Argamassa hidrófuga Argamassa termoisolante	Propriedades especiais
Argamassa de chapisco Argamassa de emboco Argamassa de reboco	Função no revestimento
Argamassa dosada em central Argamassa preparada em obra Argamassa industrializada Mistura semipronta para argamassa	Forma de preparo ou fornecimento

Fonte: ABNT (1995)

3.1.7.1 Argamassa de cal

Este tipo de argamassa é composto por cal, agregado miúdo e água. A cal preenche os vazios entre os grãos do agregado miúdo dentro da mistura, melhorando a plasticidade e a retenção de água. A argamassa de cal é usualmente denominada de argamassa intermediária, pois quando se utiliza cal virgem, este tipo de argamassa é utilizado para a maturação da cal, para posteriormente ser adicionado o cimento (SILVA, 2006).

3.1.7.2 Argamassa de cimento

A argamassa de cimento, como o próprio nome sugere, é composta, basicamente, por cimento, agregado miúdo e água. Atinge elevada resistência mecânica em um curto espaço de tempo, no entanto, apresenta baixa trabalhabilidade e baixa retenção de água, além de ser mais propensa a retração. Este tipo de argamassa é eventualmente utilizado como revestimentos, sendo que a principal aplicação é na confecção de chapisco para paredes de alvenaria e

estruturas de concreto, com o objetivo de aumentar a resistência de aderência do revestimento de argamassa mista (SILVA, 2006).

3.1.7.3 Argamassa mista

Argamassa composta basicamente por cimento, cal, areia e água. É um tipo de argamassa bem utilizada na construção civil. (SILVA, 2006)

3.2 REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Nascimento (2014) aborda que na construção civil, os desperdícios, normalmente estão associados apenas as perdas dos materiais utilizados nas obras. No entanto, é importante destacar que os desperdícios vão além desse conceito, e podem incluir qualquer ineficiência no uso de equipamentos, mão de obra e investimentos superiores ao necessário para a obra.

Conforme Ferreira (2008), a construção civil utiliza mecanismos de produção ultrapassados, resultante do baixo investimento tecnológico, além de desprezar fatores essenciais, como perdas no processo produtivo. De acordo com Lima e Lima (2012), em cada etapa da obra ocorrem perdas e desperdícios de materiais, gerando resíduos sólidos tanto em sua concepção quanto na execução e posterior utilização. Na etapa de concepção é normal acontecerem diferenças entre os quantitativos previstos e os realmente utilizado em obra. Na execução a geração de resíduos ocorre de duas formas distintas, havendo aqueles que são descartados e são retirados da obra, chamados de entulho, e os desperdícios que terminam incorporados à obra.

Os resíduos da construção são destinados em função da classificação estabelecida pelas resoluções 307 (CONAMA, 2002) e 448 (CONAMA, 2012), dispostas no Quadro 7.

Quadro 7 – Classificação dos Resíduos da Construção Civil

Classe	Classificação/Destino
A	Devem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos Classe A e de preservação de material para usos futuros.
B	Devem ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura
C e D	Devem ser armazenados, transportados ou destinados em conformidade com as normas técnicas específicas

Fonte: CONAMA (2012)

Nagalli (2014), comenta que uma das estratégias possíveis para aproveitamento interno dos resíduos é pensar sobre os processos construtivos e o modo como são desenvolvidos. Verificar as possibilidades de reaproveitamento de materiais permite que o estabelecimento desenvolva critérios de execução das tarefas e identifique as deficiências operacionais e de qualidade.

3.3 PANORAMA DO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

O setor de rochas ornamentais é uma forte atividade industrial no Brasil, e vem crescendo nos últimos anos, ocupando uma posição de destaque no cenário internacional, com a 4ª posição no ranking mundial em 2013 (DNPM, 2014). O crescimento dentro do país dessa atividade está diretamente ligado ao aumento da população e conseqüentemente ao do ramo da construção civil. Por outro lado, com esse crescimento, aumenta também a produção de resíduos, o que gera preocupação ambiental quanto à sua correta destinação (FERREIRA et al, 2018).

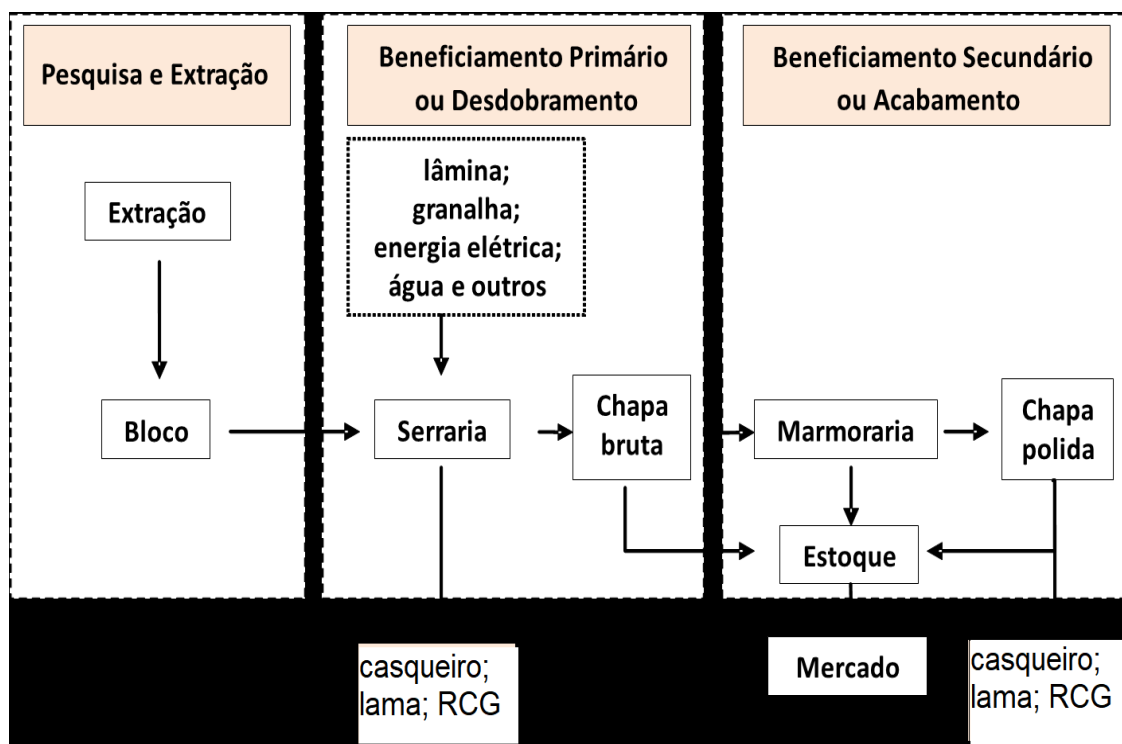
3.3.1 Resíduos de Corte de Granito

Os granitos são usados dentro da construção civil como esculturas, tampos de mesas, bancadas de pias, pisos, soleiras, entre outras. As rochas são definidas como quaisquer agregados naturais sólidos, compostos de um ou mais minerais. Grande parte das rochas podem ser classificadas em três grandes grupos: magmáticas ou ígneas; metamórficas e sedimentares (MACHADO *et al.*, 2013).

O ciclo de produção das rochas ornamentais, incluindo o granito, compreende três etapas básicas: a extração das rochas em estado bruto, que normalmente tem a forma de grandes blocos, medindo aproximadamente $3,0 \times 2,0 \times 1,5 \text{ m}^3$, em sequência ocorre o beneficiamento primário, que compreende a serragem dos blocos por meio dos teares, para que estes sejam transformados em grandes chapas, com medidas em torno de $2,80 \times 1,90 \times 0,02 \text{ m}^3$ e a etapa final, o beneficiamento secundário, que acontece nas marmorarias, local onde são realizados os acabamentos e polimentos conforme o pedido do cliente (RODRIGUES *et al.*, 2011; SETEC/MEC, 2007).

A cada metro cúbico de rocha que é serrado nos teares, resultam, em média, 32 m^2 de chapas com 2 cm de espessura ou 49 m^2 com 1 cm de espessura (ABIROCHAS, 2012). A Figura 4 apresenta um esquema das três etapas de beneficiamento das rochas ornamentais desde a extração até a entrega ao cliente e a Figura 5 ilustra todo o processo.

Figura 4 – Fluxograma das etapas de geração do RCG.



Fonte: GONÇALVES (2000) com adaptações da autora (2019).

Figura 5 – Fotos referentes às etapas geração do RCMG; A) Extração das rochas na pedreira, B) Corte dos blocos de rocha na serraria, C) Acabamento final na marmoraria, D) Depósito de

lama gerado nas pedreiras depositado a céu aberto.



Fonte: A) NETO (2006), B) SIMEC (2009), C) APOLINÁRIO (2013), D) NETO (2006).

3.3.2 Utilização em Matriz Cimentícia

As misturas dos resíduos provenientes do beneficiamento de pedras ornamentais como o granito são sugeridas considerando que a adição de resíduos na matriz cimentícia contribui para redução do impacto ambiental causado pela grande utilização de agregados naturais e do grande volume de RCG que são descartados indevidamente. Durante o beneficiamento primário, além do resíduo do corte, granalha, cal e água formam uma lama abrasiva com grande potencial para argamassas e concretos, pois possui grande estabilidade e resistência à abrasão (APOLINÁRIO et al, 2012).

4 METODOLOGIA

4.1 DEFINIÇÃO DO TRAÇO DE ARGAMASSA

As argamassas utilizadas neste estudo experimental foram do tipo mistas de revestimento com traço 1:2:6 (cimento:caulim:areia), em volume, usualmente utilizada na execução de revestimento de alvenarias de vedação. Procurou-se utilizar argamassas com traços comumente empregados em obras, retratando-se assim a realidade das edificações brasileiras.

