**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**
**CENTRO TECNOLÓGICO**
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

JÚLIA LACERDA BORTOLON

# ARGAMASSA ESTABILIZADA CONTENDO RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

VITÓRIA
2021

JÚLIA LACERDA BORTOLON

# ARGAMASSA ESTABILIZADA CONTENDO RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Projeto de Graduação da aluna Júlia Lacerda Bortolon, apresentado ao Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, para obtenção do grau de Engenheira Civil, sob a orientação da Prof. Rudiele Aparecida Schankoski.

VITÓRIA
2021

JÚLIA LACERDA BORTOLON

# ARGAMASSA ESTABILIZADA CONTENDO RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

_____

**Prof.ª Dr.ª Rudiele Aparecida Schankoski**
**Orientadora**

_____

**Prof.ª Dr.ª Geilma Lima Vieira**
**Examinadora**

_____

**Prof. Dr. Ronaldo Pilar**
**Examinador**

Vitória - ES, 08, outubro, 2021

# DEDICATÓRIA

Aos meus pais, familiares, amigos e mestres por todo apoio e incentivo durante o curso.

# AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Espírito Santo.

À Professora Rudiele Aparecida Schankoski, pela excelente orientação, dedicando-se de forma excepcional na elaboração deste trabalho.

À Zucchi Luxury Stones, por fornecer o Resíduo de Beneficiamento de Rochas Ornamentais, assim incentivando essa pesquisa.

À equipe do LCME – UFSC pelos exames do SEM-EDS, e ao Professor Dr. Paulo Ricardo de Matos pela análise.

À equipe do LEMAC – UFES por todo o apoio na realização dos ensaios.

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aditivo incorporador de ar. .....43
Figura 2 - Aditivo estabilizador de hidratação.....43
Figura 3: Areia utilizada nas argamassas. .....44
Figura 4: Aspecto do resíduo após peneiramento.....45
Figura 5: Morfologia das partículas de RBRO.....46
Figura 6: MEV - EDS do RBRO.....46
Figura 7: Mistura da argamassa.....47
Figura 8: Ensaio Flow Table.....48
Figura 9: Ensaio de massa específica.....48
Figura 10: Moldagem dos CP's para ensaio de resistência.....49
Figura 11: Ensaio de resistência à tração na flexão.....50
Figura 12: Ensaio de resistência à compressão.....51
Figura 13: Moldagem dos CP's para ensaio de retração.....52
Figura 14: Ensaio de retração .....52
Figura 15: Armazenagem dos corpos de prova.....53
Figura 16: Abertura no Flow Table em mm. .....54
Figura 17: Teor de ar incorporado em %.....56
Figura 18: Variação dimensional da argamassa Referência 0h. .....57
Figura 19: Variação dimensional da argamassa Referência 24h. .....58
Figura 20: Variação dimensional da argamassa com 15% RBRO 0h. .....59
Figura 21: Variação dimensional da argamassa com 15% RBRO 24h. .....60
Figura 22: Variação dimensional da argamassa com 30% RBRO 0h. .....61
Figura 23: Variação dimensional da argamassa com 30% RBRO 24h. .....62
Figura 24: Variação dimensional média das argamassas. .....63
Figura 25: Resistência à tração média em MPa.....64
Figura 26: Resistência à compressão média em MPa .....66

# LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação da argamassa conforme a função na construção.....19
Quadro 2: Influência do teor de finos da mistura seca na plasticidade da argamassa .....22
Quadro 3: Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco .....24

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades do cimento.....41
Tabela 2: Propriedade dos aditivos empregados. .....42
Tabela 3: Massa específica em kg/m³.....55
Tabela 4: Desvio padrão - Resistência à Tração.....64
Tabela 5: Desvio Padrão - Resistência à Compressão .....66

# RESUMO

As argamassas estabilizadas têm uso crescente no Brasil, embora esse crescimento não seja refletido no estado do Espírito Santo. Para instigar o uso desse novo material como uma alternativa para promover maior sustentabilidade e controle nas obras do estado, esse projeto teve por objetivo estudar as propriedades de argamassas estabilizadas com materiais disponíveis na região, com a adição do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO), subproduto gerado em grande volume e sem descarte específico. Para isso, argamassas contendo 0, 15 e 30% de substituição de cimento Portland por resíduo de beneficiamento de mármore foram produzidas para verificar as propriedades no estado fresco e endurecido, especialmente em relação a retração por secagem dos corpos de prova moldados logo após a mistura (0 h) e com 24 h de estabilização. Com os resultados desse trabalho, pode-se concluir que a argamassa estabilizada contendo 15% de resíduo de beneficiamento de mármore apresentou resultados compatíveis com a argamassa referência, indicando que a presença do resíduo nesse teor não apresenta prejuízos técnicos e fornece benefícios econômicos.

**Palavras-chave:** Argamassa estabilizada. Resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais. Retração por secagem.

# ABSTRACT

The use of stabilized mortars has been increasing in Brazil, although this increase is not reflected in the state of Espírito Santo. To instigate the use of this new material as an alternative to promote greater sustainability and control in state works, this project this project aimed to study the properties of stabilized mortars with materials available in the region, with the addition of ornamental stone waste, by-product generated in large volume and without specific disposal. For this purpose, mortars containing 0, 15 and 30% of Portland cement replaced by marble processing waste were produced to verify the properties in the fresh and hardened state, especially in relation to drying shrinkage of molded specimens right after mixing (0h) and with 24h stabilization. With the results of this work, it can be concluded that the stabilized mortar containing 15% marble processing waste presented results compatible with the reference mortar, indicating that the presence of the residue at this level does not present technical losses and provides economic benefits.



**Keywords:** Stabilized mortars. Ornamental stone waste. Drying shrinkage.

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO ..... 12
2. OBJETIVO ..... 15
2.1. OBJETIVO GERAL ..... 15
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO ..... 15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 16
3.1. ARGAMASSA NA CONSTRUÇÃO CIVIL ..... 16
3.1.1. MATERIAIS CONSTITUINTES ..... 16
3.1.2. APLICAÇÕES NÃO ESTRUTURAIS ..... 18
3.1.3. PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS ..... 21
3.1.4. TIPOS DE ARGAMASSA ..... 30
3.2. ARGAMASSA ESTABILIZADA ..... 31
3.2.1. DEFINIÇÃO ..... 31
3.2.2. PROPRIEDADES DA ARGAMASSA ESTABILIZADA ..... 32
3.2.3. CONSTITUIÇÃO ..... 34
3.3. RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS – RBRO 37
3.3.1. PANORÂMA GERAL ..... 37
3.3.2. INFLUÊNCIA DO RESÍDUO EM MATRIZES CIMENTÍCIAS ..... 38
3.3.3. ARGAMASSA ESTABILIZADA CONTENTO RESÍDUO ..... 39
4. PROGRAMA EXPERIMENTAL ..... 40
4.1. MATERIAIS ..... 40
4.2. MÉTODOS ..... 46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 54
5.1. PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO DA ARGAMASSA ..... 54
5.1.1. Índice de consistência ..... 54
5.1.2. Densidade de massa e teor de ar incorporado ..... 55

5.2. PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO DA ARGAMASSA .....57
5.2.1. Retração por secagem ao longo do tempo .....57
5.2.2. Resistência à tração na flexão .....64
5.2.3. Resistência à compressão .....65
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....68
6.1. CONCLUSÕES .....68
6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....69
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....70

# 1. INTRODUÇÃO

O meio ambiente é uma preocupação constante nas atividades sociais, que ganha força à medida em que as legislações são aprimoradas. Considerando a relevância do tema, atualmente há ações em esferas federais, estaduais e municipais, que editam normas, decretos, resoluções e leis, que estabelecem diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos, inclusive na construção civil, como a Resolução CONAMA 307, Lei nº 12305 de 2010 e Instrução normativa nº 19/2005 do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do ES.

O Espírito Santo é líder nacional em extração, produção e beneficiamento de mármore e granito, logo entende-se a importância do setor para a economia capixaba e o peso dessas regulamentações para o estado (ALENCAR, 2013). Esse processo gera uma quantidade substancial de rejeito industrial, o qual ainda não possui uma destinação específica. Conforme Gonçalves (2000), a fase do beneficiamento, realizada pelas indústrias de rochas ornamentais, é responsável por gerar uma quantidade de resíduos na ordem de 25% a 30% do volume do bloco, o que totalizou, somente no ano de 2012, uma quantidade de resíduos do beneficiamento na ordem de 1,12 milhões de toneladas no Espírito Santo.

Na grande maioria dos casos, as empresas depositam esse resíduo nos pátios por falta de alternativa de destinação adequada, formando um passivo ambiental. Nessas condições o resíduo apresenta o descarte como um grande problema, um armazenamento custoso e, ainda, apresenta risco de contaminação ao ar e à água devido à sua natureza extremamente fina (GALETAKIS, SOULTANA, 2016). Fica clara a importância ambiental, econômica e operacional do uso desse subproduto.

Pesquisas na área têm mostrado que o uso do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO) na composição das misturas de materiais cimentícios convencionais (pastas, argamassas e concretos) apresentam resultados promissores (CALMON, et al., 1997; CALMON, et al., 2007; TOPÇU, BILIR, UYGUNOGLY, 2009; BACARJI et al., 2013; AREL, 2016; VAZZOLER et al., 2018).

A indústria da construção civil é um setor conhecido pela alta geração de resíduos e forte consumo de recursos naturais. Em contrapartida, hoje existe um forte apelo pela sustentabilidade e uma crescente exigência no meio técnico quanto ao ritmo, velocidade e organização da produção do canteiro. Unindo essas duas necessidades percebe-se uma oportunidade para o uso de materiais que favorecem a

industrialização do processo, mas também trazem maior sustentabilidade. Um dos materiais que possui essas características é a argamassa estabilizada (ou argamassa dosada em central), que surgiu como alternativa às argamassas tradicionais produzidas em obra (cimento, cal e areia).

Na década de 50 ocorreu a industrialização das argamassas, no entanto somente nos anos 70, surgiu na Alemanha uma argamassa pronta capaz de manter sua trabalhabilidade por até três dias. Isso se deve ao desenvolvimento dos aditivos. (PANARESE; KOSMATHA; RANDALL JR, 1991). Após muitos anos de uso na Europa, a argamassa pronta só começou a ser utilizada no Canadá por volta de 1980 e nos Estados Unidos, em 1982 (PANARESE, KOSMATHA e RANDALL JR., 1991). O primeiro registro do uso de uma argamassa dosada em central no Brasil foi em 1985 na Grande São Paulo, como argamassa de revestimento externo (MARTINS NETO e DJANIKIAN, 1999), e seu uso se mostrou bastante tímido nos anos subsequentes. Contudo, percebeu-se nos últimos anos uma maior propagação do uso desse tipo de argamassa no país, especialmente no sul do Brasil. Apesar disso, no estado do Espírito Santo a oferta por centrais dosadoras da região é praticamente inexistente e nota-se uma carência de conhecimento e estudos sobre esse tipo de argamassa.

A argamassa estabilizada é uma argamassa úmida, à base de cimento que chega pronta para uso em obra e se mantém trabalhável por longos períodos, tempo esse que pode variar de 36 a 72 horas dependendo da composição da argamassa (CASALI et al., 2011).

Em argamassas convencionais o início de pega normalmente ocorre 3 ou 4 horas após o início da mistura. Em argamassas estabilizadas adiciona-se aditivos retardadores e incorporadores de ar para retardar o início de pega, de forma a preservar suas características no estado fresco pelo tempo pré-definido. O aditivo estabilizador de hidratação (AEH) é empregado com o objetivo de retardar a pega por um grande período de tempo, de forma que ele permite interromper a reação de hidratação por horas ou dias, sem originar o endurecimento do material, e recomeça-la no momento desejado (PENEIROL; SOUZA; REPETTE, 2007).

A produção da argamassa estabilizada costuma ser realizada em uma central dosadora. A argamassa pronta é distribuída por caminhões betoneira, que a depositam nos recipientes destinados a seu armazenamento na obra, usualmente em caixas previamente instaladas, nas quais os operários retiram a quantidade de mistura necessária para cada aplicação. Ao final do dia, é recomendado pelo fabricante

colocar uma película de água na superfície da argamassa restante no recipiente e proteger o conjunto com uma tampa. No dia seguinte de trabalho, a película de água deve ser retirada e a argamassa utilizada normalmente.

O emprego de argamassa estabilizada apresenta várias vantagens: a diminuição do impacto ambiental gerado na construção civil; a eliminação de espaço para estocagem dos materiais em obra; a garantia de qualidade; e o aumento da produtividade dos operários (MANN; ANDRADE; SOUTO, 2010).

Por outro lado, por se tratar de um material relativamente novo no mercado, existem algumas ressalvas quanto a dosagem e preocupações devido à falta de conhecimento das propriedades desse material e de como é a interação dele com os demais elementos da construção.

Vale frisar que as propriedades das argamassas convencionais já são amplamente conhecidas, e possuem normalização brasileira especificando seus requisitos de desempenho. Para as argamassas estabilizadas ainda não existe norma brasileira e poucos trabalhos foram realizados sobre o assunto no meio científico para que possam ser sanadas as dúvidas inerentes ao processo.

# 2. OBJETIVO

## 2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral estudar aspectos da argamassa estabilizada contendo resíduo de beneficiamento de rocha ornamental no que tange as propriedades no estado fresco e endurecido.

## 2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Os objetivos específicos são:

1. Avaliar as características físico-químicas do resíduo de beneficiamento de mármore a ser incorporado nas argamassas estabilizadas.
2. Otimizar o teor de resíduo que pode ser utilizado nas argamassas, objetivando uma mistura com características reológicas adequadas ao uso em assentamento e revestimento de alvenarias, sem comprometer o desempenho mecânico dessas argamassas.
3. Avaliar a interferência da utilização do resíduo nas propriedades no estado fresco das argamassas logo após a mistura (0 hora) e com 24 horas.
4. Avaliar a interferência da utilização do resíduo na resistência à compressão e na resistência à flexão, aos 28 dias, com amostras moldadas logo após a mistura (0 hora) e com 24 horas.
5. Avaliar a interferência da utilização do resíduo na retração por secagem, ao longo do tempo, com amostras moldadas logo após a mistura (0 hora) e com 24 horas.

# 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 3.1. ARGAMASSA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os primeiros registros da utilização de argamassa como material de construção são de cerca de 11.000 anos atrás. Como se pode perceber, é um material muito antigo que segue sendo aprimorado tanto em questão de aplicações quanto em questão de materiais constituintes ao longo dos anos (CARASEK, 2010).
É um material cujas propriedades de aderência e endurecimento são amplamente difundidas e necessárias no setor de construção civil.

### 3.1.1.MATERIAIS CONSTITUINTES

Os principais materiais constituintes de uma argamassa são aglomerantes, agregados miúdos e água. Além desses materiais, existem alguns aditivos e algumas adições minerais que podem ser acrescentados no traço em busca de melhorar as suas propriedades (CARASEK, 2010).
Os aglomerantes mais empregados são o cimento Portland e a cal. Como agregado miúdo, a areia natural de rio ou cava são as mais empregadas (CARASEK, 2010).

#### 3.1.1.1. Cimento

Os tipos de cimento mais empregados em argamassas consistem nos cimentos compostos (CP II E, CP II Z e CP II F), mas outros tipos também podem ser usados (CARASEK, 2010; PRUDÊNCIO JR et al., 2003).
O cimento proporciona resistência às argamassas e aumenta o valor da aderência, além de colaborar para sua trabalhabilidade e retenção de água. Por outro lado, o excesso de cimento pode acarretar menor tempo de endurecimento, diminuição da capacidade de acomodar deformações e aumento da retração da argamassa, podendo causar problemas de durabilidade (PRUDÊNCIO Jr. et al., 2003).
Para melhorar a resistência de aderência de uma argamassa, é aconselhável o uso de cimentos com elevada finura, como o CP V ARI. No entanto, deve-se lembrar que cimentos de alta resistência inicial podem levar a argamassa a retração e fissuração de modo mais fácil do que os outros cimentos (CARASEK, 2010). Por outro lado,

cimentos de endurecimento mais lento, como os compostos por pozolanas e escórias, podem produzir argamassas mais resilientes. Aliado a isso, por possuírem maior área específica, auxiliam na trabalhabilidade e retenção de água (SABBATINI, 1986; PRUDENCIO Jr. et al., 2003).

#### 3.1.1.2. Cal

A cal é um ligante inorgânico obtido por meio da calcinação de rochas calcárias, composto basicamente por cálcio e magnésio, o qual o endurecimento ocorre de forma aérea pelo contato com $CO_2$. Ela se apresenta no mercado de duas formas: cal virgem ou cal hidratada (CARASEK, 2010).