4.2 FORMULAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Todas as argamassas utilizadas neste estudo experimental foram confeccionadas no Laboratório de Materiais de Construção Civil do IFS/SE. Essas misturas foram formuladas a partir da substituição de diferentes teores de cimento e de areia pelo resíduo de corte de granito (RCG). Como mostra a Tabela 1, foram formuladas um total de 07 (sete) argamassas com substituições, consideradas argamassas com resíduos, e 1 (uma) argamassa sem adições, consideradas argamassas de referência (REF), que serviram como parâmetro comparativo.

Tabela 1 – Formulação das Argamassas

Traço da argamassa	Argamassa	Material substituído	Resíduo	Teor de resíduo	Nomenclatura
1:2:6	A	-	RCG	-	A/0/REF*
1:2:6	A1	cimento	RCG	5%	A1/5/ RCG
1:2:6	A1	cimento	RCG	10%	A1/10 /RCG
1:2:6	A1	cimento	RCG	15%	A1/15 /RCG
1:2:6	A1	cimento	RCG	20%	A1/20 /RCG
1:2:6	A2	areia	RCG	5%	A2/5/ RCG
1:2:6	A2	areia	RCG	10%	A2/10/ RCG
1:2:6	A2	areia	RCG	20%	A2/20/ RCG

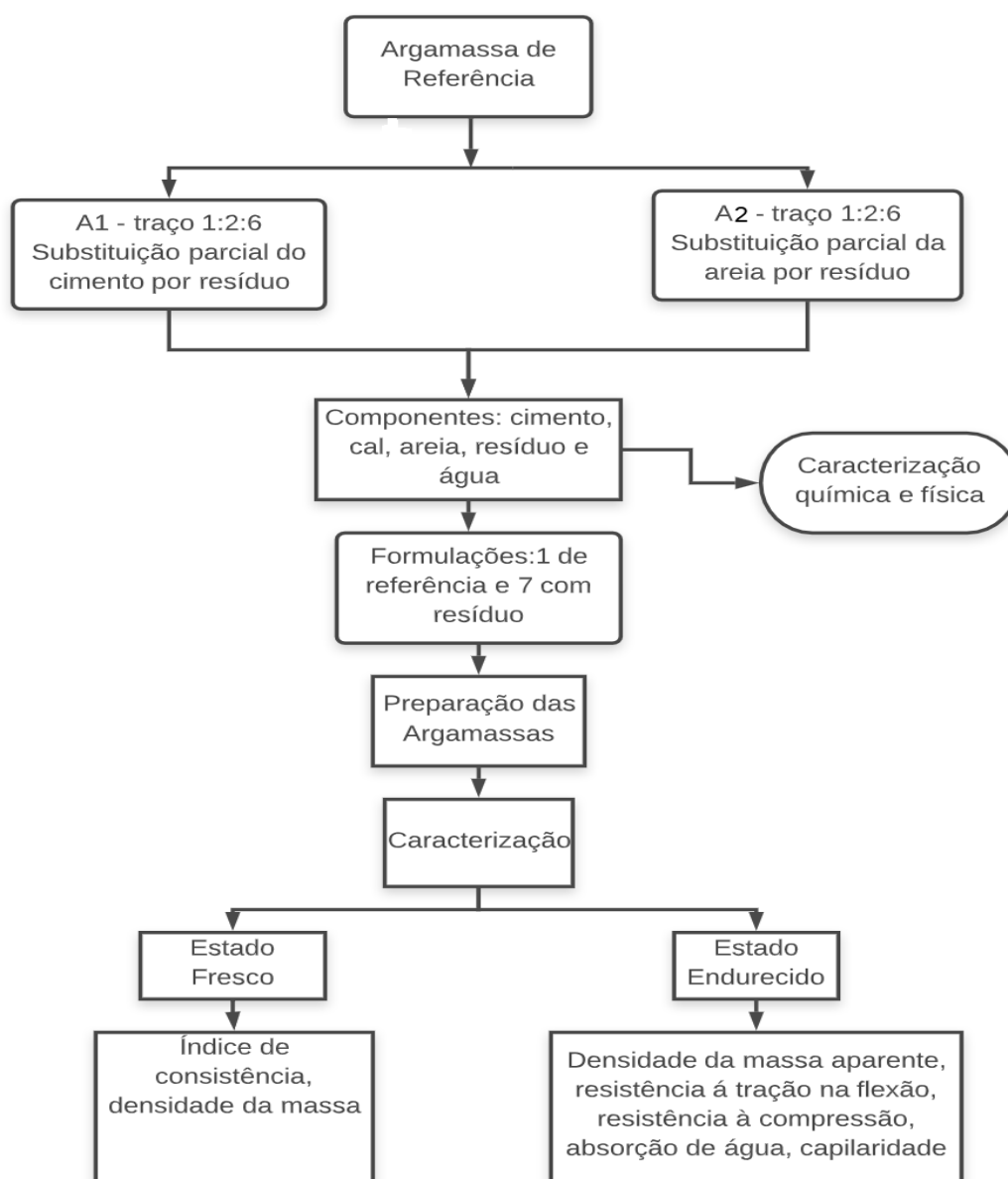
Fonte: O autor (2019)

* Argamassa de referência – sem resíduos

4.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Concluída a definição dos traços e formulação das argamassas, a caracterização dos materiais a serem empregados nas dosagens das argamassas foi realizada, a conversão dos traços em volume para massa foi realizada em seguida. Logo após, foi abordada a descrição do preparo das argamassas para então, realizar-se a caracterização das mesmas. A Figura 6 mostra o diagrama esquemático das etapas realizadas no desenvolvimento do programa experimental.

Figura 6 – Diagrama esquemático do procedimento experimental.



FONTE: O autor (2019)

4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

As argamassas mistas foram confeccionadas utilizando-se dos seguintes materiais: cimento, cal, caulim, areia natural e resíduo de corte de granito.

4.4.1 Cimento

O cimento utilizado na pesquisa foi do tipo Portland CP II F 32 - RS, da marca MIZU. A escolha do tipo de cimento deu-se por ser um cimento que apresenta melhor relação água/cimento, proporcionando maior economia, além de possuir uma microestrutura mais compacta, reduzindo a incidência de fissuras e ser resistente ao ataque de sulfatos.

A caracterização química, física, mecânica e a resistência a compressão foram obtidos pelo fabricante (Anexo A). A massa unitária foi determinada por meio de ensaios realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil do IFS, através da pesagem de três amostra de cimento em um recipiente cilíndrico com diâmetro de 10 cm e altura de 13 cm, o peso era dividido pelo volume do recipiente. A massa específica medida representativa da densidade real foi determinada utilizando picnômetro de hélio, modelo AccuPyc II 1340 da Micromeritics, foi realizada no Laboratório de caracterização do NUPEG DA UFS.

Conforme NBR 16605 (ABNT, 2017), a finura foi realizada através de peneiramento manual conforme a NBR 11579 (ABNT, 2012).

4.4.2 Cal e Caulim

Para realização da pesquisa fez-se uso da cal hidratada CH I, de um mesmo lote, fornecida pela Rebo+, produtora de cal. A cal foi armazenada em um recipiente plástico, vedado, revestido internamente com saco plástico, ficando assim protegida das intempéries.

A massa específica e massa específica aparente foram obtidas em conformidade com a NM 52 (ABNT, 2009) adaptada, a análise química foi por meio de energia dispersiva. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil do IFS e no Laboratório de Caracterização do NUPEG DA UFS.

4.4.3 Agregado miúdo

O agregado miúdo, aqui denominado areia de origem natural, foi adquirido em uma jazida, localizada nas proximidades do município de Estância/SE. Através de uma inspeção visual pode-se constatar que a mesma não apresentava impurezas e que possuía granulometria não uniforme, por essa razão, o material utilizado foi o passante na peneira ABNT (102mm).

Foi coletado aproximadamente 50 kg de areia media, em sacos plásticos, para serem utilizados na confecção das argamassas. Todo material foi seco em estufa e em seguida, acondicionado em recipientes plásticos, estando assim protegido das intempéries.

O agregado miúdo foi caracterizado quanto a granulometria, conforme o prescrito NBR 7181 (ABNT, 2016); massa específica aparente, segundo a NBR 7185 (ABNT, 2016) e massa unitária, conforme o estabelecido pela NM 45 (ABNT, 2006).

4.4.4 Resíduo de Corte de Granito

O resíduo utilizado neste trabalho primeiramente foi secado em estufa, depois peneirado na peneira ABNT 140 (0,105 mm), com o objetivo de excluir eventuais partículas com diâmetros superiores e que não fizessem parte da sua composição original. Não foram feitos nenhum tipo de beneficiamento preliminar nos resíduos. Além disso, qualquer beneficiamento implicaria em custos adicionais ao processo.

O resíduo do polimento do granito foi fornecido pela Marmoraria Santana, localizada no município de Estância-SE. Esta empresa é especializada na produção de componentes de rochas ornamentais, sendo o granito o material mais usual.

Todo material foi seco em estufa (105 ± 5) °C e posteriormente armazenado em recipientes plásticos, vedado, onde o mesmo permaneceu protegido de intempéries.

O resíduo de corte de granito foi caracterizado através da massa específica, massa unitária, análise química e difratometria de raios-x por meio de energia dispersiva.

A massa específica foi obtida através de ensaios realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil do IFS e no Laboratório de Caracterização do NUPEG

da UFS, de acordo com o prescrito pela NBR 7185 (ABNT, 2016) e massa unitária, conforme o estabelecido pela NM 45 (ABNT, 2006).