A cal virgem é constituída predominantemente por óxido de cálcio (cal) e de magnésio (periclásio), porém para que ela seja utilizada na construção civil, mais especificamente em argamassas, é necessário que ela seja hidratada (CARASEK, 2010).

A cal hidratada é produto da hidratação da cal virgem, sendo constituída de hidróxidos de cálcio e magnésio, além de uma quantidade de óxidos não hidratados. O ligante é o hidróxido, ou seja, é que atribui a ela função de aglomerante e a capacidade ligante dela é quantificada por meio do teor de hidróxidos presente no produto (CARASEK, 2010).

A cal é utilizada em argamassas não apenas por ser um material aglomerante, mas também por possuir importantes propriedades plastificantes e de retenção de água, proporcionadas devido à sua finura. Argamassas com a presença de cal hidratada preenchem mais facilmente e de maneira mais completa a superfície do substrato, trazendo uma maior extensão de aderência. Além disso, com a habilidade da cal em evitar fissuras e preencher vazios a durabilidade da aderência também é aumentada (CARASEK, 2010).

No entanto, os benefícios citados com a adição de cal ao traço das argamassas são provenientes da adição de pequenas porções do material. Isso porque a cal não contribui de forma significativa para a resistência mecânica. O fato de aumentar demasiadamente o teor de finos, pode afetar diretamente o consumo de água, trabalhabilidade e aderência da argamassa. Em estudo realizado, Carasek (1996) encontrou um teor ideal de 6% em relação a massa dos constituintes secos.

#### 3.1.1.3. Areia

A areia natural proveniente de leitos de rio sempre foi muito utilizada na composição de argamassas. No entanto, as jazidas de areia natural estão em constante risco de esgotamento ou de restrições para proteção ambiental. Frente a isso, surge uma opção de substituição da areia natural por uma areia artificial, proveniente do processo de britagem de rochas (SILVA; BUEST; CAMPITELI, 2005).

Estudos de Silva et al. (2005) indicaram que a areia natural, com partículas subarredondadas e mais esféricas, produziu argamassas com menor exigência de água, maior retenção de consistência, menor teor de ar aprisionado, menor absorção de água por capilaridade, menor massa específica aparente e menor resistência mecânica (à compressão e à tração na flexão) que argamassas produzidas com areia britada, que apresentaram partículas angulosas e menos esféricas, na proporção de 1 : 1 : 6 (cimento: cal: agregado miúdo), em volume, e sem a utilização de aditivos (SILVA; BUEST; CAMPITELI, 2005).

Na escolha do agregado miúdo deve-se atentar também para a curva granulométrica do material. Areias muito grossas tem sua trabalhabilidade e aplicação ao substrato prejudicada, reduzindo a extensão de aderência. No entanto, no campo das areias que produzem argamassas trabalháveis, uma granulometria mais grossa garante melhores resultados de resistência de aderência. Já areias com altos teores de finos podem prejudicar a aderência da argamassa de duas formas: uma seria quando esses grãos de areia muito finos, submetidos a sucção exercida pelo substrato, podem penetrar no interior de seus poros tomando o lugar de produtos de hidratação do cimento que se formariam na interface e travariam a argamassa; outra seria produzir argamassas com poros de raio médio, o que resultaria em argamassas com poros menores que o do substrato dificultando a sucção da pasta aglomerante (CARASEK, 2010).

Logo, tem-se que o ideal seria escolher areias com granulometria continua e o maior módulo de finura, desde que garantam uma boa trabalhabilidade (CARASEK,2010).

### 3.1.2.APLICAÇÕES NÃO ESTRUTURAIS

De acordo com Carasek (2010), as argamassas podem ser classificadas conforme sua função na construção civil conforme divisão apresentada no Quadro 1.

Quadro 1: Classificação da argamassa conforme a função na construção

| Função | Tipos |
|---|---|
| Para construção de alvenaria | Argamassa de assentamento (elevação de alvenaria) |
| | Argamassa de fixação (ou encunhamento) – alv.de vedação |
| Para revestimentos de paredes e tetos | Argamassa para chapisco |
| | Argamassa para emboço |
| | Argamassa para reboco |
| | Argamassa camada única |
| | Argamassa para revestimento decorativo monocamada |
| Para revestimento de pisos | Argamassa para contrapiso |
| | Argamassa de alta resistência para piso |
| Para revestimentos cerâmicos (paredes/pisos) | Argamassa de assentamento de peças cerâmicas – colante |
| | Argamassa de rejuntamento |
| Para recuperação de estruturas | Argamassa de reparo |

Fonte: CARASEK (2010).

Nota-se que dentre suas aplicações a grande maioria é para funções não-estruturais na construção. Nesse estudo em específico, o foco será nas funções de assentamento e revestimento de paredes de alvenaria de vedação.

#### 3.1.2.1. Assentamento

De acordo com Sabbatini (1984), as argamassas de assentamento não têm forma definida, mas possuem uma função específica: são destinadas ao assentamento dos blocos de alvenaria. No entanto, a junta formada pela argamassa de assentamento possui forma e funções definidas.

Citando Sabbatini (1984), tem-se as seguintes funções primárias das juntas de argamassa em uma parede de alvenaria: unir solidariamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais; distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos; absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita; e selar as juntas contra a penetração de água da chuva. Para isso, existem algumas propriedades que a argamassa deve apresentar, de forma a garantir seu desempenho adequado em sua função. Ela necessita de consistência ideal, não muito fluida e nem muito seca, de forma a garantir uma espessura de junta que permita a deformação da parede, garanta o alinhamento e o prumo, além de

garantir uma aplicação rápida e eficaz (CARASEK, 2010). Também necessita de retenção de água apropriada que garanta a aderência ao substrato, mas não perca água de forma demasiada a ponto de enrijecer rápido demais e desalinhar a parede (CARASEK, 2010). Por fim, necessita de uma resistência mecânica suficiente para suportar os blocos que serão colocados em cima dela em um mesmo dia de execução, porém menor que a resistência do próprio bloco utilizado, visto que ela deve garantir uma certa plasticidade a junta para que a parede possa se deformar (CARASEK, 2010).

#### 3.1.2.2. Revestimento

A argamassa de revestimento é aplicada em paredes ou tetos os quais se pretende aplicar algum tipo de revestimento. A partir da definição do revestimento é possível determinar quantas e quais camadas de argamassa serão utilizadas (CARASEK, 2010).

Segundo Carasek (2010), existem diversas opções de camadas, cada uma com sua função e características específicas:

• Chapisco: é uma camada que prepara a base. Ela é aplicada para que, ao aplicar o revestimento, ele tenha melhor aderência e absorção uniforme ao longo de toda a extensão da parede.

• Emboço: é uma camada aplicada por cima do chapisco que tem por objetivo preparar e regularizar a base para receber um revestimento cerâmico ou outra camada de argamassa necessária.

• Reboco: é uma camada de argamassa aplicada por cima do emboço que prepara a superfície com um acabamento já mais delicado que entregue uma superfície com o mínimo de irregularidade possível para que possa receber a pintura ou mesmo ser o acabamento final.

• Camada única: é uma camada de argamassa que combina as funções e características do emboço e do reboco em uma única camada.

Sabattini (1984) diz que os revestimentos de argamassas têm, em geral, as seguintes funções: proteger as vedações e a estrutura contra a ação de agentes agressivos e, por consequência, evitar a degradação precoce das mesmas; aumentar a durabilidade e reduzir os custos de manutenção dos edifícios; auxiliar as vedações a cumprirem com as suas funções, como isolamento termo-acústico, estanqueidade à água e aos

gases e segurança ao fogo; estéticas, de acabamento e aquelas relacionadas com a valorização da construção ou determinação do padrão do edifício.

As funções citadas só podem ser cumpridas quando algumas características estão presentes na argamassa. Antes de mais nada a argamassa precisa de adesão ao substrato e consistência, duas coisas que vão garantir uma camada de fácil aplicação no estado fresco e de menor retração no estado endurecido. Além disso ela deve apresentar resistência mecânica suficiente para resistir aos esforços e ao mesmo tempo plasticidade suficiente para não fissurar quando sujeita a eles (CARASEK, 2010).

### 3.1.3.PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

#### 3.1.3.1. Consistência

Segundo Cincotto et al. (1995), a consistência é a propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a resistir à deformação.

A classificação das argamassas dada por Carasek (2010), segundo a consistência, é feita em: secas (a pasta preenche os vazios entre os grãos), plásticas (a pasta forma uma fina película e atua como lubrificante na superfície dos grãos dos agregados) e fluidas (os grãos ficam imersos na pasta). A consistência é diretamente determinada pelo conteúdo de água, sendo influenciada pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, granulometria da areia, natureza e qualidade do aglomerante.

Do ponto de vista do comportamento reológico das argamassas, a consistência, que diz respeito à sua maior ou menor fluidez, está associada a capacidade da mistura de resistir ao escoamento (CARASEK, 2010).

A avaliação de consistência de uma argamassa pode ser feita por meio do procedimento preconizado pela NBR 7215 (ABNT, 1996) e NBR 13276 (ABNT, 2016), utilizando uma mesa de queda livre, ensaio conhecido como Flow Table.

### 3.1.3.2. Plasticidade

É a propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a conservar-se deformada após a redução das tensões de deformação (CARASEK, 2010). Esta propriedade é influenciada pelo teor de ar aprisionado, natureza e teor de aglomerantes e pela intensidade de mistura das argamassas (CASCUDO ET AL., 2005).

A plasticidade adequada para cada mistura, de acordo com a finalidade e forma de aplicação da argamassa, requer uma quantidade ótima de água a qual significa uma consistência ótima, sendo esta função da proporção e natureza dos materiais constituintes (CASCUDO ET AL., 2005). Também é influenciada pelo tempo e pela intensidade de mistura, além da presença de aditivos, principalmente o aditivo incorporador de ar (CARASEK, 2010).

O quadro 2 associa o teor de finos da argamassa com sua plasticidade.

Quadro 2: Influência do teor de finos da mistura seca na plasticidade da argamassa

| Plasticidades | % mínima de finos da argamassa | |
|---|---|---|
| | Sem aditivo plastificante | Com aditivo plastificante |
| Pobre (áspera, magra) | < 15 | < 10 |
| Média (plástica) | 15 a 25 | 10 a 20 |
| Rica (gorda) | >25 | >20 |

Fonte: CARASEK (2010)

Em termos reológicos, a plasticidade está relacionada com a viscosidade da argamassa (CARASEK, 2010).

A avaliação de plasticidade de uma argamassa pode ser feita, de maneira indireta, pelo procedimento preconizado pela NBR 7215 (ABNT, 1996) e NBR 13276 (ABNT, 2016), utilizando uma mesa de queda livre, ensaio conhecido como Flow Table.

### 3.1.3.3. Coesão

A coesão refere-se às forças físicas de atração que existem entre as partículas sólidas da argamassa no estado fresco e às ligações químicas da pasta aglomerante. Ainda, a influência da cal sobre a consistência e a trabalhabilidade das argamassas depende das condições de coesão interna que ela mesma proporciona, em função da

diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão ao agregado (CINCOTTO ET AL., 1995).

#### 3.1.3.4. Retenção de água

De acordo com Cincotto et al. (1995), a retenção de água de uma argamassa é sua capacidade de manter a consistência ou trabalhabilidade no estado fresco quando sujeita a solicitações que possam provocar perda de água, seja por evaporação, sucção do substrato ou mesmo pela hidratação do cimento e carbonatação da cal.
As argamassas apresentam a tendência de conservar a água necessária para molhar as partículas dos aglomerantes e do agregado miúdo, no entanto a água excedente é cedida com facilidade através da absorção do substrato (ROSELLO apud SELMO, 1989).
Essa propriedade não só interfere no comportamento da argamassa no estado fresco (como no processo de acabamento e na retração plástica), mas também afeta suas propriedades no estado endurecido. Após o endurecimento, as argamassas dependem de uma certa retenção de água para que as reações químicas de endurecimento dos aglomerantes ocorram de maneira apropriada. As propriedades de aderência, resistência mecânica final e durabilidade do material aplicado são influenciadas pela retenção de água da mistura (CARASEK, 2010).
A retenção de água pode ser avaliada pelo método NBR 13277 (ABNT, 2005), que consiste na medida da massa de água retida pela argamassa após a sucção realizada por meio de uma bomba de vácuo a baixa pressão, em um funil de filtragem (funil de Büchner modificado).

#### 3.1.3.5. Adesão inicial

A adesão inicial da argamassa no estado fresco é a propriedade que caracterizará o comportamento futuro do conjunto substrato/revestimento quanto ao desempenho decorrente da aderência (CINCOTTO et al., 1995). A adesão inicial ou a aderência da argamassa no estado fresco ao substrato a revestir ocorre devido às características reológicas da pasta aglomerante e à baixa tensão superficial da pasta que propicia a

sua adesão física ao substrato, assim como aos próprios grãos do agregado miúdo (ROSELLO apud SELMO, 1989).

Vale ressaltar que as condições de limpeza do substrato são essenciais para uma boa aderência, de forma que eles estejam isentos de poeiras, partículas soltas e gorduras (SILVA, 2006).

De acordo com Carasek (2010), a tensão superficial da pasta ou argamassa pode ser alterada através da modificação de sua composição, sendo ela função inversa do teor de cimento. A diminuição da tensão superficial também pode ocorrer com a adição de cal à argamassa de cimento, de forma a contribuir para molhar de maneira mais efetiva a superfície dos agregados e do substrato. Os aditivos incorporadores de ar e retentores de água proporcionam efeitos similares.

No Brasil não existem métodos normalizados para avaliar a adesão inicial (CARASEK, 2010).

### 3.1.3.6. Massa específica e incorporação de ar

Segundo Carasek (2010), quando se tem uma argamassa mais leve, esta vai ser mais trabalhável a longo prazo, resultando em uma maior produtividade do trabalhador devido a redução do esforço necessário em sua aplicação.

A densidade de massa das argamassas, também denominada de massa específica, apresenta dois fatores que influenciam diretamente essa característica: o teor de ar, principalmente quando incorporado por meio de aditivos, e a massa específica dos materiais constituintes da argamassa, principalmente do agregado (CARASEK, 2010).

O quadro 3 classifica as argamassas quanto a densidade.

Quadro 3: Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco

| Argamassas | Densidade de massa (g/cm³) | Principais agregados empregados | Usos/observações |
|---|---|---|---|
| Leve | <1,40 | Vernículita, perlita, argila expandida | Isolamento térmico e acústico |
| Normal | 1,40 a 2,30 | Areia de rio (quartzo) e calcário britado | Aplicações convencionais |
| Pesada | >2,30 | Baríta (sulfato de bário) | Blindagem de radiação |

Fonte: CARASEK (2010)

A densidade de massa das argamassas no estado fresco é determinada pelo método da NBR 13278 (ABNT, 2005) e representa a relação entre massa e volume do material, sendo expressa em g/cm³, com duas casas decimais.

O teor de ar de argamassas pode ser determinado tanto pelo método gravimétrico (empregando a mesma norma NBR 13278), como pelo método pressométrico conforme a norma NBR 16887 (ABNT, 2020), ou empregando normas internacionais específicas para argamassas, como ASTM C 780 (2009).

Cabe ainda ressaltar que o valor da massa específica da argamassa endurecida é um pouco menor do que o valor no estado fresco, devido à saída de parte da água. Os corpos de prova cilíndricos de argamassa endurecida, seca ao ar e seca em estufa, reduzem a massa específica cerca de 7% (3% a 11%) e 9% (5% a 14%), respectivamente, em relação ao valor inicial, no estado fresco. Ainda, observa-se uma relação direta entre o teor de água da argamassa e a redução da densidade de massa com a secagem (CARASEK, 2010).

#### 3.1.3.7. Resistência mecânica (tração e compressão)

No estado endurecido das argamassas, a resistência mecânica refere-se à capacidade de resistência às tensões de compressão, tração ou cisalhamento (NAKAKURA; CINCOTTO, 2004).

Nas argamassas à base de cimento apenas, o processo de endurecimento é o resultado das reações de hidratação dos silicatos e aluminatos presentes no cimento; já no caso das argamassas que, além de cimento, também contém cal em sua composição, outro processo ocorre de forma mais lenta no endurecimento: a carbonatação do hidróxido de cálcio pela reação do anidro do carbono no ar (MOTA, 2006).

O proporcionamento dos constituintes tem influência sobre a resistência das argamassas, de forma que a resistência à tração e à compressão podem sofrer uma evolução com a adição de uma quantia limitada de cal, porém, quando essa quantia cresce significativamente, nota-se um decréscimo na resistência à compressão e no módulo de elasticidade decresce (MOTA, 2006). Quanto maior o teor de cimento, maior será a resistência à compressão, tração e rigidez (QUARCIONI; CINCOTTO, 2005); em contrapartida, quanto maior for a relação água/cimento, menor será a

resistência à compressão e à tração nas argamassas convencionais compostas por cimento, cal e areia (SILVA et al., 1999; PEREIRA et al., 1999).