4.5 CONVERSÃO DO TRAÇO EM VOLUME PARA MASSA

É provado que a proporção dos materiais que compõe as argamassas tem influência significativa nas propriedades das mesmas. Por isso, é relevante a utilização da metodologia aplicada para medição dos materiais, inicialmente medidos em volume, e posteriormente convertidos em massa, após a determinação das massas unitárias do cimento, do resíduo, da cal e do agregado miúdo (CALHAU, 2000).

Para conversão dos traços se utilizou a expressão abaixo:

$$1 : \frac{P_{res} \cdot \delta_{res}}{\delta_{cim}} : \frac{P_{cal} \cdot \delta_{cal}}{\delta_{cim}} : \frac{P_{agr} \cdot \delta_{agr}}{\delta_{cim}}$$

Onde:

P_{res} = proporção de resíduo no traço da argamassa, em volume aparente, em cm^3 ;

P_{cal} = proporção de cal no traço da argamassa, em volume aparente, em cm^3 ;

P_{agr} = proporção de agregado no traço da argamassa, em volume aparente, em cm^3

δ_{res} = massa unitária do resíduo, no estado solto, em g/cm^3 ;

δ_{cal} = massa unitária da cal, no estado solto, em g/cm^3 ;

δ_{agr} = massa unitária do agregado, no estado solto, em g/cm^3 ;

δ_{cim} = massa unitária do cimento, no estado solto, em g/cm^3 ;

Quando da conversão dos traços a serem utilizados de volume para massa, foram obtidas as seguintes proporções entre os materiais (Tabela 2):

Tabela 2 – Conversão dos traços das argamassas

Traço em volume	Traço em massa sem substituição	Composição do traço	Traço em massa com substituição	Composição do traço	Nomenclatura
1:2:6	361:722:2166g	Cimento:caulim:areia	343:722:2166:18,05g	Cimento:caulim:areia:resíduo	A/5/REF*
			325:722:2166:36g		A1/10/ RCG
			307:722:2166:54g		A1/15 /RCG
			289:722:2166:72g		A1/20 /RCG
1:2:6	361:722:2166g	Cimento:caulim:areia	361:722:2058:108g	Cimento:caulim:areia:resíduo	A2/5 /RCG
			361:722:1950:217g		A2/10/ RCG
			361:722:1733:433g		A2/15/ RCG

Fonte: O autor (2019)

4.6 PREPARO DAS ARGAMASSAS

Os materiais utilizados na confecção das argamassas foram devidamente pesados em balanças eletrônicas calibradas. Na pesagem do cimento, resíduos, caulim, e água fizeram-se uso de uma balança com capacidade carga de 2100 g e resolução de 0,01g, modelo JH2102. O agregado miúdo foi pesado em balança eletrônica de marca Marte com capacidade de carga de 30.000 g e resolução 10 g, marca Welmy, modelo BCW 30.

Neste experimento, as argamassas foram produzidas utilizando-se um misturador mecânico (argamassadeira) de eixo vertical com capacidade de 5 litros, da marca Edutec ilustrado na Figura 7.

Figura 7– Misturador Mecânico

Fonte: O autor (2019)

Inicialmente, o teor de água foi determinado para a obtenção do índice de consistência padrão prescrito na NBR 13276 (ABNT, 2005), utilizando-se as argamassas de referência (sem resíduo). Chegando-se a uma consistência no intervalo (210 ± 5) mm recomendado pela NBR 13276 (ABNT, 2005). Foi fixado a relação água/cimento para o traço de referência, conforme mostra Tabela 6 onde o valor encontrado foi igualmente utilizado nos traços que continham resíduos. Objetivando um maior controle de produção, optou-se por separar previamente todo o material a ser utilizado na confecção do traço.

Tabela 3 – Perguntas fechadas duas escolhas: sim ou não

Traço	$f_{a/c}$	$f_{a/agl}$	$f_{a/mat. secos}$	$f_{c/mat. secos}$	$f_{c/caulim}$	IC (mm)
1:2:6	1,70	0,56	0,28	0,17	0,50	210

Fonte: O autor (2019)

4.7 MÉTODOS DE ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

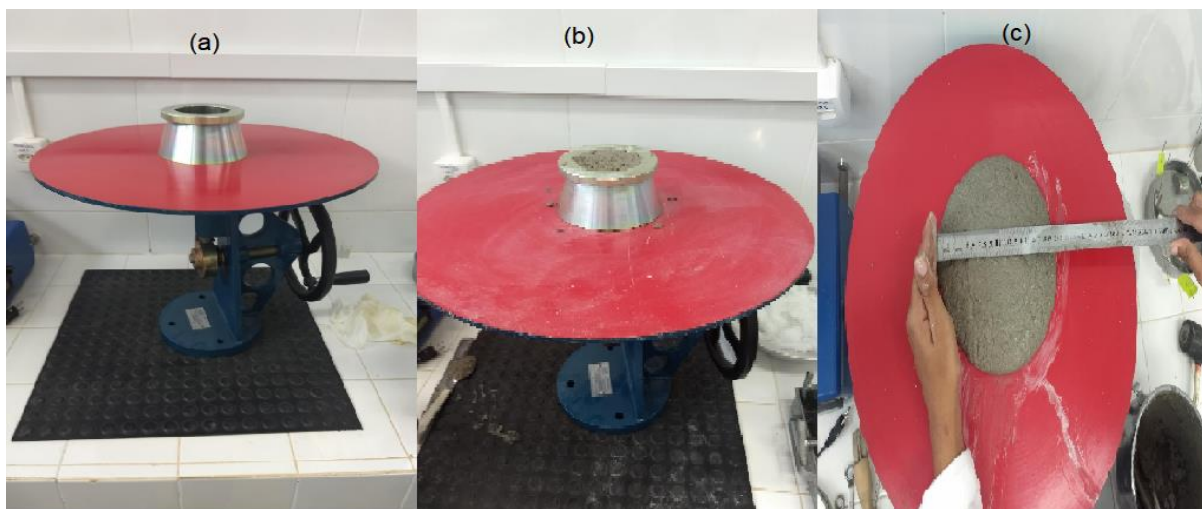
4.7.1 Argamassa no Estado Fresco

4.7.1.1 Índice de consistência

Para realização deste ensaio foi utilizada a NBR 13276 (ABNT, 2005), visto que, prescreve o método de determinação do teor de água na preparação de argamassas, para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos. O princípio do ensaio consiste em medir o espalhamento da argamassa após ser submetida a 30 golpes na mesa de consistência.

Para realização do ensaio, foi necessário a utilização da mesa para índice de consistência – “*flow table*”, descrita pela NBR 13276 (ABNT, 2016). O princípio do ensaio consiste em medir o espalhamento da argamassa após ser submetida a 30 golpes na mesa de consistência. As Figura 8a, b e c, ilustram as etapas do ensaio.

Figura 8– Etapas do ensaio de consistência



(a) Mesa de consistência; (b) troco de cone utilizado no ensaio; (c) medição do espalhamento da argamassa.

Fonte: O autor (2019)

4.7.2 Argamassa no Estado Endurecido

Para realização dos ensaios com as argamassas no estado endurecido, assim que concluída a moldagem dos corpos-de-prova, os mesmos permaneciam em processo de secagem no laboratório. Após 24 horas os corpos-de-prova eram desmoldados, identificados, por lotes, com a data de moldagem, o traço utilizado e o número sequencial. Todos os corpos-de-prova foram submetidos a cura úmida, em local coberto, nas dependências do IFS/SE Campus de Estância, durante o período mínimo de 28 dias, para então serem ensaiados.

4.7.2.1 Densidade de massa aparente no estado endurecido

O ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido foi realizado na idade de 28 dias, em conformidade com a NBR 13280 (ABNT, 2005). Esta prescreve o método de ensaio para determinação da densidade de massa aparente de argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos, no estado endurecido. Os corpos-de-prova foram moldados de acordo o estabelecido pela NBR 13279 (ABNT, 2005).

4.7.2.2 Resistência à compressão

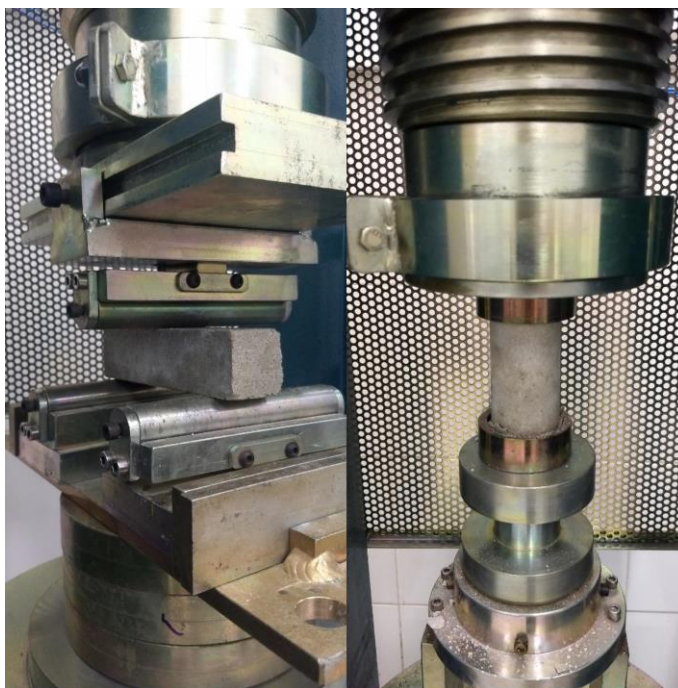
A resistência à compressão foi determinada na idade de 28 dias, conforme procedimento descrito na NBR 13279 (ABNT, 2005).

4.7.2.3 Resistência à tração na flexão

A resistência à tração na flexão foi determinada na idade de 28 dias, conforme procedimento descrito na NBR 13279 (ABNT, 2005).