Outro ponto importante é que a resistência de materiais a base de cimento Portland é inversamente proporcional a quantidade de vazios presentes. Portanto tem-se que, quanto maior a incorporação de ar nas argamassas, menor será sua resistência mecânica (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Tanto a resistência à compressão quanto a resistência à tração na flexão são determinadas por meio da norma NBR 13279 (ABNT, 2005), que prescreve a moldagem de 3 corpos de provas prismáticos de 4x4x16 cm que são ensaiados à flexão e posteriormente à compressão de suas metades, aos 28 dias.

#### 3.1.3.8. Módulo de elasticidade

As deformações em materiais cimentícios, que frequentemente levam à fissuração, ocorrem como resposta do material à carga externa e ao meio ambiente aos quais ele está sujeito (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Um material é considerado perfeitamente elástico se, imediatamente após a aplicação de uma tensão, surgem deformações e, imediatamente após o alivio de tensões, essas deformações desaparecem (NEVILLE, 1997). Certos materiais, ao serem submetidos a uma tensão de tração em níveis relativamente baixos, apresentam tensão ($\sigma$) e deformação ($\varepsilon$) proporcionais entre si, conforme a relação $\sigma = E.\varepsilon$, conhecida como Lei de Hooke, onde E é o módulo de elasticidade, considerado como sendo a rigidez ou a resistência do material à deformação elástica (CALLISTER, 2002; MEHTA, MONTEIRO, 1994).

Existe uma relação direta entre o modulo de elasticidade de uma argamassa e a tensão de tração oriunda da retração a qual ela está sujeita. Argamassas muito ricas em cimento sofrem forte influência da retração, estando mais suscetíveis as tensões de tração que ocasionam fissuras (CARASEK, 2010).

Para determinação do módulo de elasticidade das argamassas, pode-se empregar a norma NBR 8522 (ABNT, 2017), que especifica um método para a determinação do módulo estático de elasticidade à compressão do concreto em corpos de prova cilíndricos.

### 3.1.3.9. Aderência

A aderência é a ligação de natureza atômica ou molecular existente na interface entre um corpo sólido e outro qualquer. Essa ligação pode ser essa ligação tanto física, obtida através do engaste entre o substrato e o adesivo, quanto química, obtida em decorrência das forças eletrostáticas de Van Der Walls (THURLER, FERREIRA, 1995).

A NBR 13528 (ABNT, 2010) define aderência como a propriedade do revestimento de resistir às tensões atuantes na interface com o substrato. Vale ressaltar que a norma adverte que a aderência não é uma propriedade apenas da argamassa, mas sim da interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento (base, preparo da base e revestimento). Assim percebe-se a importância da especificação do substrato no qual a argamassa será assentada.

Segundo Carasek (1996), a aderência entre um substrato poroso e a argamassa ocorre através da transferência de água entre a argamassa e o substrato, possibilitando o adentramento da pasta de cimento nos poros do substrato, que, ao hidratar-se, precipita hidróxidos e silicatos que promovem a ancoragem do revestimento. A autora identificou, por meio de microscopia, a morfologia e a natureza dos produtos formados na região de encontro da pasta e substrato, e afirmou ser o intertravamento de cristais de etringita nos poros do substrato o principal responsável pela resistência de aderência. Dessa forma, entende-se que a porosidade será um grande fator de influência na aderência de revestimentos ao substrato.

O ensaio para análise de aderência à tração é realizado conforme dita a norma brasileira ABNT NBR 13528 (ABNT, 2010).

### 3.1.3.10. Retração por secagem

Ao observar as fachadas de edifícios que tem como revestimento externo a argamassa é possível notar, de maneira geral, que a fissuração está presente como um dos fenômenos patológicos de maior incidência nas construções. A fissuração pode ser o resultado de um ou mais fatores, sendo um dos principais a retração da argamassa (BASTOS et al. 2002).

A determinação da retração de argamassas é um aspecto de grande importância para dosagem de misturas destinadas ao assentamento e, especialmente, no revestimento

de paredes. As mudanças volumétricas nas argamassas devido à retração são muitas vezes responsáveis por fissurações que se apresentam no material, ocasionando uma deterioração prematura dos elementos construtivos. Por formar uma rede de microfissuras interconectadas, forma-se um caminho preferencial para os agentes agressivos. Além disso, as fissuras atingem o usuário sob o ponto de vista de conforto, salubridade e satisfação psicológica (PEÑA, 2004).

As argamassas estão sujeitas à uma redução de volume como resultado da perda da água incorporada a mistura, à medida que os materiais cimentícios endurecem. Quando essa redução de volume ocorre antes do endurecimento da argamassa ela é chamada de retração plástica. No entanto, quando essa redução ocorre em consequência da perda de umidade, após o endurecimento, ela é denominada de retração de secagem (SILVA, 2011).

Tan e Du (2013) apresentam em seu estudo a influência de fatores como a quantidade de água empregada na mistura, a capacidade de absorção de água dos agregados empregados e a fração granulométrica na redução dos valores médios de retração por secagem.

A retração por secagem das amostras de argamassa geralmente aumenta de forma proporcional ao aumento do teor de água da mistura, pois o aumento da relação água/cimento fornece maior quantidade de água livre suscetível a evaporação e permite uma evaporação mais fácil por tornar a estrutura mais porosa (TAN, DU, 2013; JOSHAGHANI et al., 2018). A perda de água através dos poros capilares é o principal fator que afeta a retração de argamassas, no entanto, existem outros parâmetros de importante influência, como adições minerais e aditivos químicos (ARGANE et al., 2016).

A influência da fração granulométrica mostra uma relação inversamente proporcional entre o teor de finos e a retração de secagem, de forma que, quanto maior teor de finos menor é a retração de secagem (TAN, DU, 2013). A porosidade da argamassa é um fator de grande influência na retração de secagem. Uma argamassa com uma grande quantidade de poros vai apresentar maior encolhimento.

Outro fator influente na retração de secagem da argamassa é módulo de elasticidade, de forma que quanto menor a rigidez do material, maior a contração gerada na mesma tensão (MOBILI et al., 2016; LUCAS et al., 2016). Correlacionando o estudo de Mobili et al. (2016) e Joshaghani et al. (2018), onde ambos observaram a influência do módulo de elasticidade na retração por secagem das argamassas, as amostras com

maior relação água/cimento demonstraram menor resistência e menor módulo de elasticidade, além de apresentarem uma maior tendência à retração.

No Brasil a norma NBR 15261 (ABNT, 2005), que versa sobre a retração de argamassas, recomenda a determinação de variação dimensional (retração ou expansão linear) a partir da moldagem de corpos de prova prismáticos (25x25x285 mm). As leituras de variação dimensional são realizadas com o auxílio de um aparelho comparador, sendo recomendada a leitura nas idades 1, 7 e 28 dias.

Como, geralmente, uma maior instabilidade dimensional é negativa para a durabilidade das argamassas de revestimento (MOBILI et al., 2016; LUCAS et al., 2016), o estudo dessa propriedade torna-se um importante requisito para avaliação de novas composições de materiais para dosagem das misturas.

O Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), entidade francesa, desenvolveu um método para avaliar a suscetibilidade à fissuração de revestimentos de argamassa, baseado nos valores de retração por secagem das mesmas (BAUER et al, 2015). Essa classificação se dá em três classes, considerando a retração por secagem aos 28 dias conforme segue:

- < 0,7 mm/m: baixa suscetibilidade de fissuração;
- valores entre 0,7 a 1,2 mm/m: média suscetibilidade de fissuração;
- > 1,2 mm/m: alta suscetibilidade de fissuração.

#### 3.1.3.11. Absorção por capilaridade

A capilaridade é capacidade de um material promover a sucção de água quando em contato com ela e depende de fatores como: as forças de tensão superficial água/material, a dimensão dos raios capilares e o ângulo de contato capilar (PINTO, 1998).

Esse tipo de transporte é uma consequência direta da força de atração entre o líquido e o material sólido. Esta força é proveniente da união entre a tensão superficial da água e a adesão das moléculas de água na superfície interna do poro (SALOMÃO, 2012). As características do material junto dos fatores externos (condição de temperatura, umidade relativa, chuvas, incidência de radiação solar e pressão do vento) são o que condicionam esse transporte de umidade (PEIXOTO, et al., 2008).

A capilaridade ocorre quando existe contanto entre o líquido e o substrato. A nível microscópico, ocorre uma interação entre a água e o gás nos poros, onde são

formadas interfaces curvas de contato entre a água e o gás. Essa interação gera uma pressão capilar e a quantidade de água que absorvida por esse poro é em função dessa pressão de sucção capilar. Por isso, fica dependente da variação do raio dos poros presentes no material (SANTANA, B.V.; ALEIXO, I.V., 2017).

O teor de ar incorporado à argamassa é outro fator que afeta a absorção capilar ao incorporar na argamassa bolhas que interrompem a passagem de líquido pelos canais capilares (RAMACHANDRAN,1984).

O ensaio para análise de absorção por capilaridade é realizado conforme prescrições da NBR 9779 (ABNT, 2012).

## 3.1.4. TIPOS DE ARGAMASSA

### 3.1.4.1. Mista

A NBR 13529 (ABNT, 2013) define argamassa mista como uma argamassa preparada com mais de um aglomerante. Tem-se que o mais usual é a combinação de cal e cimento como aglomerantes.

### 3.1.4.2. Industrializada

A norma NBR 13529 (ABNT, 2013) define argamassa industrializada como um produto proveniente da dosagem controlada, em instalação própria, de aglomerante(s) de origem mineral, agregado(s) miúdo(s) e, eventualmente, aditivo(s) e adição(ões) em estado seco e homogêneo, ao qual o usuário somente necessita adicionar a quantidade de água requerida.

### 3.1.4.3. Estabilizada

A argamassa estabilizada é uma argamassa industrializada úmida, à base de cimento que vem pronta para o uso e se mantém trabalhável até 72 horas após a sua confecção (MELLO et al, 2020). Como o presente trabalho foca nesse tipo de argamassa, suas características serão explanadas em mais detalhes no próximo tópico.

## 3.2. ARGAMASSA ESTABILIZADA

### 3.2.1.DEFINIÇÃO

A argamassa estabilizada, por ser produzida e dosada em central, apresenta-se com um produto com maior controle tecnológico, garantia de homogeneidade e padronização, sendo assim uma alternativa mais produtiva de argamassa. Normalmente são compostas de cimento Portland, agregado miúdo, água e aditivos. Essa argamassa pode manter suas propriedades frescas por até 72 horas, isso em decorrência da introdução de aditivos incorporadores de ar e estabilizadores de hidratação (TEMP et al, 2020).

Dentre as vantagens da utilização de argamassa estabilizada podem ser apontadas: a redução do impacto ambiental gerado na construção civil, diminuindo o desperdício ao permitir o aproveitamento total da argamassa e tornando assim o processo mais sustentável; a eliminação de espaço para estocagem dos materiais em obra; diminui a responsabilidade de dosagem em obra; garantia da qualidade do produto por meio do fornecedor; e maior produtividade dos operários, pois elimina o tempo gasto esperando a preparação da mistura, além de eliminar a necessidade de mão de obra exclusiva para a preparação da mistura (MANN; ANDRADE; SOUTO, 2010).

Quanto ao seu desempenho no estado endurecido, particularmente importante quando essa argamassa é destinada para assentamento estrutural (alvenaria estrutural), existem algumas informações conflitantes. Os estudos de Nelson et al. (1988) demonstraram um aumento na resistência de aderência e diminuição na retração das misturas estabilizadas. Por outro lado, estudos de Ruppenthal (2012) mencionam que o aditivo estabilizador de hidratação pode inteferir negativamente na resistência da argamassa, além de torna-la mais suscetível a ocorrência de retrações. Por outro lado, estudos conduzidos por Calçada et al. (2013) apresentam algumas desvantagens: os autores constataram, visualmente e no manuseio da argamassa, uma perda de trabalhabilidade, perda essa evidenciada pelo menor índice de consistência e menor teor de ar incorporado, acarretando uma grande redução na capacidade de resistência de aderência à tração. Em adição, estudos realizados por Sandrolini e Franzoni (2001) apontam uma redução ou perda de fluidez da argamassa ao longo do tempo; maior tempo de espera para realizar o desempeno da argamassa,

quando utilizada para revestimento; diminuição do número de fiadas assentadas por dia, quando empregada como argamassa de assentamento; entre outros.

Além disso, as recomendações dos fabricantes para armazenamento da argamassa até o momento do uso nem sempre são executadas, devido ao fato de que esta prática exige fiscalização diária. A pesquisa de Casali et al. (2011), avaliou a influência do sistema de armazenamento de um dia para o outro, indicado pelos fornecedores da argamassa estabilizada em comparação ao armazenamento apropriado. Os resultados indicaram que a argamassa armazenada com a colocação da película de água sofreu menor queda do índice de consistência, em comparação a argamassa armazenada “sem película”, concluindo que a película mostra-se necessária à armazenagem; no entanto apesar dela, houve redução na plasticidade.

### 3.2.2.PROPRIEDADES DA ARGAMASSA ESTABILIZADA

Como a argamassa estabilizada pode ser utilizada de 0 até 72 h, é esperado que suas características se alterem com o tempo, em função do armazenamento, temperatura e umidade do ar, materiais constituintes etc. Nesse tópico, serão tratadas as alterações das propriedades das misturas em função do tempo de uso.

#### 3.2.2.1. Consistência

Em seus estudos, Temp et al (2020) constataram que as argamassas mostraram uma insignificante queda no índice de consistência da hora do preparo até a idade proposta (48 horas), ainda que fosse possível notar visualmente partes em que o cimento já apresentava sinais de hidratação na camada superior em que a argamassa foi condicionada. Os responsáveis pela manutenção da consistência com o tempo são o aditivo incorporador de ar e o aditivo estabilizador de hidratação, por proporcionarem juntos o aumento da retenção de água da argamassa, fazendo com que a mesma mantenha a sua consistência em ponto para aplicação por um maior intervalo de tempo (TREVISOL et al., 2015).

Por outro lado, alguns autores constataram uma redução significativa do índice de consistência das misturas com o tempo de armazenamento (CASALI et al., 2011; MACIOSKI, 2013; LOZOVEY, 2018). Além disso, Casali et al. (2011) averiguaram que

a aplicação do filme de água recomendado sobre a argamassa após seu uso propiciou uma redução na perda de trabalhabilidade do dia anterior para o próximo.

#### 3.2.2.2. Densidade de massa e teor de ar incorporado

Segundo estudo feito por Macioski et al (2013), os valores de densidade de massa obtidos foram semelhantes ao longo de um curto intervalo de tempo de utilização (0, 15, 30 e 60 minutos) considerando o mesmo lote e dia de armazenamento. No entanto, ao comparar as argamassas com base em um intervalo maior de tempo, de um dia para o outro, foi possível observar que os valores de densidade de massa sofreram um pequeno aumento, em média. Em relação ao teor de ar incorporado, os resultados mostraram similaridade, com uma pequena redução, em média, no valor em relação ao tempo de armazenamento.

Temp et al (2020) apresentaram em seu estudo que a densidade de massa das argamassas estudadas sofreu pequenas variação nos valores, mas destacou-se o valor apresentado pela argamassa de 36 horas como o maior valor. Foi possível também verificar que as argamassas de 24 e 36 horas de estabilização demonstraram os maiores valores de densidade de massa, possivelmente devido a dosagem destas ter levado 0,25% de aditivo incorporador de ar por massa de cimento, uma vez que a argamassa de 48 horas, foi dosada com 0,40% desse aditivo. Como a densidade de massa é inversamente proporcional ao teor de ar incorporado, argamassas com menor teor de ar incorporado tendem a ser mais densas.

#### 3.2.2.3. Retração por secagem

Estudos de Bauer et al. (2015) concluíram que as amostras de argamassas estabilizadas produzidas por uma central apresentavam média suscetibilidade de fissuração de acordo com o método desenvolvido pelo Centre Scuentifique et Tecnique Du Bâtiment (1993). Já os estudos de Oliveira et al. (2017) verificaram que as argamassas estabilizadas de revestimento se classificaram em média suscetibilidade quando avaliadas pelo módulo de elasticidade, e baixa à média suscetibilidade quando avaliadas conforme a retração por secagem.