Antes da realização do ensaio de resistência a tração na flexão, o eixo do corpo-de-prova era demarcado para garantir a aplicação da carga no centro do mesmo. Os ensaios foram realizados na sala de ensaios mecânicos do Laboratório de Materiais de Construção do IFS em uma prensa da Contenco, modelo Pavitest HD-200T. A Figura 9 ilustra a execução dos ensaios.

Figura 9 – Execução dos ensaios



Fonte: O autor (2019)

4.7.2.4 Absorção de água por capilaridade

Para realização deste ensaio seguiu-se o método de ensaio descrito na NBR 15259 (ABNT, 2005). Os corpos-de-prova foram moldados conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005) e ensaiados aos 28 dias de idade. Esse ensaio tem como princípio básico medir a absorção de água das argamassas pelos poros capilares.

4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados médios e os desvios padrões obtidos através dos ensaios de laboratório foram analisados por meio do método estatístico ONE WAY ANOVA, o qual consiste em uma técnica de análise de variância entre os grupos de resultados, utilizando-se índice de significância de 95% ($p < 0,05$) para comprovar se essas diferenças são significantes. A análise de variância tem como objetivo comparar a variação resultante de fontes específicas com a variação entre os indivíduos que deveriam ser semelhantes. Especificamente, a ANOVA testa se várias populações têm a mesma média comparando o afastamento entre as médias amostrais com a variação existente dentro das amostras. Para esta pesquisa, o programa utilizado foi o Microsoft Excel 2010 que se encarregou de determinar os valores de p entre os grupos de materiais nas diferentes condições das amostras (WALPOLE, 2009).

A constatação da significância de uma determinada variável ou grupo de variáveis sobre uma variável dependente é constatada através da comparação entre um valor calculado ($F_{\text{calculado}}$) e valores tabelados (F_{tabelado}) (distribuição de probabilidades de Fischer). Para que a influência seja considerada significativa, o $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$. Os valores de F_{tabelado} são em função dos graus de liberdade do grupo e/ou entre grupos e o grau de liberdade do erro, que traduz num determinado nível de significância. A ANOVA foi realizada através do programa *Excel* da *Microsoft* (RIBEIRO, 1995).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL DE PARTIDA

5.1.1 Massa Específica e Massa Unitária

Conforme apresentado na Tabela 4, os resultados indicam que a massa específicas do resíduo de granito é inferior a massa específica do agregado miúdo usado no experimento. Adicionalmente é provável que o resíduo possui uma superfície específica superior à dos demais materiais devido a sua finura.

A superfície específica do material é diretamente proporcional à ligação entre o agregado e os aglomerantes, e consequentemente a agregação das moléculas. Além disso, Nakakura (2000) apud SILVA et al (2005) ressalta que a massa específica é diretamente proporcional ao teor de finos do material. Foi observado que apesar do resíduo apresentar menor massa unitária do que a areia, ao se misturar com a areia a massa unitária aumentou de forma expressiva indicando que melhorou o empacotamento da mistura, apesar de Pandolfo et al (2005), afirmar que a massa unitária é inversamente proporcional a compactidade das argamassas.

Tabela 4 – Massa específica e unitária dos materiais de partida

	Ensaio	Método	Unidade	Resultados
Cimento	Massa específica	NBR 16605 (2017)	g/cm ³	3,27±0,004
	Massa unitária	NM 45 (2006)	g/cm ³	1,05 ± 0,001
Caulim	Massa específica	NBR 16605 (2017)	g/cm ³	2,73 ± 0,001
	Massa unitária	NM 45 (2006)	g/cm ³	0,78 ± 0,001
Areia	Massa específica	NBR 7185 (2016)	g/cm ³	2,58 ± 0,001
	Massa unitária	NM 45 (2006)	g/cm ³	1,51 ± 0,001
Resíduo de corte de granito	Massa específica	NBR 16605 (2017)	g/cm ³	2,55 ± 0,001
	Massa unitária	NM 45 (2006)	g/cm ³	1,07 ± 0,001
Areia+RCG	Massa unitária	NM 45 (2006)	g/cm ³	1,53± 0,001
A2/5/RCG*				1,56± 0,001
A2/10/RCG*				1,57± 0,001
A2/20/RCG*				1,57± 0,001
RCG	Finura	NBR16697/2018	%	7,4±0,013

*=Foram utilizadas as proporções de areia e resíduo de corte de granito conforme especificada na Tabela 2

Fonte: O autor (2019)

5.1.2 Análise química dos materiais de partida

Na Tabela 5 é apresentado os resultados da análise química realizada nos materiais que foram utilizados nas formulações de argamassa. Neste estudo é possível identificar os elementos químicos presentes em cada material, com isso foi possível concluir que o material comprado e identificado na embalagem como cal, na verdade é um caulim.

O resíduo em estudo apresentou análise química similar aos estudos de Freire e Motta (1995). Segundo o autor o resíduo de granito apresenta composição química com a presença de óxidos, tais como SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 , K_2O e Na_2O , e é compatível para a utilização em argamassas na construção civil, entre outras aplicações.

Tabela 5 – Análise química dos materiais de partida

Matéria prima	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	MgO	ZrO_2	TiO_2	SO_2	TOTAL
Areia	85	3,7	1,0	3,0	0,5	-	-	0,5	5,3	0,23	100,00
Cimento	8,6		81,2	5,3	1,4		-	-	0,36	2,3	100,00
Cal (caulim)	55,1	27,0	-	2,9	13,8	-	-	-	-		100,00
Resíduo	48,67	2,86	19,67	14,05	10,9	-	0,25	0,24	2,49	10,9	100,00

Fonte: O autor (2019)

5.2 Agregado Miúdo

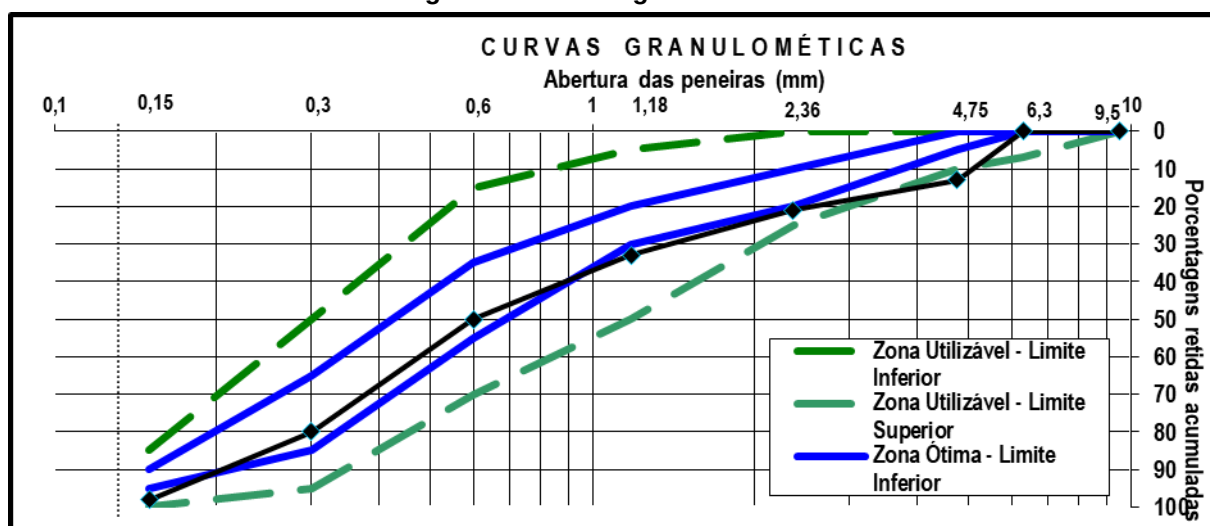
5.2.1 Granulometria

O teor de finos e a granulométrica são elementos decisivos para o desempenho das argamassas. Na Tabela 6 estão apresentadas as características granulométricas do agregado miúdo utilizados nas argamassas estudadas. A Figura 10 indica a curva granulométrica da areia utilizada nas misturas, mostrando que o material se encontra dentro de uma zona ótima de utilização (BAUER, 2005).

Tabela 6 – Granulometria do Agregado Miúdo

Abertura da Malha de Peneira (mm)	% retido em massa (g)	% retido em massa acumulada	Método
4,8	14	14	
2,4	08	22	
1,2	12	34	
0,6	16	50	
0,3	30	80	
0,15	18	98	
<0,15	02	100	
Total	100	-	
Módulo de Finura		2,98	NBR 7217 (ABNT, 1987)
Dimensão máxima característica (mm)		6,3	NBR 7217 (ABNT, 1987)
Graduação Zona	Zona 3 (Areia média)		NBR 7211 (ABNT, 1983)

Fonte: O autor (2019)

Figura 10 – Curva granulométrica

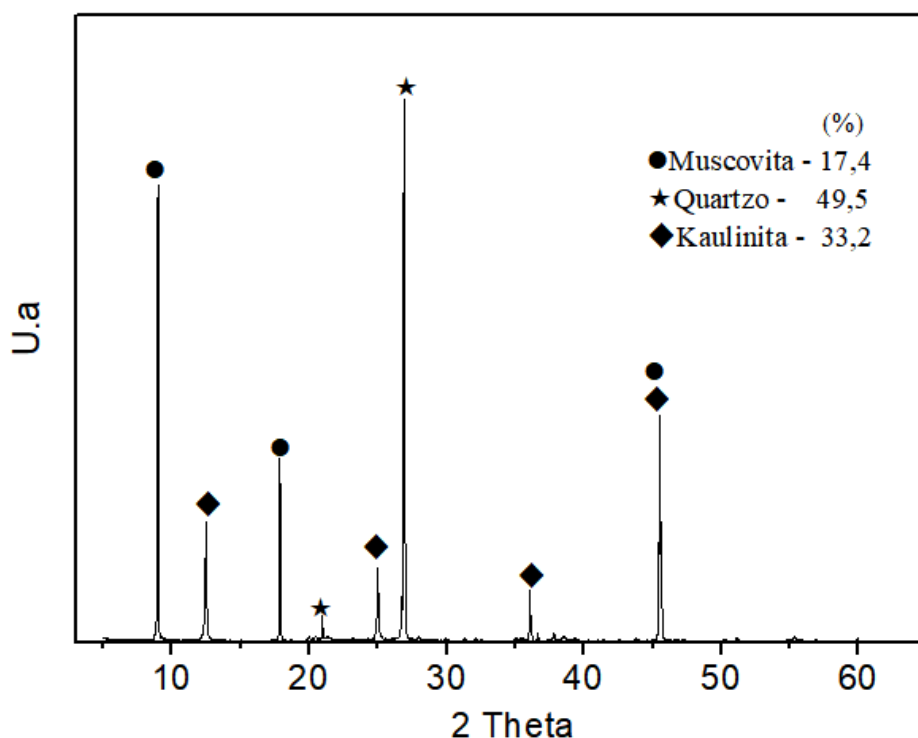
Fonte: O autor (2019)

5.3 Cal (Caulim)

5.3.1 Difratometria de Raios-X

A Figura 11 ilustra o difratograma de raios-X da cal (caulim). O resultado da análise mostra que o material em questão contém caulinita, quartzo e muscovita, característicos dos caulins (NOBREGA, 2007)

Figura 11 – Padrão de difratometria de raios-X do caulim



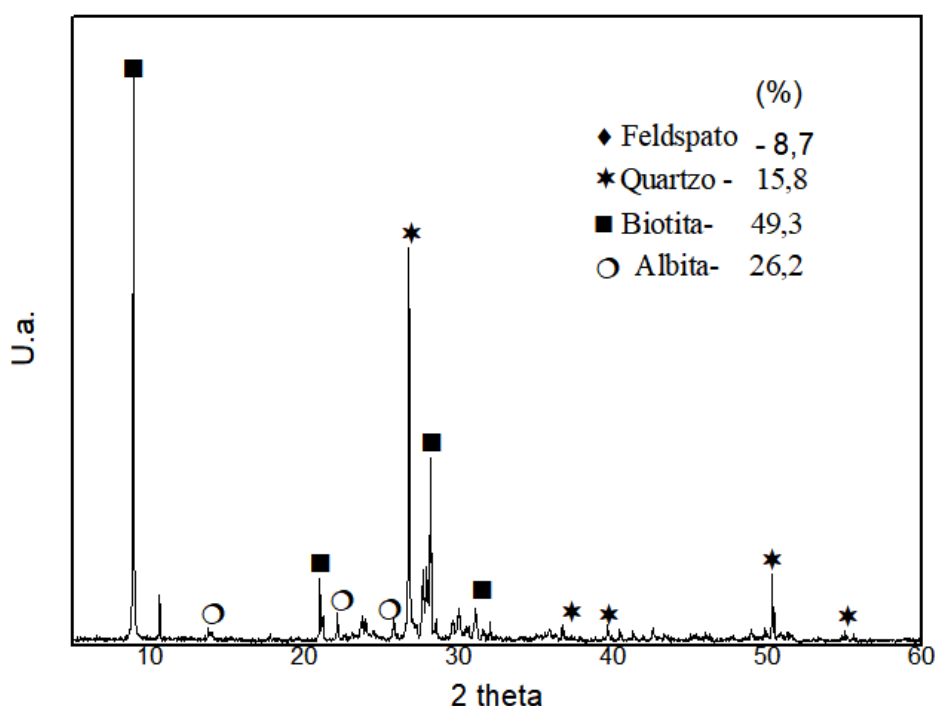
Fonte: O autor (2019)

5.4 Resíduo de Corte de Granito

5.4.1 Difractometria de Raios-X

A Figura 12 ilustra o difratograma de raios-x do resíduo de corte de granito. O resultado da análise mostra que há uma predominância das fases biotita, albita e quartzo conforme apresentado em outros trabalhos (MOREIRA, 2011). Segundo Gonçalves (2000), a escala horizontal (ângulo de difração) apresenta o espaçamento do arranjo cristalino, e a escala vertical (altura do pico) apresenta a intensidade do raio. A intensidade de picos característicos de cada mineral é proporcional a sua quantidade. De acordo com o esperado, a forma apresentada no difratograma indica que os compostos químicos presentes no RCG se apresentam tipicamente na forma cristalina.

Figura 12 – Padrão de difratometria de raios X do resíduo de granito



Fonte: O autor (2019)

5.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM AS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

5.2.1 Índice de Consistência – Trabalhabilidade

A Tabela 7 e a Figura 13 apresentam os resultados médios dos índices de consistência obtidos em todos os ensaios realizados com as argamassas A1 e A2.

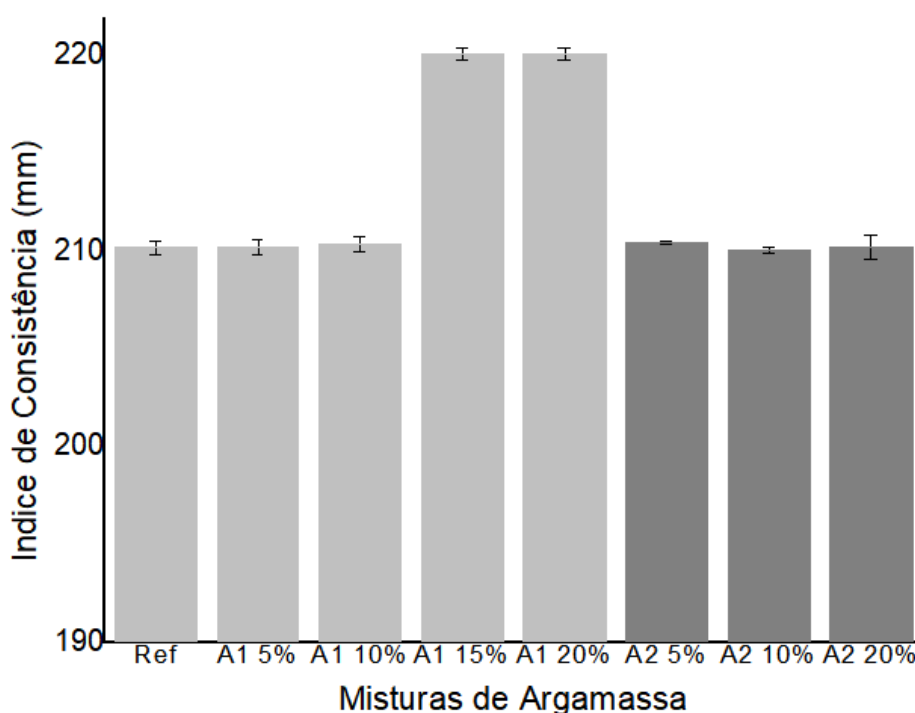
Tabela 7 – Resultados médios dos Índices de Consistência das Argamassas.

Argamassa	Fator água/cimento	Índice de Consistência (mm)	ANOVA
A1/0/REF		210,23±0,32	
A1/5/ RCG	1,7	210,23±0,38	
A1/10 /RCG		210,40±0,40	
A1/15 /RCG		220,13±0,32	$p=2,75 \times 10^{-17}$ $F_{\text{calculado}} > F_{\text{critico}}$
A1/20/RCG		220,13±0,32	
A2/5/ RCG	1,7	210,50±0,10	
A2/10/ RCG		210,10±0,17	
A2/20/ RCG		210,27±0,64	

Fonte: O autor (2019)

Nesse ensaio constatou um leve aumento no índice de consistência (IC) para as argamassas com percentuais (15% e 20%) de adição de resíduo substituindo o cimento, como consequência, uma provável redução na coesão. No entanto, para as demais misturas, não houve alteração do IC, se comparado ao de referência. Os resultados apontam uma alta coesão, com consistência de (210 ± 10) mm. Adicionalmente esse fato pode proporcionar ganhos relativos à qualidade e produtividade durante a elevação e revestimento de alvenarias, podendo ter influência na redução de perdas das argamassas, minimizando assim o desperdício e, consequentemente, a geração de mais resíduos (SANTOS, 2008).

Figura 13– Correlação Teor de Resíduos e Índice de Consistência da Argamassa



Fonte: O autor (2019)

5.2.2 Densidade de Massa

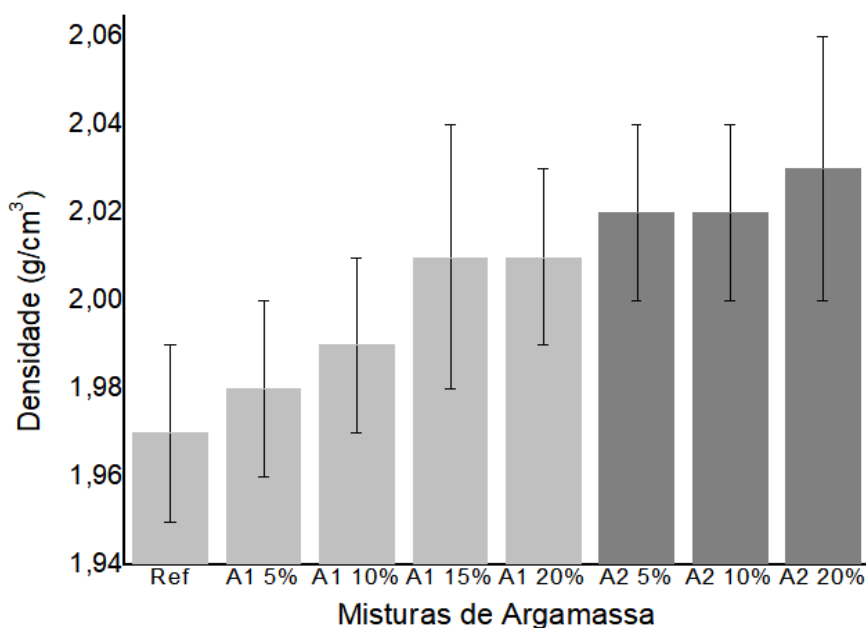
A Tabela 8 apresenta os resultados médios de ensaio da densidade aparente da argamassa no estado fresco. Os resultados oscilaram de 1,97 a 2,02 g/cm³ similares aos resultados obtidos por Vinco (2017) em que foi o resíduo de corte de granito substituiu a areia na produção de argamassas.