#### 3.2.2.4. Resistência à compressão e resistência à tração na flexão

Temp et al (2020) mostram em seus estudos uma redução linear tanto da resistência à tração na flexão quanto da resistência à compressão, à medida que o aditivo estabilizador de hidratação foi aumentado, permitindo a conclusão de que a resistência mecânica é inversamente proporcional ao teor de aditivo. Essa redução também foi observada em estudos de Temp et al. (2015) e Casali et al. (2011).

Além disso, Calçada et al. (2013) avaliaram a resistência à compressão de argamassas estabilizadas com tempo de armazenamento entre 0 e 48 horas. Os autores relataram tendência de aumento da resistência à compressão e redução da trabalhabilidade com o aumento do tempo de armazenamento, procedente da redução geral do teor de ar aprisionado ao longo do tempo.

Os estudos de Guerreiro (2007) mostraram uma redução de 4% nas amostras estabilizadas em comparação à amostra referência (sem aditivo estabilizador) aos 3 dias de idade, contudo, mostra um aumento de 3% da resistência em relação à referência aos 28 dias.

### 3.2.3.CONSTITUIÇÃO

A constituição de argamassa estabilizada consiste em aglomerantes, agregados, água, aditivos e adições. Os dois primeiros constituintes já foram explanados no tópico 2.1, que tratava das argamassas de forma geral. Esse tópico será focado nos materiais constituintes das argamassas estabilizadas produzidas nesse trabalho.

#### 3.2.3.1. Adições

O termo adição refere-se a qualquer componente além de água, agregados e cimento, utilizado na composição do concreto e adicionado à massa imediatamente antes ou durante a mistura (MALHORTA, MEHTA, 1996). No entanto, existe uma definição para as adições que não as confunde com os aditivos: as adições buscam somar ou mesmo substituir, parcialmente, a matéria-prima cimento em razão de suas propriedades semelhantes às do aglomerante; enquanto os aditivos buscam alterar as características do cimento sem alterar sua proporção na composição do concreto (FONSECA, 2010).

As adições minerais podem ser classificadas em três grupos distintos: materiais pozolânicos, material cimentante e filler. Essa divisão é feita em função de sua ação físico-química no concreto (FONSECA, 2010).

A norma NBR 12653 (ABNT, 2014) define o material pozolânico como um material silicoso ou sílico-aluminoso que em si mesmo possui pouca ou nenhuma propriedade cimentante, mas, numa forma finamente dividida e na presença de umidade, reage quimicamente com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento, a temperaturas ambientes, para formar compostos com propriedades aglomerantes.

Materiais capazes de formar os mesmos produtos gerados na hidratação do cimento, como o C-S-H, sem a necessidade do hidróxido de cálcio presente no cimento Portland, são chamados de materiais cimentantes. Esses materiais apresentam uma autohidratação lenta, no entanto, ao ser adicionado juntamente com o cimento Portland, sua hidratação pode ser acelerada na presença de hidróxido de cálcio e gipsita, como é o caso da escória granulada de alto-forno (FONSECA, 2010).

“O filler é um material finamente dividido sem atividade química, cuja atuação é basicamente um efeito físico de empacotamento granulométrico e ação como pontos de nucleação para a hidratação dos grãos de cimento” (FONSECA, 2010 apud DAL MOLIN, 2005).

A incorporação de adições minerais é uma alternativa de melhorar as características dos materiais cimentícios por meio de mudanças na estrutura interna da pasta de cimento hidratada. As adições minerais são capazes de reduzir a porosidade capilar do concreto – responsável pelas trocas de umidade, íons e gases com o meio – e diminuir incidência de fissuras decorrentes de variações térmicas ao reduzir o calor de hidratação (DAL MOLIN, 2005). Essas melhorias são consequência do preenchimento dos vazios pelas partículas das adições cuja granulometria é inferior às das partículas de cimento, efeito esse denominado microfiller (FONSECA, 2010).

Além disso, a introdução de partículas finas presentes nas adições minerais permite conferir maior homogeneidade à pasta de cimento, ao diminuir os grandes poros e a presença de cristais na zona de transição. Nota-se um declínio gradual no tamanho dos poros e dos produtos cristalinos de hidratação conforme as reações pozolânicas e cimentícias se iniciam. Com isso, tem-se como produto uma pasta de cimento com um refinamento da estrutura de poros e dos produtos de hidratação do cimento, além da redução da exsudação com diminuição da espessura da zona de transição e da interferência no crescimento dos cristais. (FONSECA, 2010).

Segundo Kihara e Centurione (2005), as adições minerais podem produzir efeitos químicos e físicos na microestrutura do concreto. Esses efeitos trazem como consequência o aumento de desempenho do concreto em termos de resistência mecânica e durabilidade, além da resistência a ataques químicos e à fissuração térmica (FONSECA, 2010).

A eficácia de uma adição mineral no comportamento do concreto depende de fatores como: a quantidade utilizada, as condições de cura e a sua composição química, mineralógica e granulométrica. No entanto, na maior parte dos casos, a influência das adições minerais sobre as propriedades do concreto fresco e endurecido depende mais do tamanho, forma e textura das partículas do que da sua composição química (FONSECA, 2010).

Apesar das adições minerais serem certamente capazes de aprimorar as propriedades do concreto, não devem ser utilizadas como meio de compensar a baixa qualidade dos constituintes do concreto ou até mesmo um traço pobre (MEHTA, MONTEIRO, 1994).

#### 3.2.3.2. Aditivos

Os principais aditivos empregados em argamassas estabilizadas consistem nos incorporadores de ar e nos estabilizadores de hidratação.

Os aditivos incorporadores de ar são formados por moléculas de cabeça hidrofílica e cauda hidrofóbica que, ao serem posicionados na interface ar-água, reduzem a tensão superficial e promovem a incorporação de ar (HARTMANN et al., 2011; ROMANO, CINCOTTO, PILEGGI, 2018). Na interface sólido-água, ocorre um posicionamento dos tensoativos de forma que o grupo polar fica em contato com as partículas de cimento e/ou agregados e o grupo apolar fica em contato com a água (SALAGER, 2002; MEHTA, MONTEIRO, 2014).

Os aditivos incorporadores de ar interferem diretamente na plasticidade das argamassas, uma propriedade crucial às etapas de execução do revestimento.

Os aditivos estabilizadores de hidratação atuam como agentes ativos de superfície, originando uma película hidrorrepelente ao redor das partículas de cimento que impossibilita a nucleação na superfície de hidratos ricos em íons de cálcio. Dessa forma, quando acrescentados juntos à água de amassamento, a nucleação e a

formação do silicato de cálcio hidratado são impedidas (PAOLINI, KHURANA, 1998; RICKERT, 2004). Pode-se dizer que os estabilizadores de hidratação funcionam de forma semelhante ao retardador de pega, no entanto, nota-se a diferença devido ao fato de que este promove retardo da ação química entre o cimento e a água de longa extensão, uma vez que atuam sobre todos os minerais do clínquer (MEHTA, MONTEIRO, 2014).

O aditivo estabilizador atua especialmente no controle da hidratação do cimento Portland, porém existe a necessidade de controle do seu uso por conta da possibilidade de um atraso de pega imprevisível quando ocorre a adição em altos teores. O aditivo pode, também, causar a pega instantânea devido a uma ativação excessiva dos aluminatos em cimentos com pouca quantidade de sulfatos solúveis (BAUER et al, 2015).

## 3.3. RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS – RBRO

### 3.3.1. PANORAMA GERAL

A indústria de rochas ornamentais é um setor muito importante da economia capixaba, sendo líder nacional na extração, produção e beneficiamento de mármore e granito (ALENCAR, 2013).

Entende-se que compõem o grupo de rochas ornamentais os granitos, os mármores e pedras como as ardósias, gnaisses e quartzitos, sendo o mármore e o granito os mais conhecidos. As aplicações mais usuais desses materiais são como bancadas de pias de banheiro e cozinha, revestimentos de pisos, paredes e soleiras, entre outras (MELO, 2008).

A geração de resíduos está presente em qualquer processo de transformação de materiais ou produção e, no processo de beneficiamento de rocha ornamental, obtém-se resíduos em várias etapas do processo produtivo, como as lamas do processo de desdobramento e polimento, os casqueiros e cacos e outros resíduos como lâminas e granalhas desgastadas, sacos de cimento e de cal, restos de pastilhas abrasivas, entre outros (BRAGA et al., 2010).

Existe uma falta de dados de caracterização dos resíduos do processo de beneficiamento de rochas ornamentais (BRO), o que gera um problema quando se

busca uma destinação final ambientalmente correta (LORENZONI, 2005). A composição química das lamas de beneficiamento de rochas ornamentais (LBRO), varia em função da composição das rochas, do processo de beneficiamento utilizado, das propriedades dos insumos, entre outros fatores (BRAGA, 2010).

Tem-se uma preocupação devido à grande quantidade de resíduos gerados por bloco desdobrado, que alcança valores de cerca de 1/3 em peso seco ou 2/3 em peso úmido. As empresas desse setor, cerca de 1.300, usualmente fazem o tratamento da LBRO através do desaguamento em tanques de sedimentação, no entanto eles apresentam baixa eficiência de remoção de sólidos. Em seguida, escavam-se tanques no solo para o armazenamento temporário do resíduo, os quais são descobertos e sem nenhuma barreira que impeça à migração de poluentes para o solo, para as águas subterrâneas e superficiais (BRAGA et al., 2010). Este armazenamento gera custos para a empresa e pode contaminar o ar e a água devido a sua natureza extremamente fina (GALETAKIS, SOULTANA, 2016).

Dessa forma, o uso desse subproduto possui importância ambiental, econômica e operacional.

### 3.3.2.INFLUÊNCIA DO RESÍDUO EM MATRIZES CIMENTÍCIAS

Segundo John (2017), é razoável estimar que a construção civil é responsável por consumir mais de 50% dos recursos naturais extraídos no planeta. A quase totalidade dos materiais utilizados é não renovável. Materiais cimentícios são a maior parte da demanda de materiais. Considerando apenas os materiais comercializados, os produtos à base de cimento Portland provavelmente representam 17Gt/ano, enquanto cerâmica e madeira (essa em parte transformada em combustível), 2Gt cada e aço, 1Gt (SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2016).

O crescimento sustentado no uso dos recursos naturais tem levado, a nível internacional, a crescente discussão sobre a necessidade de políticas públicas que possam estimular um aumento da produtividade e eficiência do uso destes recursos (OECD, 2008; SCHANDL et al., 2016). Com base nisso, autores passaram a estudar a possibilidade da substituição de um percentual do cimento Portland, ou outra matéria-prima, por resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO).

Pesquisas já realizadas na área mostram um resultado promissor com o uso de resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO) na composição das misturas, no que se refere aos materiais cimentícios convencionais (pastas, argamassas e concretos) (CALMON, et al., 1997; CALMON, et al., 2007; TOPÇU, BILIR, UYGUNOGLY, 2009; BACARJI et al., 2013; AREL, 2016; VAZZOLER et al., 2018). De acordo com Vazzoler (2015) a granulometria desse fino é da mesma ordem de grandeza às das cales hidráulicas, essas que já são amplamente utilizadas em argamassas para melhorar as propriedades do estado fresco. Com isso, percebe-se uma possibilidade de fazer uso do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais (RBRO) como parte constituinte do traço dessas misturas.

### 3.3.3.ARGAMASSA ESTABILIZADA CONTENTO RESÍDUO

Há poucos estudos referentes a argamassas estabilizadas contendo resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais. As publicações referentes ao assunto são oriundas de trabalhos anteriores da UFES, em escala experimental e inédita.

Mello et al (2020), ao estudarem a substituição parcial do volume de cimento por RBRO, em argamassas estabilizadas, no que se refere ao estado endurecido, perceberam que quando se substitui em até 15% de RBRO não há uma diferença significativa na resistência da argamassa, quando comparada com a referência (sem adição de RBRO). Entretanto, em teores iguais ou superiores a 30% de RBRO já é possível perceber uma queda significativa de resistência mecânica. No que se refere ao estado fresco, foi notório que a argamassa com 15% de RBRO não apresentou alterações significantes quando comparada à referência, por outro lado, as argamassas com 30 e 45% de RBRO apresentaram um aumento de consistência, o que interfere na trabalhabilidade e consequente utilização do material. Dessa forma, foi possível perceber que o uso de RBRO em pequenos teores (15%) na constituição de argamassas estabilizadas, pode ser uma alternativa para o escoamento de uma parcela dos rejeitos industriais oriundos do setor de rochas ornamentais.

# 4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental desse trabalho está dividido em Materiais e Métodos, e tem por objetivo o avanço do conhecimento no tema proposto, assim como a promoção da reprodutibilidade desta pesquisa.

## 4.1. MATERIAIS

O aglomerante utilizado foi o cimento Portland de alta resistência inicial (CPV) por ser, dentre os tipos de cimento comercializados no Brasil, o que apresenta menor teor de adições, permitindo uma análise de dados mais clara da influência do RBRO. A caracterização do cimento, disponibilizada pelo fabricante, está apresentada na Tabela 1. A massa específica aparente do cimento foi de 3,03 kg/dm³.

Tabela 1: Propriedades do cimento

| ENSAIOS QUÍMICOS | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ENSAIOS | NBR Nº | UNIDADE | MÉDIA | ESPECIFICAÇÃO NBR 16697/18 |
| PF 950C | NM 18/12 | % | 5.86 | <= 6.50 |
| SO3 | NBR 14656/01 | % | 2.74 | <= 4.50 |
| RI | NM 15/12 | % | 0.81 | <= 3.50 |
| MgO | NBR 14656/01 | % | 0.78 | <= 6.50 |
| **ENSAIOS FÍSICOS** | | | | |
| ENSAIOS | NBR Nº | UNIDADE | MÉDIA | ESPECIFICAÇÃO NBR 16697/18 |
| Blaine | NBR 16372/15 | cm²/g | 4826 | Não aplicável |
| Ret. 38mic | NBR 12826/14 | % | 2.4 | Não aplicável |
| IP | NBR 16607/18 | min | 125 | >=60 |
| FP | NBR 16607/18 | min | 173 | Não aplicável |

| RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ENSAIOS | NBR Nº | UNIDADE | DESVIO | MÉDIA | ESPECIFICAÇÃO NBR 16697/18 |
| RC 1 DIA (NBR) | NBR 7215/19 | MPa | 0.73 | 26.7 | >=14.0 |
| RC 3 DIAS (NBR) | NBR 7215/19 | MPa | 1.05 | 38.6 | >=24.0 |
| RC 7 DIAS (NBR) | NBR 7215/19 | MPa | 1.06 | 42.5 | >=34.0 |
| RC 28 DIAS (NBR) | NBR 7215/19 | MPa | 0.71 | 50.4 | Não aplicável |

Fonte: LafargeHolcim Cimentos

Foram empregados os aditivos estabilizadores de hidratação e incorporadores de ar plastificantes, com a finalidade de permitir que as reações de hidratação só ocorressem quando a argamassa for aplicada e para garantir a manutenção da trabalhabilidade. A caracterização dos aditivos, fornecida pelo fabricante, está apresentada na Tabela 2.

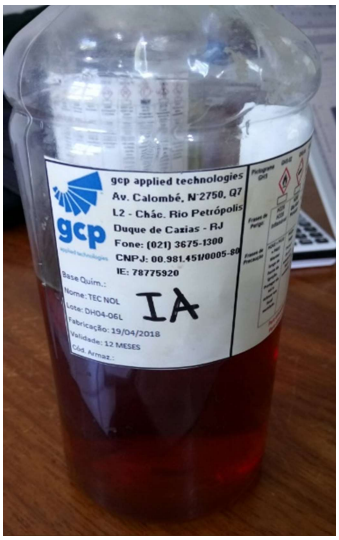
Tabela 2: Propriedade dos aditivos empregados.

| **Propriedade** | **Especificação** | |
|---|---|---|
| | **Incorporador de Ar** | **Estabilizador de Hidratação** |
| pH (23°C) | 10 – 12 | 8 – 11 |
| Densidade 23°C (g/cm³) | 1.00 – 1.04 | 1.16 – 1.20 |
| Teor de sólidos (%) | 4.0 – 6.0 | 38.0 – 42.0 |

FONTE: GCP

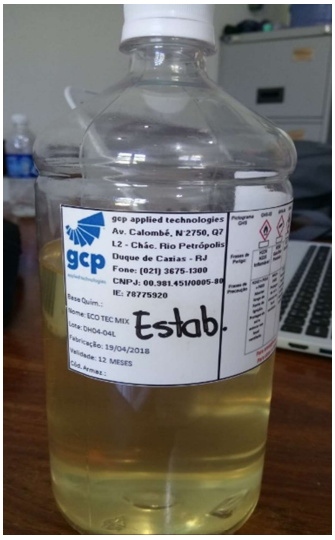
O aditivo incorporador de ar é identificado como TEC NOL, do lote DH04-06L, como pode ser observado na Figura 11. O aditivo estabilizador de hidratação é identificado como ECO TEC MIX, do lote DH04-04L, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 1 - Aditivo incorporador de ar.




Fonte: Autora (2021)

Figura 2 - Aditivo estabilizador de hidratação.




Fonte: Autora (2021)

Como agregado miúdo utilizou-se uma areia natural de cava disponível na região de Vitória – ES, com massa específica aparente (NBR NM 52) de 2,67 g/cm³, uma dimensão máxima característica (NBR NM 248) de 2,38 mm e módulo de finura de 1,66. O aspecto da areia pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3: Areia utilizada nas argamassas.

Fonte: OLIVEIRA, MEDINA (2019).

Por fim, empregou-se o resíduo do beneficiamento de rocha ornamental (RBRO), obtido da etapa de corte de mármore em empresas extratoras e beneficiadoras da região. Antes do uso, o resíduo precisou ser seco, destorroado e peneirado na peneira de abertura de 0,3 mm, sendo utilizado somente o material passante nessa peneira. A Figura 4 mostra o aspecto do resíduo de beneficiamento de mármore empregado. A caracterização física do material indicou que ele apresenta 0,84% de material retido na peneira número 200, massa específica aparente de 2,84 g/cm³ e uma superfície específica de 7590 cm²/g.

Figura 4: Aspecto do resíduo após peneiramento.

Fonte: MELLO et al 2020

Para avaliar a morfologia das partículas, imagem de MEV obtidas em microscópio JSM-6390LV (JEOL) operando a 10 kV, revestindo a amostra com ouro, é apresentada na Figura 5. Pode-se dizer que, em geral, o RBRO possui partículas irregulares e de formato angular. Essa morfologia das partículas advém do processo de beneficiamento no qual as rochas são desbastadas pelas serras, água e / ou lama abrasiva, promovendo o corte ou polimento das peças.

Os principais elementos encontrados na análise de EDS também são mostrados na Figura 6. Vale ressaltar que várias medições de EDS são necessárias para uma análise quantitativa confiável. Portanto, os espectros de EDS mostrados Figura 6 são apenas para análise qualitativa.

Figura 5: Morfologia das partículas de RBRO

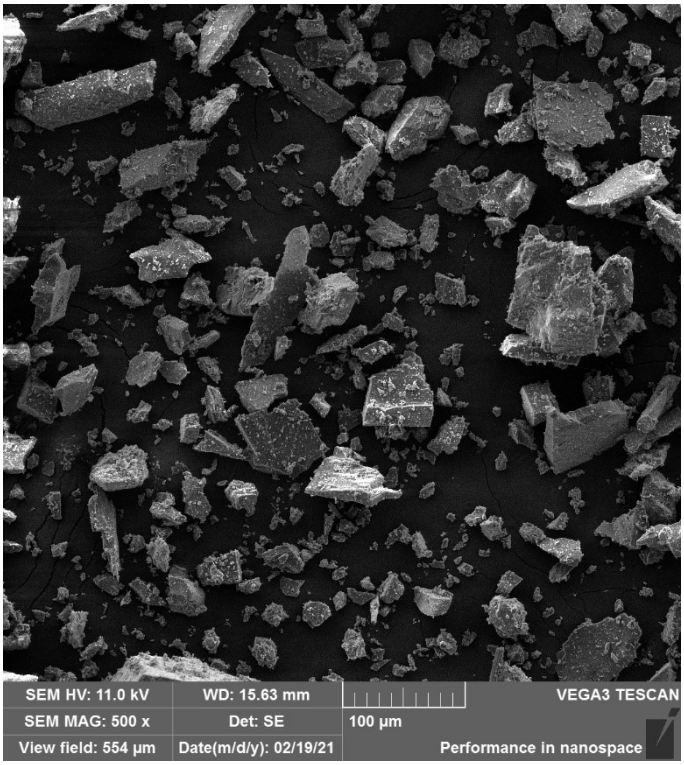
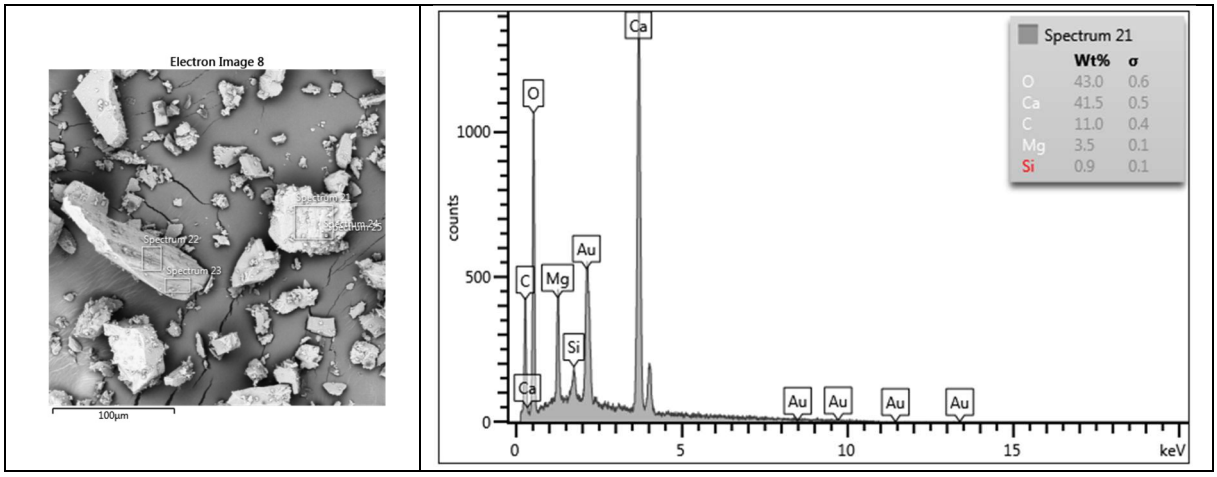



Figura 6: MEV - EDS do RBRO




## 4.2. MÉTODOS

O traço base da argamassa utilizado foi determinado com base em estudo realizado por Mello et al (2020), onde o traço, em massa, foi: 1: 6,42: 0,81 (cimento : agregado miúdo : água). Também com base nesse estudo foi obtido o teor ótimo de aditivos, sendo 0,5% de aditivo incorporador de ar e 0,3% de aditivo estabilizador de

hidratação. Estabelecido o traço da argamassa, com teores de aditivos: 1: 6,42: 0,81: 0,5%: 0,3% (cimento : agregado miúdo : água : aditivo IA: aditivo EH), fez-se então as substituições do cimento Portland por RBRO, nos teores de 15 e 30% do volume de cimento, mantendo os demais materiais constantes. Assim, para efeitos de comparação, a argamassa dosada com 0% de RBRO foi considerada a mistura referência.

Vale salientar que os teores de 15 e 30% de substituição de cimento por RBRO foi baseado no trabalho de Mello et al (2020), que obtiveram resultados técnicos promissores com esse nível de substituição.

As argamassas foram produzidas em misturador vertical de alta energia (Figura 7), com a seguinte ordem: inicialmente acrescentou-se a areia, depois o cimento ou cimento já homogeneizado com o resíduo no caso das argamassas contento 15 e 30 % de resíduo, e por fim era adicionada a água. Esses materiais foram misturados durante 1 minuto e 30 segundos. Em sequência, foram adicionados os aditivos e tornou-se a misturar os componentes com o misturador vertical durante 2 minutos e 30 segundos. Esse procedimento foi utilizado na confecção das três argamassas produzidas (referência, 15R e 30R).

Figura 7: Mistura da argamassa

Fonte: Autora (2021)

Após a mistura, foram realizados ensaios no estado fresco e endurecido das argamassas para avaliação da influência da presença do resíduo nas misturas. Todos os ensaios foram realizados nas argamassas logo após o término da mistura (0 h) e após 24 h de estabilização, para análise das propriedades ao longo do tempo. Para isso, a argamassa remanescente foi mantida em sacos plásticos vedados, até que completasse 24 h. Nesse momento, elas eram misturadas novamente, por cerca de 30 segundos no misturador mecânico, e procedia-se a realização dos ensaios.

Realizaram-se os seguintes ensaios no estado fresco: mesa de consistência ou Flow Table, apresentada na Figura 8 (ABNT NBR 13276, 2016) e massa específica, apresentada na Figura 9 (ABNT NBR 13278, 2005).

Figura 8: Ensaio Flow Table

Fonte: Autora (2021)

Figura 9: Ensaio de massa específica

Fonte: Autora (2021)

Em sequência, para realização dos ensaios no estado endurecido, foram moldados 3 corpos de provas prismáticos de 4x4x16 cm para cada mistura, os quais foram ensaiados à flexão e, posteriormente, à compressão (ABNT NBR 13279, 2005) aos 28 dias. A moldagem dos corpos de prova prismáticos está ilustrada na Figura 10. Enquanto o rompimento à flexão e à compressão estão mostrados nas Figuras 11 e 12.

Figura 10: Moldagem dos CP's para ensaio de resistência

Fonte: Autora (2021)

Figura 11: Ensaio de resistência à tração na flexão

Fonte: Autora (2021)

Figura 12: Ensaio de resistência à compressão

Fonte: Autora (2021)

Além disso, foram moldados corpos de prova prismáticos (25x25x285 mm) para o ensaio de retração por secagem (Figura 13), conforme segue: 4 corpos de prova prismáticos para a argamassa referência com 0h de estabilização, 4 corpos de prova prismáticos para a argamassa referência com 24h de estabilização e 5 corpos de prova prismáticos para cada uma das demais misturas (15% de resíduo e 30% de resíduo), tanto com 0h quanto com 24h de estabilização. As medições de retração foram realizadas após a desmoldagem dos corpos de prova e se estendeu por 65 dias (Figura 14). Vale salientar que, por se tratar de argamassa estabilizada, a desmoldagem só foi possível após 7 dias da moldagem (ABNT NBR 15261, 2005).

Figura 13: Moldagem dos CP's para ensaio de retração.

Fonte: Autora (2021)

Figura 14: Medições para o ensaio de retração por secagem: (a) barra de controle; (b) corpo de prova.

Fonte: Autora (2021)

Vale ressaltar que a armazenagem dos corpos de prova nos moldes (resistência mecânica e retração por secagem) foi feita em uma câmara climatizada com temperatura de (23 ± 2)ºC e umidade relativa do ar de (50 ± 5)% conforme prescreve a ABNT NBR 15261 (2005). Essas condições de armazenagem foram necessárias desde a moldagem dos corpos de prova, por ser uma argamassa estabilizada, ou seja,

ela precisa perder água para dar início a pega. A armazenagem está ilustrada na figura 15. Após a desmoldagem, os corpos de prova foram mantidos nas mesmas condições.

Figura 15: Armazenagem dos corpos de prova

Fonte: Autora (2021)

# 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

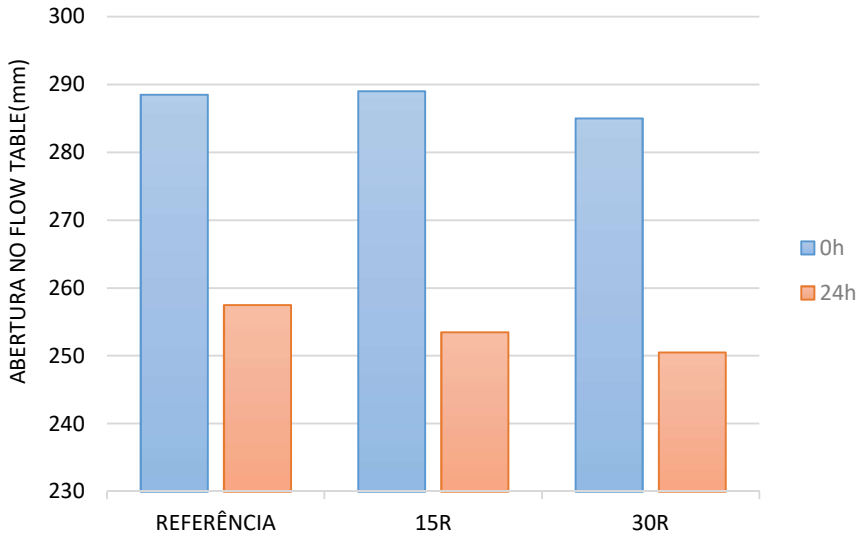
Após realização das etapas descritas anteriormente, foi possível obter os resultados descritos a seguir.

## 5.1. PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO DA ARGAMASSA

### 5.1.1. Índice de consistência

O índice de consistência das argamassas pode ser observado na Figura 16.

Figura 16: Abertura no Flow Table em mm.




Fonte: Autora (2021)

Comparando as argamassas com 0h de estabilização entre si, nota-se que o desempenho delas no ensaio do Flow Table foi extremamente similar, de forma que não apresentaram perda de consistência significante à medida que foram introduzidos percentuais de RBRO na composição das argamassas.

Com 24 h de estabilização o comportamento foi similar entre as misturas. A argamassa referência apresentou fluidez ligeiramente superior às argamassas contendo resíduos. No entanto, todas as misturas apresentaram-se plásticas, com abertura superior a 250 mm, após o período de estabilização.

A diferença significativa que pode ser observada ocorre ao comparar as argamassas que possuem mesmo percentual de resíduo e diferente tempo de estabilização. Partindo dessa comparação fica evidente que o maior fator de decréscimo do índice de consistência é o tempo de estabilização, sendo o percentual de substituição do cimento por RBRO um fator bem menos impactante.

A perda de abatimento da mistura com o tempo de estabilização apresentada no presente estudo era esperada, visto que, apesar do uso do aditivo incorporador de ar e o aditivo estabilizador de hidratação buscando proporcionar o aumento da retenção de água da argamassa, ela ainda assim acaba perdendo água e com isso diminuindo sua abertura. Outros autores, como Casali et al. (2011) e Macioski et al. (2013), já haviam reportado essa perda no índice de consistência em seus estudos.

O uso da película de água sobre a argamassa durante o armazenamento de um dia para o outro, conforme indica o fabricante, busca minimizar essa perda.

### 5.1.2. Densidade de massa e teor de ar incorporado

A densidade de massa, também denominada massa específica, apresentada por cada uma das misturas, com 0h e 24h de estabilização, está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Massa específica em kg/m³

| Massa específica em kg/m³ | | | |
|---|---|---|---|
| Argamassa / Tempo | Referência | 15% RBRO | 30% RBRO |
| 0H | 1752,45 | 1785,55 | 1790,68 |
| 24H | 1780,51 | 1778,23 | 1799,46 |

Fonte: Autora (2021)

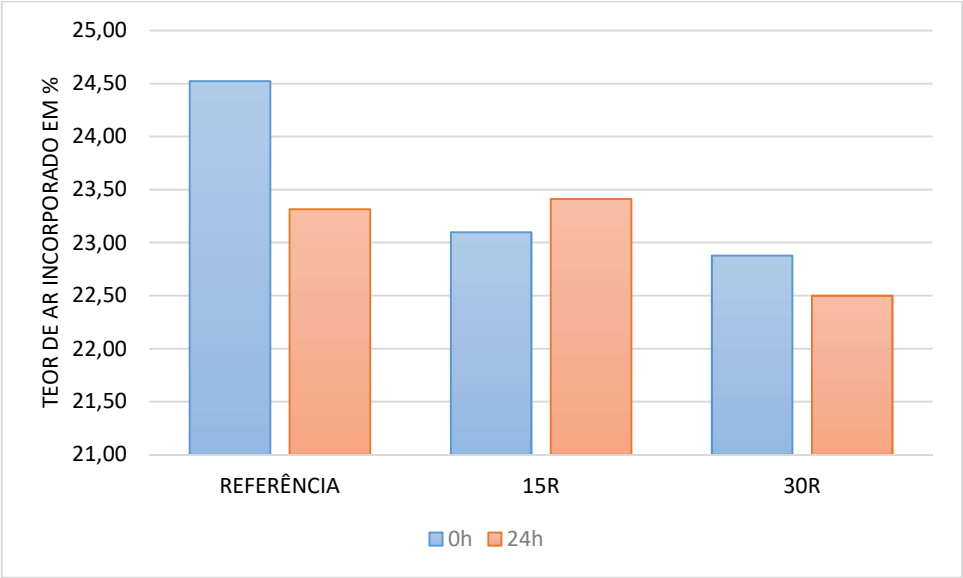
Com base nos resultados apresentados nota-se um aumento na densidade de massa das argamassas submetidas a 24h de estabilização, quando comparadas com a mesma mistura com 0h de estabilização, exceto a argamassa com 15% de resíduo e 24h de estabilização, que apresentou uma pequena diminuição. Esse mesmo comportamento de aumento da massa específica foi encontrado por Casali et al. (2011), ao avaliar argamassas estabilizadas com 36 e 72 horas, e por Mello et al (2020) ao avaliar argamassas estabilizadas com 0 e 24 horas.