Tabela 8 – Resultados médios das Densidades das Argamassas

Argamassa	Fator água/cimento	Densidade de massa (g/m ³)	ANOVA
A1/0/REF		1,97±0,02	
A1/5/ RCG	1,7	1,98±0,02	
A1/10 /RCG		1,99±0,02	
A1/15 /RCG		2,00±0,03	$p=0,098$
A1/20/RCG		2,01±0,02	$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$
A2/5/ RCG		2,02±0,02	
A2/10/ RCG	1,7	2,02±0,02	
A2/20/ RCG		2,03±0,03	

Fonte: O autor (2019)

A Figura 14 apresenta os resultados de densidade das misturas. Embora notou-se um ligeiro acréscimo da densidade a medida que se o resíduo substituiu a areia nas formulações A2, após análise dos resultados utilizando o software ANOVA, o valor de $p > 0,05$ indica que os resultados obtidos não apresentam variação e, portanto, são considerados iguais, e o teor de resíduo incorporado não alterou a densidade das misturas.

Figura 14 – Correlação Teor de Resíduos e Densidade das Argamassas

Fonte: O autor (2019)

5.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM AS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

5.3.1 Resistência à Compressão

A tabela 9 e Figura 15 apresentam os resultados médios do ensaio de compressão.

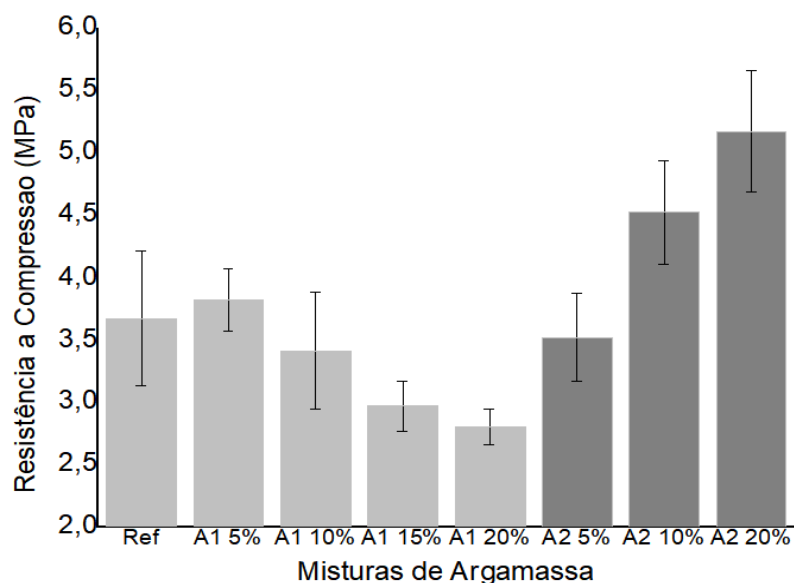
Tabela 9 – Resultados médios do Ensaio de Resistência a Compressão

Argamassa	Fator água/cimento	Resistência à compressão (MPa)	ANOVA
A1/0/REF		3,67±0,54	
A1/5/ RCG	1,7	3,82±0,25	
A1/10 /RCG		3,58±0,47	
A1/15 /RCG		2,97±0,20	$p=7,43 \times 10^{-13}$
A1/20/RCG		2,80±0,14	$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$
A2/5/ RCG	1,7	3,52±0,35	
A2/10/ RCG		4,52±0,41	
A2/20/ RCG		5,17±0,49	

Fonte: O autor (2019)

Os resultados obtidos nas formulações A1 em que foi acrescentado resíduo em substituição ao cimento estão abaixo dos encontrados em relação a referência. Isto se deve a redução do elemento aglomerante e como esperado a resistência diminuiu. No entanto, esse resultado foi diferente para as misturas em que o resíduo substituiu parcialmente o agregado miúdo, pois os valores de resistência a compressão aumentaram à medida que se aumentava o teor de resíduo na mistura. O resíduo para formulações A2 favoreceu o acréscimo da resistência, como verificado por alguns autores, partículas finas inertes agem como pontos de nucleação, provocando a precipitação de produtos hidratados, ativando a hidratação do cimento. Este maior empacotamento das partículas permite que a mistura se torne mais homogênea e compacta, fornecendo maior resistência (GONÇALVES, 2000; SILVA & CAMPITELLI, 2006; BENACHOUR *et al.*, 2008).

Figura 15 – Correlação Teor de Resíduos e Resistência à Compressão



Fonte: O autor (2019)

5.3.2 Resistência à Tração na Flexão

As médias dos resultados do ensaio de resistência à tração na flexão e estão apresentados na Tabela 10 e na Figura 16.

Tabela 10 – Resultados médios do Ensaio de Tração na Flexão

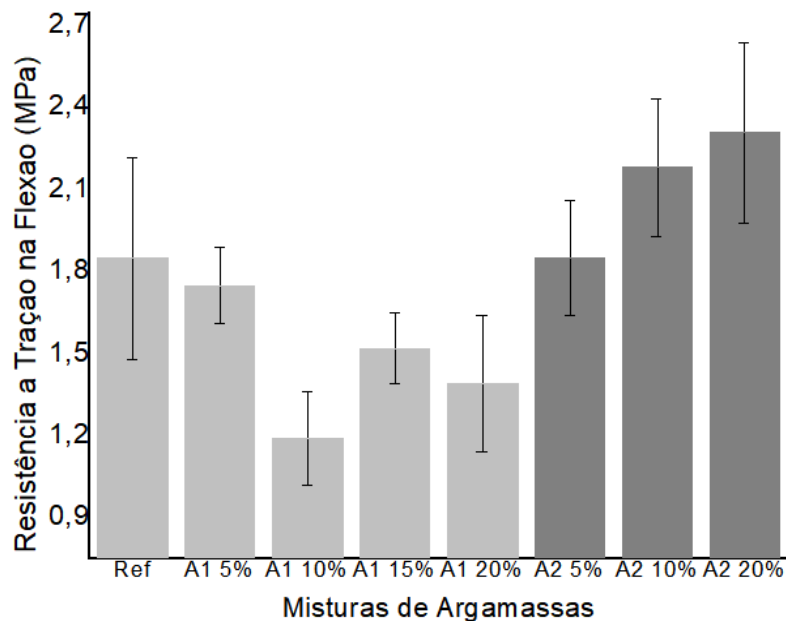
Argamassa	Fator água/cimento	Resistência à tração na flexão (MPa)	ANOVA
A1/0/REF		1,85±0,37	
A1/5/ RCG		1,78±0,14	
A1/10 /RCG	1,7	1,19±0,17	
A1/15 /RCG		1,52±0,13	
A1/20/RCG		1,39±0,25	$p-1,18 \times 10^{-5}$
A2/5/ RCG		1,85±0,21	$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$
A2/10/ RCG		2,18±0,25	
A2/20/ RCG	1,7	2,31±0,33	

Fonte: O autor (2019)

Os resultados de resistência à tração na flexão foram semelhantes ao que aconteceu no ensaio de resistência a compressão. Um decréscimo na resistência a tração quando se aumentava o teor de resíduo em substituição ao cimento e um aumento nessa mesma resistência quando se aumentava o teor de resíduos em substituição ao agregado miúdo. Isso salienta que o RCG melhora a resistência a tração devido ao efeito *filler*, pois, o alto teor de finos, aumentam-se os sítios de

nucleação, acelerando a cinética das reações, proporcionando maior quantidade de produtos hidratados e potencializando a hidratação do cimento (APOLINÁRIO, 2014)

Figura 16 – Correlação Teor de Resíduos e Resistência à Tração na Flexão



Fonte: O autor (2019)

5.3.2 Absorção de Água por Capilaridade

A Tabela 11 e Figura 17 mostra os resultados médios de absorção por capilaridade das argamassas no estado endurecido.