Parte desse aumento da densidade de massa pode ser explicado pela tendência de diminuição do ar incorporado na mistura com o tempo, conforme será explanado a seguir.

Nota-se também um aumento na densidade com a substituição do cimento pelo resíduo, de forma que quanto maior é a substituição maior é a densidade da argamassa, com exceção apenas para a argamassa com 15% de resíduo e 24h de estabilização. Isso pode ser explicado devido ao fato de que a adição do resíduo pode gerar uma desincorporação do ar, de forma que a adição resíduo em grandes quantidades (30%) ocasionou menor teor de ar incorporado na mistura.

Quanto ao teor de ar incorporado, o resultado pode ser observado na Figura 17.

Figura 17: Teor de ar incorporado em %.




Fonte: Autora (2021)

Pode-se verificar que todas as argamassas apresentam entre 22 e 25% de ar incorporado nas misturas com 0 h (logo após o preparo). Segundo Mello et al (2020) esse resultado é o esperado em misturas contendo o aditivo incorporador de ar, de forma a garantir a correta aplicação e a manutenção da trabalhabilidade.

Após 24 h de estabilização, as argamassas não apresentaram perdas consideráveis de teor de ar incorporado, todas elas mantendo o teor de ar acima de 20% e apresentando um comportamento diferente do reportado na literatura. Segundo

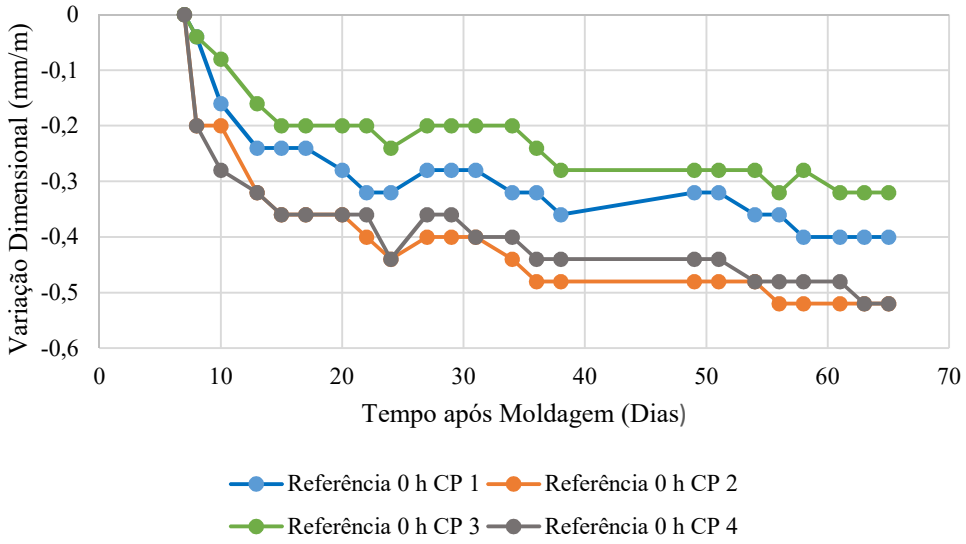
Lozovey (2018), o teor incorporado previsto para as argamassas estabilizadas após 24 h de preparo tenderia a ser menor (em torno de 12%). De acordo com Mello et al (2020) as misturas que apresentam valores elevados de ar incorporado após 24 h podem apresentar problemas em relação à resistência mecânica e a extensão de aderência entre a argamassa e o substrato.

## 5.2. PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO DA ARGAMASSA

### 5.2.1. Retração por secagem ao longo do tempo

Os resultados do ensaio de retração por secagem de cada tipo de argamassa estão apresentados nas Figura 18, 19, 20, 21, 22 e 23 para cada corpo de prova moldado. Posteriormente será realizada uma análise das médias das variações dimensionais dessas argamassas.

Figura 18: Variação dimensional da argamassa Referência 0h.

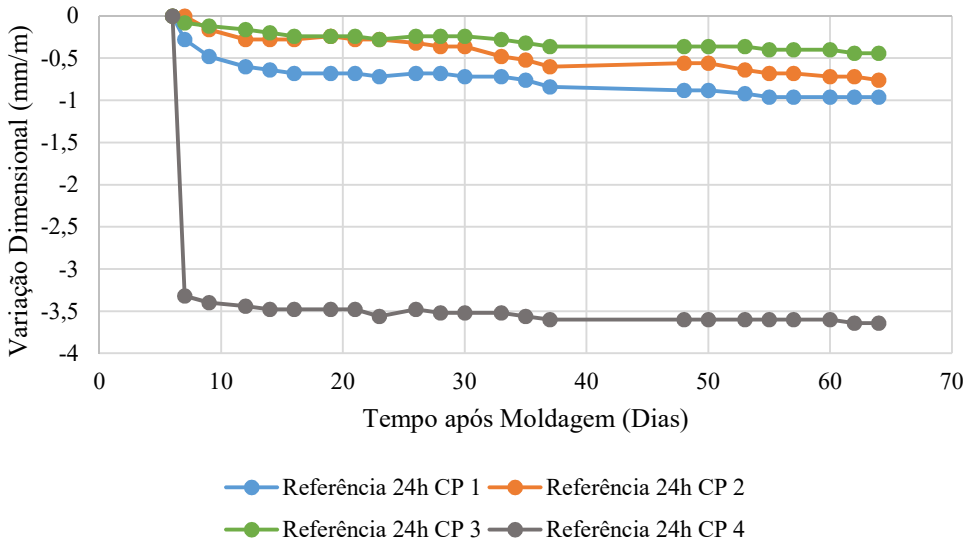



Fonte: Autora (2021)

Na figura 18 é possível acompanhar o comportamento dos corpos de prova da argamassa referência com 0h de estabilização. Nota-se um comportamento similar entre os corpos de prova ao longo do tempo, com valores de desvio padrão diário inferiores a 0,2 mm/m conforme estipulado na norma ABNT NBR 15261 (2005), de forma que todos os corpos de prova foram considerados ao calcular a retração média da argamassa em questão. Além disso, são encontradas pequenas diferenças nos

valores de variação dimensional que cada corpo de prova alcança, com um valor máximo de variação de 0,52 mm para o CP 2 e CP 4. Todos eles mostram uma tendência de estabilização a partir do 15° dia após moldagem, tendência que fica mais evidente a partir do 35° dia. Os picos inversos apresentados entre os dias 20 e 30 podem ser justificados por terem sido dias mais frios, com o clima mais úmido.

Figura 19: Variação dimensional da argamassa Referência 24h.

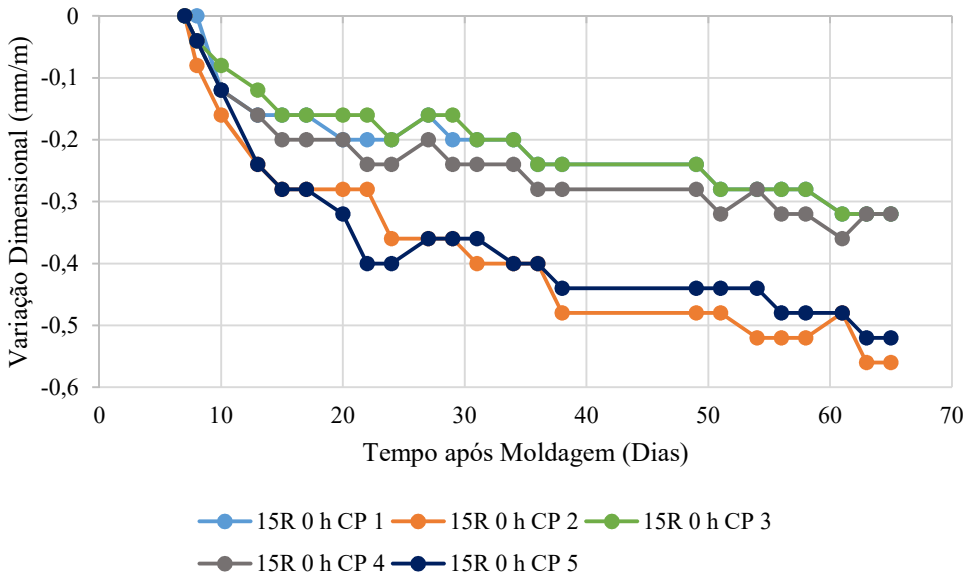



Fonte: Autora (2021)

Na figura 19 é possível acompanhar o comportamento dos corpos de prova da argamassa referência com 24h de estabilização. Nota-se um comportamento similar entre os três primeiros corpos de prova ao longo do tempo. No entanto o corpo de prova de número 4 apresenta um comportamento extremamente diverso às demais amostras e apresentando um desvio padrão diário superior a 1 mm/m. A NBR 15261 (ABNT, 2005) estipula que em situações como esta, onde o desvio padrão ultrapassa o valor de 0,2 mm/m, os corpos de prova com valores discrepantes devem ser desconsiderados. Por esse motivo o CP 4 foi desconsiderado no cálculo da retração média da argamassa em questão.

Considerando apenas os corpos de prova de número 1 a 3, nota-se pequenas diferenças nos valores de variação dimensional que cada corpo de prova alcança, com um valor máximo de variação de 0,96 mm para o CP 1. Todos eles mostram uma tendência de estabilização a partir do 10° dia após moldagem.

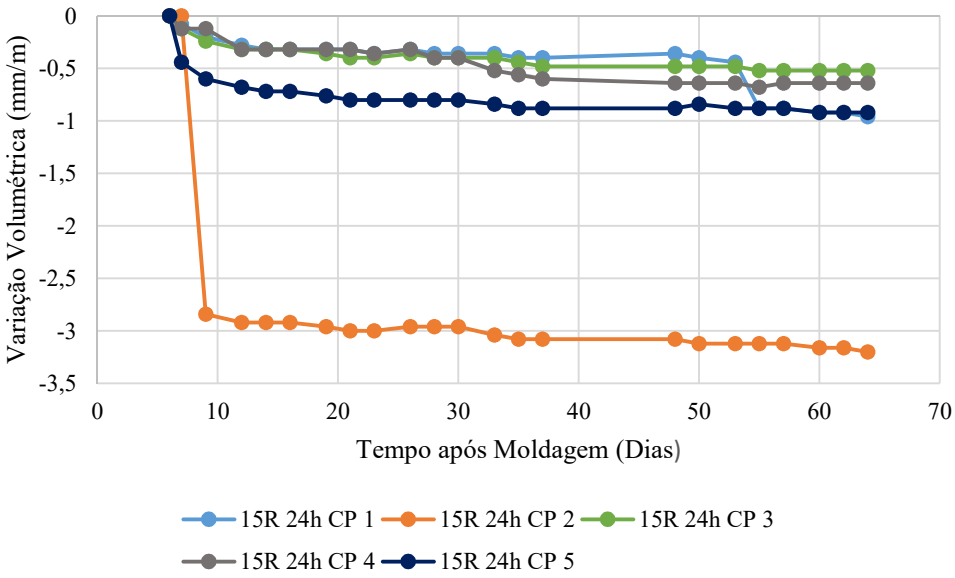
Figura 20: Variação dimensional da argamassa com 15% RBRO 0h.




Fonte: Autora (2021)

Na figura 20 é possível acompanhar o comportamento dos corpos de prova da argamassa com 15% de resíduo e 0h de estabilização. O comportamento entre os corpos de prova ao longo do tempo é similar, apresentando valores de desvio padrão diário inferiores a 0,2 mm/m, conforme estipulado na norma NBR 15261 (ABNT, 2005), de forma que todos os corpos de prova foram considerados ao calcular a retração média da argamassa em questão. Além disso, são encontradas pequenas diferenças nos valores de variação dimensional que cada corpo de prova alcança, com um valor máximo de variação de 0,56 mm/m para o CP 2. Todos eles mostram uma tendência de estabilização a partir do 15° dia após moldagem, tendência que fica mais evidente a partir do 38° dia. Os picos apresentados entre os dias 20 e 30 podem ser justificados por terem sido dias mais frios, com o clima mais úmido.

Figura 21: Variação dimensional da argamassa com 15% RBRO 24h.

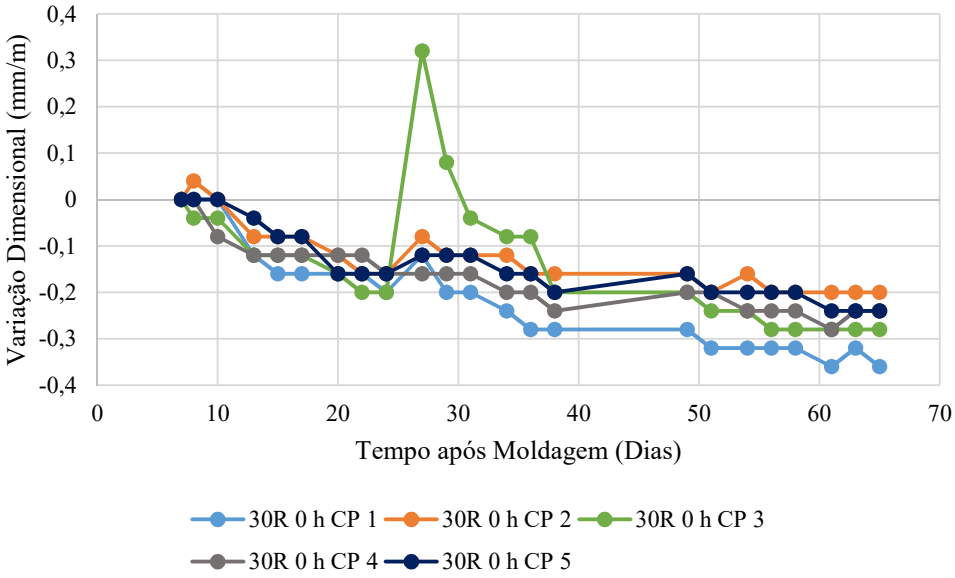



Fonte: Autora (2021)

Na figura 21 é possível acompanhar o comportamento dos corpos de prova com 15% de resíduo e 24h de estabilização. Percebe-se um comportamento similar entre os corpos de prova de número 1, 3, 4 e 5 ao longo do tempo, porém o corpo de prova de número 2 apresenta um comportamento discrepante em relação as demais amostras e elevando, dessa forma, o valor do desvio padrão diário para mais de 1 mm/m. Assim como o corpo de prova 4 da argamassa referência com 24h de estabilização, o corpo de prova CP 2 foi excluído da amostragem no cálculo da retração média da argamassa em questão, conforme estipulado pela NBR 15261 (ABNT, 2005).

Considerando apenas os corpos de prova de número 1, 3, 4 e 5, ficam explicitas pequenas diferenças nos valores de variação dimensional que cada corpo de prova alcança, com um valor máximo de variação de 0,96 mm/m alcançado pelo CP 1. Todos eles mostram uma tendência de estabilização a partir do 10° dia após moldagem.

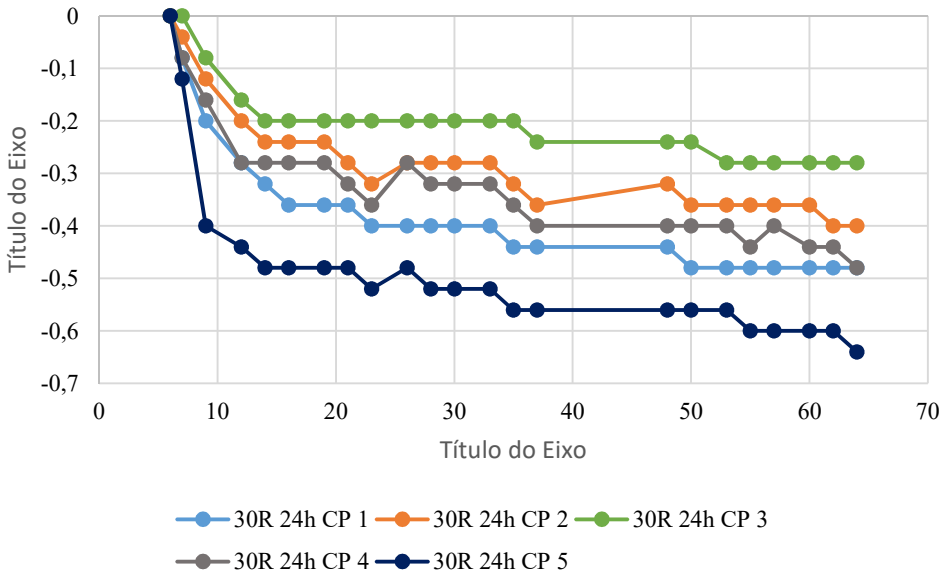
Figura 22: Variação dimensional da argamassa com 30% RBRO 0h.




Fonte: Autora (2021)

Na figura 22 é possível acompanhar o comportamento dos corpos de prova da argamassa com 30% de resíduo e 0h de estabilização. O comportamento entre os corpos de prova ao longo do tempo é similar, com exceção do CP 3 entre os dias 20 e 30, que apresenta um pico muito mais significativo que as demais amostras. Esses picos apresentados entre os dias 20 e 30 podem ser resultado de dias mais frios, com o clima mais úmido, que ocorreram durante as datas especificadas. Ainda que esses picos estejam presentes, o desvio padrão diário se manteve inferiores a 0,2 mm/m conforme estipulado na norma NBR 15261 (ABNT, 2005), logo os corpos de prova foram considerados ao calcular a retração média da argamassa em questão. Ademais, são encontradas pequenas diferenças nos valores de variação dimensional que cada corpo de prova alcança, com um valor máximo de variação de 0,36 mm/m alcançado pelo CP 1. Todos eles mostram uma tendência de estabilização a partir do 15° dia após moldagem, tendência que fica mais evidente ainda a partir do 38° dia.

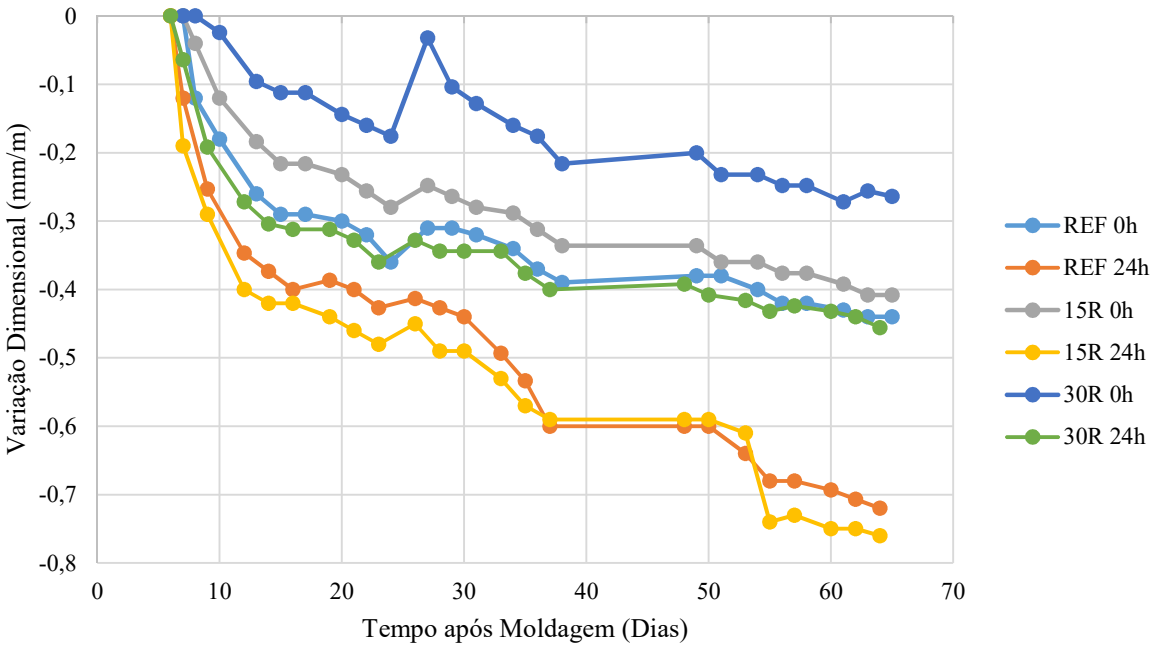
Figura 23: Variação dimensional da argamassa com 30% RBRO 24h.




Fonte: Autora (2021)

Na figura 23 é possível acompanhar o comportamento dos corpos de prova da argamassa com 30% de resíduo e 24h de estabilização. O comportamento entre os corpos de prova ao longo do tempo é similar, de tal forma que o desvio padrão diário se manteve inferiores a 0,2 mm/m conforme regula a norma NBR 15261 (ABNT, 2005), logo todos os corpos de prova foram considerados ao calcular a retração média da argamassa em questão. Ademais, são encontradas diferenças nos valores de variação dimensional, especialmente ao comparar o CP 3 e o CP 5, que foram os dois extremos da argamassa analisada. O valor máximo de variação foi de 0,64 mm/m, alcançado pelo CP 5. Todos eles mostram uma tendência de estabilização a partir do 14° dia após moldagem.

Figura 24: Variação dimensional média das argamassas.




Fonte: Autora (2021)

Agora na figura 24, em uma análise geral comparativa entre as retrações médias das argamassas, percebe-se que todas as argamassas moldadas com 0 h e a argamassa 30R com 24h apresentaram retrações menores que 0,4 mm/m após 30 dias da moldagem. De acordo com o método desenvolvido pelo Centre Scientifique et Technique Du Bâtiment (1993), essa magnitude de retração classifica essa argamassa como de baixa suscetibilidade a fissuração. Por outro lado, as argamassas referência e 15R com 24 h de estabilização, apresentaram valores de retração de até 0,8 mm/m com 30 dias, o que as classifica como média suscetibilidade a fissuração. Valores superiores a 1,2 mm/m são considerados de alta suscetibilidade a fissuração, e não foram alcançados por nenhuma das argamassas.

Observando a variação dimensional ao longo do tempo, pode-se notar uma tendência de estabilização das argamassas, especialmente da referência 0h, 15R 0h e 30R 24h a partir do 15 dia após moldagem. Segundo Tan e Du (2013), a estabilidade da retração ocorre aos 21 dias. Também nota-se um aumento nos valores das variações dimensionais de cada uma das argamassas com o tempo de estabilização.

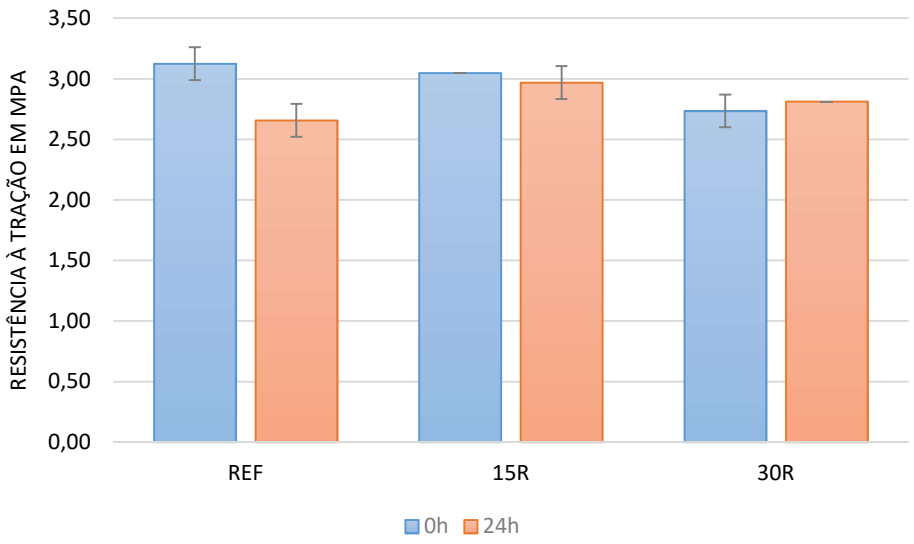
No entanto, a grande discrepância evidenciada no gráfico é apresentada pelas argamassas referência 24h e 15R 24h com variações muito mais expressivas que as

demais, principalmente nas idades mais avançadas (30° dia para frente), ainda que não alcancem a classificação de argamassas com alta suscetibilidade de retração. Vale atentar-se à similaridade do comportamento frente a variação dimensional das argamassas referência e 15R, tanto comparando as duas com 0h de estabilização, quanto comparando-as com 24h de estabilização. Elas mostram uma variação mais restrita com 0h de estabilização, todavia, com 24h de estabilização a retração é mais considerável.

### 5.2.2.Resistência à tração na flexão

A resistência à tração média dos corpos de prova pode ser observada na Figura 25.

Figura 25: Resistência à tração média em MPa.




Fonte: Autora (2021)

Tabela 4: Desvio padrão - Resistência à Tração

| Desvio Padrão | Referência | 15R | 30R |
|---|---|---|---|
| 0h | 0,14 | 0,00 | 0,14 |
| 24h | 0,14 | 0,14 | 0,00 |

Fonte: Autora (2021)

Analisando do ponto de vista do tempo de estabilização conclui-se que, todas as argamassas independentemente do percentual de resíduo, demonstram uma queda

na resistência à tração com o aumento do tempo de estabilização (de 0h para 24h). Essa mesma queda foi reportada por Matos (2013) ao estudar a variação da resistência à tração na flexão de argamassas estabilizadas.

No entanto, quando a análise é feita com foco na comparação quanto ao percentual de resíduo, é possível notar que a argamassa com 15% de resíduo supera os valores de resistência à tração das duas outras argamassas, tanto com 0h de estabilização quanto com 24h.

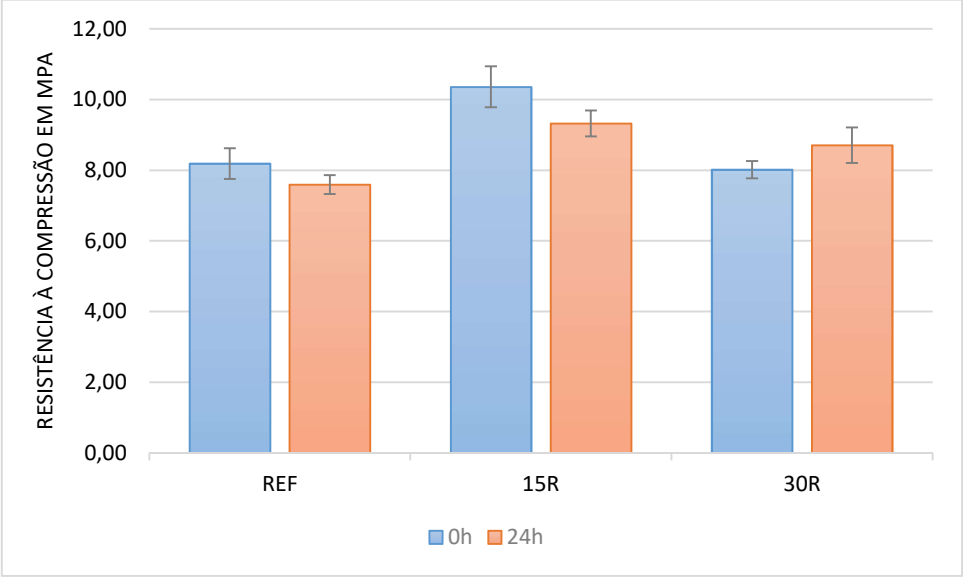
Fica evidente que o maior fator de decréscimo da resistência à tração é o tempo de estabilização. No entanto o acréscimo de resíduo em 15% pode compensar essa perda de uma forma satisfatória, visto que o valor da resistência da argamassa 15R com 24h se aproxima do valor da argamassa de referência com 0h.

Vale ressaltar que um corpo de prova da argamassa 15R 0h e um corpos de prova da argamassa 30R 24h foram desconsiderados no cálculo da média por se apresentarem como outliers. Com eles fora do cálculo percebe-se que o desvio padrão manteve-se inferior a 6% da resistência média, conforme prescreve a norma NBR 13279 (ABNT, 2005). A barra de erro presente na parte superior de cada coluna apresentada no gráfico indica o desvio padrão.

### 5.2.3.Resistência à compressão

A resistência à compressão média dos corpos de prova pode ser observada na Figura 26.

Figura 26: Resistência à compressão média em MPa




Fonte: Autora (2021)

Tabela 5: Desvio Padrão - Resistência à Compressão

| Desvio Padrão | Referência | 15R | 30R |
|---|---|---|---|
| 0h | 0,43 | 0,58 | 0,24 |
| 24h | 0,27 | 0,37 | 0,51 |

Fonte: Autora (2021)

Ao comparar as argamassas do ponto de vista do tempo de estabilização nota-se um ligeiro decréscimo de resistência à compressão nas argamassas de referência e com 15% de resíduo, de forma quase insignificante. Já a argamassa com 30% de resíduo apresenta um aumento significativo da resistência à compressão da argamassa com 24h de estabilização comparada a com 0h de estabilização. Como o ar incorporado nas argamassas estabilizadas tende a diminuir com o tempo de estabilização são esperados incrementos na resistência à compressão das argamassas, conforme comportamento da mistura contendo 30% de RBRO. No entanto, no estudo realizado, percebe-se que o ar incorporado praticamente não variou com o tempo de estabilização, quando comparado com outros autores que relatam uma diminuição na ordem de 10% do teor de ar após 24 h.

Sobre o ponto de vista de percentual de resíduo, é notório a superioridade dos valores de resistência à compressão da argamassa com 15% de resíduo comparada as demais, tanto com 0h quanto com 24h de estabilização.

Fica evidente que o maior fator de interferência na resistência à compressão é o percentual de resíduo presente na argamassa. O mais interessante de se pontuar é que a resistência da argamassa com 15% de RBRO e 24h de estabilização supera os valores das demais argamassas com 0h de estabilização, mostrando que esse percentual de resíduo pode ser considerado uma alternativa viável para a composição de argamassas estabilizadas mais econômicas.

Vale ressaltar que um corpo de prova da argamassa referência 0h, dois corpos de prova da argamassa 15R 0h, dois corpos de prova da argamassa 30R 0h e um corpo de prova da argamassa referência 24h foram desconsiderados no cálculo da média por se apresentarem como outliers. Com eles fora do cálculo percebe-se que o desvio padrão manteve-se inferior a 6% da resistência média, conforme prescreve a norma NBR 13279 (ABNT, 2005). A barra de erro presente na parte superior de cada coluna apresentada no gráfico indica o desvio padrão.

# 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

## 6.1. CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo contribuir para o entendimento de uma argamassa ainda pouco explorado quando se observa o cenário nacional da construção civil, e também avaliar a influência do resíduo de beneficiamento de rocha ornamental na argamassa estabilizada, de forma a contribuir ao cenário da indústria de rochas ornamentais por apresentar uma destinação a um resíduo que hoje é um grande passivo ambiental da indústria. Fica evidente, por meio deste estudo, o interesse acadêmico e da indústria da construção civil nos resultados apresentados.

Inicialmente foram realizados os ensaios no estado fresco, os quais possibilitaram concluir que a argamassa com 15% de RBRO não apresentou alterações significantes quando comparada à referência. Por outro lado, a argamassa com 30% de RBRO apresentou uma perda de sua consistência, podendo prejudicar a trabalhabilidade e consequentemente a utilização do material.

Posteriormente foram realizados os ensaios no estado endurecido referentes a resistência mecânica e retração por secagem. No que tange a resistência mecânica foi possível concluir que a argamassa com 15% de RBRO não apresentou alterações significativas ao comparar com a argamassa sem adição de resíduo (argamassa de referência), já a argamassa com 30% de RBRO sofreu redução da sua resistência de forma a ser um potencial problema para o desempenho do material. No que tange a retração, a adição de 15% de resíduo não mostrou alterações significativas com relação a argamassa de referência, já a adição de 30% de resíduo se provou benéfica em prol da redução da retração. Vale salientar que todas as argamassas moldadas, apresentaram baixa ou média suscetibilidade de fissuração em função da retração por secagem.

Fica, então, exemplificado neste trabalho uma possibilidade de destinação desse resíduo que atualmente é um grande passivo ambiental no Estado do Espírito Santo: a utilização do resíduo do beneficiamento de rocha ornamental na produção de argamassa estabilizada.

## 6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugere-se os seguintes trabalhos:

- Estudos com quantidades entre 15 e 30% de substituição de RBRO, em argamassas estabilizadas, buscando otimizar o teor de substituição sem prejudicar o desempenho das misturas;
- Realizar outros ensaios com as mesmas composições utilizadas no trabalho, que não puderam ser executados no presente trabalho, como: retenção de água, absorção por capilaridade e módulo de elasticidade.
- Realizar testes em escala real, aplicando essas argamassas em assentamentos e revestimentos de paredes.

# 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, nº 147, de 3 de agosto de 2010, seção 1. Brasília, DF. p. 3-7.

BRASIL. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, nº 136, de 17 de julho de 2002, seção 1. Brasília, DF. p. 95-96

ALENCAR, C.R.A. Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo: rochas ornamentais/ Instituto Euvaldo Lodi - Regional do Espírito Santo. Cachoeiro de Itapemirim/ES: IEL, 2013. 242 p.