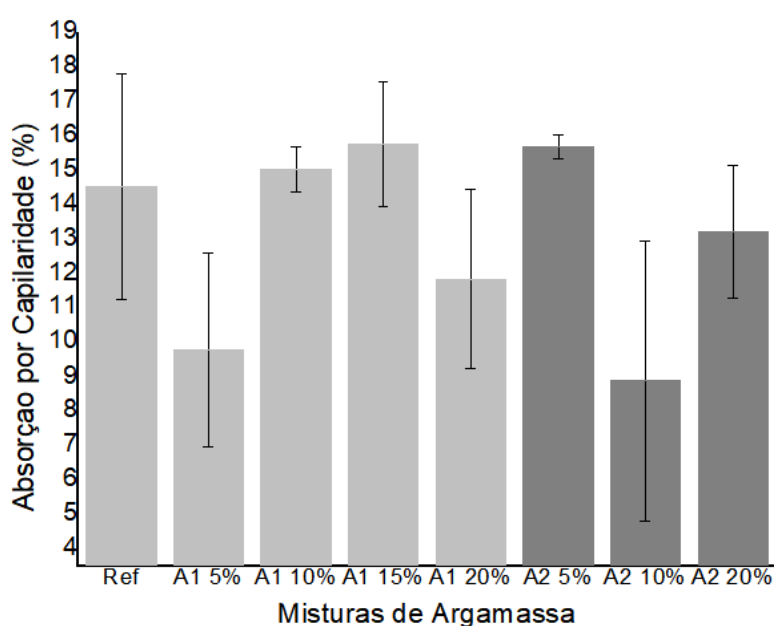
Tabela 11 – Resultados médios de Absorção por Capilaridade

Argamassa	Fator água/cimento	Absorção (%)	ANOVA
A1/0/REF		14,52±3,28	
A1/5/ RCG		9,79±2,82	
A1/10 /RCG	1,7	15,02±0,65	
A1/15 /RCG		15,76±1,81	$p=0,029$
A1/20/RCG		11,83±2,60	$F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$
A2/5/ RCG		15,68±2,30	
A2/10/ RCG		8,94±4,07	
A2/20/ RCG	1,7	13,21±1,94	

Fonte: O autor (2019)

A absorção é inversamente proporcional a resistência mecânica. Portanto, os resultados foram comentados no item 5.3.1. Adicionalmente, foi observado uma variação importante nos desvios. De acordo com análise ANOVA o valor $F_{\text{calculado}}=3,08$ foi maior do que $F_{\text{tabelado}}=2,65$, logo os resultados indicam que existem diferenças entre os dados. Portanto é possível afirmar que existe uma tendência de a absorção de água diminuir à medida que a resistência aumenta principalmente nas formulações A2.

Figura 17 – Correlação Teor de Resíduos e Absorção por Capilaridade



Fonte: O autor (2019)

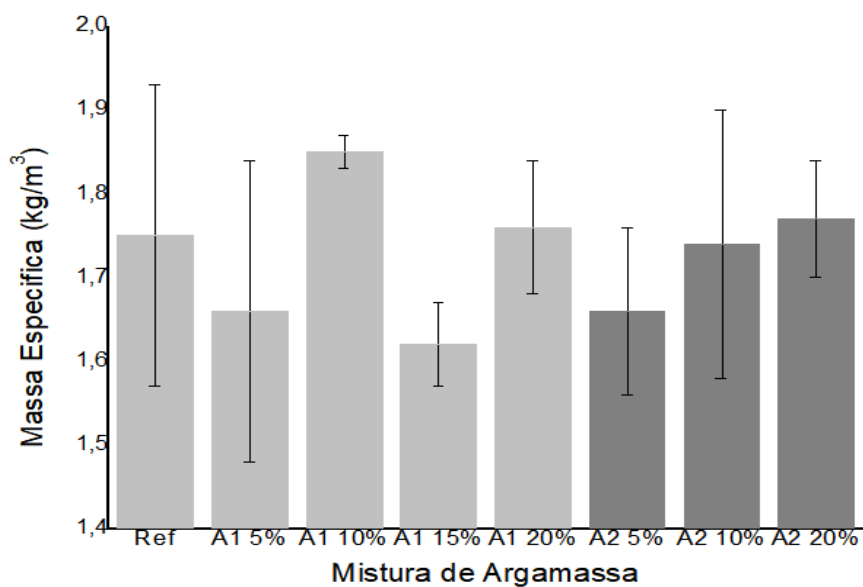
5.3.3 Massa Específica

A Tabela 12 e a Figura 18 apresentam os resultados médios da massa específica. De acordo com análise utilizando o software ANOVA, valores de $p>0,05$, significa que não existe variação entre os valores obtidos, embora foi observado uma ligeira tendência ao aumento da massa específica nas formulações em que foi substituído a areia pelo resíduo conforme observado em outros trabalhos. Esse acréscimo se deve ao maior empacotamento provocado visto que o resíduo é extremamente fino e ocupou os espaços deixados pela areia e demais componentes.

Tabela 12 – Resultados médios de Massa Específica

Argamassa	Fator água/cimento	Massa específica(kg/m ³)	ANOVA
A1/0/REF		1,75±0,18	
A1/5/ RCG	1,7	1,66±0,18	
A1/10 /RCG		1,85±0,02	
A1/15 /RCG		1,62±0,05	$p-0,37$
A1/20/RCG		1,76±0,08	$F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$
A2/5/ RCG		1,66±0,10	
A2/10/ RCG	1,7	1,74±0,16	
A2/20/ RCG		1,77±0,07	

Fonte: O autor (2019)

Figura 18– Correlação Teor de Resíduos e Massa Específica

Fonte: O autor (2019)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

O objetivo geral da pesquisa foi mostrar a viabilidade da substituição parcial do cimento e do agregado miúdo (areia) por resíduos na mistura de argamassas mistas sem provocar danos no desempenho das mesmas.

Neste capítulo são abordadas as conclusões mais relevantes obtidas no Programa experimental desta pesquisa, além de sugestões para trabalhos futuros.

Quanto as propriedades das argamassas no estado fresco, foi observado que:

A incorporação do resíduo em substituição do cimento na mistura quando da produção das argamassas aumentou o índice de consistência das argamassas, conseqüentemente, as mesmas tem sua coesão um pouco reduzida, no entanto, para substituições em relação a areia, os resultados de IC se mantiveram constantes. Ressalta-se ainda que, as argamassas produzidas com RCG que tiveram alteração na sua consistência, esse aumento foi de 4,8%, não sendo muito relevante essa alteração nas propriedades de trabalhabilidade da argamassa.

Através dos resultados encontrados na pesquisa, pode-se constatar que a presença de resíduo na mistura das argamassas não alterou a densidade de massa das mesmas, independentemente do percentual de RCG incorporado e de qual componente ele estava substituindo. No que se refere a classificação, os resultados mostram que não há variação entre as argamassas formuladas com resíduo e a de referência e que as argamassas estão na faixa central da tabela de classificação estabelecida pela norma.

Quanto as propriedades das argamassas no estado endurecido, se observou que:

As argamassas produzidas com resíduos apresentaram desempenho comprometido nas propriedades de resistência a tração na flexão e resistência a compressão quando o resíduo substituiu o cimento. Para as argamassas produzidas com incorporação de RCG substituindo o agregado miúdo, ocorreu um aumento

favorável nas resistências a tração na flexão e a compressão. As correlações para as argamassas A2, indicam que quanto maior o teor de resíduo presente na mistura maior será o desempenho mecânico das argamassas. Quanto a classificação, os resultados mostram claramente que em relação a resistência a tração na flexão as argamassas A2 estão classificadas na faixa mais elevada da tabela e as argamassas A1 nas faixas intermediárias. Já em relação a resistência a compressão, as argamassas A1 estão classificadas na faixa intermediária e a A2 na faixa mais alta.

Os resultados mostraram que a propriedade de absorção de água por capilaridade foi prejudicada nas misturas A1 (10% e 15%) e A2 (5%).

A presença do resíduo na mistura, independentemente do teor não modificou a densidade de massa das argamassas formuladas.

6.2 Considerações para trabalhos futuros

Levando em consideração a abrangência do tema e visto que, em poucas pesquisas é improvável esgotar todas as possibilidades de estudo sobre o comportamento de um material, principalmente se tratando de um material não convencional, existem diversos trabalhos que podem ser desenvolvidos, no sentido de contribuir para o aumento do conhecimento sobre o assunto abordado. Diante disso, sugere-se:

- Avaliar os impactos da retração da argamassa com resíduos no estado fresco e endurecido;
- Avaliar a resistência de aderência a tração das argamassas com RCG;
- Realizar um estudo de porosidade de argamassas produzidas com resíduos para outras relações água/cimento;
- Estudar o efeito de diferentes tipos de cura nas propriedades e durabilidade das argamassas com RCG;

REFERÊNCIAS

ABIRROCHAS- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais no Período Janeiro-Setembro de 2016.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. (ABIROCHAS). **Situação mundial e posição brasileira no setor de rochas ornamentais em 2008.** Disponível em: <http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/6661/Situacao_Mundial2008.pdf>. Acesso em mar. 2019.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52:** Agregado miúdo– Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1665:** Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605:** Cimento Portland e outros materiais em pó— Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

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

ABNT - ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 13530:** Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529:** Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 2013.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação de densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do Índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935:** Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7185:** Solo: Solo: Determinação da massa específica aparente pelo frasco de areia. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:** Solo: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Básico sobre cimento.** 2009. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobrecimento/basico/basico-sobre-cimento>>. Acesso em: 20 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland.** 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106)

ABCP. **Manual de revestimento de argamassa.** 1 ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2002.

ALYAMAÇ, K. E.; INCE, R.; A preliminary concrete mix design for SCC with marble powders. **Construction and Building Materials**, v 23, p.1201-2010, 2009.

ALVAREZ, J.; SEQUEIRA, C.; COSTA, M. **Ensinaamentos a retirar do passado histórico das argamassas.** In: 1º CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, APFAC, 2005 Lisboa.

APOLINÁRIO E.C.A., MATTA, V.R.P.; RIBEIRO, D.V. **Efeito da adição do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) nas propriedades das argamassas de revestimento**, CEBECIMAT, 2012.

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.

APOLINÁRIO E.C.A., MATTA, V.R.P.; RIBEIRO, D.V. **Efeitos da adição do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) nas propriedades das argamassas de cimento Portland e industrializada no estado aplicado**; Fórum Ambiental da Alta Paulista, 2013.

BALANÇO MINERAL BRASILEIRO. DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/>>acesso em 10 mar. 2019.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção** 1. 5. ed. São Paulo: Editora LTC, 1995.

BAUER, E. **Revestimentos em Argamassa: características e peculiaridades.** Brasília, 2005.