AREL, H.S. Recyclability of waste marble in concrete production, J. Cleaner Production, n. 131, 2016.

ARGANE, R., BENZAAZOUA, M., HAKKOU, R. and BOUAMRANE, A. A comparative study on the practical use of low sulfide base-metal tailings as aggregates for rendering and masonry mortars. **Journal of Cleaner Production**. Volume 112, Part 1, Pages 914-925, 2016.

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

_____.**NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____.**NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

_____.**NBR 8522**: Concreto – determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____.**NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____.**NBR 12653**: Materiais pozolânicos — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____.**NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____.**NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____.**NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____.**NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____.**NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____.**NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____.**NBR 15261**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retratação ou expansão linear). Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____.**NBR 16887**: Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BACARJI, E.; TOLEDO FILHO, R. D.; KOENDERS, E. A. B; FIGUEIREDO, E. P.; LOPES, J. L. M. P. Sustainability perpective of marble and granite residues as concrete fillers. **Construction and Building Materials**, Volume 45, Pages 1-10, 2013.

BAUER, E.; REGUFFE, M.; NASCIMENTO , M. L. M.; CALDAS, L. R. Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento. In: XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas – SBTA, Porto Alegre, 2015. **Anais** [...]Porto Alegre, 2015.

BASTOS, P.K.X.; DETRICHÉ, C.H.; BALAYSSAC, J.P.; CINCOTTO, M.A. Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas em argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 57-70, abr./jun., 2002.

BRAGA, F. S; BUZZI, D. C.; COUTO, MC. L.; LANGE, L. C. **Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais**. Eng Sanit Ambient, v.15 n.3, p. 237-244, Vila Velha, 2010.

CALÇADA, L. M. L. ; PEREIRA, L.; SOUZA, R. A.; OLIVEIRA, A. L.; CASALI, J.M.. Influência das características do molde e da superfície de contato nas propriedades da argamassa estabilizada. In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas – SBTA, Fortaleza, 2013. **Anais** [...] Fortaleza, 2013.

CALLISTER, W. D. **Ciências e engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2002.

CALMON, J. L.; BACARJI, E.; FIGUEIREDO, E. J. P.; RÊGO, J. H. S.; PEREIRA, A. C. Estudo da viabilidade técnica da utilização do resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG), como fíler nas propriedades do concreto. Congresso Brasileiro do Concreto, 49. 2007, Bento Gonçalves. **Anais**. Bento Gonçalves: IBRACON, 2007.

CALMON, J. L.; TRISTÃO, F. A.; LORDÊLLO, F. S. S.; SILVA, S. A. C; MATTOS, F. V. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas de assentamento. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas – SBTA, 1997, Salvador. **Anais**. Salvador, 1997.

CARASEK, H. **Aderência de Argamassas à Base de Cimento Portland a Substratos Porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. São Paulo, 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARASEK, H. **Argamassas**. In: ISAIAS, G. C. (Ed.) Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais. Ipsis Grafica e Editora, São Paulo, 2010. Cap. 26 e 28. p. 693-703 e 863 - 943.

CASALI, J.M.; MANN, A. N.; ANDRADE, D.C.; ARRIAGADA, N.T. Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para revestimento. In: IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas – SBTA, Belo Horizonte, 2011. **Anais** [...] Belo Horizonte, 2011

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; CARVALHO, A. Controle de argamassas industrializadas em obra por meio do método de penetração do cone. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas – SBTA, Florianópolis, 2005. **Anais** [...]Florianópolis, 2005.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation – Cahier MERUC. Livraison 341, cahier 2669- 3, juillet-août 1993. Paris, 1993.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. Boletim Técnico n. 68

CUNICO, G. B.; MANERA, R.; CECCONELLO, V. **Avaliação das propriedades de uma argamassa com 36h de estabilização**. 15° Congresso Internacional de Patología y Recuperación de Estructuras, Universidad Nacional de Salta, Argentina, 2020.

DAL MOLIN, D.C.C. **Adições Minerais para Concreto Estrutural**. In: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 345-379.

ERGENÇ, D., GÓMEZ, L.S.; FORT, R. Crystal development during carbonation of lime-based mortars in different environmental conditions. **Materials Characterization**, vol. 142, pp. 276-288, 2018.

FONSECA, G. C. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ISMS-8ALHAQ . Acesso: 22 de setembro de 2021.

GALETAKIS, M.; SOULTANA, A. A review on the utilisation of quarry and ornamental stone industry fine by-products in the construction sector. **Construction and Building Materials**, Volume 102, Part 1, Pages 769-781, 2016.

GONÇALVES, J. P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para produção de concretos**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. Disponível em: https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1676/000305830.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso: 19 de setembro de 2021.

GUERREIRO, M.R.F. **Utilização de aditivo estabilizador de hidratação (AEH) como proposta de reciclagem dos resíduos de concreto usinado**. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental). 106p. Centro Universitário Feevale, Novo Hamburgo, 2007.

HARTMANN, C.; JEKNAVORIAN, A.; SILVA, D.; BENINI, H. **Concreto: ciência e tecnologia**. In: G. C. Isaia (Ed.), Aditivos químicos para concretos e cimentos (pp. 347-380). São Paulo: IBRACON, 2011.

JOHN, V. M. **Materiais de Construção e O Meio Ambiente**. In: G. C. Isaia (Ed.), Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais (Capítulo 4). São Paulo: IBRACON, 2017.

JOSHAGHANI, A.; BALAPOUR, M.; RAMEZANIANPOUR, A. A. Effect of controlled environmental conditions on mechanical, microstructural and durability properties of cement mortar. **Construction and Building Materials**, Volume 164, Pages 134-149, 2018.

KEBHARD, J. M.; KAZMIERCZAK, C. S. Avaliação do comportamento de uma argamassa estabilizada ao longo do seu tempo de estabilização. XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas – SBTA, São Paulo, 2017. **Anais** [..] São Paulo, 2017.

KIHARA, Y; CENTURIONE, S. L. O Cimento Portland. In: Concreto: Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. cap. 10, p. 295-322

LORENZONI, D.I. **Tijolos prensados produzidos com resíduos sólidos industriais: uma caracterização segundo a NBR 10004/2004**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2005.

LOZOVEY, A.C.E. **Método de dosagem de argamassa estabilizada para assentamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/192790. Acesso: 15 de setembro de 2021.

LUCAS, J., DE BRITO, J., VEIGA, R., FARINHA, C. The effect of using sanitary ware as aggregates on rendering mortars' performance. **Materials & Design**, Volume 91, Pages 155-164, 2016.

MACIOSKI, G. et al. Avaliação de propriedades no estado fresco e endurecido de argamassas estabilizadas. In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas – SBTA, Fortaleza, 2013. **Proceedings** [...] Fortaleza, 2013.

MALHOTRA, V.M; MEHTA, P.K. Pozzolanic and cementitious materials. **Advances in concrete technology**. Volume 1, Canadá, 1996.

MANN NETO, A.; ANDRADE, D.C.; SOTO, N.T.A. **Estudo das propriedades e viabilidade técnico-econômica da argamassa estabilizada**. 127p. Trabalho de

conclusão de curso (curso de Produção Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

MARTINS NETO; N. A. A. A.; DJANIKIAN, J. G. **Aspectos de Desempenho da Argamassa Dosada em Central**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, serie BT/PCC/235, 1999.

MATOS, P. R. **Estudo da utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Trabalho de conclusão de curso (curso de Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/115462/TCC_Paulo_Matos.pdf?sequence=1&isAllowed=y . Acesso: 29 de setembro de 2021.

MOROPOULOU, A., BAKOLAS, A. y ANAGNOSTOPOULOU, S. Composite materials in ancient structure. **Cement and Concrete Composites**, 27, pp.295-300, 2005.

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

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2 ed., 2014.

MELLO, L.V.; PILAR, R.; SCHANKOSKI, R.A. **Formulação de argamassa estabilizada contendo resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais**. ANAIS DO 62º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. Vitória, 2020.

MELO, L.S.C. **Gestão ambiental de resíduos sólidos gerados em empresas de beneficiamento de rochas ornamentais.** Monografia, Especialização em Meio Ambiente. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MOBILI, A.; BELLI, A.; GIOSUÈ, C.; BELLEZZE, T.; TITTARELLI, F. Metakaolin and fly ash alkali-activated mortars compared with cementitious mortars at the same strength class. **Cement and Concrete Research**, Volume 88, Pages 198- 210, 2016.

MOTA, J. M. F**. Influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão axial em prismas de alvenaria resistente de blocos cerâmicos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5769/1/arquivo6536_1.pdf. Acesso: 27 de setembro de 2021.

NAKAKURA, E. H; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassa de assentamento e revestimento**. Boletim técnico da USP, São Paulo, 2004.

NELSON, R. L.; SCHMIDT, S.; MUNRO, C.; LAUBER, R.; PISTILLI, M.; GATES, R.; SEYL, J. Ready mix mortar in the United States. In: 8th IBMAC – International Brick and Block Masonry Conference, 1988, Dublin. **Anais** […]v. 1. p.150-161. Dublin, 1988.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.

OECD. **Measuring material flows and resource productivity - Synthesis report**. [s.l.] Organization foreconomic co-operation and development, 2008.

PANARESE, W. C, KOSMATKA, S. H., RANDALL, F. A. Concrete Masonry Handbook for architects, Engineers, Builders. Portland Cement Association, 5ª ed, p. 219. Estados Unidos da América, 1991.

OLIVEIRA, V.; BAUER, E.; SANTOS, M. Estudo comportamental das argamassas estabilizadas de revestimento quanto a suscetibilidade a fissuração. In: XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas. Crato, 2017. **Anais** [...] Crato, 2017.

PAOLINI, M.; KHURANA, R. Admixtures for recycling of waste concrete. **Cement and Concrete Composites** 20, p. 221-229, 1998.

PEIXOTO, V. F., TORRES, M. I., & GUIMARÃES, A. S. **Humidade Ascensional**. 1. ed. Porto: FEUP, 2008.

PEÑA, M.R.G. **Estudo da fissuração associado à retração em argamassa para reparo em estruturas de concreto**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/d38.pdf. Acesso: 27 de setembro de 2021.

PENEIROL, N.S.; SOUZA, A.F.; REPETTE, W.L. **Estudo para otimização do uso de aditivo estabilizador de hidratação visando a reciclagem de água na produção de concreto**. In: VIII Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil – Materiais Reciclados e suas Aplicações. Bento Gonçalves, 2007.

PEREIRA, P. C.; IKEDA, J. A.; IKEDA, N. A.; CAMPOS, C. O.; TEXEIRA, L. M.; CARASEK, H. Teor de Cimento ou A/C: Quem Exerce Maior Influência na Resistência de Aderência. In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas – SBTA, Vitória, 1999. **Anais** [...]Vitória, 1999.

PINTO, F. C. **Influência da pressão exterior na embebição de materiais de construção**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade do Porto. Porto, 1998.

PRUDENCIO JR, L. R.; OLIVEIRA, A. L., BEDIN, C.A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Editora Grafica palloti. 208 p. Florianópolis, 2003.

QUARCIONI, V. A.; CINCOTTO, M. A. Influência da Cal em Propriedades Mecânicas da Argamassa. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas – SBTA, Florianópolis, 2005. **Anais** [...]Florianópolis, 2005.

RAMACHANDRAN, V. M. **Concrete admixtures handbook**. Noyes Publications, New York, 1984.

RICKERT, J. **Influence of retarders on the hydration of clinker and cement**. Concrete Technology Reports 2001-2003, Verlag Bau+Technik, Duesseldorf, 2004.

ROMANO, R.C.O.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. G. Incorporação de ar em materiais cimentícios: uma nova abordagem para o desenvolvimento de argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, 2018.

RUPPENTHAL, S.M. **Estudo de argamassas de revestimento com inibidores de hidratação**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Santa Catarina, 2012. Disponível em: http://repositorio.unesc.net/handle/1/1158. Acesso: 15 de setembro de 2021.

SABBATINI, F.H. **Argamassa de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1986.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílicocalcária**. São Paulo. 1984. 298 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SALAGER, J. L. **Surfactantes – typos y usos**. Cuaderno FIRP, Universidade de los Andes, Merida, Venezuela, p. 1-54, 2002.

SANDROLINI, F.; FRANZONI, E. Waste wash water recycling in ready-mixed concrete plants. **Cement and Concrete Research**, Volume 31, Issue 3, Pages 485-489, 2001.

SANTANA, B.V.; ALEIXO, I.V. **Avaliação da absorção por capilaridade de argamassas para revestimentos com diferentes aditivos impermeabilizantes**. Programa de iniciação cientifica, Centro Universitário de Brasília. Brasília, 2017.

SALOMÃO, M. F. **Estudo da umidade ascendente em painéis de alvenaria de blocos cerâmicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassa de cimento portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 227 p. São Paulo, 1989.

SCHANDL, H. et al. **Global Material Flows and Resource Productivity**. An Assessment Study: UNEP International Resource Panel. Paris: United Nations Environment Programme, 2016. Disponível em: http://www.scpclearinghouse.org/sites/default/files/16-00169_lw_globalmaterialflowsunereport_final_160701.pdf .

SCRIVENER, K.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. **Eco-efficient cements: Potential, economically viable, solutions for a low-CO2, cement-based materials industry**. Paris: UN Environment, 2016.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de Argamassa de Cimento Portland e Cal para Revestimento Externo de Fachadas dos Edifícios**. São Paulo, 1989. 227 pg. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SILVA, V. S.; LIBORIO, J. B. L.; SILVA, C. R. Argamassas de revestimento com o emprego de pozolanas de argila calcinada. In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas – SBTA, Vitória, 1999. **Anais** [...]Vitória, 1999.

SILVA, N. G; BUEST, G.; CAMPITELI, V. C. Argamassas com Areia Britada: Influência dos Finos e da Forma das Partículas. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas – SBTA, Florianópolis, 2005. **Anais** [...]Florianópolis, 2005.

SILVA, N. G. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – PPGCC, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: http://paginapessoal.utfpr.edu.br/ngsilva/atuacoes/apresentacao/DISSERTACaO%20MESTRADO%20-%20NARCISO.pdf . Acesso: 22 de setembro de 2021.

SILVA, N. G. **Avaliação da retração e da fissuração em revestimentos de argamassa na fase plástica**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/95497. Acesso: 27 setembro de 2021

TAN, K. H.; DU, H. Use of waste glass as sand in mortar: Part I – Fresh, mechanical and durability properties. **Cement and Concrete Composites**, Volume 35, Issue 1, Pages 109-117, January 2013.

TEMP, A. L.; BELLEI, P.; JANTSCH, A. C.; NUNES, G. R.; OLIVEIRA, M. D.; MOHAMAD, G. Estudo comparativo do desempenho no estado fresco e endurecido de argamassas estabilizadas de 36H e 72H. In: XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas – SBTA, Porto Alegre, 2015. **Anais** [...] Porto Alegre, 2015.

TEMP, A.L.; LIMA, F.F.; CARABALONE, P.E.D.P.; BIASI, B.P.; KLEIN, M.M.L. **Estudo do comportamento no estado fresco e endurecido de argamassa estabilizada de 24h, 36h e 48h**. ANAIS DO 62º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. Alegrete, 2020.

THURLER, C. L.; FERREIRA, V. A. A Evolução da Resistência de Aderência de Algumas Argamassas Colantes Nacionais. In: I Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas – SBTA, Goiânia, 1995. **Anais** […] Goiânia, 1995.

TOPÇU, I.B.; BILIR, T.; UYGUNOGLY, T. Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete. Construction and Building Materials, Volume 23, Issue 5, Pages 1947-1953, 2009.

TREVISOL, L. A.; PORTELLA, K. F.; BRAGANÇA, M. O. G. P. Estudo Comparativo Entre as Argamassas: estabilizada dosada em central, industrializada e produzida em obra por meio de ensaios físicos nos estados fresco e endurecido. In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas – SBTA, Porto Alegre, 2015. **Anais** […] Porto Alegre, 2015.

VAZZOLER, J. S. **Investigação de potencialidade pozolânica do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais após tratamento térmico para produção de pasta cimentícia**. 2015. 147p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civi) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015

VAZZOLER, J.S.; VIEIRA, G.L.; TELES, C.R.; DEGEN, M.K.; TEIXEIRA, R.A. Investigation of the potential use of waste from ornamental stone processing after heat treatment for the production of cement-based paste. **Construction and Building Materials**, Volume 177, Pages 314-321, 2018.

VENTOLÀ, L.; VENDRELL, M.; GIRALDEZ, P.; MERINO, L. Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabric. **Construction and Building Materials**, Volume 25, Issue 8, Pages 3313-3318, 2011.