BENACHOUR, Y., DAVY, C.A., SKOCZYLAS, F., HOUARI H. **Effect of a high calcite filler addition upon microstructural, mechanical, shrinkage and transport properties of a mortar.** *Cement and Concrete Research*, v. 38, p. 727–736, 2008.

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.

CLASSES E USOS. **Construção mercado, São Paulo**, n. 28, nov. 2003. Mensal. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacaoconstrucao/28/cimento-portland-281728-1.aspx>>. Acesso em: 23 set. 2018.

DE NE G.F.; ANTUNES E.G.P.; **análise da influência da substituição parcial do cimento Portland por resíduo de rocha ornamental em argamassa;** UNESC, Santa Catarina, 2017.

DIOGO, G. **Análise e proposta de melhorias no processo de produção dos revestimentos de argamassa de fachadas de edifícios.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade de São Paulo, 2007.

FEDERAÇÃO DO COMÉRCIO DE BENS, SERVIÇOS E TURISMO DE SÃO PAULO (FECOMÉRCIO). **Sustentabilidade não é só sobre desmatamento e emissão de poluentes.** Disponível em:< <http://www.fecomercio.com.br/?option=comeventos&view=interna&Itemid=20&id=3363>>Acesso em jul 2018.

FERREIRA, J. C.; CARVALHO, R. A.; COSTA, H. G. **Emprego de uma metodologia para aquisição de materiais numa empresa de construção civil da cidade de Campos dos Goytacazes.** GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v.13, p. 23-35, 2008.

FERREIRA, T.; FERREIRA, E.; CHAVES, M.; GONÇANVES, P. **Aproveitamento de resíduos finos de rochas ornamentais na fabricação de ladrilho hidráulico piso tátil para orientação de deficientes visuais,** UEMG, Minas Gerais, 2018.

FREIRE, Alexandre Sayeg; MOTTA, José Francisco M. **Potencialidades para o aproveitamento econômico do rejeito da serragem do granito.** *Revista Rochas de Qualidade*. São Paulo. Ano XXV. Edição 123, p.98-108, julh/ago. 1995

GIRARDI, R. **Estudo da variabilidade do cimento Portland que abasteceu o mercado do Rio Grande do Sul no período de 1992 a 2012.** 167f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2014.

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.

GUIMARAES, J. E. P. **A Cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil.** 2. ed. São Paulo: PINI, 2002. 341 p.

HAGGAR, Salad M. El. **Sustainable Industrial Design and Waste Management: Cradle-to-cradle for Sustainable Development**. p.346-350, 2009.

ISAIA, Geraldo Cechella (org). **Materiais de construção civil e Princípios de ciência e Engenharia de Materiais**, São Paulo, IBRACON, Instituto Brasileiro de Concreto, 2010.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 113p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil.

LIMA, Rosimeire S.; LIMA, Ruy Reynaldo R. **Guia para elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil**. Série de Publicações Temáticas do Crea-PR. Curitiba: Crea, 2012.

LUZ, A. B. e CHAVES, A, P. **Tecnologia do Caulim: ênfase na indústria de papel**, 72p., Série Rochas e Minerais Industriais no 1, CETEM/MCT, 2000.

MACHADO, F.B.; MOREIRA, C.A.; ZANARDO, A; ANDRE, A.C.; GODOY, A.M.; FERREIRA, J. A.; GALEMBECK, T.; NARDY, A.J.R.; ARTUR, A.C.; OLIVEIRA, M.A.F.de. **Atlas de Rochas**. [on-line]. ISBN: 85-89082-12-1. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/museudpm>> Acesso em 21,mar 2019.

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.

MARTINELLI, F.A.; HELENE P.R.L. **Usos funções e propriedades das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenaria**. Boletim Técnico n. BT/PCC/47. São Paulo: Escola Politécnica do Estado de São Paulo, 1991.

MENEZES, R. R.; FARIAS FILHO, J.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A., FERREIRA, H. C. **Reciclagem de resíduos da construção civil para a produção de argamassas**. Cerâmica, v. 55, p. 263-270, 2009.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de textos, 2014.

MOREIRA,J.; HOLANDA,J. N. **Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha**. Cerâmica 49 (2003) 262-267

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. BT/PCC/359. Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2004. Disponível em: http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF2003&2004_1/BT%20-%20359.pdf. Acesso em: 03 mar. 2019.

NASCIMENTO, J. M. **A importância da compatibilização de projetos como fator de redução de custos na construção civil.** Revista Especialize Online IPOG, v. 1, p.111, 2014.

NETO, A. A. B. **A importância do equilíbrio sócio-ambiental na extração do mármore e do granito.** Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo CEFET – ES, 2006 Disponível em: <[ftp://ftp.cefetes.br/cursos/Metalurgia Materiais/Joseroberto/P%D3S/AULAS/ GRANITO%20AUR%C9LIO.pdf](ftp://ftp.cefetes.br/cursos/Metalurgia%20Materiais/Joseroberto/P%D3S/AULAS/GRANITO%20AUR%C9LIO.pdf)> Acesso em mar. 2019.

NEVILLE, A. **Propriedades do concreto.** São Paulo: PINI. 1997.7

NÓBREGA, Aline Figueirêdo da. **Potencial de aproveitamento de resíduos de caulim paraibano para o desenvolvimento de argamassas de múltiplo uso.** Dissertação – Universidade Federal da Paraíba (UFPB/BC). João Pessoa, 2007.

OLIVEIRA, Liliane. S. **Reaproveitamento de resíduos de marmoraria em compósitos cimentícios.** Dissertação - Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ). São João Del-Rei, 2015.

PANDOLFO, L. M.; MASUERO, A. B.; TIECHER, F.; PANDOLFO, A. **Propriedades das argamassas de revestimento produzidas com areia natural e areia de basalto.** In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Florianópolis, 2005.

PIMENTEL, L. L., PISSOLATO JR., O.; JACINTHO, A. E. P. G. A., MARTINS, H. L. S.; **Argamassa com areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil – Avaliação de características físicas e mecânicas** revista Matéria, v.23, n.1, 2018.

PROCAFÉ. **Cal virgem e cal hidratada agrícola: corretivos ideais para cafezais adultos.**2018. Disponível em: [https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/cafe/211141-procafe-cal-virgem-e-calhidratada-agricola-corretivos-ideais-para-cafezais - adultos.html#](https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/cafe/211141-procafe-cal-virgem-e-calhidratada-agricola-corretivos-ideais-para-cafezais-adultos.html#). Wwq1YgvxPY > Acesso em mar. 2019.

RIBEIRO, J. L. D., **Projeto de Experimentos na Otimização de Produtos e Processos.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFRGS. Jan/1995.

RODRIGUES, G. F.; ALVES, J. O.; TENÓRIO, J. A. S.; ESPINOSA, D. C. R. **Estudo de resíduos de rochas ornamentais para a produção de materiais vítreos.** Tecnologia em Metalurgia e Materiais. São Paulo, v. 8, p. 203-207, 2011.

SANTOS, Maria Luiza Lopes de Oliveira. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil** / Maria Luiza Lopes de Oliveira Santos. – Natal, RN, 2008.

SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia de argilas**, 2. ed. rev. amp., São Paulo: Edgard Blücher, 1992.

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA (SETEC)/ MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). **Rochas Ornamentais.** Brasília, 2007.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

SILVA, N. G.; BUEST, G.; CAMPITELI, V. C. **Argamassa com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas**. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais. Florianópolis, 2005.

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. Curitiba, 2006. 180 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/bitstream/1884/4660/1/DISSERTA%c3%830%20MESTRADO.pdf>. Acesso em mar. 2019.

VIDAL, AZEVEDO H. C. A, CASTRO N. F. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Eds. Francisco W. H. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013.

VINCO, G.F. et al. **Viabilidade técnica e econômica de argamassas de revestimento produzidas com incorporação de resíduos de rochas ornamentais**. Ambiente construído. vol.17 no.4 Porto Alegre Oct./Dec. 2017
WALPOLE, R.E.; MYERS R.H., 2009, **Probability and statistics for engineering and science**. 2a ed. São Paulo, Pearson Education (*in Portuguese*).

WESTPHAL, Eduardo; WESTPHAL, Humberto; MADALOSSO, Cláudia; CARVALHO, Fernanda; ADAMS, Kátia. **Argamassas**. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Disponível em: <[http://www.arq.ufsc.br/arq5661/Argamassas /index.html](http://www.arq.ufsc.br/arq5661/Argamassas/index.html)>. Acesso em 20 de set. de 2018.

ZAMPIERI, V.A. **Mineralogia e Mecanismo de ativação e reação das pozolanas de argilas calcinadas**. 1989. Dissertação (Mestrado em Geociências), USP, São Paulo, 1989.

Anexo A

Tabela A1- Caracterização química do cimento Portland CP II F 32 RS

Composição Química	Unidade	Resultados	Especificação NBR16697/2018
P. Fogo	%	10,01±0,78	≤12,5
RI	%	3,21±0,14	≤7,5
SO ₃	%	2,87±0,29	≤4,5
CaO livre	%	1,79±0,28	Ñ aplicável

Fonte: Relatório fornecido pelo fabricante, período abril/2019.

Tabela A2- Caracterização física do cimento Portland CP II F 32 RS

Ensaio	Unidade	Resultados	Especificação NBR16697/2018
Res. a compressão	MPa	36,46±1,49	≥32,0
Finura #200	%	0,86±0,14	≤12,0
Massa espc.	g/cm ³	3,11±0,00	Ñ aplicável
Expansibilidade	mm	0,79±0,27	≤5
Pega	min	Início: 159±2,44	Início: ≥60
		Fim: 234±6,07	Fim: ≤ 600
Consistência	%	27,91±1,28	Ñ aplicável

Fonte: Relatório fornecido pelo fabricante, período abril/2019.